

Порівняння електрофізичних характеристик нелегованих кристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ та $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ ($x, y \leq 0,1$)

П. Фочук¹, Є. Никонюк², З. Захарук¹, С. Дремлюженко¹, С. Солодін¹, О. Копаць¹, А. Опанасюк³

¹ Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, вул. М. Коцюбинського, 2, 58012 Чернівці, Україна

² Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, 33000 Рівне, Україна

³ Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007 Суми, Україна

(Одержано 27.05.2016, у відредагованій формі – 22.11.2016, опубліковано online 29.11.2016)

Проведено аналіз температурної залежності ($T = 80 \div 360$ К) електрофізичних властивостей кристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ та $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ ($x, y \leq 0,1$), вирощених вертикальним методом Бріджмена. Встановлено, що в кристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ провідність контролюється як акцепторами A_1 ($\varepsilon_A^0 = 0,03 \div 0,05$ еВ), так і акцепторами A_2 ($\varepsilon_A^0 \approx 0,12$ еВ), енергія іонізації яких не залежить від складу, а в кристалах $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ і $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ лише акцепторами A_2 , при цьому залежність $\varepsilon_{A2}(y)$ описується рівнянням: $\varepsilon_{A2} = 0,12(1 + 5,5y)$, еВ.

Ключові слова: Тверді розчини $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ та $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$, Монокристали, Метод Бріджмена, Електрофізичні властивості.

DOI: 10.21272/jnep.8(4(1)).04011

PACS numbers: 72.20. – i, 72.80.Ey

1. ВСТУП

Перспективи практичного застосування напівпровідникових матеріалів обумовлені в першу чергу електричними властивостями кристалів. Тверді розчини $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ і $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ широко застосовуються в багатьох оптоелектронних пристроях, таких як оптичні фільтри, фоторефрактивні елементи, детектори рентгенівського та гамма-випромінювання [1-4] тощо. Перевагою твердих розчинів є можливість широкого варіювання ширини забороненої зони, параметрів ґратки та деяких інших характеристик матеріалів при зміні співвідношення компонентів [5]. В процесі вирощування таких кристалів нами було встановлено, що якість одержуваних кристалічних блоків матеріалу залежить від рівномірності розподілу компонентів в твердому розчині та тривалості синтезу і вирощування злитків [6, 7]. Основним фактором, який впливає на взаємодію шихти і матеріалу контейнера, є наявність залишкових оксидів, які вносяться з вихідним матеріалом, а також ступінь їх чистоти. Слід відмітити, що коефіцієнти сегрегації марганцю ($k = 1$) і цинку ($k = 1,35$) в CdTe суттєво різняться між собою. Внаслідок цього, кристали $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ мають рівномірний розподіл Mn по всьому злитку і однорідніші від кристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ [2]. Вивчення нового твердого розчину $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ повинно розширити можливості технологічного впливу на електрофізичні параметри кристалів даної групи. Відзначимо, що переважна кількість робіт, яка існує на наш час, присвячена вивченню кристалів з низькою концентрацією носіїв струму (з великим опором), як правило, спеціально легованих мілкими донорами. Значно менше уваги приділено нелегованим кристалам з високою концентрацією носіїв, вирощеним традиційним методом Бріджмена. Саме на таких кристалах доцільно порівняти електрофізичні характеристики. Раніше нами вивчені оптичні та деякі електрофізичні характерис-

тики плівок та монокристалів $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ [8-10].

2. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Кристали $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ (КЦТ), $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ (КМТ) та $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ (КЦМТ) одержували з шихти, приготовленої зі стехіометричних наважок вихідних компонентів класу чистоти не нижче 5N. Після тривалого синтезу (72 год.) проводили вирощування монокристалів методом Бріджмена (градієнт температури на фронті кристалізації $10 \div 15$ К/см, швидкості росту – 2 мм/год).

З вирощених кристалів виготовляли зразки для електрофізичних досліджень у формі прямокутних паралелепіпедів розміром $(12 \times 2 \times 1,5)$ мм³. Струмкові контакти і дві пари симетричних холлівських контактів до експериментальних зразків виготовлялись шляхом осадження шару золота з краплі AuHNO_3 , після іскрової обробки контактних площадок. Вимірювання проводились на постійному струмі, в магнітному полі з індукцією 0,5 Тл. Сигнали фіксувались цифровим вольтметром з вхідним опором 10^7 Ом і чутливістю 0,01 мВ, а при низьких температурах – електрометром з вхідним опором 10^{12} Ом і чутливістю 0,1 мВ.

