Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

МАТЕРІАЛИ

V ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ

«Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи»

25-26 жовтня 2018 р.

Луцьк – 2018

УДК 621

Рекомендовано до друку науково-технічною радою Луцького національного технічного університету.

Протокол № 3 від 25.10.2018 р.

Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи: Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, 25-26 жовтня 2018 р., м. Луцьк. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. – 224 с.

У збірнику представлені тези доповідей учасників V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів. Наведено фізико-хімічні властивості та структуру нових матеріалів, проаналізовано фізичні та хімічні методи дослідження і технології, розглянуто проблемні питання мікро- та нано- електроніки, математичної фізики. Завершують збірник роботи, присвячені методології навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі.

Матеріали наведено у авторській редакції.

Для студентів, аспірантів, науковців та фахівців.

© Автори статей, 2018

Секція 1
Фізико - хімічні властивості та структура матеріалів

УДК 537.9

ВПЛИВ ІЗОВАЛЕНТНОЇ ДОМІШКИ ГЕРМАНІЮ НА УТВОРЕННЯ ТЕРМОДОНОРІВ У КРЕМНІЇ

студ. Бабула І.В., доц. Захарчук Д.А., доц. Ящинський Л.В., доц. Коваль Ю.В.

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: dima.zakharchuk@gmail.com

Вивченню впливу ізовалентного легування кремнію, а зокрема легування його германієм, на термодонорний ефект присвячено ряд робіт [1-3]. Було встановлено, що введення германію в кремній уповільнює кінетику утворення термодонорів (ТД) при $t_{відп.} = 450°C$ та зменшує їх максимальну концентрацію [1]. Але авторами [3] показано, що легування германієм не впливає на концентрацію ТД в монокристалах кремнію. Очевидно зразки, що досліджувались в роботах [2, 3], відрізнялись за вмістом кисню.

В зв'язку з цим в даній роботі розглянуто детальніше вплив легування германієм на кінетику утворення і максимальну концентрацію ТД в монокристалах кремнію з різним вмістом кисню.

Об'єктами дослідження були вибрані бездислокаційні монокристали кремнію і кремнію, легованого германієм (N_{Ge} =10^{20}см$^{-3}$), вирощені в напрямку [111] методом Чохральського. Концентрації фосфору, кисню та вуглецю в монокристалах склали (1-4)$\cdot 10^{14}$, (6-12)$\cdot 10^{17}$, $4\cdot 10^{16}$ см$^{-3}$ відповідно. Вихідні зразки були термооброблені при $t_{відп.} = (450\pm5)°C$ протягом близько 2000 годин. Після термообробки перед експериментальними вимірюваннями з зразків було знято шар товщиною ~ 50 мкм. Концентрація ТД розраховувалась за формулою:

$$N_{ТД} = n_{TO} - n_0 \qquad (1)$$

де $N_{ТД}$ - концентрація ТД-1; n_{TO} - концентрація електронів у зразку після термообробки; n_0 - концентрація електронів у зразку до термообробки.

Концентрація електронів розраховувалась з величини коефіцієнта Холла, знайденого при вимірюванні методом Ван-дер-Пау зразків розмірами (8÷10) х (8÷10) мм та товщиною (2÷4) мм. Похибка визначення концентрації електронів склала ±(8÷10)%. Концентрація кисню і вуглецю визначалась за величинами коефіцієнтів поглинання на довжинах хвиль λ =9.1 мкм і λ=16.5 мкм відповідно. Похибка вимірювань цих величин була рівною ±(15÷20)%.

На рис. 1 представлена кінетика формування ТД при $t_{відп.} = 450°C$ в монокристалах кремнію і кремнію, легованого германієм, з різним вмістом кисню. Введення германію в монокристали кремнію з концентрацією кисню, більшою ніж 10^{18} см$^{-3}$, не впливає на кінетику утворення і максимальну

концентрацію ТД (криві 1,2). При концентраціях кисню $N_O = 6 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$ в монокристалах кремнію, легованого германієм, уповільнюється швидкість утворення ТД (криві 3,4). Термодонори, очевидно, являються кисневими утвореннями, що виникають на ранніх стадіях розпаду перенасиченого твердого розчину кисню в кремнії. Введення германію в монокристали кремнію з вмістом кисню $N_O \leq 6 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$, очевидно, уповільнює процеси розпаду перенасиченого твердого розчину кисню в кремнії, що може бути пов'язано з впливом германію на розчинність кисню в кремнії. Крім того, як було сказано вище, германій, вводячи пружні поля напружень стиску в матрицю кремнію, уповільнює дифузію міжвузлового кисню.

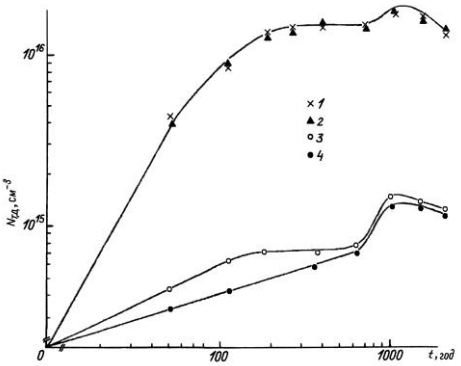


Рис 1. Кінетика утворення ТД ($t_{відп.} = 450°C$) в монокристалах кремнію (1,3) і кремнію легованого германієм (2,4)

Отже, введення германію в монокристали кремнію з великим вмістом кисню не впливає на концентрацію ТД. Це, очевидно, пов'язано з тим, що легування германієм не сильно впливає на величину перенасичення твердого розчину кисню в кремнії, а також на величину коефіцієнта дифузії міжвузлового кисню. Таким чином, швидкість протікання процесів розпаду в монокристалах кремнію, легованого германієм ($N_O \geq 10^{18}$ см$^{-3}$), буде визначатися, в першу чергу, великою величиною перенасичення.

Список використаних джерел

1. Дашевский М.Я., Докучаева А.А., Анисимов К.И. // Изв. АН СССР. Неорг. матер., 1986, т.22, в.10, с. 1599-1602.
2. Дашевский М.Я., Докучаева А.А., Корляков Д.Н., Салманов А.Р., Хашимова Ф.Р. // Изв. АН СССР. Неорг. матер., 1988, т.24, в.9, с. 1413-1418.
3. Левшин Е.С., Пузанов Н.И., Сухарева Н.С., Эйдензон А.М. // Изв. АН СССР. Неорг. матер., 1988, т.24, в.5, с. 709-714.

УДК 621.382. 2/3

ВПЛИВ КУТА РОЗОРІЄНТАЦІЇ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАНИЦЬ ЗЕРЕН У КРИСТАЛАХ СПОЛУК $A^{III}B^{V}$

маг. Бігун Р. О., маг. Приймак Р., доц. Шаварова Г. П.
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43035, Україна, e-mail: gannashavarova@ukr.net

У роботі вивчалися температурні залежності вольт амперних характеристик границь блоків бікристалів GaAs, легованих Fe та Cr ($n = 10^{16}$ $см^{-3}$).

Арсенід галію є одним з найбільш поширених напівпровідників, що використовується у промисловості. Він прямозонний з шириною забороненої зони 1.424 еВ, має високу (у 6 разів більшу, ніж у Si) рухливість електронів, радіаційно стійкий, що дозволяє використовувати його для виготовлення інтегральних схем, транзисторів, які працюють у НВЧ-діапазоні, фотоприймачів та детекторів ядерного випромінювання, оптоелектронних приладів [1]. Широке використання полікристалічних напівпровідників обумовлює інтерес до вивчення електричних властивостей границь зерен.

Порушення кристалічної решітки границями зерен, зокрема зміна довжини зв’язків та кутів між зв’язками, призводить до виникнення хвостів густини станів у забороненій зоні поблизу країв дозволених зон. Обірвані зв’язки утворюють глибокі рівні у забороненій зоні. Локалізовані стани, що вводяться границями зерен, можуть мати як донорний, так і акцепторний характер. Вони захоплюють основні носії струму, створюючи потенціальний бар’єр зі збідненою носіями прилеглою зоною зерна. Висота потенціального бар’єру залежить від концентрації пасток, тобто кількості обірваних зв’язків, спектру та типу енергетичних рівнів на границі зерен, а також рівня легування [2]. Лінійна густина носіїв на границі становить

$$N= k/D,$$

де D – середня відстань між дислокаціями, k – коефіцієнт заповнення обірваних зв’язків. Розрахунки показують, що для наших зразків N перевищує лінійну концентрацію домішок у 3-4 рази.

На границі зерен утворюється двовимірний провідний шар, що має квазіметалічні властивості, тобто іншу, ніж матриця, температурну залежність провідності.

Нами вимірювались вольт-амперні характеристики границь бікристалів GaAs, легованих Fe та Cr ($n = 10^{16}$ $см^{-3}$). Кути розорієнтації блоків становили10´, 20´, 27° та 48°. Кути розорієнтації середньокутових границь знаходились методом Лауе, для мало кутових границь (10´÷20´) кут розорієнтації визначався через середню відстань між дислокаціями (ямками травлення) вздовж границі. Вимірювання проводились при температурах 77 та 300К при різних взаємних орієнтаціях електричного поля і дислокаційних границь, а також у межах монокристалу.

ВАХ при кімнатних і при азотних температурах виявилися лінійними, нелінійність проявляється лише для високоомних зразків при низьких температурах. Результати вимірювань середньо кутових границь показали, що провідність вздовж границі зерен бікристала більша за абсолютною величиною, ніж впоперек границі. Вздовж границі зерен спостерігається часткове виродження провідності за температурою, яке тим більше, чим більший кут розорієнтації зерен бікристала.

Відповідно до моделі перекриття просторових зарядів ненасичених зв'язків [3] провідний шар вздовж границі має частково виражені металічні властивості, а отже іншу, ніж в об'ємі, залежність I(T), що і спостерігалося експериментально.

Провідність впоперек границі через потенціальний бар'єр, як відзначається у [4], може відбуватись шляхом дифузії, термоелектронної емісії та тунелювання. Нами вимірювались температурні залежності провідності (струму) при напругах 100, 200, 400 В впоперек границі. Вони носять експоненціальний характер, що свідчить про те, що основним механізмом провідності через потенціальний бар'єр на границі є термоемісія носіїв.

Малокутові (з кутом розорієнтації менше 1^0) границі, як показали наші дослідження, практично не впливають на електричні властивості напівпровідників.

Список використаних джерел

[1] Исследование влияния межфазной границы раздела на высоту барьера Шоттки/ Е. Я. Швец, Л. Б. Дмитриева, В. С. Дмитриев // Металургія. – 2011. – Вип. 1(26). – С.126–130.

[2] Electrical characterization of grain boundaries in GaAs /Michael G. Spencer, William J. Schaff, and D. Ken Wagner // Journal of Applied Physics 54, 1429 (1983).

[3] Leamy H. J. Grain Boundaries in Semiconductors/ Leamy H. J., Pike G. E., Seager C. H. — New York: Elsevier, 1982, pp. 125–129.

[4] A Prospect of Grain Boundary Engineering for Electronic Properties in Polycrystalline Materials / Ludmila Fionova, Tadao Watanabe and Yulii Lisovski // ISIJ International, Vol. 36 (1 996), No. 6, pp. 61 3-623.

УДК 548.736.4

CRYSTAL STRUCTURE OF $YCr_{0.23}Ge_2$ and $YCu_{0.30}Ge_2$ TERNARY COMPOUNDS

Student Bodnarchuk I.O[1], docent Konyk M.B.[1], senior-researcher Romaka L.P.[1], Dr. L. Orovčik[2], docent Romaka V.V.[3]

[1]*Department of Inorganic Chemistry, Ivan Franko Lviv National University, Kyryla and Mephodiya Str. 6, 79005, Lviv, Ukraine;*

[2]*Institute of Materials and Machine Mechanics Slovak Academy of Sciences, Dubravská cesta 9 84513 Bratislava, Slovak Republic;*

[3]*Національний університет "Львівська політехніка", вул. Устияновича, 5, 79013 Львів, Україна*

e-mail:mariya.konyk @lnu.edu.ua

Homologous series of the rare-earth (*R*) intermetallics with the general composition $RT_{1-x}Ge_2$ ($CeNiSi_2$ structure type, space group *Cmcm*) have been reported to form with various *d*-electron transition metals *T* = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ru, Rh, Ir, Pt [1-4]. Most of them are non-stoichiometric with vacancies in *T*-metal sites and in some cases are characterized by wide homogeneity region. The $CeNiSi_2$ type structure of these compounds can be described as the result of *T*-metal intercalations into RGe_2 binary structures with $ZrSi_2$-type. Previous studies have shown that for germanides, the achievement of the stoichiometric composition $RTGe_2$ is an exception to the rule and is traced only to rare earths with the maximum atomic size: Ce(La)Co(Ni)Ge_2 and Nd(Eu)$NiGe_2$ [2]. Later, new representatives of the $CeNiSi_2$-type were found also with vanadium $YV_{0.16}Ge_{1.54}$ [5] and chromium RCr_xGe_2 (*R* = Sm, Gd-Er) [6]. New ternary compounds at $Y_{30}T_{10}Ge_{60}$ composition were identified in the Y–{Cr, Cu}–Ge ternary systems. Crystal structure of these phases was studied by powder diffraction method.

Polycrystalline samples of the nominal composition $Y_{30}T_{10}Ge_{60}$ with T = Cr, Cu, were prepared by arc melting of the stoichiometric amounts of the constituent elements (nominal purities: Y − 99.9 wt.%, Cr, Cu − 99.99 wt.%, Ge − 99.999 wt.%) on a water-cooled copper hearth under a protective Ti-gettered argon atmosphere. Subsequently the buttons were annealed at 1070 K ($Y_{30}Cr_{10}Ge_{60}$) and 870 K ($Y_{30}Cu_{10}Ge_{60}$) for 720 h in evacuated silica tubes, followed by quenching in cold water. Quality of the prepared samples was tested by X-ray powder diffraction (diffractometer DRON-2.0, Fe K_α radiation) and Scanning Electron Microscopy (SEM: JEOL JSM-7600F electron microscope equipped with an energy-dispersive spectroscopy (EDS) X-ray analyser).

XRPD data were collected in the transmission mode on a STOE STADI P diffractometer. Calculations of the crystallographic parameters were performed using the Full Prof Suite program packages [6].

Experimental conditions of the structure refinements and crystallographic data for $YCr_{1-x}Ge_2$ and $YCu_{1-x}Ge_2$ compounds are given in Table. 1. Final atomic and isotropic displacement parameters of both compounds are given in Table. 2.

The crystal structure refinements of $YCr_{0.23}Ge_2$ and $YCu_{0.30}Ge_2$ germanides were performed using X-ray powder diffraction method, and indicated that new compounds belongs to the $CeNiSi_2$ structure type. Both studied compounds are characterized by presence of the defects in position of Cr and Cu atoms.

Table 1

Experimental details and crystallographic data for $YCr_{0.23}Ge_2$ and $YCu_{0.30}Ge_2$

Alloy composition	$Y_{30}Cr_{10}Ge_{60}$	$Y_{30}Cu_{10}Ge_{60}$
Refined composition	$YCr_{0.23(0)}Ge_2$	$YCu_{0.30(4)}Ge_2$
EDX composition	$Y_{32,49}Cr_{8,24}Ge_{59,27}$	$Y_{31,86}Cu_{9,07}Ge_{59,07}$
Space group	*Cmcm* (No. 63)	
Pearson symbol	*oS*16	
M_r / Z	246.045 / 4	253.15 / 4
Unit-cell parameters: a, Å	4.12792(6)	4.09351(17)
b, Å	15.8899(2)	16.30189(71)
c, Å	4.00530(5)	3.96306(17)
Cell volume V, Å^3	262.717(6)	264.463(20)
Calculated density D_x, g/cm^3	6.225	6.365
Diffractometer	STOE STADI P (transmission mode, curved Ge(111) monochromator on primary beam)	
Radiation, wavelength λ (Å)	Cu $K\alpha_1$, 1,540598	
Angular range for data collection / increment (°2θ)	6.000≤2θ≤120.585 / 0.015	
Linear PSD step (°2θ) / time (sec/step)	0.480 / 650	
Half width parameters: U	0.457(5)	0.223(8)
V	0.009(49)	-0.098(8)
W	0.012(1)	0.032(2)
η	0.684(9)	0.377(7)
Asymmetry parameters P_1		0.029(6)
P_2		-0.005(1)
Reliability factors: R_{Bragg}	0.0770	0.0479
R_f	0.0671	0.0349
Content of $YCr_{0.23}Ge_2$ / YCr_6Ge_6 phases (wt.%)	93,46(60) / 6,54(40)	
Content of $YCu_{0.30}Ge_2$ / Y_2CuGe_6 phases (wt.%)		80,22(47) / 19,78(17)

Table 2

Fractional atomic coordinates, site occupations (*G*) and isotropic displacement parameters B_{iso} for $YCr_{0.23}Ge_2$ and $YCu_{0.30}Ge_2$

Atom	Wyckoff position	*x*	*y*	*z*	*G*	B_{iso} (Å^2)
			$YCr_{0.23}Ge_2$			
Y	4*c*	0	0.10488(11)	1/4	1	0.50(4)
Cr	4*c*	0	0.29753(76)	1/4	0.23(0)	0.66(1)
Ge1	4*c*	0	0.44928(13)	1/4	1	0.60(1)
Ge2	4*c*	0	0.74774(13)	1/4	1	0.89(1)
			$YCu_{0.30}Ge_2$			
Y	4*c*	0	0.1042(1)	1/4	1	0.188(34)
Cu	4*c*	0	0.3127(4)	1/4	0.30(4)	0.565(0)
Ge1	4*c*	0	0.4516(1)	1/4	1	0.89(6)
Ge2	4*c*	0	0.7478(1)	1/4	1	1.43(6)

[1] M. Francois, G. Venturini, B. Malaman, B. Roques, Noveaux isotypes de $CeNiSi_2$ dans les systemes R-M-X (R=La-Lu, M=metaux des groupes 7 a 11 et X=Ge, Sn). I.Compositions et parameters cristallins, J. Less-Common Met. 160 (1990) 197-213.

[2] V.K. Pecharsky, O.Ya. Mruz, M.B. Konyk, et al. Crystal chemistry of ternary germanides $RM_{1-x}Ge_2$ ($1>x\geq0$), Zh. Strukt. Khim. 30(5) (1989) 96-101.

[3] P.S. Salamakha, in: K.A. Gschneidner Jr., L. Eyring (Eds.). Crystal structures and crystal chemistry of ternary rare-earth germanides, Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. Vol. 27, Elsevier, Amsterdam, 1999, pp. 225−338

[4] R. Duraj, M. Konyk, J. Przewoznik, L. Romaka, A. Szytula, Magnetic properties of RE_2MnGe_6 (R=La, Ce) and $YMn_{0.3}Ge_2$ germanides, Solid State Sci. 25 (2013) 11-14.

[5] М. Коник, Л. Ромака, Ю. Стадник, В. В. Ромака, Р. Серкіз, Взаємодія компонентів у системах Y–{V, Fe}–Ge при 870 К, Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. 59 (2018) 11-20.

[6] H. Bie, A.V. Tkachuk, A. Mar, Structure and magnetic properties of rare-earth cromium germanides $RECr_xGe_2$ (RE=Sm, Gd-Er), J. Solid State Chem. 182 (1) (2009) 122-128.

[7] Rodriguez-Carvajal J., Recent developments of the program FullProf, Commission on Powder Diffraction, IUCr Newsletter. 26 (2001) 12–19.

УДК 546.289:546.64:546.66

НЕПЕРЕРВНІ РЯДИ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ У ПОТРІЙНИХ СИСТЕМАХ ДВОХ РЗМ ТА ГЕРМАНІЮ

студ. Волошин І. М., доц. Шпирка З. М.
Львівський національний університет імені Івана Франка,
кафедра неорганічної хімії,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 м. Львів, Україна
z.shpyrka@gmail.com

Взаємодія компонентів у багатокомпонентних системах визначається впливом певних факторів: розмірного, електронної концентрації, схожості хімічної природи, електронегативності компонентів тощо.

У літературі є відомості про дослідження потрійних систем *R*–*R′*–Ge, де *R* та *R′* два різні рідкісноземельні метали (РЗМ) церієвої або ітрієвої підгрупи [1-3].

Оскільки ці системи містять один спільний компонент – германій і два РЗМ, тому слід було б очікувати прояву в цих системах особливостей атомів РЗМ (умова схожості хімічної природи). Характерна особливість РЗМ – ізоморфізм. Рідкісноземельні метали є хімічними аналогами, що належить до родини лантаноїдів. Вони мають подібну будову зовнішніх електронних рівнів атомів, однотипність хімічного зв'язку, володіють дуже близькими хімічними і фізичними властивостями. Рідкісноземельні метали, як правило, не утворюють між собою сполук, що й відображають їхні подвійні діаграми стану. Утворювати сполуки можуть лише РЗМ і Ge про, що свідчить велике число бінарних германідів.

Оскільки атоми РЗМ не сильно відрізняються за значеннями електронегативностей (різниця у межах ±0,2 – ±0,4 або наближається до нуля) то ми простежили як впливає співвідношення атомних радіусів компонентів (розмірний фактор) на тип взаємодії у системах *R*–*R′*–Ge. Для взаємного заміщення атомів відмінність у величинах їхніх радіусів не повинна бути більше 10–15% по відношенню до меншого ($r(R)$-$r(R')/r(R')$). Цій умові відповідають атоми рідкісноземельних металів. Слід зазначити, що у системах Ce–{Y, La, Gd, Lu}–Ge при відносному відхиленні атомного радіусу 3 % утворюються НРТР [1]. У системах {Gd, Er}–Tm–Ge відхилення становить 1,3–4,2 %, у системах {Sm, Y, Tb}–Dy–Ge у межах 1 %–1,6 % [2].

Дві речовини можуть утворювати тверді розчини тоді, коли природа міжатомних зв'язків у них однакова (умова схожості природи міжатомних зв'язків). Структури більшості германідів РЗМ – гетеродисмічні: поряд з металічним типом зв'язку, значну роль в їхньому утворенні відіграє ковалентний зв'язок між атомами германію. Так, наприклад, ковалентні групи атомів утворюють пари у структурних типах (СТ) Sm_5Ge_4 і $Ho_{11}Ge_{10}$, зигзагоподібні ланцюги (СТ FeB та CrB), графітові сітки в СТ AlB_2, каркаси (СТ α-$ThSi_2$ та α-$GdSi_2$).

Для утворення НРТР необхідна умова ізоструктурності бінарних германідів, тобто належність їх до одного структурного типу. У системах *R–R'*–Ge, як і слід було очікувати, наявність схожих за електронною будовою атомів РЗМ приводить до утворення близьких за хімічними складами і структурою бінарних германідів. Неперервні ряди твердих розчинів зі структурою типу CrB утворюються у системах {Sm, Y}–Dy–Ge, {Gd, Er}–Tm–Ge, структурні типи Sm_5Ge_4 і Mn_5Si_3 реалізуються у системах Ce–{Y, La, Gd, Lu}–Ge, {Sm, Y}–Dy–Ge та Gd–Tm–Ge, тип $Ho_{11}Ge_{10}$ – у системах {Gd, Er}–Tm–Ge та Y–Dy–Ge. Бінарні дигерманіди РЗМ кристалізуються у структурних типах α-$ThSi_2$, α-$GdSi_2$, $DyGe_{1,85}$, $ZrSi_2$ та $TbGe_2$, які зв'язані з найпростішим структурним типом AlB_2 різними видами спорідненості, однак, на розрізах, що відповідають по складу бінарним дигерманідам НРТР утворюються лише між ізоструктурними сполуками. НРТР (СТ $TbGe_2$) утворюється у системі Tb–Dy–Ge, $DyGe_{1,85}$ – у системі Er–Tm–Ge, AlB_2 – у системах Y–Dy–Ge та {Gd, Er}–Tm–Ge. У потрійних системах Ce–{Y, Gd}–Ge утворені НРТР (СТ α-$ThSi_2$) мають доволі широкі області гомогенності та є твердими розчинами заміщення і віднімання. У системі Ce–La–Ge спостерігаємо концентраційний перехід від СТ α-$ThSi_2$ до α-$GdSi_2$ через двофазну область.

Відсутність ізоструктурності сполук спричиняє утворення обмежених твердих розчинів заміщення різної протяжності, а посилення кристалохімічних відмінностей між компонентами приводить до утворення тернарних сполук. Отже, можна прогнозувати імовірність утворення НРТР та тернарних сполук у ще недосліджених потрійних системах двох різних РЗМ та германію [4].

Список використаних джерел

1. Bodak O.I. Peculiarities of the interaction of the components in the system of two rare earth metals and germanium/ O. I. Bodak, Z. M. Shpyrka, I. R. Mokra // J. Alloys Compd. 1997. – N 247. – P. 217-222.
2. Шпирка З. Дослідження перетинів $DyGe_2$-RGe_2, де *R*-Y, Gd, Tb, Ho, Er, Tm та Lu при 600°C / З. Шпирка, Л. Драб // Вісн. Львів. ун–ту. Сер. хім. – Вип. 49. – 2008. – С.98-102.
3. Шпирка З. Структурні особливості тернарних германідів на перерізах RGe_2 – $R'Ge_2$ / З. Шпирка // XVIII конф. неорг. хім. Харків. – 2011. – С. 210.
4. Шпирка З. М. Фазові рівноваги, кристалічна структура і фізичні властивості сполук в потрійних системах {Y,La,Gd,Lu}–Ce–Ge та {Y,Ce,Nd,Dy}–Sc–Ge. / З. Шпирка // Автореф. Дис. канд. хім. наук. Львів. – 1990. – 17 с.

УДК 546.682:548.736.4

СИСТЕМА $GdNiIn_{2-x}Ga_x$ (x = 0-2)

студ. Горяча М., доц. Ничипорук Г., Муць І., доц. Заремба В.
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна
e-mail: goryacha_muroslava@ukr.net

Рентгенівським фазовим та EDX аналізами у повному концентраційному інтервалі досліджено взаємодію компонентів у системі $GdNiIn_{2-x}Ga_x$ (x = 0-2) при 870 K.

Зразки для досліджень синтезовано електродуговою плавкою металів високої чистоти з подальшим гомогенізуючим відпалом при 870 K впродовж місяця. Фазовий аналіз проведено за масивами, одержаними з використанням порошкових дифрактометрів PANalytical X'Pert Pro та STOE STADI P (Cu *K*α-випромінювання). Мікроструктуру окремих зразків вивчено на скануючому електронному мікроскопі РЕММА-102-02.

За температури дослідження встановлено обмежену розчинність (до 5 ат. %) Галію у сполуці $GdNiIn_2$ та Індію у сполуці $GdNiGa_2$. Заміщення атомів Індію атомами Галію призводить до структурної трансформації з утворенням нової тетрарної сполуки з протяжною областю гомогенності в області концентрації від 7,5 до 42,5 ат. % Галію. Структури усіх трьох фаз дослідженої системи: $GdNiIn_{2,0-1,8}Ga_{0-0,2}$, $GdNiIn_{1,7-0,3}Ga_{0,3-1,7}$ та $GdNiIn_{0,2-0}Ga_{1,8-2,0}$ належать до ромбічної сингонії.

Кристалічну структуру нової тетрарної сполуки визначено методом порошку на основі аналізу масиву експериментальних даних, отриманих на автоматичному порошковому дифрактометрі Stoe Stadi P зі сплаву складу $GdNiIn_{0,75}Ga_{1,25}$ і уточнено в рамках моделі структурного типу $PrNiIn_2$ [1]: $GdNiIn_{1,05}Ga_{0,95}$ (ПГ *Cmcm*, a=0,4220(2); b=1,7168(6) c=2,0896(8) нм, R_{Bragg} = 0,099, R_F = 0,089). Структура нової сполуки характеризується статистичним розміщенням атомів Індію та Галію у трьох ПСТ: 4*c* (0 0,122(2) 1/4), 4*c* (0 0,719(2)1/4) і 8*f* (0 0,073(1) 0,050(1)), а атоми Галію повністю заповнюють положення 8*f* (0 0,601(2) 0,143(1)).

Кристалічні структури сполук, які належать до структурних типів $MgCuAl_2$ та $PrNiIn_2$, мають різну метрику та подібну будову. Структуру сполуки $GdNiIn_2$ (СТ $MgCuAl_2$) можна розглядати як укладку фрагментів центрованих пента-, тетра- та тригональних призм. Пентагональні призми з атомів Індію центровані атомами Гадолінію, з'єднуючись спільними гранями, утворюють шари вздовж напрямку *Z*. Подібна укладка різного роду призм характерна і для сполуки $GdNiIn_{1,05}Ga_{0,95}$ (СТ $PrNiIn_2$): шари центрованих пентагональних призм такі ж як у структурі $GdNiIn_2$, а тетрагональні і тригональні призми утворюють мозаїчну укладку (рис. 1: *а*, *б*). На відміну від структур сполук $GdNiIn_{1,05}Ga_{0,95}$ (СТ $PrNiIn_2$) та $GdNiIn_2$ (СТ $MgCuAl_2$) кристалічна структура сполуки $GdNiGa_2$

(СТ $NdNiGa_2$) характеризується укладкою гексагональних призм, центрованих атомами Гадолінію, та тетрагональних і тригональних призм, центрованих атомами меншого розміру (рис. 1, *в*).

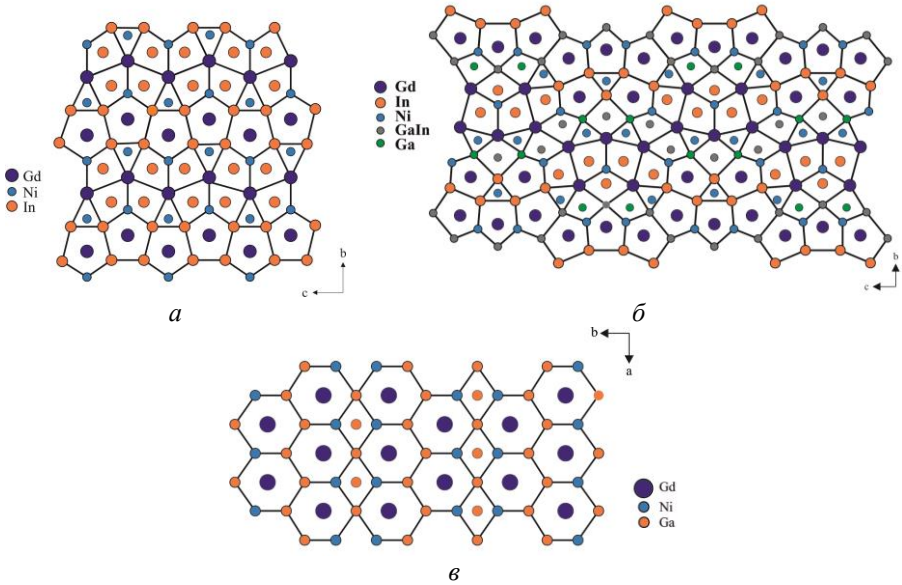


Рис. 1. Укладка фрагменів пента-, тетра-, тригональних призм у структурах сполук $GdNiIn_2$ (*а*) і $GdNiIn_{1,05}Ga_{0,95}$ (*б*) та гекса- та тетрагональних призм - у структурі сполуки $GdNiGa_2$ (*в*)

Подібний характер взаємодії простежується у раніше вивченій системі $TbNiIn_{2-x}Ga_x$ [2], яка характеризується незначною розчинністю четвертого компонента (Ga чи In) у вихідних сполуках з утворенням обмежених твердих розчинів заміщення. У системі також утворюється тетрарна сполука складу $TbNiIn_{1,63-0,65}Ga_{0,37-1,35}$ (СТ $PrNiIn_2$) із протяжною областю гомогенності. Слід зазначити, що відмінність цієї системи від дослідженої нами полягає в тому, що сполуки $TbNiIn_2$ і $TbNiGa_2$ є ізоструктурними і належать до типу $MgCuAl_2$.

Список використаних джерел

[1] Zaremba V. I., Kalychak Ya. M., Dubenskiy V. P., Hoffmann R.-D., Pöttgen R. Indides *Ln*$NiIn_2$ (*Ln* = Pr, Nd, Sm) and Ferromagnetic PrRhIn // J. of Solid St. Chem., 2000. 152. C. 560 – 567.

[2] Наконечна Г., Ничипорук Г., Галаджун Я., Муць І., Пьоттген Р., Заремба В. Дослідження розчинності Галію в сполуці $TbNiIn_2$ // 19 Укр. конф. неорг. хім. / Тези доп., 7 -11 вересня 2014р. Одеса, 2014. С. 196.

УДК 546.55’63’73’74’682

ФАЗОВІ РІВНОВАГИ У СИСТЕМАХ Sc-(Co, Ni, Cu)-In.

асп. Гулай Н., Тиванчук Ю., проф. Каличак Я.
Кафедра аналітичної хімії , Львівський національний університет імені Івана Франка, вул, Кирила і Мефодія 6, 79005 Львів, Україна
e–mail: natagulay@i.ua

Системи Sc-d-елемент-In є маловивченими; у них було досліджено лише певні склади. Систематичне вивчення взаємодії компонентів у цих системах з метою встановлення фазових рівноваг важливе не лише з теоретичної точки зору, а й з практичної, оскільки дозволить виявити нові сполуки з потенційно цікавими фізичними властивостями.

Під час дослідження систем Sc-(Co, Ni, Cu)-In співвідношення складових компонентів у зразках вибирали як з метою пошуку ізоструктурних сполук до відомих структурних типів, так і для підтвердження можливих гетерофазних полів. Зразки сплавлялися в електродуговій печі з мідним водоохолоджуваним подом і вольфрамовим електродом в атмосфері очищеного аргону під тиском $0{,}5\times10^5$ Па. Для гомогенізації зразки запаювали у вакуумовані до залишкового тиску $1\cdot10^{-3}$ Па кварцеві ампули і відпалювали при 600ºС протягом двох місяців у муфельних печах типу СНОЛ.

Рентгенівський фазовий аналіз полікристалічних зразків проводився за дифрактограмами, одержаними з допомогою дифрактометрів ДРОН-3 (CuKα-випромінювання, кроковий режим зйомки, крок 0,05°), STOE STADI P (CuKα-випромінювання, кроковий режим зйомки, крок 0.015°) та PANanalytical X’Pert (CuKα-випромінювання, кроковий режим зйомки, крок 0,03°).

У системі Sc-Co-In підтверджено існування сполуки Sc_6Co_2In (структурний тип Gd_6Co_2Ga) [1] та виявлено вісім нових сполук: $Sc_3Co_2In_4$ (структурний тип $Lu_3Co_{2-x}In_4$), $Sc_{10}Co_9In_{20}$ (структурний тип $Ho_{10}Ni_9In_{20}$) [2], $Sc_{11}Co_4In_9$ (структурний тип $Nd_{11}Pd_4In_9$), $Sc_5Co_2In_4$ (структурний тип $Lu_5Ni_2In_4$) [3], Sc_2CoIn (тетрагональна структура власного типу, просторова група *P*4/*mmm*), $Sc_{100}Co_{25}In_7$ (, структурний тип $Sc_{50}Rh_{13}In_3$) [4], $Sc_{14}Co_3In_3$ (метод порошку, структурний тип $Gd_{14}Co_3In_3$), $ScCo_4In$ (метод порошку структурний тип $MgSnCu_4$). Також у системі було виявлено існування твердого розчину на основі $ScCo_2$ складу $Sc_{1-x}Co_2In_x$, який досліджено методами монокристалу та порошку (x=0–0,26, структурний тип $MgCu_2$, просторова група *Fd*-3*m*) [5].

У системі Sc-Ni-In було підтверджено існування семи відомих сполук, а саме: $ScNi_2In$ (структурний тип $MnCu_2Al$) [6], Sc_2Ni_2In (структурний тип U_3Si_2) [7], $ScNi_4In$ (структурний тип $MgCu_4Sn$) [8], $Sc_5Ni_2In_4$ (структурний тип $Lu_5Ni_2In_4$) [9], $Sc_{10}Ni_9In_{19.44}$ (структурний тип $Ho_{10}Ni_9In_{20}$) [1], $Sc_3Ni_{2.11}In_{3.61}$ та $Sc_3Ni_{2.14}In_{3.76}$ (структурний тип $Lu_3Co_{1.97}In_4$) [10], $Sc_{13.89}Ni_{3.66}In_{2.45}$ (структурний тип $Lu_{14}Co_2In_3$) [11].

При дослідженні системи Sc-Cu-In було виявлено три відомі сполуки: Sc_2Cu_2In (структурний тип U_2Pt_2Sn) [12], $ScCu_2In$ (структурний тип $MnCu_2Al$) [6], $ScCu_4In$ (структурний тип $MgCu_4Sn$) [1]. Також у результаті фазового аналізу нами було виявлено раніше невідому фазу Sc_5CuIn_3, ізоструктурну до Hf_5CuSn_3.

[1] New Indides $Sc_6Co_{2,18}In_{0,82}$, $Sc_{10}Ni_9In_{19,44}$ and $ScCu_4In$ – Synthesis, Structure, and Crystal Chemistry / R.I. Zaremba, Ya.M. Kalychak, U.Ch. Rodewald et al. // Z. Natuforshung. – 2006. – Vol. 61b. – P. 942–948.

[2] Гулай Н. Нові представники структурних типів $Lu_3Co_{2-x}In_4$ та $Ho_{10}Ni_9In_{19}$ у системі Sc-Co-In / Н. Гулай, Ю. Тиванчук, Я. Каличак // Вісник. Львів. у-ту, сер. хім. – 2017. – Вип. 58, Ч. 1. – С.63-68.

[3] The crystal structure of $Sc_5Co_2In_4$ / Yu. Tyvanchuk, N. Gulay, I. Bigun, Ya. Galadzhun, Ya. Kalychak // Z. Natuforshung. – 2015. – Vol. 70b. – P. 283–287.

[4] Crystal structure and magnetic properties of new compounds Sc_2CoIn and $Sc_{100}Co_{25}In_7$ / N. L. Gulay, Yu. B. Tyvanchuk, Ya. M. Kalychak, D. Kaczorowski // J. Alloys Compd. – 2018. – Vol. 731. – P. 222–228.

[5] Crystal structure of the $Sc_{1-x}Co_2In_x$ (x=0–0.26) solid solution / N. L. Gulay, M. Daszkiewicz, Yu. B. Tyvanchuk, Ya. M. Kalychak // Visn. Lviv univ., Chem. – 2018. –Vol. 58, Part 1. – P.63-68.

[6] Dwight A. E. ScT_2X and LnT_2X compounds with the $MnCu_2Al$-type structure / A. E. Dwight, C. W. Kimball // Journal of the Less-Common Metals. – 1987. – Vol. 127. – P. 179–182.

[7] Pöttgen R. Structure, chemical bonding, and properties of Sc_2Ni_2In / R. Pöttgen, R. Dronskowski // Z. Anorg. Allg. Chem. – 1996. – Vol. 622. – P. 355–360.

[8] Заремба В. І. Кристалическая структура соединений РЗМNi_4In / В. І. Заремба, В. М. Бараняк, Я. М. Калычак // Вестн. Львов. у-та, сер. хим. – 1986. – Vol. 25. – P. 18–19.

[9] Synthesis and Structure of the Scandium-Rich Indides $Sc_5Ni_2In_4$ and $Sc_5Rh_2In_4$ / M. Lukachuk, B. Heying, U. Ch. Rodewald, R. Pöttgen // Heteroatom Chemistry. – 2005. – Vol. 16. – P. 364–368.

[10] Synthesis and Structural Relationship of the Ternary Indides $Sc_3Ni_{2.10(5)}In_{3.60(5)}$, $Sc_3Ni_{2.14(2)}In_{3.76(2)}$, $ScPd_{0.981(2)}In$ and $Sc_3Rh_{1.594(9)}In_4$ / M. Lukachuk, V. Zaremba, R.-D. Hoffmann, R. Pöttgen // Z. Naturforsh. – 2004. – Vol. 59b. – P. 182–189.

[11], New rare earth metal-rich indides $RE_{14}Ni_3In_3$ (RE = Sc, Y, Gd–Tm, Lu) – synthesis and crystal chemistry / M. Lukachuk, Ya. Galadzhun, R. Zaremba et al. // J. Solid State Chem. – 2005. – Vol. 178. – P. 2724–2733.

[12] Hulliger F. On tetragonal M_2Au_2In and related compounds // J. Alloys Compd. – 1996. – Vol. 232. – P. 160–164.

УДК 621. 315. 592

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ ГРУПИ $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$

ст.викл. Замуруєва О.В., студ. Конотопчик І.О., студ. Мирончук Д.Б., студ. Шигорін О.П.

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
вул. Потапова 9, м.Луцьк,
zamurueva.o@gmail.com

Сполука $TlInSe_2$ належить до групи напівпровідників із ланцюговою кристалічною структурою і є структурним аналогом селеніду талію, у якому іони тривалентного Tl^{3+} замінені іонами тривалентного індію. Решітка $TlInSe_2$ за аналогією TlSe має просторову групу симетрії D_{4h}^{18} (I4/mcm). Іони тривалентного індію оточені чотирма іонами селену й утворюють від'ємно заряджені ланцюги (In^{3+} – Se^{2-}) вздовж тетрагональної осі z. Ці ланцюги взаємодіють з одновалентними іонами талію. Для визначення спектральних залежностей оптичних констант розраховано зонну структуру у сполук групи $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ та розраховані ефективні маси носіїв заряду [1] (рис. 1).

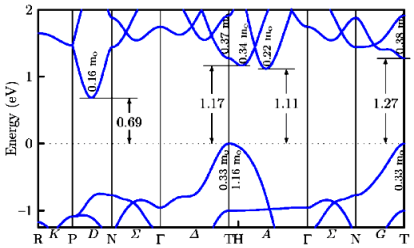


Рис. 1. Значення енергетичної щілини й ефективні маси для зон уздовж різних напрямків у кристалах TlSe

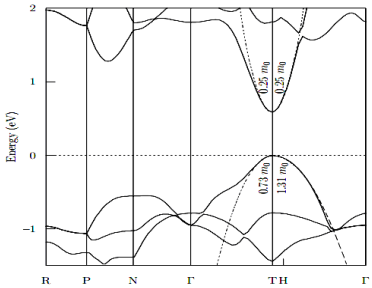


Рис. 2. Значення енергетичної щілини та ефективні маси для зон уздовж різних напрямків для $TlInSe_2$

З рис. 2 видно, що стеля валентної зони й дно зони провідності перебувають у точці симетрії *T*. Визначена ширина забороненої зони в прямозонному напівпровідникові становить 0,6 еВ [1].

У роботі [2] визначено ширину енергетичної щілини при прямих і непрямих оптичних переходах, яка становить 1,35 еВ і 1,07 еВ.

Оптичне поглинання складних з'єднань $TlBX_2$ ($TlGaS_2$, $TlGaSe_2$, і $TlInS_2$) досить детально дослідили автори робіт [3, 4]. Однак експериментальні дані, отримані щодо непрямих і прямих оптичних переходах, на сьогодні суперечливі та спірні через відмінності в якості й товщинах зразків, а також у методах вимірювання, а саме: краї фундаментального поглинання, як описують автори [3, 4], утворюються непрямими й прямими переходами з енергіями за кімнатної

температури, яка змінюється на великих діапазонах. Варто зазначити, що більшість вимірів проводили на зразках із товщинами в діапазоні 40 – 420 мкм.

Зі співвідношення трьох зазначених з'єднань випливає, що при переході від телуриду до сульфіду за певної температури величина власної провідності зменшується. Ширина забороненої зони зменшується в такій послідовності: $TlInS_2$ – 2,2 еВ; $TlInSe_2$ – 1,12 еВ; $TlInTe_2$ – 0,62 еВ. Рухливість носіїв струму зростає в цих сполуках відповідно до тієї ж послідовності.

Електричні властивості сполук типу $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ вивчені у роботі [4]. У [5] встановлено, що в кристалах $TlInSe_2$ і $TlInTe_2$ за температур $T^{\parallel}_{cr}$=391 К, $T^{\perp}_{cr}$=388 К, і $T^{\parallel}_{cr}$=388 К, $T^{\perp}_{cr}$=333 К, відповідно, переважає електронний складник у провідності. З подальшим зростанням температури спостерігається стрибкоподібне зростання провідності, що пов'язано зі зростанням іонного складника провідності, який зумовлений розупорядкуванням катіонної підґратки Tl^+. У вказаному діапазоні температур іонна провідність кристалу переважає над електронним складником.

Список використаних джерел

1. Абдуллаев Ф. Н. Анизотропия проводимости и локализации носителей заряда в монокристаллах $TlInTe_2$ / Ф. Н. Абдуллаев, Т. Г. Керимова, Н. А. Абдуллаев // Физика твердого тела. – 2005. – Т. 47, № 7. – С. 1180–1183.
2. Duman S. Urbach Tail and Optical Absorption in Layered Semiconductor $TlGaSe_{2(1-x)}S_{2x}$ Single Crystals / S. Duman, B. Gurbulak // Phys. Scr. – 2005. – Vol. 72, № 1. – P. 79–88.
3. Samedov S. R. Energy Spectra of the Local States in the Forbidden Gap of Monoclinic $TlInS_{2x}Se_{2(1-x)}$ Crystals / S. R. Samedov, O. Baykan, A. Gulubayov // Int. J. Infrared Millimeter Waves. –2004. – Vol. 25, № 5. – P. 735–747.
4. Зависимость оптических и фотоэлектрических свойств от состава твердых растворов $TlGaS_xSe_{2-x}$ / А. Э. Бахышов, А. А. Лебедев, З. Д. Халафов, М. А. Якобсон // Физика и техника полупроводников. – 1978. – Т. 12, № 3. – С. 580–585.
5. Grivickas V. Indirect Absorption Edge of $TlGaSe_2$ Crystals / V. Grivickas, V. Bikbajevas, P. Grivickas // Phys. Status Solidi B. – 2006. –Vol. 243, № 5. – P. R31–R33.

УДК 621. 315. 592

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТИПУ ПРОВІДНОСТІ СПОЛУК $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ ВІД КАТІОННОГО ЗАМІЩЕННЯ

ст.викл. Замуруєва О.В., доц. Коровицький А.М., проф. Федосов С.А. студ. Мороз В.В.

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
вул. Потапова 9, м.Луцьк,
zamurueva.o@gmail.com

Фізичні властивості й особливості росту кристалів $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ істотно залежать від типу та концентрації власних дефектів, викликаних відхиленням від стехіометрії. Це стимулювало дослідження феномену нестехоеметрії в сполуках $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ [1]. Відхилення від стехіометрії призводить до утворення точкових дефектів. У трикомпонентних сполуках дефектів більше ніж в бінарних з'єднаннях. Беручи до уваги лише найпростіші дефекти кристалічної ґратки, а саме: вакансії, міжвузлові атоми та атоми заміщення можна очікувати 12 можливих типів дефектів у трикомпонентних сполуках $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$: V_A, V_B, V_C, A_i, B_i, C_i, A_B, A_C, B_A, B_C, C_A, C_B, які можуть утворювати електрично-активнні енергетичні рівні.

Електронна структура власних дефектів у сполуках групи $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ в значною мірою визначається співвідношенням іонних і ковалентних компонент хімічного зв'язку. Кристали типу $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ мають проміжний іонно-ковалентний характер хімічного зв'язку, тобто для розгляду електронної конфігурації дефектів можна використовувати або іонну, або ковалентну модель [1]. У межах цих моделей можна прогнозувати електричну активність дефектів певного типу. Різниця полягає в такому: в іонній моделі аніонні вакансії – донори, а в ковалентній моделі вакансії халькогенів можуть бути і донорами, і акцепторами.

У роботах із дослідження кристалів групи $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ було встановлено, що ці сполуки можуть проявляти різні типи провідності [2, 3]. Для деяких сполук тип провідності може змінюватися залежно від умов відпалу або характеру відпалу від стехіометрії ($CuInSe_2$, $CuInS_2$), для інших сполук тип провідності залишається незмінним незалежно від умов вирощування ($CuGaTe_2$, $CuInTe_2$).

Аналіз результатів, наведений у табл. 1, показує, що в той час, як при зміні S → Se → Te ймовірність прояву *p*-типу провідності зростає, при зміні Cu → Ag і Al → Ga → In ця ймовірність зменшується.

Наприклад, кристали $CuInS_2$ і $CuInSe_2$ мають *n* і *p*-тип провідності, то $CuInTe_2$ – лише *p*-тип провідності. Фактично всі сполуки з Te мають p-тип провідності, *n*-тип виникає лише в сполуках з Ag. Спостережувану особливість можна пояснити, урахувавши утворення вакансій. При збільшенні атомного номера маси й радіуса елемента енергія утворення вакансії на місці атома цього елемента зростає. Саме тому при заміщенні Cu(29) → Ag(47) імовірність утворення вакансій повинна зменшуватись і формування аніонних вакансій

може виявитись більш енергетично вигідним. Тоді сполука буде мати n-тип провідності. Вочевидь унаслідок викладеного вище сполуки $AgInS_2$, $AgInSe_2$, $AgAlS_2$, $AgAlSe_2$ мають *n*-тип провідності. Однак енергія утворення аніонної вакансії досить висока (у випадку Te), тому матеріал може мати *p*-тип провідності ($AgGaTe_2$), через утворення V_{III} вакансій (катіонні вакансії).

Таблиця 1. Тип провідності в сполуках $A^IB^{III}C_2^{VI}$ [1]

Сполука	Тип провідності	Сполука	Тип провідності	Сполука	Тип провідності
$CuAlS_2$	*p*	$CuGaS_2$	*p*	$CuInS_2$	*p – n*
$CuAlSe_2$	*p*	$CuGaSe_2$	*p*	$CuInSe_2$	*p – n*
$CuAlTe_2$	*p*	$CuGaTe_2$	*p*	$CuInTe_2$	*p*
$AgAlS_2$	*n*	$AgGaS_2$	*p – n*	$AgInS_2$	*n*
$AgAlSe_2$	*n*	$AgGaSe_2$	*p – n*	$AgInSe_2$	*n*
$AgAlTe_2$	*p*	$AgGaTe_2$	*p*	$AgInTe_2$	*p – n*

Відсутність експериментальних даних щодо визначення енергії нестехіометричних дефектоутворень і суперечливих теоретичних оцінок не дають змоги на їх основі прогнозувати тип провідності. Однак дані про тип провідності дають підстави побічно судити про співвідношення енергій формування власних дефектів у сполуках $A^IB^{III}C_2^{VI}$.

Дефекти в сполуках створюють певні енергетичні рівні. Визначення їх позицій та ідентифікація це дві основні проблеми, які мають бути розв’язані. Положення рівня енергії дефекту, зазвичай, визначають використовуючи електричні вимірювання, фотолюмінесценцію, оптичне поглинання тощо. Аналіз робіт із визначення енергетичних рівнів дефектів показує, що дані про позиції й кількість виявлених рівнів, а також їх ідентифікація, зроблена різними авторами, не збігається. Причини розбіжності: використання різних методів дослідження чи вирощування та відмінності в типі 1 концентрації дефектів в досліджуваних зразках.

Список використаних джерел

1. Shay J. L. Electronic Structure of I-III-VI_2 Semiconductors / J. L. Shay, J. H. Wernick, B. R. Pamplin // International Series of Monographs in The Science of The Solid State – Vol. 7 : Ternary Chalcopyrite Semiconductors. Growth, Electronic Properties and Applications. – Oxford : Pergomon Press, 1975. –P. 110–128.
2. Mamedov F. I. Determination of Trapping Levels in $AgGaSe_2$ Single Crystals by the Thermal Cleaning Method / F. I. Mamedov, S. M. Zarbalieva, E. K. Gurbanova // Technical Physics. – 2014. – Vol. 59, № 12. – P. 1885–1887.
3. Rogacheva E. I. Nonstoichiometry in the I-III-VI_2 Compounds / E. I. Rogacheva // Inst. Phys. Conf. Ser. № 152. – 1998. – P. 1–14.

УДК 546.682:548.736.4

СИСТЕМИ RCuIn$_{1-x}$Ga$_x$ (R = La, Ce) ПРИ 870 К

асп. Н. Заремба, доц. Г. Ничипорук, Р. Серкіз, проф. В. Павлюк
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна
e-mail: nazar.zaremba@gmail.com

Методами рентгенівського фазового та EDX аналізів (порошковий дифрактометр ДРОН 2.0М, Fe K_α-випромінювання; електронний скануючий мікроскоп РЕММА-102-02) досліджено взаємодію компонентів у системах RCuIn$_{1-x}$Ga$_x$ (R = La, Ce) у повному концентраційному інтервалі при 870 К.

Зразки синтезовано електродуговою плавкою металів високої чистоти та гомогенізовано при 870 К впродовж місяця.

Встановлено розчинність четвертого компоненту (Ga чи In) у вихідних сполуках еквіатомного складу з утворенням обмежених твердих розчинів заміщення різної протяжності.

Галій незначно розчиняється (до 10 ат. %) у вихідних сполуках RCuIn із структурою типу ZrNiAl (ПГ *P*-62*m)* з утворенням твердих розчинів заміщення складів: LaCuIn$_{1-0,7}$Ga$_{0-0,3}$ (a = 0,755–0,7529(1) нм, c = 0,428–0,4296(1) нм) і CeCuIn$_{1-0,7}$Ga$_{0-0,3}$ (a = 0,749–0,7444(2) нм, c = 0,424–0,4279(1) нм) відповідно. З іншого боку, індій також частково (до 20 ат. %) розчиняється у фазах еквіатомного складу RCuGa зі структурою типу KHg$_2$ (ПГ *Imma*) формуючи обмежені тверді розчини складів: LaCuGa$_{1-0,4}$In$_{0-0,6}$ (a = 0,4544(1)–0,4637(3) нм, b = 0,7499(2)–0,7601(5) нм, c = 0,7576(1)–0,7693(5) нм) та CeCuGa$_{1-0,5}$In$_{0-0,5}$ (a = 0,4508(1)–0,4579(1) нм, b = 0,7401(2)–0,7495(3) нм, c = 0,7520(2)–0,7622(2) нм), які характеризуються зростанням параметрів елементарної комірки зі збільшенням вмісту індію, що добре узгоджується з розмірами атомів Галію та Індію. Зразки обох систем у всій області концентрацій *p*-елемента містять у рівновазі фазу складу RCu$_2$In із структурою типу MnCu$_2$Al, що добре корелює з результатами взаємодії компонентів у системах R–Cu–In (R = La, Ce) [1]. Подібні закономірності у характері взаємодії компонентів та зміні параметрів елементарних комірок простежуються і в системах RCuIn$_{1-x}$Ga$_x$ (R = Y, Gd) [2, 3].

Список використаних джерел

1. Kalychak Ya. M., Zaremba V. I., Pöttgen R. et al. Rare Earth–Transition Metal–Indides // In: K.A. Gschneidner, Jr., J.-C. Bünzli, V.K. Pecharsky (Eds.), Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Elsevier, Amsterdam. 2005. 34. P. 1–133.
2. М. Горяча, Л. Зінько, Г. Ничипорук, Р. Серкіз, В. Заремба Системи GdTIn$_{1-x}M_x$ (T = Ni, Cu; M = Al, Ga; 0<x<1) // Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. 2017. Вип. 58. Ч.1. С. 77–85.
3. Горяча М., Рінило Н., Ничипорук Г., Пьоттген Р., Заремба В. Дослідження систем YCuIn$_{1-x}M_x$ (M = Al, Ga) // 20 Укр. конф. неорг. хім. / Тези доп., 17-20 вересня 2018р. м. Дніпро, 2018. С. 97.

УДК 546.665’98’181.1

НОВІ ТЕРНАРНІ ФОСФІДИ ГОЛЬМІЮ ТА ПАЛАДІЮ

студ. Здоров Т.П., доц. Жак О.В.
Кафедра аналітичної хімії,
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна,
e-mail: tanya.zdorov@gmail.com

На сучасному етапі розвитку науки важливого значення набуло створення та використання нових високоефективних матеріалів із заданими властивостями. Для розв’язання цієї проблеми перспективними є інтерметалічні матеріали, а також такі складні сплави, які, крім типово металевих компонентів, містять металоїди, зокрема фосфор або арсен. Особливе місце серед них займають сплави на основі рідкісноземельних металів (РЗМ) – це постійні магніти, каталізатори деяких хімічних процесів, матеріали, які застосовують у роботі лазерів, термоелектричних перетворювачів, атомних батарей, ядерних реакторів тощо.

Теоретичною основою для пошуку і створення нових матеріалів є дослідження діаграм стану складних систем, які відображають характер взаємодії компонентів, вивчення кристалічної структури синтезованих сполук, умов їхнього утворення, а також фізичних властивостей, зокрема, магнітних та електричних.

Сьогодні потрійні системи, які містять рідкісноземельний метал, паладій та фосфор викликають зацікавлення дослідників з погляду пошуку нових сполук, проте систематично досліджені незначно. Сьогодні ізотермічні перерізи діаграм стану побудовано тільки для двох систем: Er–Pd–P [1] та Yb–Pd–P [2]. Решту систем РЗМ–Pd–P, де РЗМ – рідкісноземельний метал ітрієвої підгрупи, вивчали лише з метою синтезу окремих тернарних сполук, дослідження їхніх кристалічних структур і деяких фізичних властивостей. В літературі переважно наведено відомості про кристалічну структуру та деякі фізичні властивості окремих тернарних фосфідів визначених складів. Загалом, системи РЗМ–Pd–P характеризуються утворенням помітної кількості тернарних фаз, зокрема, у системі Er–Pd–P виявлено сім тернарних сполук, для п’яти з яких вивчено кристалічну структуру [1], а в системі Yb–Pd–P – шість, причому кристалічну структуру визначено для усіх сполук [2].

Особливістю будови діаграм стану потрійних систем РЗМ–*M*–P, де *M* – 3*d*- або 4*d*-перехідний метал, є те, що монофосфід РЗМ перебуває у рівновазі із більшістю бінарних і тернарних сполук. Типовим для систем РЗМ–*M*–P є також схильність до утворення тернарних сполук в області 0,20–0,40 мол. част. фосфору та 0–0,33 мол. част. РЗМ [3].

Слід також зазначити, що для багатьох відомих тернарних сполук систем РЗМ–Pd–P не проведено повного дослідження кристалічної структури

сполук, в літературі наведено лише дані про їхню просторову групу симетрії (ПГ) та величини параметрів елементарних комірок, для низки сполук відомі лише приблизні склади, визначені за результатами дослідження зразків методом рентгенівської спектроскопії.

Зокрема, у системі Ho–Pd–P сьогодні відомо про утворення лише трьох тернарних фосфідів:

$Ho_3Pd_{20}P_6$: ПГ *Fm*-3*m;* структурний тип (СТ) $Cr_{23}C_6$, *a* = 1,2113 нм [2];

$HoPd_2P_2$: ПГ *I4/mmm;* СТ $BaAl_4$, *a* = 0,4022 нм, *c* = 0,9833 нм [4];

HoPdP: ПГ *Pnma*; СТ TiNiSi; *a* = 0,8530 нм, *b* = 0,9830 нм, *c* = 0,7702 нм [5].

Саме тому метою нашої роботи був синтез трикомпонентних сплавів системи Ho–Pd–P і вивчення їхнього фазового складу рентгенівськими методами аналізу.

Для приготування зразків використовували компоненти такої чистоти (масові частки основного компоненту): стружка гольмію (0,9995), порошки паладію (0,9999) та червоного фосфору (0,9998). Стружку гольмію перемішували з порошками паладію та фосфору, взятими у відповідних співвідношеннях, і пресували у сталевій пресформі під тиском ~5 МПа. Спресовані таблетки поміщали у вакуумовані кварцові ампули, запаювали і спікали у муфельній печі, поступово нагріваючи до 600 ^{o}C, витримували за цієї температури 100 год, після чого повільно охолоджували разом з пічкою.

Спечені зразки повторно перетирали і спресовували, знову поміщали у вакуумовані кварцові ампули і проводили гомогенізувальне відпалювання зразків при 600 ^{o}C в муфельній печі не менше 700–800 год з подальшим гартуванням ампул у холодній воді, не розбиваючи їх.

Рентгенівський фазовий та структурний аналіз виконували за дифрактограмами, отриманими на порошковому дифрактометрі STOE STADI P (Cu $K_{\alpha 1}$-випромінювання, інтервал кутів $6 \le 2\theta \le 115^{o}$ 2θ). Усі обчислення проведено за допомогою комплексу програм WinCSD [6].

У синтезованих зразках вперше виявлено утворення трьох нових тернарних фосфідів гольмію і паладію та рентгеноструктурним методом порошку вивчено їхні кристалічні структури:

$HoPd_4P_2$: просторова група *Pnma*, структурний тип $CePd_4P_2$,
a = 0,7358(1) нм, *b* = 0,4091(6) нм , *c* = 1,4893(2) нм.

$Ho_3Pd_7P_4$: просторова група *C2/m*, структурний тип $Er_3Pd_7P_4$,
a = 1,5195(2) нм, *b* = 0,3951(1) нм, *c* = 0,9345(3) нм.

$Ho_5Pd_{19}P_{12}$: просторова група *P*-62*m*, структурний тип $Ho_5Ni_{19}P_{12}$,
a = 1,3142(8) нм, *c* = 0,3985(6) нм.

З раніше відомих тернарних фосфідів гольмію і паладію у синтезованих зразках підтверджено фазу $Ho_3Pd_{20}P_6$ з кубічною структурою типу $Cr_{23}C_6$.

Детальний аналіз брегівських кутів та інтенсивностей спостережених відбить на дифрактограмі зразка вихідного складу $HoPd_4P_2$ засвідчив про утворення нового, раніше невідомого фосфіду гольмію та паладію складу $HoPd_4P_2$, який, найімовірніше, є ізоструктурним з раніше відомими фосфідами

складу $LnPd_4P_2$ (Ln = Gd, Tb) та ромбічною структурою типу $CePd_4P_2$ [2]. З аналогічних міркувань другій новій фазі приписано приблизний склад $Ho_3Pd_7P_4$ та, ймовірно, моноклінну структуру типу $Er_3Pd_7P_4$.

Дифрактограму третьої нової фази проіндексували у гексагональній сингонії з вищенаведеними параметрами елементарної комірки. Аналіз літературних даних про кристалічні структури тернарних фосфідів РЗМ та нікелю чи кобальту [3] засвідчив, що подібні величини гексагональної комірки притаманні сполукам, які мають структури близько споріднених типів $Ho_5Ni_{19}P_{12}$ та $Sc_5Co_{19}P_{12}$ (просторова група P-62m). Розрахунок теоретичної дифрактограми для сполуки приблизного складу $Ho_5Pd_{19}P_{12}$ у моделі структурного типу $Ho_5Ni_{19}P_{12}$ повністю підтвердив висловлене припущення про їхню ізоструктурність.

Отже, у синтезованих зразках за температури дослідження 600 ^oC, вперше виявлено утворення трьох нових тернарних фосфідів гольмію і паладію, яким приписано склади $HoPd_4P_2$, $Ho_3Pd_7P_4$ і $Ho_5Pd_{19}P_{12}$, та висловлено припущення про належність їхніх кристалічних структур до типів $CePd_4P_2$, $Er_3Pd_7P_4$ та $Ho_5Ni_{19}P_{12}$, відповідно.

Список використаних джерел

[1] Зелінська М. В. Синтез, кристалічна структура та властивості тернарних пніктидів у системах Er–{Ni, Pd}–{P, As, Sb} та споріднених з ними / М. В. Зелінська // Автореф. дис. ... канд. хім. наук. Львів, 2007. – 20 с.

[2] Будник С. Л. Фазові рівноваги та кристалічна структура сполук в системах {Ce, Yb}– {Co, Ni} – P та деяких споріднених / С. Л. Будник // Автореф. канд. дис. …, Львів– 2002. – 18 с.

[3] Kuz'ma Yu. B. Phosphides / Yu. B. Kuz'ma, S. I. Chykhrij // Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. – Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1996. – Vol. 23. – P. 285–434.

[4] Jeitschko W. Ternary alkaline-earth and rare-earth metal palladium phosphides with $ThCr_2Si_2$ type and $La_6Ni_6P_{17}$-type structures / W. Jeitschko, W. K. Hofmann // J. Less-Common Met. – 1983. – Vol. 95(2). – P. 317–322.

[5] Johrendt D. Preparation and crystal structure of SEPdP compounds (SE = rare-earth element) / D. Johrendt, A. Mewis // Z. Naturforsch. B. – 1990. – Vol. 45, No 9. – P. 1262-1266.

[6] Aksel'rud L. G. CSD97 – Universal program package for single crystal and powder data treatment (Version N 7) / L. G. Aksel'rud, Yu. N. Grin,V. K. Pecharsky, P. Yu. Zavalij. – P. 1997.

УДК551.576

CRYSTAL STRUCTURE OF THE EXTREME COMPOSITION OF THE Ni_2Si-Ga SOLID SOLUTION

[1] st. **Khomiuk A.V.**, [2]**Pavlenko A.O.**, [3] res. as. LyutyyP.Ya.,
[1] ass.prof. Trostianchyn A.M.
[1]*LvivPolytechnicNationalUniversity, BanderaStr. 12, UA-79013 Lviv, Ukraine,*
[2]*Department of Chemistry, Ivan Franko National University of Lviv,Kyryla i Mefodiya str. 6, Lviv 79005, UKRAINE*
[3,1]*G.V. Karpenko Physico-Mechanical Instituteofthe NAS ofUkraine,NaukovaStr., 5, UA-79601 Lviv, Ukraine,*

According to [1] formation of the extensive solid solution of the substitution type Ni-Ga-Si system occur. Due to the fact that Ni_2Si base composites are interesting as potential nanowires materials with low resistivity [2], Ni_2Si base solid solution attracts our attention. During IV-valence Si replacement by III-valence Ga valence electron concentration can be controlled what can influence significantly physical properties.

The sample of nominal composition $Ni_{67}Ga_{20}Si_{13}$ (which corresponds to the extreme composition of the solid solution) was synthesized by arc direct melting of initial components with the purity higher than 99.98% under argon atmosphere and treated according to the literature data. Refinement of profile and structural parameters as well as the calculations of interatomic distances were performed with CSD [3] program package.

Crystal structure of the this compounds was successfully refined by the Rietveld methodusing the X-ray powder pattern of the corresponding samples collected on the Guinier Huber G 670 diffractometer ($CuK\alpha_1$ radiation). After powder data indexing only the phase with β-Co_2Si structure type was found, no additional peaks were found. Structural and profile parameters were refined by Rietveld method and summarized in Table.-3.

Table.1 Structural data and crystallographic data recording/refinement conditions for $Ni_2Ga_{0.4}Si_{0.6}$

Refinement composition	$Ni_{66.67}Ga_{20.19}Si_{13.15}$
Structure type	β-Co_2Si
Spacegroup	*Pnam*
Pearson symbol	*oP*12
Cell par. *a*, Å *b*, Å *c*, Å	4.986(7) 7.203(1) 3.765(6)
Cell volume (Å^3)	135.259(6)

Z	4
Calculateddensity (g/cm^3)	7.9713(4)
U; V; W	0.06662; -0.23000; 0.03672
Asymmetry parameter	0.0008(4)
R_I, R_p, R_{wp}	0.0706; 0.0842; 0.0937

Table.2 Atomic coordinates and isotropic displacements parameters of $Ni_2Ga_{0.4}Si_{0.6}$

Atom	Site	*x*	*y*	*z*	B_{iso}, Å^2
Ni1	4*c*	0.0486(1)	0.21551(7)	1/4	0.66(2)
Ni2	4*c*	0.1699(1)	0.56273(9)	1/4	0.41(2)
X*	4*c*	0.7008(2)	0.61029(10)	1/4	0.98(2)

*Mixing

X^* = 0.394(3)Ga + 0.606(3)Si

Table. 3 Interatomic distances in $Ni_2Ga_{0.4}Si_{0.6}$) in Å (*X* - Ga/Si atoms)

Atoms		Distance	Atoms		Distance
Ni1	Ni1	2.6855(9)	Ni2	*X*	2.3763(8)
	Ni2	2.573(1)		*X*	2.454(1)
	Ni2	2.752(1)		*X*	2.5992(9)
	X	2.3451(9)		*X*	3.323(1)
	X	2.371(1)	X	*X*	3.148(1)
	Ni2	2.5993(9)		*X*	3.221(1)
	Ni2	2.6961(9)			
	X	2.374(2)			
	X	2.660(1)			

Graphical representation of the Rietveld refinement ofthe powder data of $Ni_2Ga_{0.4}Si_{0.6}$ (observed X-ray powder diffraction pattern is represented by the dotted line, calculated and difference (bottom) by the solid lines,vertical bars indicate the Bragg positions).

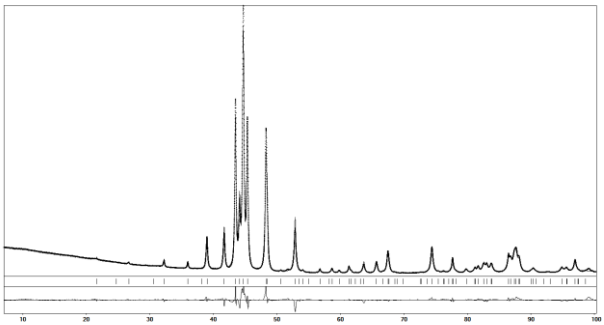


Fig.1Graphical representation of full matrix full profile Rietveld refinement.

Crystal structure of Ni_2Ga, $Ni_2Ga_{0.4}Si_{0.6}$ and Ni_2Si were analyzedcrystallographically. Structure relationship between them is represented in Fig.. Analyses of the coordination polyhedron of the Ni atoms during $Ni_2Ga \rightarrow Ni_2Ga_{0.4}Si_{0.6} \rightarrow Ni_2Si$ transition show the decrease of atoms number in coordination polyhedron what indicate the valence electron correlation when IV-valence Si replacement by III-valence Ga occurs.

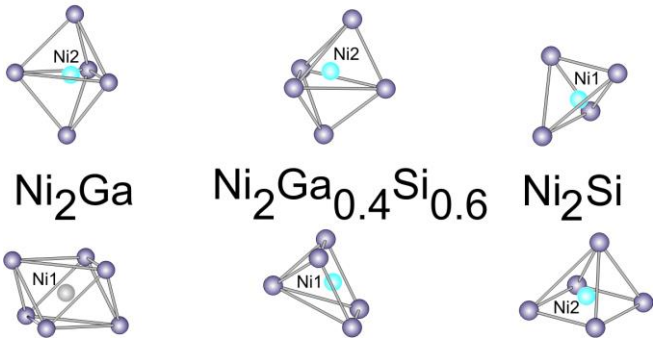


Fig. 2The coordination polyhedra of Ni atoms in Ni_2Ga, $Ni_2Ga_{0.4}Si_{0.6}$ and Ni_2Si the structure.

References:

1. Rajasekharan T., Schubert K. OntheMixturesNiGa_XSi_N, NiIn_XSi_N, NiIn_XGe_NandNiGa_XSn_N // Z. Metallkd. (1982) 73,193-197.
2. Song Y., Andrew L. Schmitt, andSongJin.Ultralong Single-Crystal Metallic Ni_2Si NanowireswithLowResistivity// NanoLett. (2007) 7(4), 965-969.
3. L. Akselrud, Yu. Grin.WinCSD: software package for crystallographic calculations (Version 4). J. Appl. Crystallogr., 2014, 47.

УДК 546:544.

ІЗОТЕРМІЧНИЙ ПЕРЕРІЗ КВАЗІПОТРІЙНОЇ СИСТЕМИ Cu_2S – In_2S_3 – CuI ПРИ 770К

асп. Козак В.С., асп. Тищенко П.В., проф. Олексеюк І.Д., доц. Іващенко І.А.
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі13, 43025 м. Луцьк, Україна
E-mail: kozakvalia11@ukr.net

Вступ

Дослідження складних систем на основі бінарних сполук, які мають практичне застосування, проводиться з метою пошуку нових напівпровідникових матеріалів. Система Cu_2S – In_2S_3 – CuI досліджувалась саме з такою метою. Відомо, що у системі Cu_2S – In_2S_3 існують дві тернарні сполуки: $CuInS_2$, $CuIn_5S_8$. Сполука $CuInS_2$ має три поліморфні модифікації: α-$CuInS_2$ існує нижче 1253К, структурний тип халькопіриту, ПГ *I-42d a= 0,5523 нм, c=1,1329 нм*, β-$CuInS_2$, 1253-1318К, структурний тип сфалериту, ПГ *F-43m, a=0,551 нм* [1] та γ-$CuInS_2$, 1318-1370К, структурний тип вюрциту, ПГ $P6_3mc$, *a*= 0,39065 нм, *c*= 0,64289 нм [2]. Сполука $CuInS_2$ володіє конгруентним типом плавлення. $CuIn_5S_8$ кристалізується в структурному типі оберненої шпінелі, ПГ *Fd3m, a=1,0685 нм* [3] та в ПГ *F-43m* [4]. Сполука $CuIn_5S_8$ утворюється за перитектичною реакцією. У системі Cu_2S – CuI утворюється сполука Cu_3SI ізоструктурна до Ag_3SI, ПГ *Im3m a*= 0,5976(4) нм та утворюється по твердофазній реакції [5]. Система In_2S_3 – CuI має сполуку $CuIn_2S_3I$, стуктурний тип дефектного сфалериту, ПГ *F-43m* [6]. Наявність трьох тернарних і однієї тетрарної сполук спонукала до дослідження вказаної системи.

Методика експерименту

Для досліджень фазових рівноваг у системі Cu_2S – In_2S_3 – CuI здійснено синтез 40 сплавів. Маса наважки становила 1 г. Синтез сплавів проводили у вакуумованих запаяних контейнерах в електричній муфельній печі з програмним управлінням технологічними процесами МП-30. Режим синтезу: нагрів до 673К із швидкістю 10 К/год, витримка 48 годин; нагрів до 923К, витримка 48 год; нагрів до 1023К, витримка 48 годин. Охолодження зі швидкість 20 К/год до 773К. Відпал протягом 300 годин і охолодження в режимі закалки в 20%-ний сольовий водний розчин.

Для встановлення фазового складу синтезованих взірців використовували теоретично розраховані порошкограми вихідних бінарних, тернарних та тетрарної сполук. Рентгенофазовий аналіз синтезованих сплавів проводили за дифрактограмами одержаними на ДРОН 4-13, CuKα-випромінювання в межах 2Θ = 10 – 70° (крок сканування – 0,05°, експозиція 2 с у кожній точці).

Результати дослідження

При температурі 770К (рис.1) сполука CuI кристалізується в кубічній сингонії пр.гр. *F-43m, a= 6,0488* нм, що узгоджується з [7], Cu_2S кристалізується

в моноклінній сингонії пр.гр. $P2_1c$, a=1,5246 нм, b= 1,1884 нм, c=1,3494 нм, β= 116,35˚, що узгоджується з [8], In_2S_3 кристалізується в тетрагональній сингонії пр.гр. $I4_1/amd$, a=0,7623 нм, b= 0,7623 нм, c=3,236 нм, що узгоджується з [9]. В системі встановлено існування потрійних сполук: $CuInS_2$ (ПГ *I-42d*), що узгоджується з [1], $CuIn_5S_8$ (ПГ *F-43m*), що узгоджується з [4], Cu_3SI (ПГ *Im3m*) і тетрарної сполуки $CuIn_2S_3I$ (ПГ *F-43m*), що узгоджується з [6].

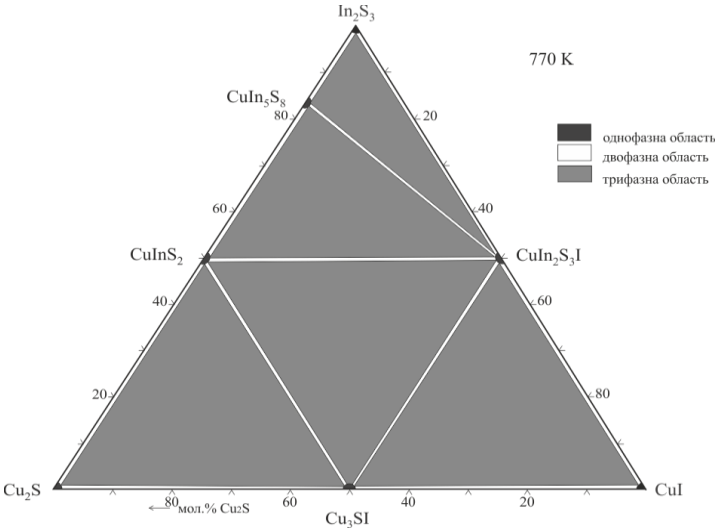


Рис.1 Ізотермічний переріз системи Cu_2S – In_2S_3 – CuI при 770K.

Комплекс проведених досліджень дав змогу побудувати ізотермічний переріз досліджуваної квазіпотрійної системи за температури 770K. В системі встановлено існування семи однофазних областей CuI, Cu_2S, In_2S_3, $CuInS_2$, $CuIn_5S_8$, $CuIn_2S_3I$, Cu_3SI, одинадцяти двофазних Cu_2S – $CuInS_2$, Cu_2S – Cu_3SI, $CuInS_2$ – $CuIn_2S_3I$, $CuIn_2S_3I$ – $CuIn_5S_8$, $CuInS_2$ – $CuIn_5S_8$, Cu_3SI – $CuInS_2$, $CuIn_5S_8$ – In_2S_3, In_2S_3 – $CuIn_2S_3I$, $CuIn_2S_3I$ – CuI, Cu_3SI – CuI, Cu_3SI – $CuIn_2S_3I$ та п’яти трифазних областей Cu_2S – $CuInS_2$ – Cu_3SI, Cu_3SI – $CuInS_2$ – $CuIn_2S_3I$, $CuIn_2S_3I$ – Cu_3SI – CuI, $CuIn_5S_8$ – $CuIn_2S_3I$ – $CuInS_2$, $CuIn_5S_8$ – $CuIn_2S_3I$ – In_2S_3. Розчинність на основі вихідних компонентів та тернарних і тетрарної сполук квазіпотрійної системи є незначною.

Висновки

В обмежуючих квазібінарних системах підтверджено існування трьох тетрарних сполук: $CuInS_2$ (ПГ *I-42d*), $CuIn_5S_8$ (ПГ *F-43m*), Cu_3SI (ПГ *Im3m*) і тетрарної сполуки $CuIn_2S_3I$ (ПГ *F-43m*). Побудовано ізотермічний переріз системи Cu_2S – In_2S_3 – CuI при 770K. Встановлено наявність 7 однофазних областей, 11 двофазних та 5 трифазних. Більшу частину концентраційного трикутника займають трифазні області. Нових сполук не знайдено.

Список використаних джерел

1. Лазарев В.Б. Сложные халькогениды в системах A^{II}-B^{III}-C^{VI} / Лазарев В.Б., Киш З.З, Переш Е.Ю., Семрад Е.Е.//. М., Металургия. – 1993. – С. 140.

2. Qi Y., Liu Q., Tang K. Synthesis and characterization of nanostructured wurtzite $CuInS_2$: a new cation disordered polymorph of $CuInS_2$. Journal of Physical Chemistry, American Chemical Society. № 113. – 2009. – С. 3939-3944.

3. Kitamura S., Endo S., Irie T. Semiconducting properties of $CuIn_5S_8$ single crystals I. Electrical properties. J. Phys. Chem. Solids. № 46. – 1985. – С. 881-885.

4. Gastaldi L., Scaramuzza L. Single-crystal structure analysis of the spinel copper pentaindium octasulphide. Acta Crystalogr.B 36. – 1980. – С. 2751-2753.

5. Кохан О.П., Погодін А.І., Панько В.В. Дослідження характеру взаємодії у системі Cu_2S – CuI. Вісник УжНУ. Серія хімія. № 19. – 2008. – С. 50-52.

6. Range K.J. Hochdrucksysteme quaternaerer Chalkogenidhalogenide AB_2X_3Y (A=Cu, Ag; B=In; X=S, Se, Te; Y=Cl, Br, I). / Range K.J., Huebner H.J., Teil B. //Anorganische Chemie, Organische Chemie. №-38. – 1983.– С. 155 -160.

7. Adipranoto D.S. Structure-property relationships of fast copper ion conductor cubic CuI./ Adipranoto D.S., Shikanai F., Yonemura M., Mori K., Park J.G., Itoh K., Kamiyama T. Solid State Ionics. – 2009. – № 180. – С. 492-496.

8. Evans H.T. Crystal structure of low chalcosite. Nature. London. Physical Science. – 1971. - № 232. – С. 69-70.

9. Steigmann G.A., Sutherland H.H., Goodyear J. The crystal structure of beta-In_2S_3. Acta Crystallographica. – 1965. - № 19. – С. 967-971.

УДК 537.9

ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ, ЛЕГОВАНИХ ІЗОВАЛЕНТНОЮ ДОМІШКОЮ ГЕРМАНІЮ, ЩО БУЛИ ПІДДАНІ ТЕРМООБРОБЦІ

студ. Кравець М.А., . доц. Захарчук Д.А.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: dima.zakharchuk@gmail.com

Підвищеною зацікавленістю дослідників є вивчення електрофізичних властивостей кремнію в комплексі з більш вивченим модельним напівпровідником – германієм. Їх всебічне використання у таких екстремальних умовах, як великі навантаження, швидкозмінні температурні режими, значні електричні, магнітні та радіаційні поля, вимагає всебічного вивчення впливу вищезгаданих факторів на властивості як кремнію, так і германію.

В даній роботі вивчалися особливості кремнію легованого ізовалентними домішками германію після термообробки. Дослідження проводились на монокристалах кремнію легованих фосфором (N_P ~10^{15} см$^{-3}$) та монокристалах кремнію легованих германієм і фосфором (N_{Ge} ~10^{18}, N_P ~10^{15} см$^{-3}$). Зразки Si і $Si<Ge>$ піддавались термообробці при $t_{відп.}=(450\pm5)$°C протягом 100 год. Потім на термооброблених зразках проводились вимірювання питомого опору ρ, коефіцієнту Холла R_X і розраховувались концентрація n та рухливість μ електронів. Похибки вимірювань ρ, n, μ склали ± 5, ±8, ±13% відповідно. Перед вимірюваннями з поверхні зразків знімали шар товщиною ~ 100 мкм.

В результаті термообробки досліджуваних зразків зроблено такі висновки: а) концентрація електронів в зразках Si і $Si<Ge>$ зростає за рахунок утворення термодонорів (проте у зразках $Si<Ge>$ концентрація термодонорів менша, ніж у зразках Si); б) рухливість електронів у зразках Si і $Si<Ge>$ практично залишається сталою в межах похибки вимірювання; в) концентрація кисню у зразках Si зменшується, а у зразках $Si<Ge>$ залишається постійною в ході термообробки.

Згідно отриманих результатів можна припустити, що у зразках Si зменшення концентрації міжвузлового кисню в ході термообробки при $t_{відп.}=450$°C пов'язано з процесами розпаду перенасиченого твердого розчину кисню. В результаті цього розпаду росте концентрація термодонорів, що приводить до збільшення концентрації електронів, а також зменшується рухливість електронів. Введення германію в монокристали кремнію уповільнює кінетику утворення термодонорів при $t_{відп.}=450$°C та зменшує їх концентрацію.

УДК 546. 883. 881. 181.1

ВЗАЄМОДІЯ ТАНТАЛУ ТА ВАНАДІЮ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ ФОСФОРУ

ст. А. Кушнір, доц. Я. Ломницька
Кафедра аналітичної хімії, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і Мефодія 6, 79005 Львів, Україна
e-mail: yalomnytska@gmail.com

Взаємодію компонентів у системі Ta-V-P ми раніше дослідили в області до 0,50 мол. частки Фосфору і не виявили у ній нових тернарних сполук [1]. У наступних дослідженнях систем Ta-Cr-P і Ta-Ti-P в області до 0,67 мол. частки P [2, 3] виявили утворення вищих фосфідів $Ta_{1-x}Cr_xP_2$ (x=0,07(3)-0,08(2)) і $Ta_{1-x}Ti_xP_2$ (x=0,07(3)-0,145(7)), які мають кристалічну структуру типу $OsGe_2$. У зв'язку з цим ми провели дослідження системи Ta-V-P в області 0,50 – 0,67 мол. частки P.

Синтезували зразки спіканням спресованих порошків компонентів у вакуумованих кварцових ампулах; спечені зразки перетирали, пресували і знову спікали при 1070 К упродовж 800 год для гомогенізації. Дослідження проводили рентгенівськими методами аналізу за комплексом програм CSD.

Бінарний фосфід TaP_2, який згідно даних [4] належить до структурного типу $NbAs_2$, при 1070 К є повністю розкладений на TaP і залишки фосфору. Нами встановлено, що дифосфід існує у спечених зразках при 870 К, а при 1070 К – лише монофосфід (табл. 1, 2). Зразки потрійної системи з високим вмістом Фосфору при 1070 К містили нову тернарну сполуку $Ta_{1-x}V_xP_2$, кристалічну структуру якої уточнили методом порошку: структурний тип $OsGe_2$, склад $Ta_{0,96(2)}V_{0,04(2)}P_2$, (табл.1, 2).

Таблиця 1. Умови уточнення та кристалографічні характеристики фаз TaP (зразок складу TaP_2 за наважкою) при 1070 К, TaP_2 при 870 К та $Ta_{1-x}V_xP_2$ при 1070 К.

Склад фази	TaP	TaP_2	$Ta_{0,94(4)}V_{0,06(4)}P_2$
СТ	NbAs	$OsGe_2$	*C*2/*m*, 3
ПГ, Z	$I4_1md$, 4		
Періоди ґратки, Å	*a*=3,3174(1), *c*=11,3342(7)	*a*=8,8588(4), *b*=3,2663(2), *c*=7,4859(3), *β*=119,308(2)°	*a*=8,8532(5), *b*=3,2648(2), *c*=7,4801(3), *β*=119,306(2)°
Розрах. густина (г/см^3)	12,235(2)	8,551(2)	8,192(2)
Дифрактометр	ДРОН-2М Fe K_α, λ=1,93728 Å		
Спосіб уточнення	повнопрофільний		
Текстура в напрямку	[1 0 0] 1,1(1)	[0 1 0] 1,27(4)	[0 0 1] 0,94(4)
Коеф. поглинання, 1/см	3378,07	2235,44	2113,87
$2\theta_{max}$ і $(\sin\theta/\lambda)_{max}$	111,16 0,426	120,05 0,447	99,54 0,3394
R_I, R_p	0,042 0,170	0,091, 0,251	0,059, 0,020

Таблиця 2. Координати атомів у структурах сполук TaP (зразок складу TaP_2 за наважкою) при 1070 К, TaP_2 при 870 К, $Ta_{1-x}V_xP_2$ при 1070 К та ізотропні теплові параметри $B_{ізо}$ $(Å)^2$; *y/b*=0.

Атом	ПСТ	*x/a*	*z/c*	$B_{заг.}$, Å
TaP				
Ta	4*a*	0	0,0035(12)	0,328(2)
P	4*a*	0	0,4140(12)	0,306(2)
TaP_2				
Ta	4*i*	0,1599(6)	0	0,1980(6)
P1	4*i*	0,410(3)	0	0,121(2)
P2	4*i*	0,863(1)	0	0,467(4)
$Ta_{0,94(4)}V_{0,06(4)}P_2$				
0,94(4)Ta + 0,06(4)V	4*i*	0,1605(7)	0,1993(7)	2,6(1)
P1	4*i*	0,406(3)	0,112(4)	3,9(6)
P2	4*i*	0,127(3)	0,524(4)	4,5(6)

У результаті проведеного дослідження і даних роботи [1] побудовано діаграму фазових рівноваг системи Ta-V-P в області 0–0,67 мол. частки P при 1070 К (рис.1).

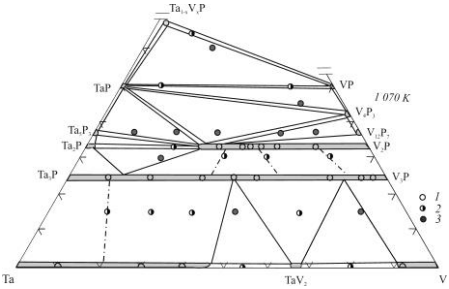


Рисунок 1. Діаграма фазових рівноваг системи Ta-V-P в області 0 – 0,67 мол. частки P при 1070 К; *1*, *2*, *3* – одно-, дво-, трифазні зразки.

Список використаних джерел

1. Ломницька Я. Взаємодія компонентів у системі Ta–V–P при 1070 К/ Я.Ломницька Н.Джигирей // Вісн. Львів. ун-ту. – Сер. хім. – Вип. 56, ч. 1. – 2015. – С. 32–39.
2. Lomnytska Ya. Interaction of tantalum, chromium, and phosphorus at 1070 K: Phase diagram and structural chemistry / V. Babizhetskyy, A. Oliynyk, O. Toma, M. Dzevenko, A. Mar // J. Solid State Chem. – 2016.– Vol. 235. – P. 50–57.
3. Lomnytska Ya. Interaction of tantalum, titanium and phosphorus at 1070 K: Phase diagram and structural chemistry / Ya. Lomnytska, M.Dzevenko, V. Babizhetskyy, O. Toma, O. Smolyak, E. E. Gordon, M.-H. Whangbo, J. Kohler // J. Alloys Comp. – 2018. – No 732. – P. 777-783.
4. Hulliger F. New representatives of the $NbAs_2$ and $ZrAs_2$ structures // Nature. Cryst. – 1964. – No 4960. – P.775.

INFLUENCE OF ISOMORPHIC SUBSTITUTION OF METAL ION ON PHASE TRANSITION AND DIELECTRIC DISPERSION IN $DMAAl_{1-x}Cr_xS$ CRYSTALS

N. Loboda[1,2], V. Kapustianyk[1,2], Yu. Eliyashevskyy[1], Z. Czapla[3,4]
1- Physics Department, Ivan Franko National University of Lviv, Dragomanova, str. 50, 79005 Lviv, Ukraine
2- Scientific-Technical and Educational Center of Low Temperature Studies, Ivan Franko National University of Lviv, Dragomanova str. 50, 79005 Lviv, Ukraine
3- Department of Physics, Opole University of Technology, Ozimska 75, 45271, Opole, Poland
4- Institute of Experimental Physics, University of Wrocław, pl. M. Borna 9, 50204, Wroclaw, Poland
natalost2011@ukr.net

The ferroelectric crystals $NH_2(CH_3)_2Al(SO_4)_2\times6H2O$ (DMAAS) and $NH_2(CH_3)_2Ga(SO_4)_2\times6H_2O$ (DMAGS) are widely studied using different experimental methods. The crystals with different alkylammonium cations were widely studied by various experimental methods in order to detect the structural changes associated with a dynamics of organic cations and inorganic anions [1]. In particular, they reveal a number of ferroelectric and ferroelastic phase transitions. On the other hand, the compounds with transition metals would manifest also a magnetic ordering. That is why, these crystals may be considered as the potential multiferroics [2].

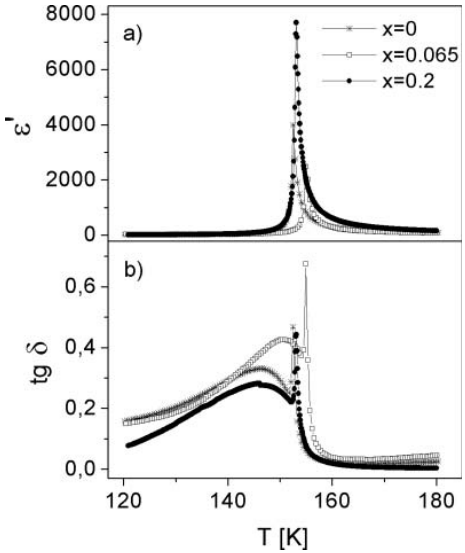


Figure 1. Temperature dependences of the dielectric permittivity ε' (a) and tangent of dielectric losses tgδ (b) for $DMAAl_{1-x}Cr_xS$ with different Cr concentration measured along the ferroelectric axis at 100 kHz in a cooling mode.

In result of performed investigations of the ferroelectric properties of $DMAMe_{1-x}Cr_xS$ (Me=Al, Ga) crystals and their comparison with the data of the dielectric dispersion study [3] one can conclude that partial isomorphous substitution of the metal ion leads to the noticeable change of the ferroelectric phase transition temperatures and the relaxation time of the thermal dipole relaxation with a critical slowing-down at T_{c1} only in the case when Me=Al. The highest values of these parameters were found for the samples with a lower chromium concentration (x = 0.065) [4].

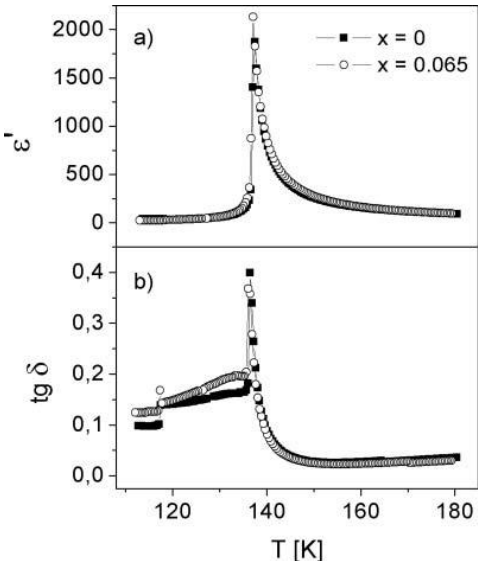


Figure 2. Temperature dependences of the dielectric permittivity ε' (a) and tangent of dielectric losses tgδ (b) for $DMAGa_{1-x}Cr_xS$ with different Cr concentration measured along the ferroelectric axis at 10 kHz in a cooling mode.

In the corresponding crystals the chromium ions generate arising of the sources of local electric field leading to formation of more massive dipole clusters in the vicinity of the ferroelectric phase transition of the order-disorder type. Increasing of the chromium concentration causes multiplication of the cluster's embryos and fragmentation of the clusters and the corresponding decrease both of the temperature parameter of relaxation time and phase transition temperature T_{c1} that in this case become close to those in the pure DMAAS crystal. The above mentioned local electric fields and corresponding local distortions of the lattice connected with the metal ion

substitution would cause asymmetry of the single ion two-minimum potential that also affects the phase transitions temperatures.

The spontaneous polarization was found to be considerably higher in the crystals with chromium. One can conclude that appearance of the additional dipole moment is associated with the distorted Cr-H_2O octahedra.

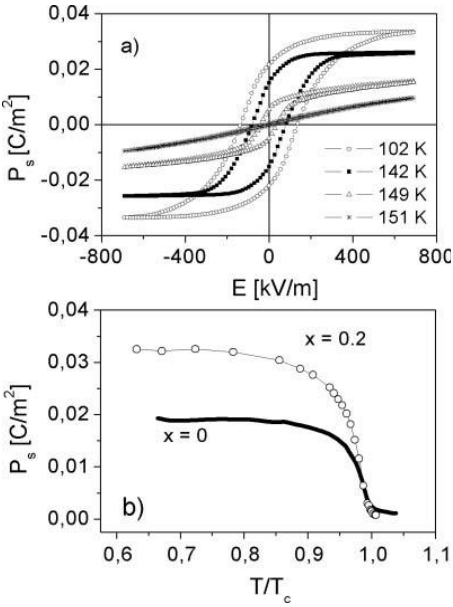


Figure 3. The hysteresis loops observed in the ferroelectric phase of the $DMAAl_{1-x}Cr_xS$ (x = 0.2) for chosen temperatures (a) and temperature dependence of the spontaneous polarization in the ferroelectric phase of the $DMAAl_{1-x}Cr_xS$, (x = 0 [5] and x = 0.2).

This extra dipole moment can be reversed under the influence of the external electric field interacting with the neighboring DMA groups and would give a noticeable contribution into the spontaneous polarization within the ferroelectric phase. On the other hand we did not found any noticeable changes in the dielectric properties as well as in the ferroelectric phase transition temperature T_{c1} for $DMAGa_{1-x}Cr_xS$ crystals. This is explained by a more close sizes of Cr^{3+} and Ga^{3+} ions contrary to the case of Cr^{3+} and Al^{3+} pair. The latter ion is much smaller in comparison with chromium and its partial substitution is followed by the noticeable change of the phase temperature, spontaneous polarization and parameters of the fundamental dielectric dispersion [4].

[1] A. Pietraszko, K. Lukaszewicz, L. Kirpichnikova, Crystal Structures of $(CH_3)_2NH_2Al(SO_4)_2\times6H_2O$, $(CH_3)_2NH_2Ga(SO_4)_2\times6H_2O$ and $(CH_3)_2NH_2Al(S_{0.89}Se_{0.11}O_4)_2\times6H_2O$, Polish J. Chem., V. 67, P.1877-1880, (1993).
[2] B. Kundys, A. Lappas, M. Viret, V. Kapustianyk, V. Rudyk, S. Semak, Ch.Simon, I. Bakaimi, Multiferroicity and Hydrogen-bond Ordering in $(C_2H_5NH_3)_2CuCl_4$ Featuring Dominant Ferromagnetic Interactions, Phys. Rev., B 81, 224434, (2010).
[3] V. Kapustianyk, Yu. Eliyashevskyy, Z. Czapla, S. Dacko, O. Czupinski, V. Rudyk, R. Serkiz, S. Sereda and S. Semak, Phase Transitions and Fundamental Ferroelectric Dispersion in $DMAAl_{1-x}Cr_xS$ Crystals, Acta Physica Polonica, V. 127, 791–794 (2015).
[4] V. Kapustianyk, Z. Czapla, S. Dacko, V. Rudyk, N. Ostapenko (N. Loboda) Comparative Study of Ferroelectric Properties of $DMAMe_{1-x}Cr_xS$ (Me=Al, Ga) Crystals, Ferroelectrics, V. 510, P. 80-86, (2017).
[5] S. Dacko, Z. Czapla, On the phase transitions in dmaas and dmagas. Ferroelectrics, V. 185, P. 143–146 (1996).

УДК 539.184:543.427.3:544.14:544.225.22

DTF CALCULATIONS AND XPS STUDUDIES OF THE ELECTRONIC STRUCTURE OF Tl_4HgBr_6

A.A. Lavrentyev[a], B.V. Gabrelian[b], Tuan V. Vu[c,d], I.V. Luzhnyi[e], O.V. Parasyuk[f], O.Y. Khyzhun[e]

[a]*Department of Electrical Engineering and Electronics, Don State Technical University, 1 Gagarin Square, 344010 Rostov-on-Don, Russian Federation*

[b]*Department of Computational Technique and Automated System Software, Don State Technical University, 1 Gagarin Square, 344010 Rostov-on-Don, Russian Federation*

[c]*Division of Computational Physics, Institute for Computational Science, Ton Duc Thang University, Ho Chi Minh City, Vietnam*

[d]*Faculty of Electrical & Electronics Engineering, Ton Duc Thang University, Ho Chi Minh City, Vietnam*

[e]*Frantsevych Institute for Problems of Materials Science, National Academy of Sciences of Ukraine, 3 Krzhyzhanivsky Street, UA-03142 Kyiv, Ukraine*

e-mail: Luzhnyi92ivan@gmail.com

[f]*Department of Inorganic and Physical Chemistry, Lesya Ukrainka Eastern European National University, 13 Voli Avenue, UA-43025 Lutsk, Ukraine*

Thallium hexabromomercurate, Tl_4HgBr_6, belongs to a family of compounds with a common formula Tl_4BX_6 (B = Cd, Hg, Pb; is a halide atom) that attract significant scientific interest because they are promising materials for γ-ray detectors, solar cells and ion-selective electrodes [1-3]. Huart [4] was first to establish the existence of Tl_4HgBr_6 bromide and reported that it crystallizes in a tetragonal structure with the lattice parameters *a*=8.965 Å and *c*=8.783 Å. Brodersen and co-workers [5] suggested that Tl_4HgBr_6 crystallizes in the centrosymmetric space group *P*4/mnc (*a*=8.978 Å and *c*=8.812 Å). However, recent X-ray powder diffraction refinements of the crystal structure of Tl_4HgBr_6 have revealed [5] that that the titled bromide crystallizes in the non-centrosymmetric space group *P*4*nc* with the unit-cell parameters *a* = 8.9539 Å and *c* = 8.7884 Å. The non-centrosymmetric structure of Tl_4HgBr_6 was confirmed by the existence of a tiny second harmonic generation effect (0.4–0.5 pm/V) and by the value of piezoelectric coefficient (0.9 pm/V) [5].

In the present work we report on studies of the electronic structure of Tl_4HgBr_6 based on experimental measurements and theoretical calculations. In particular, we use X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and X-ray emission spectroscopy (XES) to measure XP core-level and valence-band (VB) spectra and the XE Br $K\beta_2$ band of this compound following the techniques reported in Ref. [5]. Furthermore, density functional theory (DFT) calculations of the total density of states (DOS) and partial DOS (PDOS) curves of Tl_4HgBr_6 are made using the augmented plane wave +local orbitals (APW+lo) method as implemented in the WIEN2k package [6].

As can be seen from Fig. 1, all XP spectral features (the exceptions are only C1s and O 1s core-level lines and the KLL Auger lines associated with carbon and oxygen) are attributed to core-levels of atoms which constitue Tl_4HgBr_6. The presence of the C1s and O 1s core-level lines and the C KLL and O KLL Auger lines in the

survey XP spectrum of the Tl_4HgBr_6 crystal surface is due to the hydrocarbons and oxygen-canained species adsorbed from laboratory air.

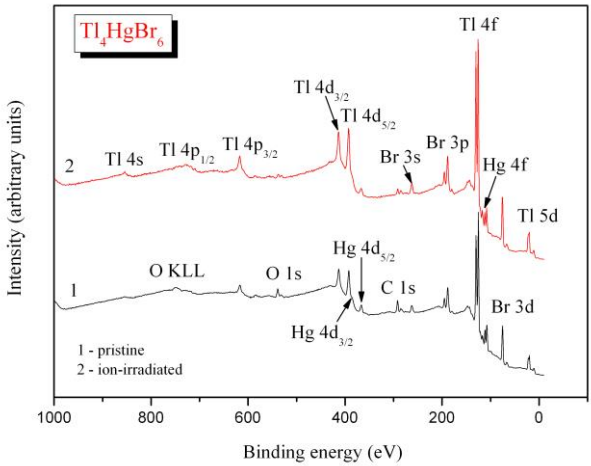


Figure 1. Survey XP spectra of Tl_4HgBr_6 single crystal: (1) initial and (2) Ar^+ ion-bombarded surface.

Application of Ar^+ ion-bombardment leads to abrupt decreasing relative intensities of the XP spectra associated with carbon and oxygen species adsorbed on the Tl_4HgBr_6 crystal surface. The present XP data reveal that low hygroscopicity is a specific feature of the Tl_4HgBr_6 crystal surface.

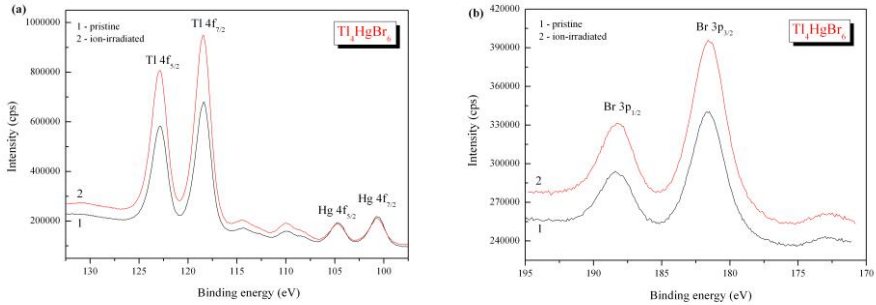


Figure 2. XP (a) Tl 4f and Hg 4f and (b) Br 3p core-level spectra: (1) initial and (2) Ar^+ ion-irradiated surface of the Tl_4HgBr_6 crystal.

The results of measurements of some main core-level spectra of thallium, mercury and bromine atoms are presented in Fig. 2. The values of binding energies of the Tl 4f, Hg 4f and Br 3p core-level electrons in the Tl_4HgBr_6 single crystal correspond to thallium, mercury and bromine atoms in the charge states Tl^+, Hg^{2+} and Br^{2-}, respectively. Fig 2

displays that the charge states of the thallium and mercury atoms of the Tl_4HgBr_6 crystal do not change within the accuracy of the present XP measurements due to 3.0 keV Ar^+ bombardment ions over 5 min. However, the Tl_4HgBr_6 single crystal surface is sensitive with respect to the Ar^+ ion-bombardment. Fig. 2 presents that the Ar^+ ion-bombardment of the Tl_4HgBr_6 crystal induces decreasing the Hg content in the top surface layers by about 50 percent.

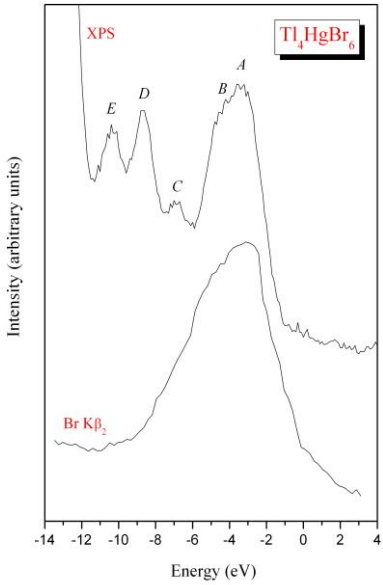


Figure 3. The XP VB spectrum and the XE Br $K\beta_2$ band of the Tl_4HgBr_6 single crystal compared on a common energy scale.

Fig. 3 shows a comparison of the X-ray emission Br $K\beta_2$ band (Br 4p states) and the XP VB spectrum on a common energy scale. The X-ray spectroscopy data presented in Fig. 4 indicate that the main contributions of the Br 4p states occur in the upper part of the VB, with also substantive contributions of these states throughout the whole VB region of Tl_4HgBr_6.

Fig. 4 presents data of the DFT calculations of total DOS and PDOS curves of Tl_4HgBr_6 following the MBJ+U+SO technique reported in detail in Ref. [7]. The data indicate that Br 4p states contribute mainly to the upper and central portion of the VB of Tl_4HgBr_6 in the assumption that the bromide crystallizes in the non-centrosymmetric space group *P*4*nc*

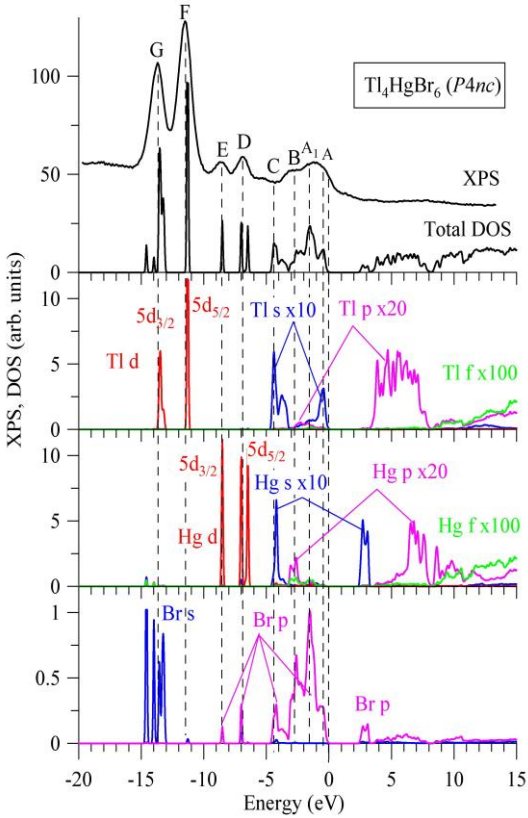


Figure 4. Total DOS and PDOSs of the Tl_4HgBr_6 compound plotted on a common energy scale with the XP VB spectrum.

Among other substantial contributors to the VB region are the valence states associated with Tl and Hg atoms: Tl 6s states contribute mainly at the top and lower portion of the VB, while the principal contributions of Hg 6s states are observed at the VB bottom. Futher, the calculations indicate that the bottom of the conduction band of Tl_4HgBr_6 is formed by Hg 6s* states, with smaller input of Br 4p* states. In addition, the total DOS curve as calculated within MBJ+U+SO approach is in good agreement with the XP VB spectrum of the Tl_4HgBr_6 single crystal. Furthermore, our calculations indicate the Tl_4HgBr_6 bromide is a direct gap semiconductorbecause the VB maximum and conduction-band minimum are positioned at the Γ point.

References

[1] M. Piasecki, M.G. Brik, I.V. Kityk, Mater. Chem. Phys. 163 (2015) 562–568.

[2] M. Sarfaraz Nawaz Rafiuddin, Ionics 13 (2007) 35–40.

[3] Y.E. Ermolenko, D.S. Kalyagin, S.N. Subbotina, V.V. Kolodnikov, Yu.G. Vlasov, Rus. J. Appl. Chem. 86 (2013) 192-199.

[4] J. Huart, Bul. Soc. Franc. Miner. Cryst. 89 (1966) 23-25.

[5] O.Y. Khyzhun, I.V. Kityk, M. Piasecki, A.O. Fedorchuk, S.I. Levkovets, P.M. Fochuk, G.L. Myronchuk, O.V. Parasyuk, Physica B. 479 (2015) 134–142.

[6] P. Blaha, K. Schwarz, G.K.H. Madsen, D. Kvasnicka, J. Luitz, WIEN2k, An Augmented Plane Wave + Local Orbitals Program for Calculating Crystal Properties, Karlheinz Schwarz, Technical Universität Wien, Austria, 2001 (ISBN 3-9501031-1-2).

[7] A.A. Lavrentyev, B.V. Gabrelian, T.V. Vu, P.N. Shkumat, P.M. Fochuk, O.V. Parasyuk, I.V. Kityk, I.V. Luzhnyi, O.Y. Khyzhun, M. Piasecki, Inorg. Chem. 55, 10547 (2016).

ТОЧКОВІ ДЕФЕКТИ У ТОНКИХ ПЛІВКАХ CdTe

Мазур Т.М, Прокопів В.В, Дзундза Б.С, Туровська Л.В.
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 76018 Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57, tetyana.m.mazur@gmail.com

CdTe – прямозонний напівпровідник, з оптимальною для сонячного елемента шириною забороненої зони при кімнатній температурі 1,5 еВ і товщини шару всього кілька мікрон достатньо для практично повного поглинання фотонів з енергією hν>Eg. Тому тонкі плівки кадмій телуриду є базовими шарами у сонячних батареях і модулях при фотогальванічному перетворенні енергії.

Для створення матеріалу з потрібними та відтворюваними властивостями необхідно контролювати структуру точкових дефектів у плівках в процесі їх вирощування і обробки, оскільки саме вони визначають основні електричні параметри.

Одним з ефективних методів контрольованого формування дефектної структури плівок є процес утворення власних точкових дефектів при вирощуванні плівок з парової фази методом гарячої стінки за відносно невисоких температур.

Вихідним матеріалом при вирощуванні плівок служили синтезовані полікристалічні злитки CdTe. Температурний режим основного реактора випаровувальної комірки задавався виходячи з аналізу P-T-x діаграми випаровуваного матеріалу.

Процес утворення власних точкових дефектів при вирощуванні плівок з парової фази було описано системою рівнянь квазіхімічних реакцій.

Розв'язуючи цю систему рівнянь, знайшли холлівську концентрацію вільних носіїв заряду n_H, концентрацію дірок p, одно- та двозарядних вакансій кадмію $\left[V_{Cd}^{-}\right]$, $\left[V_{Cd}^{2-}\right]$ та телуру $\left[V_{Te}^{+}\right]$, $\left[V_{Te}^{2+}\right]$:

$$n_H = n - K_i/n; \quad p = K_i/n;$$

$$\left[V_{Cd}^{-}\right] = \frac{K_b \cdot K_{Te_2,V} \cdot K_{CdTe} \cdot n}{K_i \cdot P_{Cd}}; \qquad \left[V_{Cd}^{2-}\right] = \frac{K_b^{'} \cdot K_{Te_2,V} \cdot K_{CdTe} \cdot n^2}{K_i^{\,2} \cdot P_{Cd}};$$

$$\left[V_{Te}^{2+}\right] = \frac{K_a^{'} \cdot K_{Cd,V} \cdot P_{Cd}}{n^2}; \qquad \left[V_{Te}^{+}\right] = \frac{K_a \cdot K_{Cd,V} \cdot P_{Cd}}{n}.$$

Константи реакцій утворення нейтральних дефектів K_{Te_2V} і $K_{Cd,V}$ розраховували методом термодинамічних потенціалів, константи реакцій іонізації K_a, K_a', K_b, K_b' і збудження власної провідності K_i розраховували використовуючи зонну теорію невироджених напівпровідників.

Деякі результати розрахунку залежностей концентрації вільних носіїв заряду і переважаючих точкових дефектів від парціального тиску пари кадмію P_{Cd}, при сталих значеннях температури підкладки $T_П$ і температури випаровування $T_В$ наведено на рис. 1, 2.

Область, де концентрації вільних носіїв заряду і дефектів не залежить від парціального тиску пари кадмію P_{Cd} додаткового джерела кадмію розширюється із збільшенням температури випаровування $T_в$ (рис.1). При цьому область

термодинамічного p-n переходу зміщується в сторону більших значень тиску пари кадмію P_{Cd} (рис.1)

Зміна парціального тиску пари кадмію P_{Cd} при постійній температурі підкладки $T_П$ і температурі випаровування $T_В$ при малих значеннях тиску пари кадмію (P_{Cd} <10^{-2} Па) не впливає на концентрацію вільних носіїв заряду і дефектів (рис. 1,2). Подальше ж збільшення P_{Cd} призводить до спадання концентрацій вакансій кадмію $[V_{Cd}^{-}]$, $[V_{Cd}^{2-}]$ (рис. 2, криві 1-2) і зростання концентрацій вакансій телуру $[V_{Te}^{+}]$, $[V_{Te}^{2+}]$ (рис. 2, криві 5-6), що й зумовлює зростання концентрації електронів n (рис. 2, крива 2).

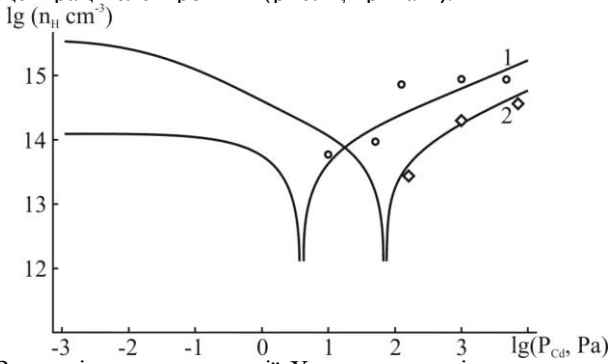


Рис.1. Залежність концентрації Холла n_H в плівках телуриду кадмію від парціального тиску пари кадмію P_{Cd} додаткового джерела при температурі підкладки $T_п$ = 670K та температурі випаровування $T_в$: 1 – 750 K; 2 – 850 K.

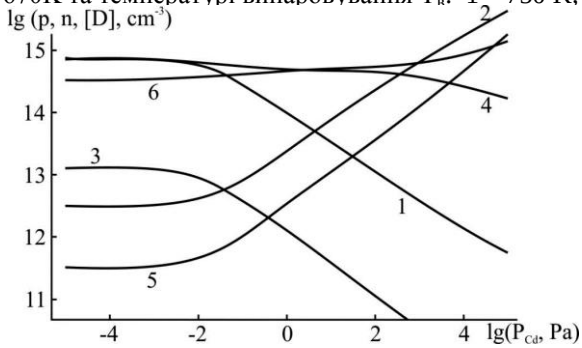


Рис.2. Залежність концентрацій дірок *p* (1), електронів *n* (2) та точкових дефектів [D]: вакансії кадмію (3), (4) і вакансій телуру (5), (6) в плівках кадмій телуриду при парціальному тиску пари кадмію P_{Cd} додаткового джерела при температурі підкладки $T_П$ = 670 K і температурі випаровування $T_В$ = 750 K

Такі особливості баричних залежностей для плівок CdTe пояснюються тим, що при низьких значеннях тиску пари кадмію P_{Cd} додаткового джерела, тиск кадмію в системі визначається температурою випаровування $T_В$.

УДК 544.463:544.526.5

СТРУКТУРА КОМПОЗИТІВ ГЛАУКОНІТ/ПОЛІАНІЛІН, ДОПОВАНИЙ ФОСФАТНОЮ КИСЛОТОЮ

м. н. с. Макогон В.М., маг. Нестерівська С.П., студ. Сидорко М.С., студ. Колодій М.В., доц. Яцишин М.М.

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005, Львів, Україна,

e-mail: viktorymakogon@gmail.com

Поліанілін (ПАн), загальну формулу якого можна представити у виді $[(-B-NH-B-NH)_y(B-N=Q=N)_{1-y}]_x$, де B відповідає бензоїдним, а Q – хіноїдним циклам − органічний метал − один із основних представників нового класу органічних полімерів з'явився порівняно недавно. В останні роки синтез гібридних композитних (ГК) матеріалів на основі поліаніліну та природних мінералів (ПМ) став окремим напрямком полімерної хімії, який стрімко розвивається як дослідниками хіміками, так і фізиками, електроніками, біологами та інженерами різних галузей [1, 2].

Синтез та дослідження фізико-хімічних властивостей матеріалів на основі різних полімерів та неорганічних речовин, які отримали назву гібридні матеріали вже тривалий час є актуальною науковою проблемою [3]. Такого роду композити знайшли використання як чутливі шари хемо- та біосенсорів. З цього огляду розгляд напрямку синтезу композитних матеріалів мікро- та наноструктурованого ПАн з різними глинами та природними мінералами є досить важливим напрямком розвитку науки про електропровідні полімери.

Цікавим ПМ для синтезу композитів із електропровідних полімерів може бути глауконіт (Гл), який є достатньо повно вивченим і є мінералом групи гідрослюд підкласу шаруватих силікатів, і є водним алюмосилікатом калію, магнію і заліза. Його вміст в породі може становити до 70–80 %.

Перед використанням для синтезу композитних матеріалів природні мінерали зазвичай піддають певній підготовці. Підготовку ПМ для синтезу ГК з ПАн можна розділити на первинну – очищення, промивання, помел, сушіння, прожарювання та вторинну – обробка спеціальними реагентами як от розчинами неорганічних кислот чи органічних кислот, лугів, неорганічних чи органічних солей, поверхнево-активних речовин тощо [4].

Глауконіт − природний мінерал, який володіє магнітними властивостями, тобто є феромагнетиком і може надавати композиту Гл/ПАн дуже цінних властивостей роблячи такий композит незамінним матеріалом сучасної електронної та хімічної галузі.

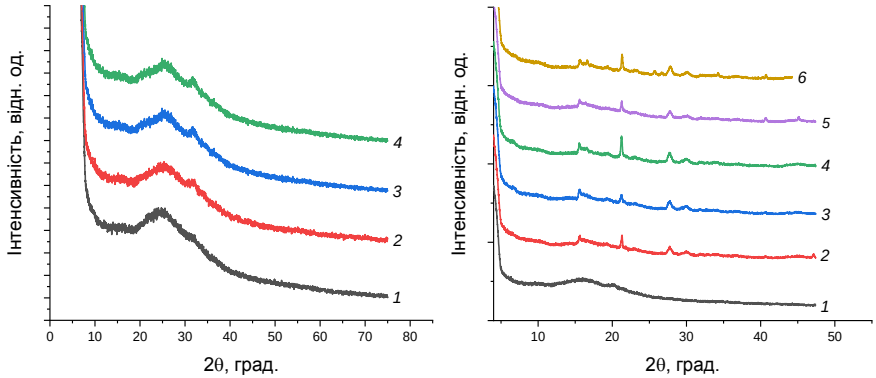
Багатоосновні неорганічні кислоти, наприклад, фосфатна кислота, завдяки будові, може виступати не тільки ефективним допуючим агентом, але й відігравати важливу роль як у поверхневому, так і між макромолекулярному зв'язуванні поліанілінових ланцюгів.

Виходячи з цього цікавим є проведення дослідження по модифікуванні глауконіту поліаніліном у процесі *in situ* окиснення аніліну амоній пероксодисульфатом у водних розчинах фосфатної кислоти різної концентрації та вивченню набутих фізико-хімічних властивостей такими композитами.

Ситезовано композитні матеріали на основі поліаніліну і глауконіту (Гл/ПАн), а також зразки ПАн та глауконіту (Гл).

Отримані зразки охарактеризовані рентгенофазовим (Дифрактометр - ДРОН-5, випромінювання Cu Kα (λ=1,54060 Å)), ІЧ-ФП-спектральним (Спектрофотометр – NICOLET IS 10) аналізами. Визначена електропровідність (методом вимірювання опору таблетованих зразків).

Дифрактограми зразків ПАн зображені на рис. 1, *а*, з яких видно, що найбільш інтенсивними є піки при 2θ = 24,07˚, 24,89˚ і 25,29˚. Менш інтенсивні піки є при 2θ = 31,52˚, 31,67 і 32,02˚. Для даних дифрактограм ПАн властива також наявність слабо виражених аморфних гало при 2θ = 11,98˚, 15,16˚, 15,34˚.



а *б*

Рисунок 1 – Дифрактограми зразків ПАн, допованих різними концентраціями H_3PO_4: *1* – 0,1 М; *2* – 0,5 М; *3* – 1,0 М; *4* – 2,0 М (а) та композитів Гл/ПАн (1:1): 1 – 0,1 М; 2 – 0,5 М; 3 – 1,0 М; 4 – 2,0 М; 5 – Гл (б)

Дифрактограми зразків Гл та композитів Гл/ПАн зображені на рис. 1, *б*. Як видно, для зразка глауконіту характерна полікристалічна структура. Найбільш інтенсивними є піки при 21,32 і 27,79˚, 21,23 і 27,77˚, 21,25 і 27,68˚, 21,28 і 27,85˚. Наявність такого великого числа піків зумовлена складністю будови мінералу Гл. Для дифрактограми ПАн (рис. 1 (а)) властива наявність слабо вираженого аморфного гало в межах $2\theta = 15 - 25^{o}$ та трьох характеристичних піків при $2\theta = 15{,}78^{o}$, 20,31 та $21{,}69^{o}$, які відповідають частково кристалічній формі ПАн. Як видно з рис. 1, *б*, всі композити містять деяку кількість кристалічної фази.

Форма ІЧ-ФП спектру глауконіту відповідає ІЧ-ФП спектрам подібних матеріалів, основною ознакою яких є наявність високо інтенсивної характеристичної смуги при 959 $см^{-1}$ властивої Ме=О зв’язкам [5, 6]. Дві широкі смуги при 3588 і 3490

см$^{-1}$ відповідають наявності поверхневих гідроксильних групу та водневим зв'язкам, відповідно.

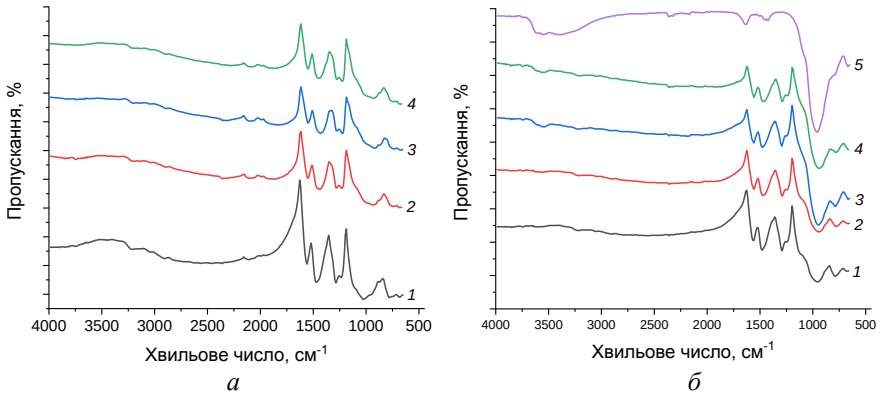


Рисунок 2 – ІЧ-ФП спектри зразків ПАн, допованих різними концентраціями H_3PO_4: *1* – 0,1 М; *2* – 0,5 М; *3* – 1,0 М; *4* – 2,0 М (а) та композитів Гл/ПАн (1:1): 1 – 0,1 М; 2 – 0,5 М; 3 – 1,0 М; 4 – 2,0 М; 5 – Гл (б)

Форма ІЧ-ФП спектрів ПАн (рис. 2, *а*) в діапазоні 500-4000 см$^{-1}$ і набір характеристичних смуг відповідає полімерній речовині – поліаніліну [5]. Як видно із рис. 2. б, на ІЧ-ФП спектрах зразків композитів Гл/ПАн наявні характеристичні смуги при довжинах хвиль 3648±30, 3482±30, 3706±40, 3697±20см$^{-1}$. Характеристичні смуги поглинання в межах 3400-2800 см$^{-1}$, зазвичай під назвою "Н-піки", приписують водневим зв'язкам, що утворюють аміно (−NH−) та іміно (NH^+) групи, які приєднали протон між регулярно розміщеними ПАн ланцюгами. Дві характеристичні смуги при хвильових числах 1546 і 1416 см$^{-1}$ є невід'ємною ознакою поліаніліну і відповідають коливанням хіноїдного і бензоїдного кілець, і є ознакою для ідентифікації ПАн, як структури із чергуванням хіноїдних і бензоїдних кілець у макромолекулярному ланцюгу. Інтенсивна смуга при 1205 см$^{-1}$ відповідає емеральдиновій солі і вказує на її високий ступінь легування. Смуги при ~959 та 666 см$^{-1}$ відповідають смузі властивій для Гл.

Як відомо, поліанілін відноситься до електропровідних полімерів, і володіє електронною провідністю. Електричні характеристики ПАн та зразків композитів на його основі досліджені нами і результати занесені в табл. 1.

Найвищими електропровідностями володіють зразки чистого ПАн в 0,1 М, 0,5 М, 1,0 М, 2,0 М H_3PO_4, а найнижчою композити Гл/ПАн.

Відмінність в електропровідностях зразків у першу чергу зумовлена вмістом неелектропровідного мінералу, тобто глауконіту, у композиті Гл/ПАн. Електропровідним компонентом є поліанілін.

Таблиця 1 – Результати вимірювання опору та розрахунку електропровідності досліджених зразків ПАн та композитів Гл/ПАн

Зразок	*R*, (Ом)	*ρ*, (Ом·см)	$\chi\times10^3$, (См·см$^{-1}$)
1	2	3	4
ПАн (0,1 М)	118,85	314,95	3,18
ПАн (0,5 М)	48,67	128,98	7,75
ПАн (1,0 М)	21,24	61,40	16,29
ПАн (2,0 М)	42,34	107,71	9,28
Гл/ПАн (0,1 М)	259,57	1031,79	0,97
Гл/ПАн (0,5 М)	121,52	483,04	2,07
Гл/ПАн (1,0 М)	441,43	2159,61	0,46
Гл/ПАн (2,0 М)	92,09	325,38	3,07

Шляхом хімічного окиснення аніліну амоній пероксодисульфатом у водних розчинах фосфатної кислоти за наявності природного мінералу глауконіту синтезовано ряд зразків ПАн та композитів Гл/ПАн за різної концентрації H_3PO_4 (0,1 М, 0,5 М, 1,0 та 2,0 М). За допомогою рентгенофазового аналізу показано, що структура отриманих композитів є аморфно-кристалічною. ІЧ-ФП спектральний аналіз зразків підтвердив наявність слабкої міжфазової взаємодії глауконіт/поліанілін за рахунок водневих зв’язків.

[1] Malinauskas A. Chemical deposition of conducting polymers / A. Malinauskas // Polymer. – 2001. – Vol. 42. − P. 3957–3972.

[2] Pud A. Some aspects of preparation methods and properties of polyaniline blends and composites with organic polymers / Alexander Pud, Nikolay Ogurtsov, Alexander Korzhenko, Galina Shapoval // Prog. Polym. Sci. – 2003 – Vol. 28. – P. 1701–1753.

[3] Review article: polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: an overview / F. Hussain, M.I. Hojjati, M. Okamoto, R.E. Gorga // J. Composit. Mater. – 2006. – Vol. 40. – P. 1511–1565.

[4] Макогон В. Природні мінерали – компоненти композитних матеріалів на основі поліаніліну / Макогон В., Яцишин М., Решетняк О. // Праці НТШ. Хім. науки. − 2017. − Т. XLVIII. − С. 17−31.

[5] Структура композитів поліанілін/глауконіт / М.М. Яцишин, З.В. Ільків, В.М. Струк, О.В. Решетняк [та ін.] // XIII Українська конференція з високомолекулярних сполук. Тези доповідей. Київ, 7–10 жовтня 2013 р. – К.: Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 2013. – С. 582–584.

[6] Hybrid mineral-polymeric composite materials on the basis of the polyaniline and glauconite-silica / M.M. Yatsyshyn, O.V. Reshetnyak, N.Ya. Dumanchuk, Yu.O. Kulyk [et al.] // Chem. Chem. Technology. – 2013. – № 4. – P. 441–444.

УДК 546.548

СИСТЕМА Ho_2S_3 – NiS – SnS_2 ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 770 К

асп. Мельничук Х. О., проф. Гулай Л. Д., доц. Марчук О. В.
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі 13, 43025 м. Луцьк, Україна.
E-mail: Marchuk.Oleg@eenu.edu.ua

Вступ

Розвиток напівпровідникового матеріалознавства вимагає постійного пошуку перспективних матеріалів, які давали б змогу забезпечувати зростаючі технологічні потреби суспільства. Дослідження халькогенвмісних систем є перспективним з огляду на унікальні властивості тетрарних сполук, що в них утворюються. Ці сполуки володіють хорошими оптичними, термічними, електричними та магнітними характеристиками, що забезпечують їх широке використання в електроніці, лазерній техніці, нелінійній оптиці, радіо- та електротехніці. Окрім того, систематиче вивчення кристалічної структури таких сполук робить хороший внесок у розвиток кристалохімії РЗМ-вмісних халькогенідних сполук.

Досліджувана система відносяться до багатокомпонентних систем R_2X_3 – Mn(Fe, Co, Ni)X – $D^{IV}X_2$ (R – РЗМ; D^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se) у яких існує висока ймовірність утворення тетрарних сполук. Вихідними компонентами досліджуваної системи є бінарні напівпровідникові сполуки, кристалічна структура яких вивчена та описана у науковій літературі.

Методика експерименту

Сплави для досліджень готували шляхом сплавляння компонентів напівпровідникової чистоти у вакуумованих кварцевих контейнерах. Синтез проводили у муфельній печі із програмним управлінням технологічними процесами МП-30. Максимальна температура синтезу становила 1420 К. Гомогенізуючий відпал сплавів проводили протягом 500 годин при температурі 770 К, після чого їх гартували у воду кімнатної температури.

Результати дослідження

За результатами рентгенофазового аналізу синтезованих та відпалених сплавів вивчено фазові рівноваги у дослідженій системі шляхом побудови ізотермічного перерізу за температури 770 К. За цієї температури встановлено утворення нової тетрарної сполуки $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$, що перебуває у стані термодинамічної рівноваги із вихідними компонентами досліджуваної системи Ho_2S_3, NiS і SnS_2 (рис. 1).

Дифрактограма тетрарної сполуки $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$ (рис. 2) проіндексована в гексагональній сингонії (*СТ* $La_3Mn_{0,5}SiS_7$, *ПГ* $P6_3$) [1] з параметрами елементарної комірки: $a = 0{,}95412(2)$ нм і $c = 0{,}61841(2)$ нм.

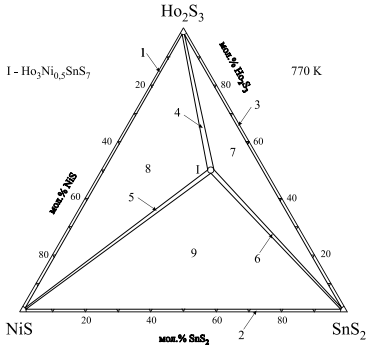


Рис. 1. Ізотермічний переріз системи Ho_2S_3 – NiS – SnS_2: 1 – Ho_2S_3 + NiS, 2 – NiS + SnS_2, 3 – SnS_2 + Ho_2S_3, 4 – Ho_2S_3 + $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$, 5 – NiS + $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$, 6 – SnS_2 + $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$, 7 – NiS + SnS_2 + $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$, 8 – Ho_2S_3 + NiS + $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$, 9 – NiS + SnS_2 + $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$.

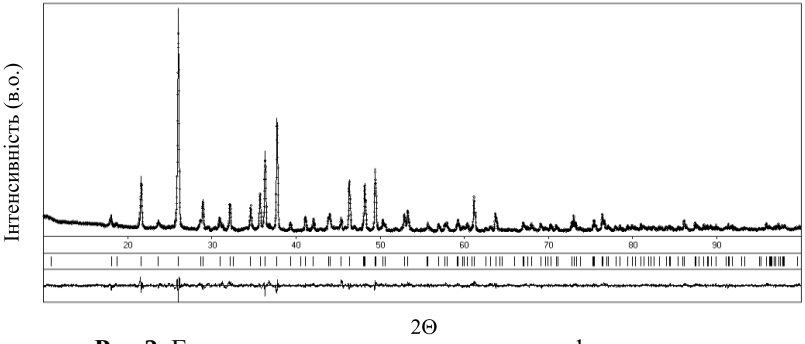


Рис 2. Експериментальна, розрахована дифрактограми сполуки $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$ та різницева між ними.

Таблиця 1

Результати дослідження кристалічної структури тетрарної сполуки $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$

Емпірична формула	$Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$
Просторова група	$P6_3$ (№ 173)
a, (нм)	0,95412(2)
c, (нм)	0,61841(2)
V, (нм^3)	0,48754(3)
Кількість атомів в комірці	23,0
Кількість вільних параметрів	20
Кількість атомних позицій	6
Розрахована густина (г/см^3)	5,9071(4)
Адсорбційний коефіцієнт (1/см)	783,68
Дифрактометр	ДРОН 4-13

Випромінювання та довжина хвилі, нм	Cu 0,154185
Спосіб обрахунку	Повнопрофільний
Програма для обрахунку	CSD
R_I; R_P	0,0608; 0,1773
2θ; sinθ/λ (макс)	100,02; 0,497
Фактор шкали	0,4982(2)
Вісь текстури і параметр	[111] 1,54(3)

У структурі дослідженої сполуки атоми Ho розміщені у тригональних призмах $[Ho3S_13S_21S_3]$ з одним додатковим атомом, атоми Ni – у центрах октаедрів $[Ni6S_2]$, а атоми Sn – у тетраедрах $[Sn3S_11S_3]$.

У таблиці 2 представлено міжатомні відстані (δ, нм) та координаційні числа атомів у структурі сполуки $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$.

Таблиця 2

Міжатомні відстані (δ, нм) та КЧ атомів

Атоми		δ (нм)	КЧ
Ho	– S2	0,2706(6)	7
	– S2	0,2709(9)	
	– S2	0,2718(8)	
	– S1	0,2793(9)	
	– S3	0,2829(4)	
	– S1	0,2878(7)	
	– S1	0,3184(8)	
Ni	– 3S2	0,2521	6
	– 3S2	0,2668	
Sn	– 1S3	0,2208(9)	4
	– 3S1	0,2343(9)	

Висновок

Методами рентгенофазового аналізу досліджено квазіпотрійну халькогенідну систему Ho_2S_3 – NiS – SnS_2 за температури 770 К. Вперше встановлено утворення у цій системі нової тетрарної сполуки $Ho_3Ni_{0,5}SnS_7$. Методами рентгеноструктурного аналізу підтверджено приналежність її кристалічної структури до структурного типу $La_3Mn_{0,5}SiS_7$ (ПГ $P6_3$).

Список використаних джерел

[1]. Collin G. Structure cristalline de $La_6MnSi_2S_{14}$ / G. Collin, P. Laruelle // Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, Serie C, Sciences Chimiques. – 1970. – V.270. – P.410-412.