В області температур $T = 80 \div 360$ К досліджувались температурні залежності (ТЗ) коефіцієнта Холла R_H і холлівської рухливості носіїв струму μ . Величина μ визначалась за формулою $\mu = \sigma R_H$, де σ – питома електропровідність кристалу.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Досліджені зразки мали діркову провідність з питомим опором при 300 К в межах $\rho = (3 \div 20)$ Ом·см і рухливістю дірок в межах $\mu = (50 \div 70)$ см²/В·с. На рис. 1 представлені ТЗ коефіцієнта Холла R_H зразків різного складу.

Наявність на кривих як області виморожування

носіїв (низькі температури), так і області повної іонізації ($p_{нас}$) акцепторів (високі температури), дозволило, в рамках моделі компенсованих акцепторів, визначити їх енергію іонізації ϵ_A^0 , ступінь компенсації $[A^-]/[A]$, а за точкою $p_{нас} = [A] - [A^-]$ і концентрацію відповідних акцепторів $[A]$. При цьому вважалось, що ефективна маса носіїв струму в зразках усіх складів $m_p = 0,63m_0$, статистичний фактор для мілких акцепторів A_1 (зр.1, 2) $\beta = 4$, а для глибших акцепторів A_2 (зр. 3-8) $\beta = 2$. Результати аналізу узагальнені в таблиці 1 та на рис. 2.

Додаткову інформацію про параметри дефектно-домішкової системи отримано з аналізу ТЗ рухливості дірок (рис. 3).

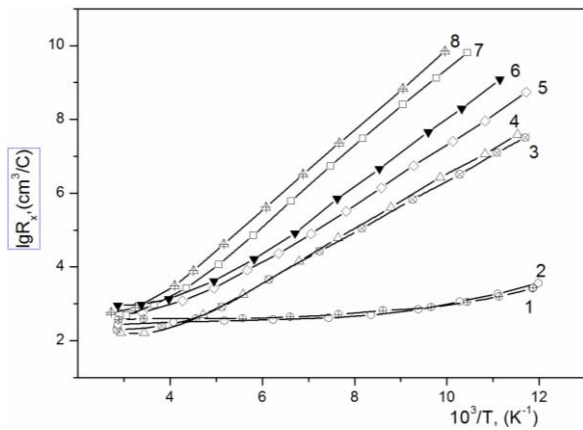


Рис. 1 – Температурна залежність коефіцієнта Холла в зразках кристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (1, 3 – $x = 0,04$; 2, 4 – $x = 0,10$); $Cd_{1-y}Mn_yTe$ (5, 6, 7 – $y = 0,04$; 0,06; 0,100 відповідно); $Cd_{1-x-y}Zn_xMn_yTe$ (8 – $x = 0,05$, $y = 0,10$)

Таблиця 1 - Концентрація центрів в кристалах твердих розчинів

Кристали	Вид акцепторів	$[A_2], 10^{16}, \text{см}^{-3}$	$[A_1], 10^{16}, \text{см}^{-3}$	$N_i, 10^{16}, \text{см}^{-3}$
$Cd_{1-x}Zn_xTe$	A_1, A_2	$0,5 \div 2$	$3 \div 10$	$6 \div 22$
$Cd_{1-y}Mn_yTe$	A_2	$0,5 \div 6$	$4 \div 20$	$8 \div 50$
$Cd_{1-x-y}Zn_xMn_yTe$	A_2	$1,7; 2,3$	$9; 16$	$20; 35$

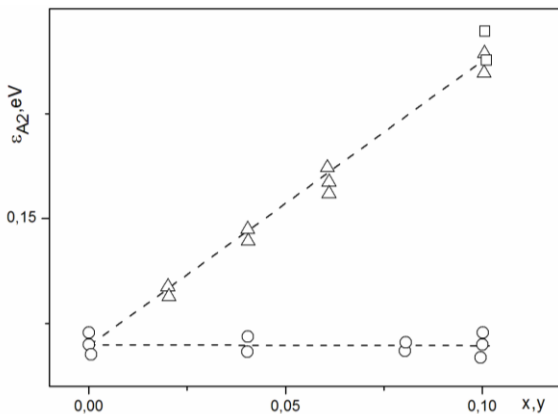


Рис. 2 – Залежність енергії іонізації акцепторів (ϵ_A^0) від складу (x, y) кристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (O), $Cd_{1-y}Mn_yTe$ (Δ) і $Cd_{1-x-y}Zn_xMn_yTe$ (\square)