УДК 621.315.592

МЕХАНІЗМИ РОЗСІЯННЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В $n-Si$ З ІЗОВАЛЕНТНОЮ ДОМІШКОЮ Ge

ас.Місюк С.Я., доц. Коровицький А.М.
Луцький національний технічний університет
м. Луцьк, вул. Львівська 75, 43018, Україна

У кристалах $n-Si$ вивчається вплив розсіювання обумовленого ізовалентною домішкою Ge на рухливість носіїв. Внаслідок різниці ковалентних радіусів основної компоненти кремнію (1.17 Å) та ІВД германію (1.22Å) в околі заміщення виникають внутрішні напруження: деформується кристалічна ґратка, змінюється її стала. Ефективність розсіяння в значній мірі визначається величиною внутрішніх локальних напружень [1], які залежать від вмісту ізовалентної домішки германію.

Крім розсіювання на ізовалентних домішках були враховані і інші механізми розсіювання. Детальні експериментальні й теоретичні дослідження рухливості електронів у n-кремнії [2, 3, 4 – 7] показали, що в області переважно фононного розсіяння вона визначається як внутрідолинним, так і міждолинним розсіянням на коливаннях ґратки. Теоретичні розрахунки із врахуванням розсіяння на довгохвильових акустичних фононах і міждолинного розсіяння імпульсу при взаємодії електронів із фононами відповідних усереднених температур $\theta_1 = 190\,K$ і $\theta_2 = 630\,K$ дають доволі добре узгодження з експериментом у широкому температурному інтервалі $80 \div 500\,K$.

У роботі проведено дослідження рухливості носіїв заряду у кристалах $n-Si$ з ІВД Ge, вирощених методом Чохральського. Концентрація ІВД Ge змінювалася в інтервалі $2\cdot10^{19} \div 2\cdot10^{20} см^{-3}$. Для порівняльної оцінки результатів досліджень було використано також зразки $n-Si$ без ІВД Ge та проведено експеримент при тих самих умовах.

Виявлено, що при зниженні температури кристалів менше $200\,K$ і концентраціях ІВД Ge $N_{Ge} \cong 2\cdot10^{19} \div 2\cdot10^{20} см^{-3}$ крім існуючих механізмів розсіяння додається механізм розсіяння електронів на ІВД германію. У практично важливій області температур $220 \div 450\,K$, нахили всіх кривих ($\mu \sim T^{-2.3}$) однакові, що свідчить про основну роль міждолинного розсіяння та розсіяння на коливаннях гратки в досліджуваних кристалах.

Список використаних джерел

1. Сафаров В.И., Титков А.Н. Непрямые бесфононные оптические переходы в смешанных кристаллах германий-кремний. – ФТТ. – 1972. – Т. 14, № 2. – С. 458 – 462.

2. Херринг К., Фогт Э. Теория явлений переноса и потенциала деформации для полупроводников со многими минимумами на изоэнергетических поверхностях и с анизотропным рассеянием: Пер. с англ. – М.: ИЛ, 1957. – 567 с.

3. Самойлович А.Г., Буда И.С., Даховский М.В. Теория анизотропного рассеяния // ФТП. – 1973. – Т. 7, № 4. – С. 859.

4. Аше М., Васецький В.М., Максимчук О.Г., Сарбей О.Г. Розсіювання електронів у $n-Si$ // УФЖ. – 1970. – Т. 15, № 10. – С. 1691 – 1698.

5. Long D/ Scattering of Condaction Electron by Lattice Vibration in Silicon // Phys. Rev. – 1960. – Vol. 120, № 6. – P. 2024 – 2032.

6. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 304 с.

7. Томчук П.М. Анизотропное рассеяние носителей тока в полупроводниках // УФЖ. – 1968. – Т. 13, № 1. – С. 136 – 137.

УДК 621. 315. 592

ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА МОНОКРИСТАЛАМИ $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ ПРИ T=77 K

ст. викл. Новосад О. В., маг. Марчук Б. С., доц. Божко В. В.
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43035, Україна, e-mail: ovosa@ukr.net

Досліджено спектри поглинання світла твердими розчинами $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ при температурі T=77 K. Досліджувані монокристали відповідали компонентному складу 5, 10, 15 і 20 мол.% $ZnIn_2Se_4$, та належать до напівпровідників *n*-типу провідності.

Вимірювання спектрів поглинання світла здійснювалось за допомогою монохроматора МДР-206 з датчиком на основі кремнієвого фотоприймача. Для обробки сигналу із фотоприймача використовували програму «Монохроматор». Температура 77 K забезпечувалась рідким азотом з використанням установки, яка складалась з регулятора температури УТРЕКС К41-3 та лабораторно-дослідного кріостата К41-3. Для вимірювань використовувалися зразки з плоско-паралельними поверхнями оптичної якості, товщиною (0,06÷0,1) мм.

Технологія вирощування, результати рентгеноструктурних досліджень та деякі фізичні властивості монокристалів $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ представлені в [1-3]. Спектри поглинання світла монокристалами $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ при кімнатних температурах ($T\approx300$ K) досліджені у роботах [4,5].

На основі експериментальних результатів, представлених на рис.1., ми оцінили значення E_g при $T=77$ K. Оцінка E_g проводилась при коефіцієнті поглинання світла $K=350$ см$^{-1}$. E_g і виявилась рівною 1,05 еВ, 1,06 еВ, 1,09 еВ, 1,11 еВ для монокристалів з 5, 10, 15, 20 мол.% $ZnIn_2Se_4$ відповідно.

З представлених на рис.1. даних видно, що при збільшенні вмісту другої компоненти в твердому розчині $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ E_g зростає. Збільшення E_g, при наближенні до межі існування однофазного твердого розчину (~20 мол.% $ZnIn_2Se_4$), може обумовлюватись зменшенням параметрів елементарної комірки перерізу $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ [1-5].

На відміну від спектрів поглинання світла при кімнатних температурах, спектри поглинання світла при $T=77$ K не описувались правилом Урбаха [4,5]. Це свідчить про різні механізми оптичних переходів в монокристалах $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ при $T=77$ K та $T=300$ K. У загальному випадку для кристалічних напівпровідників частотна залежність коефіцієнта поглинання світла (K), згідно з [6], визначається формулою:

$$K = A\left(h\nu - E_g\right)^{\beta},$$

де E_g – ширина забороненої зони, A – константа. Показник степеня β залежить від механізму оптичних переходів: $\beta=1/2$ та $\beta=2$ – при прямих та непрямих дозволених переходах, $\beta=3/2$ та $\beta=3$ - при прямих та непрямих заборонених переходах.

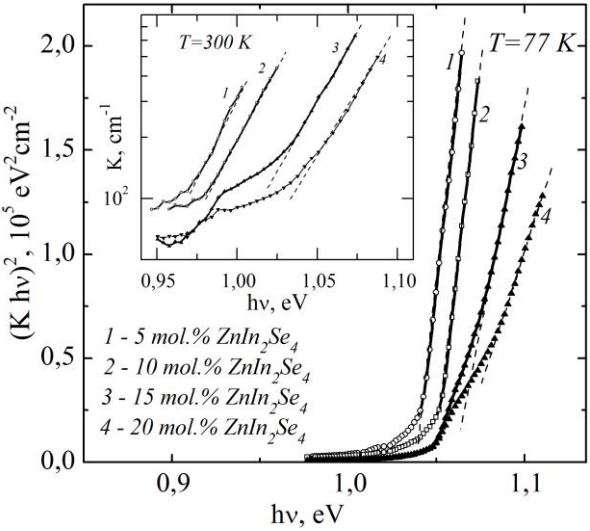


Рис.1. Спектри поглинання світла монокристалами $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$.

Аналіз експериментальних результатів показав, що спектри поглинання світла *K=K(hν)* монокристалами $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ при *T=77* К описуються прямою лінією в координатах $K^2(h\nu)^2$–$h\nu$ (рис.1.). Тобто показник степеня β виявився рівним 0,5, що дає можливість зробити припущення про те, що $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ є прямозонними напівпровідниками, а поглинання світла обумовлюється прямими оптичними переходами.

Список використаних джерел

[1] V.V. Bozhko, A.V. Novosad, O.V. Parasyuk [et al.] // Semiconductors 48 (2014) 747–752.

[2] V.V. Bozhko, A.V. Novosad, O.V. Parasyuk [et al.] // Journal of Physics and Chemistry of Solids 82 (2015) 42–49.

[3] Фотоелектричні властивості та магнітоопір твердих розчинів $CuInSe_2$–$ZnIn_2Se_4$ та $CuInS_2$–$ZnIn_2S_4$ / Г. Є. Давидюк, В. В. Божко, О. В. Новосад [та ін.] // Наук. вісн. Вол. нац. ун-ту ім. Лесі Українки: Фіз. науки. – 2009. – №. 18. – С. 19–25.

[4] Виготовлення, електричні та оптичні властивості твердих розчинів $Cu_{1-x}Zn_xInSe_2$ (x=0,05–0,2) / В. В. Божко, Г. Є. Давидюк, О. В. Парасюк [та ін.] // Укр. фіз. журнал. – 2010. – Т.55, №3. – С. 313–317.

[5] Influence of cation-vacancy defects on the properties of $CuInSe_2$–$ZnIn_2Se_4$ solid solutions / V. V. Bozhko, O. V. Novosad, O. V. Parasyuk [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – Vol. 618. – P. 715–717.

[6] V. L. Bonch-Bruevich and S. G. Kalashnikov, Physics of semiconductors, Nauka, Moscow, 1990.

УДК539.216.2:537.62:548.73

THE HYBRID NI-C-FILM STRUCTURES OBTAINED BY METHOD MAGNETRON DEPOSITION

Pas'ko M.I. [1], Prudnikov A.M. [2], Shalaev R.V. [2]

[1] *Donetsk National Medical University named after M.Gorky, Lyman, Ukraine,*
[2] *O. O. Galkin Donetsk Institute for Physics and Engineering Kyiv, Ukraine*
paskomariia@gmail.com

After discovering the carbon (carbon-nitrogen) nanomaterials – nanotubes/nanofibres (CNT/CNF) numerous investigations were devoted to studying their growing mechanisms [1, 2]. As for technology, tubes filled with various materials are the objects of special interest, and magnetic metals are the most impotent among them. Nanotube is a cover for single domain ordering state of magnetic metal nanowire.

Standard methods [3-5] of obtaining the carbon nanotubes with filling by atoms of transition metals require use of metal catalysts, high temperature of growth (600-800°C) and technologically difficult post growth processing.

At the same time, activation of carbon and nitrogen, required when grow similar materials, is possible in low temperature plasma. The last is the important factor for deposition of these materials onto polymers and other objects with low working temperature. It considerably expands possibilities of using the similar materials.

Noncatalytic method of forming the nanocolumnar film structures can be the alternative way of obtaining nanostructures like nanotubes/nanofibres. Magnetron sputtering, as a method compatible with semiconductor technology, allows obtaining the nanocolumnar arrays of various materials (carbon, metals) at some growing conditions. Hybrid nanocolumnar structures of "core/shell" type nanoclusters, for example magnetic metal (Ni, Fe, Co) covered with carbon are the objects of special interest. Structure and properties of such materials are studied intensively because of their high potential applications. Carbon covering is able to provide the biocompatibility and to protect metal nanoparticles from oxidation during their application.

The present work was aimed at studying structure and magnetic properties of hybrid Ni-C films synthesized at low temperature magnetron deposition of nickel-carbon clusters.

Nanocolumnar Ni-C-N film structures were obtained by a method of magnetron sputtering of nickel-carbon target in argon and nitrogen atmosphere onto quartz glass 5x10 mm^2. We used a DC planar magnetron with flat cathode and ring anode. Target-substrate distance was 2.0 cm, substrate holder was grounded. Magnetron discharge power did not exceed 20 W. In a growth chamber gas pressure was 150 mTorr. Substrate temperature varied in limits 300-320^{0}C. The growth time of the films varied in limits 10 s up to 10 min.

A double disk structure was used as a target in which the nickel disk with apertures was imposed onto solid graphite disk (99,9% purity). Three groups of films were grown in which C/Ni-ratios were: 30/70 – A group; 40/60 – B group; 60/40 – C group. Film thicknesses were up to 100 nm.

The surface morphology of the films was analyzed by probe nanolaboratoryNtegra Aura atomic force microscope. The relative content of atoms in the samples was determined by energy dispersive X-ray (EDX) spectroscopy using an INCA Penta FETx3 (Oxford Instruments) attachment. The structure of samples was studied by X-ray diffraction (XRD) on a DRON-3 instrument using Co*K*α radiation. The saturation magnetization of the film material was studied using an inductive–frequency setup, in which a change in the resonance frequency $\Delta F \propto \Delta M = f(H)$ was measured for an oscillatory circuit with a sample placed into the induction coil [6].

Three groups of films of system Ni-C with relation C/Ni=30/70 (*A* group); 40/60 (*B* group); 60/40 (*C* group) were grown up. AFM has shown that under the given conditions magnetron deposition of films had a cluster character: Ni-C-clusters of nanometer in size already formed in plasma were deposited on a substrate surface. X-ray diffraction of *A* group films fixes a nickel phase, and the Ni-crystallites size grows with increase in substrate temperature. For films of *B* and *C* groups X-ray diffraction fixes a nickel phase only at hot substrate, on cold substrates films with nanocrystallites of nickel carbide Ni_3C are formed. Magnetic measurements have shown, that *A* group samples have ferromagnetic properties at deposition on a cold substrate while for *B* and *C* groups ferromagnetism arises at achievement some critical temperature of substrate ~ 80°C and ~150°C accordingly.

[1] Sunny V, Kumar D, Yoshida Ya, Makarewicz M, Tabis W and Anantharaman M 2010 CARBON 48 1643

[2] El Mel A, Gautron E, Angleraud B, Granier A and Tessier P 2011 CARBON 49 4595

[3] Merkulov V, Melechko A, Guillorn M, Lowndes D and Simpson M 2002 Appl. Phys. Lett. 80 476

[4] Navas D, Hernandez-Velez M, Vazquez M, Lee W and Nielsch K 2007 Appl. Phys. Lett. 90 192501-3

[5] Rossi G, Rapallo A, Mottet C, Fortunelli A, Baletto F and Ferrando R 2004 Physical review letters 3 105503-4

[6] Dovgii V, Linnik A, Pashchenko V, Derkachenko V, Prokopenko V, Turchenko V and Davydeiko N 2003 Technical Physics Letters 29 610

УДК 548.736.4

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ В ПОТРІЙНИХ СИСТЕМАХ R-Ni-Sn

асп. Романів І.М., пров. наук. сп.Ромака Л.П., проф. Павлюк В.В.
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна
e-mail:ivona6250@gmail.com

Дослідження фазових діаграм металевих систем є важливим етапом пошуку нових матеріалів, у ході якого вивчають стабільність проміжних фаз (температурні та концентраційні межі існування), вплив розмірного фактора, методів синтезу. Потрійні системи рідкісноземельних металів, нікелю і станому вивчені для більшості представників ряду рідкісноземельних елементів. Аналіз вивчених нами систем {Y,Sm,Ho,Er}-Ni-Sn тадосліджених раніше R-Ni-Sn (R=La, Ce, Nd, Gd, Dy, Lu)[1] засвідчив значну різноманітність стехіометрій і кристалічних структур проміжних тернарних фаз, які утворюються як в області із значним вмістом Ni, так і в областях з високим вмістом Sn та рідкісноземельних металів (РЗМ).Подібність електронної структури атомів РЗМ приводить до утворення в системах R-Ni-Sn при заміні атомів РЗМ ряду сполук однакового складу та сполук, що кристалізуються в однакових структурних типах. Прикладом можуть служити сполуки RNiSn зі структурою типу TiNiSi, які утворюються з усіма рідкісноземельними металами. Сполуки складів $RNiSn_2$, RNi_5Snта R_2Ni_2Snутворюються також у системах R-Ni-Snза участю повного ряду РЗМ та Y. У випадку сполук $RNiSn_2$ для РЗМ церієвої підгрупи характерний структурний тип $CeNiSi_2$ (похідний структурного типу $ZrSi_2$) [2], тоді як для рідкісноземельних металів підгрупи ітрію сполуки $RNiSn_2$ кристалізуються в структурному типі $LuNiSn_2$ [1,2].Оскільки бінарні станідиRSn_2 (де R– рідкісноземельні метали підгрупи Ітрію) належать до структурного типу $ZrSi_2$, для відповідних потрійних систем характерним є утворення твердих розчинів включення RNi_xSn_2 на основі сполук RSn_2. Морфотропний перехід спостерігається і для сполукRNi_5Sn [2-4]: структурний тип $CeNi_5Sn$ (R=La-Nd)→структурний тип $CeCu_{4,38}In_{1,62}$ (R=Sm, Gd-Yb)→структурний тип $CeCu_5Au$ (R=Lu). Структурний перехід від типу W_2CoB_2 до тетрагональної структури типу Mo_2FeB_2 в залежності від розміру рідкісноземельних елементів характерний для сполук R_2Ni_2Sn [5].

Серед систем R-Ni-Sn досліджена нами потрійна система Sm-Ni-Sn(773 К) характеризується найбільшою кількістю тернарних сполук (16). Варто зазначити, що за стехіометрією і кристалічними структурами тернарних сполук система Sm-Ni-Sn займає проміжне місце між рідкісноземельними елементами церієвої і ітрієвої підгруп. При взаємодії самарію з нікелем і станумом реалізуються структурні типи, які є типовими для систем з РЗМ підгрупи церію – $CeNiSi_2$, KAu_4Sn_2, Mo_5SiB_2, $CaBe_2Ge_2$. В той же час, в системі утворюються

тернарні сполуки зі структурами типів Ho_6Co_2Ga, $HoGa_{2,4}Sn_{2,6}$, $Lu_3Co_{7,77}Sn_4$ і $CeCu_{4.38}In_{1,62}$, характерними для РЗМ підгрупи ітрію. За високого вмісту нікелю в системі Sm-Ni-Sn спостерігається співіснування сполук $SmNi_5Sn$ (структурний тип $CeCu_{4,38}In_{1,62}$) та $SmNi_{4,84}Sn_{1,16}$ зі структурою типу $CeNi_5Sn$. Обидві структури містять фрагменти структурного типу $CaCu_5$, в якому кристалізується бінарна сполука $SmNi_5$. Укладка поліедрів в структурах сполук $SmNi_5$, $SmNi_5Sn$ і $SmNi_{4,84}Sn_{1,16}$ показана на рис. 1.

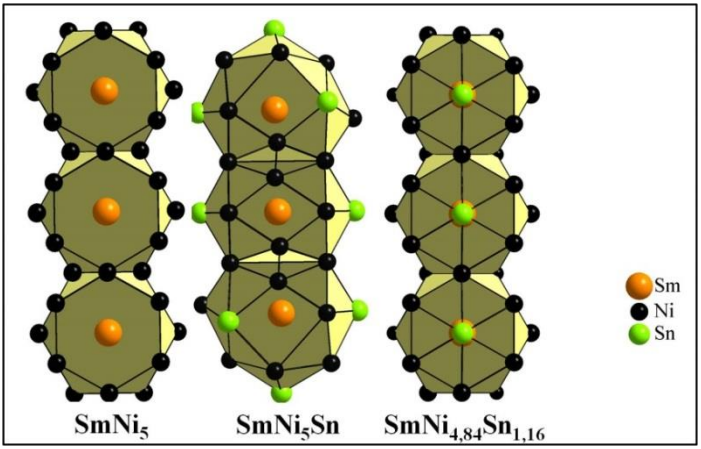
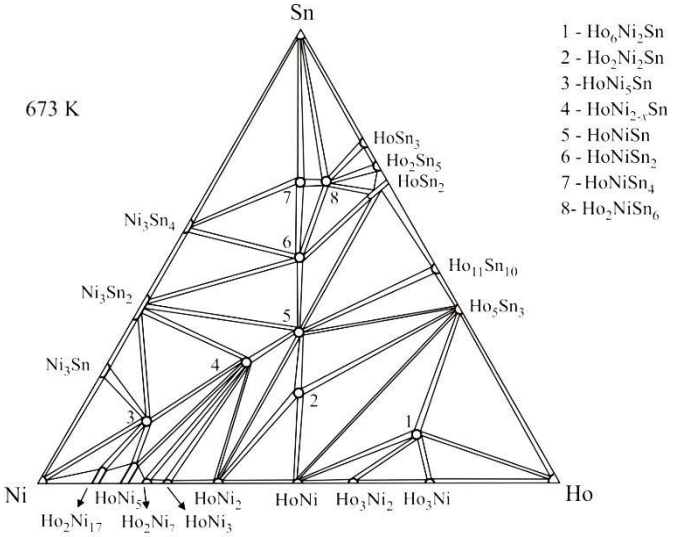


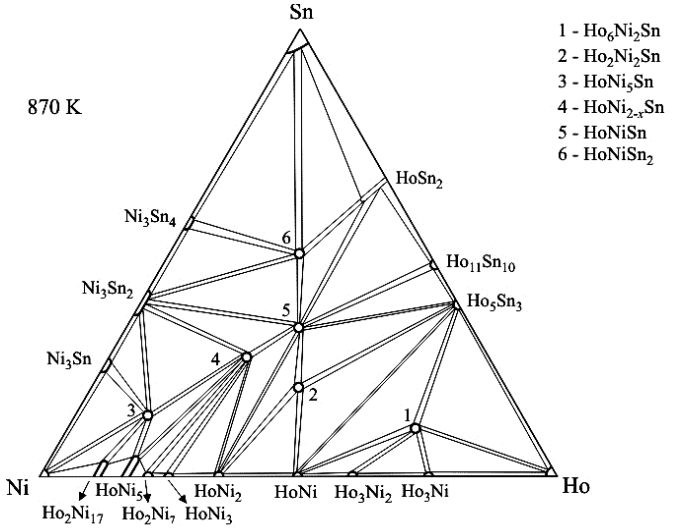
Рис. 1. Укладка поліедрів в структурах сполук $SmNi_5$, $SmNi_5Sn$ і $SmNi_{4,84}Sn_{1,16}$.

Виконане дослідження систем {Ho,Er}-Ni-Sn за температур відпалювання673 і 870 К[6, 7]засвідчує важливий вплив температурного фактора на характер фазових рівноваг металевих систем, утворення та стабільність проміжних сполук (рис. 2). У системах Ho–Ni–Sn і Er–Ni–Sn сполуки з високим вмістом станууму (понад 60 ат. % Sn) R_2NiSn_6 і $RNiSn_4$, які існують при 673 К (рис. 2,а), за температури відпалювання 870 К не утворюються. Згідно з результатами рентгенофазового аналізу, зразки відповідних складів належать до трифазових полів в обох системах.

Результати дослідження сполук R_2NiSn_6 (структурний тип Lu_2NiSn_6) і $RNiSn_4$ (структурний тип $LuNiSn_4$) методом диференціального термічного аналізу (синхронний термоаналізаторLINSEISSTAPT 1600)засвідчили їхнє існування до ~850 К.



а



б

Рис. 2. Діаграми фазових рівноваг системи Ho–Ni–Sn при 673 К (*а*) і 870 К (*б*).

Порівняльний аналіз досліджених систем R-Ni-Snз легкими і важкими рідкісноземельними елементами засвідчує значний вплив *f*-елемента як на характер фазових рівноваг так і на утворення, хімічні і структурні

характеристики тернарних сполук. При переході від систем Sm-Ni-Sni Gd-Ni-Sn [8], в яких утворюється 16 і 14 сполук, відповідно, до систем {Ho,Er}-Ni-Sn, кількість сполук зменшується до восьми. Певна відмінність спостерігається в системіLu-Ni-Sn, в нікелевому куті якої утворюються сполуки $LuNi_2Sn$ (структурний тип $MnCu_2Al$) і $LuNi_4Sn$ (структурний тип $MgCu_4Sn$) [9], характерні тільки для цієї системи.

Список використаних джерел

[1] В.В. Ромака, Л.П. Ромака, В.Я. Крайовський, Ю.В. Стадник, Станіди рідкісноземельних та перехідних металів (Львівська політехніка, Львів, 2015).

[2] R.V. Skolozdra, in: K.A. Gschneidner, Jr. and L. Eyring (Eds.), Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Vol. 24, 1997, 399 p.

[3] R. Skolozdra, R. Szymczak, H. Szymczak, L. Romaka, M. Baran,Crystal structure and magnetic properties of the new stannides $RNi_{5-x}Sn_{1+x}$, J. Phys. Chem Solids57 (1996) 357-363.

[4] V.V. Romaka, B. Marciniak, L. Romaka, Yu. Gorelenko, V. Pavlyuk,$LuNi_5Sn$: A first representative of RNi_5Sn stannides with $CeCu_5Au$ structure,J. AlloysCompd. 493 (2010) L12-L14.

[5] B. Heying,U.Ch, Rodewald,B. Chevalier,R. Pottgen, The stannides R_2Ni_2Sn (RE=Pr, Ho, Er, Tm) – structural transition from W_2B_2Co to the Mo_2B_2Fe type as a function of the rare earth size, Z. Naturforsch. 68b (2013) 10–16.

[6] Л. Ромака, І. Романів, В. Ромака, А. Горинь,Взаємодія компонентів у потрійних системах {Ho,Er}-Ni-Snпри 870 K, Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. 57 (2016) С. 45–52.

[7] L. Romaka, I. Romaniv, V.V. Romaka, V. Pavlyuk. Phaserelationshipsinthe {Ho,Er}-Ni-Snternarysystems at 673 K and crystal structure of new ternary compounds//J. Alloys Compd. 631 (2015) 288-297.

[8] L. Romaka, V.V. Romaka, Yu. Stadnyk, P. Demchenko, Interaction of the components in the Gd-Ni-Sn ternary system at 770 K, J. Alloys Compd. 505(2010) 70-75.

[9] V.V. Romaka, L. Romaka, Contribution to the investigation of ternary Lu–Ni–Sn system, J. Alloys Compd. 509 (2011) 4530-4533.

УДК 535.3, 535.212

ФОТОХРОМІЗМ КРИСТАЛІВ СИЛЕНІТІВ З ДЕФЕКТАМИ СТРУКТУРИ

проф. Панченко Т.В., м.н.с. Дяченко А.О.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
49010, м. Дніпро, просп. Гагаріна, 72,
annadiachenko459@gmail.com

Кристали силенітів із загальною формулою $Bi_{12}MO_{20}$ (M = Ge, Ti, Si та ін.) є фоторефрактивними і фоточутливими матеріалами, які застосовуютьсяу динамічній голографії [1]. Оптичні та фотоелектричні властивості цих кристалів визначаються дефектними центрами, рівні яких розташовані в забороненій зоні. Такі центри пов'язані з порушеннями структури або стехіометрії. За даними рентгеноструктурного аналізу досконалою кристалічною структурою володіють кристали германосиленітів $Bi_{12}GeO_{20}$ (BGO), а найбільшу кількість власних дефектів мають кристали титаносиленітів $Bi_{12}TiO_{20}$ (BTO), кристали силікосиленітів $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO) займають середнє положення [2]. У той же час в прикладному плані вони найбільш перспективні. Це зумовило наш вибір кристалів BSO для досліджень.

Відомо, що в межах області гомогенності в системі Bi_2O_3:SiO_2стехіометричний склад містить 14,3 мол.% SiO_2 і 85,7 мол.% Bi_2O_3. Відхилення складу кристала від стехіометричногопризводитьдо зміни зарядового стану іонів вісмуту (Bi^{3+} ↔ Bi^{5+}), витіснення ними структуроутворюючих катіонів Si^{4+} з кисневих тетраедрів, поява дефектів зарядової компенсації в кисневих підгратках і утворення великої концентрації власних точкових дефектів (~ 10^{18}÷ 10^{19} $см^{-3}$). Вони і є найбільш характерними дефектами для BSO.

В роботі представлені результати експериментального дослідження впливу дефективнестехіометрії (надлишок-дефіцит Bi) на спектральні залежностіфотохромного ефекту (ФХЕ) кристалів BSO.Нами з розплаву $Bi_xSiO_{1,5x+2}$ методом Чохральського були вирощені кристали з дефіцитом (BSO-Bi) і надлишком (BSO + Bi) вісмуту при x = 10,5 і 12,5, відповідно (в межах області гомогенності BSO).

Встановлено, що спектри ФХЕ $\Delta\alpha^{PCE} = \alpha^{ф} - \alpha^{ст}$ ($\alpha^{ф}$ – фотоіндуковане поглинання (після опромінення світлом), $\alpha^{ст}$ – стаціонарне поглинання) нестехіометричних кристалів в діапазоні λ = 450 ÷ 700 нм аналогічні спектрам стехіометричного BSO. Останні узгоджуються з даними, приведеними в літературі [3]. Однак в кристалах BSO-Biз'являється смуга поглинання з максимумом при λ_{max}= 420 нм.В кристалахBSO + Bi, на відміну від BSO, в ІЧ-діапазоні (при λ = 700 ÷ 900 нм) спостерігається гасіння фотохромного ефекту. Спектри ФХЕ мають загальні смуги зі спектрами додаткового поглинання, викликаного надлишком (дефіцитом) Bi. В цілому, надлишок або дефіцит

вісмуту обумовлює відповідно посилення або послаблення ФХЕ в кристалах BSO (рис. 1).

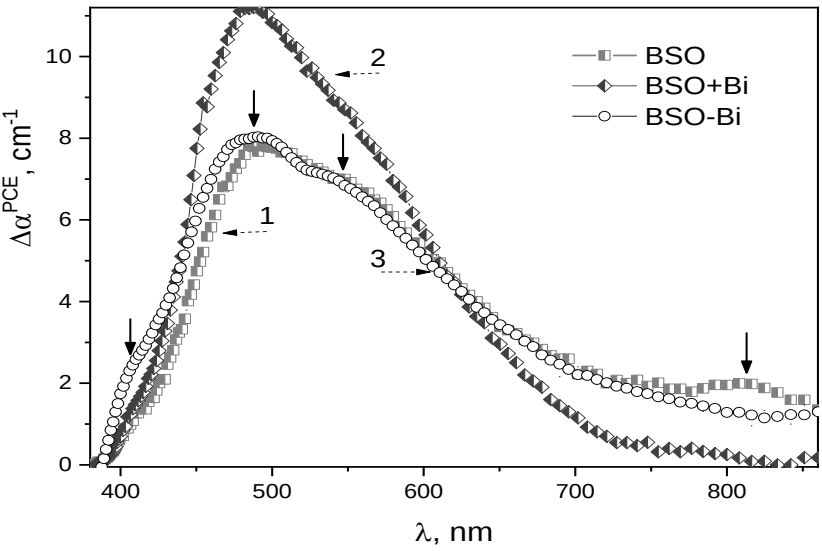


Рисунок 1. Спектри ФХЕ $\Delta\alpha^{PCE}(\lambda)$ кристалів BSO (1), BSO+Bi(2), BSO-Bi (3) після опромінення світлом з λ = 440-470нм(синє світло).

Спектри $\Delta\alpha^{PCE}(\lambda)$ досліджених кристалів були розкладені на індивідуальні гаусові компоненти. Оцінка сили осцилятора цих компонент дає $f \sim 10^{-2}$. Така величина f характерна для електронних переходів, обумовлених переносом заряду типу ліганд-метал і електрично-дипольних переходів між основним і збудженим станами дефектів. Природа таких дефектів обговорюється.

Список літератури:

1. Ricardo J. Digital holographic microscopy with photorefractive sillenite $Bi_{12}SiO_{20}$ crystals [Text] / J. Ricardo, M. Muramatsu// Opticsand Lasersin Engineering. – 2013. – V. 51. – P. 949 – 952.

2. LimaA. Structural, electronic, optical, and magneto-optical propertiesof $Bi_{12}MO_{20}$ (M=Ti, Ge, Si) sillenite crystals from first principles calculations / A. Lima, S. Farias //Journalofappliedphysics. – 2011. – V. 110. – P. 083705.

3. Żmija J. Photochromic effect sinsillenite single crystals / J. Żmija, M. Małachowski // Archivesof Materials Science and Engineering. – 2008. – V. 33. – P. 101 – 106.

УДК 537.323;546.86/.87

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІВ Bi_2Te_3 З МАЛОЮ ДОМІШКОЮ Bi_2Se_3 (0 – 2,5 мол.%) ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 300 К

маг. Собко М.Є., проф. Рогачова О.І., м.н.с. Дорошенко Г.М.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, вул. Кирпичова, 2, e-mail: doroshenko_an@kpi.kharkov.ua

Тверді розчини Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 активно використовується в якості одного з основних матеріалів для термоелементів, що працюють за температур ~ 200-350 ^{0}C [1]. Незважаючи на те, що матеріали потрійної системи Bi_2Te_3 – Bi_2Se_3 досліджуються відносно давно, багато їх особливостей до кінця не вивчені і не структуровані. Наприклад, практично відсутні роботи, присвячені дослідженню впливу на термоелектричні властивості невеликої концентрації Bi_2Se_3 у матриці телуриду вісмуту [2]. Хоча, дослідження різних механічних, теплових, гальваномагнітних та термоелектричних, властивостей для ряду твердих розчинів на основі металів [3], напівметалів V-V [4,5] та напівпровідникових сполук IV-VI [6] показали наявність екстремальної поведінки залежностей склад-властивість при малому вмісті одного з компонентів (~ 0.01 – 2.0 мол.%). На основі накопиченого експериментального матеріалу зроблене припущення про загальну закономірність поведінки структурних та електрофізичних властивостей твердих розчинів з малим вмістом домішки, проте питання про їх природу відкрите [3-6]. Наприклад, автори роботи [6], пов’язують виявлені екстремуми на залежностях склад-властивість з критичними явищами, що мають місце при реалізації фазового переходу перколяційного типу від розбавлених до концентрованих твердих розчинів. З іншого боку, використання нових фізичних ефектів та явищ – сучасний тренд вирішення основної задачі термоелектричного матеріалознавства, а саме пошуку нових шляхів покращення характеристик відомих термоелектричних матеріалів.

У зв’язку з вищезазначеним, темою даної роботи було дослідження характеру залежностей термоелектричних властивостей (електропровідності σ та коефіцієнту Зеєбека S) від складу твердих розчинів Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 поблизу чистого телуриду вісмуту. Об’єкти дослідження – полікристалічні злитки Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 у інтервалі концентрацій 0 – 2,5 мол.% Bi_2Se_3 що були виготовлені шляхом сплавлення чистих елементів Bi, Te і Se у вакуумованих кварцових ампулах за температури 800 ^{0}C. Після сплавлення та повільного охолодження злитки піддавалися відпалу протягом 300 годин за температури 300 ^{0}C. Вимірювання σ проведено за допомогою чотирьохзондового методу, а S – компенсаційним методом відносно мідних електродів. Вимірювання S і σ проведені за температури 300 К. Середньоквадратична похибка вимірювань не перевищувала 3 % і 5 %, відповідно.

Показано, що усі синтезовані кристали мають *p*-тип провідності. Отримані значення величини S і σ для чистого телуриду вісмуту відповідають

відомим літературним даним для полікристалічних зразків [1,2]. На залежностях термоелектричних властивостей від складу полікристалів Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 у інтервалі концентрацій ~ 1.0 – 2.0 мол.% Bi_2Se_3 виявлено екстремуми (різьке зростання σ та зменшення S). Наявність екстремумів пов'язується з реалізацією фазового переходу перколяційного типу від розбавлених до концентрованих твердих розчинів

Список використаних джерел

[1] Гольцман Б.М. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 / Б.М. Гольцман, В.А. Кудинов, И.А. Смирнов – Москва: Наука, 1972. – 320 с.

[2] Oh T.S. Thermoelectric properties of the hot-pressed (Bi,Sb)2(Te,Se)3 alloys / T.S. Oh, D.-B. Hyun, N.V. Kolomoets // Scripta Materialia. – 2000. – V. 42. – № 9. – P. 849-854.

[3] Гончаров Е.Г. Свойства разбавленных твердых растворов системы медь-никель монокристаллической и пленочной структуры / Е.Г. Гончаров, Ю.М. Бондарев, И.Е. Шрамченко и др. // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2013. – Т. 15. – № 4. – С. 398-403.

[4] Бондарев Ю.М. Об особенностях фазовой диаграммы системы Sb-Bi вблизи чистой сурьмы / Ю.М. Бондарев, А. Ю. Завражнов, Е. Г. Гончаров и др. // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2006. – № 2. – С. 23-28

[5] Дорошенко А.Н. Термоэлектрические свойства поликристаллических твердых растворов $Bi_{1-x}Sb_x$ в интервале концентраций x = 0 – 0.25 / А.Н. Дорошенко, Е.И. Рогачева, А.А. Дроздова и др. // Термоэлектричество. – 2016. – № 4. – С. 25-39.

[6] Рогачева Е.И. Перколяционные эффекты и термоэлектрическое материаловедение // Термоэлектричество – 2007. – № 2. – С. 64-76.

UDC 544.183.26:546.05+539.232+546.492'23

QUANTUM-CHEMICAL MODELING OF SYNTHESIS REACTIONS OF SEMICONDUCTOR HgSe FILMS

master Chaykivska R.T.[1], Ph.D student Stadnik V.E.[1], jr. researcher Sozanskyi M.A.[1], assoc. prof. Shapoval P.Yo.[1], assoc. prof. Laruk M.M.[1], prof. Yatchyshyn Yo.Yo.[1], researcher Kovalskyi Ya.P.[2]

[1]Lviv Polytechnic National University, St. Banera Sr. 12, 79013, Lviv, Ukraine;
[2]Ivan Franko National University of Lviv, Kyryla i Mefodiya St. 6, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: ruslana.chaikivska@gmail.com

The mercury selenide (HgSe) films was synthesized on glass substrates by chemical bath deposition method with using aqueous solutions of mercury (II) nitrate ($Hg(NO_3)_2$, sodium selenosulfate (Na_2SeSO_3) and complexing agent (potassium thiocyanate (KSCN) or potassium iodide (KI) or sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$)). A solution of sodium selenosulfate was prepared by adding powdered selenium to an aqueous solution of sodium sulfite (Na_2SO_3) and refluxing for 3 hours.

The deposition was carried out on glass substrates in a glass bath, after which they were removed from the bath, washed with distilled water and dried in air. In the case of using KSCN, the deposition duration was 10-80 min at room temperature (293 K), in the case of KI – 2-10 min at 363 K and in the case of $Na_2S_2O_3$ – 20-220 min at room temperature.

The synthesized samples of HgSe films were of a dark brown color. Their adhesion to the glass substrate was weak. Films were easily removed by applying small mechanical forces.

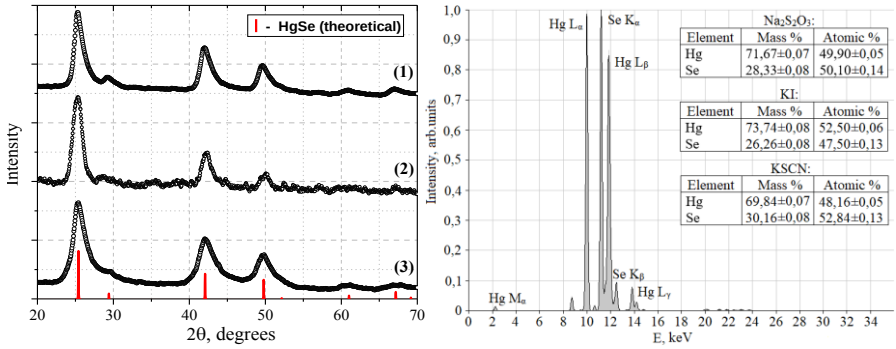
The phase composition of the synthesized samples was carried out by the X-ray diffraction (XRD) analysis (DRON-3.0 diffractometer, CuKα-radiation) (Fig. 1 a). It was found that in all cases the films are single-phase and consist of HgSe compound in cubic modification (structural type ZnS, sphalerite). The X-ray fluorescence (XRF) analysis (ElvaX Light SDD spectrometer, “Elvatech”) was made (Fig. 1 b). The HgSe films have practically stoichiometric atomic ratio of mercury to selenium. There are small excess of Se atoms in the case of using $Na_2S_2O_3$ and KSCN and small excess of Hg atoms – In the case of using KI.

According to the morphology studies on a scanning electron microscope (REM-106I «Selmi»), it was found, that all films surface was smooth, solid and consisting of small amount of surface defects. In the case of using KSCN the film surface consists of spherical particles.

The modeling and calculation of geometrical and energy parameters of the synthesis reactions of HgSe films with different complexing agents (KSCN, KI and $Na_2S_2O_3$) was done by PM6 semi-empirical method in the MOPAC 2016 program [1] and graphical interface Winmostar [2]. The most energetically profitable ways of the synthesis reactions of HgSe films had been studied. The geometry of starting mercury

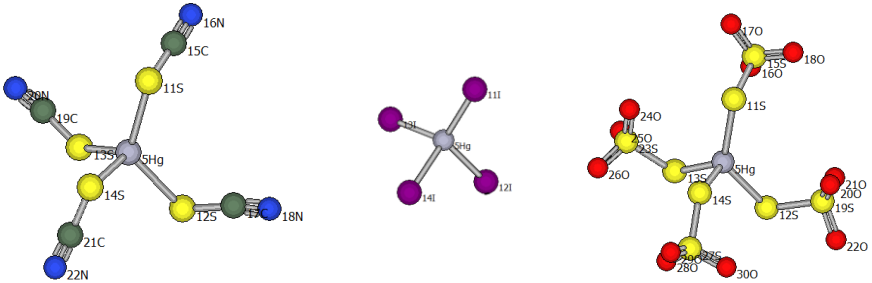
complexes is shown in Fig 2. By results of calculations, it was found that $SeSO_3^{2-}$ ions is approaching to mercury complexes ($[Hg(SCN)_4]^{2-}$, $[HgI_4]^{2-}$ or $[Hg(S_2O_3)_4]^{6-}$) and crowding out one of their 4 ligands (SCN^-, I^- or $S_2O_3^{2-}$). As a result, the transitional reactive complexes with selenosulfate appear at the synthesis process: $[SO_3Se\cdots\cdots Hg(SCN)_3]^{3-}$ in the case of using KSCN or $[SO_3Se\cdots\cdots HgI_3]^{3-}$ – in the case of using KI or $[SO_3Se\cdots\cdots Hg(S_2O_3)_3]^{6-}$ – in the case of using KI (Fig. 3). During the synthesis the $SO_3Se\cdots$ ligands of transitional complexes reacts with OH^- ions of solution medium. As a result of such interaction the HSO_4^-, then SO_4^{2-} ions are formed and transitional complexes transform to $[Se\cdots\cdots Hg(SCN)_3]^{3-}$ (in the case of using KSCN) or $[Se\cdots\cdots HgI_3]^{3-}$ (in the case of using KI) or $[Se\cdots\cdots Hg(S_2O_3)_3]^{3-}$ (in the case of using $Na_2S_2O_3$). Finally, they destruct with formation of HgSe molecules and free ligands (SCN^-, I^- or $S_2O_3^{2-}$).

Based on the obtained data of quantum-chemical modeling by the PM6 semi-empirical method, the energy stages diagrams of synthesis reactions of HgSe films with different complexing agents were constructed (Fig. 4). The diagrams show a different energy character of the transitional stages, which lead to the formation of molecules of the final product. In the case of KSCN (from 1 to 3 stage) and $Na_2S_2O_3$ (from 1 to 2 stage), it is necessary to give a small amount of energy to the system (~52 and ~33 kJ/mol, respectively). This is also called the energy barrier. In all cases of complexing agents, the reactions occur with a decrease in the total energy of the system, which is the largest for the synthesis with KSCN (~500 kJ/mol, the most energy-efficient). In the case of using $Na_2S_2O_3$ and KI the total energy decrease is somewhat smaller (~450 kJ/mol, the less energy-efficient). In practice, the HgSe films with the best set of properties are obtained with using $Na_2S_2O_3$.



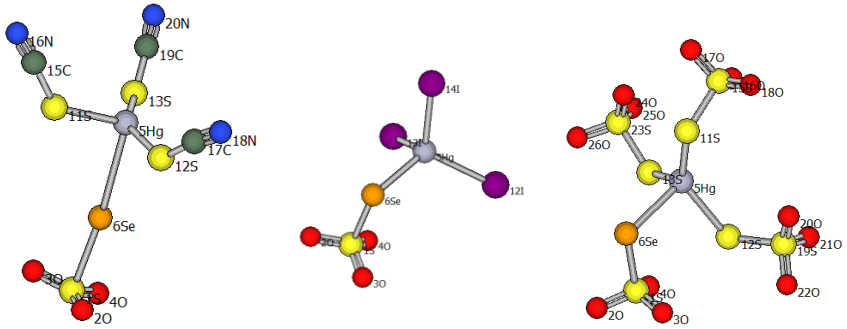
a b

Fig. 1. The XRD patterns of HgSe films, synthesized with using various complexing agents (1 – KSCN, 2 – KI, 3 – $Na_2S_2O_3$) and XRF spectra with results of their elemental analysis.



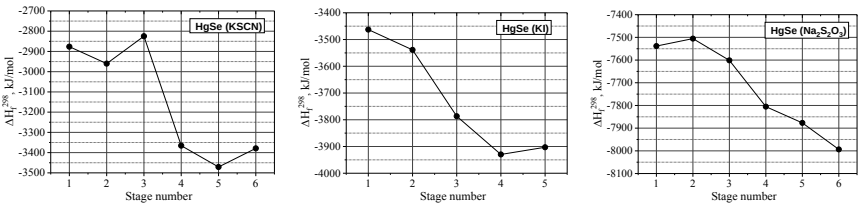
a b c

Fig. 2. The complexes $[Hg(SCN)_4]^{2-}$ (a), and $[HgI_4]^{2-}$ (b), $[Hg(S_2O_3)_4]^{6-}$ (c) modeled by the PM6 method in the MOPAC 2016 program



a b c

Fig. 3. Transitional reactive complexes with selenosulfate at synthesis of HgSe films with different complexing agents (a – KSCN, b – KI, c – $Na_2S_2O_3$)



a b c

Fig. 4. Energy stages diagrams of synthesis reactions of HgSe films with different complexing agents (a – KSCN, b – KI, c – $Na_2S_2O_3$)

This research is conducted under the project “Thin Film Semiconductor Materials for Photo Sensitive Solar Cells” (State Registration № 0117U004455

[1] Stewart J.J.P. Program Package MOPAC2016 (http://www.openmopac.net).
[2] Senda N. Program Package Winmostar (http://winmostar.com).

УДК 548.736.4+544.653

СТРУКТУРНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗ $LaZn_{1-x}Fe_xTAGdZn_{1-x}Fe_x$, x = 0,4

Чорна Н.О., Думас І.Ю., Мирош Л.В, Зелінська О.Я., Кордан В.М., Зелінський А.В., Павлюк В.В.

Кафедра неорганічної хімії

Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна

Здатність багатокомпонентних сплавів на основі рідкоземельних та перехідних металів зворотно абсорбувати/ десорбувати водень дає можливість використовувати ці сплави як накопичувачі водню та електродні матеріали ухімічних джерелах енергії (ХДЕ) [1,2]. До таких сплавів належать сплави тернарних систем La–Fe–Zn та Gd–Fe–Zn, дослідження яких розпочато нами раніше [3,4]. У результаті вивчення фазових рівновагв цих системах встановлено зокрема, що сполуки LaZn та GdZn(структурний тип CsCl, просторова група *Pm*-3*m*,символ Пірсона*cP*2)можуть розчиняти~2 ат. % Fe, утворюючи тверді розчини заміщення $LaZn_{1-x}Fe_x$ та $GdFe_{2-x}Zn_x$, x = 0,04. Метою цієї роботи було дослідити ефективність електрохімічного гідрування згаданих фаз, визначити структурні та електрохімічні характеристики електродних матеріалів на їхній основі.

Зразки для дослідження складу $La_{50}Fe_5Zn_{45}$ та$Gd_{50}Fe_5Zn_{45}$готували сплавлянням шихти з високочистих металів (лантан, гадоліній – 99,87, залізо – 99,98, цинк – 99,9 мас. % основного компонента) в електродуговій печі в атмосфері очищеного аргону. Для гомогенізації сплави відпалювали при 400°C (у випадку сплавів з La) або500°C (у випадку сплавів з Gd) впродовж місяця та гартували в холодній воді не розбиваючи ампул.Рентгенофазовий аналіз сплавів проводили на основі дифрактограм, одержаних за допомогою дифрактометра ДРОН-2.0М (Fe*K*α-випромінювання, інтервал кутів $20<2\theta<120°$, крок сканування – 0,05°), використовуючи програмиPowderCell, Latcon та FullProf.

Електрохімічне гідрування сплавівздійснювали в прототипі ХДЕ«Swagelok-cell». Як анод використовували сплав масою ~0,3 г, розтертий у порошок і змішаний з електролітом до однорідної маси. Як катод використовували змочену електролітом суміш свіжо виготовленого нікель(II) гідроксиду та графіту (90 та 10 мас. %, відповідно). У зібраному вигляді катод і анод були відокремлені сепаратором, змоченим електролітом – 6 М розчином KOH. Тестування зразків здійснювали в гальваностатичному режимі. Процес заряджання ХДЕ проводили при 0,5 мА, а розряджання– при 0,2 мА впродовж 50 циклів до повного насичення матеріалу анода Гідрогеном. Окисно-відновні процеси, які відбувалися на електродах під час заряджання і розряджання, можна зобразити схемою:

$$RZn_{1-x}Fe_x + zH_2O + z\bar{e} \xleftrightarrow{\text{заряд}-\text{розряд}} RdZn_{1-x}Fe_xH_z + zOH^-, \text{ де } R = \text{La, Gd}$$

$$Ni(OH)_2 + zOH^- - z\bar{e} \xleftrightarrow{\text{заряд–розряд}} NiOOH + zH_2O.$$

Для отримання заряд-розрядних кривих використовували аналогоцифровий модуль з автоматичною реєстрацією сигналу та пакет програм LabView. Масу поглинутого Гідрогену обчислювали за законом Фарадея.

Як показали результати рентгенофазового аналізу синтезований сплав $La_{50}Fe_5Zn_{45}$був практично гомогенний та містив основну фазу $LaZn_{1-x}Fe_x$(структурний тип CsCl, a = 0,3751(2) нм, V = 0,05277(8) нм^3)з областю гомогенності, що не перевищує 2 ат. %, та невеликі домішки βLa та αFe.Із зарядних кривих, одержаних під час електрохімічного гідрування сплаву,видно, що електродний матеріал потребує тривалого процесу активації поверхні та об'єму. Зі збільшенням числа циклів значення потенціалу плато заряджання зрословід 1,5 до 2 В. Характер розрядних кривих показав, що до 10 циклу відбувалася активація матеріалу анода, і лише після цього ХДЕ почало працювати в оптимальному режимі роботи. Максимальний час розряджання становив приблизно 60хв (10 цикл), і зі збільшенням числа циклів поступово зменшився до 42 хв (50 цикл). Максимальна кількість поглинутого Гідрогену становила 0,005 Н/ф.о.Рентгенофазовий аналіз матеріалу анода після гідрування показав, що він зазнає суттєвих змін. Зі збільшенням числа циклів заряду-розряду та часу перебування в середовищі електроліту відбувається руйнування первинної структури сполуки та утворення продуктів взаємодії сплаву і електроліту, зокрема $La(OH)_3$. Це призводить до аморфізації матеріалу аноду, про що свідчить поява широкого максимуму на дифрактограмі зразка після гідрування.

Результати рентгенофазового аналізу сплаву $Gd_{50}Fe_5Zn_{45}$ показали, що він містив основну фазу $GdZn_{1-x}Fe_x$ (структурний тип CsCl, a = 0,35897(1) нм, V = 0,04626(1) нм^3) з областю гомогенності ~2 ат. %. Характер зарядних кривих, одержаних під час електрохімічного гідрування сплаву, показав, що матеріал до 10-го циклу потребував суттєвої активації поверхні. Після 15-го циклу спостерігалось деяке зростання потенціалу плато заряджання від 1,5 до 1,65 В. Характер розрядних кривих підтвердив, що ХДЕ почало працювати в оптимальному режимі роботи після 10 циклу. Максимальний час розряджання становив приблизно 81хв (10 цикл), і зі збільшенням числа циклів поступово зменшився до 60 хв (45 цикл). Максимальна кількість поглинутого Гідрогену становила 0,009 Н/ф.о.Рентгенофазовий аналіз матеріалу анода після гідрування показав, що він не зазнає суттєвих змін. Зі збільшенням числа циклів заряду-розряду та часу перебування в середовищі електроліту матеріал дещо аморфізувався, про що свідчила поява широкого максимуму на дифрактограмі зразка після гідрування та утворення продуктів взаємодії сплаву і електроліту, а саме Gd_2O_3.Проте матеріал все ж зберіг первинну структуру вихідної фази $GdZn_{1-x}Fe_x$, x = 0,04. Параметри елементарної комірки гідриду $GdZn_{0,96}Fe_{0,04}H_{0,009}$ порівняно з вихідною сполукою дещо збільшились a = 0,35912(1) нм, V = 0,04631(3) нм^3.

Якщо порівнювати електрохімічні характеристики та хімічну стійкість обох зразків в середовищі електроліту, то можна побачити, що анодний матеріал на основі фази з Gdперевершиваналогічний зразок з Laза цими показниками, що виявляється, зокрема, у кращій його хімічній стійкості, довшому часі розряду та більшій кількості поглинутого Гідрогену.Номінальна напруга ж обох ХДЕ знаходилась в межах 1,1-1,3 В, що є типовим значенням для металогідридних акумуляторів.

*1.*Handbook of battery materials/Besenhard J.O. (Ed.)Wiley-VCH, Weihein, 1999, 1023 p.

*2.*VincentC.A., ScrosatiB., Modern batteries an introduction to electrochemical power sources: 2nd edn. Arnold, London, 1997, 351 p.

3. Дичко Н., Зелінська О., Зелінський А., Павлюк В. Ізотермічний переріз діаграми стану системи La–Fe–Zn при 670 K //Вісн. Львів. ун-ту. Серія хім. – 2015. – Вип. 56. – С. 46-52.

4.Sagan N., Dychko N., Zelinska O., Zelinskiy A., Pavlyuk V. Phase equilibriain the ternary system Gd–Fe–Zn // Матер. III Всеукр. наук.-практ. конф. молод. вчен. та студ. «Фізика і хімія твердого тіла: стан, досягнення і перспективи», 24-25 жовтня 2014, Луцьк. – С. 100.

Секція 2
Новітні фізичні та хімічні методи дослідження і технології

УДК 537.9

ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ ТВЕРДИХ ПАРАМАГНІТНИХ РЕЧОВИН ТА ЇХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

студ. Бобокало С.Ю., доц. Ящинський Л.В.,
доц. Коваль Ю.В., доц. Захарчук Д. А.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: l.yashchynskyy@lntu.edu.ua

Розробка нових речовин з наперед заданими властивостями ведеться сьогодні в різних напрямах. Серед найбільш перспективних і наукоємних, можна виділити дослідження і виробництво нових магнітних матеріалів. Матеріали з наперед передбачуваними магнітними властивостями необхідні для вдосконалення управління і контролю різних технологічних процесів, для конструювання датчиків струму і магнітного поля, для нових технологій запису інформації. Особливою увагою сьогодні користуються рідкі та сипучі магнітні матеріали, що дозволяє використовувати їх в різних технологічних конфігураціях.

Проте багато досягнень людського розуму в даний час залишаються на стадії теоретичних розробок. Це пов'язано з тим, що позитивний результат від того чи іншого відкриття або вдосконалення в значній мірі залежить від способу впровадження його в життя. В такому випадку визначальними є певні критерії, за якими користувач – інженер чи науковець, вибирає ту чи іншу технологію для забезпечення своїх технічних потреб.

Виходячи з вищесказаного, було проведено порівняльну характеристику методик експериментів по дослідженню магнітної сприйнятливості твердих парамагнітних речовин та їх водних розчинів.

Порівняння проводилось за такими критеріями:

1) технологічність створення експериментальної установки; 2) спосіб підготовки зразків для експерименту; 3) час вимірювань та розрахунків; 4) точність вимірювань; 5) ступінь повторюваності результатів вимірювань; 6) кореляція результатів, одержаних різними методами, з довідниковими даними.

Створено установки, та одержано експериментальні дані для визначення магнітної сприйнятливості парамагнітних сполук за трьома методиками: визначення магнітної сприйнятливості за різницею рівнів рідини в U-подібній трубці; метод віскозиметра; метод зважування в магнітному полі.

Розглянувши позитивні сторони і недоліки даних методик за вищезгаданими критеріями, не применшуючи окремих переваг перших двох методик, автор рекомендує метод зважування як достатньо точний експрес метод для визначення магнітної сприйнятливості парамагнітних речовин.

УДК 620.1

ЗМІНА КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІНОПОЛІУРЕТАНУ З ДОДАВАННЯМ ДОМІШОК ДЕРЕВНОГО БОРОШНА

асп. Бондар К.А., доц. Зайчук Н.П.
Луцький національний технічний університет
e-mail: kateryna.bondar@modern-expo.com

Пінополіуретан (ППУ) – ізоляційний матеріал з низьким коефіцієнтом теплопровідності, що має низьку вагу та високу міцність. Він складається з двох компонентів: поліольного, що містить поліоли, каталізатори, стабілізатори, спінювач та антипірени, та ізоціанатного компоненту.

В результаті синтезу двох компонентів отримують пінополіуретан, а за рахунок зміни рецептури та режимів переробки вдається отримати матеріал з необхідними властивостями: жорсткий, м’який чи еластичний, з різними фізико-механічними властивостями.

У науковій роботі було досліджено зміну теплоізоляційних властивостей пінополіуретану із додаванням вторинної сировини – деревного борошна. Основними змінними параметрами були фракційність деревного пилу (200, 560), вид дерева (дуб, хвоя, ясен) та його відсотковий вміст від загальної маси двох компонентів.

Спільними показниками для різних видів деревного пилу виявилося те, що процес спінювання відбувався лише при додаванні до 25 % домішок від загальної маси компонентів. При збільшенні даного відсоткового вмісту дерева процес полімеризації пришвидшувався, за рахунок якого дослідний зразок не заповнював необхідний об’єм.

На теплоізоляційні властивості впливає структура та розміри бульбашок, які утворюються під час полімеризації. Після підготовки дослідних зразків були проведенні дослідження їх макроструктури (мал.1, мал.2).

а)

б)

в) г)

Малюнок 1 – Макроструктура зразка пінополіуретану з домішками дубового деревного борошна фракційністю 200:
а) вміст домішок 1 %; б) вміст домішок 10 %; в) вміст домішок 15 %; г) вміст домішок 20 %

а) **б)**

в) **г)**

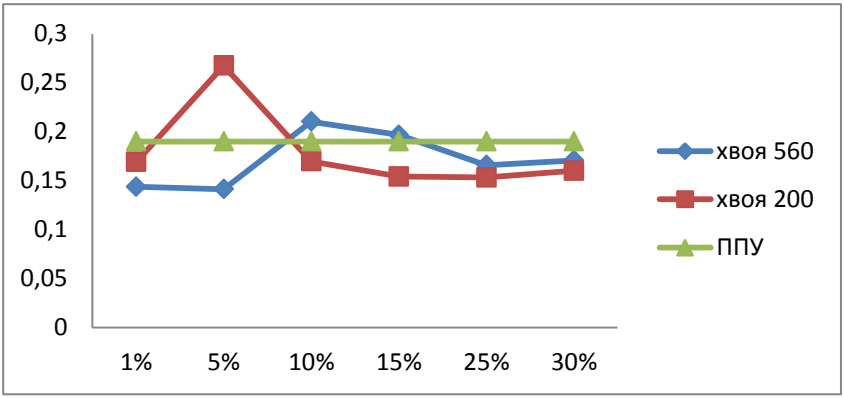
Малюнок 2 - Макроструктура зразка пінополіуретану з домішками дубового деревного борошна фракційністю 560:
а) вміст домішок 1 %; б) вміст домішок 10 %; в) вміст домішок 15 %; г) вміст домішок 20 %

Результатом дослідження стала зміна структури матеріалу при збільшенні вмісту деревного борошна.

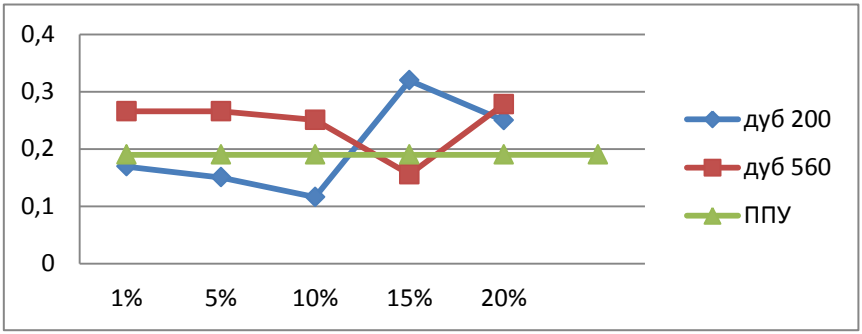
При дослідженні макроструктури зразків із вмістом дубового деревного пилу виявили, що на процес синтезу компонентів та піноутворення впливає фракційність домішок. Тобто, при формуванню структури пінополіуретану із борошном дуба 200 видно закономірність збільшення бульбашок піни, а при піноутворенні даного матеріалу із додаванням деревного пилу фракційністю 560 із вмістом домішок 20 % структура набуває вигляду такого ж, як із вмістом добавок 1 %. Тобто стає однорідною.

Однією із важливих умов піноутворювання було те, що процес полімеризації всіх зразків відбувався в одному і тому ж об'ємі при сталій кімнатній температурі.

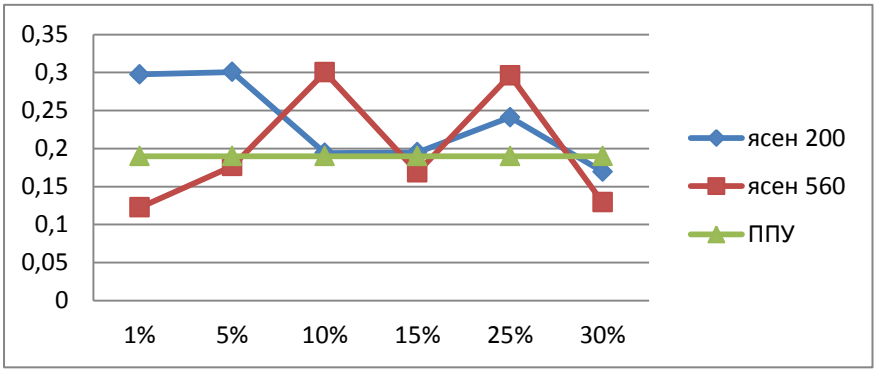
Основним показником теплоізоляційних матеріалів являється їх коефіцієнт теплопровідності, для даних зразків він був визначений методом Христіансена. Так як при стаціонарному тепловому потоці через будь–яку пластинку за рівні проміжки часу проходять рівні кількості теплоти, ми використовували пластинку текстоліту із відомим коефіцієнтом теплопровідності, товщиною 10 мм, діаметром 400 мм, а також дослідні зразки із такими з габаритними розмірами. За даним методом знімалися показники температури трьох алюмінієвих пластинок, які знаходилися між електроплиткою та текстолітом, між текстолітом та зразком, і між зразком і посудиною з холодною водою. Згідно проведених досліджень були прораховані коефіцієнти теплопровідності (мал. 3, 4, 5).



Малюнок 3 – Зміна коефіцієнта теплопровідності пінополіуретану із домішками деревного борошна із хвої



Малюнок 4 – Зміна коефіцієнта теплопровідності пінополіуретану із домішками деревного борошна із дуба



Малюнок 5 – Зміна коефіцієнта теплопровідності пінополіуретану із домішками деревного борошна ясену

Як видно із досліджень, за допомогою вмісту домішок деревного пилу коефіцієнт теплопровідності можна знижувати і при цьому отримувати матеріали із бажаними теплоізоляційними властивостями. Стабільне зниження коефіцієнта спостерігалося у матеріалі із домішками хвої, при додаванні її в пінополіуретан у вигляді вторинної сировини можна зменшити необхідну кількість компонентів (поліолу та ізоціанату).

УДК 621.763

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОНАПОВНЕНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

ст. викл. Боярська І.В., ст. Вишинський М.І., доц. Кашицький В.П.
Луцький національний технічний університет, 43018, м. Луцьк, 75,

Біоінженерія займається завданням по відновленню втрачених, пошкоджених або відмерлих тканей, звертаючись для вирішення проблем до елементарних наук і користуючись математичними знаннями. Будь-який матеріал, який використовується для цієї мети, може розглядатися як біоматеріал.

Біокомпозити складаються з біорозкладаючого полімеру в якості матриці і, звичайно, біоволокон як армуючих елементів. Останні, як правило, мають низьку вартість, низьку щільність, високу стійкість до ударних навантажень, прийняту питому міцність, хороші теплові властивості, легко відокремлюються і розкладаються, дають підвищений енергетичний ефект при утилізації. Біоволокна забезпечують зниження зносу формуючого обладнання при переробці, а також сприяють зменшенню шкірного і дихального подразнення. Матриця служить в якості сполучного, перерозподіляючи навантаження на волокна.

Як вихідний матеріал використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). В якості твердника застосовано поліетиленполіамін – ПЕПА (ТУ 6-02-594-70), який має високу швидкість взаємодії амінних груп з епоксигрупами.Як наповнювачі використано стебла рослинного походження – стебла сіна і соломи.

Експериментально підтверджено, що найвищу твердість 54 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами сіна з фракцією 0,5, низькі показники твердості 48 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами сіна з фракцією 1,0. Тому можна зробити висновок, що із зростанням розміру фракції, твердість при цьому знижується на 6 %. Також слід зазначити що із збільшенням масової частки наповнювача, твердість значно зменшується.Експериментально підтверджено, що найвищу твердість 51 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 0,5, низькі показники твердості 46 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 1,0. Тому можна зробити висновок, що із зростанням розміру фракції, твердість при цьому знижується на 5 %. Також слід зазначити що із збільшенням масової частки наповнювача, твердість значно зменшується.

Встановлено, що найвищу межу міцності на стиск 42 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами сіна з фракцією 0,5, низькі показники міцності на стиск 34 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами сіна з фракцією 1,0. Експериментально підтверджено, що найвищу межу міцності на стиск 41 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 0,5, низькі показники міцності на стиск 32 МПа має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 1,0. Отже, можна

зробити висновок, що кращі показники міцності при випробуванні на стиск мають стебла сіна.

Експериментально підтверджено, що найкращу ударну в'язкість 0,60 Дж/мм^2 має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 0,5, низькі показники ударної в'язкості 0,32 Дж/мм^2 має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 1.0. Тому можна зробити висновок, що із зростанням розміру фракції, ударна в'язкість при цьому знижується на 28 %. Експериментально підтверджено, що найкращу ударну в'язкість 0,53 Дж/мм^2 має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 0,5, низькі показники ударної в'язкості 0.28 Дж/мм^2 має ЕКМ, наповнений стеблами соломи з фракцією 1,0. Тому можна зробити висновок, що із зростанням розміру фракції, ударна в'язкість при цьому знижується на 15 %. Також слід зазначити що із збільшенням масової частки наповнювача, межа ударної в'язкості значно зменшується. Таким чином по даних показниках можна зробити висновок, що кращі показники міцності на ударну в'язкість має епоксикомпозит наповнений стеблами сіна, а стеблами соломи має значно понижені показники.

Встановлено, що найкращі властивості має епоксикомпозитний матеріал наповнений стеблами сіна із фракцією 0,5. Епоксикомпозитний матеріал з даним видом наповнювача можна використовувати в автомобільній промисловості для обшивок дверей та панелей, як захисне покриття деталей машин що працюють в умовах температур до 80 °С, у вологому середовищі до 60 °С та в будівельних конструкцій, а також в декоративних цілях.

Список використаних джерел

1. Стухляк П.Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий. – Тернополь: Збруч, 1994. – 177 с.

2. Кашицький В.П. Розробка захисних покриттів з підвищеною зносостійкістю на основі епоксидних композитів, модифікованих кремнійорганічним лаком КО-921: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.02.01 – Луцьк: ЛДТУ, 2006. – 20 с.

3. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.