Зокрема, оцінено концентрацію іонізованих розсіюючих центрів N_i . Для цього за правилом Матіссена виділялась рухливість μ_0 , обумовлена розсіянням на іонізованих домішках μ , і за формулою Брукса-Херінга розраховувались значення N_i :

$$1/\mu = 1/\mu_0 + 1/\mu; \mu_0 = 57[\exp(252/T) - 1], (\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с});$$

$$\mu = 0,83 \cdot 10^{18} T^{3/2} N_i^{-1} (\ln b + 3,4)/(\ln b + 3,8)^2, (\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}),$$

$$\text{де } b = 10^{13} T^2 (p')^{-1}, \text{ а } p' \approx p_{нас}.$$

4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

В нелегованих кристалах телуриду кадмію, вирощених вертикальним методом Бріджмена (без додаткового тиску), завжди реалізується діркова провідність, яка контролюється акцепторами двох типів: A_1 , з енергією іонізації (0,03-0,05) eВ, та A_2 , з енергією іонізації $\sim 0,12$ eВ. У випадку кристалів твердих розчинів ситуація радикально не змінюється. При цьому якщо в кристалах $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ТЗ R_H визначається як акцепторами A_1 (1, 2 рис. 1), так і акцепторами A_2 (3, 4), то у випадку кристалів $Cd_{1-y}Mn_yTe$ не виявлено жодного зразки, де б акцептори A_1 контролювали ТЗ R_H . Але і в цьому випадку концентрація таких акцепторів є не меншою, ніж в кристалах $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (табл. 1) (вона розраховується через N_i : $[A_1] = 0,5 N_i - [A_2]$).

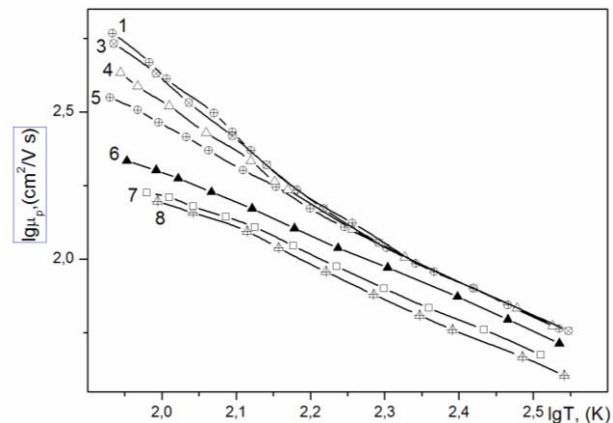


Рис. 3 – Температурна залежність рухливості дірок в зразках кристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$, $Cd_{1-y}Mn_yTe$, $Cd_{1-x-y}Zn_xMn_yTe$ (нумерація кривих відповідає рис. 1)

Широкий діапазон концентрацій акцепторних центрів у кристалах $Cd_{1-x}Zn_xTe$ і $Cd_{1-y}Mn_yTe$ в табл. 1 зумовлений узагальненням за великим масивом зразків (більше 10 кожного складу); в цей час досліджено лише два зразки зроблені з одного кристалу $Cd_{1-x-y}Zn_xMn_yTe$. Відмітимо, що нижня межа концентрацій стосується зразків з початкових (по ходу росту кристалу) ділянок злитків. Це вказує на те, що переважна кількість неконтрольованих домішок має коефіцієнт сегрегації менший від одиниці.

Оскільки акцептори A_1 в кристалах $Cd_{1-y}Mn_yTe$ повністю компенсовані, то можна стверджувати, що концентрація компенсуючих донорів в кристалах $Cd_{1-y}Mn_yTe$ вища, ніж в кристалах $Cd_{1-x}Zn_xTe$. Можливо, причина тривіальна: використаний нами марганець забруднений домішкою, яка проявляє донорну дію. Але вартий уваги той факт, що криста-

ли CdTe-Mn при концентрації домішки Mn меншій від 10^{19} см^{-3} мають провідність n -типу, чого не спостерігається в кристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ вирощених в аналогічних умовах.

Принципова відмінність між кристалами $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, з одного боку, і кристалами $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ (і $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$), з іншого, полягає в характері залежності енергії іонізації акцепторів A_2 від складу кристалу (рис. 2).

В кристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ суттєвих змін значень ε_{A_2} з ростом значень x не виявлено. В цей же час в кристалах $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ аналогічна залежність $\varepsilon_{A_2}(y)$ описується рівнянням: $\varepsilon_{A_2} = 0,12(1 + 5,5y)$, еВ. У це рівняння вкладаються значення ε_{A_2} для зразків кристалу $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$. Слід відмітити, що практично таку ж саму залежність $\varepsilon_{A_2}(y)$ отримано при дослідженні спектрів люмінесценції кристалів $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$.