4. Стухляк П.Д., Букетов А.В., Добротвор І.Г. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями. – Тернопіль: Збруч, 2008. – 208 с.

5. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Еникополов Н.С. Принципы создания композиционных полимерных материалов. – М.:Химия, 1990. – 240 с.

УДК 531.7

РЕЖИМ РОБОТИ І КЛАСИФІКАЦІЯ ЛАЗЕРІВ НА ВІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОНАХ

доц. Богданюк М.С., ст. Ващук О.В., ст. Кривець Л.А.
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, 43000 Волинська область, м. Луцьк, просп. Волі, 13, dobriak100level@ukr.net

ЛВЕ будуть працювати в кілька абсолютно особливих режимах, в яких справедливі різні фізичні принципи, а для характеристики важливих параметрів використовується досить широка термінологія. Тут ми коротко розглянемо режими роботи і відповідну класифікацію.

Якщо струм електронного пучка малий і енергія пучка висока (наприклад, 20 МеВ), а довжина хвилі випромінювання лежить в короткохвильовому (ІЧ) діапазоні, то ми маємо режим ЛВЕ, який називають по-різному: комптонівським, двохвильовим, інтерференційним або режимом одночасткової взаємодії. У цьому випадку існує дуже близька аналогія між ЛВЕ і лінійним прискорювачем: збільшенню (зменшенню) енергії частинок відповідає загасання (посилення) енергії електромагнітного поля. Оптимальне посилення ЛВЕ залежить від того, наскільки правильно ми виберемо енергію пучка і довжину ондулятора; з цього такий режим називають ще й режимом кінцевої довжини ондулятора. До ЛВЕ в загальному випадку не застосовується положення лазерної фізики, згідно з яким чим більший об'єм середовища, тим більше посилення і вихідна потужність. Крім того, ні про яке посилення не може бути й мови, коли в ЛВЕ оптичний пучок відбивається від дзеркала і рухається назустріч потоку електронів.

Лазери на вільних електронах, в яких має місце експоненціальне наростання хвиль і які нагадують традиційні лазери з накачуванням, працюють в довгохвильовому режимі ($l > 100$ мкм) при низькій енергії (зазвичай менше 5 МеВ) і при високій щільності струму пучка ($j > 1000$ А/см^2); ці ЛВЕ є компактними пристроями з високим коефіцієнтом посилення. Якщо пучок холодний (тобто розкид електронів по імпульсах невеликий), а амплітуда поля накачування ондулятора мала, то ми маємо ЛВЕ на комбінаційному розсіянні. При збільшенні поля накачування ондулятором коефіцієнт посилення зростає і ми приходимо до режиму великої амплітуди накачування з оптимальними значеннями посилення та ефективності (його ще іноді називають режимом осцилюючої двох потокової нестійкості). Проте якщо пучок має великий розкид по імпульсах, посилення і потужність зменшуються, але сигнал все ще експоненціально наростає вздовж ондулятора, то такий режим називають комптонівським з розкидом по імпульсах. Посилення зменшується тому, що ЛВЕ на комбінаційному розсіянні - це трьох хвильовий параметричний пристрій (хвиля накачування, сигнал і холоста хвиля), в якому як холоста хвиля може виступати або плазма, або хвиля просторового заряду. У разі електронів з розкидом по імпульсах, коли протилежна хвиля затухає внаслідок безударного

ефекту (за рахунок загасання Ландау), ми знову повертаємося до режиму малого посилення. (Усі ЛВЕ вимагають, щоб електронний пучок був досить холодним.).

Між одночастковими ЛВЕ і ЛВЕ, в яких істотну роль відіграють колективні ефекти, що призводять до експоненціального наростання посилення, можна провести досить просту межу. ЛВЕ діють в колективному (багаточастковому) режимі, коли система має достатньо велику довжину, а пучок - досить високу щільність, так що вздовж системи укладається декілька плазмових довжин хвиль. Це накладає верхня межа на енергію пучка і нижня межа на довжину хвилі. Іншим дуже важливим ефектом є взаємодія між силою, яка групує електрони пучка (будемо називати її пондеромоторною силою), і відштовхує сили просторового заряду. Пондеромоторна сила визначається амплітудами ондуляторного поля і сигналу, у той час як сили просторового заряду - щільністю струму і енергією пучка. Через цю конкуренцію сил посилення ЛВЕ в деяких випадках зростає, а в деяких зменшується[1]

Як і традиційні лазери на атомних переходах, ЛВЕ можуть працювати і як підсилювачі когерентного випромінювання, і як генератори (при використанні резонатора з дзеркалами), або як підсилювачі локального шуму. Останній випадок у відповідності з оптичною термінологією ми називаємо ЛВЕ на надвипромінюванні. Такий ЛВЕ при дуже великому посиленні може давати потужне частково когерентне випромінювання[2].

Список використаних джерел

1. Бруннер В. Справочник по лазерной технике: Пер. с нем. С74 М.: Энергоатомиздат, 1991. — 544 с

2. Маршалл Т. Лазери на вільних електронах / пров. з англ. — М: Світ, 1987.

УДК 53.072.8

ПРО ТЕХНОЛОГІЮ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ НА ОСНОВІ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ

студ. Бухарін В.В., доц. Ящинський Л.В.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: l.yashchynskyy@lntu.edu.ua

Виготовлення постійних магнітів на основі рідкоземельний металів (РЗМ) базується на застосуванні методів порошкової металургії. Процес їх отримання охоплює такі етапи [1]:

– витоплення сплаву в індукційній печі у вакуумі або інертному газі;

– механічне подрібнення зливків до фракції 2-3 міліметри з подальшим здрібненням на конусноінерційній дробарці до розмірів частинок 200-500 мікрометрів;

– тонкий домел у вібро- або планетарному млині;

– орієнтування (текстурування) у магнітному полі;

– пресування порошку під тиском до 200 МПа у магнітному полі;

– спікання при 1050-1150°С впродовж 1-3 годин у вакуумі та швидке охолодження;

– термообробка при 600-800°С, 1-3 години для отримання максимального значення коерцитивної сили;

– намагнічування виробів в імпульсному магнітному полі.

Автори [2] відмічають, що магнітні характеристики спечених магнітів суттєво залежать від розміру частинок порошку. Експериментально встановлено, що зі збільшенням середнього діаметра порошку (>10 мкм) характеристики магнітів знижуються. Тому оптимізація параметрів помелу (діаметр мелючих кульок їх кількість, частота обертання млина, тривалість помелу тощо) має важливе значення. Автори [2] також наголошують, що на магнітні властивості суттєво впливають і режими термічної обробки. Зокрема, відпал при 700-750 ^{0}С призводить до розпаду сполуки $SmCo_5$ за схемою:

$$20\ SmCo_5 \rightarrow 7\ Sm_2Co_7 + 3\ Sm_2Co_{17}.$$

Було виявлено (ФМІ НАН України), що при температурі біля 650^{0}С відбуваються певні втрати магнітних властивостей (точка К'юрі вище 750^{0}С), що пов'язується з певними структурними перетвореннями в магнітному матеріалі. У зв'язку з вищеописаним, для збору інформації з метою вияснення причин цього явища, було проведено дослідження залежності електричних (немагнітних) властивостей пресованого порошку $SmCo_5$ від температури.

Розроблена та виготовлена експериментальна установка включає в себе:

- вакуумну камеру (рис. 1), в яку поміщається виготовлений відповідним чином зразок магнітного матеріалу з електричними контактами, які виходять назовні і під'єднуються до вимірювальних приладів та джерела постійного струму;

Рис. 1. Вакуумна камера

- електричну піч з регулятором швидкості нагрівання;
- вакуумну систему, для створення вакууму у камері;
- генератор водню, для забезпечення вимірювань у водневому середовищі (при необхідності);
- пульт для управління вище згаданими приладами.

Для проведення вимірювань використано чотиризондовий метод визначення питомого електричного опору. Основна перевага цього методу полягає у тому, що не вимагається створення омічних контактів до зразка і можливе вимірювання питомого опору зразків найрізноманітнішої форми і розмірів. Умовою для його застосування є лише вимога, щоб лінійні розміри зразка перевершували лінійні розміри системи зондів.

За цим методом зразок пресованого порошку двома крайніми контактами під'єднували до стабілізованого джерела постійного струму. Сила струму контролювалась міліамперметром, послідовно включеним у коло зразок – джерело струму. З інших двох контактів, за допомогою мілівольтметра, знімалась різниця потенціалів, яка необхідна для розрахунку величини питомого опору. Питомий опір зразків розраховано за стандартною для даного методу формулою:

$$\rho = \frac{U_{23}}{I} 2\pi S,$$

використавши результати вимірів за електричною схемою, представленою на рис. 2.

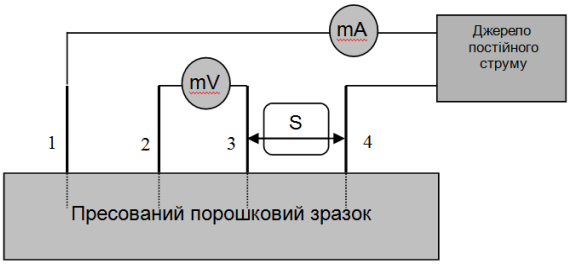


Рис. 2. Електрична схема чотиризондового методу

Для контролю температури зразка використовувалась термопара з відповідним мілівольтметром. Зразок з під'єднаними контактами герметизувався у вакуумній камері і разом з нею розміщувався в електропечі з регулятором швидкості нагрівання.

Результати досліджень дали стрибок питомого опору (до 10%) при температурі порядку 670-680 ^{0}C. Поряд з раніше одержаною втратою магнітних властивостей матеріалу [1, 2] при цих же температурах, одержані дані дозволяють говорити про появу додаткового механізму розсіювання, який пов'язується з перебудовою елементарної комірки, що приводить до зменшення рухливості носіїв заряду ($\mu = e\frac{\tau}{m}$, τ - час релаксації носіїв заряду, m - ефективна маса електрона в магнітному матеріалі за даних температур). Зменшення рухливості у свою чергу веде до зростання питомого опору зразка за даних умов.

Список використаних джерел

1. Федоров В. В., Булик І. І. Фізичний механізм водневого диспропорційнування-рекомбінації магнетних інтерметалевих сполук // Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів: Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2002. – № 4.
2. Федоров В. В., Булик І. І., Панасюк В. В. Водень як технологічне середо-вище для виготовлення сталих магнетів на основі сплавів РЗМ // Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів: Фізико-хімічна механіка матеріалів. –2009. – №2.

УДК 621.941.25(07)

ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ

студ. Вишинський М., доц. Дмитріюк М.В.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: dmytryuk@meta.ua

Чавун широко застосовується в промисловості як конструкційний матеріал завдяки простоті та невеликій вартості конструкцій, хорошій рідкотекучості, зносостійкості, надійній роботі в умовах знакозмінних навантажень і підвищених температур [1-3].

У літературі широко описані технологічні режими зварювання чавуна при усуненні дефектів у виливках та ремонті деталей, проте мало згадується про виготовлення зварних конструкцій. Структура чавуна через високий вміст вуглецю несприятлива для зварювання. Чавун схильний до утворення твердих та крихких структур (мартенситу, цементиту), що особливо проявляється при дуговому зварюванні, а при локальному нагріві – до утворення тріщин внаслідок термічних напружень. Нагрів та наступне охолодження при зварюванні чавунів змінює структуру та властивості в зоні плавлення та навколошовній зоні. Отримати якісне зварне з’єднання без дефектів та з певним рівнем механічних характеристик досить важко.

В даній роботі розглядалось дугове напівавтоматичне зварювання чавуну зварною проволокою Св 08А, що містить такі карбідоутворюючі елементи як манган та хром. Струм змінювали в межах 94…144 А. Зразки досліджували методами мікроструктурного аналізу з використанням металографічного мікроскопа МИМ-10 та вимірювали мікротвердість приладом ПТМ-3.

Дослідження показали, що зі збільшенням сили струму зварювання збільшується твердість та ширина перехідної зони шва,що пов’язано з посиленням термічного впливу на зварюваний метал. У структурі шва присутній мартенсит. Шов містять багато тріщин. Зварювання з підігрівом зменшує швидкість охолодження металу. Це перешкоджає відбілучавуна, а сповільнення охолодження сприяє утворенню феритної або ферито-перлітної металевої основи. Ширина перехідної зони в порівнянні з холодним зварюванням зменшується приблизно в 2 рази, а її твердість падає. Проте недоліком гарячого зварювання є відпал присадного дроту та утворення в структурі шва карбідів, причиною чого є пришвидшений перерозподіл легуючих елементів в зварювальній проволоці.

При охолодженні в піску спостерігається найменша ширина та твердість перехідної зони, порівняно невелика твердість шва. В цьому випадку швидкість охолодження значно сповільнюється, легуючі елементи рівномірно розподіляються в об’ємі зварювальної ванни.

Встановлено, що найкращими режимами зварювання чавунів є гаряче зварювання з підігрівом до 300°С з охолодженням в піску або з підігрівом до 400°С.

Список використаних джерел

1. Николаев Г. А. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. М.: Машиностроение, 1978.
2. Глизманенко Д. Л. Сварка и резкаметаллов. М.: Высшая школа, 2002.
3. Лашко Н. Ф. Лашко-Авакян С.В. Металловедение сварки. М.: Машгиз, 2002.

УДК 621.791.92

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗНОШУВАННЯ МІДИСТИХ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ

студ. Геліч С.А., доц. Дмитріюк М.В.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: dmytryuk@meta.ua

В сучасному матеріалознавстві актуальним напрямок є створення зносостійких матеріалів, які б задовільнили всезростаючі вимоги до зносостійкості вузлів тертя сучасної техніки.В цьому напрямку створюються литі композитні матеріали як штучного, так і природного походження з високими параметрами зносостійкості в умовах тертя ковзання.

До однієї з категорій зносостійких матеріалів природного походження відносять графітизовані чавуни.

Чавуни належать до категорії складних металічних трибосистем, складність яких полягає не тільки у багаточисельності об'єктів, що їх складають, але і у значній складності видів взаємодії між ними [1, 2,3].

В трибосистемахтакого типу, організованих за традиційними принципами механіки, переважно на всіх рівнях генеруються необернені механо-фізико-хімічні процеси та формуються фізико-хімічні зв'язки і структури. Внаслідок втрати стійкості від енергосилового впливу вони руйнуються і видаляються із трибосистеми. Нові поверхні утворюються за рахунок нижче лежачих шарів матеріалу спряжених поверхонь деталі, обумовлюючи зношування.

До механізму руйнування такої трибосистеми, хоч і обмежено, можна застосувати теорію розшарування, відповідно до якої руйнування поверхні відбувається внаслідок зношуваності при ковзанні та пластичній деформації поверхневого шару. Утворення тріщин в деформованій підповерхневійзоні призводить до їх поширення до поверхні з утворення пластинок зношуваності

Проведені нами металографічні дослідження підтвердили викладену вище концепцію механізму руйнування поверхонь тертя у високомідистих високоміцних чавунах.

Організація роботи трибосистеми на принципах і закономірностях нерівноважної термодинамікм і синергетики дозволяє створювати незношувані або малозношувані пари тертя, які функціонують завдяки утворенню і постійному поновленню на поверхні динамічної самоорганізованої дисипативної трибоструктури.

Список використаних джерел

1. Панов А.Г. Метод повышения стабильности результатов модифицирования графитизированных чугунов // М: Литейщик России, 2010, №8. - с. 17-19.
2. Волощенко, С.М.; и др. Применение высокопрочного бейнитного чугуна для производства сменных деталей грунтообрабатывающей техники отечественного производства //Наукові праці ДонНТУ. Серія: Металургія. 2011 Випуск 13(194)
3. Бобро Ю.Г., Дмитриюк Н.В., Гусачук Д.А. Высокомедистые чугуны с шаровидным графитом// Литейное производство. - М. – 1997. - №7 – с. 9-11.

УДК 674.81

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ДЕРЕВООБРОБКИ НА БАЗІ ПІДПРИЄМСТВА «ЛІСТРАНСБУД»

студ. Доля С.П., доц. Дмитріюк М.В.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: dmytryuk@meta.ua

Відомо, що сьогодні енергетичні проблеми стоять дуже гостро в Україні і в світі. На цьому фоні великий інтерес до поновлюваних і альтернативних джерел енергії [1].

Волинська область розташована на північному заході України. Площа лісових угідь Волинської області – 695 тис. га. Загальна лісистість території області - 35,5%. Однією з важливих проблем підприємств деревообробної промисловості є утилізація стружки, тирси, трісок і інших відходів лісозаготовки і лісопереробки.

Аналізуючи діяльность підприємства є ТзОВ «Лістрансбуд» (Волинська обл., Ковельський р-н, с. Гулівка), встановлено, що відходи виробництва сягають 60-80 м^3 у місяць.

Метою роботи є встановлення економічно доцільних шляхів утилізації відходів (стружки, тирси і ін.)деревообробних підприємств.

Встановлено, що одним із найбільш перспективних методів утилізації відходів деревообробки є виготовлення паливних пелет. Пелети (англ. pellets) – паливні гранули. Деревні гранули – продукти переробки деревних відходів, тирси, трісок або кори, є альтернативою традиційному паливу, що забезпечує досить широку область їх застосування. Деревні пелети використовують для опалення будинків і виробничих об'єктів, при топці каміна і розпалюванні багаття, де по суті пелети замінюють звичайні поліна.

Найкращим вирішенням проблеми по переробці відходів деревообробки є купівля міні-лінії гранулювання пелет МЛГ-100, яка призначена для гранулювання сухої тирси, стружки, і ін.. (діаметр 6 мм). Продуктивність міні лінії сягає 80-150 кг / год. За економічними розрахунками по окупності обладнання міні-лінія гранулювання окупиться за 8 місяців.

Так як підприємство планує будівництво сушки, то було запропоновано використання пелетного котла МПК-35. Обраний пелетний котел повністю автоматизований. Він забезпечений датчиками зовнішньої температури, внутрішньої температури, може налаштовуватися на вид використовуваного палива.

Переваги пелетної системи опалювання наступні.

1.Встановлення пелетного опалювального котла не потребує ніякого узгодження з державними органами (на відміну від газових котлів).

2.Ціна пелетного котла значно нижча, ніж ціна газового котла. Крім того, пелетний котел автономний і не вимагає дорогого врізання в газову магістраль.

3.Безперебійність постачань палива. Річний запас пелет цілком може зберігатися на складі.

Для українських підприємств, при використанні газової системи опалювання, один мДж тепла коштуватиме щонайменше 12 копійок. В той же час опалювання пелетами дозволяє отримати тепло майже в два рази дешевше - по 7 копійок за 1 мДж .

Отже виготовлення пелетів із відходів деревообробки є джерелом отримання дешевого джерела енергії та вирішує проблему утилізації відходів лісопереробки. Відходи деревини перетворюються із непотребу на енергоносії і джерело додаткових доходів.

Список використаних джерел

1. Справочник. «Котельные и электростанции на биотопливе. Современные технологии получения тепловой и электрической энергии с использованием различных видов биомассы». Овсянко А.Д., Печников С.А., Санкт-Петербург, Биотопливный портал WOOD-PELLETS.COM, 2008 г. 360 с. с ил. –

УДК 621.315.592

СЕНСОР ТЕМПЕРАТУРИ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

студ. Захарчук Д.Ю., доц. Панасюк Л.І.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: leonid9030@gmail.com

Зараз широкого застосування набули напівпровідникові вимірювачі температури (див., наприклад, [1,2]), в яких сенсори мають аналоговий вихід. Проте такі сенсори потребують спеціальних підсилювачів і перетворювачів сигналу і тому є недостатньо зручними в практичному використанні. Крім того, при дистанційній передачі корисного сигналу з сенсора можливі великі неконтрольовані похибки, що виникають внаслідок електричних перешкод.

Найбільш близьким за технічним виконанням є напівпровідниковий вимірювач температури з частотним виходом, запропонований в [3]. Використання такого вимірювача забезпечує більш зручне і точне вимірювання температури різноманітних об'єктів.

Конструкція цього пристрою складається з джерела . живлення, напівпровідникового сенсора температури з частотним виходом кільцевого генератора, запам'ятовуючого пристрою, частотоміра, пристрою для зчитування перфокарт, інтерфейсу, мікроконтролера і т.п.). Ця конструкція занадто складна і дорога. Крім цього сенсор температури, що застосовується в цьому пристрої - це генератор з терморезистором, який сам по собі складний і дорогий.

В основу даного приладу поставлено завдання створення точного але більм простого за конструкцією і більш дешевого пристрою для контролю температури з частотним виходом.

В нашому пристрої, який складається з джерела живлення, напівпровідникового сенсора температури з частотним виходом і блоку індикації та керування, електрично з'єднаних між собою, напівпровідниковий сенсор температури виготовлений не менш, ніж з чотирьох логічних елементів цифрової мікросхеми, кожен з яких складається з 2-х польових транзисторів, причому вихід передостаннього логічного елемента електричне з'єднаний з входом першого за допомогою резистора зворотнього зв'язку, а вихід останнього логічного елемента під'єднаний до входу блоку індексації та керування.

На рис.1 зображено блок-схему запропонованого вимірювача з використанням трьох сенсорів температури. В даному пристрої термочутливим сенсором є логічні елементи, кожен з яких має на вході 2 польових транзистори. На відміну від стандартного режиму роботи логічного елемента цифрової мікросхеми, що працює в режимі „включено - виключено",

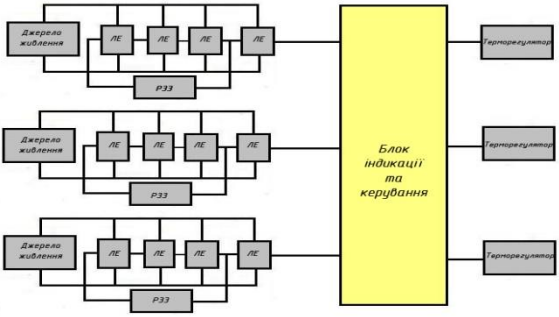


Рис.1 Блок-схема вимірювача температури з використанням трьох сенсорів температури

при якому температура практично не впливає на перехідні процеси в логічних елементах, запропонований сенсор відрізняється тим, що при виборі оптимальної напруги живлення він працює в режимі максимальної чутливості до температури. Це стало можливим завдяки тому, що вихід передостаннього логічного елемента електричне з'єднаний з входом першого за допомогою резистора зворотнього зв'язку. При цьому для забезпечення потрібного коефіцієнта підсилення і здійснення генерації частоти необхідно не менш ніж три логічних елементи, але їх може бути і більше (в залежності від типу і паспортних даних мікросхеми, що використовується). Четвертий логічний елемент відіграє роль буферного каскаду і узгоджує вихідний сигнал сенсора температури з входом БІК. Блоком управління та індикації може служити персональний комп'ютер або навіть простий запрограмований контроллер.

Слід відмітити, що для різних мікросхем необхідно вибирати свою оптимальну напругу живлення. Роль напівпровідникового сенсора температури з частотним виходом відіграє серійна мікросхема 561ЛЕ5. Завдяки тому, що вихід третього логічного елемента мікросхеми електричне з'єднаний з входом першого за допомогою резистора зворотнього зв'язку, мікросхема при підключенні до джерела струму починає генерувати електромагнітні коливання, частота яких сильно залежить від температури. Ефект обумовлений різкою зміною питомого опору каналу провідності МОП-транзисторів в залежності від зміни температури. Четвертий логічний елемент відіграє роль буферного каскаду і узгоджує вихідний сигнал сенсора температури з входом блоку індексації та керування.

На рис. 2 показано типову залежність генерованої запропонованим сенсором частоти від температури. Чутливість сенсора температури,

виготовленого, наприклад, з серійної мікросхеми становить в середньому 600 Гц/градус при напрузі живлення 2,0±0,001В.

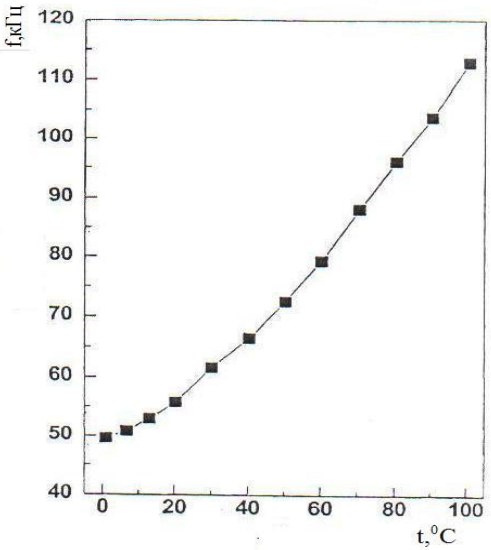


Рис.2. Температурна залежність частоти сенсора температури.

Список використаних джерел

1. United States Patent Application: 20040217783 - Temperature sensor apparatus; U.S. Current Glass: 327/112, U.S. Class at Publication: 327/112, Intern'l Class: H03B 001/00/

2. United States Patent Application: 20030174041 - Temperature sensor: U.S. Current Class: 338/25, U.S. Class at Publication: 338/25, Internl Class: H01C 003/04; HO 1C 007/02.

3. United States Patent Application: 20050135456 - Radio frequency temperature sensor and method of calibrating temperature therefore: U.S. Current Class: 374/117, U.S. Class at Publication; 374/117, Intern'l Class: H03F 001/30.

УДК 621.763

СТІЙКІСТЬ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ, МОДИФІКОВАНИХ У ФІЗИЧНИХ ПОЛЯХ, ДО ВПЛИВУ ЗНАКОЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР

асист.Малець В.М., проф. Кашицький В.П., проф. Савчук П.П., асп. Матрунчик Д.М., студ. Динь Я.В.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, viktorya272@gmail.com

Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані високодисперсними частинками використовують для створення виробів з керованими електрофізичними властивостями, з високою корозійною стійкістю та зносостійкістю [1, 2]. На їх основі можуть бути створені покриття, що ефективно взаємодіють з електромагнітним випромінюванням у широкому діапазоні частот та є стійкими в умовах впливу агресивних середовищ і знакозмінних температур. Висока стійкість полімеркомпозитних покриттів до зовнішніх факторів в основному визначається такими критеріями, як природа, вміст та розподіл високодисперсних частинок, способом модифікації композиції та кількістю функціональних шарів у покриттях [3].

Одним з основних недоліків полімеркомпозитів є зниження експлуатаційних характеристик за низьких температур. Схильність полімерів до тріщиноутворення під час деформації за температури, нижчої температури крихкості, пояснюється наростанням в композиті напружень внаслідок сповільнення релаксаційних процесів в макромолекулах. Найбільш високі деформації зафіксовано у полімерах лінійної та полярної структури, оскільки за низьких температур зовнішні навантаження викликають появу в них пружних деформацій [4]. Проблемі надійності техніки в умовах від’ємних температур присвячена велика кількість наукових робіт, однак в них не розглядається завдання розробки стійких полімеркомпозитних покриттів до впливу знакозмінних температур та методи підвищення стійкості до різкої зміни кліматичних умов.

Підвищення стійкості епоксиполімерівдо знакозмінних температур можливе за умови введення до складу полімерних матриць високодисперсних порошків. Однак епоксикомпозитні покриттянаповнені порошком карбонільного заліза без попередньої обробки композицій у фізичних полях характеризуються низькими значеннями коефіцієнту розтріскування (Р = 0,33–0,55). Це пов’язано з тим, що вплив знакозмінних температур призводить до підвищення залишкових напружень в покриттях, внаслідок чого відбувається руйнування адгезійних зв’язків між матрицею та наповнювачем з утворенням тріщин.

Введення фулеренової черні в полімерну матрицю без попередньої обробки композицій знижує тріщиностійкість епоксикомпозитів (Р = 0,1), що підтверджується значним розшаруванням покриття та пов’язано з формуваннями

високонапруженого стану системи. В епоксикомпозитних покриттях, наповнених високодисперсним порошком фулеренової черні, композиції яких піддавались впливу фізичних полів не виявлено дефектів поверхневого шару після витримкм в умовах знакозмінних температур, що є доказом підвищення тріщиностійкості епоксикомпозитних покриттів. Аналогічні результати отримано для епоксикомпозитних покриттів, наповнених карбонільним залізом, у випадку попередньої обробки композицій в електромагнітному полі.

Епоксикомпозитні покриття, наповнені порошком цирконію, без обробки композицій у фізичному полі характеризуються наявністю незначних тріщин на поверхні, які виникають за рахунок недостатнього змочування поверхні частинок, що призводить до утворення мікродефектів. Попередня обробка композицій ультразвуком або в електромагнітному полі підвищує морозостійкість покриттів (Р = 1)наповнених високодисперсним порошком цирконію. Візуально встановлено, що покриття залишається цілісним, оскільки вплив зовнішніх полів забезпечує високу адгезійну міцність на межі розділу фаз та підвищує стійкість до впливу знакозмінних температур.

Отже, експериментально зафіксовано підвищення стійкості епоксикомпозитних покриттів, композиції яких модифіковані у фізичних полях до впливу знакозмінних температур від (– 40) до (+ 60) в результаті чого відбувається значне підвищення залишкових напружень. Обробка композицій в електромагнітному полі або ультразвуком призводить до релаксації напружень в системі в процесі структурування епоксикомпозитів, що значно розширює температурний діапазон застосування захисних полімеркомпозитних покриттів.

Список використаних джерел

1. Букетов А.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А.В. Букетов, П.Д. Стухляк, І.В. Чихіра. – Тернопіль: Крок, 2011. – 201 с.

2. Стухляк П.Д. дослідження антикорозійних двошарових покриттів з підвищеними експлуатаційними характеристиками в умовах впливу агресивних середовищ. – Тернопіль: Збруч, 2009. – 218 с.

3. Стухляк П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П.Д. Стухляк, А.В. Букетов, І.Г. Добротвор. – Тернопіль: Збруч, 2008. – 208 с.

4. Москалев Е.В. Опыт ультразвукового склеивания при использованиизпоксиднихадгезивов / Е.В. Москалев, Л.П. Вишнивецкая, М.С. Тризно. – Л.: ЛДНТП, 1983. – 16 с.

УДК 621.763:621.762(07)

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ, НАПОВНЕНИХ ПОРОШКОМ ЗАЛІЗА

ст. викл. СадоваО.Л., проф. КашицькийВ.П., асп. ЩегловС.М., студ.Свиридюк Б.Ю.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, sadova111oksana@gmail.com

Розвиток науково-технічного прогресу вимагає створення нових матеріалів з покращеною якістю та підвищеними експлуатаційними характеристиками. У зв'язку із цим в різних галузях промисловості частіше використовують вироби на основі полімерних композитів, які є одними з найбільш ефективних і технологічних матеріалів. Сучасна техніка висуває широкий спектр вимог до полімерних матеріалів,задовольнити які можливо шляхом модифікування полімерної системи різнофункціональними наповнювачами. На сьогодні основними ефективними матеріалами, які використовують як наповнювачі у полімерних композитах є скло, графіт, алюміній, залізо, вуглець, бор і берилій [1, 2]. Дані наповнювачі надають нових властивостей полімеркомпозитам, підвищують фізико-механічні характеристики тазнижують собівартість виробів.

Основним завданням досліджень євизначеннявпливу порошку заліза на механічні характеристики та структуру епоксикомпозитів, що дозволить встановити граничний та оптимальний вміст наповнювача та оцінити характер зміни властивостей.

Як вихідний матеріал використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД–20 (ГОСТ 10587-84), яка являє собою високов'язку прозору рідину, що твердне за нормальної або підвищеної температур без зовнішнього тиску. Для твердження епоксидних композицій застосованоеполіетиленполіамін – ПЕПА (ТУ 6-02-594-70), що призначений для структурування епоксидних смол за кімнатної та зниженої температур в умовах підвищеної вологості. Як наповнювач використано дрібнодисперсний порошок заліза, який дозволить підвищити механічні характеристикиепоксикомпозитного матеріалу. Вміст наповнювача змінювали в діапазоні від 20 мас. ч. до 400 мас. ч., оскільки за низького вмісту не відбувається суттєвого підвищення міцності, а за граничного вмісту частинки наповнювача не змочуються і відбувається розшарування.

Низькі значення міцності при стисканні (62-66 МПа) отримано для епоксикомпозитів ізневисоким вмістом наповнювача (20-100 мас. ч.). Це пояснюється недостатнім наповненням епоксидної матриці для опору статичним навантаженням, що збільшує схильність матеріалу до крихкого руйнування[3, 4].

При збільшенні ступеня наповнення системи до 200 мас. ч. спостерігається різке підвищення границі міцності при стисканні на 38 %,що становить 106 МПа. Найвищі значення даної характеристики(113 МПа)отримано

для епоксикомпозитного матеріалу, наповненого 300 мас. ч. порошку заліза. При підвищенні вмісту даногонаповнювача до 400 мас. ч. відбувається незначне зниження границі міцності на 2 %. Отримані високі значення міцності при стисканні за високих ступенів наповнення можна пояснити високим опором переміщенню та деформації твердих частинок заліза статичним навантаженням.

Поступове збільшення твердостідо 98 МПа відбувається для епоксикомпозитів з вмістом порошку заліза в кількості 300 мас. ч.,що пояснюється вищим вмістом армуючого наповнювача, який за умови високої адгезійної міцності з епоксидною матрицею чинить опір втисненню індентора. Встановлено, що значення твердості корелюютьз попередніми значеннями міцності при стисканні розроблених епоксикомпозитів. При збільшенні вмісту наповнювача до 400 мас. ч. спостерігається зниження даної характеристики на 17 % і становить 81 МПа.

Експериментально досліджено, що за умови збільшення вмісту наповнювача до 50 мас. ч. значення ударної в'язкості поступово підвищуються на 30 %. При подальшому підвищенні вмісту заліза до 400 мас. ч. приріст значень даної характеристики незначний (3-5 %). Встановлено, що найвищу ударну в'язкість (0,9 Дж/мм^2) має композитний матеріал з вмістом наповнювача 400 мас. ч , а найнижчу (0,5 Дж/мм^2) – з вмістом 20 мас. ч. Отримані значення ударної в'язкості розроблених епоксикомпозитних матеріалів корелюють із попередніми результатами досліджень міцності при стисканні та твердості.

Встановлено, що введення дрібнодисперсного порошку заліза дозволить підвищити механічні характеристики епоксикомпозитів, що дозволить використовувати дані матеріали для виготовлення малонавантажених елементів конструкцій машин та механізмів. Оптимальним є вміст наповнювача в кількості 300 мас. ч., за якого досягнутонайвищих показників міцності при стисканні, твердості та ударної в'язкості.

Список використаних джерел

1. Джурка Г.Ф. Полімерні композитні матеріали / Г.Ф. Джурка// П. – 2008.– С. 33-37.

2. Кац Г.С. Наповнювачі для полімерних композиційних матеріалів / Г.С. Кац, Д.В. Милевски // Хімія, М. –1981.– С. 213-214.

3. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.

4. Бардадим Ю.Д. Структура і фізичні властивості полімерних композитних полімерів/ Ю.Д. Бардадим, В.О. Віленський // Полімерний журнал – 2016. – № 38 (2) – с. 115-124.

УДК 54.66

РАФІНУВАННЯ МЕТАЛІВ

Студ. Свиридюк Б.Ю., ст. викл. Фурс Т.В.
Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

Рафінування металів – це очищення первинних (чорнових) металів від домішок. Чорнові метали, що отримуються з сировини, містять 96 – 99% основного металу, решта припадає на домішки. Такі метали не можуть використовуватися промисловістю через низькі фізико-хімічні і механічнівластивості. Розрізняють 3 основних методи рафінування металів: пірометалургійний, електролітичний і хімічний [1]. В основі усіх методів лежить відмінність властивостей елементів: температур плавлення, густини, електронегативності тощо. Для отримання чистих металів нерідко використовують послідовно декілька способів рафінування.

Пірометалургійне рафінування здійснюється при високій температурі розплавів металів і має ряд різновидів. Окислювальне рафінування засноване на здатності деяких домішок утворювати з O, S, Cl, F міцніші з'єднання, ніж з'єднання основного металу з тими ж елементами. Спосіб застосовується, наприклад, для очищення Cu, Pb, Zn, Sn. Так, при продуванні рідкої міді повітрям домішки Fe, Ni, Zn, Pb, Sb, As, Sn, що мають більшу спорідненість до кисню, ніж Cu, утворюють оксиди, які підіймаються на поверхню розплаву і видаляються.

Ліквацiйне розділення засноване на відмінності температур плавлення і густини компонентів, що складають сплав, і на малій їх взаємній розчинності [2]. Наприклад, при охолоджуванні рідкого чорнового свинцю з нього при певних температурах виділяються кристали Cu, які внаслідок меншої густини спливають на поверхню і видаляються. Цей спосіб застосовується для очищення чорнового свинцю від Cu, Ag, Au, Bi, очищення чорнового цинку від Fe, Cu, Pb і інших металів.

При фракційній перекристалізації використовується відмінність в розчинності домішок металу в твердій і рідкій фазах з урахуванням повільної дифузії домішок в твердій фазі. Спосіб застосовується у виробництві напівпровідникових матеріалів і для отримання металів високої чистоти (наприклад, зонна плавка, плазмова металургія, витягування монокристалів з розплаву, направлена кристалізація).

В основі ректифікації, або дистиляції, лежить відмінність в температурах кипіння основного металу і домішки. Рафінування здійснюється у формі безперервного процесу, в якому операції сублімації і конденсації фракцій багато разів повторюються. Використання вакууму дозволяє помітно прискорити рафінування. Спосіб застосовується при очищенні цинку від Cd, свинцю від Zn, при розділенні Al і Mg, в металургії Ti і інших процесах. Безповітряне

проходження рідкого металу через керамічні фільтри (наприклад, в металургії Sn) дозволяє видалити зважені в ньому тверді домішки. При рафінуванні сталі в ковші рідкими синтетичними шлаками поверхня дотику між металом і шлаком в результаті їх перемішування значно більша, ніж при проведенні рафінувальних процесів у плавильному агрегаті [3]. Завдяки цьому різко підвищується інтенсивність протікання десульфурації, дефосфорації, розкислювання металів, очищення їх від неметалевих включень. Рафінування сталі продуванням розплаву інертними газами використовується для видалення з металу зважених частинок шлаку або твердих оксидів, що прилипають до бульбашок газу і покривають поверхню розплаву.

Електролітичне рафінування є електролізом водних розчинів або сольових розплавів і дозволяє отримувати метали високої чистоти [4]. Застосовується для глибокого очищення більшості кольорових металів. Електролітичне рафінування з розчинними металами полягає в анодному розчиненні металів, що піддаються очистці, і осадженні на катоді чистих металів внаслідок приєднанняелектронівіонами основного металу. Розділення металів під дією електролізу можливе через відмінності електрохімічних потенціалів домішок і основного металу. Наприклад, нормальний електродний потенціал Cu становить + 0,346 В, для Au і Ag ця величина має більш позитивне значення, а для Ni, Fe, Zn, Mn, Pb, Sn, Co нормальний електродний потенціал негативний. При електролізі мідь осідає на катоді, благородні метали, не розчиняючись, осідають на дно електролітної ванни у вигляді шламу, а метали з негативним електродним потенціалом накопичуються в електроліті, який періодично очищають. Іноді використовують електролітичне рафінування з нерозчинними анодами. Основний метал знаходиться в розчині, заздалегідь ретельно очищеному від домішок, і в результаті електролізу осідає в компактному вигляді на катоді.

Хімічне рафінування засноване на різній розчинності металу і домішок в розчинах кислот або лугів. Домішки, що поступово накопичуються в розчині, виділяються з нього хімічним шляхом (гідроліз, цементація, утворення важкорозчинних з'єднань, очищення за допомогою екстракції або іонного обміну). Прикладом хімічного рафінування може служити афінаж благородних металів. Так, рафінування золота проводять в киплячій сірчаній або азотній кислоті. Домішки Cu, Ag та інших металів розчиняються, а очищене золото залишається в нерозчинному осаді.

Список використаних джерел

1. В.П. Мовчан, М.М. Бережний. Основи металургії. – Дніпропетровськ: Пороги, 2001. – 336 с.
2. Пазухин В. А., Фишер А. Я.Разделение и рафинированиеметаллов в вакууме. – М., 1969. – 128 с.
3. Сучков А. Б.Электролитическоерафинирование в расплавленныхсредах. – М., 1970. – 76 с.
4. Воинов С.Д., Малихов А.Г., Косых А.Ф. Рафинирование стали синтетическими шлаками. – М.: Металлургия, 1970. – 483 с.

УДК 54.66

МЕТОДИКА ВИРОЩУВАННЯ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ $TlGaSe_2$–$Zn^{+2}(Cd^{+2},Hg^{+2})Se$

м.н.с. Махновець Г. В., доц. Мирончук Г. Л., доц. Піскач Л. В., студ. Кот Ю. О.

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова, 9, Луцьк, 43025, Україна

В даній роботі досліджувалися вирощені кристали $TlGaSe_2$ леговані домішками Zn, Cd, Hg в концентрації 2%, з метою встановлення особливостей впливу легування даними домішками на оптичне поглинання.

Монокристали $TlGaSe_2$ належать до потрійних напівпровідників типу $A^3B^3C_2^6$. Такі кристали мають яскраво виражену шарувату структуру, оскільки в різних площинах формуються різні типи зв'язків - ковалентний і молекулярний (Ван-дер-Ваальса). У шаруватих кристалах сильно проявляється анізотропія оптичних, механічних і електричних властивостей. Дослідження матеріалів $TlGaSe_2$ ведуться досить інтенсивно в силу унікальності їх оптичних і електрофізичних властивостей і значних перспектив їх практичного використання. Активно досліджується вплив дефектно-домішкової підсистеми кристалів на специфіку їх фізичних властивостей. У зв'язку з цим метою даної роботи було встановлення особливостей впливу легування домішками Zn, Cd, Hg на їх оптичні властивості.

Монокристали вирощували горизонтальним варіантом методу Бріджмена-Стокбаргера.

Ростовий контейнер з конусоподібною донною частиною поміщали в трубчасту горизонтальну двозонну ростову електричну піч (кут нахилу печі ~10°). Максимальна температура гарячої зони становила 1150 К, градієнт температури на фронті кристалізації складав 20 К/см. Ампула з розплавом переміщалася в зону росту зі швидкістю 10 мм/добу. Після повної кристалізації зразка нагрівачі обох зон печі охолоджували зі швидкістю 50 К/добу до кімнатної температури.

Зразки товщиною 0,08 – 0,1 мм були отримані шляхом відщеплення вздовж площин спайності. Поверхня мала оптичну якість і ніяких додаткових процедур полірування і травлення не проводилось, внаслідок природних дзеркальних граней розщеплення. Спектри поглинання були зняті в напрямку перпендикулярному шарам за допомогою монохроматора MDR-206 (спектральна роздільна здатність 0,2 нм) в діапазоні довжин хвиль 360–1100 нм з використанням неполяризованого світла.

Одним із найбільш важливих параметрів, що характеризують напівпровідникові властивості, є ширина забороненої зони E_g. Для отримання інформації про зміну ширини забороненої зони з температурою в роботі проводились оптичні вимірювання в діапазоні температур 100 – 300 К та

діапазоні довжин хвиль 400 – 1100 нм. Коефіцієнти поглинання були отримані з експериментальних даних, використовуючи співвідношення (1)

$$T = \frac{(1-R)^2 \exp(-\alpha d)}{1-R^2 \exp(-2\alpha d)}, \quad (1)$$

де T – коефіцієнт пропускання, α – коефіцієнт поглинання (см$^{-1}$), d – товщина зразка, R – коефіцієнт відбивання.

Використовуючи вищезазначене співвідношення коефіцієнт пропускання визначався з вимірювань $T = I/I_0$. Коефіцієнти оптичного поглинання були визначені для всіх температур з використанням значення R (R = 0,2605 [1]) при кімнатній температурі, вважаючи, що зміна температури від 100 до 300 К приводить до незначної зміни R [1].

Для отримання детальної інформації про ширину забороненої зони в кристалі, проаналізована залежність коефіцієнта поглинання α від енергії фотона E_g за наступним співвідношенням [2]:

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^p , \quad (2)$$

де A – константа, яка залежить від ймовірності переходу, p – індекс, що характеризує оптичний процес поглинання і приймає значення 1/2, 3/2, 2 і 3 для прямих дозволених (високоенергетична частина спектру), заборонених прямих, непрямих дозволених (низькоенергетична частина спектру) і заборонених непрямих переходів відповідно.

Коефіцієнт поглинання в області енергій нижче краю смуги виражений як експоненціальна функція енергії фотона і підпорядковується наступному виразу [2]:

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{E - E_0}{E_U}\right), \quad (3)$$

де E, E_0, E_U – енергія фотона, значення ширини забороненої зони при низьких температурах та енергія Урбаха відповідно. З рівняння (3) слідує, що залежність $ln(\alpha)$ від енергії поблизу краю поглинання для різних температур може бути представлено прямими, екстраполяції яких сходяться в точці (E_0, α_0). $E_U = k_B T / \sigma(T)$ визначається як обернений логарифмічний нахил коефіцієнта поглинання, а $\sigma(T)$ називається параметром крутизни.

Аналіз експериментальних даних показано в таблиці 1. Із збільшенням температури ширина енергетичної щілини досліджуваних сполук як при прямих так і при непрямих дозволених переходах зменшується. Як видно (табл. 1) всі температурні коефіцієнти мають негативні знаки, що дозволяє припустити, що внесок електрон-фононної взаємодії при збільшенні температури більший ніж внесок від теплового розширення решітки.

Таблиця 1

Пряма (E_g^d) і непряма (E_g^i) заборонені зони від зміни температури

Зразки	T, K	E_g^d, eB	E_g^i, eB	Зразки	T, K	E_g^d, eB	E_g^i, eB
$TlGaSe_2$	100	2,24	2,07	$TlGaSe_2:Cd^{+2}$	100	2,20	2,01
	150	2,22	2,06		150	2,18	2,00
	200	2,20	2,05		200	2,17	1,98
	250	2,19	2,03		250	2,15	1,97
	300	2,17	2,02		300	2,14	1,95
$TlGaSe_2:Zn^{+2}$	100	2,22	2,04	$TlGaSe_2:Hg^{+2}$	100	2,18	1,97
	150	2,21	2,03		150	2,16	1,96
	200	2,19	2,02		200	2,15	1,94
	250	2,18	2,01		250	2,13	1,93
	300	2,16	2,00		300	2,11	1,91

Для оцінки домінуючих механізмів, які вносять вклад в розмиття краю власного поглинання в роботі проаналізована температурна залежність енергії Урбаха. Результати проведених розрахунків з експериментальних даних за рівнянням 3 представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Енергія Урбаха та параметр крутизни при різних температурах

Темп. (K)	Зразки							
	$TlGaSe_2$		$TlGaSe_2:Zn^{+2}$		$TlGaSe_2:Cd^{+2}$		$TlGaSe_2:Hg^{+2}$	
	E_U (меВ)	σ	E_U (меВ)	σ	E_U (меВ)	σ	E_U (меВ)	σ
100	38	0,227	43	0,203	51	0,169	62	0,139
150	42	0,307	46	0,281	55	0,235	65	0,199
200	47	0,369	50	0,344	59	0,295	69	0,250
250	51	0,422	55	0,392	62	0,345	73	0,295
300	56	0,462	60	0,435	67	0,386	77	0,336

Як видно, з експериментальних результатів зі зменшенням температури енергія Урбаха зменшується. Вважаємо, що це пов’язано з перезарядкою дефектних центрів під час зниження температури, яка веде до нейтралізації частини заряджених дефектів і зменшення їх впливу на випадкову модуляцію електричного поля в зразку

Параметр крутизни $\sigma(T)$ в залежності від температури виражається емпірично наступною залежністю [2]:

$$\sigma(T) = \sigma_0 \left(\frac{2k_B T}{h\nu_p} \right) \tanh\left(\frac{h\nu_p}{2k_B T} \right), \quad (4)$$

де $h\nu_p$ відповідає середній енергії фононів, в хвості Урбаха, σ_0 – температурно – незалежний, але залежний від матеріалу параметр, обернено пропорційний силі зв'язку між електронами/екситонами і фононами [2].

При цьому σ_0 =0,58; 0,565; 0,537; 0,49; $h\nu_p$ =47; 51; 59; 64±1,0 меВ для $TlGaSe_2$ та $TlGaSe_2$:Zn^{+2}, $TlGaSe_2$:Cd^{+2}, $TlGaSe_2$:Hg^{+2} відповідно. Розрахована з отриманих даних сила електрон фононної взаємодії ($g = 2/3\,\sigma_0^{-1}$) становить 1,15; 1,18; 1,24; 1,36 для $TlGaSe_2$ та $TlGaSe_2$:Zn^{+2}, $TlGaSe_2$:Cd^{+2}, $TlGaSe_2$:Hg^{+2} відповідно. Це значення є типовими для кристалів, які мають дефекти нестехіометрії в катіонних підрешітках. Збільшення g в порівнянні з $TlGaSe_2$ можна пов'язати із введенням атомів Zn, Cd, Hg в кристал $TlGaSe_2$, оскільки вони, як заряджена домішка впливають на електрон/екситон-фононну взаємодію.

Отже, в даній роботі проведено дослідження спектрального розподілу коефіцієнта поглинання в діапазоні температур 100-300 K. Оцінено ширину забороненої зони при прямих та непрямих дозволених переходах. Встановлено, що легування Zn^{+2}, Cd^{+2}, Hg^{+2} призводить до незначного зменшення значень як прямої так і непрямої ширини забороненої зони в порівнянні з нелегованим кристалом $TlGaSe_2$. Проведена оцінка домінуючих механізмів, які вносять вклад в розмиття смуги краю власного поглинання.

Список використаних джерел

1. Study of optical absorption in $TlGaSe_2$:Zn^{2+} single crystals / Makhnovets G.V., Myronchuk G.L., Piskach L.V., Vidrynskyi B. V., Kevshyn A.H. // Ukrainian Journal of Physical Optics. Volume 19, Issue 1, 2018, Pages 49-59.

2. Phase diagram and specific band gap features of novel $TlGaSe_2$: Zn^{+2}(Cd^{+2}, Hg^{+2}) crystals / G. Makhnovets, Ph.D.; Galyna Myronchuk, Ph.D.; L. Piskach, Ph.D.; Oleg Parasyuk, Professor; Iwan Kityk // Journal: Journal of Alloys and Compounds, Volume 768, 2018, Pages 667-675.

УДК 677.11-037.1.004.14

ОТРИМАННЯ МІКРОКРИСТАЛІЧНОЇ ЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ ВОЛОКОН ТЕХНІЧНОЇ КОНОПЛІ

доц. М.Д. Мельничук, асп. О.А. Мельник
Луцький національний технічний університет, вул. Львівська 75,
andryshko92@gmail.com, m.melnychuk@lntu.edu.ua

Останнім часом значно зросла кількість досліджень нових перспективних матеріалів на основі природних полімерів, зокрема целюлози, що пов'язано з економічною та екологічною необхідністю заміни природних вичерпних джерел вуглеводів (нафти, кам'яного вугілля) на відновлювальну рослинну сировину. Завдяки своїм цінним властивостям целюлоза успішно знаходить своє застосування не лише у виробництві картонно-паперової продукції, але і в інших галузях промисловості: хімічній, харчовій, фармацевтичній, косметичній. Одним із перспективних продукті хімічної переробки целюлози є мікрокристалічна целюлоза (МКЦ), яка має високий вміст упорядкованої частини целюлози з кристалографічною орієнтацією макромолекул [1, 2], максимальний ступінь кристалічності, високу щільність і питому поверхню [3].

Основною сировиною для одержання мікрокристалічної целюлози залишається високоякісна целюлоза із деревини та бавовни. Для країн, які не мають вільних запасів деревини та бавовни, як джерело волокон для одержання МКЦ може розглядатися недеревна рослинна сировина, зокрема луб'яні культури, які мають більш однорідні довгі клітини – волокна льону, конопель, кенафу [4]. Серед цих рослин однією з найбільш рентабельних сільськогосподарських культур в Україні залишаються коноплі. Сприятливі природні умови, значний запас родючих земель, наявний промисловий і кадровий потенціал сприяють вирощуванню конопель в Україні. З урахуванням того, що один гектар конопель за рік дає приріст маси 6 м^3, у той час як листяні породи дерев – лише до 3,2 м^3, заміна деревини коноплями при виготовленні целюлози стає економічно і екологічно доцільною [5].

Метою даної роботи є отримання із волокон конопель мікрокристалічної целюлози. Для досягнення вказаної мети поставлено наступні завдання:

– дослідити вплив основних технологічних параметрів (концентрації реагентів, температури, тривалості) на різних стадіях обробки волокон конопель на показники якості одержаних волокнистих напівфабрикатів (ВНФ);

– проаналізувати фізико-хімічними методами досліджень зміни структурних характеристик волокнистих напівфабрикатів із волокон конопель.

Для одержання мікрокристалічної целюлози у роботі досліджувалися волокна конопель зображених на рисунку 1, які мали наступний хімічний склад: вміст целюлози – 46,2 %; лігніну – 17,0 %; смоли, жири, воски – 1,4 %; пентозани – 20,2 %; зола – 1,44 %; сульфатна зола – 1,63 % від маси абсолютно сухої сировини (а.с.с).

Волокна конопель відсортовувалися від сторонніх домішок (костриці, листя, трави), подрібнювалися до розмірів 3...5 мм і зберігались в ексикаторах для підтримання постійної вологості та хімічного складу. Кількість костриці у волокнах конопель не перевищувала 5 %. Для зниження вмісту мінеральних речовин проводили попередню екстракцію подрібнених волокон конопель

Рисунок 1- Волокно конопляне довге з трести водного змочування (зеленець)

розчинами КОН 5% концентрації. Для цього наважки подрібнених волокон поміщали в термостійкі конічні колби, додавали розчин необхідної концентрації і з'єднували колби зі зворотними холодильниками. Для забезпечення температури процесу 95±2 °С колби встановлювали на водяних банях. Екстракцію лугом проводили протягом 30…240 хв., за концентрації розчину КОН 5 % та гідромодуля 10:1. Після закінчення обробки ВНФ промили дистильованою водою до нейтрального середовища, висушували на повітрі і визначили показники якості за стандартними методиками [6]. На другій стадії обробки конопляних ВНФ проводили процес варіння целюлози сумішшю мурашиної кислоти і H_2O_2 у співвідношеннях 50:50 об'ємних % за гідромодуля 10:1, температури 100 °С впродовж 60…210 хв. Процес варіння проводили у термостійких конічних колбах, встановлених на водяній бані і з'єднаних зі зворотними холодильниками. Після закінчення варіння целюлозу промили дистильованою водою до нейтральної реакції, висушували на повітрі та визначили показники якості. Хелатування одержаної целюлози проводили розчином трилону Б концентрацією 10 г/л з витратами 10 % від маси а.с.с. впродовж 30 хв. за умов, які взяті на основі проведених попередніх досліджень [6]. Для зниження залишкового вмісту мінеральних речовин і ступеня полімеризації конопляної МКЦ проводили гідроліз целюлози розчином CH_2COOH та H_2O_2 у співвідношенні 50:50 протягом 120 хв. За гідромодуля 10:1

та температури 95±2 °С. Процес гідролізу проводили у термостійких конічних колбах, встановлених на водяній бані і з'єднаних зі зворотними холодильниками. Після закінчення гідролізу МКЦ промили дистильованою водою до нейтральної реакції, висушували на повітрі та визначили показники якості за стандартними методиками [6].

Було досліджено вплив основних технологічних параметрів різних стадії обробки волокон конопель на показники якості одержаних волокнистих напівфабрикатів. Встановлено, що підвищення концентрації розчину гідроксиду калію і тривалості стадії лужної екстракції значно зменшує вміст мінеральних речовин у волокнах конопель. Показано, що підвищення вмісту мурашиної кислоти у складі варильного розчину сприяє подальшому зменшенню мінеральних речовин у целюлозі так само, як і проведення стадії хелатування розчином трилону Б. Визначено, що збільшення вмісту оцтової кислоти в суміші на стадії гідролізу дозволяє отримати МКЦ із волокон конопель, яка задовольняє вимогам міжнародних стандартів. Запропонована технологія одержання мікрокристалічної целюлози із волокон конопель із застосуванням органічних речовин не містить шкідливих сірко- і хлорвмістних сполук і тому є екологічно більш чистою.

Список використаних джерел

1. Audu-Peter, J. D. Physicochemical and Powder Properties of alpha- and microcrystalline-cellulose derived from sugar cane cobs [Text] / Audu-Peter, J. D., Ojile, J. E., Bhatia, P. G. // Journal of Pharmacy & Bioresources. – 2004. – Vol. 1, Issue 1. – P. 41–45. doi: 10.4314/jpb.v1i1.32047

2. El-Sakhawy, M. Physical and mechanical properties of microcrystalline cellulose prepared from agricultural residues [Text] / M. ElSakhawy, M. L. Hassan // Carbohydrate polymers. – 2007. – Vol. 67, Issue 1. – P. 1–10. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.04.009

3. Cintil, J. Ch. Review of recent research in nanocellulose preparation from different lignocellulosic fibers [Text] / J. Ch. Cintil, M. Lovely, Th. Sabu // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2014. – Vol. 37. – P. 20–28.

4. Shlieout, G. Powder and mechanical properties of microcrystalline cellulose with different degrees of polymerization [Text] / G. Shlieout, K. Arnold, G. Müller // AAPS PharmSciTech. – 2002. – Vol. 3, Issue 2. – P. 45–54. doi: 10.1208/pt030211

5. Барбаш, В. А. Мікрокристалічна целюлоза із луб'яних рослин [Текст] / В. А. Барбаш // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2013. – № 1. – С. 117–122.

6. Кротов, В. С. Новая технология производства целлюлозы сохранит лес и природу [Текст] / В. С. Кротов, А. Я. Франк, Г. А. Рыжик // Хім. промисловість України. – 1995. – № 1. – С. 2–5.

УДК 54

ПРОМИСЛОВІ МЕТОДИ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ

студ. Надєіна О. О., доц. Шемет В. Я.
Луцький національний технічний університет, shemet5@i.ua

Монокристал – кристал, структура якого неперервна й непорушна у всьому об'ємі. Як правило, монокристал – це кристалічна речовина, складена одним кристалом.

Великі монокристали нечасто трапляються в природі. Вони вирощуються штучно, шар за шаром із кристалічних зародків. Оскільки границі між зернами полікристалів сильно погіршують електричні властивості напівпровідників, більшість напівпровідникових приладів виготовляється із монокристалів, вирощених за допомогою спеціальних технологій [1].

Монокристали знайшли широке застосування в сучасній науці і техніці завдяки своїм вираженим властивостям в порівнянні з полікристалічними або аморфними тілами. Їх використовують в радіоелектроніці, інших галузях техніки. В мікроелектроніці їх застосування принципово важливе.

Основні методи вирощування монокристалів можна розділити на три групи. Вирощування: а) з пари (з газової фази), б) з розчинів, в) з розплавів.

Методи вирощування монокристалів із розплаву є одним з найчастіше вживаних у зв'язку з низкою їх переваг над іншими. Ці методи застосовуються для речовин, які плавляться без зміни сполуки, не мають поліморфних перетворень і хімічно малоактивні. Головні переваги полягають у відсутності можливості забруднення кристала розчинником, високими швидкостями вирощування та відносній простоті отримання монокристалів. Методи вирощування монокристалів із розплаву з успіхом застосовуються для багатьох напівпровідників. При вирощуванні монокристалів із розплаву використовують спрямовану кристалізацію.

Важливим моментом у процесі вирощування монокристалів методами спрямованої кристалізації є виникнення центрів кристалізації, оскільки введення затравок у цих методах майже не практикується через технічні складнощі. Вирішальним фактором у зароджені кристалів є переохолодження, тобто метастабільний стан системи.

Один з методів вирощування монокристалів з розплаву є метод Бріджмена-Стокбаргера. Тут передбачається переміщення тигля з розплавом у трубчастій електричній печі (іноді піднімається піч, а пробірка залишається нерухливою). Переміщення тигля або печі здійснюється за допомогою електромотора або годинного механізму. Недоліком методу є обмеження росту кристала стінками контейнера, в результаті чого можливе виникнення внутрішніх напружень і забруднення кристала домішками з речовини контейнера.

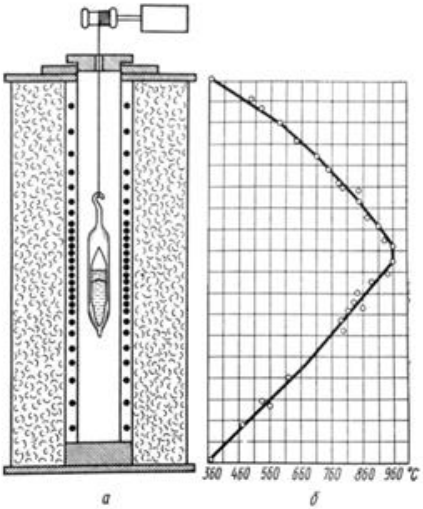


Рис. 1. Метод Бріджмена-Стокбаргера: а – схема;
б – розподіл температури в печі

Методи зонної кристалізації речовини увійшли в практику після того, як Бріджмен показав, що при спрямованій кристалізації домішки відтискуються зростаючим кристалом і зосереджуються у рідкій фазі. Цим методом з використанням електронно-променевого нагрівання були вирощені монокристали найбільш тугоплавких речовин: вольфраму, молібдену, титану.

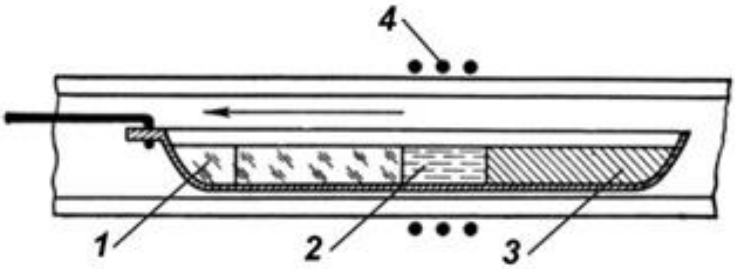


Рис. 3. Схема вирощування монокристалів методом зонної кристалізації: 1 – затравка; 2 – розплав; 3 – полікристалічний злиток; 4 – нагрівач

У методі Чохральского температура розплаву підтримується постійною. Затравка відповідної орієнтації, опущена в розплав, змочується розплавом і підіймається над його поверхнею із прилиплим до неї розплавом зі швидкістю 1-

40 мм/год, що не перевищує лінійну швидкість кристалізації. У цьому методі підтримують плоский фронт кристалізації, що дозволяє послабити механічні напруги при охолодженні та забезпечує рівномірний розподіл легуючої домішки в об'ємі кристала. Піднімальний механізм, що витягує затравку, охолоджується проточною водою. Кристал зростає фактично не в розплаві, а над розплавом, і його ріст не обмежений розміром тигля [2].

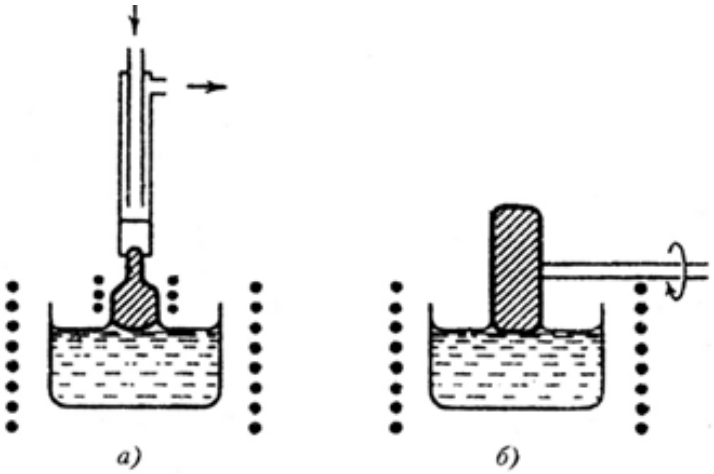


Рис. 2. Схема вирощування монокристалів методом Чохральского: а – у формі стрижнів; б – у формі дисків

Тепер, коли вивченні методи штучного вирощування кристалів, їхня область застосування розширилась, і, можливо, майбутнє нових технологій належить кристалам і кристалічним агрегатам.

Список використаних джерел

1. Переш Є.Ю. Хімія твердого тіла: Навчальний посібник. У двох частинах / Переш Є.Ю., Різак В.М., Семрад О.О. – Частина 1,2. – Ужгород: Вид-во Ужгородського державного університету, 2000. – 210, 244 с.

2. Олексеюк І.Д. Одержання і дослідження неорганічних напівпровідників: Лабораторний практикум / Олексеюк І.Д., Парасюк О.В. – Луцьк: Ред.-вид. відд. “Вежа” Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2002. – 280 с.

УДК 621. 315. 592

МОНОКРИСТАЛИ $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ ЯК МАТЕРІАЛ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

ст. викл. Новосад О. В., доц. Божко В. В., проф. Федосов С.А.
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43035, Україна, e-mail: ovosa@ukr.net

Про перспективність використання напівпровідникового матеріалу для створення фотоелектроперетворювачів та інших пристроїв електронної техніки можна робити висновки із особливостей проходження струму через поверхнево-бар'єрні структури на основі даного матеріалу, та які будуть використовуватись при розробці цих пристроїв. Також на основі аналізу проходження струму через поверхнево-бар'єрні структури можна робити висновки про їх якість, стабільність та здатність до «старіння». Про важливість цього питання свідчить дуже велика та швидко зростаюча кількість наукових робіт на дану тематику. В багатьох випадках, де вивчаються фотоелектричні властивості як нових, так і уже давно відомих поверхнево-бар'єрних структур, обов'язково досліджуються їх електричні властивості. Крім того, це є один із способів пошуку нових структур, в яких використовуються випрямні властивості енергетичного бар'єра, та більш складних структур, в яких використовується декілька *p-n*-переходів.

Виникнення в напівпровідниковому матеріалі надлишкових вільних носіїв заряду, їх рух в електричному та магнітному полях, а також рекомбінаційні процеси з їх участю обумовлюють ряд нерівноважних електронних явищ. Ці явища важливі як для подальшого розвитку фізики напівпровідників, так і для їх практичного використання при створенні та розробці приладів твердотільної електроніки. Слід відмітити, що зміна концентрації вільних носіїв заряду найчастіше відбувається або за рахунок іонізації під дією різних типів випромінювання (світлового, електромагнітного, радіаційного), або при введенні (інжекції) електронів та дірок ззовні, наприклад, з електричного контакту. Важливе місце серед сучасних електронно-діркових напівпровідникових приладів займають фотоелектроперетворювачі в основі роботи інжекція неосновних носіїв заряду в напівпровідник із запірного шару.

Для роботи фотоелектроперетворювачів, тобто виникнення фото-ЕРС, потрібно створити умови для виникнення об'ємного заряду, тобто розділити в просторі електрони та дірки. Найбільш ефективне розділення нерівноважних носіїв заряду спостерігається в неоднорідних напівпровідниках або в складних напівпровідникових системах, до яких можна віднести переходи типу метал-напівпровідник (бар'єри Шоткі), напівпровідник-напівпровідник (*p-n*-переходи, n^+-*n*-переходи, гетеропереходи) та інші запірні шари. В останні роки все частіше з'являються повідомлення про сполуку CdTe як один із перспективних матеріалів для розробки дешевих сонячних елементів великих площ з ефективністю ~15 % [1]. Тоді як їх теоретичне значення ефективності

фотоелектричного перетворення становить 25 % [1]. Слід відмітити, що все частіше з'являються повідомлення про використання як базового матеріалу при створенні фотоелектроперетворювачів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ [2]. Ці та ряд інших факторів обумовлюють розвиток нових технологій отримання та дослідження електричних та фотоелектричних процесів в різних типах поверхнево-бар'єрних структур на основі даних сполук.

Крім того, інтерес до напівпровідникових сполук CdTe та $Cd_{1-x}Zn_xTe$ обумовлений широким використанням цих матеріалів в електроніці, ядерній енергетиці, медицині, нелінійній та інфрачервоній оптиці. Монокристали CdTe та $Cd_{1-x}Zn_xTe$ використовуються як активний матеріал в детекторах радіаційного випромінювання [3,4]. У медицині CdTe та $Cd_{1-x}Zn_xTe$ знайшли використання в цифровій рентгенографії [5]. В оптоелектроніці телурид кадмію використовують як матеріали підложки в приймачах інфрачервоного випромінювання [6]. Важливим фактором, який впливає на роботу приладів виготовлених з даних матеріалів є їх взаємодія з повітрям.

Для досліджень використовувались монокристали $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$, вирощені методом Бріджмена в парах Cd та Zn. Результати досліджень деяких фізичних властивостей монокристалів $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ *p*-типу провідності, на основі яких створювались поверхнево-бар'єрні структури, представлені в роботі [7]. Для отримання поверхнево-бар'єрних структур на основі цих монокристалів *p*-$Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ виготовлялась серія прямокутних пластин з середніми розмірами ~4×4×0,5 мм^3.

Після механічного шліфування та полірування поверхонь пластин проводили хімічне полірування. Одержані пластини піддавались термообробці на повітрі при T=570 ^oC протягом 40 хв. Після нагріву зразки охолоджувались до кімнатної температури зі швидкістю 200-300 К/хв. В результаті на поверхні утворювались однорідно забарвлені шари блакитного кольору. Для дослідження електричних та фотоелектричних властивостей отримані після термічного відпалу оксидні плівки (*Ox*) видалялись методом механічного шліфування з усіх сторін, крім однієї.

Для вимірювань на отримані двошарові структури наносили точкові контакти зі струмопровідного лаку з домішками срібла. Попередні дослідження вольт-амперних характеристик (ВАХ) на зразках $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ (без енергетичних бар'єрів) показали, що такі контакти є омічними і нейтральними по відношенню до освітлення. Вольт-амперні характеристики та спектральний розподіл фотонапруги структур досліджувались при T ≈ 300 К.

На основі проведених досліджень можна зробити висновки, що поверхнево-бар'єрні структури *Ox*/$Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$, отримані методом термічного відпалу в повітряному середовищі монокристалів $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$, проявляють фотовольтаїчні та випрямні властивості. Коефіцієнт випрямлення для кращих структур при напрузі, близькій до напруги відсікання (U_0), становив 20. Пряма вітка ВАХ добре описується характерним для фотодіода експоненціальним рівнянням. Обернені вітки ВАХ структур *Ox*/$Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ описуються

степеневим законом з показником степеня m≈2,6. Енергетичне положення максимума спектра фотонапруги відповідало hυ≈1,54 еВ, ширина максимума на половині висоти становила ~120 меВ.

Монокристали $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ та поверхнево-бар'єрні структури, отримані термообробкою $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ в повітрі, можуть знайти використання при розробці фотоелектроперетворювачів. Також варто зазначити, що оптимізація процесів одержання поверхнево-бар'єрних структур на основі монокристалів $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ може відкрити технологічні можливості істотного покращення фотоелектричних і випрямних властивостей.

Список використаних джерел

[1] Создание и фотоэлектрические свойства структур окисел–CdTe / Г. А. Ильчук, В. И. Іванов-Омский, Ю. В. Рудь [и др.] // ФТП. – 1999. – Т.34, №. 9. – С. 1099–1102.

[2] Фотопреобразование в гетероструктурах CdTe и его аналогов с белком / Ю. В. Рудь, В. Ю. Рудь, И. В. Боднарь [и др.] // ФТП. – 1999. – Т.33, №. 10. – С. 1201–1204.

[3] Verger L. Characterization of CdTe and CdZnTe detectors for gamma-ray imaging applications / L. Verger, M. Boitel, M. C. Gentet // Nucl. Instr. Meth. Physics Res. A.– 2001. – Vol. 458, №1-2. – P. 297–309.

[4] Satoshi Miyajima. Extraction of mean free path of charge carriers in CdZnTe crystals from measured full-energy peaks/ Miyajima Satoshi, Sakuragi Hideaki, Matsumoto Masao // Nucl. Instr. Meth. Physics Res. A.– 2002. – Vol. 485, №3. – P. 533–538.

[5] Christian Scheiber. Medical applications of CdTe and CdZnTe detectors/ Christian Scheiber, George C. Giakos. // Nucl. Instr. Meth. Physics Res. A.– 2001. – Vol. 458, №1-2. – P. 12–25.

[6] Rogalski A. Infrared Photon Detectors / A. Rogalski – Bellingham. WA: SPIE Optical Engineering Pres, 2002. – 568 p.

[7] Електричні, оптичні та фотоелектричні властивості монокристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (x=0,04) / В. В. Божко, О. В. Новосад, Г. Є. Давидюк [та ін.] // Наук. вісн. Вол. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Сер.: Фіз. науки. – 2012. – №. 16. – С. 34–39.

УДК 621.373.13

ЦИФРОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ФЛИККЕР-ШУМА

асп. Резчиков С. Е.
Ульяновский государственный технический университет
(432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32)
e-mail: flicker-noise@mail.ru

Низкочастотный (НЧ) шум (фликкер-шум, *1/f*-шум) характерен для изделий электронной техники. Для автоматизированной оценки параметров НЧ-шума предложены различные алгоритмы, например, [1]. Для тестирования эффективности этих алгоритмов необходим источник образцового сигнала (НЧ-шума).

Спектральная плотность мощности для этого вида шума пропорциональна $1/f^{\gamma}$, где f – частота, γ – показатель формы спектра. Показатель формы спектра можно считать важнейшим параметром фликкер-шума. Генераторы фликкер-шума с перестраиваемой γ в настоящее время серийно не производятся. Известны схемы [2] построения генератора *1/f*-шума на основе аналоговой фильтрации белого шума. Научных работ, рассматривающих синтез аналоговых генераторов НЧ-шума с $\gamma \neq 1$, автору найти не удалось. Потому этот вопрос был рассмотрен автором в работе [3].

Основной недостаток аналоговой генерации фликкер-шума – сложность перестройки параметров, в первую очередь, показателя формы спектра γ. В случае не физического моделирования НЧ-шума, а компьютерного математического моделирования, управлять параметрами сигнала гораздо проще.

Алгоритмы цифровой генерации фликкер-шума известны, но создание простых алгоритмов генерации *1/f*-шума по-прежнему остаётся актуальной проблемой. В данной работе рассмотрим вопрос написания компьютерной программы, генерирующей временные ряды напряжений, соответствующие фликкер-шумам с разными показателями формы спектра.

Компьютерная программа была написана нами на языке программирования Object Pascal. Рассмотрим случай генерации фликкер-шума с $\gamma = 1$. Использованный нами способ напоминает аналоговую фильтрацию белого шума *1/f*-фильтром. Вначале создаётся массив, заполненный с помощью функции «Random» случайными числами. Если такой массив воспринимать как результат оцифровки шумового напряжения, то мы получаем цифровое представление шума с белым спектром. Спектр, построенный для такого массива, показан на рис. 1.

Фильтрацию во временной области можно осуществить свёрткой массива мгновенных значений белого шума с импульсной функцией *1/f*-фильтра. Мы

численно рассчитали значения импульсной функции, а затем аппроксимировали её выражением $H(t) \approx 1/\sqrt{t}$.

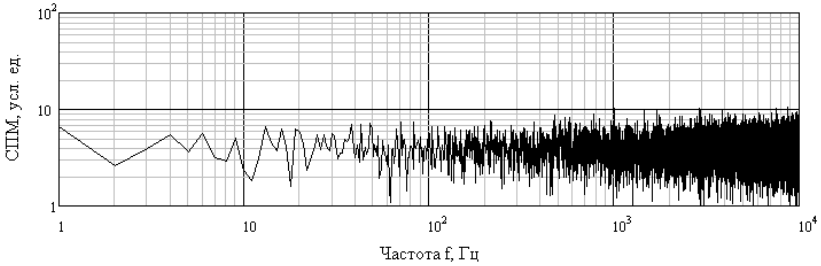


Рис. 1. Спектральная диаграмма цифрового белого шума.

Результат свёртки данной аппроксимации с массивом белого шума, осуществлённой программой, показан на рис. 2.

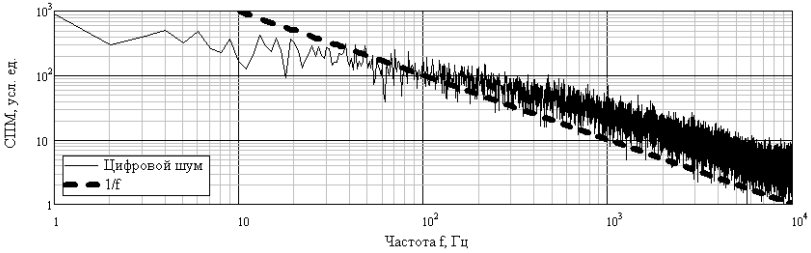


Рис. 2. Спектральная диаграмма полученного фликкер-шума.

Результаты спектрального анализа сгенерированных программой временных рядов показывают, что показатель формы спектра близок к заданному нами значению, однако лишь в небольшом диапазоне. Это может объясняться, как ошибками организации вычислений, так и неудовлетворительной аппроксимацией импульсной характеристики. Такие результаты свидетельствуют в пользу актуальности аналоговых фильтров с *1/f*-характеристикой. АЧХ одного из таких фильтров приведена в [4].

Список источников

1. Резчиков С.Е., Сергеев В.А. Адаптивный алгоритм измерения спектраль-ной плотности мощности низкочастотного шума полупроводниковых приборов // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборострое-ния. – 2013. – Т. 13. – №3. – с. 168-169.
2. Efficient numerical and analog modeling of flicker noise processes. [Washington, D.C.]: U.S. National Bureau of Standards: 1971.
3. Резчиков С.Е., Сергеев В.А. Синтез генераторов НЧ-шума и анализ частотной зависимости показателя формы их спектра // НННФ: тез. докл. XII Всеросс. конф. мол. ученых (5–7 сентября 2017 г.). – Саратов, 2017. – с. 219-220.
4. PNF3dBo-18 Пассивный фильтр нижних частот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://flicker-noise.com/ru/prod/PNF3dBo-18.html

THE THEORETICAL DESCRIPTION OF LETROZOL ELECTROCHEMICAL DETERMINATION, ASSISTED BY A RHENIUM-POLYMER COMPOSITE

Volodymyr V. Tkach[1,2], Marta V. Kushnir[1], Alla F. Choban[1],Sílvio C. de Oliveira[2], Olga V. Luganska[3], Vira V. Kopiika[3], Petró I. Yagodynets´[1]

[1]*Chernivtsi National University, 58012, Kotsyubyns'kyStr,, 2, Chernivtsi, Ucrânia*

[2] *Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Sen. Felinto. Müller, 1555, C/P. 549, 79074-460, Campo Grande, MS, Brasil*

[3]*Zaporizhzhya National University, Faculty of Biology, 69095, Rua de Zhukovs'ky, 66, Zaporizhzhya, Ucrânia*

*e-mail: nightwatcher2401@gmail.com

Letrozole (Fig. 1) is an aromatase inhibitor, used in the treatment of different types of breast cancer [1]. From the chemical point of view, it is a triazolic derivative, containing two cyanic moieties

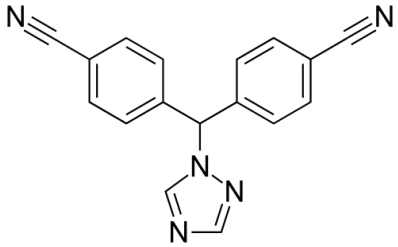


Fig. 1. Letrozole

Besides of its use as an anti-cancer drug, it is used also in the treatment of the infertility, as an ovarian stimulation. It has less side effects than clomiphene and gives less chances of multiple gestation. Nevertheless, besides of its direct action as anti-cancer and reproductive drug, it possesses different dose-related adverse effects, like arthralgia, fatigue. Its excessive use in females may provoke the ovarian hyperstimulation syndrome. Its lasting use may provoke ostheoporosis. Thus, the development of the methods for its determination is really actual [2].

Recently, some methods for Letrozole electrochemical determination have been developed [3]. The electroanalytical process has been realized via a cathodic reaction, including the reduction of the latteral cyanic groups. Thus, for an efficient electrochemical determination of letrozole, it is possible to develop a stable, reproducible and long-life catalyzer, like a composite, obtained by the reaction sequence:

$$ReO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow ReO_2 + H_2O \qquad (1)$$

$$(n-1/2)ReO_2 + n\ C_4H_2(OCH_3)_2NH \rightarrow (n-1/2)Re + (n-1)H_2O + (C_4\ H(OCH_3)_2NH) - (C_4\ (CH_3)_2NH)_{n-2} - C_4\ H(CH_3)_2NH)) \qquad (2)$$

Two models have been developed for synthesis and the electroanalytical processes. Both of the processes are efficient, and the steady-state is easily stabilized. The oscillatory and monotonic instabilities, for their turn, are also possible, due to the double electric layer capacitance changes during the both processes.

References

1. D. Xe, X. Ma, OncoTargetsTher., 9(2016), 1077
2. Q. He, L. Liang, C. Zhang *et al.*, Syst. Biol. Reprod. Med., 60(2014), 355
3. A. Sharma, K. Jhankal, D. Sharma, Chem. Sci. Trans., 6(2017), 69

THE THEORETICAL DESCRIPTION OF PURPUROGALLINE ELECTROCHEMICAL DETERMINATION ON A CARBON MATERIAL, MODIFIED BY NOVEL TRIAZOLIC DERIVATIVES

Volodymyr V. Tkach*[1,2], Sílvio C. de Oliveira[2], Olga V. Luganska[3], Volodymyr V. Parchenko[4], Oleksiy A. Bigdan[4], E. Figueiro Tchkiuala[5], Petró I. Yagodynets´[1]

[1] Chernivtsi National University, 58012, Kotsyubyns'ky Str, 2, Chernivtsi, Ukraine

[2] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Sen. Felinto. Müller, 1555, C/P. 549, 79074-460, Campo Grande, MS, Brazil

[3]Zaporizhzhya National University, 69095, Zhukovs'ky Str., 66, Zaporizhzhya, Ukraine

[4] Zaporizhzhya State Medical University, 69000, Maiakovs´ky Ave., 26, Zaporizhzhya, Ucrânia

[5]Universidade de Évora, 7000-671, Rua Romão Ramalho, 53, Évora, Portugal

E-mail: nightwatcher2401@gmail.com

Purpurogallin is a red, crystalline compound [1 – 2]. It is anaglycon of several glycosides from nutgalls and oak barks.[1] It can inhibit 2-hydroxy and 4-hydroxyestradiol methylation by catechol-O-methyltransferase.[2] It potently and specifically inhibits TLR1/TLR2 activation pathway, reason why it is used as a hepatoprotector and antioxidant in animals and humans.

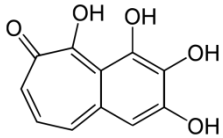


Fig. 1.Purpurogallin

Purpurogallin has confirmed biologic activity, which is dose-related. Moreover, its excess may cause adverse effects like nausea, vomiting, diarrhea, intesed urinating and changed urine color. So, the development of an efficient and rapid purpurogallin determination method is really actual task, and the electrochemical methods could help us in its resolution.

One of the principal advantages of CME is the affinity between the analyte and modifier, and the use of carbon materials with specifically doped conducting polymer as modifier can enhance this affinity. One of the possible electrode modifiers for carbon-polymeric composite electrode may be triazolic compounds (Fig 2), likely to yet used for electroanalytical processes [3]:

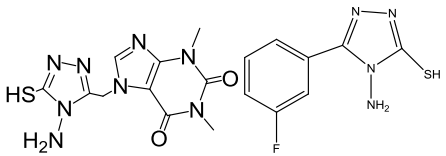


Fig. 2. Triazolic derivatives

In this work the possible electroanalytical process for purpurogalline triazole-assisted electrochemical determination is analyzed by mathematical way. In this case, the triazolic derivatives act in the polymer as mediators, transmitting protons and electrons from the analyte to the carbon material, covered by it (Fig. 3):

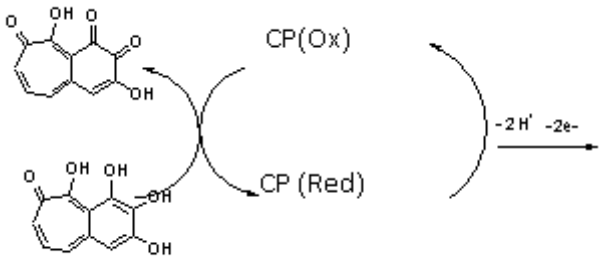


Fig. 3. The scheme of electroanalytical process

From the analysis of the system, it was possible to show that the linear dependence between purpurogalline concentration and electrochemical parameter is maintained easily, due to the better steady-state stability and its electroanalytical efficiency. The presence of the basic pyridinic nitrogen atoms in triazoles lets us use less basic solutions to achieve the electroanalytical signal, easy to interpret.

REFERENCES

1. T. Wu, L. H. Zeng, J. Wu, D. Carey, Biochem. Cell. Biol., 69(1991), 747
2. L. H. Zeng, J. Wu, Biochem. Cell. Biol., 70(1992), 684
3. Q. Cao, T. Pradhan, S. Kim, J. Kim, Org. Lett., 13(2011), 4386

THE THEORETICAL DESCRIPTION FOR THE ESTRADIOL ELECTROCHEMICAL DETERMINATION, ASSISTED BY A NEW TRIAZOLIC DERIVATIVE

Volodymyr V. Tkach*[1,2], Sílvio C. De Oliveira[2], Olga V. Luganska[3],Vira V. Kopiika[3],Volodymyr V. Parchenko[4], Oleksii A. Bigdan[4],Andrii S. Gotsylya[4],Petró I. Yagodynets´[1]

[1]Chernivtsi National University, 58012, Kotsyubyns'kyStr, 2, Chernivtsi, Ukraine
[2] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Sen. Felinto. Müller, 1555, C/P. 549, 79074-460, Campo Grande, MS, Brazil
[3]Zaporizhzhya National University, 69095, Zhukovs'ky Str., 66, Zaporizhzhya, Ukraine
[4]Zaporizhzhya State Medical University, 69000, Av. de Maiakovs´ky, 26, Zaporizhzhya, Ucrânia
*e-mail: nightwatcher2401@gmail.com

Ovarian hyperstimulation syndrome (OHSS) is a medical condition, occurring in women taking fertility medication to stimulate egg growth, and in other women in very rare cases [1]. Most cases are mild; rarely, the condition may become severe, leading to serious consequences.

Its occurrence may be mild, moderate, severe and critical [2], including symptoms from mild (abdominal pain, diarrhea) to severe (hemoconcentration, thrombosis). Mortality is low, but several fatal cases have been reported. The predictor of the syndrome development is the enhance of the steroid sexual hormones' concentragtion. Estradiol (Fig. 1) is the basic hormone, influencing the development of the OHSS, which makes it an interesting investigation object.Its biological activity is dose-related, thus, the development of a method, capable to detect and quantify this compound by rapid and efficient manner is really actual.

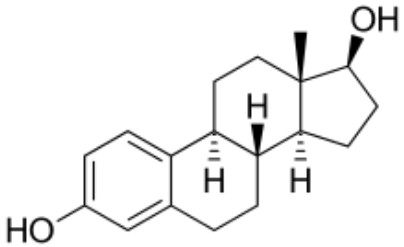


Fig. 1. Estradiol

For now, some methods of electrochemical determination have already been developed for steroid hormones. The conditions, in which they were oxidized lead to the conviction that novel triazolic derivatives and conducting polymers, based on them or containing their moieties, could be used for its determination.

In this work, the theoretical possibility of estradiol electrochemical determination on the conducting polymer, modified by two triazolic derivatives is studied. The formulae of these derivatives may be described as:

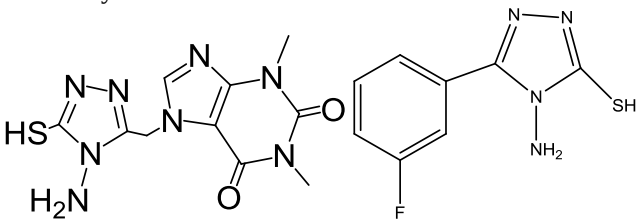


Fig. 2. Triazolic derivatives

Containing an amino group, both mentioned derivatives may be incorporated in the polymer backbone by derivatization of amino group or by doping (if the conducting polymer let it). The electrooxidation of estradiol is realized by loss and transference of two protons and two electrons, in which the modified polymer plays the role ofan active substance and a mediator, simultaneously.

A bivariant mathematical model, correspondent to the electroanalytical process, is introduced and analyzed, and from its analysis it is possible to conclude that the modified polymer may serve as an excellent electrode modifier for estradiol electrochemical determination. The determination selectivity is achieved by the differences in the kinetic and thermodynamic factors of the interaction of triazolic rings with estradiol and the similar compounds. The oscillatory behavior in this system is possible and, due to the presence of two different electrochemical stages, influencing the DEL, it is more probable than in more general case.

REFERENCES

[1]. P. Kumar, S. Farouk Sait, A. Sharma, M. Kumar, J. Hum. Reprod. Sci., 4(2011), 70

[2]. M. Banker, J. A. García-Velasco, J. Hu,. Reprod. Sci., 8(2015), 13

УДК 621.531.546

ВПЛИВ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ

м.н.с. Удовицька Ю.А. [1], проф. Кашицький В.П. [1], доц. Луньов С.В. [1], проф. Савчук П.П. [1], зав. відділом фотоядерних реакцій Маслюк В.Т. [2]

[1]Луцький національний технічний університет, вул. Львівська 75, м. Луцьк, 43018, yulgb123@gmail.com,

[2]Інститут електронної фізики НАН, вул. Університетська, 21, м. Ужгород, 88017, volodymyr.maslyuk@gmail.com

В сучасній науці закладений значний технічний потенціал, що дозволяє отримувати полімерні матеріали з поліпшеними фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками шляхом регулювання складу та технології формування. Удосконалення композитних матеріалів дозволяє розширити спектр використання, а певна технологія виготовлення дозволяє підібрати необхідні характеристики, що в свою чергу збільшує можливості для машинобудівної та електротехнічної галузі.

Однією з найважливіших проблем радіаційної фізики і хімії полімерів є з'ясування специфіки радіаційних процесів, що протікають в речовині при впливі різних видів іонізуючих випромінювань [1,2]. Відомо, що іонізуюча радіація суттєво впливає на властивості природних та синтетичних полімерів [3,4]. При цьому основними радіаційними процесами, які відбуваються в полімерах при опроміненні, є «зшивання», та деструкція. Дані процеси призводять до зміни механічних властивостей полімерів, що досліджено не досить обширно. Зокрема [3, 5–8], дослідження впливу опромінення електронами на фізичні властивості полімерів обмежуються лише визначенням границі витривалості матеріалу, а не застосуванням опромінення для покращення властивостей.

Нами було вирішено скорегувати механічні властивості полімерів завдяки підбору дози опромінення матеріалу, його складу та процесу формування. Досить перспективним в даному плані, як показали попередні дослідження, є опромінення електронами полімеркомпозитного матеріалу на основі епоксидної смоли [9].

Метою роботи є оцінка впливу дози радіаційного опромінення, виду обробки та масової частки твердника ПЕПА (12 мас.ч.) на механічні властивості композитів на основі епоксидної смоли марки ЕД–20. Опромінення електронами проводилось при дозах 5..60 кГр з енергією 12 МеВ, а ствердіння матеріалу трьома різними способами. В першому випадку після термічної обробки епоксиполімер опромінювався електронами, в другому термічна обробка проводилась після опромінення, а в третьому випадку матеріал піддавався лише впливу високоенергетичними частинками. Границю міцності при стисканні в умовах нормального відриву визначали за ГОСТ 14759-69. Твердість досліджувалась за ГОСТ 1786–80 на твердомірі NOVOTEST TC-БРВ.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що значення твердості епоксиполімерного матеріалу опроміненого дозою до 30 кГр значно знижена порівняно із неопроміненою композицією (до 50%), що вказує на перевагу поперечного зшивання макромолекули і розірвання основних макроланцюгів. Проте, значення даної характеристики зростає на 23% із збільшенням дози опромінення та у випадку застосування додаткової термічної обробки після опромінення.

Але композит, який піддавався лише опроміненню, без додаткової термічної обробки у сушильній шафі, взагалі не витримав мінімального навантаження у 31,25 кг.

Суть тут в утворенні різної структури: опромінення-термообробка – це одні макромолекули з певною енергією зв'язку і різною довжиною ланцюгів, а коли маємо термообробка-опромінення – це вже інші молекули, з іншою енергією зв'язку атомів в ній та іншою довжиною ланцюгів. Також ймовірність процесів радіаційної деструкції та зшивання в даних двох випадках різна, що і пояснює одержані залежності.

Водночас результати проведених експериментів з визначення границі міцності на стиск показали, що опромінення низькими дозами покращує даний параметр, особливо для матеріалу без термічної обробки. Мінімальна доза яка використовувалась (10 кГр) для даного дослідження дала збільшення границі міцності майже у 3 рази.

Зростання границі міцності для епоксидно-діанової смоли при низьких дозах поглинання може бути пов'язане з домінуючою роллю поздовжніх міжмолекулярних зшивок. Для доз поглинання до 60 кГр стають ефективними процеси радіаційного зшивання, що сприяє утворенню нових ланцюгів макромолекул епоксикомпозиту, в яких енергія зв'язку між атомами є більшою.

Такі специфічні залежності границі міцності від поглинутої дози електронного опромінення для зразків епоксикопозитів можна пов'язати зі змінами величини модуля Юнга при опроміненні, що, в свою чергу, обумовлені радіаційно-хімічними процесами в опромінених епоксиполімерах. До таких основних процесів відносяться поперечне «зшивання», внаслідок якого укрупнюються макромолекули полімеру за рахунок утворення поперечних хімічних зв'язків між лінійними макромолекулами, та деструкція макромолекул, з утворенням летючих продуктів і макромолекул меншої довжини [2]. Також, враховуючи результати роботи [3], опромінення електронами з енергією E>2 МеВ призводить до утворення в полімерах мікротріщин, розміри та глибина яких залежить від дози опромінення.

Радіаційно-стимульоване зростання границі міцності та твердості для епоксидно-діанової смоли може знайти своє практичне використання для створення на її основі високоякісних конструкційних та антифрикційних матеріалів для машинобудування та приладобудування, які матимуть нижчу ціну, меншу масу, довговічність, підвищену стійкість до агресивних середовищ.

Список використаних джерел

1. Воздействие высокоэнергетических пучков быстрых электронов на полимерные радиационно-защитные композиты / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, О.Д. Едаменко, Д.Г. Тарасов // Вопросы атомной науки и техники. — 2010. — № 1. — С. 129-134.

2. В.Ф. Плюснин. Радиационная химия. Учебное пособие. Новосибирск: Изд. НГУ, 2010,198 с.

3. Милинчук В.К. и др. Радиационная стойкость органических материалов: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.

4. Радіаційно-стимульовані перетворення електропровідності нанокомпозиту поліетилену з багатостінними вуглецевими нанотрубками / О.С. Ничипоренко, О.П. Дмитренко, М.П. Куліш, Т.М. Пінчук-Ругаль, Ю.Є. Грабовський, М.А. Заболотний, Є.П. Мамуня, В.В. Левченко,В.В. Шлапацька, В.В. Стрельчук, В.М. Ткач // Вопросы атомной науки и техники. — 2016. — № 2. — С. 99-106.

5. Радіаційна модифікація нанокомпозитів поліетилену з багатостінними вуглецевими нанотрубками / О.С. Ничипоренко, Т.М. Пінчук-Ругаль, Д.О. Ковальова, О.П. Дмитренко, М.П. Куліш, Є.П. Мамуня, В.В. Левченко, В.В. Шлапацька // Вопросы атомной науки и техники. — 2014. — № 4. — С. 44-48.

6. A.A. Turetskii, S.N. Chvalun, et al. Defects in the crystalline lattice of highly oriented polyethylene and their changes during irradiation // Polymer Science U.S.S.R. 1990, v. 32, issue 12, p. 2525-2531.

7. Морфологія та структура нанокомпозитів поліетилену високого тиску з багатостінними вуглецевими нанотрубками під опроміненням / Т.М. Пінчук-Ругаль, О.С. Ничипоренко, О.П. Дмитренко, М.П. Куліш, Ю.Є. Грабовський, М.А. Заболотний, О.Г. Ругаль, Є.П. Мамуня, В.В. Левченко, В.В. Шлапацька, В.М. Ткач // Вопросы атомной науки и техники. — 2013. — № 5. — С. 173-177.

8. А.И.Купчишин,Ф.Ф.Комаров, А.Д.Мурадов, Р.М.Искаков, Б.Г.Таипова, Г.Б.Сарсембаев, Т.В.Поздеева. Влияние наполнителя и облучения на механические свойства полимерного композитного материала // Физика и химия обработки материалов. – 2010. - №6. – с. 18-22.

9. Удовицька Ю.А., Луньов С.В., Савчук П.П., Мельничук М.Д., Маслюк В.Т. Вплив електронного опромінення на механічні та експлуатаційні властивості полімерів на основі епоксидної смоли / Перспективні технології та прилади. – 2017.

УДК 53.08

ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ АКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ З ЦИФРОВОЮ ІНДИКАЦІЄЮ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC16F628A

студ. Христинець А.О., доц. Коваль Ю.В.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: oxdoggoalie88@gmail.com

Однією із сфер використання приладів на основі PIC16F628A є радіотехніка. Мікроконтролери серії PIC16Fx компанії Microchip мають невисоку вартість, хорошу швидкодію та можливість програмного керування, що дозволяє використовувати їх для конструювання невеликих спеціалізованих пристроїв.

Якість мікропайки є запорукою подальшої успішної роботи приладу. Нерівномірна пайка є потенційною причиною поганої роботи схеми. Важливим завданням є проведення процесу паяння без перегріву елементів. Відмінну якість пайки забезпечують паяльні станції, проте вони дорогі і, як альтернатива, для регулювання температури можуть бути використані регулятори потужності - диммери. Вони використовуються для плавної зміни яскравості ламп розжарювання, і, відповідно, нема необхідності у додатковій індикації рівня потужності, оскільки про налаштування свідчить яскравість свічення лампи. Але, як оцінити, на якому рівні споживаної потужності працює паяльник? Сконструйований у роботі регулятор потужності з цифровою індикацією і кнопковим регулюванням вирішує дану задачу.

Регулятор зібраний на PIC16F628A. В пристрої міститься семисегментний індикатор зі спільним анодом. Регулятор зібраний на двох платах: силова і цифрова. На силовій частині розміщений фільтр для пониження рівня перешкод, спричинених пристроєм та схема без трансформаторного живлення. На цифровій платі розміщений мікроконтролер та семисегментний індикатор. Пристрій працює за таким принципом: однією (червоною) кнопкою збільшується рівень потужності і температура жала паяльника, іншою (синьою) – понижується. Програма для мікроконтролера написана на Асемблері. Затримки, що визначають рівень потужності, підібрані експериментально. В програмі їх можна легко змінити і підібрати для себе потрібні рівні. Всього використано 10 рівнів. Символ «0» на індикаторі означає, що семистор закритий. Символ «9» означає, що семистор постійно відкритий і пристрій працює на повну потужність.

Можливості використання подібних програмованих приладів для регулювання напруги є досить широкими. Зокрема, даний пристрій може також бути використаний і для регулювання напруги в освітлювальних приладах. Це дозволяє суттєво зменшити втрати електроенергії, що є позитивним моментом з точки зору економії енергоресурсів.

УДК 622.4

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ «ВОЛОКНА КОНОПЛІ – ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТ»

маг. Яремчук Я., проф. Гулай О.І.
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, м. Луцьк,hulay@i.ua

Ауксетики – це матеріали, що характеризуються від'ємним значенням коефіцієнта Пуассона. Такі матеріали відомі понад 100 років, однак останніми десятиліттями до них спрямована особлива увага матеріалознавців. Актуальність дослідження ауксетичних матеріалів мотивується можливістю отримання ряду цінних деформаційно-міцнісних характеристик матеріалів і вироби. В умовах обмеженого деформування ауксетики дозволяють підвищити несучу здатність фрикційних з'єднань, що робить їх найбільш бажаними для використання в кріпильних виробах в якості «інтелектуальних» фіксаторів і заклепок, які при накладенні навантаження щільніше прилягають до матеріалу, збільшуючи несуче навантаження з'єднання.

Для створення матеріалу з подібними властивостями ми використали полімерну матрицю – полівінілацетат (клей ПВА) та волокна технічної коноплі. Випробування отриманого матеріалу на розтяг довели його високу механічну міцність. Із плівки матеріалу вирізали зразки розміром 65х10 мм, підвішували у штативі та навантажували (маса вантажу – 500 г, час випробувань – 1 місяць). У визначених точках фіксували товщину плівки та видовження зразка. Результати вимірювань та обчислення абсолютної і відносної поперечної деформації наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Деформація зразків композиту при випробуванні на розтяг

№ п/п	d_0, мм	d_1, мм	$\Delta d = d_0 - d_1$, мм	$\varepsilon_{поперечне} = \Delta d / d_0$
1.1.	0,28	0,34	-0,06	-0,21
1.2.	0,27	0,32	-0,05	-0,19
1.3.	0,27	0,35	-0,08	-0,29
1.4.	0,25	0,33	-0,08	-0,32
Середнє значення				-0,25
2.1	0,80	0,75	0,05	0,06
2.2	0,80	0,70	0,10	0,13
2.3	0,72	0,67	0,05	0,07
2.4	0,79	0,70	0,09	0,11
Середнє значення				0,09

На основі результатів випробування отриманого матеріалу на розтяг розраховано коефіцієнт Пуассона для двох зразків матеріалів, що відрізнялися товщиною та довжиною волокон наповнювача. Відношення абсолютних

деформацій до відповідних початкових розмірів покаже відносні деформації, а їхнє відношення у свою чергу визначає коефіцієнт Пуассона матеріалу. Встановлено, що композит із волокнами довжиною 2-3 мм проявляє ауксетичні властивості, оскільки спостерігається збільшення товщини зразка при його розтягу (коефіцієнт Пуассона становить -2,5), тоді як для іншого зразка (волокна 3-4 мм) такий ефект не спостерігається (коефіцієнт Пуассона становить 0,6).

Дослідження міцності при ударі проводилося на чотирьох зразках різної довжини волокон(рис.1): I – довжина волокон 2 мм, II –3 мм, III –4 мм, IV – 5 мм. Міцність при ударі вираховували за формулою 2.6. Результати дослідження отриманих композитів наведено в табл. 2.

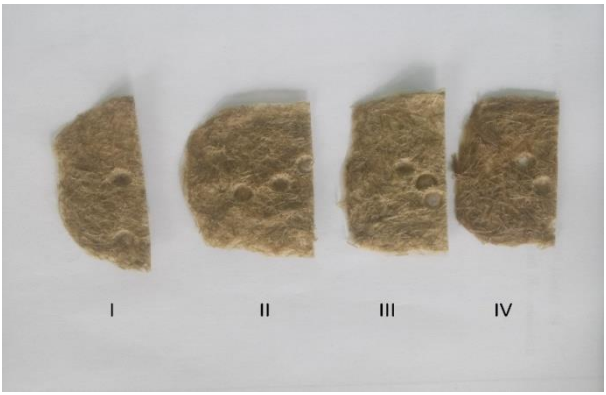


Рисунок 1 – Дослідження міцності при ударі різної довжини волокон: I – 2 мм, II – 3 мм, III – 4 мм, IV – 5 мм.

Таблиця 2 – Результати досліджень отриманих плівок при ударі

	I	II	III	IV
Довжина волокон, мм	2	3	4	5
Товщина плівки, мм	0,85	0,92	0,95	1,02
Міцність при ударі А, Н	2,05	6,15	4,05	3,01

Встановлено, що плівки товщиною 1,2…1,5 мм витримують ударне навантаження до 6 Н, причому спостерігається лише утворення тріщин полімерної матриці, а матеріал загалом деформується, але не руйнується. Максимальну ударну стійкість має композит на основі волокон довжиною 2-3 мм. Ненаповнена полімерна матриця має ударну міцність не вище 1,5 Н.

Оскільки полівінілацетат – водорозчинний полімер, композити на його основі матимуть низьку водостійкість. Для усіх досліджених композитів спостерігається значне водопоглинання – більше 100 % за масою протягом 60 хв. Однак, після завершення експерименту зразки протягом доби повітряного висушування набули свого початкового вигляду та не втратили механічну міцність та фізичні властивості. Втрата маси зразків становила 5,1…6,2 %, що

пов'язано із частковим розчиненням у воді полівінілацетату, оскільки він належить до водорозчинних полімерів.

Низька водостійкість є недоліком отриманих композитних матеріалів на основі полівінілацетату, що обмежує сфери їх застосування. Підвищення водостійкості можна досягнути шляхом модифікації полімерної матриці, що становитиме предмет подальших наукових досліджень.

У результаті проведених досліджень створено нові композитні матеріали, у яких полімерну матрицю утворює водорозчинний полівінілацетат, а наповнювачем є подрібнені волокна технічної коноплі. Отриманий матеріал у вигляді вільних плівок товщиною 0,5…1,5 мм має високу ударну міцність завдяки еластичності полімерної матриці та високим механічним властивостям волокон коноплі.

Список використаних джерел

1. Кизимчук О.П. Геометричні моделі ауксетик-материалів / Кизимчук О.П., Здоренко В.Г. // Вісник КНУТД. – 2013. – № 3. – С. 104-111.
2. Yunan Pravoto. Seeing auxetic materials from the mechanics point of view: A structural review on the negative Poisson's ratio / Y.Pravoto // Computational Materials Science. – 2012. – Vol.58. – P. 140–153.
3. Hine P.J. Negative Poisson ratio in angle-ply laminates. / Hine P.J., Duckett R.A., Ward I.M. // J. Mater. Sci. Let.– 2007. – v.16. – № 7. – pp. 541-544.

UDC 57.086:664.02

FORECASTING THE TIME OF RELIABLE OPERATION OF OPERATING ELEMENTS OF THE OPTICAL GONIOMETER BY THE METHOD OF ATOMIC-FORCE MICROSCOPY

Ph.D., Ass.Prof. Bondarenko M., Ph.D., Ass.Prof. Bondarenko Yu., Ph.D. Bilokin S., Ph.D. Andriienko V.
Cherkasy State Technological University, boul.T.Shevchenko, 460, Cherkasy, 18006, e-mail: maxxium23@gmail.com, tel. +38 (0472) 73-02-60

Increasing the productivity of equipment for optical instrument making, as well as the quality of research conducted on it, is one of the main tasks in the precise optical instrument making. Such an increase is impossible without further improving the operational properties of the operating parts of this equipment. One of the effective methods for increasing the productivity and wear resistance of these elements is the hardening of their surface layer (for example, modified with TiN_x coatings by the PVD method).

It is known [1] that the main geometric parameters that affect the performance and reliability of operation of the working elements of the optical goniometer parts are residual microroughness and uniformity of the surfaces of these elements (should not exceed 250 nm), and also the absence of microdefects on them.

Among modern methods of studying microgeometric parameters of the surface, the method of atomic force microscopy is promising (AFM) [2]. This method is express, precise and has a spatial resolution of the order of 0,2 – 0,5 nm.

The aim of the work is to conduct research and analysis of the microgeometry of the surfaces of the working elements of the optical goniometer parts (by the example of a compensating screw) after PVD by atomic force microscopy method to determine the hidden microdefects and microroughness of the surfaces of these elements during their operation, and also to predict the period of their trouble-free operation.

Experimental method. The objects of the study are fragments of a compensating screw in the form of cylinders 3 – 5 mm in diameter and 8 – 10 mm in height made of steel X10CrNiTi18-10 (DIN, Germany), which were divided into two groups: 1) objects without TiN coating; 2) oobjects that had a TiN layer (up to 30 μm) deposited by the PVD method.

Researches of the microgeometry of the surfaces of the investigated objects from both groups were carried out on a device “NT-206” (“Microtestmashines”, Belarus) using silicon probes “Ultrasharp CSC12” (“Mikromasch”, Germany). At the same time, to increase the reliability of the results, the studies were carried out on 10 sites with an area of 13×13 μm on the surface of each of the samples.

The selection of the required area on the surface of the sample was carried out by a microposition system and a built-in optical long-focusing microscope Logitech (“Logitech Inc”, USA).

Researches of the objects were carried out as follows. After ultrasonic cleaning of the object of investigation in ethyl alcohol [3], it was based on a magnetic object table. The use of the built-in long-focusing microscope and the micropositioning system makes it possible to determine, with an accuracy of ± 2,5 μm, the portion of the sample whose surface was investigated. As a worker, the static mode of operation of the AFM was selected. This mode is less accurate than the dynamic mode, but allows you to explore the surface of the object, ignoring the presence of moisture and residues of organic substances (alcohol, fatty acids, etc.) on it.

To increase the accuracy and reproducibility of the results of the study, measurements were made on 5 – 6 samples from each group.

After completing the measurement process, the micropositioning system moves the measuring head to the next section.

The results of measurements were recorded in the memory of a personal computer that is part of the diagnostic complex of an atomic force microscope for further visualization, research and analysis.

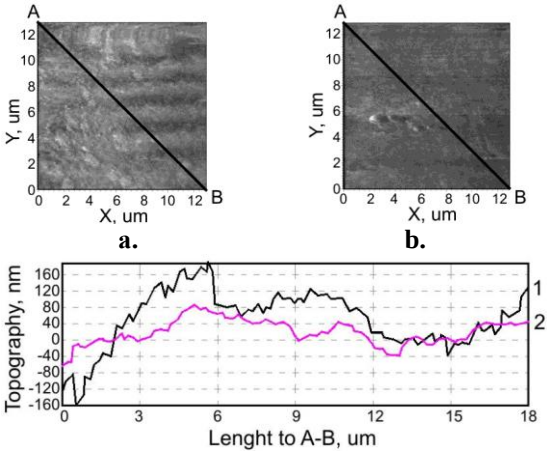


Fig.1. Thetopogram (a, b) and the profilogram (c) along the A-B line of the surface area (13×13 μm) of the sample without (a, c.1) and with the TiN (b, c.2) coating obtained by the PVD method

Figure 1 shows the results of testing samples without (a) and with TiN (b) coating obtained by the PVD method of working elements of the optical goniometer parts after their operation for 800 hours.

Analysis of the results of AFM studies of the surfaces of the original samples (Fig. 1, a) made it possible to establish that during the long-term operation, their

surfaces are destroyed (an increase in the microroughness from 60 to 90 nm to 280 – 350 nm (Fig. 1, v.1) microcracks and other microdefects). This leads to a sharp decrease in the functional properties of these coatings and the productivity of the product as a whole. At the same time, microdefects were not observed on samples coated with TiN precipitated by the PVD method (Fig. 1, b), while microroughness during the same operating time (800 hours) increased from 50 – 60 nm to 85 – 130 nm (Fig. 1, v.2).

Adhesive properties of TiN coatings deposited under optimal conditions at the NNV-6,6 I1 setup were studied by sclerometric method (scratching method). As a result of these studies, it was found that the critical load at which the first chips and the peeling of the titanium nitride coating appeared was 35 to 65 N, which corresponds to the critical shock load during operation of the working elements of the optical goniometer parts (for example, compensating rolls) of 10 N/mm^2.

Mathematical processing of experimental results. Analysis of the data obtained by atomic force microscopy was carried out by the method of planning a two-factor experiment. As input variables, the increment of the residual microroughness values (%) and the number of microdefects on the surface of the sample during the wear process at an impact load of 10 N/mm^2 were chosen. This corresponds to the critical load on this fragment of the working element of the compensation screw. As a response, the wear time of the sample was chosen.

The result of the experiment planning was presented as a regression equation: $Y = 1328 - 0{,}71X_1 - 63X_2 + 3{,}82\, X_1 \cdot X_2 + 0{,}03X_1^2 - 17X_2^2$, where Y – response – sample wear time (hours); X_1 – increment of residual microroughness values (nm); X_2 – number of microdefects.

Comparison of the calculation results with the quadratic law and the experimental data showed that the relative error ε in determining the time of trouble-free operation does not exceed 4,8%.

Discussion of experimental results. After performing the mathematical processing of the experimental results and substituting in the regression equation the maximum increase in the residual microroughness values (300 nm) under the condition that there are no microdefects of the surface, we find that the predicted lifetime of the optical goniometer working parts by the example of the compensating screw without TiN coating is about 800 hours (4,5 months of continuous operation), then, as with the TiN coating deposited by the PVD method at a critical impact load of 10 N/mm^2 is about 1200 hours (6,8 months of continuous operation).

Conclusions.

1. The analysis of the surfaces of the initial samples showed that during the long-term operation, they are destroyed (an increase in microroughness from 60 to 90 nm to 280 – 350 nm, the appearance of microcracks and other microdefects), which leads to a sharp decrease in the functional properties of these coatings and product productivity in whole. At the same time, microdefects are not observed on samples

coated with TiN precipitated by the PVD method, and microroughness for the same operating time (800 hours) increased from 50 – 60 nm to 85 – 130 nm.

2. As a result of sclerometric studies, it was found that the critical load at which the first chips and the peeling of the titanium nitride coating appeared were 35 – 65 N, which corresponds to a critical impact load when the product is operated at 10 N/mm^2.
3. Application of the method of experiment planning based on the results of the study of working elements of optical instruments on the example of wear parts of an optical goniometer without and with TiN coating allowed to establish the predicted period of their operation: without coating – 800 hours (4,5 months of operation), coated – 1200 hours (6,8 months of operation).

Literature.

1. *Topolyanskiy P.A.* Issledovanie adgezionnykh svoystv i mekhanizma obrazovaniya pokrytiya, nanosimogo metodom finishnogo plazmennogo uprochneniya. Chast 2 (*Investigation of adhesion properties and the mechanism of coating formation, applied by the method of final plasma hardening. Part 2*) // Materialy 7-y Mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii-vystavki «Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoy osnastki», 12-15 aprelya 2005. – Sankt-Peterburg: Izd. SPbGPU, 2005. – S. 316-333.
2. *Bondarenko M.A.* Prognostication the term of exploitation of workings elements of cutters and grinding downer after it finish pvd with the used of method of atomic force microscopy / M.A.Bondarenko, N.V.Handyuk, A.V.Batrachenko, V.P.Boyko // Visnyk Cherkasy State Technological University. – Cherkasy: ChSTU, 2009. – pp. 111-113.
3. *Kovalenko Y.I.* Study of ordered oxide patterns got on the dielectric surfaces with the combined electronic technology / Y.I.Kovalenko, M.A.Bondarenko, E.V.Vertsanova, I.V.Iatsenko [etc.] // Physics and technology of thin films and nanosystems: XIV Intern. conf.: thesis, May, 20-25, 2013. – Ivano-Frankivsk, 2013. – pp. 92.

УДК 620.1

РЕЦИКЛЮВАННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ ШЛАМІВ

студ. Кавара А.[1], проф. Гулай О.І.[2]

[1]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», вул. Політехнічна 35, Київ, 03056, Україна, e-mail: akavara2000@gmail.com

[2]Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк

На підприємствах машинобудівної галузі в результаті механічної обробки шарикопідшипникових сталей утворюється значна кількість металічних відходів – шліфувальних шламів. На даний час шламові відходи практично не утилізуються, хоча мають високу потенційну вартість завдяки однорідності за хімічним складом та властивостями. В Україні середній рівень використання вторинної сировини в 2-2,5 рази нижче, ніж у високорозвинених країнах. При цьому рівень переробки промислових відходів як вторинної сировини в середньому не перевищує 3-5%. В результаті мають місце значні втрати матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів, що містяться у відходах, і одночасно триває інтенсивне накопичення невживаних відходів у довкіллі із швидкістю 1,7 млрд т/рік, що складає приблизно 65-75% від кількості їх утворення за рік [1].

Шліфувальний шлам, що утворюється при виробництві шарикопідшипників після обробки сталей ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ, складається з дрібної металевої стружки, абразиву, технічних масел, мастильно-охолоджувальної рідини тощо. Значна кількість неметалічних включень і технічних масел унеможливлює рециклювання відходів шліфувального виробництва без попередньої обробки. Технології переробки шліфувальних шламів є предметом досліджень багатьох вчених та практиків [2-3], однак на сьогодні вони потребують вдосконалення для успішного впровадження на виробництві.

Об’єктом досліджень обрано шліфувальний шлам сталі ШХ15, що утворюється після механічної обробки кілець та роликів підшипників в умовах ПАТ „СКФ – Україна” (м. Луцьк). Шліфувальний шлам за зовнішнім виглядом – порошкоподібний ватоподібний продукт характерного сірого кольору, жирний на дотик, з феромагнітними властивостями. Хімічний склад шламу у вихідному стані становить: Fe-89,8 % мас; Si-8,38% мас; Mn-0,9 % мас; Cr-0,96% мас; Ti-0,2% мас. Шламова суміш включає металеву складову власне підшипникової сталі, залишки мастильно-охолоджувальної рідини на основі водно-органічної емульсії та включення порошків абразивного інструменту. Під час шліфування часточки абразиву із шліфувальних кругів залишаються в шламі. Хімічний аналіз показує, що масова доля нерозчинного залишку в продуктах шліфування роликів сягає 4÷8 % (мас.).

Переробка шліфувальних шламів може відбуватися двома протилежно спрямованими шляхами: перший – відновлення матеріалу до металічного стану воднем, другий – окиснення до оксидного стану у присутності кисню. У першому випадку можна отримати порошок, за складом близький до вихідної сталі ШХ15. Він придатний до спікання методами порошкової металургії. У другому випадку, застосувавши магнітну сепарацію, отримуємо дрібнодисперсний порошок, основними компонентами якого є залізо та його оксиди FeO та Fe_3O_4. Зазначені наночастинки мають великий потенціал у промисловому застосуванні як наповнювачі, а також у ксерографії, електроніці (записуючі пристрої), каталізі тощо.

Проаналізовані технології рециклювання шліфувальних шламів дають можливість отримати нові матеріали, але пов'язані із значними енергетичними затратами та супроводжуються утворенням токсичних газів. Однак наведені недоліки не повинні стати перешкодою на шляху повторного використання вторинної сировини – важливого компонента концепції сталого розвитку.

За результатами проведених наукових пошуків було розроблено веб-сайт, присвячений переробці шліфувальних шламів (https://sites.google.com/gymnasia21.lutsk.ua/naukova). Основною метою веб-сторінки є поширення інформації про досліджувану проблему, а також популяризація переробки та вторинного використання техногенних відходів.

Література

1. Крайнов І. П. Інноваційні механізми зменшення ризику в сфері поводження з відходами виробництва і споживання [Текст] / І.П. Крайнов, С.С. Новохацька // Екологічний вісник. – 2007. – № 2. – С. 20–22.

2. Бондаренко Б.И. Разработка технологии получения композиционного порошка из шламових отходов подшипникового производства / [Б.И. Бондаренко, В.П. Якубовский, Д.Н. Федоров и др.] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №4. – С. 32–35.

3. Гальчук Т. Н. Вдосконалена технологічна схема переробки шламових відходів машинобудування / Т. Н. Гальчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4. – С. 26-30.

УДК 621

ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ НА КРИСТАЛО-СТРУКТУРНІ ПАРАМЕТРИ, МОРФОЛОГІЮ ТА ЗАРЯДОВІ ЄМНОСТІ ЛДС З КАТОДАМИ НА ОСНОВІ СУМІШІ $0{,}8SIO_2/0{,}2TIO_2$

студ. Кононенко Я. А., к. ф-м. н. Яворський Ю. В., д. ф-м.н. Зауличний Я.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», інженерно – фізичний факультет, вул.. Політехнічна 35, Київ, 03056, Україна, e-mail: konoyaroslav@gmail.com.

INFLUENCE OF MECHANOACTIVATION ON CRYSTAL-STRUCTURAL PARAMETERS, MORPHOLOGY AND CAPACITY COMPOSITION OF LCS WITH CATHODES BASIS ON THE COMPOSITION OF $0{,}8SIO_2/0{,}2TIO_2$

Y.A. Kononenko,Y.V. Yavorskyi, Ya.V. Zaulychnyy

Відомо, що електрохімічні характеристики досить сильно залежать від структурно-морфологічних особливостей. Тому випливає те, що є необхідним дослідження кристало-структурних параметрів та морфології сумішей$0{,}8SiO_2/0{,}2TiO_2$ [1] та їх вплив на електрохімічні властивості літієвих джерел струму(ЛДС). Отже окрім дослідження зміни структурно-морфологічних особливостей, за допомогою скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) та рентгено-фазового аналізу (РФА), сумішей $0{,}8SiO_2/0{,}2TiO_2$ до та після механоактивації існує необхід-ність отримати розрядні криві ЛДС з катодами на їх основі.

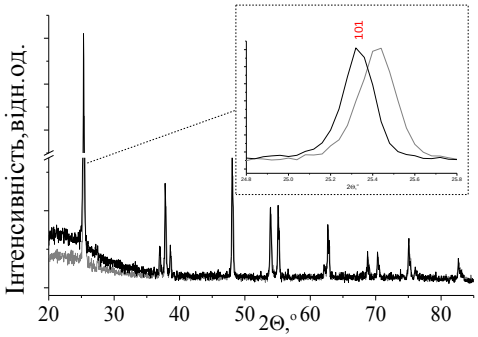


Рис.1 **-** Рентгенівська дифракційна картина вихідної (сіра лінія) та механоактивованої (чорна лінія) суміші-$0.8SiO_2+0.2TiO_2$

З результатів рентгено-структурного аналізу (Рис. 1, Табл. 1) встановлено, що SiO_2,внаслідок механоктивації, зали-шається в аморфному стані. При цьому ОКР, яке відповідає кристалічному TiO_2,є дещо збільшеними після обробки суміші. Крім того,зміна фазового складу суміші в результаті механоактивації залишається в межах похибки експерименту. Зростання внаслідок механоактивації областей когерентного розсіювання та зменшення величини

параметрів гратки *c* може бути наслідком виникнення міжатомної взаємодії між компонентами в процесі обробки.

Табл. 1 -Фазовий склад, розміри ОКР (D) та параметри граткивихідної та механоактивованої (МА) суміші $0{,}8SiO_2/0{,}2TiO_2$

Зразок	Фазовий склад, мас. %	D, *нм*	ΔD, *нм*	Пар. гр.	
				а, *нм*	с, *нм*
$0{,}8SiO_2+0{,}2TiO_2$	Rutile–0.3		+14	0.3788	0.9523
	Anatase –99.7	84			
$0{,}8SiO_2+0{,}2TiO_2$МА	Rutile–0.1			0.3785	0.9515
	Anatase –99. 9	98			
Похибка	±5		±2	±0,0003	

Розглядаючи СЕМ зображення вихідної суміші $0{,}8SiO_2/0{,}2TiO_2$ (Рис. 2) бачимо, що наночастинки SiO_2 та частинки TiO_2 (0,5-2мкм) розподіляються по всьому об'єму без утворення якоїсь певної структури.В той же час після механоактивації суміші спостерігається утворення агломератів розмірами 20-50мкм, з явно вираженою структурою. Така зміна морфології та структури нанокомпозиту, в результаті механоактивації суміші, може бути наслідком дифузійного проникнення атомів чи молекулярних фрагментів контактуючих наночастинок SiO_2 і TiO_2 один в одного з подальшим виникненням міжатомної

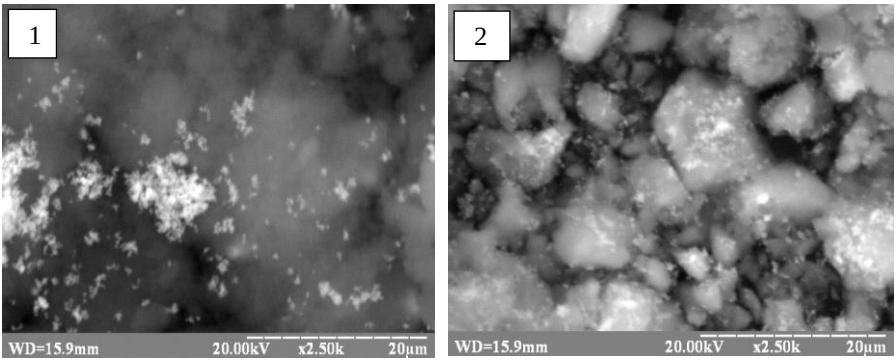


Рис. 2 **–** СЕМ зображення нанокомпозиту $0{,}8SiO_2/0{,}2TiO_2$до (1) та після (2)механоактивації, х2500

взаємодії між наночастинками за рахунок перекриття орбіталей між поверхневими іонами наночастинок.

Для дослідження того, як зміна морфології і структури внаслідок механоактивації впливає на електрохімічні властивості було отримано розрядні криві ЛДС з катодом на основі вихідної (Рис.3(1)) та механоактивованої (Рис.3(2)) сумішей $0{,}8SiO_2+0{,}2TiO_2$. З розрядних кривих видно, що розряд ЛДС з катодом на основі вихідної суміші відбувається при різкому спаді різниці

потенціалів що плавно переходить в більш повільний розряд із значними стрибками напруги, які є наслідком виникнення взаємодії між Li^+ та O^- та утворення оксидних груп на поверхні катодного матеріалу.Ці оксиди в мають перешкоджати інтер- та деінтеркаляції іонів літію в структуру катодного матеріалу при наступному його циклюванні (400 А•год/кг). В той же час в ЛДС з катодом на основі механоактивованої суміші $0{,}8SiO_2+0{,}2TiO_2$ перший розряд відбувається до значення зарядової ємності тільки 260 А•год/кг. Проте при наступному циклюванні відбувається зростання зарядової ємності до 480 А•год/кг та стабілізація та її стабілізація на цьому рівні, з незначним спадом потужності у 0,93 рази, відносно другого циклу. Найбільш імовірно це є наслідком зростання зв'язаного зарядового стану кисню в результаті механоактиваційної обробки за рахунок перенесення Si*d*-електронів в p_π-зв'язані стани кисню. Внаслідок цього іонам Li^+ важче відривати від аніонів кисню електрон і рекомбінувати в катодному матеріалі утворюючи пасивуючу плівку, яка буде перешкоджати заряд-розрядним процесам в катодному матеріалі.

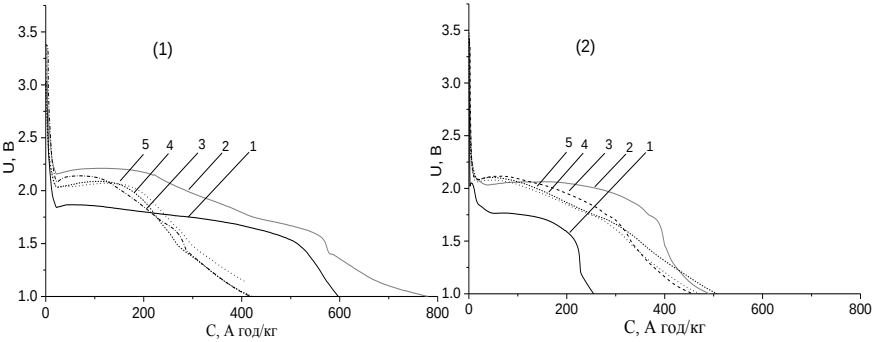


Рис. 3. Розрядні криві вихідної (1) та механоактивованої (2) суміші $0{,}8SiO_2+0{,}2TiO_2$. 1-5 номер циклу

Література:

1. Вплив механо-активаційного методу на розподіл валентних електронів сумішей SiO_2/TiO/ Ю. В. Яворський, Я. В. Зауличний, В. Я. Ільків, О. І. Дудка, А. П. Чмерук, В. І. Зарко, М. В. Карпець // Фізична інженерія поверхні. – 2015. – Т. 13, № 3. – С. 371-382.

УДК 621.315.592

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ МАГНІТНОЇ ТА ФОТОЧУТЛИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ n-Si <P>

доц. Луньов С.В [1], м.н.с. Зімич А.І. [1], доц. Хвищун М.В. [1], зав. від. фотоядерних реакцій Маслюк В.Т. [2], студ. Бабула І.В. [1]

[1]Луцький національний технічний університет, вул. Львівська 75, м. Луцьк, 43018, Україна, luniovser@ukr.net

[2]Інститут електронної фізики НАН України, вул. Університетська 21, м. Ужгород, 88017, Україна, volodymyr.maslyuk@gmail.com

Розробка функціональних матеріалів з поліпшеними фізико – хімічними властивостями вимагає проведення детальних наукових досліджень. Модифікація фізичних властивостей напівпровідників за рахунок цілеспрямованого впливу різних фізико активних полів, таких як радіаційні, температурні, електричні, магнітні, та легування різного роду домішками дозволяє одержати на основі напівпровідникових матеріалів різні електронні прилади та сенсори функціональної електроніки з наперед прогнозованими характеристиками (сенсори тиску, радіації, магнітного поля, елементи інфрачервоної техніки) [1]. Для вимірювання індукції магнітного поля та безконтактного визначення механічних та електричних впливів використовуються датчики магнітного поля. Одним з найбільш поширених типів магніточутливих елементів є датчики Холла, які часто виготовляються на основі кремнію, завдяки своїм унікальним властивостям, практично необмеженим природнім запасам, комерційній доступності, технології вирощування [2, 3]. Вирішення задач національної безпеки, обороноздатності країни, виявлення зон високих температур і можливих осередків виникнення пожеж, зондування навколишнього середовища на предмет забруднення шкідливими і отруйними речовинами, рання діагностика запальних, ракових та інших захворювань, визначення зон теплових втрат та кількісних параметрів енергоефективності об’єктів вимагає розробки елементів інфрачервоної техніки. В даному сенсі монокристалічний кремній з дефектами структури також може бути перспективним матеріалом для конструювання на його основі детекторів інфрачервоного випромінювання. Прогнозований вплив радіації на напівпровідники є потужним технологічним інструментом цілеспрямованої зміни фізичних властивостей напівпровідників та створення на їх основі різних елементів сенсорної електроніки з необхідними характеристиками.

Тому нами проводились дослідження впливу опромінення різними потоками швидких електронів з енергією 12 МеВ на магнітну та фоточутливість монокристалів n-Si <P>. У роботі досліджувались монокристалічні зразки кремнію n-типу провідності, вирощені за методом Чохральського. Концентрація легуючої домішки фосфору для досліджуваних зразків складала $N_d=2{,}2\cdot10^{16}$ см$^{-3}$.

Для ідентифікації природи утворених радіаційних дефектів проводились вимірювання інфрачервоної Фур'є-спектроскопії, ефекту Холла та тензо-холл-ефекту. На основі проведених досліджень було встановлено, що основними радіаційними дефектами, які утворились в кремнії при електронному опроміненні, були комплекси C_iO_i, А-центри (комплекси VO_i) та А-центри, які додатково модифіковані домішкою фосфору (комплекси VO_iP). З розв'язків рівнянь електронейтральності було знайдено концентрацію утворених дефектів. На підставі одержаних температурних залежностей сталої Холла були обчисленні значення коефіцієнтів магнітної чутливості для неопромінених та опромінених зразків кремнію. Проведені розрахунки показали, що зі збільшенням потоку опромінення магнітна чутливість монокристалів n-Si зростає та суттєво залежить від температури. При температурах T≈170 K для найбільшого потоку опромінення електронами $2\cdot10^{17}$ ел./см^2 було одержано значне (більше як в 500 разів) зростання коефіцієнта магнітної чутливості по відношенню до неопромінених монокристалів n-Si <P>. Також опромінення монокристалів кремнію швидкими електронами призвело до утворення додаткових областей фоточутливості при λ~12 мкм та λ~11,5 мкм. Причиною зростання магнітної та фоточутливості n-Si <P> є утворення комплексів C_iO_i, VO_i та VO_iP, які створюють в забороненій зоні кремнію глибокі енергетичні рівні, що виконують роль компенсуючих центрів по відношенню до основних носіїв заряду і є активними центрами поглинання інфрачервоного випромінювання. Зростання ступеня компенсації монокристалів n-Si <P> при збільшенні потоку електронного опромінення призводить до зростання сталої Холла, а отже й магнітної чутливості. Одержані результати можуть знайти своє практичне використання для конструювання на основі опроміненого n-Si <P> датчиків Холла, які зможуть функціонувати в широкому діапазоні температур, та детекторів інфрачервоного випромінювання для довжин хвиль λ~12 мкм та λ~11,5 мкм.

Література

1. *В. Ф. Марков, Х. Н. Мухамедзянов, Л. Н. Маскаева* Материалы современной электроники – Екатеринбург, изд. Уральского университета – 2014. - С. 268.
2. *Hari Singh Nalwa*. Silicon-Based Materials and Devices // Academic Press, San Diego, 2001, 609 p.
3. *Shimura Fumio*. Semiconductor Silicon Crystal Technology // Elsevier Science & Technology, 2012, p. 435.

УДК 534.121

РОЗРАХУНОК СПЕКТРУ АКУСТИЧНИХ КЛИВАНЬ У НАНОПЛІВКАХ GaN і AlN

викл. Луцюк Ю.В.
Коледж Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича,
Адреса, e-mail: 58002, Чернівці вул. Банкова 1, bukbook21@gmail.com

Висока активність дослідження електричних та оптичних властивостей низьковимірних кристалічних наноструктур пояснюється неперервним розвитком й удосконаленням технологій одержання та перспективами їх використання для створення новітніх пристроїв електроніки [1], оптоелектроніки і фотоніки [2], систем телекомунікацій [3].

Головним чинником, що визначає вказані властивості кристалічних наноструктур та області їх можливого використання, є будова енергетичних спектрів їх електронної та фононної підсистем, а також особливості елект-ронфононної взаємодії. Зокрема, у роботах [4, 5] показано, що взаємодія електронів з оптичними поляризаційними фононами у квазідвовимірних наногетероструктурах (наноплівках, НП) суттєво перенормовує їх енергетич-ний спектр, що може бути причиною температурних змін оптичних спектрів таких структур [6, 7].

Поряд з тим, у [4-7] та в подібних теоретичних роботах інших авторів, не досліджено роль акустичних фононів у формуванні енергетичних та оп-тичних спектрів квазідвовимірних наногетероструктур. Це пов’язане зі склад-ностями обчислень функції електрон-фононного зв’язку та виразів, до складу яких вони входять. Для їх побудови, зокрема, необхідно мати явний вигляд закону дисперсії та компонент вектора зміщень кожної гілки акустичних ко-ливань у широкому діапазоні довжин хвиль. Розрахунки частотного спектра, швидкостей поширення та компонент вектора зміщень гілок акустичного спектра у гексагональних квазідвовимірних наноструктурах виконуються чисельними методами (див., наприклад, [8]) без встановлення аналітичних виразів.

Ціль нашого дослідження полягала у створенні апарату аналітичного дослідження особливостей законів дисперсії акустичних фононів у НП з подальшим їх використанням для вивчення їхнього впливу на електричні та оптичні властивості таких структур. З цією метою нами використана викладена у [8] методика розрахунку закону дисперсії акустичних фононів на основі рівняння руху для пружних коливань в анізотропному середовищі. Відмін-ність нашого підходу до пошуку розв’язку рівняння руху полягала в тому, що шукані компоненти вектора зміщень, як функції змінної x_3 (координати точок на осі, спрямованої вдовж напрямку зростання НП) визначені на скінченому відрізку-товщині НП, подавалася у вигляді ряду Фур’є. Підстановка такої функції у рівняння руху приводить до секулярного рівняння, з умови існу-вання розв’язку

якого знаходиться дисперсійне рівняння. Зокрема, для гілки хвиль зсуву, воно набуває вигляду

$$\omega_n(k) = \sqrt{\frac{C_{66}k^2 + (\frac{\pi n}{d})^2 C_{44}}{\rho}},$$

де k – величина хвильового вектора хвилі зсуву, ω_n – частота її n-го коливно-го стану, C_{ij} і ρ – пружні константи та, відповідно, густина матеріалу НП, d – її товщина. Результати розрахунків, виконаних на прикладі НП GaN і AlN, показані на рис. 1, збігаються з результатами [8].

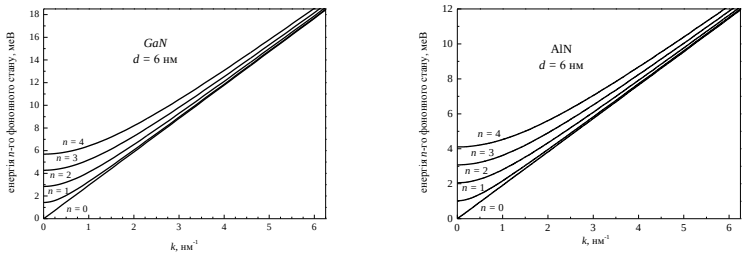


Рис. 1. Спектр гілки хвиль зсуву акустичних фононів у НП GaN і AlN .

Список літератури

1. Quay R. Gallium Nitride electronics. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
2. Alferov Z. I. The semiconductor revolution in the 20th century // Russ. Chem. Rev. – 2013. – V. 82. – P. 587–596.
3. Ramdane A., Ougazzaden A. Quantum well bandgap engineering for 1.5μm telecom applications // Mater. Sci. Eng. B. – 2000. – V. 74, № 1-3. – P. 66-69.
4. Boichuk V.I., Borusevych V.A. Influence of the parameter of the electron-phonon interaction on the energy spectrum of polarons in quasi-two-dimensional structures // Ukr. J. Phys. – 2006. – V. 51, № 2. – P. 169-175.
5. Ткач М.В., Крамар В.М. Електрон-фононна взаємодія і механізми пере-нормування електронного енергетичного спектра плоскої наноплівки // УФЖ, 2008. – Т. 53, № 8. – С. 812-820.
6. Kramar V.M., Pugantseva O.V., Derevyanchuk A.V. Spatial confinement, self-polarization and exciton–phohon interaction effect on the location of exciton line in lead iodide nanofilms // Low Temp. Phys. – 2014. – V. 40, № 8. – P. 981-985.
7. Kondryuk D.V., Derevyanchuk A.V., Kramar V.M. Temperature transfor-mations of optical spectra in semiconductor flat heterostructures with quantum wells // Appl. Opt. – 2016. – V. 55, № 12. – P. B49-B55.
8. Pokatilov E.P., Nika D.L., Balandin A.A. Phonon spectrum and group velocities in AlN/GaN/AlN and related heterostructures // Superlattices and Microstructures. – 2003. – V. 33. – P. 155-171.

УДК 621.315.592

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ МОЛІБДЕНУ

докторант Солован М.М., проф. Мар'янчук П.Д.
Кафедра електроніки і енергетики, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича ,вул. Коцюбинського 2, Чернівці, Україна 58012,
e-mail:m.solovan@chnu.edu.ua

В останні роки невпинно зростає інтерес до тонкоплівкових пристроїв з новими принципами функціонування, компактних твердотільних газових сенсорів, ефективних фотоелектричних перетворювачів на основі гетероструктур з використанням прозорих провідних оксидів.

Оксид молібдену є матеріал, який протягом тривалого часу знходить практичне застосування в сонячних елементах, як тиловий омічний контакт до p-CdTe через свою високу роботу виходу електронів. Оксид молібдену є прозорим у видимій області спектру, а також відносно добре проводить електричний струм.

Відомо, що матеріали з великою роботою виходу електронів здатні утворювати омічний контакт з напівпровідниками p-типу провідності і повинні утворювати високоякісні випрямляючі гетеропереходи з напівпровідниками з n-типом провідності. Тому буде цікаво створити гетеропереходи MoO_x/n-$Cd_{1-x}Zn_xTe$ і дослідити їх електричні і фотоелектричні властивості.

Для виготовлення гетероструктур використовували підкладки $Cd_{1-x}Zn_xTe$, з малим вмістом Zn, вирощені методом Бріджмена. Вони мали мале значення питомого електричного опору $\rho \approx 10^2$ Ом·см.

Гетероструктури виготовлялися нанесенням тонких плівок MoO_x на попередньо поліровану поверхню пластин n-$Cd_{1-x}Zn_xTe$ (5 × 5 × 0,7 мм^3) в універсальній вакуумній установці Leybold - Heraeus L560, за допомогою реактивного магнетронного розпилення мішені чистого Mo, в атмосфері суміші аргону і кисню, при постійній напрузі.

Підкладки розміщувалися над магнетроном з наступним обертанням столика для забезпечення однорідності плівок по товщині. Перед початком процесу напилення вакуумна камера відкачувалася до залишкового тиску $5 \cdot 10^{-3}$Па.

Для напилення плівок MoO_x молібденова мішень (99.99) (шайба діаметром 100мм і товщиною 5мм) розміщувалась на столику магнетрона з водяним охолодженням на відстані 7см від підкладок.

Використовувалося короткочасне протравлювання бомбардуючими іонами аргону поверхні мішені та підкладки для видалення неконтрольованого забруднення.

Під час процесу напилення, парціальні тиски у вакуумній камері становили 0.34 Па для Ar і 0.024 Па для O_2. Потужність магнетрона - 120 Вт.

Процес напилення проходив протягом 10 хвилин, при температурі підкладки 250 °C.

Тонкі плівки MoO_x також були напилені на скляні та керамічні підкладки, для визначення електричних параметрів тонких плівок. Отримані плівки володіли n-типом провідності. Виміряні значення питомої електропровідності і концентрації носіїв становили σ = 10 $Ом^{-1}·см^{-1}$ і n=4.8·$10^{17}$$см^{-3}$, при 295K.

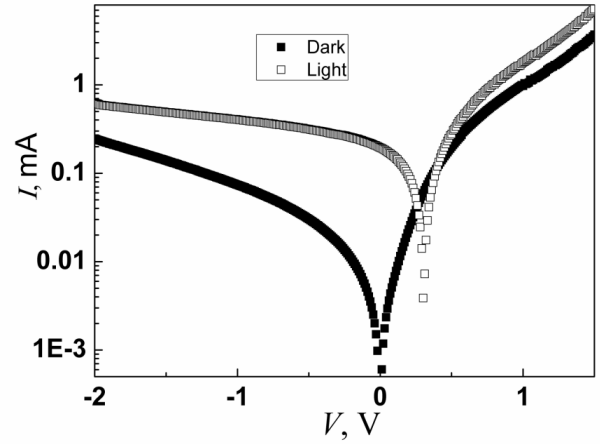


Рис. 1. ВАХ гетеропереходу MoO_x/n-$Cd_{1-x}Zn_xTe$ при інтенсивності освітлення 80 мВт/$см^2$.

Виміряно вольт-амперні характеристики гетероструктури при різних температурах та встановлено, що виготовлені гетеропереходи MoO_x/n-$Cd_{1-x}Zn_xTe$ показують, ярко виражені діодні властивості з високим значенням ≈ 10^2 коефіцієнта випрямлення струму. Досліджено температурну залежність висоти потенціального бар'єру та послідовного опору отриманих гетероструктур.

Виміряно та проаналізовано імпеданс гетероструктури MoO_x/n-$Cd_{1-x}Zn_xTe$, при різних частотах змінного збуджуючого сигналу та різних зворотніх зміщеннях та визначено концентрацію поверхневих станів $N_{ss} \approx 10^{12}$ $см^{-2}$ $еВ^{-1}$.

Встановлено, що гетероструктура MoO_x/n-$Cd_{1-x}Zn_xTe$ володіє такими фотоелектричними параметрами: напруга холостого ходу V_{oc} = 0.3 В, струм короткого замикання I_{sc} = 1.2 мА/$см^2$ і коефіцієнт заповнення FF = 0.33 при інтенсивності освітлення 80 мВт/$см^2$.

THE THEORETICAL DESCRIPTION OF POLYPYRROLE CATHODIC ELECTRODEPOSITION ON A CARBON MATERIAL, DOPED BY PERVANADYL ION

Volodymyr V. Tkach*[1,2], Nataliia M. Storoshchuk[1], Yana G. Icvanushko[1,3], Oleksandra V. Ahafonova[3],Sílvio C. De Oliveira[2], Olga V. Luganska[4], Petro I. Yagodynets´[1]

[1]Chernivtsi National University, 58012, Kotsyubyns´ky Str., 2, Chernivtsi, Ukraine
[2]Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Sen. Felinto. Müller, 1555, C/P. 549, 79074-460, Campo Grande, MS, Brazil
[3]Bukovinian State Medical University, 58001, Teatral´naSq, 9, Chernivtsi Ukraine
[4]ZaporizhzhyaNationalUniversity, 69095, Zhukovs´kyStr.. 66, Zaporizhzhya, Ukraine
E-mail: nightwatcher2401@gmail.com

Polypyrrole [1] is one of the most used conducting polymers during the 5 last decades. Due to the low cost of its monomer, low polymerization potential and flexible properties, it has vast and rich list of applications, beginning from the corrosion-protecting coatings and ending with sensors and biosensors. Its composites with carbon materials are also frequently used [2].

One of the problems of the use of polypyrrole is the strong dependence of its properties of the method of its synthesis and of the media, from which it is synthetized. For example, the acidophobicity of pyrrole monomer leads to the less developed polymer morphology due to the constant protonic attack of monomer rings during the direct anodic polymerization. So the seek for a more efficient deposition technique, yielding more developed surface is really actual.

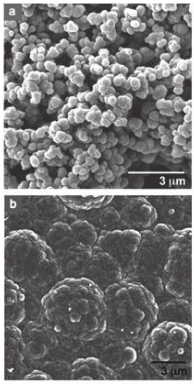


Fig. 1. The SEM of the polypyrrole, obtained cathodically (a) and anodically (b) from the solution of 0,1Py + 0,4 HNO_3 + 0,5 $NaNO_3$. Reproduced from [7] with the permission of Elsevier, The Netherlands

Cathodicpolypyrroleelectrodeposition, successfully realized in [3] has opened the way for the deposition of the well-developed polypyrrole surfaces, achieved by *in*

situ formation of oxidizing particles. The polymer morphology has been much more developed than in the case of anodic direct polymerization from the same medium (Fig. 1) Nevertheless, despite of the well-developed polymer morphology, this methodology may be sensitive to the reagent addition order, solution pH, and to the electrode potential, which puts the question of the alternative more efficient and less sensitive deposition techniques

An interesting technique for polypyrrolecathodicelectrodeposition in less acidic media may be realized as assisted by *in situ* formed vanadium dioxide, according to the equations (1 – 2).

$$VO_2^+ \text{ (matrix)} + e^- \rightarrow VO_2\text{(matrix)} \quad (1)$$

$$(2n\text{-}2)VO_2\text{(matrix)} + nPy\text{(solution)} \rightarrow (2n\text{-}2)\ VO(OH)\ \text{(matrix)} + (Py)_n\text{(layer)} \quad (2)$$

or

$$(n\text{-}1)/2\ VO_2\text{(matrix)} + nPy\ \text{(solution)} \rightarrow (n\text{-}1)/2\ \ V^{3+}\text{(matrix)} + (Py)_n\text{(layer)} + (n\text{-}1)/2\ H_2O \quad (2')$$

The morphology of the resulting polymer has to be different from those obtained by anodic direct electropolymerization in the same conditions. This polymer and its composite with vanadium compound and carbon material has the capability to be used in capacitators, lithium-ion batteries, sensors and biosensors.

In this work, the theoretical analysis of the possibility of polypyrrolecathodic deposition, assisted by the compounds of V(V). It is possible to show that the polymer electrodeposition is achieved by more efficient manner than during the anodic electropolymerization, during to the better steady-state stability and its electrosynthetical efficiency. The polymer morphology must be more developed, being similar to the “cabbage”, centered on the active sites of pervanadyl in the carbon matrix. The oscillatory behavior, typical for the direct anodic electropolymerization, may be realized, but it is less probable and caused by the only factor against two in the case of anodic electropolymerization.

REFERENCES

1. S. Sadki, P. Schottland, N. Brodie, G. Saboraud, Chem. Soc. Rev., 29(2000), 283
2. M.A. Sheikh-Mostani, S. Pirsa, Anal. Bioanal. Electrochem., 8(2016), 777
3. Y.Jung, N. Singh, K.-Sh. Choi, Angew. Chem. Int. Ed., 48(2009), 8331
4. I.Das, N. Goel, S. K. Gupta, N.R. Agrawal, J. Electroanal. Chem, 670(2012), 1

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС КАТОДНОГО СПІВОСАДЖЕННЯ ПОЛІ(3,4-ДИМЕТОКСИПІРОЛУ) З РЕНІЄМ НА ПОЛІМЕРНОМУ ЕЛЕКТРОДІ, МОДИФІКОВАНОМУ ПЕРРЕНАТОМ

Володимир В. Ткач[1,2], Марта В. Кушнір[1], Наталія М. Сторощук[1], Яна Г. Іванушко[1], Ольга В. Луганська[3], Сілвіо С. де Олівейра[2], Петро І. Ягодинець[1]

[1]Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Україна

[2]Федеральний університет штату Мату-Ґроссу-ду-Сул, Бразилія

[3]Запорізький національний університет, Україна

Провідні полімери – один із сучасних класів органічних матеріалів, що інтенсивно досліджуються протягом останніх півстоліття [1]. Факт того, що вони вдало поєднують собі гнучкість та корозійну стійкість пластмас із металічною провідністю, є запорукою їх широкого спектру використання – від протикорозійних плівок та стабілізаторів наночастинок у композитних матеріалах до каталітично активних поверхонь сенсорів та біосенсорів. В них провідні полімери можуть бути використаними як самі, так і в сполученні із металом.

Одним із таких металів може бути реній. Сам метал додається до різних сплавів, з метою підвищення їх корозійної та термічної стійкостей [2]. Ренійвмісні комплексні сполуки та сплави застосовуються в якості довгоживучих каталізаторів для крекінгу нафти, авіадвигунів та в паливних елементах. Однак, слід прийняти до уваги, що Реній вважається рідкісним елементом (причому донедавна він відносився до категорії розсіяних). Єдиним в світі родовищем ренієвих руд в вигляді мінералу ренії ту ReS_2є вулкан Кудрявий (Іодаке-яма) на острові Ітуруп, також відомому як Еторофу (один із окупованих Росією Південних Курильських островів). Таким чином, проблема рециркуляції ренію і його вилучення із різних середовищ для повторного застосування є дійсно актуальним.

Як перехідний метал, реній використовується для синтезу комплексних сполук та композитних матеріалів із каталітичними властивостями [9 – 11]. Одним із найвідоміших комплексів ренію є знаменитий йон $[Re_2Cl_8]^{2-}$, у якому атоми Ренію сполучені між собою четвірним зв'язком (Рис. 1):

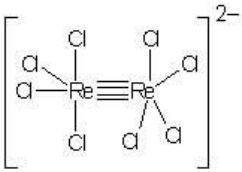


Рис. 1. Структура комплексу $[Re_2Cl_8]^{2-}$

Електросинтез каталітичних композитів реній-провідний полімер, зазвичай, реалізується у дві стадії із анодною електрополімеризацією мономеру та наступним катодним електроосадженням ренію із сполук Ренію (VII) (в формі, наприклад, амоній перренату) на сформований полімерний шар. Деякі мономери, потенціал полімеризації яких відносно низький, дозволяють, однак, і одностадійний синтез такого композиту з утворенням *insitu*в якості окисників сполук Ренію (IV), що ініціюють полімеризацію мономеру, відновлюючись до металу, так як у реакціях (1 – 2)

$$ReO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow ReO_2 + 2H_2O \qquad (1)$$

$$(n\text{-}1/2)ReO_2 + n\ C_4H_2(CH_3)_2NH \rightarrow (n\text{-}1/2)Re + (n\text{-}1)H_2O + (C_4H(CH_3)_2NH) - (C_4(CH_3)_2NH)_{n-2} - C_4H(CH_3)_2NH)) \quad (2)$$

РЕЗЮМЕ. У даній роботі було теоретично описано катодне співосадження ренію та полі(3,4-диметоксипіролу) з утворенням композитного матеріалу. На першому етапі з перренат-йону, інтеркальованого у полімерну матрицю, утворюється реній (IV) оксид, що окиснює 3,4-диметоксипірол до полімеру, відновлюючись до металу. Показано, що подібне співосадження відбудеться ефективніше, ніж двостадійний синтез з роздільним утворенням полімеру та металу. Через це утворений полімерний шар стає більш розвинутим із більшою активною каталітичною поверхнею. Осциляторна нестійкість в даній системі імовірна, будучи спричиненою тільки і виключно впливами на ємність подвійного електричного шару електрохімічної стадії синтезу ініціатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Angeli, L. Alessandri, Gazz. Chim. Ital., 279(1916), 46
2. E. Baghaban, A. Mehrabani-Zeinabad, A. Moheb, Hydrometallurgy, 149(2014), 97.

УДК 539.21; 541.182; 548.5; 620.18;681.586:

СТВОРЕННЯ ГЕТЕРОПЕРЕХОДУ n-$Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$/p-InSe. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ СТРУМОПЕРЕНОСУ

асп. Ткачук І.Г., Хом'як В.В., Ковалюк З.Д.
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,Чернівецьке відділення, Чернівці, 58001, Україна, E-mail: ivan.tkachuk.1993@gmail.com

В даний час проводиться інтенсивний пошук і дослідження різних перспективних матеріалів та структур на їх основі для застосування у високоефективних електронних приладах, сенсорах і сонячних елементах. Використання гетероструктур для виготовлення приладів напівпровідникової електроніки і фотовольтаїки розширює їх функціональні можливості та підвищує експлуатаційні характеристики. Поряд з тим виникає питання в їх створені, а саме екологічність даного роду пристроїв , простота у використанні, та дешевизна.

Селенід індію (InSe) належить до широкого класу шаруватих сполук A3B6. Характерною ознакою цих матеріалів є можливість отримання шляхом сколювання в атмосфері повітря підкладок з атомарно-дзеркальною поверхнею і малою кількістю обірваних зв'язків без використання додаткової механічної чи хімічної обробки поверхні.

Моноселенід індію був вирощений методом Бріджмента. Підкладки шаруватих кристалів розміром 5х2х0,5мм з дзеркальною поверхнею були отримані шляхом сколювання у атмосфері повітря без додаткової механічної обробки.

На рис. 1 показані температурні залежності ВАХ у звичайних лінійних координатах. Зі зменшенням температури прямі гілки ВАХ зсуваються в бік вищих напруг. Це свідчить, що з пониженням температури зростає величина потенціального бар'єру гетеропереходу n-$Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$/p-InSe. Також видно, що прямі гілки ВАХ зі зниженням температури віддаляються від осі струмів. Це вказує на те, що зменшення температури зразка приводить до збільшення послідовного опору гетеропереходу.

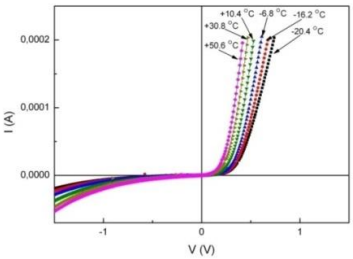


Рис. 1. Температурні залежності ВАХ ГП n-$Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$/p-InSe

Для з'ясування механізму протікання струму в досліджуваному гетеропереході були проведені вимірювання температурних залежностей ВАХ в діапазоні 250-325 К. В напівлогарифмічних координатах вони показані на рис. 2 Для цих координат прямі гілки ВАХ мають бути лінійні. Як видно з рис. 2 лінійною є лише середня частина віток.

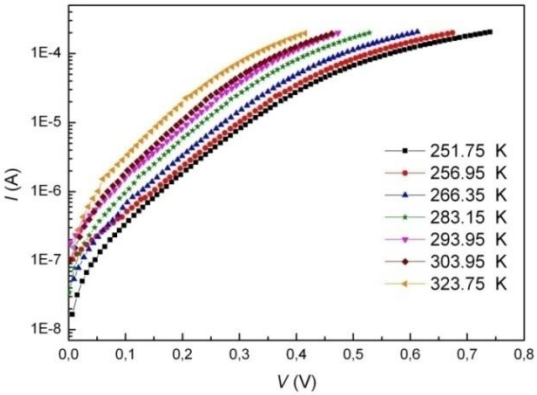


Рис. 2. Температурні залежності прямих гілок ВАХ гетеропереходу n-$Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$/p-InSe

Відхилення від лінійності спостерігаються при малих і великих струмах. При малих струмах процеси перенесення заряду не пов'язані з бар'єром гетеропереходу, а при великих – впливом на ВАХ послідовного опору . Зі зниженням температури всі гілки паралельно зсуваються. Для визначення нахилу ВАХ у представлених координатах була побудована пряма, що відображає найкраще співпадання з нею експериментальних точок. Значення діодного коефіцієнта ВАХ виявилось більше двох і становило для даного зразка ~2,5. Зазвичай, незалежність нахилу ВАХ від температури пов'язують з тунелюванням носіїв. Але, водночас, вона може бути пов'язана і з шунтуючими струмами. Оскільки при значній величині потенціального бар'єру тунелювання малоймовірно, то альтернативою тунелювання є шунтуючі струми. Ці струми можуть бути викликані каналами, утвореними при формуванні фронтальної оксидної плівки і про це свідчать АСМ-зображення поверхні плівок.

Секція 4
Теоретичні та прикладні питання математичної фізики

УДК 539.4, 539.375

ПРО ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КРИТЕРІЙ КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ

доц. Гануліч Б.К., студ. Круглік О.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

Ідеально крихке чи просто крихке руйнування відбувається без пластичної деформації. Після крихкого руйнування можна заново скласти тіло попередніх розмірів із уламків руйнування без порожнин між ними. Як приклад крихко руйнується скло при кімнатних і нижчих температурах. Квазікрихке руйнування передбачає наявність пластичної зони перед краєм тріщини, поширення якої ї є, власне, руйнування. Квазікрихко руйнуються усі метали і сплави.

При розтязі пластинки з еліптичним вирізом найбільші розтягуючі напруження $\sigma_{y\max}$ отримуються біля вершин еліпса

$$\sigma_{y\max} = \sigma_0 (1 + 2\frac{a}{b}), \tag{1}$$

$\grave{a}, \hat{a}$ – півосі еліпса .

Згідно формули (1) напруження біля вершин сплюснутого еліпса ($\frac{\grave{a}}{\hat{a}} \to \infty$) можуть стати як завгодно великими. Відношення $\sigma_{y\max} / \sigma_0$ називається коефіцієнтом концентрації напружень чи, просто, концентрацією напружень. Якщо ввести у формулу (1) величину ρ , що називається радіусом кривизни у вершині вирізу, то отримується

$$\sigma_{y\max} = \sigma_0 (1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}). \tag{2}$$

Виявляється, що у такому вигляді концентрація напружень має місце не тільки для еліптичних вирізів, але й для отворів будь-якої форми, на контурі яких є точки з малим радіусом кривизни.

Згідно формули (2) велика концентрація напружень спостерігається там, де різко змінюється геометрія конструкції, деталі і т.д., а також біля вершини подряпини на віконному склі. Звичайно ж, у реальному матеріалі напруження можуть зростати лише до певної величини. У зоні концентрації напружень відбуваються незворотні процеси, які знижують концентрацію напружень (наприклад, у металах такими незворотніми процесами є пластичні деформації).

Якщо відомі сили зчеплення, що зв’язують атоми у твердому кристалічному тілі, можна визначити міцність матеріалу точним розрахунком, тобто визначити так звану теоретичну міцність. Якщо виготовити відповідний

зразок із того ж матеріалу, то можна визначити значення міцності експериментально, тобто значення технічної міцності. Виявляється, що технічна (реальна) міцність у десятки і сотні разів менша від теоретичної. Багаточисельними експериментами показано, що така разюча невідповідність між теоретичною і реальною міцністю матеріалів пояснюється наявністю у реальних матеріалах різноманітних дефектів – концентраторів напружень, найнебезпечніші з яких – тріщини.

Напруження біля вершини тріщини (рис.2) визначаються відомими [1,2] формулами:

$$\sigma_x = \sigma\sqrt{\frac{l}{2r}}\cos\frac{\theta}{2}(1-\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2})$$

$$\sigma_y = \sigma\sqrt{\frac{l}{2r}}\cos\frac{\theta}{2}(1+\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}) \qquad (3)$$

$$\tau_{xy} = \sigma\sqrt{\frac{l}{2r}}\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}$$

$\sigma_z = 0$ – плоско напружений стан,

$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$ – плоско деформований стан.

Рівняння (3) можна переписати у вигляді

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta)\text{, де } K_I = \sigma\sqrt{\pi l} \qquad (4)$$

У лінійній механіці руйнування величину $\hat{E}_{2\tilde{N}}$ вважають константою і називають тріщиностійкістю матеріалу.

Із (4) слідує, що напруження біля вершини тріщини сингулярні (нескінченно великі). На практиці матеріали, зокрема метали, мають межу текучості, при напруженнях, більших від цієї межі, матеріали пластично деформуються. Таким чином, у металах в околі вершини тріщини завжди є область (зона), де виникають пластичні деформації. Пластичні деформації є визначальним фактором зменшення концентрації напружень. Процеси, що відбуваються у пластичних зонах, поряд з теоретичною, максимально можливою міцністю матеріалу, зумовлюють його тріщиностійкість. Отже, дослідження зон пластичних деформацій і поверхонь зломів є актуальним.

Список використаних джерел

1. Разрушение (ред. Г.Либовиц), т.1-7. - М: Мир, 1973-1977.

2. Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие в четырех томах (под. ред. В.В. Панасюка), т.1-4. - Киев: Наукова думка, 1988.

3. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Гос.изд-во физ.-мат. литературы, 1961. - 863с.

4. Уманский Я.С. Ренгенография металлов. - М.: Металлургиздат, 1960. - 448с.

5. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. - М.: Наука, 1985. - 502с.

УДК: 531.351

ВИВЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ДОЦЕНТРОВОЇ СИЛИ ВІД ПАРАМЕТРІВ ТІЛА ТА ЙОГО РУХУ

доц. **Головіна Н.А.**, студ. **Налепа А.О.**
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
nalepa2010@ukr.net

Метою роботи є вивчення залежності сили, що діє на тіло при рівномірному русі по колу. Параметрами виберемо: масу, швидкість тіла та радіус кола руху.

Рух матеріальної точки по коловій траєкторії – це окремий випадок криволінійного руху. Даний рух характеризується миттєвою швидкістю, яка напрямлена по дотичній до траєкторії руху і завжди перпендикулярна до радіуса кола руху. Рівномірний рух по колу здійснюється з прискоренням, яке є сталим, а вектор швидкості постійно змінює свій напрям. Оскільки лінійна швидкість змінюється за напрямом, то тіло, яке рухається по коловій траєкторії, набуває прискорення.

Прискорення матеріальної точки, що здійснює рівномірний рух по колу, у будь-якій точці траєкторії напрямлене до центра кола по його радіусу і перпендикулярне до вектора швидкості. Дане прискорення називається доцентровим. Згідно закону Ньютона, для підтримання сталого прискорення необхідна певна сила [1]. Прискорення, яке надане тілу внаслідок дії на нього сили, збігається за напрямком з нею і прямо пропорційне модулю сили й обернено пропорційне масі тіла:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (1)$$

Аналізуючи формулу (1), робимо висновок, що при збільшенні маси тіла і сталій силі – прискорення зменшується.

Для визначення залежності сили, що діє на тіло при рівномірному русі по колу, від вибраних параметрів використаємо простий пристрій, який показаний на рис. 1. Основні частини пристрою: скляна трубка довжиною близько 15 см та діаметром 9 мм; резиновий корок з двома отворами; нейлонова нитка довжиною 1,5 м; кілька шайб масою 6 г кожна; затискач; канцелярська скріпка.

На нитці підвішені шайби, їхню кількість можна змінювати. Шайби використовують для натягу нитки і для створення горизонтальної сили, яка буде утримувати корок при русі по колу. Дана сила і є доцентровою.

Доцентрова сила з’являється в результаті взаємодії рухомого тіла з іншими тілами. Отримала вона таку назву не тому, що має особливу природу, а лише через ту роль, яку виконує при русі тіла по колу. Доцентровою є сила, яка весь час перпендикулярна швидкості руху.

Розглянемо залежність сили, яка надає коркові доцентрового прискорення при обертанні його по колу, від швидкості, маси тіла і радіуса траєкторії.

Зафіксуємо сталий радіус руху корка за допомогою затискача. Для визначення швидкості тіла реєструємо час та кількість обертів. Під час рівномірного руху по колу період є сталою величиною. За цими даними визначаємо період T та частоту $\nu = \frac{1}{T}$ обертання корка.

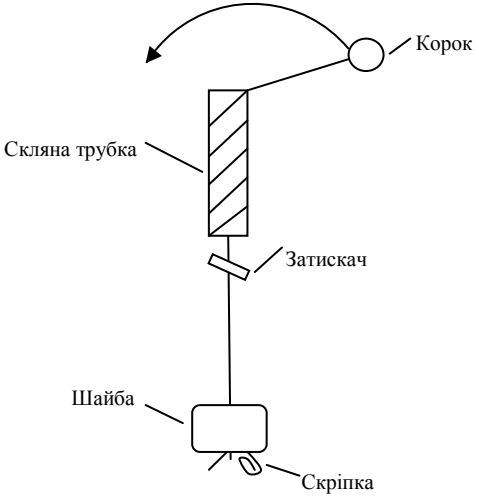


Рис. 1. Схема пристрою

За формулою (2) визначимо лінійну швидкість обертання корка:

$$\upsilon = \frac{2\pi R}{T} \qquad (2)$$

Під час експерименту можна помітити, що при коловому русі корка відрізок нитки між корком і скляною трубкою не зовсім горизонтальний. Маса корка відтягує його вниз.

Чим швидше рухається корок, тим сильніше треба тягнути нитку вниз. Якщо відпустити її, корок перестане рухатися по колу і витягне нитку за собою вверх крізь трубку.

Для дослідження залежності доцентрової сили від маси необхідно обертати не один корок, а два. На основі другого закону Ньютона, зміна маси в два рази, потребує подвоєння сили, що підтримує рух з тією ж швидкістю по тому самому радіусу.

При обертанні тіла по колу, доцентрова сила прямо пропорційна квадрату кутової швидкості тіла:

$$F = m_к \omega^2 R \quad (3),$$

де $\omega = 2\pi\nu$.

Доцентрову силу визначають за (4):

$$F = 4\pi^2 m_к \nu^2 R \quad (4),$$

де $m_к$ - маса корка, ν - частота обертання.

У результаті виконання експерименту приходимо до висновку, що доцентрова сила пропорційна масі корка, радіусу кола та квадрату частоти обертання.

Залежність сили від радіуса безпосередньо вияснити важко, так само як і крутити корок з однією і тією ж частотою кожен раз, коли змінюється радіус. Кращий спосіб отримати відношення між силою і радіусом полягає у багатократному повторенні експерименту, кожен раз використовуючи нове значення радіусу і одне й те саме значення доцентрової сили для кожного радіусу.

У даному експерименті користуємось довільними одиницями сили і маси: в якості одиниці для вимірювання доцентрової сили використовується сила тяжіння, що діє на металеву шайбу; одиницею маси служить маса резинового корка.

Розміри скляної трубки не критичні, але поверхня верхнього кінця, по якій ковзає нитка, має бути гладкою, що дозволить звести тертя до мінімуму.

Вибір нитки має значення, щоб тертя було малим. Краще всього підходить риболовна волосінь із міцного нейлону.

Розміри корка, радіус кола і розмір та мінімальне число шайб мають бути чітко підібрані, щоб отримати гарні результати. Великі відхилення від рекомендованих значень можуть призвести до того, що графік залежності сили від швидкості буде мати вигляд прямої лінії.

Щоб забезпечити обертання корка з постійною частотою, верх трубки має рухатись по колу малого радіусу. Це дає незначну складову сили в напрямку руху, яка необхідна для зрівноваження тертя.

Проте радіус кола не має перевищувати сантиметр чи два в діаметрі, в іншому випадку радіус кола, по якому рухається корок, не може бути точно виміряним по довжині нитки.

Радіус кола, який описує корок, має бути виміряним від середини корка, де лежить центр мас. Оскільки розміри корка малі по відношенню до радіусу кола, при вимірюванні від цієї точки отримаємо значення радіусу, дуже близьке до дійсного, правильного.

Отже, доцентрова сила залежить від маси, швидкості обертання та радіуса кола руху. Дані залежності дослідили експериментально за допомогою наведеного пристрою. Відмітимо, що доцентрову силу, що діє на тіло при рівномірному русі по колу, розглядаємо лише в інерціальних системах відліку.

Список використаних джерел

1. Соколович Ю.А. Фізика. Довідник з прикладами розв’язування задач/Ю.А.Соколович, Г.С.Богданова. -6-те вид.-Х.: «Ранок», 2013. - 464 с.

УДК 517.938

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ДИНАМІЧНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ОПИСУ РОСТУ ЗЛОЯКІСНОЇ ПУХЛИНИ

доц. Губаль Г.М., студ. Велесюк М.
Луцький національний технічний університет, 43018 Волинська обл., м. Луцьк, вул. Львівська, 75, niik-g@yandex.ru

Розглянемо реакцію імунної системи людини на сторонню тканину (у даному випадку – злоякісну пухлину).

Клітини злоякісної пухлини містять особливі речовини (антигени), які викликають різку імунну реакцію у більшості людей. Ця реакція полягає в тому, що виробляються клітини – лімфоцити, які атакують і знищують клітини злоякісної пухлини.

Будемо оперувати такими змінними (у всіх випадках маємо на увазі розмір названої популяції клітин):

1) L – вільні лімфоцити на поверхні злоякісної пухлини;

2) C – пухлинні клітини всередині пухлини і на її поверхні;

3) C_S – пухлинні клітини на поверхні злоякісної пухлини;

4) $\bar{C}$ – пухлинні клітини на поверхні злоякісної пухлини, не зв'язані лімфоцитами;

5) C_f – пухлинні клітини всередині злоякісної пухлини і на її поверхні, не зв'язані лімфоцитами.

Із цих визначень випливає, що

$$C = C_f - \bar{C} + C_S. \tag{1}$$

Припустимо, що кулеподібна форма злоякісної пухлини не змінюється:

$$C_S = K_1 C^{\frac{2}{3}}, \tag{2}$$

де K_1 – стала, і що взаємодія пухлинних клітин з лімфоцитами відбувається тільки на поверхні злоякісної пухлини. Не всі пухлинні клітини попадають під дію лімфоцитів, тому тільки в частині випадків, коли зустрічаються пухлинна клітина і вільний лімфоцит, відбувається зв'язування. Будемо вважати, що між кількістю вільних і зв'язаних лімфоцитами пухлинних клітин виконується співвідношення:

$$C_S - \bar{C} = K_2 \bar{C} L, \tag{3}$$

де K_2 – деяка стала. З формул (3), (2) і (1) випливає:

$$\bar{C} = \frac{K_1 C^{\frac{2}{3}}}{1 + K_2 L}. \qquad (4) \text{ і}$$

$$C_f = C - \frac{K_1 K_2 L C^{\frac{2}{3}}}{1 + K_2 L} \qquad (5)$$

З цих рівнянь випливає, що L і C можна взяти за основні змінні.

Припустимо, що величина $\frac{dL}{dt} / L$ для популяції лімфоцитів складається з двох доданків: I) сталої рівня смертності λ_1; II) рівня стимуляції $\alpha_1 \bar{C}\left(1 - \frac{L}{L_M}\right)$.

Вираз II) показує, що, коли L мале, стимуляція вільних лейкоцитів зростає лінійно з ростом $\bar{C}$, і існує максимальний розмір популяції L_M, при якому рівень стимуляції перетворюється на нуль. Таким чином, L задовольняє динамічне диференціальне рівняння:

$$\frac{dL}{dt} = -\lambda_1 L + \alpha_1 \bar{C} L \left(1 - \frac{L}{L_M}\right). \qquad (6)$$

Швидкість росту популяції злоякісних пухлинних клітин задамо динамічним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dC}{dt} = \lambda_2 C_f - \alpha_2 \bar{C} L. \qquad (7)$$

Перший елемент правої частини диференціального рівняння (7) описує ріст злоякісної пухлини, яка не атакується лімфоцитами, а другий елемент враховує взаємодію вільних лімфоцитів з пухлинними клітинами на поверхні злоякісної пухлини.

Враховуючи значення $\bar{C}$ і C_f з рівнянь (4) і (5), перепишемо динамічні диференціальні рівняння (6) і (7) у вигляді такої системи:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = -\lambda_1 x + \dfrac{\alpha_1 x y^{\frac{2}{3}} \left(1 - \frac{x}{c}\right)}{1 + x}, \\ \dfrac{dy}{dt} = \lambda_2 y - K_1^{\frac{3}{2}} \left(\lambda_2 + \dfrac{\alpha_2}{K_2}\right) \dfrac{x y^{\frac{2}{3}}}{1 + x}, \end{cases} \qquad (8)$$

де $x = K_2 L$, $c = K_2 L_M$, $y = K_1^{\frac{3}{2}} C$, а $\lambda_1, \lambda_2, \alpha_1, \alpha_2$ – додатні параметри. Оскільки x і y – розміри популяцій, вони повинні бути невід'ємними, а x не може перевищувати c, оскільки L обмежене зверху величиною L_M.

Таким чином, ми побудували систему динамічних диференціальних рівнянь (8), яка описує ріст злоякісної пухлини.

УДК 538

ІНДУКТИВНІ ДАВАЧІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЯК КЛЮЧОВИЙ ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Заблоцький В.Ю., Селепина Й.Р., Лишук В.В., Ткачук А.А.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, вул. Львівська,75,
et@lntu.edu.ua

Індуктивні давачі переміщення (ІДП) широко застосовуються під час створення різних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). Головна відмінність цих давачів від інших засобів лінійно-кутових вимірювань полягає в наявності основного індуктивного вимірювального перетворювача (ІВП), за допомогою якого вимірюване переміщення перетворюється в зміну повного електричного опору котушки індуктивності.

Якість роботи таких ІВС практично цілком залежить від характеристик давачів, за допомогою яких отримують первинну інформацію про значення контрольованих параметрів. Тому ключовою проблемою підвищення ефективності і якості всіх інформаційно-вимірювальних і управляючих систем є вдосконалення існуючих і створення нових давачів первинної інформації.

Широке застосування у вимірювальній техніці отримали електронні вимірювальні пристрої з індуктивними вимірювальними перетворювачами. На основі використання таких перетворювачів будуються давачі різноманітних неелектричних величин: лінійних розмірів та їх похідних (лінійних і кутових розмірів, рівня рідини, поздовжніх деформацій, лінійної і кутової швидкості, механічних коливань); сил та їх похідних (сили, крутний момент, механічна робота, механічна потужність); мас і похідних величин (маса, витрата, щільність); гідростатичних та гідродинамічних величин (тиск, швидкість потоку).

Для вимірювання перерахованих величин індуктивний вимірювальний перетворювач забезпечується елементом, що перетворює вимірювану величину в переміщення якоря індуктивного перетворювача. Перевагою індуктивних давачів є простота конструкції, можливість отримання високих метрологічних характеристик і простота побудови подальших перетворювальних елементів.

Досвід експлуатації індукційних давачів свідчить про те, що вони надійні, легкі в монтажі, не вимагають при виготовленні дорогих матеріалів, мають просту конструкцію, малі габарити і масу. Завдяки цим перевагам індуктивні вимірювальні пристрої успішно застосовуються в різних областях техніки.

Відомі методики розрахунку індукційних давачів переміщення (ІДП) засновані на емпіричних співвідношеннях і графічних побудовах, що звужує область зміни параметрів, ускладнює автоматизацію розрахунків, знижує їх ефективність і затягує терміни проектування. Тому досить актуальним завданням є розробка адекватних математичних моделей ІДП, придатних для автоматизованого розрахунку і проектування давачів.

Аналіз метрологічних характеристик сучасних індуктивних приладів переконливо показує, що ще не досягнуті потенційні можливості ІДП і це, особливо, стосується саме первинних індуктивних перетворювачів. Зокрема, розрахунковий поріг чутливості для індуктивних приладів складає 0,01-0,001 мкм, а відносна похибка може бути зменшена до 10%. Ці величини не досягнуті в сучасних приладах і їх реалізація вимагає проведення суттєвих досліджень [1].

Особливістю індуктивних вимірювальних пристроїв (ІВП) є використання в них індуктивних давачів переміщення (ІДП) [2]. Такі давачі мають просту конструкцію, малі інерційність, габарити і масу, велику вихідну потужність, мале вимірювальне зусилля і досить малу чутливість до змін умов експлуатації. Вони відповідають вимогам високої надійності і не вимагають спеціального обслуговування, відносно дешеві і технологічні у виготовленні.

Індуктивні давачі переміщення складаються з індуктивного перетворювача і схеми включення (СВ). Взаємне переміщення рухомих частин давача призводить до зміни магнітного опору, що призводить до зміни індуктивності і повного електричного опору котушки, яка включена в СВ, викликаючи неузгодженість моста, з вимірювальної діагоналі якого знімається сигнал вимірюваної фізичної величини. Найчастіше ІДП мають в своєму складі попередній перетворювач і передавальні-розмножувальний механізм. Це дозволяє будь-яку фізичну величину перетворити в лінійне переміщення, що дає можливість використовувати ІДП для побудови ІВС різного значення.

В якості первинних індуктивних вимірювальних перетворювачів переміщення частіше використовуються диференціальні перетворювачі зі змінною величиною і площею повітряного зазору і перетворювачі соленоїдного типу.

Незважаючи на відносно просту конструкцію розглянутих індуктивних перетворювачівпроцеси, що відбуваються в них вимагають для свого опису складного математичного апарату теорії нестаціонарних електромагнітних полів, а їх розрахунок пов'язаний з необхідністю виконання великого обсягу громіздких обчислень. З одного боку, це пояснюється відсутністю замкнутих аналітичних виразів, що безпосередньо пов'язують вихідні характеристики ІДП з їх фізичними параметрами, з іншого певними традиціями, що склалися в області розрахунку і проектування електромагнітних пристроїв, де часто панує емпіричний підхід.

Застосовувані в даний час методики розрахунку індуктивних перетворювачів базуються в основному на теорії магнітних кіл з малими немагнітними зазорами і в більшості випадків зводяться до перевірочного розрахунку перетворювача за відомими розмірами магнітопроводу. Основними є дві наступніхарактеристики [3]:

- магнітний потік в магнітопроводі;
- індуктивність котушки перетворювача.

При практичних розрахунках весь магнітопровід розбивають на ділянки зі стаціонарними характеристиками і нехтують реактивною складовою магнітного

опору.

Загальну магнітну провідність повітряних зазорів визначають окремо розбиваючи повітряну частину магнітопроводу на елементарні ділянки.

Відповідно до методу Г. Ротерса, такі об’єми утворюють можливі шляхи розсіяння магнітного потоку між полюсами повітряних зазорів. Повну провідність повітряного зазору знаходять сумуванням провідностей елементарних об’ємів.

В результаті всіх цих розрахунків будують графік статичної характеристики перетворювача, за допомогою якого оцінюють чутливість перетворювача і похибку від нелінійності його статичної характеристики.

Очевидним недоліком описаної методики розрахунку є необхідність побудовиграфіків функцій. Це породжує відсутність замкнутих аналітичних виразів, що безпосередньо пов'язують метрологічні характеристики індуктивних перетворювачів з його фізичними параметрами. Тому, важливим фактором є отримання розрахункових співвідношень у формі, що дає змогу зробити прозорим зв'язок між показниками статичної точності розглянутих ІДП з їх фізичними параметрами.

Таким чином, під час розрахунку індуктивних перетворювачів необхідно знати індукцію магнітного поля в магнітопроводі перетворювача або магнітну проникність його матеріалу згідно заданого електричного режиму роботи давача. Якщо магнітопровід має немагнітні зазори або виконаний у вигляді незамкнутого осердя, то в процесі намагнічування в ньому створюється розмагнічуюче поле, напрямок якого протилежно зовнішньому полю. В результаті відносна магнітна проникність магнітопроводубуде відрізнятись від відносної магнітної проникності його матеріалу.

Список використаних джерел

1.Федотов А.В. Основы теории индуктивных измерительных преобразователей. - Омск, 1999 - 149 с.

2.Щепетов А.Г. Теория, расчет и проектирование измерительных устройств. Часть 2. Расчет измерительных устройств. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007 - 344 с.

3.Федотов А.В., Расчет и проектирование индуктивных измерительных устройств. - М.: Машиностроение, 1979 - 146 с.

УДК 537.94; 548.0.535

ВЗАЄМОДІЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ З НЕСПІВМІРНОЮ НАДСТРУКТУРОЮ

інж. Карпа І.В., проф. Свелеба С.А., доц. Катеринчук І.М., заст. нач. НДЧ Куньо І.М.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. ген. Тарнавського, 107, 79017 Львів, Україна
incomlviv@gmail.com

Дослідження впливу поверхні на фізичні властивості кристалів привертає значну увагу експериментаторів. Особливий інтерес становлять процеси на поверхні, що супроводжують такі фундаментальні явища в об'ємі кристала, як фазові переходи.

Оскільки період модульованої надструктури в неспівмірній (НС) фазі є порядку 100 елементарних комірок, тобто 1500–800 Å, то в кристалах з НС надструктурою за умови зменшення лінійних розмірів треба очікувати розмірні ефекти, пов'язані як з співмірністю розміру кристала до періоду надструктури та і розмірам елементарної комірки (15–9 Å). В першому набли-женні можна припустити, що товщина поверхневого дефектного шару рівна довжині хвилі неспівмірності. В залежності від сили взаємодії між солі-тонами, спотворення хвилі НС модуляції під впливом поверхневої енергії, буде екстраполюватись на відповідну глибину об'ємної частини кристала.

Для опису впливу спотворення хвилі неспівмірності на НС надструктуру розглянемо функціонал вільної енергії для модульованих структур, який описується двохкомпонетним параметром порядку

$$\Phi = \int dz \left\{ -r\left(\eta_1^2+\eta_2^2\right) + u_1\left(\eta_1^2+\eta_2^2\right)^2 + u_2\left(\eta_1^2\eta_2^2\right) \right\} +$$
$$+ \int dz \left\{ \sigma\left(\eta_2 \frac{\partial \eta_1}{\partial z} - \eta_1 \frac{\partial \eta_2}{\partial z}\right) + \gamma\left[\left(\frac{\partial \eta_1}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_2}{\partial z}\right)^2\right] + \beta\left[\left(\frac{\partial^2 \eta_1}{\partial z^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \eta_2}{\partial z^2}\right)^2\right]\right\}$$

який в полярних координат $\eta_1 = \eta cos\varphi$, $\eta_2 = \eta sin\varphi$ має вигляд:

$$\Phi = \int dz \left(-r\eta^2 + u\eta^4 + \omega\eta^4\left(1+\cos n\varphi\right) - \sigma\eta^2 \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{\gamma}{4}\left[\left(\frac{\partial \eta}{\partial z}\right)^2 + \eta^2\left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2\right]\right) + \tag{1}$$
$$+ \int dz \left[\beta\left[\left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} - \eta\left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2\right)^2 + \left(2\frac{\partial \eta}{\partial z}\frac{\partial \varphi}{\partial z} + \eta\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right)^2\right]\right]$$

Введемо безрозмірні змінні $\eta = \left(r/(2u)\right)^{1/2} R$, $z = \left(\gamma/r\right)^{1/2}\xi$, тоді функціонал (1) із врахуванням поверхневої енергії прийме вигляд:

$$\Phi = \int d\xi \frac{r^2}{2u}\left(-R^2 + \frac{R^4}{2} + \frac{\omega r^{\frac{n}{2}-2}}{(2u)^{\frac{n}{2}-1}} R^n\left(1+\cos n\varphi\right) - \frac{\sigma}{r^{\frac{1}{2}}\gamma^{\frac{1}{2}}} R^2\varphi' + \left(R'\right)^2 + R^2\left(\varphi'\right)^2 \right) +$$

$$+\int d\xi \frac{r^2}{2u}\left\{\frac{\beta r}{\gamma}\left[\left(R'' - R\varphi'^2\right)^2 + \left(2R'\varphi' + R\varphi''\right)^2\right]\right\} - \frac{\alpha r}{4u}R^2 \qquad (2)$$

Варіація функціоналу вільної енергії (2) дає безрозмірні рівняння для фазової функції, разом з граничними умовами за умови $R''' = 0 : R'' = 0 : \varphi''' = 0 : (\varphi')^3 = 0$:

$$\varphi''\left(1 - 10\left(\frac{R'}{R}\right)^2 + 6(\varphi')^2\right) + \frac{R'}{R}(2\varphi' - T) + KR^{n-2}\sin(n\varphi) = 0 \qquad (3)$$

$$\left[\frac{\partial\psi(\varphi)}{\partial\varphi} + \frac{\partial F}{\partial\varphi'} + \frac{\partial}{\partial\xi}\left(\frac{\partial F}{\partial\varphi''}\right)\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad \left[\frac{\partial F}{\partial\varphi''}\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad (4)$$

для амплітудної функції при умові $R'' \neq 0$

$$R''\left(1 + \frac{5\beta r}{\gamma}(\varphi')^2 - \frac{\beta r}{\gamma}\varphi''\right) - R^3 + (1 + T\varphi' - (\varphi')^2)R - KR^{n-1}(1 + \cos(n\varphi)) = 0 \qquad (5)$$

$$\left[\frac{\partial\psi(R)}{\partial R} + \frac{\partial F}{\partial R'} + \frac{\partial}{\partial\xi}\left(\frac{\partial F}{\partial R''}\right)\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad \left[\frac{\partial F}{\partial R''}\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad (6)$$

де $T = \sigma/(\gamma r)^{\frac{1}{2}}$, $K = 2^{-\frac{n}{2}} r^{\frac{n}{2}-2} n\omega u^{1-\frac{n}{2}}$ — безрозмірні параметри, u – характеризує величину ізотропних взаємодій, а ω – величину анізотропних, n – ціле число, що характеризує симетрію потенціалу. $F(R(\xi), R')$ – підінтегральний вираз функціонала (2), причому $R' = \frac{\partial R}{\partial\xi}, R'' = \frac{\partial^2 R}{\partial\xi^2}, \psi(R(\frac{L}{2}))$ – задана функція значень параметра порядку на границі $\xi = \frac{L}{2}$.

Якщо врахувати вирази (4) і (6), а також прийняти до уваги форму функціонала (2), то граничні умови при $\xi \geq 0$ приймуть вигляд:

$$\left[2\varphi' - T - \frac{12\beta r}{\gamma}\left(\frac{R'}{R}\right)^2\varphi' + \frac{12\beta r}{\gamma}\left(\frac{R'}{R}\right)\varphi''\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad \left[\varphi'' + 2\frac{R'}{R}\varphi'\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad (7)$$

$$\left[-\frac{\alpha R}{r} + \left(2 + \frac{6\beta r}{\gamma}(\varphi')^2\right)R'\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad \left[R'' - R(\varphi')^2\right]_{\frac{L}{2}} = 0 \qquad (8)$$

Як і в теорії Гінзбурга-Ландау, параметр δ назвемо довжиною екстраполяції. Він описує вплив поверхні на розподіл параметра порядку по товщині тонкошарового кристалу.

$$\frac{d\ln R}{d\xi} = \pm\frac{1}{\delta}, \qquad (9)$$

Якщо товщина тонкошарового кристала в напрямку вісі НС модуляції велика в порівнянні з періодом просторових осциляцій параметра порядку в НС фазі ($qL >> 1$, де q – хвильове число осциляції), то у цьому випадку можна

застосувати метод мало-змінних амплітуд, шукаючи розв'язок у наступній формі:

$$R(\xi) = U(\xi)\cos(q\xi), \tag{10}$$

де $U(\xi)$ – амплітуда яка мало змінюється. У цьому випадку припускається, що граничні умови в достатньо товстому тонкошаровому кристалі не змінюють періоду осциляцій. Рівняння (5) для амплітуди має бути доповнене граничними умовами, які можуть бути введені з (6) за допомогою методу мало-змінних амплітуд. Для цього підставимо (10) в ці умови, і нехтуючи усіма похідними вище першого порядку від $U(\xi)$, отримаємо наступну систему рівнянь:

$$-\left(\frac{\alpha}{r}\right)U\cos\left(\frac{qL}{2}\right)+\left(2+\frac{6\beta r}{\gamma}q^2\right)U'\cos\left(\frac{qL}{2}\right)-\left(2+\frac{6\beta r}{\gamma}q^2\right)qU\sin\left(\frac{qL}{2}\right)=0 \tag{11}$$

$$q^2\cos\left(\frac{qL}{2}\right)=-2q\left(\frac{U'}{U}\right)\sin\left(\frac{qL}{2}\right) \tag{12}$$

Виключаючи синус і косинус з рівняння (11), (12) та враховуючи (9), отримуємо квадратне рівняння для логарифмічної похідної (9)

$$\left(2+\frac{6\beta r}{\gamma}q^2\right)q^2\delta^2-\frac{\alpha}{r}\delta+2+\frac{6\beta r}{\gamma}q^2=0 \tag{13}$$

Його розв'язок має вигляд

$$\delta_R=\frac{\frac{\alpha}{r}\mp\sqrt{\left(\frac{\alpha}{r}\right)^2-4\left(2+\frac{6\beta r}{\gamma}q^2\right)^2q^2}}{2\left(2+\frac{6\beta r}{\gamma}q^2\right)q^2} \tag{14}$$

Співвідношення (9) відіграє роль граничної умови для амплітудного рівняння. Достовірність δ_R вимагає виконання нерівності $\left(\frac{\alpha}{r}\right) \geq 2\left(2+\frac{6\beta r}{\gamma}q^2\right)q$. З умови рівності останньої нерівності випливає, що

$$\delta_R=\frac{1}{q} \tag{15}$$

Отже параметр екстраполяції є обернено пропорційний хвильовому числу.

Згідно виразу (15) розмірні ефекти обумовлені рівністю поверхневої енергії та енергії НС надструктури. Зі зменшенням значення хвильового числа q розмірні ефекти будуть проявлятись при більших лінійних розмірах кристала.

В роботі здійснено побудову фазових портретів нелінійних динамічних систем, в програмному середовищі Python з використання бібліотеки scipy. В даній бібліотеці *клас* scipy.integrate.ode(*f*, *jac=None*) є загальним класом інтерфейсу до числових інтеграторів. Даний клас вирішує систему рівнянь (($y'(t) = f(t, y)$) з $jac = df/dy$. З допомогою методу set_integrator вибирався інтегратор "vode". В методі "set_integrator" класу "ode" інтегратор приймає наступні параметри:

- atol: плаваюча або визначена точність (atol = 1e-12)

• rtol: відносний допустимий параметр (rtol = 0);

• метод: "adams" або "bdf". В розрахунку використовувався розв'язувач, як "Adams" (для не жорстких систем) так і "BDF" (для жорстких систем);

• with_jacobian: bool Цей параметр вводився, коли не розглядалась функція якобіана і не вказувалося, що якобіан згруповано.

Виходячи із міркувань наведених вище відносно поверхневої енергії, її вклад у вільну енергію тонкошарового кристала супроводжується змен-шенням кількості біфуркацій НС надструктури. Зменшення кількості біфур-тацій системи засвідчує про перехід системи до стаціонарного стану. Отже поверхнева енергія знімає виродження даної системи, тим самим переводить її в однорідний стан.

Постає питання чи можна вплив поверхневої енергії на НС надструктуру замінити впливом напруженості напруженості електричного поля на величину просторово модульованої спонтанної поляризації. В цьому випадку розв’язок функціонала вільної енергії можна подати в наступному вигляді [1]. У випадку впливу електричного поля прикладеного до кристалу в напрямку існування просторово модульованої величини спонтанної поляризації, зростом величини напруженості електричного поля система переходить у метастабільний стан. Даний стан характеризується постійним значенням величини хвильового вектора надструктури, та не нульовим середнім значенням величини просторово-промодульованої спонтанної поляризації. Збільшення величини поля супроводжується зменшенням кількості існуючих метастабільних станів, та в кінцевому етапі до стану, що описується існуванням одного метастабільного стану. Отже на відміну від впливу поверхневої енергії, дія електричного поля не приводить до зняття виродження досліджуваної системи. Тому поверхнева енергія має інший механізм впливу на неоднорідний стан кристала аніж електричне поле.

Отже можна припустити, що в поверхневому шарі внаслідок того, що поверхнева енергія є більшою за енергію НС надструктури, остання є відсутня. Об’ємна частина кристала характеризується більшою енергією НС надструктури по відношенні до поверхневої енергії. За умови зменшення об’ємної частини кристала енергія НС надструктури зменшується. Коли енергія НС надструктури стає рівною поверхневій енергії в тонкошаровому кристалі спостерігається перехід із неоднорідного стану в однорідний.

Список використаних джерел

1. *Карпа І.* Вплив механічних та електричних напружень на неспівмірну надструктуру мікрокристалів / І.В. Карпа, С.А. Свелеба, І.М. Катеринчук, І.М. Куньо, Я.А Шмигельський //Збірник тез конференції молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкарьовські читання – 2013» з міжнародною участю. – 2-4 квітня 2013. – Київ, Україна. – С. 71-73.

УДК 534.621

ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ СИСТЕМИ БЕЗ ОПОРУ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ МАСИ

доц. Крадінова Т.А., проф. Матвіїв Ю.Я.
Луцький національний технічний університет,
м. Луцьк, вул. Львівська 75, 43018, Україна, rimta@ukr.net

Більшість процесів, що відбуваються в природі і техніці, є коливальними. Ми спостерігаємо зміну температури повітря, освітленості протягом доби, коливання атомів або молекул в твердому тілі. Коливальними процесами супроводжуються розповсюдження електромагнітних хвиль, акустичні явища, ритми головного мозку.Для опису різних видів коливань використовують диференціальні рівняння.

Розглянемо випадок, коли система з одним ступенем вільності здійснює коливальний рух на гладкій горизонтальній поверхні. Оскільки надалі досліджуються подібні механічні коливання, то для зручності інерційний коефіцієнт називатимемо масою. Розглянемо випадок, коли склад частинок, що її створюють може з часом змінюватися. При цьому вважатимемо, що приєднання або від'єднання частинок відбувається безударно з нульовою відносною швидкістю в напрямі перпендикулярному швидкості руху системи. Тоді реактивна сила буде рівна нулю. А початкове диференціальне рівняння за відсутності сил тертя приймає вигляд

$$m(t)\frac{d^2x}{dt^2}+c(t)x=0\cdot \qquad (1)$$

Таке неповне рівняння можна проінтегрувати, якщо його представити в двох формах: із змінною $m(t)$ або із змінною $c(t)$. Розглянемо к*оливання із змінною масою.* Вихідне рівняння, що допускає інтегрування, приймає форму

$$\frac{C_0}{\left[f'(t)\right]^2}\frac{d^2x}{dt^2}+C_2x=0\cdot$$

Тут ми маємо систему з сталою жорсткістю. Розглянемо випадок коли маса буде збільшуватися.

При дослідженні останнього рівняння було встановлено[2], що воно інтегрується, якщо визначальна функція

$$f(t)=-p\ln(1+kt)$$

де $p=C_0/C_1$.

В зв'язку з цим, для більш повного дослідження поведінки такої системи приймаємо

$$m(t)=m_0(1+kt)^2 \text{ і } c(t)=c,$$

де m_0 – початкова маса, а k – коефіцієнт, що характеризує швидкість її зміни.

Тоді загальний розв'язок рівняння (1) матиме вигляд

$$x = a(1+kt)^{\frac{1}{2}} \sin\left[h\ln(1+kt)+\gamma\right]$$

де a і γ – сталі величини, які знаходяться з початкових умов: при $t=0$ $x=x_{0,}$ $\dot{x}=\dot{x}_0$.

Рівняння (8.9) описує незгасаючі коливання, причому змінними є не тільки величини розмахів, але і періоди коливань. На рис. 1 зображений графік таких коливань для наступних даних: $m_0 = 1$ кг; $k = 0{,}1$ с$^{-1}$; $c = 6{,}25$ Н/м; $x_0 = 0{,}2$ м; $\dot{x}_0 = 0{,}6$ м/с. Як видно з цього рисунка, збільшення маси системи за відсутності опору приводить до зростання як амплітуд, так і періодів вільних коливань.

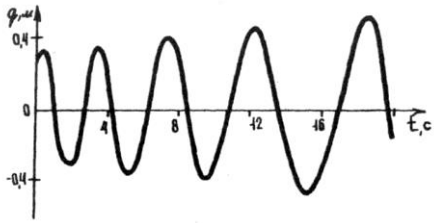


Рис. 1

Розглядаючи подальші розмахи можна знайти залежність між двома сусідніми півперіодами у вигляді $\tau_n^0 = \tau_{n-1}^0 e^{\pi/h}$.

Таким чином, із збільшенням величини $m(t)$ півперіоди вільних коливань зростають за законом геометричної прогресії, знаменник якої рівний $e^{\pi/h}$. Тоді для будь-якого розмаху коливань їх величина визначається по формулі $\tau_n^0 = \tau_1^0 e^{\pi(n-1)/h}$.

Список використаних джерел

1. О. Кислий, Б. Дудчак, О. Гуда. Нестаціонарні коливання системи змінної маси або жорсткості // Машинознавство. – 2003. – №8 (74). – С. 15-19.

2. О. Кислий, Б. Дутчак, Т. Римарук. Види вихідних рівнянь параметричних коливань, які інтегруються в квадратурах// Машинознавство.-2005.-№7.-С.15-19.

3. Т. Крадінова. Умови інтегрування диференціальних рівнянь 3-го порядку зі змінними коефіцієнтами// Міжвузівський збірник "Наукові нотатки" (за напрямом "Інженерна механіка"). – Випуск № 47. –Луцьк, 2014. – С. 68–72.

УДК 517.926

ВИПАДКИ ІНТЕГРОВНОСТІ НЕПОВНИХ ЛІНІЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ ЗІ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ

доц. Крадінова Т.А., О. Барбадин студ.
Луцький національний технічний університет,
м. Луцьк, вул. Львівська 75, 43018, Україна, rimta@ukr.net

Загальний вид лінійного диференціального рівняння другого порядку зі змінними коефіцієнтами можна представити у формі

$$a_0(t)\frac{d^2q}{dt^2}+a_1(t)\frac{dq}{dt}+a_2(t)q=0. \qquad (1)$$

Введемо заміну незалежної змінної

$$z=f(t),$$

де $f(t)$ - довільна неперервна функція, яка визначена на $t\in[0;+\infty)$, двічі диференційована, і така, що $f'(x)\neq 0$ на цьому проміжку. Будемо називати цю функцію визначальною.

В роботі [1] показано, що досить широкий клас таких вихідних рівнянь за допомогою вказаної підстановки можна звести до лінійних рівнянь з постійними коефіцієнтами

$$C_0\frac{d^2q}{dz^2}+C_1\frac{dq}{dz}+C_2q=0. \qquad (2)$$

Це стає можливим лише коли змінні коефіцієнти набувають певного вигляду [2]. Тоді повне лінійне диференціальне рівняння другого порядку (1), яке допускає інтегрування в квадратурах, записується у формі:

$$\frac{C_0}{[f'(t)]^2}\frac{d^2q}{dt^2}+\left\{\frac{C_1}{f'(t)}-\frac{C_0 f''(t)}{[f'(t)]^3}\right\}\frac{dq}{dt}+C_2q=0.$$

Підставляючи в це рівняння множину визначальних функцій $f(t)$, які задовольняють вказаним вище умовам, ми отримаємо і відповідну кількість вихідних інтегрованих рівнянь зі змінними коефіцієнтами.

Розглянемо неповне диференціальне рівняння зі змінними коефіцієнтами. Зокрема, випадок $a_1(t)=0$.

Тоді рівність (1) приймає форму

$$a_0(t)\frac{d^2q}{dt^2}+a_2(t)q=0. \qquad (3)$$

Знайшовши спочатку визначальну функцію $f(t)$, виразимо коефіцієнти $a_0(t)$ та $a_2(t)$, при яких дане рівняння інтегруватиметься в квадратурах. Таким чином, вихідне неповне рівняння другого порядку зі змінними коефіцієнтами (3), що дозволяє інтегрування в квадратурах, набуде вигляду

$$C_1\left(\frac{C_1}{C_0}\right)\frac{(1+kt)^2}{k^2}\frac{d^2q}{dt^2}+C_2q=0\,. \qquad (4)$$

Його також можна записати і в іншій формі

$$C_0\frac{d^2q}{dt^2}+\left(\frac{C_0}{C_1}\right)^2\frac{C_2k^2}{(1+kt)^2}q=0\,. \qquad (5)$$

Нагадаємо, що у випадку повних інтегрованих вихідних рівнянь їх кількість відповідає всій множині визначальної функції $f(t)$, що задовольняє трьом вищезгаданим умовам. Однак, для інтегрування неповного рівняння (3), в зв'язку з додатковою умовою ($a_1(t)=0$), використовується тільки одна визначальна функція $f(t)=-\frac{C_0}{C_1}\ln(1+kt)$.

Розв'язки рівнянь (4) та (5) із врахуванням $f(t)$ мають вигляд:

1) У випадку комплексних коренів характеристичного рівняння

$$q=a(1+kt)^{-\alpha\frac{C_0}{C_1}}\sin\left[\frac{C_0}{C_1}\beta\ln(1+kt)+\gamma\right].$$

З механічної точки зору це є закон коливального руху нестаціонарної системи зі змінними амплітудами та періодами коливань.

2) У випадку дійсних коренів характеристичного рівняння

$$q=K_1(1+kt)^{-g_1\frac{C_0}{C_1}}+K_2(1+kt)^{-g_2\frac{C_0}{C_1}}\,.$$

Тобто ми маємо суму двох аперіодичних функцій.

Список використаних джерел

1. Кислий О.О., Дутчак Б.І. З приводу розв'язування деяких лінійних диференціальних рівнянь n-го порядку із змінними коефіцієнтами. Десята міжнародна конференція імені академіка М. Кравчука, 13-15 травня 2004 р. Київ, матеріали конференції, с.125.

2. О.Кислий, Б.Дутчак, Т.Римарук. Види вихідних рівнянь параметричних коливань, які інтегруються в квадратурах// Машинознавство.-2005.-№7.-С.15-19.

3. О. Кислий, Б. Дутчак, Т. Римарук. Інтегрування неповних лінійних диференціальних рівнянь другого порядку зі змінними коефіцієнтами//Наукові нотатки Луцького держ. техн. ун-ту. – 2006. С. 210–215.

УДК 539.375

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ АРМАТУРИ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

проф. Матвіїв Ю.Я., студ. Пирожук А.О.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, yura_matviyiv@ukr.net

Панельне житлове будівництво – один із способів збірного будівництва, заснований на використанні попередньо виготовлених великих залізобетонних панелей і плит заводського виробництва при зведенні великих житлових і адміністративних будівель було дуже популярним в нашій країні в 70-80 роках минулого століття.

Зводилося таке житло як тимчасове. Однак на даний час воно ще й досі перебуває в експлуатації. Перспективи поміняти його є далеко не у кожної сім'ї. Термін безпечної експлуатації таких споруд добігає кінці. А подекуди він і взагалі вже закінчився.

Тому на даний час вирішення питання визначення залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій має важливе наукове і практичне значення.

Залізобетонні конструкції – це композитні матеріали, які складаються з бетону, армованого залізними стрижнями. З ростом навантаження розтягу залізобетонного елементу спостерігається утворення і ріст тріщин в розтягнутій зоні бетону і тому напруження сприймаються тільки арматурою [1, 2]. Щоб запобігти утворенню тріщин або обмежити ширину їх розкриття у розтягнутій зоні бетону при виготовленні конструкції заздалегідь створюють значні стискаючі напруження шляхом натягу арматури. Під час роботи такої конструкції під навантаженням розтягальні напруження, що виникають, тільки погашають попереднє стиснення в бетоні. Тому утворення тут тріщин, або їх значне розкриття значно зменшується. Такі залізобетонні конструкції називають попередньо напруженими. Розрізняють два основних види залізобетонних конструкцій з попереднім напруженням: з натягом арматури до і після бетонування. У першому випадку арматуру попередньо розтягують і кінці її закріплюють на упорах ферми, потім укладають бетонну суміш. Після того, як бетонна суміш затверділа, кінці арматурних стрижнів звільняють від упорів. Другий спосіб передбачає виготовлення залізобетонних конструкцій з поздовжніми каналами, через які пропускають арматурні стрижні, потім їх розтягують і закріплюють на торцях конструкції. Канали заповнюють цементним розчином з метою захисту сталевої арматури від корозії.

Завдяки ефективному використанню високоміцної арматури в попередньо-напружених конструкціях, підвищеною їх жорсткістю і ряду інших переваг ці конструкції знайшли широке застосування в практиці будівництва.

Однак такі переваги попередньо-напружених залізобетонних конструкцій мають разом з тим і значні недоліки. В першу чергу це стосується перевантаження в них арматури, що за довготривалого статичного навантаження

може привести, особливо за наявності дефектів типу тріщин, до сповільненого руйнування і непередбачуваної аварії.

Розглянемо залізобетонну балку на двох опорах (рис. 1) з попередньо напруженою арматурою, яка навантажена довготривалими рівнорозподіленими нормальними зусиллями інтенсивності p. Вважатимемо, що в результаті неякісного виготовлення арматури, впливу зовнішнього середовища або довготривалого навантаження в поперечному січенні нижнього навантаженого розтягом арматурного стрижня (див. рис. 1) діаметром D утворилася система поверхневих сегментних тріщин початкової глибини c_0 (див. рис.2), які при заданому довготривалому навантаженні можуть поширюватися як тріщини низькотемпературної повзучості. Задача полягає у визначенні такого часу $t = t_*$, за який тріщини підростуть з розміру c_0 до критичного розміру $c = c_*$ і арматура зруйнується.

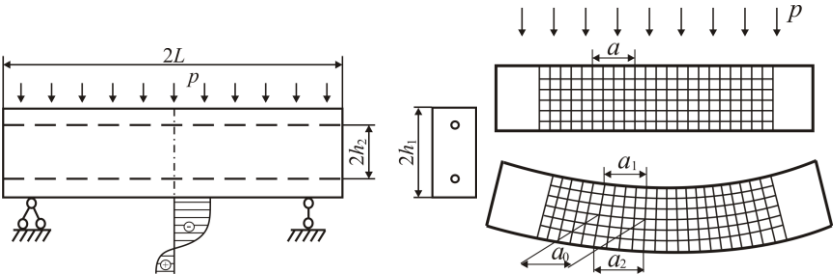


Рис. 1. – Схема навантаження залізобетонної балки з попередньо напруженою арматурою

Для простоти розв’язку задачі розглянемо систему двох сегментних тріщин і їх найгірше розміщення, тобто в одній площині, як показано на рис. 2.

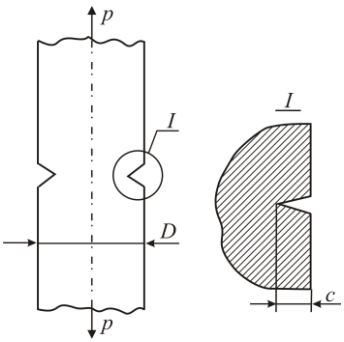


Рис. 2. – Схема розтягу циліндричного стрижня з двома сегментними тріщинами

В результаті цього, а також вважаючи, що тріщини будуть поширюватися симетрично, задача зведеться до наступної системи рівнянь

$$\frac{dc}{dt} = \frac{A_{2t}(K_I^{2m} - K_{thc}^{2m})}{K_{CC}^{2m}(1 - K_I^2 K_{CC}^{-2})} \tag{1}$$

за початкових і кінцевих умов

$$t = 0,\ c(0) = c_0;\ t = t_*,\ c(t_*) = c_*,\ K_I\ (p, c_*) = K_{CC}\ .$$

Тут $K_I(p,c)$ – найбільше значення коефіцієнта інтенсивності напружень біля контурів сегментних тріщин, яке буде посередині хорд сегментів [3] і для визначення якого необхідно знайти навантаження нижньої арматури в залізобетонній балці.

Для визначення навантаження нижньої арматури в залізобетонній балці (рис.1) проаналізуємо технологію виготовлення наперед напружених залізобетонних балок. Згідно [1], під час виготовлення залізобетонної балки арматуру натягають до початкового контрольованого напруження σ_{con} на опори форм, виконують бетонування, теплову обробку і витримують бетон в формі до набуття ним необхідної передавальної міцності R_{bp}. В цьому стані проходять перші втрати $\sigma_{los,1}$ попереднього натягу арматури (рис. 3).

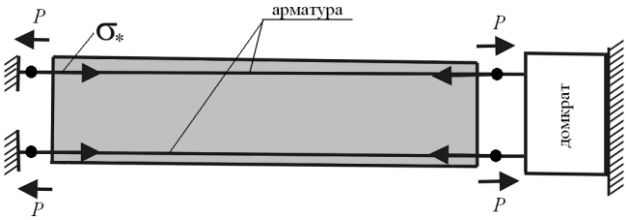


Рис. 3. – Схема натягання арматури в залізобетонній балці [3],

$$\sigma_* = \sigma_{con} - \sigma_{los,1}\ .$$

Далі при звільненні з опорів форм і відпуску натягу арматури, яка щеплена з бетоном, проходить обтиснення бетону, в якому розвиваються деформації швидкої повзучості і проходять втрати обтиску бетону, а також попереднього натягу арматури $\alpha\sigma_{bp}$, тобто в ній залишаються напруження розтягу

$$\sigma_a = \sigma_{con} - \sigma_{los,1} - \alpha\sigma_{bp}\ . \tag{2}$$

Тут σ_{bp} – напруження обтиску бетону; α – коефіцієнт зменшення напруження обтиску бетону при його повзучості.

Після того, як до балки прикладене рівномірно розподілене експлуатаційне навантаження інтенсивності p, розподіл напружень в балці буде

визначатися епюрою, зображеною на рис. 1. Додаткові напруження розтягу σ_p, які виникають при цьому в арматурі за рахунок експлуатаційного навантаження p будуть визначатися на основі результатів [4] так

$$\sigma_p = \frac{3ph_2L^2}{4h_1^3}. \qquad (3)$$

Тоді на основі співвідношень (2), (3) сумарне напруження σ_{ap} в арматурі буде визначатися наступним чином

$$\sigma_{ap} = \sigma_{con} - \sigma_{los,1} - \alpha\sigma_{bp} + 0,75ph_2h_1^{-3}L^2. \qquad (4)$$

Висновок: У статті зроблено постановку задачі для розрахунку залишкової довговічності залізобетонної плити з наперед напруженою арматурою і тріщинами за її довготривалого статичного згину. Запропонована математична модель показує, що наявність тріщин (навіть достатньо малих) в арматурі приводить до різкого зменшення ресурсу залізобетонної плити.

Список використаних джерел

1. Гнідець Б.Г. Залізобетонні конструкції з напружуваними стиками і регулюванням зусиль / Б.Г. Гнідець. – Львів: Вид. Нац. універ. «Львівська політехніка», 2008. – 548с.

2. Байков В. Н. Железобетонные конструкции / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1991. – 767с.

3. Панько І.М. Теоретичні основи інженерних методів для оцінки тріщиностійкості матеріалів і елементів конструкцій / І.М. Панько. – Львів : ФМІ НАНУ, 2000. – 280с.

4. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлєв, В.В. Матвеев. – К.: Наук. думка, 1988. – 734с.

УДК 628.5 :544.726

ДО ОПТИМІЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ КРИТЕРІЮ НУСЕЛЬТА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ІОНООБМІННИХ ФІЛЬТРІВ

доц. Онищук О.О., проф. Кормош Ж.О.
Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки,
oksanaduda2013@gmail.com

Вступ. Найбільш ефективним способом підготовки води по пом'якшенню на сьогоднішній день є метод іонного обміну.[1,2]. Для зменшення жорсткості води додають розчинені в ній солі кальцію і магнію. Суть методу іонного обміну полягає в тому, що певні хімічні реагенти, які називаються іонообмінним матеріалом, або просто іонітами, мають властивість регулювати іонну структуру води в потрібному напрямку. Це дозволяє замінити мінеральні солі жорсткості на інші хімічні структури, які не надають воді небажаних властивостей [3]. Щоб виконати підготовку води цим методом використовуються спеціальні установки-фільтри, що заповнюються іонітами, через які пропускається вода. При просочуванні крізь іонообмінний матеріал у жорсткій воді відбувається заміна більшої частини розчинених у ній іонів електролітів на таку ж кількість іонів іонітів, внаслідок чого відбувається зміна хімічної структури самої води, так і хімічного реагенту [2,3].На відміну від методу аерації, очищення води іонним обміном не тягне за собою випадання солей жорсткості у вигляді осаду, що не вимагає установки додаткових фільтрувальних пристроїв. Метод дозволяє очищати стічну воду до гранично допустимих концентрацій з подальшим її використанням у технологічних процесах або в системах оборотного водопостачання [3,4].

Постановка задачі. Тепловий або ж масовий критерій Нусельта визначає міру відношення масообміну шляхом масо передачі в граничному шарі на границі розчин-іоніт. Цей критерій є розрахунковим та залежить від інших, що його визначають. На сьогодні існує досить велика кількість розрахунків даного критерію[1]. Розглянемо оптимізований розрахунок даного критерію при моделюванні іонно-обмінних фільтрів та з його допомогою визначимо коефіцієнт масопередачі.

Розв'язання.Розглянемо іонообмінну реакцію:

$$NaCl + H^+ + OH^- \leftrightarrow Na^+ + H_2O + Cl^-$$

Критеріальні рівняння для розрахунку Nu в загальному випадку представляють у степеневому вигляді, при чому виділяють критерії, що найбільше впливають в кожному конкретному вигляді, а коефіцієнт і показники степені визначають в результаті узагальнення дослідних даних.

Залежність може бути знайдена шляхом обробки експериментальних даних:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr..)$$
$$Nu = \varphi Re^a Pr^b \Phi_1^c \Phi_2^d U^h,$$

деφ –коефіцієнт швидкості реакції, м/с; Re– критерій Рейнольдса, Pr- критерій Прандля , Gr– критерій Грасгофа,Φ_i–коефіцієнт швидкості іонного обміну і-го компонента.

Коефіцієнт масообміну α, який входить у критерій Нусельта, визначається за формулою[1, 5]:

$$\alpha = \frac{G}{F \cdot \Delta c \tau}, \text{ або } \alpha = \frac{Nu \cdot \zeta}{l}$$

G – кількість речовини, що поглинається, кг; F – поверхня зерна катіоніту,м^2; Δc – середня рушійна сила іонообмінного процесу; τ– час фільтрування,с, ζ– коефіцієнт масопереносу;l – кінцева висота шару іоніту,м.

Значення Δc розраховуються за формулою[5]:

$$\Delta c = \frac{r}{2{,}3 lg \frac{\alpha_0}{\alpha_0 - r}}$$

де r – динамічна ємність для одиниці об'мкатіоніту, кг/м^3; α_0 – статична ємність,яка відповідає стану рівноваги,віднесена до одиниці об'єму катіоніту, кг/м^3.

Використовуючи експериментальні значення, взяті з критерію Nu при перемінних величинах Re, Pr, Φ_1, Φ_2та константах для вибраногокоефіцієнтареакціїC_1, C_2, C_3, C_4,отримаємо чисельні значення показника степені дорівнює a, b, c, d, h, при перемінних значеннях:

$$\lg Nu = \lg C_1 + a \lg Re$$
$$\lg Nu = \lg C_2 + b \lg Pr$$
$$\lg Nu = \lg C_3 + c \lg \Phi_1$$
$$\lg Nu = \lg C_4 + d \lg \Phi_2$$

Таким чином, критеріальне рівняння процесу іонного обміну між розчином хлористого натрію і водою, враховуючи отримані коефіцієнти a, b, c, d, h та, підставивши загальновідомі співвідношення для критеріїв Рейнольдса, Прандля, Грасгофа, має такий вигляд:

$$Nu = \left(\frac{\omega l}{\nu}\right)^a \left(\frac{\mu}{D}\right)^b \left(\frac{Vr}{ml}\right)^c \left(\frac{mc}{nz}\right)^d \left(\frac{kl^2}{D}\right)^h,$$

ω– фіктивна швидкість рідини,м/с; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості розчину,м^2/с; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості розчину,кг/м^3;V– об'єм розчину,профільтрованого "м^3;c– концентрація речовини,що вилучається,у рідині,кг/м^3; z – вміст речовини,що вилучається,у твердій масі,кг/м^3;m – об'єм рідини наодиницю перерізу фільтру и на1м висоти апарату,м^3;n – об'єм іоніту на одиницю перерізу фільтру і на1мвисоти апарату,м^3; d – діаметр фільтру,м;D – коефіцієнт дифузії,м^2/с.

Висновок. Отримане рівняння дозволяє визначити характер і степінь впливу змінних чинників на даний процес іонного обміну, розрахувати коефіцієнт масопередачі для даного типу реакції і, отже, встановити раціональний режим роботи фільтру.

Список використаних джерел

1. Рузинов Л.П. Статистические методи оптимизации химических процесов. - М.: Химия. 1992. - 212с
2. Аширов, А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов / А. Аширов. — Л.: Химия, 1983. — 295 с.
3. Сенявин, М. М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ / М. М. Сенявин. — М.: Химия, 1980. — 272 с.
4. Spellman, F. R. Handbook of Waterand Wastewater Treatment Plant Operations/ F. R. Spellman. — BocaRaton: CRC Press, 2008. — 521 p.
5. Srivastava, V. C. Competitive adsorption of cadmium(II) andnickel(II) metalions from aqueoussolution on toricehuskash / V. C. Srivastava, I. D. Mall, I. M. Mishra // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. — 2009.

УДК 538

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДАВАЧІВ DHT22 І YL-69 В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

доц. Терлецький Т., доц. Мороз С.,
ас. Приступа С.
Луцький національний технічний університет
et@lntu.edu.ua

Агротехнічні господарства, з метою встановлення оптимальних кліматичних умов оброблення ґрунту, потребують точних даних про стан їх вологоємності де планується проведення відповідних сільськогосподарськіх робіт. Дану потребу можна реалізувати за допомогою автономних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), яким властиве надання потрібної інформацію в реальному часі.

Таку ІВС було спроектовано на базі платформи «Arduino», що дозволило отримувати інформацію та відтворення їх на дисплеї центрального пристрою.

Первинний перетворювач відносної вологості та температури повітря реалізовано на основі давача DHT22. Він складається з двох складових частин, які змонтовано в одному корпусі, результати вимірювання яких передаються на аналого-цифровий перетворювач, з якого сигнал надходить на контакт DATA. Для роботи DHT22 на контакт VCC подається напруга 3,3 В. Він має низьке енергоспоживання і відкалібрований виробником.

Основу першого давача складає полімерний ємнісний конденсатор. За його допомогою вимірюється відносна вологість повітря з похибкою не більше 2 %.

Давач температури – цифровий, побудований на базі чипа DS18B20. Він дозволяє вимірювати температуру в діапазоні від - 55 до + 125 ˚С.

Чіп DS18B20 являє собою цифровий термометр з програмувальним розширенням від 9 до 12-bit, яке може зберігатися в EEPROM пам’яті приладу. DS18B20 обмінюється даними по 1-Wire шині і при цьому може бути як єдиним пристроєм на лінії так і функціонувати в групі. Всі процеси на шині керуються центральним мікропроцесором.

Діапазон вимірювань від -55°С до + 125°С і точністю 0.5°С в діапазоні від -10°С до + 85°С. DS18B20 може живитися напругою лінії даних ("parasite power"), за відсутності зовнішнього джерела напруги.

Кожен DS18B20 має унікальний 64-бітний послідовний код, який дозволяє, спілкуватися з безліччю давачів DS18B20 встановлених на одній шині.

Загалом послідовність операцій звернення до DS18B20 складається з декількох етапів: ініціалізації, пошук даних (команди ROM) та видачі даних (функціональна команда DS18B20).

Всі операції на шині даних починаються з ініціалізації (рис. 1).

Щоб почати отримувати дані з давача мікроконтролер повинен відправити йому запит і дочекатися відповіді про те, що він готовий передавати інформацію. Відбувається це наступним чином.

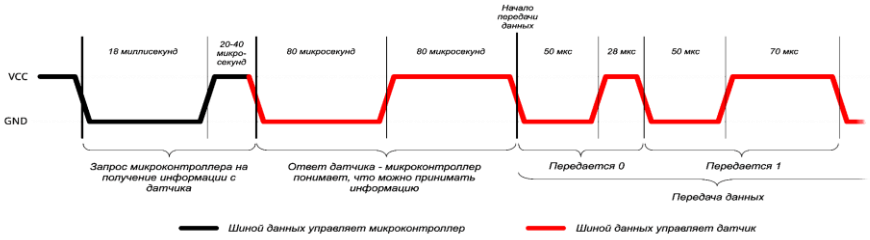


Рис. 1. Приклад циклограми отримання даних з давача DHT22

Коли мікроконтролер зібрався приймати дані, він повинен притягнути лінію даних до нуля на 18 мс, і після відпустити її назад до 1. Мікроконтролер переходить в режим очікування і стежить за тим, що відбувається з лінією даних. Через 20-40 мкс, якщо все в порядку, давач відповідає притяганням вже зі свого боку лінії даних до нуля на 80 мкс, і відпускає її на 80 мкс. Таким чином давач дає зрозуміти мікроконтролеру, що з ним все в порядку і він починає передачу даних. Дані передаються у вигляді окремого біта.

Перед передачею кожного нового біта давач притягує лінію даних до нуля на 50 мкс, після цього відпускає її до 1. В залежності від того на скільки давач відпускає дата-лінію до 1 мікроконтролер розпізнає який біт був переданий. Якщо тривалість часового проміжку до наступного притягнення до нуля - 26-28 мкс, то переданий 0, якщо 70 мкс – передана 1.

Передані дані містять як цілу, так і дробову частину цифрових даних про температуру/вологості. Загальний обсяг переданої інформації становить 40 біт: 1 і 2 байт містять відповідно цілу і дробову частину інформації про вологість, 3 і 4 байт містять цілу і дробову частину інформації про температуру і в 5 байті передається контрольна хеш-сума, яка вдає із себе останні 8 біт від складання попередніх 4 байт.

Після передачі пакета даних давач переходить в сплячий режим, до наступного запиту з боку мікроконтролера.

Вивід DATA з’єднується до цифровим піном D2. Це з’єднання може відбуватись і з будь-яким іншим цифровим D-піном плати Arduino Pro Mini. Головне у подальшому це враховувати під час написання відповідного коду скетчу (програми).

Давач вологості ґрунту також складається з двох частин – чутливого виносного елементу (контактного щупа) YL-69 та самого давача YL-38.

Давач YL-38 (рис. 2.) побудований на базі компаратора LM393 і видає на виході модуля два види сигналу: аналоговий та цифровий. Цей пристрій порівнює між собою два електричних сигнали і виводить цифровий сигнал, який

вказує на збільшення одного вхідного сигналу над іншим. Він має два аналогових входи і один цифровий вихід.

Схематично в YL-38 задіяна одна частина LM393 (IC1), яка функціонує в якості комутатора напруги. Опорна напруга на його вході інвертується (вивід 2 IC1) і встановлюється за допомогою багатообертового потенціометра (P1). Коли аналогове значення, що вводиться в неінверсний вхід (вивід 3 мікросхеми IC1) від чутливого елемента буде виходити за встановлений пороговий рівень, з IC1 буде виходити цифрове значення для активізації чи дезактивації виконавчого пристрою.

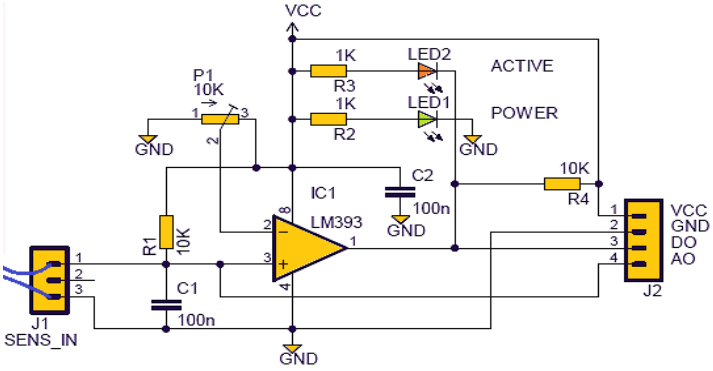


Рис. 2. Принципова схема давача YL38

Зелений світлодіод (LED1) виконує функцію індикатора включення живлення, а червоний (LED2) вказує на робочий стан ланцюга чутливого елемента.

Аналоговий сигнал (pin A0 на платі давача YL-38) призначений для передачі інформації на блок Arduino. У цьому випадку між двома електродами давача створюється невелика напруга. Якщо ґрунт сухий, а опір великий то струм буде меншим, якщо ж земля волога – опір менший, а струм – більший. За підсумковим аналоговим сигналом визначається вологість ґрунту в %.

Цифровий сигнал (pin D0) призначений для керування зовнішніми пристроями без блока Arduino, хоча і його можна використати і разом з цим блоком замість аналогового – приєднавши до відповідного цифрового піна блока мікропроцесора. У цьому випадку можна буде тільки вмикати чи вимикати зовнішній пристрій (наприклад полив) коли на виході буде видавати логічну 1 (ґрунт вологий) чи 0 (сухий).

Якщо ж рівень вологості ґрунту в потрібно визначати у % – необхідно використати аналоговий вихід давача, а отже, вивід давача YL-38 VCC з’єднтати з піном плати Ардуіно 3,3 В, вивід GND – з GND, а аналоговий вивід A0 – з відповідним піном A0 плати.

УДК 621.9.048.6

ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗБІГУ ВІБРОМАШИН З ДЕБАЛАНСНИМИ ЗБУДНИКАМИ, ЩО САМОСИНХРОНІЗУЮТЬСЯ

доц. Тимощук В.М., студ. Балабаш М.І.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

Для інтенсифікації багатьох технологічних процесів у різних галузях промисловості використовують вібраційну техніку. В перехідних режимах роботи таких машин можуть виникати значні коливаннями та істотні динамічні навантаження, наслідком чого є потреба у їх постійному технічному обслуговуванні та ремонті окремих елементів конструкції.

Дана система являє собою тверде тримке тіло, яке зв'язане з нерухомою основою за допомогою пружних та демпфуючих елементів і може здійснювати плоскі коливання. На тримкому тілі встановлено дебалансний віброзбудник, який приводиться в обертання від асинхронного електродвигуна. При цьому, його ротор з'єднаний з валом віброзбудника за допомогою пружної муфти з лінійною характеристикою. Система характеризується п'ятьма узагальненими координатами: кутами повороту роторів електродвигуна φ_1, віброзбудника φ_2 та несучого тіла φ і його вертикальним та горизонтальним зміщенням y, x. Рівняння руху коливальної системи запишемо у вигляді [5]:

$$I_1\ddot{\varphi}_1 + \beta_{\grave{i}}\ (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c_{\grave{i}}\ (\varphi_1 - \varphi_2) = L_1(\dot{\varphi}_1) - R_1(\dot{\varphi}_1),$$

$$I_2\ddot{\varphi}_2 - \beta_{\grave{i}}\ (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c_{\grave{i}}\ (\varphi_1 - \varphi_2) =$$

$$= -R_2(\dot{\varphi}_2) + m\varepsilon(\ddot{x}\sin\varphi_2 + \ddot{y}\cos\varphi_2 - \ddot{\varphi}h\sin\varphi_2 + g\cos\varphi_2),$$

$$M\ddot{x} + \beta_x\dot{x} + \tilde{n}_x x + c_{x\varphi}\varphi = m\varepsilon\left(\ddot{\varphi}_2\sin\varphi_2 + \dot{\varphi}_2^2\cos\varphi_2\right),$$

$$M\ddot{y} + \beta_y\dot{y} + \tilde{n}_y y = m\varepsilon\left(\ddot{\varphi}_2\cos\varphi_2 - \dot{\varphi}_2^2\sin\varphi_2\right),$$

$$J\ddot{\varphi} + \beta_\varphi\dot{\varphi} + c_\varphi\varphi + c_{x\varphi}x = -m\varepsilon h\left(\ddot{\varphi}_2\sin\varphi_2 + \dot{\varphi}_2^2\cos\varphi_2\right),$$

де I_1, I_2 – приведені моменти інерції ротора електродвигуна та ротора віброзбудника, відповідно; m, ε – маса збудника та його ексцентриситет; M, J – маса та момент інерції несучого тіла; $\beta_{\grave{i}}$, $\beta_x, \beta_y, \beta_\varphi$ – коефіцієнти опору пружної муфти та пружин підвіски несучого тіла; $c_{\grave{i}}$, c_x, c_y, c_φ – жорсткість муфти та пружин; h – відстань, що визначає положення осі збудника; g – пришвидшення вільного падіння; $L_1(\dot{\varphi}_1)$, $R_i(\dot{\varphi}_i)$ – моменти електродвигуна та сил опору обертанню роторів двигуна та збудника.

Щоб дослідити динаміку пружної муфти, опишемо рух роторів електродвигуна та віброзбудника, з'єднаних муфтою, за допомогою однієї змінної – кута закручування муфти φ_{12}:

$$\ddot{\varphi}_{12} + 2b_i\,\dot{\varphi}_{12} + p_i^2\,\varphi_{12} = \frac{L_1(\dot{\varphi}_1)}{I_1} + \frac{R_2(\dot{\varphi}_2)}{I_2} - \frac{T_2}{I_2}, \qquad (1)$$

де $\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$; $b_i = \beta_i \dfrac{I_1 + I_2}{2I_1I_2}$; $p_i = \sqrt{c_i \dfrac{I_1 + I_2}{I_1I_2}}$,

$$T_2 = m\varepsilon(\ddot{x}\sin\varphi_2 + \ddot{y}\cos\varphi_2 - \ddot{\varphi}h\sin\varphi_2).$$

Спочатку розглянемо рух вібраційної машини до зони резонансних частот. У разі розглядуваного класу вібромашин з м'яко віброізольованим несучим тілом, розбіг двигуна до досягнення ним резонансних частот коливальної системи відбувається достатньо швидко – до однієї секунди. У цей період руху частота $\dot{\varphi}_2$ ще досить мала, і в правій частині рівняння (1) можна знехтувати другим та третім доданками. На користь такого спрощення рівняння (1) також свідчить чисельна оцінка його складових. Тобто, має місце ніби пуск двигуна без навантаження.

Загальний розв'язок рівняння (1) матиме вигляд

$$\varphi_{12} = \frac{L_{ï\,óñê}}{I_1 p_{i\,b}^2}[1 - e^{-b_i t}(\frac{b_i}{p_{i\,b}}\sin p_{i\,b}t + \cos p_{i\,b}t)], \qquad (2)$$

де $L_{ï\,óñê}$ – пусковий момент двигуна; $p_{i\,b} = \sqrt{p_i^2 - b_i^2}$; $p_{i\,b}$ – частота власних згасаючих коливань системи.

Зазначимо, оскільки невеликий опір мало впливає на період коливань, будемо вважати, що $p_{i\,b} \approx p_i$.

Згідно розв'язку (2), після пуску електродвигуна муфта починає закручуватися до деякої максимальної величини, при цьому виникають згасаючі коливання її напівмуфт з власною частотою p_i відносно середнього деформованого рівня

$$\varphi_{çêð} = \frac{L_{ï\,óñê}}{I_1 p_i^2}, \text{ або } \varphi_{çêð} = \frac{L_{ï\,óñê} I_2}{c_i\,(I_1 + I_2)}). \qquad (3)$$

Максимальні деформації муфти виникають практично відразу після вмикання двигуна (через $t = \dfrac{\pi}{p_i}$ сек) та, звичайно, у розглядуваному випадку миттєвого прикладання сталого моменту, є майже вдвічі більшими ($\varphi_{\max} = 2\varphi_{çêð}$), ніж деформація, викликана статичною дією моменту $L_{ï\,óñê}$.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що деформації муфти в момент пуску будуть меншими за меншої величини пускового моменту електродвигуна

й за більших жорсткості муфти, її власної частоти та відношення приведених моментів інерції ротора двигуна до віброзбудника.

У цей період руху обертовий момент асинхронного двигуна не є сталим – мають місце його істотні коливання з частотою, близькою до частоти струму. Звичайно, м'яко віброізольоване несуче тіло практично «не відчуває» таких високочастотних коливань, у той час як для муфти (з власною частотою вищою щонайменше на порядок) їх треба враховувати. З урахуванням цього, вираз $L_1(\dot{\varphi}_1)$ у правій частині рівняння (1) з більшою ступінню точності можна подати у вигляді $L_1(\dot{\varphi}_1) = L_{ï\,óñê}[1 - e^{-b_{äâ}t}\cos(6,28 f_{ñòð}t)]$ (тут $b_{äâ}$ – коефіцієнт, що характеризує згасання коливань електромагнітного моменту; $f_{ñòð} = 50\,Ãö$). Тоді розв'язок рівняння (1) запишемо у вигляді:

$$\varphi_{12} = \frac{L_{ï\,óñê}}{I_1 p_ì^2}[1 - e^{-b_ì t}(\frac{b_ì}{p_ì}\sin p_ì t + \cos p_ì t) - Be^{-b_{äâ}t}\cos(\omega_{ñòð}t - \beta)] \qquad (4)$$

де
$$B = \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega_{ñòð}^2 - b_{äâ}^2 + 2b_{äâ}b_ì}{p_ì^2})^2 + \frac{4\omega_{ñòð}^2(b_{äâ} - b_ì)^2}{p_ì^4}}};$$

$$\beta = arcctg\frac{2\omega_{ñòð}(b_{äâ} - b_ì)}{p_ì^2 - \omega_{ñòð}^2 + b_{äâ}^2 - 2b_{äâ}b_ì}.$$

Таким чином, після пуску очікуються максимальні деформації муфти та бігармонічний характер відносних коливань її напівмуфт з власною частотою та частотою струму відносно середнього закрученого рівня (3); на основний обертовий рух роторів двигуна та віброзбудника з однаковою кутовою швидкістю накладається додатковий коливний процес. Обидві складові коливань мають швидко згасати (крім випадку «зависання» кутової швидкості двигуна в зоні резонансу). При цьому, вільні коливання згасають (навіть при малій дисипації) значно швидше. Отже, вірогідніше виникне моногармонічний коливний процес з частотою коливань моменту електродвигуна.

Звичайно, амплітуди вимушених коливань істотно залежать від співвідношення частот $p_ì$ і $\omega_{ñòð}$ й, у випадку їх близькості, мають бути досить великими, особливо у разі малої потужності двигуна й відповідно, повільного його розбігу. З іншого боку, за достатньої потужності двигуна згасання пускових коливань електромагнітного моменту відбувається достатньо стрімко. До того ж, з урахуванням великих коефіцієнтів опору муфти з неметалічними пружними елементами й того факту, що резонансні амплітуди виникають поступово, значні резонансні амплітуди не виникнуть.

УДК 517.45

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІГАРМОНІЧНИХ ФУНКЦІЙ В ТЕОРЕМАХ НАБЛИЖЕННЯ

доц. Тимощук В.М., студ. Мороз С.П.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

У запропонованій роботі обернені теореми доповнюються такими властивостями наближень, які забезпечують існування похідних певного порядку граничної функції і оцінюється модуль неперервності похідної найвищого можливого порядку.

Розглянемо функції бігармонічні в крузі. Нехай задано бігармонічне рівняння

$$\Delta^2 u = 0 . \qquad (1)$$

Позначимо $u_f(\varphi, r) = u(\varphi, r)$ розв'язок рівняння (1) в одиничному крузі, що задовільняє граничним умовам

$$u(\varphi, r)\big|_{r=1} = f(\varphi); \quad \frac{\partial u}{\partial r} u(\varphi, r)\big|_{r=1} = 0 . \qquad (2)$$

Розв'язок граничної задачі (1), (2) можна записати у вигляді

$$u_f(\varphi, r) = \frac{\left(1-r^2\right)^2}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi + t) \frac{1 - r\cos t}{\left(1 - 2r\cos t + r^2\right)^2} dt . \qquad (3)$$

Клас таких функцій позначимо через B_φ. Позначимо через $L_p[-\pi;\pi]$ $1 \le p \le \infty$, клас 2π-періодичних функцій $\varphi(x)$ $-\pi \le \varphi \le \pi$ з кінцевою нормою, що визначається співвідношенням

$$\|f\| = \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f(x)|^p \, d\varphi \right\}^{\frac{1}{p}}, \text{ якщо } 1 \le p < \infty$$

$$\|f\| = \operatorname*{ess\,sup}_{-\pi \le \varphi \le \pi}, \text{ якщо } p = +\infty .$$

Справедливе твердження. Якщо $f \in L_p[-\pi;\pi]$, $p \ge 1$, $u_f(\varphi, r) \in B_\varphi$, то для фіксованих натуральних k виконується нерівність

$$\left\| \frac{\partial^k u_f(\varphi, r)}{\partial \varphi^k} \right\| \le M \frac{\|f\|}{(1-r)^k}, \quad 0 \le r < 1, \qquad (4)$$

де $M > 0$ – стала, що не залежить від r.

Доведення. Використовуючи (3) розв'язок $u_f(\varphi, r)$ граничної задачі (1), (2) і узагальнену нерівність Мінковського одержимо нерівність

$$\left\|\frac{\partial^k u_f(\varphi,r)}{\partial\varphi^k}\right\| \le \frac{\|f\|}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}\left|\frac{\partial^k}{\partial\varphi^k}\left(\frac{\left(1-r^2\right)^2(1-r\cos t)}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^2}\right)\right|dt\,. \qquad (5)$$

Оцінимо інтеграл в правій частині (5). Для цього бігармонічне ядро Пуассона запишемо у вигляді

$$\frac{\left(1-r^2\right)^2(1-r\cos t)}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^2} = \frac{1}{2}\left[\frac{\left(1-r^2\right)^2}{1-2r\cos t+r^2} + \frac{\left(1-r^2\right)^3}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^2}\right] \qquad (6)$$

і позначимо

$$P_1 = \frac{\left(1-r^2\right)^2}{1-2r\cos t+r^2}\,, \quad P_2 = \frac{\left(1-r^2\right)^3}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^2}\,. \qquad (7)$$

Тоді, враховуючи що $P_1 = \left(1-r^2\right)\left(-1+\frac{1}{1-re^{it}}+\frac{1}{1-re^{-it}}\right)$, диференціюванням по t одержимо формулу для похідної порядку $k\ \left(k=1,2,\ldots\right)$:

$$\frac{\partial^k P_1}{\partial t^k} = \left(1-r^2\right)\cdot r\,(i)^k\left[\frac{e^{it}Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)}{\left(1-re^{it}\right)^{k+1}} + \frac{e^{-it}Q_{k-1}^{(2)}\left(r,e^{-it}\right)}{\left(1-re^{-it}\right)^{k+1}}\right], \qquad (8)$$

де $Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)$, $Q_{k-1}^{(2)}\left(r,e^{-it}\right)$ – многочлени степеня $\left(k-1\right)$ по кожному з вказаних аргументів. Ці многочлени є обмеженими в замкнутому крузі $0\le r\le 1$ сталою, що залежить лише від степеня многочлена. Обчислимо модулі обох доданків в (8)

$$\left|\frac{e^{it}Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)}{\left(1-re^{it}\right)^{k+1}}\right|^2 = \frac{Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)}{\left(1-re^{it}\right)^{k+1}}\cdot\frac{Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)}{\left(1-re^{-it}\right)^{k+1}} = \frac{\left|Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)\right|^2}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^{k+1}}\,,$$

звідки

$$\left|\frac{e^{it}Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)}{\left(1-re^{it}\right)^{k+1}}\right| = \frac{\left|Q_{k-1}^{(1)}\left(r,e^{it}\right)\right|}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^{\frac{k+1}{2}}}\,. \qquad (9)$$

Цілком аналогічно одержимо

$$\left|\frac{e^{-it}Q_{k-1}^{(2)}\left(r,e^{-it}\right)}{\left(1-re^{-it}\right)^{k+1}}\right| = \frac{\left|Q_{k-1}^{(2)}\left(r,e^{-it}\right)\right|}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^{\frac{k+1}{2}}}. \qquad (10)$$

З (8)–(10) отримаємо оцінку

$$\left|\frac{\partial^k P_1}{\partial t^k}\right| \le \frac{M_1\left(1-r^2\right)}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)^{\frac{k+1}{2}}},$$

де M_1 – стала, що залежить лише від k. Використовуючи дану оцінку, відому тотожність $\frac{1-r^2}{2\pi}\int\limits_{-\pi}^{\pi}\frac{dt}{1-2r\cos t+r^2}=1$ і справедливу для всіх $t\in\left[-\pi;\pi\right]$ нерівність $1-2r\cos t+r^2 \ge \left(1-r\right)^2$, знайдемо

$$\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-\infty}^{\pi}\frac{\partial^k P_1}{\partial t^k}dt \le M_1\frac{1-r^2}{2\pi}\int\limits_{-\pi}^{\pi}\frac{dt}{\left(1-2r\cos t+r^2\right)\left(1-2r\cos t+r^2\right)^{\frac{k+1}{2}}} \le \frac{M_1}{\left(1-r\right)^{k-1}}. \qquad (11)$$

Оскільки

$$P_2 = \frac{\left(1-r^2\right)^3}{\left(1-re^{it}\right)^2\left(1-re^{-it}\right)^2} = \left(1-r^2\right)\left[-1+\frac{1}{1-re^{it}}+\frac{1}{1-re^{-it}}\right]^2 =$$

$$= \frac{1-r^2}{\left(1-re^{it}\right)^2}+\frac{1-r^2}{\left(1-re^{-it}\right)^2}+\left(1-r^2\right)\left[1-\frac{2}{1-re^{it}}-\frac{2}{1-re^{-it}}\right]+2\left[-1+\frac{1}{1-re^{it}}+\frac{1}{1-re^{-it}}\right],$$

то достатньо розглянути похідних порядку $k\in N$ кожного з доданків в правій частині (12). Позначимо

$$P_2^{(1)} = \frac{1-r^2}{\left(1-re^{it}\right)^2}; \quad P_2^{(2)} = \frac{1-r^2}{\left(1-re^{-it}\right)^2}; \quad P_2^{(3)} = \left(1-r^2\right)\left[1-\frac{2}{1-re^{it}}-\frac{2}{1-re^{-it}}\right];$$

$$P_2^{(4)} = 2\left[-1+\frac{1}{1-re^{it}}+\frac{1}{1-re^{-it}}\right].$$

Аналогічно (11), отримаємо наступні нерівності

$$\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-\pi}^{\pi}\left|\frac{\partial^k P_2^{(3)}}{\partial t^k}\right|dt \le \frac{M_2}{\left(1-r\right)^{k-1}}, \qquad (13)$$

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}\left|\frac{\partial^k P_2^{(4)}}{\partial t^k}\right|dt \le \frac{M_3}{(1-r)^k}, \tag{14}$$

де M_2, M_3 – додатні сталі, що не залежать від r. Для $P_2^{(1)}, P_2^{(2)}$ аналогічно доведення рівності (9) одержимо рівності

$$\left|\frac{\partial^k P_2^{(1)}}{\partial t^k}\right| = \frac{\left(1-r^2\right)\left|R_2^{(1)}\left(r, e^{it}\right)\right|}{\left(1-2r\cos t + r^2\right)^{\frac{k}{2}+1}}, \tag{15}$$

$$\left|\frac{\partial^k P_2^{(2)}}{\partial t^k}\right| = \frac{\left(1-r^2\right)\left|R_2^{(2)}\left(r, e^{-it}\right)\right|}{\left(1-2r\cos t + r^2\right)^{\frac{k}{2}+1}}, \tag{16}$$

де $R_2^{(1)}\left(r, e^{it}\right)$, $R_2^{(2)}\left(r, e^{-it}\right)$ – многочлени відповідних аргументів, що обмежені в замкнутому крузі $0 \le r \le 1$ сталою, що залежить лише від k. З (15), (16) маємо

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}\left|\frac{\partial^k P_2^{(1)}}{\partial t^k}\right|dt \le \frac{M_4}{(1-r)^k}, \tag{17}$$

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}\left|\frac{\partial^k P_2^{(2)}}{\partial t^k}\right|dt \le \frac{M_5}{(1-r)^k}, \tag{18}$$

де M_4, M_5 – додатні сталі, що не залежать від r.

Використовуючи (5), рівності (60 і (12), а також оцінки (11), (13), (14), (17), (18) інтегралів від окремих доданків, одержимо кінцеву оцінку 4.

Для фіксованого r_1, $0 \le r_1 \le 1$ позначимо через $u_{u(\varphi, r_1)}(\varphi, r)$ розв'язок рівняння (1), що задовільняє граничним умовам $u(\varphi, r)_{r=1} = u(\varphi, r_1)$, $\left.\frac{\partial u}{\partial \varphi}(\varphi, r)\right|_{r=1} = 0$. Аналогічно введемо позначення $u_{u(\varphi, r_2)}(\varphi, r)$, $0 \le r_2 \le 1$.

Сформульоване і доведене твердження дає можливість визначити властивості наближення, що забезпечують існування похідних певного порядку граничної функції.

Розв'язок даних задач дає можливість розв'язувати багато різних технічних задач теорії пружності, теорії пластичності, будівельної механіки. Крім цього одержані результати можуть бути поширені і на інші функції.

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС ВИЗНАЧЕННЯ БАРВНИКІВ ГРУПИ СУДАНІВ В ЗРАЗКАХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ З ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОДУ, МОДИФІКОВАНОГО КОБАЛЬТ (ІІІ) ОКСИГІДРОКСИДОМ НА ДЕЯКИХ ПОХІДНИХ ГІДРОХІНОНУ

Володимир В. Ткач[*1,2], Марта В. Кушнір[1], Сілвіо С. де Олівейра[2], Тетяна С. Незвещук-Когут[3], Каріна В. Паламарек[3], ЕміліоФіґейра Чікуала[4], Віталій В. Листван[5], Інна М. Дитинченко[5], Петро І. Ягодинець[1]

[1]Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 58000, вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, Україна

[2]Федеральний університет штату Мату-Ґроссу-ду-Сул, Інститут Хімії, Просп. Сен. Ф. Мюллера, 1555, 79074-460, Кампу-Ґранді, Бразилія

[3]Чернівецький Торговельно-Економічний Інститут КНТЕУ, 58000, пл. Центральна, 9, Чернівці, Україна

[4]Університет м. Евори, 7000-671, вул. РомауРамалью, 59, Евора, Португалія

[5]Житомирський державний університет ім. І. Франка, 10000, вул. Велика Бердичівська, 40, Житомир, Україна

*E-mail: nightwatcher2401@gmail.com

До групи «Суданів» традиційно відноситься група із шести азо- та діазобарвників (Рис. 1), що широко використовуються у промисловості [1]. Будучи жиророзчинними, вони застосовуються для забарвлення восків, оліф, мастил та розчинників у яскраві кольори – червоний, помаранчевий, жовтий:

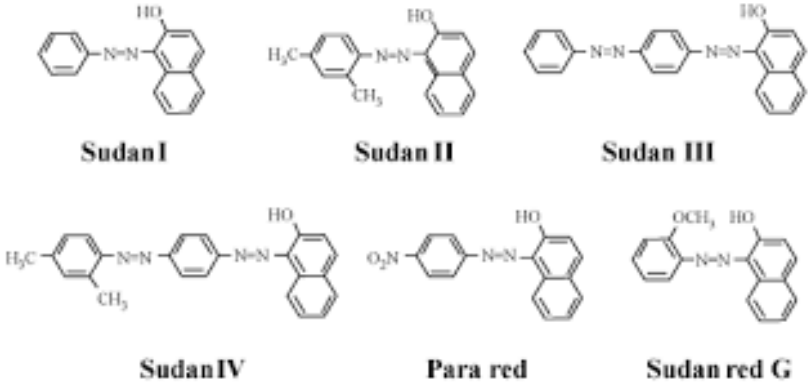


Рис. 1. Барвники групи «Суданів»

В деяких країнах (наприклад, в Індії) його використовували як харчовий барвник для надання інтенсивного забавлення товарним формам перцю Чилі, а також приправі Каррі. Однак нещодавні дослідження виявили токсичні ефекти цих барвників – наприклад, здатність до прямої реакції із ДНК і, відповідно, до мутагенезу [2]. Мало того, незважаючи на те, що в багатьох країнах їх використання в харчових технологіях було заборонено, з огляду на канцерогенез, вони все ще застосовуються при фальсифікації харчових

продуктів (головно, приправ та прянощів). Таким чином, розробка ефективних методів визначення концентрації цих барвників є дійсно актуальним завданням.

Для визначення барвників групи Суданів розроблено чимало електрохімічних методів, які використовували як анодне окиснення, так і катодне відновлення [2]. В першому випадку цікавим було б використання кобальт (III) оксигідроксиду- речовини, яку деякі дослідники бачать в якості альтернативи титан діоксиду, теж може бути цікавим модифікатором електроду для електрохімічного визначення даної речовини.

Основною метою даної роботи була теоретична оцінка можливості електрохімічного визначення барвників групи Судану на прикладі Судану I з використанням аноду, покритого кобальт (III) оксигідроксидом або його композитами. В такому разі, схема процесу може бути розписана у вигляді:

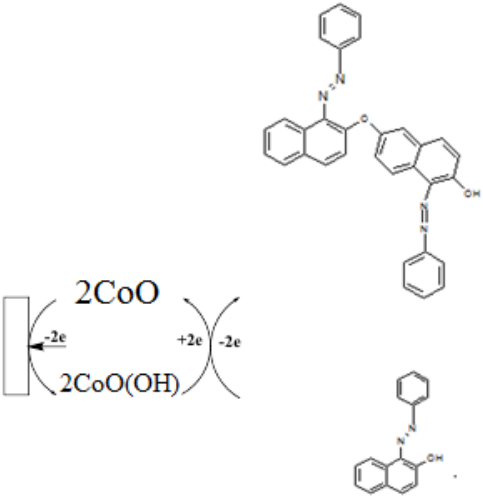


Рис.1. Схема електроаналітичного процесу

Не виключена також і полімеризація сполуки. Можна показати, що, в разі прийняття деяких припущень, поведінку системи можна описати наступною системою балансових рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{dc}{dt} = \dfrac{2}{\delta}\left(\dfrac{\Delta}{\delta}\left(c_0 - c\right) - r_1\right) \\ \dfrac{d\theta}{dt} = \dfrac{1}{G}\left(r_1 - r_2\right) \end{cases} \quad (1)$$

З аналізу системи можна зробити висновок про те, що кобальт(III) оксигідроксид може бути використаним як ефективний модифікатор електроду для визначення групи суданів. В залежності від концентрації аналіту та розіруелектроду,електроаналітичний процес контролюється швидкістю дифузією або реакції на першій стадії.

Осциляторна поведінка в даному випадку також можлива і спричинюється тільки факторами впливу електрохімічного процесу на ємність у подвійному електричному шарі.

Список використаних джерел

1. P. Y. Neo, D.J. Tan, P. Shi *et. al.*, Tissue Eng. Part C. Meth., 21(2015), 218
2. A. Un-Nisa, N. Zahra, Y. N. Butt, Pak J. Biochem. Mol. Biol., 49(2016), 29

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПРОТИГІПЕРТОНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГРУПИ САРТАНІВ НА ПРОВІДНОМУ ПОЛІМЕРІ, ЩО МІСТИТЬ ПІРИДИНОВИЙ АТОМ НІТРОГЕНУ

В.В. Ткач*[1,2], Н.М. Сторощук[1], О. В. Луганська[3], С.С. де Олівейра[2], Ж. Р. да Сілва[2], К.В. Паламарек[4], П.І. Ягодинець´[1]

[1]Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 58012, вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, Україна

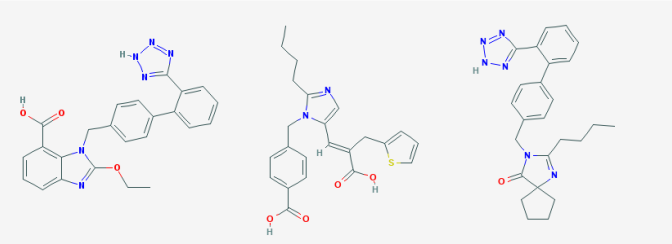
[2]Федеральний університет штату Мату-Гроссу-ду-Сул, Інститут Хімії, Просп. Сен. Ф. Мюллера, 1555, 79074-460, Кампу-Гранді, Бразилія

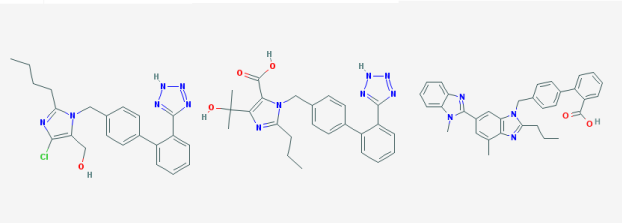
[3]Запорізький національний університет, 69600, вул.. Жуковського, 66, Запоріжжя, Україна

[4]Чернівецький Торгово-Економічний інститут Київського Національного Торгово-Економічного Університету, 58000, пл. Центральна, 9, Чернівці, Україна

** E-mail: nightwatcher2401@gmail.com*

До групи сартанів відносяться сім протигіпертонійних засобів широкого профілю [1]. Їхня біологічна дія полягає у пригніченні ангіотезин-І рецепторів, на відміну від аналогічних препаратів, які засновані на інгібіції конверсії ангіотезину-І в ангіотезин-ІІ. Їхні формули позначені на Рис. 1:





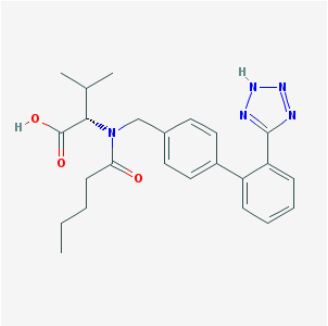


Рис. 1. Група сартанів – кандесартан, епросартан, ірбесартан, лозартан, олмезартан, телмізартан і валсартан

Незважаючи на їхню ефективність, вони можуть проявляти також побічні ефекти. Наприклад, вони протипоказані хворим на цукровий діабет що приймають препарат аліскірен, а також вагітним жінкам та годувальницям через токсичність до плоду. Відтак, розробка ефективних методів їх визначення – дійсно актуальне завдання.

Всі сімперелічених сполук містять амфотерні гетероциклічні кільця із двома різнотипними гетероатомами нітрогену (одним пірольним та одним або декількома піридиновими), а їх левова частка містить ядро тетразолу. Такі гетероциклічні системи мають тенденцію до електрохімічної активності (особливо, у катодних процесах в кислих розчинах), і тому до них можна застосувати прямі та непрямі електроаналітичні методи – в тому числі і із використанням хімічно модифікованих електродів.

В даній роботі теоретично розглядається електрохімічне визначення групи сартанівна провідному полімері, що містить фрагмент із піридиновим нітрогеновим атомом. В такому разі для покращення імобілізації застосовується зв´язуюча сполука, що утворює сіль як із аналітом, так і із полімером, як показано на рис. 2:

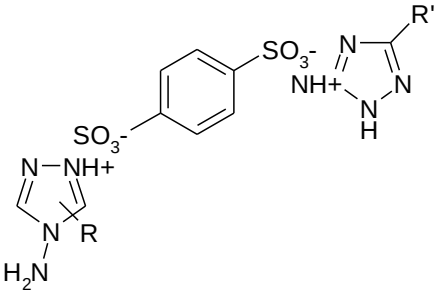


Рис. 2. Імобілізація сартанів на триазольний фрагмент провідного полімеру

Надалі, відбувається катодне відновлення модифікованого полімеру. Оскільки йонний склад полімеру змінюється як на хімічній, так і на електрохімічній стадії, то, відповідно, будова та ємність подвійного електричного шару (ПЕШ), зазнають змін на обох стадіях, що не може не впливати на поведінку електроаналітичного процесу. Вона описується системою двох балансових рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dc}{dt} = \frac{2}{\delta}\left(\frac{\Delta}{\delta}(c_0 - c) - r_1 - r_x\right) \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{G}\left(r_1 - r_2 - r_y\right) \end{cases} \quad (1)$$

З аналізу поведінки системи можна зробити висновок про те, що електроаналітичний процес, в даному випадку, є ефективним. Осциляторна та монотонна нестійкості, однак, є імовірнішими, ніж у найпростішому випадку [2]. Побічні реакції між зв'язуючою речовиною та окремо аналітом та провідним полімером також впливають на ємність ПЕШ і, відповідно, можуть спричинити осциляторну поведінку.

Список використаних джерел

1. C. A. Dezsi, Am. J. Cardiovasc. Drugs, 16(2016), 255
2. V. V. Tkach, B. Kumara Swamy, R. Ojani *et. al.*, Orbital Elec. J. Chem., 7(2015),1

UDC 539.104:537.311.33:621.315.5

SOME PROBLEMS OF MODELING THE PHASE TRANSFORMATIONS IN RELAXED OPTICS

Trokhimchuck P., Kovalyova A., Volkomurova K., Savchuk O., Shutovskyi A.
Department of theoretical and mathematical physics,
Lesya Ukrayinka East European National University,
Voly av. 13, Lutsk, Ukraine, 43025
trope1650@gmail.com

The necessity of the appearance the Relaxed Optics (RO), the section of physics of the irreversible effect the optical radiation on matter, is due to the development of the application the laser radiation in technology [1-3]. RO can be considered as a synthesis of such sections of physics as nonlinear optics, solid-state radiation physics, physical chemistry, physics of irreversible processes and plasma physics. The three basic concepts of this chapter of physics (kinetic-energy, electromagnetic and coherent) are shown that this synthesis is a natural extension of one of the synthesis partners to other parts of the synthesis. This allows us to use both the methods of the partner science of synthesis to describe the corresponding processes and phenomena of RO, and to create new methods.

Firstly we must determine the notion of phase transformations and phase transitions. Phase transformations are represented change of phase state of matter. This change may be discrete and continuous. Phase transitions are physical and chemical processes, which are explained with help thermodynamic theory of phase transitions. Phase transitions is characterized the jump behavior of change the proper physical quantity.

Thermodynamic theory of phase transitions is based on the Erenfest classification. According to this classification for case of the first-order phase transitions Gibbs potential is changed continuous but its first partial derivatives have uneven character in point of transition. For second-order phase transitions Gibbs potential and its first partial derivatives are changed continuous but its second partial derivatives have uneven character in point of transition. This classification may be expanded on phase transitions of more high order. For example, transition from liquid in superfluidity state is third-order phase transition.

Further expansion of thermodynamic theory of phase transformations is the L. Landau phenomenological theory of second-order phase transitions [1]. He introduced the order parameter. Behavior of these parameters in the point of transition allows modeled proper phase transformations more detail.

An order parameter is fundamental macroscopic variable. It may be have various physical nature (density, magnetization, polarization, concentration a.o.).

In general case structural phase transitions may be created of condensation various phonon modes, including nonpolar. In this case the condensation of soft mode

is happened in one of symmetric point of Brillouin zone. These points are famous as Lifshitz points [8]. In the results of its phase transitions the structures with period, which is divisible to period of Bravais lattice; may be happened. Periods of structure of these low symmetric phases are divisible to periods of initial Bravais lattice with divisible $n = 1, 2, 3$. Maximal increasing of volume of elementary cell is divisible 32.

Possibility of the condensation of soft mode in some point of Brillouin zone is determined of peculiarities of phonon spectrum the concrete system, more precision, the place of minimum in disperse curve of soft mode. The existence of this minimum in some symmetrical point of Brillouin zone isn't a consequence symmetrical conditions, it depend from the peculiarities of the interatomic interaction of concrete crystal. Therefore may be happen situation, when minimum of soft mode will not correspond to symmetrical point of Brillouin zone. The condensation of this phonon is caused to the creation a structure with period, which is aliquant (incommensurate) to a period of initial crystal structure. For the phase transitions, which is corresponded to stars of Lifshitz type, module of wave vector can change continuously without a change of structure. Therefore, period of this structure is arbitrary (divisible to irrational number) relatively to a period of a lattice initial symmetric phase. Crystal phases, which are characterized of Lifshitz type vectors, are called incommensurate. These phases may be created in the result structural, magnetic, mesomorphic and other types of phase transition.

Incommensurate phases have various natures. But R.A.Cowley and A.D.Bruce united its in two types. Type I is determined hypothetical phase transition from initial to incommensurate phase with a change of translational symmetry. Incommensurate phases of type II are determined the class of incommensurate materials in which initial and incommensurate phases are equitranslational.

This classification is included classic crystal phases (230 space Fedorov groups) [2, 4] and another more low-indexes symmetry, which are represented another structures.

As statistical expansion of thermodynamic theory of phase transitions may be represented Lee-Yang theory.

Thermodynamic theory of phase transitions isn't including the temporal characteristics of proper processes. Roughly speaking it is the macroscopic averaging of microscopic processes.

The phase transition theory, which is allow to observe phase transition between phases of various dimensions, was called theory topological phase transitions. So, this theory allows observing transition from three-dimensional to two-dimensional phase. Transitions between various networks of chalcogenide glasses are classified as structural-topological phase transitions too.

But we have many other processes, which are explained phase transformations in matter after influence some external actions. It may be irreversible chemical reactions, including processes of combustion and explosion. Some these processes aren't average but they characterize phase transformations or creation new phases. Difference from thermodynamic case is the causality of these transformations. In

Erenfest case it is the heating, which is caused the increasing of atomic oscillations in matter. In other cases, these causes may be having other nature: chemical elements, various types of irradiation and other.

We can remark fact that theories of combustion and explosion are based on enthalpy, theory of elastic bodies on Helmholtz potential (free energy). But first and second theories explain the irreversible processes and third theory – non-equilibrium processes. These processes may be represented as phase transformations too.

Chemical reactions, including ionization, may be represented as phase transformations. But chemical reactions are modeled with help of methods of chemical kinetics, including photochemical, thermochemical and self-oscillation. But kinetic processes have dynamic nature and for large numbers of processes the procedure of thermodynamic averaging isn't necessary.

More complex processes of phase transformations may be modeled as cascade processes [4]. Conditions of arising new phases can be various and it may have various natures. Causes of formation proper "members" of cascade processes may have various directions: from low symmetry to more high symmetry and inversely from high symmetry to more low symmetry. The example of first process is the laser annealing of semiconductors and example of second process is the laser implantation of solid. These processes may compete. So, for the case of light scattering on stables centers photochemical and thermochemical processes have various directions. But for the case of light scattering on unstables centers these processes may be have one direction. Self-oscillation processes may be received with help of using two regimes of irradiation: straight process irradiation in self-absorption range and back irradiation in "damage" absorption range, which is received in the time of straight process.

For the modeling phase transformations may be used methods of synergetic [1, 3] and catastrophe theory [3]. Roughly speaking each catastrophe is phase transition [1, 3] or chemical reaction [1, 3].

Rough bond between thermodynamic and kinetic concepts of phase transformations may be represented with help de Broglie formula, which is used in thermodynamics of point [1, 3]

$$\frac{S_a}{\hbar} = \frac{S_e}{k_B}, \quad (1)$$

where S_a – action, S_e – entropy, $\hbar$ – Planck's constant, k_B – Boltsman constant.

Formula (1) allows subscribing mutual transitions from quantum (kinetic) to statistical (thermodynamic) processes. It may be represented as foundation of bond quantum (kinetic) and statistical physics (thermodynamics) [1, 3].

Cascade model of excitation of chemical bonds in the saturation of excitation is a synthesis of physical chemistry, quantum electronics and radiation physics of the solid. This method was successfully used to explain the experimental results on the irradiation of indium antimonide and indium arsenide by pulsed irradiation of ruby and neodymium lasers [1], and also to explain laser-induced phase transformations in

silicon, germanium, and various allotropic carbon modifications [1, 3]. Depending on the conditions of irradiation, the processes can have different directions, both with a decrease in the symmetry of the irradiated material and with an increase in its symmetry [1, 3].

For the modeling the creation of volume laser-induced structures we must use the methods of plasma physics, Lugovoy-Prokhorov theory of moving focuses, and shock waves theory [3].

The main weak or unresolved problems of the modeling the phase transformations in RO are the following:

1) the problem of the mutual influence of the processes of nonlinear and relaxation optics (study of radiative and nonradiative relaxation) [1 – 3];

2) the problem of creating a universal theory of laser-induced phase transformations and transformations in irradiated materials [1, 3];

3) the problem of intrinsic absorption of optical radiation in irradiated materials [1 – 4];

4) the effect of multiphoton processes, as well as reradiation and reabsorption on the effects of Relaxed Optics [1 – 4].

References

1. Trokhimchuck P. P. Relaxed Optics: Realities and Perspectives. – Saarbrukken: Lambert Academic Publishing, 2016. – 250 p.
2. Trokhimchuck P. P. Problems of reradiation and reabsorption in Relaxed Optics.// International Journal of Advanced Research in Physical Science (IJARPS). Vol. 4. Is. 2, 2017. – P. 37-50.
3. Trokhimchuck P.P. Problems of modeling the phase transformations in Nonlinear and Relaxed Optics.// International Journal of Engineering Research and Development. Vol. 14. Is. 2. 2018. – P. 48-61.
4. Trokhimchuck P., Savchuk O., Hayday S. Some problems of modeling the blistering processes./ Proc. IX Int. Conf. RNAOPM’2018. – Lutsk: Vezha-Print, 2018. – P. 14-15.

УДК 378. 004

ЗАХИСТ ДАНИХ В WI-FI МЕРЕЖАХ

доц. Чернящук Н.Л.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

Безпека Wi-Fi Невелика вартість і простота базового налаштування точок доступу Wi-Fi – це одночасно і перевага, і недолік таких мереж. Звичайний користувач може буквально за декілька хвилин налаштувати домашню мережу, але, не маючи базових знань про ці технології та забезпечення безпеки в локальній мережі,він стає легкою мішенню для того, хто хоче проникнути в його мережу. Отже, в важливості цього питання ми переконались. Розглянемо основні маніпуляції з точкою доступу, що задовольняють мінімальні вимоги до безпеки Wi-Fi мереж:

перш за все необхідно змінити заводський пароль точки доступу;

якщо ви не провайдер, то можна відключити трансляцію ID мережі, це допоможе приховати вашу мережу і виявити її зможе тільки людина, яка знає її назву. Але це не означає, що ваша мережа тепер недоступна для посторонніх людей: тому, хто хоч трохи знайомий з технологіями Wi-Fi, знадобиться близько 2-10 хв., щоб виявити приховану мережу;

при можливості, необхідно включати фільтрацію по MAC-адресі. Але насправді і цей захід безпеки не створить проблем для проникнення в вашу мережу. Все що потрібно хакеру, для того, щоб обійти цю перепону, це – перехопити пакет одного з користувачів цієї мережі, визначити його MAC-адресу і призначити своєму адаптеру цю MAC-адресу, і точка доступу буде вважати, що це авторизований користувач;

використовувати надійне шифрування даних.

Перші три правила не створюють серйозних проблем для хакерів - вони швидше спрямовані для боротьби з людьми, які прочитали декілька статей в Інтернеті і випробовують свої сили на погано захищених, а то і взагалі на незахищених мережах. Шифрування – більш надійний спосіб захистити мережу, але і тут не все так просто.

Розглянемо методи шифрування, що використовуються на сьогоднішній день.

WEP (WiredEquivalentPrivacy) – технологія, розроблена спеціально для шифрування потоку даних в локальній мережі. Це застаріла технологія, але до 2003 року вона було єдиною. В ній використовується не самий стійкий алгоритм RC4 на статичному ключі. Для підвищення захисту, частина ключа – статична, а друга – динамічна (вектор ініціалізації), яка змінюється в процесі роботи мережі. Цей вектор 24-бітний. Основний недолік WEP полягає в тому, що вектор ініціалізації повторюється через деякі проміжки часу. Для того, щоб зламати це шифрування необхідно лише зібрати ці повтори і за секунди отримати іншу

частину ключа. Для того, щоб зібрати ці повтори (їх необхідно близько мільйона) потрібно 5-10 хв.

WPA (Wi-Fi Protected Access) – більш стійкий алгоритм шифрування, ніж WEP. Високий рівень безпеки досягається за рахунок використання протоколів TKIP і MIC.

MIC – технологія перевірки цілісності повідомлень – захищає від перехвату пакетів і їх перенаправлення. Стандарт TKIP використовує автоматично підібрані 128-бітні ключі, які створюються непередбачуваним способом і їх загальна варіація сягає 500 млрд. Складна ієрархічна система алгоритму підбору ключів і їх динамічна зміна через кожні 10 КБ роблять систему максимально захищеною. MICвикористовує складний математичний алгоритм, який дозволяє звіряти відправлені в одній і отримані в другій точці дані. Якщо помічені зміни і результати порівняння не сходяться, то такі дані вважаються недостовірними і ігноруються. WPAвважається надійним методом шифрування, але японські учені з інституту Хіросіми заявляють, що знайшли спосіб його злому за 1 хв[1].

WPA2 – створенийна основі попередньої версії, WPA. Враховуючи деякі зміни і доповнення в цьому методі шифрування, вважають, що він зможе ще більше підвищити безпеку мереж.

WPA2 не містить недоліків (відомихна сьогоднішній день), а тому єдиний спосіб проникнення в мережу – прямий підбір пароля. І тут уже все залежить від якості пароля.

Використання технологій приватних віртуальних тунелів (VPN) вважають найкращим методом захисту в Wi-Fi мережах. І хоч ця технологія розроблялась для захищеного підключення до Інтернету через загальнодоступні канали, вона непогано зарекомендувала себе і в бездротових локальних мережах. Суть цієї технології полягає в тому, що створюються «безпечні» канали від клієнта до заданого вузла.

Алгоритм шифрування MD5 – є одним із найпоширеніших алгоритмів шифрування, тому на його прикладі продемонструємо, що, знаючи хеш MD5-функції, на сьогоднішній день не є великою проблемою отримати початкові дані [2].

Є три методи злому хеша:

перебір варіантів за словником (задані можливі варіанти вихідної фрази і їх хеш порівнюється з хешом, що зламується);

brute-force метод (перебираються всі можливі комбінації заданих вихідних символів і хеш кожної комбінації порівнюється з хешом функції, що зламується);

rainbowcrack (він оснований на генерації великої кількості хешів із набору символів і по отримані базі ведеться пошук заданого хеша. Хоч генерація хешів займає багато часу, проте наступні зломи виконуються набагато швидше).

На сьогоднішній день в Інтенеті існує багато он-лайн сервісів, що дозволяють за декілька секунд переглянути MD5-хеш вашого виразу і навпаки із заданого MD5-хеша відновити початковий вираз.

Наприклад, скориставшись сайтом md5encryption.com, зашифруємо вираз “wi-fi”:

Безпека Wi-Fi

Отриманий MD5-хеш розшифруємо, скориставшись сервісом сайту passcracking.com:

Безпека Wi-Fi

Пошук відповіді тривав менше 1 секунди (так, наприклад, в базі даних crackfor.me більше 16 млн. хешів.)

Отже, навіть такий криптографічно стійкий алгоритм як MD5, не може на100% захистити конфіденційну інформацію, тому слід взяти до уваги деякі поради, що дозволяють збільшити захищеність своїх даних у мережі:

при можливості, необхідно використовувати технологію VPN доступу до мережі;

під час роботи потрібно використовувати захищені протоколи, такі як HTTPS і POP3s;

потрібно відмовитись від передачі конфіденційних даних по мережі, яка не захищена стійким алгоритмом шифрування;

не потрібно використовувати інтернет-банкінг в публічних Wi-Fi мережах;

потрібно своєчасно встановлювати оновлення програмного забезпечення, особливо для антивірусів та файрволів.

Всі засоби забезпечення захисту в Wi-Fi мережі, розглянуті вище, повинні використовуватись в комплексі, це дозволить максимально захистити мережу від несанкціонованого доступу.

Список використаних джерел

1. Бабаш А. Криптография / А. Бабаш, Г. Шанкин. – М. : ООО Издательство «Солон-Р», 2002. – 511с.

2. Столлингс В. Криптография и защита сетей. Принципы и практика / В. Столлингс. – М., СПб., К. : Вильямс, 2001. – 669 с.

УДК 536.12: 532.782

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ОХОЛОДЖЕННЯ РОЗПЛАВУ ПРИ ЛИТТІ У МЕТАЛЕВУ ВИЛИВНИЦЮ З НАПІВНЕСКІНЧЕНИМИ СТІНКАМИ ТА ЗІ СТІНКАМИ КІНЦЕВОЇ ТОВЩИНИ

студ. Шевелєва К.Ю., доц. Косинська О.Л.
Дніпровський державний технічний університет,
м. Кам'янське, вул. Дніпробудівська, 2, e-mail: krao@ua.fm

Незважаючи на значний прогрес в області металургії спеціальних сплавів, умови отримання масивного металевого скла (ММС) все ще не мають однозначного визначення і знаходяться в центрі уваги сучасних дослідників. Однією із найважливіших задач в даній області є визначення швидкості охолодження розплаву в умовах отримання ММС, оскільки саме від цієї характеристики залежать подальші процеси формування структури сплаву. Швидкість охолодження υ_m може бути визначена як експериментальними методами [1-3], так і шляхом теоретичного аналізу рівнянь теплопровідності [4,5]. При моделюванні процесів теплоперенесення, традиційно використовують математичні моделі які враховують охолодження розплаву за рахунок контакту з напівнескінченим теплоприймачем. Такий підхід цілком виправдано при моделюванні охолодження шарів розплаву товщина яких не перевищує 100–500 мкм (наприклад, у методах загартування з рідкого стану). Але при отриманні масивних металевих зливків, товщина яких може бути до 10 см, правильність такого підходу викликає сумнів. Тому в даній роботі, з метою вдосконалення математичної моделі та отримання більш точних результатів моделювання, пропонується модифікований підхід, в якому розглядається можливість відведення тепла від розплаву у металеву виливницю зі стінками кінцевої товщини. Для перевірки доцільності використання такого підходу, результати моделювання порівнювали з результатами отриманими за допомогою математичної моделі побудованої за традиційними принципами.

В якості об'єкту дослідження в роботі обрано сплав $Zr_{41,2}Ti_{13,8}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$, який відомий своєю схильністю до некристалічного твердіння у перетинах до декількох сантиметрів. Цей факт дозволить використовувати розроблені математичні моделі у широкому інтервалі товщин та визначити доцільність використання запропонованої модифікованої математичної моделі. Крім того, для даного сплаву відомі всі теплофізичні властивості необхідні для виконання розрахунків та експериментальні значення критичної швидкості охолодження υ_m^c і критичний перетин виливок l_c, при яких фіксуються аморфні структури. В свою чергу, знання величин υ_m^c та l_c дозволить перевірити адекватність результатів моделювання, отриманих за розробленими математичними моделями.

З використанням двох варіантів математичної моделі проводили розрахункові експерименти з ідентичними вихідними параметрами (попередній перегрів розплаву, початкова температура виливниці, матеріал розплаву, матеріал виливниці). Для дослідження динаміки охолодження розплаву в умовах лиття у металеву виливницю з напівнескінченою та з кінцевою товщиною стінки, вивчали особливості температурного поля у перетинах виливок та стінок виливниць, а також залежності зміни температури і швидкості охолодження з часом, у якості основної динамічної характеристики процесу теплоперенесення вважали величину швидкості охолодження υ_m в момент досягнення розплавом температури плавлення [6].

При аналізі розподілу температури у перетині шарів розплаву та тіла-холодильника, можна зазначити, що на характер згаданих залежностей суттєвий вплив чинить товщина шару розплаву l_1. Так при товщині розплаву 0,25 мм, на початкових етапах охолодження між центральною зоною та зоною, що контактує з підкладкою виникає градієнт температур ΔT_{1-3}=12 К, який зберігається до моменту досягнення розплавом температури плавлення. В цих умовах поверхневий шар теплоприймача розігрівається до температури 314 К, а глибина прогрівання підкладки, до температур вищих за температуру навколишнього середовища, складає 5,7 мм. Слід зазначити, що результати отримані за традиційною та модифікованою моделями мають повне співпадання. Збільшення товщини шару розплаву до 10 мм, за результатами традиційної моделі, викликає збільшення ΔT_{1-3} більше ніж у 3 рази – до 38 К, поверхневий шар теплоприймача нагрівається до 325 К, а глибина прогрівання складає 120 мм. Щодо результатів, отриманих за модифікованим підходом, то в наведених умовах ΔT_{1-3}=36 К та спостерігається наскрізне прогрівання стінок виливниці: поверхня стінки, що контактує з розплавом нагрівається до 377 К, а зовнішня поверхня виливниці – до 373 К. Також встановлено, що товщина шару розплаву та вибір математичної моделі суттєво впливають на тривалість нерегулярного режиму охолодження. Так при використанні традиційної математичної моделі, для інтервалу товщин шару розплаву від 0,25 до 15 мм, тривалість нерегулярного режиму складає від 6 до 50 % від загальної тривалості знаходження розплаву у перегрітому стані. В той час як для запропонованої моделі, для вказаного вище інтервалу товщин розплаву, ця величина змінюється від 6 до 34 %. Проте в усіх випадках, твердіння розплаву буде відбуватися на стадії регулярного режиму охолодження.

При вивченні впливу вибору математичної моделі на значення швидкості охолодження, встановлено, що обидві моделі при $l_1 \leq$ 1мм дають абсолютно ідентичні результати. При $l_1 >$ 1мм значення υ_m, розраховані за різними моделями, починають розрізнятися. Так при l_1=2 мм різниця між швидкостями охолодження розрахованих за традиційною і модифікованою моделями складає лише 1%, а при збільшенні величини l_1 до 15 мм різниця між швидкостями охолодження збільшується до 20%. Швидкості охолодження отримані за традиційною моделлю мають більш високі значення υ_m в силу того, що за

умовами моделі тепло від розплаву відводиться всередину напівнескінченого теплоприймача з температурою навколишнього середовища. А при охолодженні за схемою модифікованої моделі, відведення тепла від розплаву відбувається всередину стінок прогрітої виливниці, що викликає значне уповільнення процесів охолодження.

Таким чином за допомогою отриманих результатів, встановлено, що врахування товщини теплоприймача при побудуванні математичної моделі чинить суттєвий вплив на кінцеві результати моделювання процесів теплоперенесення в шарах розплаву $Zr_{41,2}Ti_{13,8}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$ товщиною понад 1мм.

Список використаних джерел

1. *Predecki P., Mullendore A.W., and Grant N.J.* A study of the splat cooling technique // Trans. Met. Soc. AIME, – 1965, – Vol. 233. – P. 1581-1586.
2. *Davies H.A., Hull J.B.* Some aspects of splat-quenching in an inert atmosphere and of the formation of non-crystalline phases in Al-17,3 at.% Cu, germanium and tellurium // J. Mater. Sci., – 1974, – Vol. 9, – P. 707-717.
3. *Tkatch V.I., Denisenko S.N., Beloshov O.N.* Direct measurements of the cooling rates in the single roller rapid solidification technique // Acta Mater. – 1997 - Vol. 45, №7. - P. 2821–2826.
4. *Ruhl R.C.* Cooling rate in splat cooling // Mater. Sci. Eng. – 1967. – Vol. 1. – P. 313–320.
5. *Мирошниченко И.С.* Закалка из жидкого состояния. – М.: Металлургия, 1982, – 168 с.
6. *Лысенко А.Б.* Расчет скорости охлаждения при закалке сплавов из жидкого состояния / А.Б. Лысенко, Г.В.Борисова, О.Л. Кравец // Физика и техника высоких давлений. – 2004. – Т.14, № 1. – С. 44–53.

Секція 5

Методологія навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі

УДК 621.311.29

ЗАДАЧІ ПРАКТИЧНОГО СПРЯМУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ

доц. Бандура І.А., проф. Гулай О.І.

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк

hulay@i.ua

Професійна спрямованість є одним із специфічних принципів дидактики, який найбільш повно реалізується у вищих навчальних закладах технічного напряму. Реалізація професійної спрямованості на кожному етапі ступеневого навчання здійснюється через інтегрування змісту фундаментальних та фахових дисциплін, форм та методів навчання у відповідності із цілями і задачами фахової підготовки компетентного фахівця певного рівня кваліфікації. Задачі практичного спрямування є потужним стимулом пізнавальної активності студентів. Проілюструємо це на прикладі розрахунку ефективності генерації електричної енергії елементами Пельтьє в умовах освітлення перепелиної міні ферми.

Перепелина міні-ферма – це окреме приміщення розмірами 10х4 м. Всередині приміщення встановлено 6 стаціонарних автоматизованих кліток, середня чисельність поголів'я птиці становитиме 4200 осіб. Було обчислено середню кількість тепла, яка надходить у приміщення від поголів'я птиці. Для додаткового опалення в зимовий період було споруджено твердопаливну піч, що передбачає можливість роботи в режимі тління. Для ефективного розподілу теплого повітря приміщенням використано систему «розгону» з використанням нагнітальних вентиляторів та металевих труб. Уся конструкція печі взята в цегляну «обмуровку», всередині якої створюється достатній об'єм гарячого повітря. Разом з тим, передня частина печі має безпосередній вивід металевих частин, які мають температуру нагріву близько 200 ^{o}C. На вказану поверхню площею 0,4 м^2 пропонуємо встановити термоелектричні модулі.

У результаті аналізу літературних джерел було обрано термоелектричні модулі (ТМ) на базі елементів Пельтьє, які об'єднані в термоелектричний генератор (ТЕГ) [1, 2]. Це пристрій з використанням одного або більше термоелектричних модулів в якості основного компонента, з подальшим пасивним (відкриті радіатори) або активним (вентилятор або рідинне охолодження) охолодженням системи. Термоелектричний модуль (ТМ) – це пари Р-типу та N-типу напівпровідникових матеріалів на основі сплаву телуриду вісмуту, нарізаних на дрібні блоки. Термопари затиснуті між двома площинами непровідних матеріалів.

Аналізуючи технічні параметри елементів, що випускаються промислово, було обрано термоелектричний модуль ТВ(LCB)-127-1,4-1,15 8.0А 80Вт фірми Кріотерм, який має температуру плавлення припою 125-130 градусів

Цельсія. Виникає технічна задача зменшення температури нагрівання металу поверхні печі до 120 ^{o}C. З цією метою всередині печі було встановлено «збивачі» полум'я, які унеможливлюють прямий доступ вогню до розрахункової поверхні. Таким чином, температура нагріву складає 120-125 ^{o}C. Температура всередині перепелятника за нормами має становити не більше 25-30 ^{o}C. Тобто різниця температур складе 90 ^{o}C при використанні пасивної системи охолодження. При використанні додаткового охолодження вентиляторами можна досягти ще більшої різниці температур і, як наслідок, підвищення ефективності використання елементів Пельтьє. Термоелектричний модуль TB(LCB)-127-1,4-1,15 8.0A 80Вт пропонується задіяти в системі освітлення перепелиної ферми LED джерелами. Загальна кількість світильників 10 шт., одиночна потужність 8 Вт кожен. Світловий потік LED джерела-800 лм. Отже, освітленість на робочих поверхнях становитиме E=800x10/40=200 лк. Це відповідає нормативам щодо освітлення виробничих сількогосподарських приміщень.

Таким чином, використання теплоустановки для додаткової генерації електричної енергії з використанням термоелектричного генератора на базі елементів Пельтьє дасть можливість забезпечити потребу системи освітлення ферми. Наведена задача може бути використана на практичних заняттях з фізики або електротехніки для студентів технічних університетів, а також стати технічним завданням для курсової роботи.

Список використаних джерел

1. Федорейко В. С. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / Федорейко В.С. та ін. // Науковий вісник НГУ. – 2014. – №6. – С. 111-116.

2. Плєшков П. Г. Оцінка можливостей використання термоелектричних модулів для часткового заміщення електропостачання від мережі у сільській місцевості Кіровоградської області / П.Г. Плєшков, С.П. Плєшков, П.Г. Стець // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2017. – Вип. 30. – С. 168-174.

УДК 371.321.5

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ФІЗИЦІ

доц. Богданюк М.С., студ. Ващук О.В., студ. Кривець Л.А.
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, 43000 Волинська область, м. Луцьк, просп. Волі, 13, dobriak100level@ukr.net

Одним із найбільш перспективних напрямків використання інформаційних технологій в навчальному курсі фізики є комп'ютерне моделювання фізичних явищ і процесів. Під комп'ютерним моделюванням автори розуміють комп'ютерні програми, що імітують фізичні досліди, явища або ідеалізовані модельні ситуації, що зустрічаються в фізичних задачах.

Метод моделювання застосовується як на емпіричному, так і на теоретичному рівнях дослідження. Як приклад, можна розглянути моделювання властивостей складних багатокомпонентних систем та розрахунок їх фізичних параметрів за допомогою ЕОМ. Зокрема, для розробки композиційних матеріалів з'явилась необхідність розрахунку властивостей створюваних матеріалів на основі властивостей вихідних компонентів, їх концентрації, геометричної форми, розташування і розміру.

Тому рядом авторів були виконані теоретичні розрахунки, направлені на встановлення кількісного взаємозв'язку між будовою і складом композицій, властивостями компонентів з одного боку, та властивостями композицій з іншого боку. Серед результатів таких розрахунків особливе місце займають формули узагальненої провідності, які охоплюють явища тепло електропровідності, дифузії, діелектричної та магнітної проникностей і т.д. Формули були одержані на основі модельних уявлень про структуру гетерогенних систем (неоднорідних багатокомпонентних матеріалів) та процеси переносу в таких системах. Серед формул найбільш поширеними є формули Ліхтенеккера, Максвелла, Оделевського та ін.

Значно спрощують такі обчислення спеціально створені комп'ютерні програми, які дозволяють розрахувати параметри гетерогенних систем за формулами узагальненої провідності та наочно демонструють, як змінюються властивості матеріалу при різних співвідношеннях компонентів, зміні структури [1].

Комп'ютерні моделі мають ряд переваг в порівняні з моделями інших видів. Вони можуть увібрати в себе більше аспектів реальності, забезпечують значну гнучкість при проведенні експериментів. У комп'ютерній імітаційній моделі є можливість уповільнювати чи прискорювати хід часу, стискати або розтягувати простір, виконувати небезпечні, дорогі чи просто неможливі дії в реальному світі. Для надання моделі більшої реальності можна доповнити її графічним зображенням, мультиплікацією і звуком.

Використання комп'ютерних моделей в освітньому процесі стає неминучим, оскільки універсальним буде тільки такий спосіб навчання, що

пристосований до роботи для будь-яких форм організації навчального процесу (очної, заочної, дистанційної і т.п.). Водночас застосування лабораторних робіт з комп'ютерними моделями в складі стаціонарного практикуму поряд з роботами, що використовують реальні експериментальні установки, дозволить істотно поліпшити якість навчання.

Інтерактивне моделювання дає змогу демонструвати (робити доступними для спостереження) істотні властивості фізичних явищ та процесів, які зазвичай не піддаються прямому спостереженню або ж коли таке спостереження провести важко. Також воно дає змогу змінювати умови експерименту в широких межах, а тому виникає можливість з'ясовувати всі істотні особливості досліджуваних явищ [2].

Список використаних джерел

1. Атаманчук П. / П. Атаманчук, А. Губанова, Р. Ткачук. // Фізика та астрономія в школі: Науково-методичний журнал. – К.: «Педагогічна преса», 2008. – № 2. – С. 17–20.

2. Калапуша Л. Р. Моделі в науці та навчальному процесі з фізики Ч. І, ІІ / Л. Р. Калапуша // Фізика та астрономія в школі: Науково-методичний журнал. – К.: «Педагогічна преса». – 2007. – № 1. – С. 10–13. – 2007. – № 3. – С. 13–17.

УДК 510

ПРИКЛАДНЕ СПРЯМУВАННЯ ЛІНІЙНОЇ АЛГЕБРИ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

доц. Гуда О.В.,студ. Гуда В.С.
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

Математика, як і всі фундаментальні науки, має величезне значення у підготовці майбутніх спеціалістів у всіх галузях і дисциплінах та формуванні певного рівня математичної культури, інтелектуального розвитку, оволодіння методами математичного моделювання.

Недоліками сучасної математичної підготовки студентів технічних вузів є формалізація математичних знань, відсутність міжпредметних зв'язків математики із загально технічними і спеціальними дисциплінами, слабкі навички у використанні математичного апарату при вивченні спеціальних дисциплін та при застосуванні інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у майбутній професійній діяльності й безперервній освіті тощо. Математичні дисципліни є основою математичної підготовки майбутніх спеціалістів. Викладання математики та її вивчення в технічному вузі, поряд із загальними задачами фундаментальної освіти, повинно бути орієнтованим на спеціальність, обрану студентами, тобто навчання математичних дисциплін повинно мати професійну спрямованість.

Негативно впливає на низький рівень знань слабка підготовка зі шкільної математики, невміння і небажання студентів самостійно і наполегливо працювати з навчальним матеріалом, скорочення годин з курсу математики і вилучення випускного іспиту з математики з переліку обов'язкових у загальноосвітніх середніх школах, а також в умовах перенесення у вищій школі більше половини навчального матеріалу з математичних дисциплін на самостійне вивчення і практичного вилучення консультацій з навчального навантаження викладачів.

Питанням удосконалення змісту і структури курсу математики у вищих закладах освіти з технічними спеціальностями, тим більше питанням методики формування математичних знань у майбутніх інженерів слід приділити більше уваги. Зокрема виділити наступні напрямки:

- розвиток творчих здібностей студентів;
- розвиток самостійності студентів;
- індивідуалізація та диференціація навчання;
- стимулювання мотивації, підвищення інтересу до навчання;
- розвиток мислення, інтелектуальних здібностей студентів;
- опанування сучасними методами наукового пізнання із застосуванням інформаційних та комунікаційних технологій;
- підвищення наочності навчання;

– розширення доступу до освітньої та наукової інформації через Internet;
– застосування інноваційних технологій;
– впровадження дистанційної освіти;
– використання електронних бібліотек;
– впровадження професійної спрямованості.

Часто в студентів під час занять виникає питання – для чого ми це вивчаємо? Де будуть застосовані ті чи інші знання? Тому виникає нагальна необхідність постійно, при вивченні кожної теми показати її практичне застосування.

Зокрема, курс «Лінійна алгебра» є однією з найважливіших складових у математичній підготовці спеціалістів різних напрямків завдяки його широким і глибоким застосуванням. Лінійна алгебра знайшла свої застосування у фізиці, хімії, біології, економіці, статистиці, теорії кодування і криптографії, теорії графів, лінійному програмуванні та інших науках завдяки математичному моделюванню різних ситуацій за допомогою векторів і систем рівнянь. Системи лінійних рівнянь застосовують для визначення температурного розподілу на тонкій пластинці. У хімії використовують при створенні нових речовин та збалансуванні хімічних реакцій. Струм у електричній мережі також можна описати системою лінійних рівнянь. Матриці використовують для опису електричних мереж, потоків на шляхах, виробничих процесів тощо.

Щоб підігріти інтерес у студентів можна зупинитися використанні методів лінійної алгебри при розв’язанні ігрових задач. Неоціненні можливості застосування лінійної алгебри також до різних способів кодування та шифрування інформації при її передачі адресатам.

Зрозуміло, що в рамках навчального навантаження на аудиторних заняттях дати весь необхідний матеріал неможливо. Фактично самостійна діяльність студента під керівництвом та контролем викладача, яка спрямована на розвиток особистості та формування її фахових вмінь і навичок, займає весь час студента. Тому основне завдання, що покладається на викладача, є грамотно організувати цю роботу.

Висновки. Для підвищення якості математичної освіти у вищих навчальних закладах потрібно більше уваги приділити змістовному наповненню курсу.

Список використаних джерел

1. Кузьмінський А. Педагогіка вищої школи: Навчальний посібник /А. Кузьмінський. – К.: Знання, 2005. – 486 с.

2. Технологическое образование для подготовки инженерно-технических кадров: материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам технологического образования школьников / под ред. Ю. Л. Хотунцева. – М.: МИОО, 2011. – 393 с.

3. Рендюк С. Вища математична освіта в сучасних умовах і інноваційні технології // Витоки педагогічної майстерності. – 2012. – Вип.9.

378:37.013.3

ВИКЛАДАЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ У КОНТЕКСТІ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ

проф. Гулай О.І., доц. Шемет В.Я.
Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк
hulay@i.ua

Сучасні тенденції розвитку вітчизняної освіти на шляху формування фахової компетентності випускників спрямовані на максимальне зближення знань, вмінь, способів діяльності, особистісного ставлення до них, готовності і здатності їх використовувати у нестандартних виробничих і побутових ситуаціях.

У науковій літературі США фігурує особлива одиниця виміру знань спеціаліста – період напіврозпаду компетентності. Це час, за який компетентність спеціаліста знижується на 50 % внаслідок того, що за певний період часу після закінчення вищого закладу освіти одержані знання будуть застарілими в зв'язку з появою нової інформації та технологій. У XXI столітті такий період становить всього 3-5 років, тому нерідко знання, отримані студентами під час навчання у виші, виявляються непотрібними у майбутній професійній діяльності [1].

Навчання як засвоєння готових знань втратило актуальність у сучасному світі. Сучасний викладач повинен організувати навчання як набуття власного досвіду, формування компетентності у певних питаннях. У цьому аспекті компетентнісний підхід узгоджується з діяльнісним. Як зазначає Г.А. Атанов, ціль навчання – навчити людину діяти, а знання – це засіб навчання діям. Педагог залучає і спрямовує студентів до пошуку фактів, наукової інформації, відкриття для себе ідей, законів, теорій, що пояснюють суть реальних явищ (шлях від теоретичного міркування до практичного досвіду), а також організовує спостереження експериментування, практичну діяльність та осмислення отриманих фактів, систематизацію та узагальнення власних міркувань (шлях від практичного досвіду до теоретичного міркування). Досягнення компетентності неможливе без використання активних та інтерактивних методів навчання, опори на попередній досвід студента та проекції на його майбутню професійну діяльність.

Реалізація компетентнісного підходу вимагає від викладача організації навчального процесу як міжособистісної взаємодії. Застосування різних форм міжособистісної взаємодії – парної, групової, колективної дає змогу кожному студентові активно брати участь у навчально-пізнавальній діяльності, свідомо конструювати власну освіченість [2]. Вдумливий викладач не тільки навчає своїх студентів, але і сам вчиться у них, аналізує навчальні ситуації та використовує найбільш доцільні у даних умовах методи навчання. Змінюється роль викладача, яка визначається рівнем співвідношення педагогічного керівництва і активності,

самостійності студентів. Інтерактивна модель навчання надає можливість демократичного, рівноправного партнерства між викладачем і студентами.

Специфіка педагогічної діяльності педагога вищої школи потребує від нього не тільки володіння системою загальнокультурних та психолого-педагогічних знань, необхідних для організації та ефективної взаємодії в навчальному процесі, але і глибоких спеціальних знань, необхідних для підготовки майбутніх висококваліфікованих фахівців. Аналіз викладацької діяльності свідчить, що поєднання цих двох якостей не властиве більшості викладачів (спеціаліст-науковець високого рівня не завжди є хорошим педагогом, і навпаки).

Розділяємо погляд Б. Гершунського [3, с. 8], який говорить про найважливішу функцію викладача, педагога – функцію творення. Щоб успішно виконувати цю функцію, він повинен бути мислителем, відчувати усю повноту покладеної на нього відповідальності за долю довіреної йому людини, за її духовне, інтелектуальне, фізичне здоров'я. У глобальному аспекті викладач несе відповідальність за майбутнє своєї країни, усієї людської цивілізації.

Висновки. Компетентнісний підхід дозволяє по-новому встановити мету та функції професійної діяльності педагога. Високий рівень розвитку професійно важливих і особистісно-ділових якостей, креативності, мотиваційної сфери і ціннісних орієнтацій визначає наявність професійної компетентності викладача вищої школи.

Список використаних джерел

1. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики / Під заг. Ред. О. В. Овчарук. –К.: "К.І.С.", 2004. – 112 с.

2. Яремчук Н. Педагогічна творчість як складова професійно-педагогічної культури викладача вищої школи // Наталія Яремчук // Вісник Львів. ун-ту: Серія педаг. – 2009. – Вип. 25. – Ч. 1. – С. 242-249.

3. Гершунский Б.С. Философия образования для XXI века. - М.: Совершенство, 1998. - 605 с.

УДК 004.378:379.85

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ СФЕРИ ТУРИЗМУ

доц. Кабак В.В.
Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75,м. Луцьк
kabak.volyn@gmail.com

Стрімкий розвиток туристичної галузі згенерував потребу в створенні сучасних інформаційних технологій, що спрямовані на підвищення рівня надання туристичних послуг. Використання цих технологій у галузі туризму на даний час зосереджується в туристичних фірмах, екскурсійних бюро, страхових та транспортних компаніях, готелях, а також під час надання послуг окремим туристам та туристичним групам.

За призначенням інформаційні технології в галузі туризму поділяються на наступні класи:

– *інформаційні технології для туристичних організацій* – це туристичні інформаційні технології, що спрямовані на розвиток та підвищення конкурентоспроможності туристичної організації шляхом покращення рівня надання нею туристичних послуг;

– *інформаційні технології для туристів* – це технології, призначені для формування туристичних продуктів, які надають інформаційну підтримку туристу на всіх етапах подорожі;

– *інформаційні технології для туристичних напрямків* – це технології, що використовуються для формування туристичних продуктів, спрямованих на підвищення рівня привабливості туристичного напрямку з погляду екології, рівня надання послуг у сфері проживання та харчування, транспортної системи та інформаційної підтримки туриста [1, с. 5].

До класу систем супроводу подорожі (in-Trip systems) відносяться системи, які надають туристу певний спектр послуг під час здійснення ним подорожі. Для більшості таких систем необхідною є інформація щодо поточного розташування користувача.

Програми-гіди – це підклас систем супроводу подорожі. Вони допомагають користувачеві формувати екскурсійну програму на основі інформації про цільові пункти для певного маршруту, замінюючи людину-гіда. Відповідна інформація в системі може подаватися у вигляді статичних зображень, тексту, аудіо- та відеоформатах [3].

У сучасному суспільстві серед систем супроводу подорожі набули популярності так звані ігрові туристичні системи. Ігровий туризм – це різновид туризму, в якому туристи-учасники, яких зазвичай називають гравцями, керують

відповідними ресурсами, заданими з використанням ігрових символів, з метою досягнення ігрової мети [2].

Ігрові туристичні системи – це системи, що формують завдання користувачеві, які необхідно виконати в процесі подорожі, або під час ознайомлення з певним туристичним об'єктом. У разі їх виконання туристом система надає інформацію щодо його місця перебування. При цьому інформація подається в цікавій та розважальній формі [4].

Туристичні довідкові інформаційні системи – це системи, які надають користувачеві детальну вичерпну інформацію за різними туристичними напрямами. Зазвичай вони застосовуються на етапі планування подорожі, коли потенційний турист збирає та аналізує дані про місця, які доцільно відвідати під час подорожі. При цьому інформацію можна подавати у вигляді тексту, відео- та аудіофайлів та статичних зображень [7].

Наукові пошуки щодо використання новітніх інформаційних технологій у діяльності підприємств туристичної сфери та туризмі в цілому здійснювали: С. Арімов, П. Бурцев, О. Губанова, І. Зорін, Ю. Миронов, Н. Морозова, М. Окороков, М. Робсон, М. Хайдеггерта ін. Однак, дослідженню застосування інформаційних технологій в сфері туристичного супроводу з використанням автономних програмних середовищ присвячені лише наукові статті або окремі розділи монографій[2].

Серед провідних університетів, що активно займаються проблематикою застосування ІТ в сфері туризму, виділяють: університет Борнмут (Англія), університет Лугано (Швейцарія), університет центральної Швеції, університет центральної Флориди (США).

Сучасні інформаційні технології для туристичної сфери досліджують науковці Лабораторії електронного туризму (е-туризм) в університеті Борнмут. На даний час Лабораторія разом з Національною прибережною академією туризму займається проблемою «розумного визначення» пунктів призначення (SmartDestinations) та формування маршрутів. В основу покладено концепт «розумного міста» (SmartSity). У роботах дослідників пропонується вирішувати проблему розумного визначення пунктів призначення шляхом впровадження та концептуалізації парадигми набуття нового досвіду на базі технології EnhancedDestination [6].

Дослідженнями у сфері інформаційних технологій навчання та оцінювання майбутніх спеціалістів у сфері туризму займаються науковці у науково-дослідній лабораторії факультету Комунікаційних наук в Університеті Лугано. Вони розробили користувацьку методологію MiLE+ та користувацьку систему для eTourism, призначену для сайту організації туристичного менеджменту. Система складається з бібліотеки сценаріїв використання профілів користувачів, їх цілей, а також користувацьких завдань та евристик для їх оцінки [2]. Науковці університету центральної Швеції «Інститут досліджень європейського туризму» (ETUOR) розробили інформаційну Інтернет-систему менеджменту туристичного напрямку, яка використовує технологію

опрацювання даних про туристичні напрямки (knowledgedestinationframework). У зазначеному Інституті також розробляють рекомендаційні системи та програми-гіди для туристів та туристичних компаній [1, с. 9].

В Університеті центральної Флориди дослідники намагалися застосувати ICTRT-моделі, запропонованої Лі і Ван в контексті США і оцінити ефективність сайтів маркетингових туристичних організацій за їх функціональністю. На базі отриманих коефіцієнтів було розраховано конкурентоспроможність 50 сайтів Державної служби туризму США [3].

Значного поширення в сучасному суспільстві набули дослідження в галузі інформаційних, рекомендаційних систем, та системи підтримки прийняття рішення для туристів. Однією з таких систем є MobiAR, де AR – платформа, що надає інформацію про події, які відбулися в місці розташування користувача, а також надає доступ до інформації, необхідної під час планування маршрутів у місті [1, с. 13].

Ще однією достатньо відомою в професійних колах організацією в галузі електронного туризму є CICtourgune (Іспанія). Найперспективнішими проектами організації є knowTOUR, SmarTUR, CLOUD Destination [7]. Метою проекту knowTOUR є розробка методів збору та аналізу даних, щоб розширити розуміння такого явища, як туризм. У проект входить використання існуючих та розроблення нових технологій та інструментів для реалізації нового концептуального підходу в сфері туризму [8].

Проект SmarTUR був сформований з метою поширення явища мобільності як соціального та технологічного феномена. У межах проекту координуються і доповнюються дослідження, що зосереджені на трьох напрямах [9]: визначення основних туристичних напрямів; «розумні туристичні напрямки»; удосконалення методів управління і забезпечення ефективнішого використання даних у галузі туризму.

Проект CLOUD Destination створений для забезпечення бізнесу і туристичних рішень протягом всього життєвого циклу туриста, тим самим сприяючи розвитку інтелектуальних туристичних напрямків [10].

На сучасному етапі розвитку IT в туристичній сфері активно застосовуються мобільні технології, які дозволяють індивідуалізувати процес здійснення туристичного супроводу. Розробленийв Луцькому НТУ мобільний додаток для ОС Android «LutskTourist» дозволяє вирішити проблеми забезпечення туристичного супроводу обласним центром Волинської області. Зважаючи на те, що з кожним роком число туристів у місті Луцьк збільшується, що безпосередньо впливає на спектр надання туристичних послуг, зростає рівень їх обслуговування, зумовлений потребами самих же гостей міста. Тому використання мобільного додатку «LutskTourist» є чудовою нагодою для туристівздійснити ознайомлення з м. Луцьк, розробивши свій власний туристичний маршрут в супроводі «персонального екскурсовода», витративши на це мінімум часу та отримавши при цьому максимум корисної інформації.

Розроблений програмний продукт є хорошим мультимедійним гідом для проведення туристичних подорожей по м. Луцьк та надання достовірної інформації про основні туристичні маршрути і місця відпочинку обласного центру Волинської області. Він може використовуватись також як допоміжний засіб здійснення підготовки майбутніх фахівців спеціальності «Туризм». Основне завдання мобільного додатку «LutskTourist» – якнайкраще відрекомендувати місто Луцьк його гостям.

Отже, сучасні інформаційні технології стали домінуючим фактором процесу інформатизації сфери туризму, оскільки вони змінили не тільки методологічні аспекти здійснення туристичних подорожей, а й спосіб їх надання. Завдяки цьому забезпечується широкий доступ потенційних туристів до сучасної інформації про туристичні об’єктиперед безпосереднім здійсненням подорожі, що дозволяє домогтися найбажанішого ефекту та задоволення від сприйняття нових туристичних маршрутів.

Список використаних джерел

1. Артеменко О. І. Інформаційні технології в галузі туризму. Аналіз застосувань та результатів досліджень / О. І. Артеменко, В. В. Пасічник, В. В. Єгорова // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2015. – № 814. – С. 3-22.
2. Глєбова А.О. Інноваційні технології в туризмі // Економіка. Управління. Інновації. – 2012. – № 2 (8) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://tourlib.net/statti_ukr/glebova2.htm
3. Adil Khan Automatic tourguidesystem/ Adil Khan, Ashwin Patil , Suryakant Mane, Prof. Ranjana .M. Kedar // International Journal of Scientific & Engineering Research. – Volume 4. Issue 6. – 2013. – Access mode: http://www.ijser.org/paper/AUTOMATIC-TOUR-GUIDESYSTEM.html
4. Gaming and Gamificationintourism // Digital Tourism Think Tank. – Access mode: http://thinkdigital.travel/wp-content/uploads/2014/05/Gamification-in-Tourism-Best-Practice.pdf
5. Fuchs, M., Höpken, W., Rasinger,J. (2011): Behavioral Intentionto Use Mobile Information Servicesin Tourism: The Case of the Tourist Guide Dolomitisuperski. Mobi, Journal for Information Technology & Tourism, Vol. 13, Nr. 4. – P. 285-307.
6. eTourismLab: Aboutus // eTourismLab. Bournemouth University. – Access mode: http://blogs.bournemouth.ac.uk/etourismlab/about-us/
7. Tourist information system termsofuse // Visitestonia.com. – Access mode: https://www.visitestonia.com/en/additional-navigation/estonian-tourist-board/ tourist-information-system-terms-of-use
8. Progect Know TOUR // CIC tourgune. – Access mode: http://www.tourgune.org/en/4/58/0/0/projectsknowtour.html
9. Progect Smart TUR – Tourismin Smart Destinations // CIC tourgune. – Access mode: http://www.tourgune.org/en/4/78/0/0/projects-smartur.html
10. Progect Cloud Destinations // CIC tourgune. – Access mode: http://www.tourgune.org/en/4/45/0/0/projects-cloud-destination.html

УДК 378

РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У ВИЩІЙ ШКОЛІ В СУЧАСНИХ РИНКОВИХ УМОВАХ

доц. Коваль Ю.В., доц. Захарчук Д.А., доц. Ящинський Л.В., Тищук М.А.

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська 75, м. Луцьк, e-mail: y.koval@lntu.edu.ua

На сьогоднішній день через ряд причин загострилась проблема якості підготовки кадрів технічних напрямів [1, 2]. Серед таких причин необхідно відмітити нестабільний попит на фахівців - випускників вузів, надлишок фахівців класичних спеціальностей, скорочення фінансування з державного бюджету загальноосвітньої діяльності закладів вищої освіти. В таких умовах важливим є застосування досягнень фундаментальних природничих наук для посилення зацікавленості студентів у вивченні, як теоретичних, так і прикладних дисциплін, і як наслідок – можливість у майбутньому знайти своє місце в суспільстві.

Важливим рушієм цього є міжнародні проекти, як наприклад, програма ЄС Темпус: "Розбудова партнерства між університетом та підприємством задля навчання на основі компетентністного підходу у Вірменії, Грузії та Україні". Метою подібних проектів [3, 4] є зміцнення спроможності наших університетів відповідати потребам суспільства, заснованого на знаннях та ринковій економіці, що, в свою чергу, досягається через підвищення відповідності вищої освіти до поточних вимог ринкової економіки, сприяння партнерству університетів з широким колом наукових та промислових підприємств, а також підвищення рівня усвідомлення у суспільстві переваг партнерства університетів та промисловості на ґрунті європейських стандартів та європейського досвіду.

Проте, вітаючи об’єднання фінансових і наукових зусиль університетів різних країн під егідою міжнародних програм, необхідно застерегти від формального підходу до такої глобалізації, яка може привести до нівелювання фундаментальної складової як в освіті, так і у наукових дослідженнях на користь розв’язання сьогоденних прикладних технічних проблем для міжнародного та вітчизняного бізнесу.

Виходячи із сказаного, однією з головних вимог підготовки сучасного спеціаліста є забезпечення його «професійної мобільності», що, в свою чергу, можливе лише при належній підтримці фундаментальних дисциплін на всіх рівнях системи державних стандартів вищої освіти. Адже, як наголошували ще радянські академіки А. Прохоров і Р. Сагдєєв: «…специалисты получившие достаточно широкое физико – математическое образование, приобретают способность к «физическому мышлению», могут самостоятельно осваивать новые технические направления, успешно работать в них, легко переходить от

решения одних задач к другим, искать нетрадиционные пути, хотя ничего подобного они, выражаясь по – студенчески, «не проходили» в вузе».

Традиційно в навчальних планах інженерних спеціальностей затверджених на всіх рівнях системи державних стандартів вищої освіти дисципліна «фізика» або «загальна фізика» присутня. Проте з року в рік проблемою є зменшення як загального обсягу годин, що виділяються на підготовку дисципліни, так і кількість годин, що відводяться на аудиторе вивчення. Крім того, необхідно наголосити, що часто розробники навчальних планів, через дефіцит годин у загальному навантаженні на студента, роблять велику методичну помилку, плануючи в одному семестрі крім лекцій лише практичні заняття, а в наступному – лише лабораторні заняття. Такий підхід до викладання фізики руйнує цілісність дисципліни, часто не дає можливості використати всі наявні традиційні та новітні методи і технології викладання, що приводить до зниження інтересу студентів до фізики і як наслідок – до зниження якості набутих знань.

Поряд з тим необхідно звернути увагу і на те, що представники профілюючих дисциплін у вузах притримуються точки зору, згідно якої ідеальним виходом з положення стало б «профілювання» курсу фізики, а також читання окремих її розділів на спецкафедрах. Простіше кажучи, мова йде про те, щоб майбутнім лікарям викладати «свою», а будівельникам – «свою» фізику, зрозуміло, у вкороченому об’ємі. Така точка зору є категорично невірною. Наслідком цього буде не тільки порушення загальної логіки викладання фізики як науки, всі розділи якої гармонійно пов’язані між собою, але і недостатньо кваліфікований виклад відповідних розділів викладачами, що не мають професійної фізико-математичної підготовки.

Враховуючи багаторічний досвід ВНЗ із викладання фізики, як однієї з фундаментальних дисциплін, можна підсумувати що умовами, які позитивно впливають на якість знань студентів з даної дисципліни мають бути, як використання і традиційних, і новітніх технологій викладання з виділенням в навчальних планах необхідної кількості годин, так і недопустимість порушення цілісності системи викладання дисципліни: лекція – практичне заняття – лабораторне заняття – самостійна та індивідуальна робота.

Список використаних джерел

1. Ю. М. Комар. Стандартизація вищої освіти як складова інноваційних механізмів державного впливу на підготовку студентів управлінських спеціальностей / Університетські наукові записки. Донецький державний університет управління, 2007, №4(24) с. 582-586.
2. Мовчан Л.В. Проблеми якості освіти в Україні / Рубрика: Соціум. Наука. Культура, Педагогіка. Уманський національний університет садівництва. intkonf.org «Архів», 2009.
3. Болонський процес – структурна реформа вищої освіти на європейському просторі / http://kpi.ua/bologna, 2012.
4. http://www.cap4com.eu/news-and-events, 2012.

УДК 517.956

ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ ОЦІНОК ВЛАСНИХ ЗНАЧЕНЬ ОПЕРАТОРА ЛАПЛАСА ДЛЯ ГРАНИЧНИХ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

доц. Лісковець С.М., студ. Жук Н.І.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

Розглядаються дві задачі: про одну оцінку першого власного значення оператора Лапласа на площині та про оцінку найменшого власного значення оператора Лапласа в трьохвимірному просторі.

Спочатку досліджується двостороння оцінка першого власного значення оператора Лапласа для такої задачі:

$$\Delta u + \lambda^2 u = 0$$
$$u\big|_{\partial D} = 0,$$

де $u = u(x, y)$, $\Delta = \dfrac{\partial^2}{x^2} + \dfrac{\partial^2}{y^2}$.

Поставлена задача розглядається у випуклій області D двохвимірного простору з кусково-гладкою границею ∂D.

Використовуючи відомі дослідження та результати робіт [1], [2], можна отримати двосторонні оцінки для першого власного значення оператора Лапласа, що виражаються через ефективні геометричні характеристики області. Відповідна подвійна нерівність має вигляд:

$$\frac{\mu_0^2 L^2}{8S^2}\left(1 + \frac{\sum\limits_k \sin\alpha_k}{2x}\right) \le \lambda_1^2 \le \frac{\mu_0^2\left(L^2 - 2mS\right)}{2S^2},$$

де λ_1 – перше власне значення оператора Лапласа, μ_0 - перший додатний корінь функції Бесселя, L – периметр області D, S - площа області D, α_k - кути многокутника, який апроксимує дану область D, m - площа многокутника, описаного навколо одиничного круга, сторони якого паралельні сторонам даного многокутника.

Застосовуючи граничний перехід до гладкого контору, можна отримати формулу, яка характеризує залежність суми синусів кутів відповідного многокутника, що апроксимує область, від геометричних характеристик цієї області:

$$\sum_k \sin\alpha_k = \frac{1}{2}\oint\limits_{\partial D} \frac{dl}{R(l)},$$

де $R(l)$ – радіус кривизни плоского контора ∂D.

В трьохвимірному просторі розглядається задача знаходження оцінки найменшого значення оператора Лапласа для такої граничної задачі:

$$\Delta u + \lambda^2 u = 0$$
$$u\big|_{\partial G} = 0,$$

де $u = u(x, y, z)$, $\Delta = \frac{\partial^2}{x^2} + \frac{\partial^2}{y^2} + \frac{\partial^2}{z^2}$.

Дана задача розглядається у випуклій обмеженій області Ω простору R^3, яка обмежена кусково-гладкою поверхнею G.

Використовуючи дослідження, методи якісної теорії диференціальних рівнянь з частинними похідними та результати робіт [1], [3], отримуємо двосторонню оцінку найменшого власного значення оператора Лапласа для даної задачі:

$$\frac{A^2 S^2}{9V^2} \cdot \frac{4\pi}{m} \le \lambda^2 \le \frac{A^2 S^2}{V^2},$$

де $\lambda -$ найменше власне значення оператора Лапласа, $A -$ перший ненульовий корінь функції Бесселя, $S -$ площа поверхні G, $V -$ об'єм області Ω, $m -$ об'єм многогранника, який описується навколо одиничної сфери, а його грані паралельні граням многогранника, що апроксимує випуклу обмежену область Ω.

Аналізуючи дану оцінку, потрібно зауважити, що вона є найбільш точною, якщо Ω - сферична область. Отримані нерівності для власних значень оператора Лапласа можна використовувати для аналізу стійкості розв'язків граничних задач математичної фізики.

Література:

1. Скоробогатько В.Я. Исследования по качественной теории дифференциальных уравнений с частными производными, – Київ, Наукова думка, 1980 – 344 с.

2. Полиа Г. Сеге Г. Изопериметрические неравенства в математической физике. – М. Физматгиз, 1962 –336 с.

3. Бобик О.І., Бондарчук .П.І., Пташник Б.Й., Скоробогатько В.Я. Елементи якісної теорії диференціальних рівнянь з частинними похідними. – Київ, Наукова думка,. 1972 – 176 с.

УДК 37.091.12:614.84

ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВ» У ЛУЦЬКОМУ НТУ

доц. Федорчук-Мороз В.І.
Луцький НТУ, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, fedmor70@ukr.net

У Луцькому національному технічному університеті здійснюється підготовка бакалаврів та магістрів за спеціальністю 263 «Цивільна безпека». У циклі професійної та практичної підготовки бакалаврів навчальна дисципліна «Пожежна безпека виробництв» читається у 7 та 8 семестрах обсягом 9 кредитів (270 годин). Ця дисципліна найтісніше пов'язана з такими дисциплінами як «Хімія» та «Фізика» з циклу природничо-наукової підготовки та «Теорія горіння і вибуху», «Потенційно небезпечні виробничі технології та їх ідентифікація», «Безпека експлуатації будівель і споруд» з циклу професійної та практичної підготовки.

Відповідно до професійних компетенцій бакалавра спеціальності 263 «Цивільна безпека». при оцінюванні небезпек виробництва майбутні фахівці навчаються визначити фізико-хімічні, токсичні та пожежовибухонебезпечні властивості речовин та матеріалів, що впливають на умови виникнення, розвитку, та локалізації аварійної ситуації технологічного вузла (тиск, температура тощо) при заданих умовах і безпечні параметри їх зберігання чи обертання в технологічних процесах виробництва для встановлення небезпеки виникнення аварії (пожежі, вибуху, хімічної, радіаційної, біологічної) або іншої надзвичайної ситуації техногенного характеру. Під час проведення експертизи проектної документації, за участю відповідних спеціалістів-проектувальників, використовуючи дані щодо технологічних процесів, речовин та матеріалів, що обертаються на потенційно небезпечних об'єктах, визначають їх фізико-хімічні, токсичні та пожежовибухонебезпечні властивості, місця проміжного та базисного зберігання матеріалів (їх вид та кількість) в умовах виробництва. Під час викладання дисципліни ми навчаємо студентів: ідентифікувати основні причини пожеж, пожежну небезпеку агрегатів та установок, що розміщені у приміщенні (будівлі, споруді); визначати пожежовибухонебезпечні показники речовин і матеріалів; контролювати нормативні вимоги щодо утримання території, протипожежних розривів, джерел протипожежного водопостачання; прогнозувати можливість і наслідки не виконання передбачених законодавством вимог пожежної безпеки; використовувати нормативно-правову базу для захисту об'єктів від виникнення можливих пожеж і боротьби з ним, якщо вони виникли; розробляти організаційні заходи і застосовувати технічні засоби захисту від дії небезпечних факторів пожеж; запобігати виникненню пожеж, а в разі їх виникнення приймати адекватні рішення та виконувати дії, спрямовані на їх ліквідацію [1].

Під час практичних занять майбутні фахівці з цивільної безпеки вчаться визначати категорію приміщення за вибухопожежонебезпекою, здійснивши відповідні розрахунки величини надлишкового тиску, знаходити площу пожежного відсіку для будівлі, що відноситься до певної категорії приміщень, з'ясовувати розрахунковий час евакуації людей в разі виникнення пожежі, розраховувати необхідний об'єм протипожежного запасу води, необхідну тривалість його поповнення і додатковий об'єм протипожежного запасу води для зовнішнього пожежогасіння виробничого будинку, а також визначати необхідні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій виробничої будівлі, в якій розміщується виробництво. В ході вивчення дисципліни передбачено виконання курсової роботи, мета якої – систематизація теоретичних знань фахівців на першому (освітньому) рівні із дисципліни «Пожежна безпека виробництва», закріплення навичок із визначення категорії приміщення й експертизи протипожежного стану об'єкта та розробка заходів протипожежного характеру. Кожен студент при виконанні курсової роботи намагається кваліфіковано вирішити технічні задачі щодо забезпечення пожежної безпеки об'єктів різних форм власності; виконує розрахунки, аналізує і розробляє технологічні документи, складає пояснювальні записки; опрацьовує нормативно-правові акти з пожежної безпеки та довідкову літературу.

У вступі студенти надають загальну характеристику виду економічної діяльності згідно КВЕД, де застосовується виробниче приміщення, його значення та місце в структурі економіки ; загальна характеристика пожежної небезпеки та обґрунтування необхідності розробки заходів протипожежного захисту. У теоретичній частині наводять основні поняття та класи пожежної безпеки, категорії приміщень за вибухопожежонебезпекою, з'ясовують, до якої категорії належить дане приміщення, які речовини та яка їх кількість будуть спричиняти пожежну небезпеку і наводять конкретні вимоги пожежної безпеки для досліджуваного приміщення, в тому числі і наявність евакуаційних виходів. В розрахунковій частині студенти визначають температурний режим пожежі (під час його повного розвитку та затухання), будують графік залежності температури пожежі від її тривалості, аналізують його і пропонують заходи щодо зниження пожежної небезпеки конкретного виробничого об'єкта. Під час вивчення дисципліни студенти працюють з періодичною літературою, зокрема з журналами «Охорона праці та пожежна безпека» та «Пожежна та техногенна безпека» та з даними офіційного сайту ДСНС України [2].

Список використаних джерел

1. ГСВОУ: 2009 Галузевий стандарт вищої освіти України. Освітньо-кваліфікаційна характеристика бакалавра. Галузь знань 1702 «Цивільна безпека». Напрям підготовки 6.170202 «Охорона праці»/ розробники: В. Батлук, О.Вільсон, В. Зацарний, Ю. Кіт, Б. Коржик, К. Ткачук, О. Третьяков, Ю. Уваров, Т. Чікаліна. – К. : МОН, 2009. – 55 с.

2. http://www.dsns.gov.ua - Офіційний сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

ЗМІСТ

Секція 1. Фізико-хімічні властивості та структура матеріалів

1. Бабула І.В., Захарчук Д.А., Ящинський Л.В., Коваль Ю.В. 3
ВПЛИВ ІЗОВАЛЕНТНОЇ ДОМІШКИ ГЕРМАНІЮ НА УТВОРЕННЯ ТЕРМОДОНОРІВ У КРЕМНІЇ
2. Бігун Р. О., Приймак Р., Шаварова Г. П. 5
ВПЛИВ КУТА РОЗОРІЄНТАЦІЇ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАНИЦЬ ЗЕРЕН У КРИСТАЛАХ СПОЛУК $A^{III}B^{V}$
3. Bodnarchuk I.O., Konyk M.B., Romaka L.P., Orovčik L., Romaka V.V. 7
CRYSTAL STRUCTURE OF $YCr_{0.23}Ge_2$ and $YCu_{0.30}Ge_2$ TERNARY COMPOUNDS
4. Волошин І. М., Шпирка З. М. 10
НЕПЕРЕРВНІ РЯДИ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ У ПОТРІЙНИХ СИСТЕМАХ ДВОХ РЗМ ТА ГЕРМАНІЮ
5. Горяча М., Ничипорук Г., Муць І., Заремба В. 12
СИСТЕМА $GdNiIn_{2-x}Ga_x$ (x = 0-2)
6. Гулай Н., Тиванчук Ю., Каличак Я. 14
ФАЗОВІ РІВНОВАГИ У СИСТЕМАХ Sc-(Co, Ni, Cu)-In.
7. Замуруєва О.В., Конотопчик І.О., Мирончук Д.Б., Шигорін О.П. 16
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ ГРУПИ $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$
8. Замуруєва О.В., Коровицький А.М., Федосов С.А., Мороз В.В. 18
ЗАЛЕЖНІСТЬ ТИПУ ПРОВІДНОСТІ СПОЛУК $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ ВІД КАТІОННОГО ЗАМІЩЕННЯ
9. Заремба Н., Ничипорук Г., Серкіз Р., Павлюк В. 20
СИСТЕМИ $RCuIn_{1-x}Ga_x$ (R = La, Ce) ПРИ 870 К
10. Здоров Т.П., Жак О.В. 21
НОВІ ТЕРНАРНІ ФОСФІДИ ГОЛЬМІЮ ТА ПАЛАДІЮ
11. Khomiuk A.V., Pavlenko A.O., LyutyyP.Ya., Trostianchyn A.M. 24
CRYSTAL STRUCTURE OF THE EXTREME COMPOSITION OF THE Ni_2Si-Ga SOLID SOLUTION
12. Козак В.С., Тищенко П.В., Олексеюк І.Д., Іващенко І.А. 27
ІЗОТЕРМІЧНИЙ ПЕРЕРІЗ КВАЗІПОТРІЙНОЇ СИСТЕМИ Cu_2S – In_2S_3 – CuI ПРИ 770К
13. Кравець М.А., Захарчук Д.А. 30
ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ, ЛЕГОВАНИХ ІЗОВАЛЕНТНОЮ ДОМІШКОЮ ГЕРМАНІЮ, ЩО БУЛИ ПІДДАНІ ТЕРМООБРОБЦІ
14. Кушнір А., Ломницька Я. 31
ВЗАЄМОДІЯ ТАНТАЛУ ТА ВАНАДІЮ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ ФОСФОРУ

15. Loboda N., Kapustianyk V., Eliyashevskyy Yu., Czapla Z. 33
INFLUENCE OF ISOMORPHIC SUBSTITUTION OF METAL ION ON PHASE TRANSITION AND DIELECTRIC DISPERSION IN $DMAAl_{1-x}Cr_xS$ CRYSTALS'
16. Lavrentyev A.A., Gabrelian B.V., Vu Tuan V., Luzhnyi I.V., Parasyuk O.V., Khyzhun O.Y. 37
DTF CALCULATIONS AND XPS STUDUDIES OF THE ELECTRONIC STRUCTURE OF Tl_4HgBr_6
17. Мазур Т.М, Прокопів В.В, Дзундза Б.С, Туровська Л.В. 42
ТОЧКОВІ ДЕФЕКТИ У ТОНКИХ ПЛІВКАХ CdTe
18. Макогон В.М., Нестерівська С.П., Сидорко М.С., Колодій М.В., Яцишин М.М. 44
СТРУКТУРА КОМПОЗИТІВ ГЛАУКОНІТ/ПОЛІАНІЛІН, ДОПОВАНИЙ ФОСФАТНОЮ КИСЛОТОЮ
19. Мельничук Х. О., Гулай Л. Д., Марчук О. В. 48
СИСТЕМА Ho_2S_3 – NiS – SnS_2 ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 770 К
20. Місюк С.Я., Коровицький А.М. 51
МЕХАНІЗМИ РОЗСІЯННЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В n-Si З ІЗОВАЛЕНТНОЮ ДОМІШКОЮ Ge
21. Новосад О. В., Марчук Б. С., Божко В. В. 53
ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА МОНОКРИСТАЛАМИ $CuInSe_2$-$ZnIn_2Se_4$ ПРИ T=77 K
22. Pas'ko M.I., Prudnikov A.M., Shalaev R.V. 55
THE HYBRID NI-C-FILM STRUCTURES OBTAINED BY METHOD MAGNETRON DEPOSITION
23. Романів І.М., Ромака Л.П., Павлюк В.В. 57
ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ В ПОТРІЙНИХ СИСТЕМАХ R-Ni-Sn
24. Панченко Т.В., Дяченко А.О. 61
ФОТОХРОМІЗМ КРИСТАЛІВ СИЛЕНІТІВ З ДЕФЕКТАМИ СТРУКТУРИ
25. Собко М.Є., Рогачова О.І., Дорошенко Г.М. 63
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІВ Bi_2Te_3 З МАЛОЮ ДОМІШКОЮ Bi_2Se_3 (0 – 2,5 мол.%) ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 300 К
26. Chaykivska R.T., Stadnik V.E., Sozanskyi M.A., Shapoval P.Yo., Laruk M.M., Yatchyshyn Yo.Yo., Kovalskyi Ya.P. 65
QUANTUM-CHEMICAL MODELING OF SYNTHESIS REACTIONS OF SEMICONDUCTOR HgSe FILMS
27. Чорна Н.О., Думас І.Ю., Мирош Л.В, Зелінська О.Я., Кордан В.М., Зелінський А.В., Павлюк В.В. 68
СТРУКТУРНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗ $LaZn_{1-x}Fe_xTAGdZn_{1-x}Fe_x$, x = 0,4

Секція 2. Новітні фізичні та хімічні методи дослідження і технології

1. Бобокало С.Ю., доц. Ящинський Л.В., Коваль Ю.В., Захарчук Д. А. 71
ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ ТВЕРДИХ ПАРАМАГНІТНИХ РЕЧОВИН ТА ЇХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ
2. Бондар К.А., Зайчук Н.П. 72
ЗМІНА КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІНОПОЛІУРЕТАНУ З ДОДАВАННЯМ ДОМІШОК ДЕРЕВНОГО БОРОШНА
3. Боярська І.В., Вишинський М.І., Кашицький В.П. 76
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОНАПОВНЕНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ
4. Богданюк М.С., Ващук О.В., Кривець Л.А. 78
РЕЖИМ РОБОТИ І КЛАСИФІКАЦІЯ ЛАЗЕРІВ НА ВІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОНАХ
5. Бухарін В.В., Ящинський Л.В. 80
ПРО ТЕХНОЛОГІЮ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ НА ОСНОВІ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ
6. Вишинський М., Дмитріюк М.В. 83
ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ
7. Геліч С.А., Дмитріюк М.В. 85
ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗНОШУВАННЯ МІДИСТИХ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ
8. Доля С.П., Дмитріюк М.В. 86
УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ДЕРЕВООБРОБКИ НА БАЗІ ПІДПРИЄМСТВА «ЛІСТРАНСБУД»
9. Захарчук Д.Ю., Панасюк Л.І. 88
СЕНСОР ТЕМПЕРАТУРИ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ
10. Малець В.М., Кашицький В.П., Савчук П.П., Матрунчик Д.М., Динь Я.В. 91
СТІЙКІСТЬ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ, МОДИФІКОВАНИХ У ФІЗИЧНИХ ПОЛЯХ, ДО ВПЛИВУ ЗНАКОЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР
11. Садова О.Л., Кашицький В.П., Щеглов С.М., Свиридюк Б.Ю. 93
МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ, НАПОВНЕНИХ ПОРОШКОМ ЗАЛІЗА
12. Свиридюк Б.Ю., Фурс Т.В. 95
РАФІНУВАННЯ МЕТАЛІВ
13. Махновець Г. В., Мирончук Г. Л., Піскач Л. В., Кот Ю. О. 97
МЕТОДИКА ВИРОЩУВАННЯ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ $TlGaSe_2$–$Zn^{+2}(Cd^{+2},Hg^{+2})Se$
14. Мельничук М.Д., Мельник О.А. 101
ОТРИМАННЯ МІКРОКРИСТАЛІЧНОЇ ЦЕЛЮЛОЗИ ІЗ ВОЛОКОН ТЕХНІЧНОЇ КОНОПЛІ

15. Надєіна О. О., Шемет В. Я. 104
ПРОМИСЛОВІ МЕТОДИ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ
16. Новосад О. В., Божко В. В., Федосов С.А. 107
МОНОКРИСТАЛИ $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ ЯК МАТЕРІАЛ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ
17. Резчиков С. Е. 110
ЦИФРОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ФЛИККЕР-ШУМА
18. Tkach V.V., Kushnir M.V., Choban A.F., de Oliveira S.C., Luganska O.V, Kopiika V.V., Yagodynets P.I. 112
THE THEORETICAL DESCRIPTION OF LETROZOL ELECTROCHEMICAL DETERMINATION, ASSISTED BY A RHENIUM-POLYMER COMPOSITE
19. Tkach V.V., de Oliveira S.C., Luganska O.V., Parchenko V. V., Bigdan O. A., Tchkiuala E. F., Yagodynets P.I. 114
THE THEORETICAL DESCRIPTION OF PURPUROGALLINE ELECTROCHEMICAL DETERMINATION ON A CARBON MATERIAL, MODIFIED BY NOVEL TRIAZOLIC DERIVATIVES
20. Tkach V.V., de Oliveira S.C., Luganska O.V., Kopiika V.V., Parchenko V. V., Bigdan O. A., Gotsylya A. S., Yagodynets P.I. 116
THE THEORETICAL DESCRIPTION FOR THE ESTRADIOL ELECTROCHEMICAL DETERMINATION, ASSISTED BY A NEW TRIAZOLIC DERIVATIVE
21. Удовицька Ю.А., Кашицький В.П., Луньов С.В., Савчук П.П., Маслюк В.Т. 118
ВПЛИВ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ
22. Христинець А.О., Коваль Ю.В. 121
ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ АКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ З ЦИФРОВОЮ ІНДИКАЦІЄЮ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC16F628A
23. Яремчук Я., Гулай О.І. 122
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ «ВОЛОКНА КОНОПЛІ – ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТ»

Секція 3. Проблемні питання мікро- та нано-електроніки, наноструктурні матеріали

1. Bondarenko M., Bondarenko Yu., Bilokin S., Andriienko V. 125
FORECASTING THE TIME OF RELIABLE OPERATION OF OPERATING ELEMENTS OF THE OPTICAL GONIOMETER BY THE METHOD OF ATOMIC-FORCE MICROSCOPY
2. Кавара А., Гулай О.І. 129
РЕЦИКЛЮВАННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ ШЛАМІВ

3. Кононенко Я. А., Яворський Ю. В., Зауличний Я.В. 131
ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ НА КРИСТАЛО-СТРУКТУРНІ ПАРАМЕТРИ, МОРФОЛОГІЮ ТА ЗАРЯДОВІ ЄМНОСТІ ЛДС З КАТОДАМИ НА ОСНОВІ СУМІШІ $0,8SIO_2/0,2TIO_2$
4. Луньов С.В., Зімич А.І., Хвищун М.В., Маслюк В.Т., Бабула І.В. 134
ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ МАГНІТНОЇ ТА ФОТОЧУТЛИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ n-Si <P>
5. Луцюк Ю.В. 136
РОЗРАХУНОК СПЕКТРУ АКУСТИЧНИХ КЛИВАНЬ У НАНОПЛІВКАХ GaN і AlN
6. Солован М.М., Мар'янчук П.Д. 138
ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ МОЛІБДЕНУ
7. Tkach V.V., Storoshchuk N.M., Icvanushko Y.G., Ahafonova O.V., de Oliveira S.C., Luganska O.V., Yagodynets P.I. 140
THE THEORETICAL DESCRIPTION OF POLYPYRROLE CATHODIC ELECTRODEPOSITION ON A CARBON MATERIAL, DOPED BY PERVANADYL ION
8. Ткач В.В., Кушнір М.В., Сторощук Н.М., Іванушко Я.Г., Луганська О.В., де Олівейра С.С., Ягодинець П.І. 142
ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС КАТОДНОГО СПІВОСАДЖЕННЯ ПОЛІ(3,4-ДИМЕТОКСИПІРОЛУ) З РЕНІЄМ НА ПОЛІМЕРНОМУ ЕЛЕКТРОДІ, МОДИФІКОВАНОМУ ПЕРРЕНАТОМ
9. Ткачук І.Г., Хом'як В.В., Ковалюк З.Д. 144
СТВОРЕННЯ ГЕТЕРОПЕРЕХОДУ $n\text{-}Zn_{0.5}Cd_{0.5}O/p\text{-}InSe$. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ СТРУМОПЕРЕНОСУ

Секція 4. Теоретичні та прикладні питання математичної фізики

1. Гануліч Б.К., Круглік О. 146
ПРО ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КРИТЕРІЙ КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ
2. Головіна Н.А., Налепа А.О. 148
ВИВЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ДОЦЕНТРОВОЇ СИЛИ ВІД ПАРАМЕТРІВ ТІЛА ТА ЙОГО РУХУ
3. Губаль Г.М., Велесюк М. 151
ПОБУДОВА СИСТЕМИ ДИНАМІЧНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ОПИСУ РОСТУ ЗЛОЯКІСНОЇ ПУХЛИНИ
4. Заблоцький В.Ю., Селепина Й.Р., Лишук В.В., Ткачук А.А. 153
ІНДУКТИВНІ ДАВАЧІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЯК КЛЮЧОВИЙ ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

5. Карпа І.В., Свелеба С.А., Катеринчук І.М., Куньо І.М. 156
ВЗАЄМОДІЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ З НЕСПІВМІРНОЮ НАДСТРУКТУРОЮ
6. Крадінова Т.А., Матвіїв Ю.Я. 160
ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ СИСТЕМИ БЕЗ ОПОРУ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ МАСИ
7. Крадінова Т.А., Барбадин О. 162
ВИПАДКИ ІНТЕГРОВНОСТІ НЕПОВНИХ ЛІНІЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ ЗІ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ
8. Матвіїв Ю.Я., Пирожук А.О. 164
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ АРМАТУРИ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ
9. Онищук О.О., Кормош Ж.О. 168
ДО ОПТИМІЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ КРИТЕРІЮ НУСЕЛЬТА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ІОНООБМІННИХ ФІЛЬТРІВ
10. Терлецький Т., Мороз С., Приступа С. 171
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДАВАЧІВ DHT22 І YL-69 В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ
11. Тимощук В.М., Балабаш М.І. 174
ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗБІГУ ВІБРОМАШИН З ДЕБАЛАНСНИМИ ЗБУДНИКАМИ, ЩО САМОСИНХРОНІЗУЮТЬСЯ
12. Тимощук В.М., Мороз С.П. 177
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІГАРМОНІЧНИХ ФУНКЦІЙ В ТЕОРЕМАХ НАБЛИЖЕННЯ
13. Ткач В.В., Кушнір М.В., де Олівейра С.С., Незвещук-Когут Т.С., Паламарек К.В., Чікуала Е.Ф., Листван В.В., Дитинченко І.М., Ягодинець П.І. 181
ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС ВИЗНАЧЕННЯ БАРВНИКІВ ГРУПИ СУДАНІВ В ЗРАЗКАХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ З ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОДУ, МОДИФІКОВАНОГО КОБАЛЬТ (III) ОКСИГІДРОКСИДОМ НА ДЕЯКИХ ПОХІДНИХ ГІДРОХІНОНУ
14. Ткач В.В., Сторощук Н.М., Луганська О.В., де Олівейра С.С., де Сілва Ж.Р., Паламарек К.В., Ягодинець П.І. 184
ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПРОТИГІПЕРТОНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГРУПИ САРТАНІВ НА ПРОВІДНОМУ ПОЛІМЕРІ, ЩО МІСТИТЬ ПІРИДИНОВИЙ АТОМ НІТРОГЕНУ
15. Trokhimchuck P., Kovalyova A., Volkomurova K., Savchuk O., Shutovskyi A. 187
SOME PROBLEMS OF MODELING THE PHASE TRANSFORMATIONS IN RELAXED OPTICS

16. Чернящук Н.Л. 191
ЗАХИСТ ДАНИХ В WI-FI МЕРЕЖАХ
17. Шевелєва К.Ю., Косинська О.Л. 194
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ОХОЛОДЖЕННЯ РОЗПЛАВУ ПРИ ЛИТТІ У МЕТАЛЕВУ ВИЛИВНИЦЮ З НАПІВНЕСКІНЧЕНИМИ СТІНКАМИ ТА ЗІ СТІНКАМИ КІНЦЕВОЇ ТОВЩИНИ

Секція 5. Методологія навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі

1. Бандура І.А., Гулай О.І. 197
ЗАДАЧІ ПРАКТИЧНОГО СПРЯМУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ
2. Богданюк М.С., Ващук О.В., Кривець Л.А. 199
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ФІЗИЦІ
3. Гуда О.В., Гуда В.С. 201
ПРИКЛАДНЕ СПРЯМУВАННЯ ЛІНІЙНОЇ АЛГЕБРИ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
4. Гулай О.І., Шемет В.Я. 203
ВИКЛАДАЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ У КОНТЕКСТІ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ
5. Кабак В.В. 205
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ СФЕРИ ТУРИЗМУ
6. Коваль Ю.В., Захарчук Д.А., Ящинський Л.В., Тищук М.А. 209
РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У ВИЩІЙ ШКОЛІ В СУЧАСНИХ РИНКОВИХ УМОВАХ
7. Лісковець С.М., Жук Н.І. 211
ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ ОЦІНОК ВЛАСНИХ ЗНАЧЕНЬ ОПЕРАТОРА ЛАПЛАСА ДЛЯ ГРАНИЧНИХ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ
8. Федорчук-Мороз В.І. 213
ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВ» У ЛУЦЬКОМУ НТУ

МАТЕРІАЛИ V ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ
«Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи»
25-26 жовтня 2018 р.

Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи: Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, 25-26 жовтня 2018 р., м. Луцьк. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. – 224 с.

У збірнику представлені тези доповідей учасників конференції у авторській редакції.

Для студентів, аспірантів, науковців та фахівців.

Підписано до друку 21.10.2018 р. Формат 60х80/16. Папір офс.
Ум. друк. арк.14,0 . Тираж 100 прим. Зам. 69.

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.
Друк – ІВВ Луцького НТУ
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК №4123 від 28.07.2011 р.