Вважається, що акцептори A_2 це комплекси (DcaV_{Cd}), тобто обидва компоненти катіонного походження. І тому енергетичне положення комплексу прив'язане до дна зони провідності. В такому разі в кристалах твердих розчинів швидкість відносного віддалення акцепторного рівня A_2 від вершини валентної зони повинна бути співмірною зі швидкістю відносної зміни ширини забороненої зони. Усереднюючи дані робіт [5, 11], можемо записати: $(\Delta E_g/E_g)/\Delta x = (\Delta \varepsilon_{A_2}/\varepsilon_{A_2})/\Delta x \approx 1$ еВ/моль. Тоді при $\Delta x = 0,1$ отримуємо $\Delta \varepsilon_{A_2} \approx 0,01$ еВ, що лежить в межах точності експерименту. А це означає, що з кристалами $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ в цьому аспекті проблем немає. Стоючись «проблематичних» кристалів $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$, враховуючи збереження іоном Mn^{2+} магнітного моменту

в матриці кристалу [12], можна запропонувати, як робочу, версію про «локалізоване» і «делокалізоване» входження атомів Mn в ґратку при різних концентраціях. На підставі такої ідеї можна спробувати пояснити і зміну типу провідності матеріалу при 10^{19} см^{-3} Mn і аномально високу швидкість зміни ε_{A_2} . Але це тема окремого дослідження.

5. ВИСНОВКИ

В кристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ провідність контролюється як акцепторами A_1 ($\varepsilon_A^0 = 0,03 \div 0,05$ еВ), так і акцепторами A_2 ($\varepsilon_A^0 \approx 0,12$ еВ), а в кристалах $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ і $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ лише акцепторами A_2 . Положення енергетичного рівня акцептора A_2 , в кристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, жорстко прив'язане до вершини валентної зони. В цей же час в кристалах $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ залежність $\varepsilon_{A_2}(y)$ описується рівнянням: $\varepsilon_{A_2} = 0,12(1 + 5,5y)$, еВ. У це рівняння вкладаються значення ε_{A_2} отримане для зразків кристалу $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$. В кристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ концентрація акцепторів A_2 лежить в межах $(5 \cdot 10^{15} \div 2 \cdot 10^{16}) \text{ см}^{-3}$, а в кристалах $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ – в межах $(5 \cdot 10^{15} \div 6 \cdot 10^{16}) \text{ см}^{-3}$. Величина N_I найбільша в кристалах $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ ($N_I^{\text{max}} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$).

6. ПОДЯКИ

Робота була підтримані Міністерством освіти і науки України (Проекти (№ 0115U003242, №0115U000665с).

Сопоставление электрофизических характеристик нелегированных кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ та $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ ($x, y \leq 0,1$)

П. Фочук¹, Є. Никонюк², З. Захарук¹, С. Дремлюженко¹, С. Солодин¹, О. Копач¹, А. Опанасюк³

¹ Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, ул. М. Коцюбинского, 2
258012 Черновцы, Украина

² Национальный университет водного хозяйства и природопользования, ул. Соборная, 11,
33000 Ровно, Украина

³ Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, 40007 Сумы, Украина

Проведен анализ температурных зависимостей ($T = 80 \div 360$ К) электро-физических свойств кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ и $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ ($x, y \leq 0,1$) выращенных вертикальным методом Бриджмена. Установлено, что в кристаллах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ проводимость контролируется как акцепторами A_1 ($\varepsilon_A^0 = 0,03 \div 0,05$ эВ), так и акцепторами A_2 ($\varepsilon_A^0 \approx 0,12$ эВ), энергия ионизации которых зависит от состава, а в кристаллах $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ и $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ только акцепторами A_2 , при этом зависимость $\varepsilon_{A_2}(y)$ описывается уравнением: $\varepsilon_{A_2} = 0,12(1 + 5,5y)$, эВ.

Ключевые слова: Твердые растворы $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ и $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$, Монокристаллы, Метод Бриджмена, Электрофизические свойства.

Comparison of Electrophysical Characteristics of Undoped $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ and $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ ($x, y \leq 0,1$) Crystals

P. Fochuk¹, E. Nykonyuk², Z. Zakharuk¹, S. Dremlyuzhenko¹, S. Solodin¹, O. Kopach¹, A. Opanasyuk³

¹ Chernivtsi National University, 2, Kotsyubynskii st., 258012 Chernivtsi, Ukraine

² National University of Water Management and Nature Resources, 11, Soborna st., 33000 Rivne, Ukraine

³ Sumy State University, 2, Rymaskogo-Korsakova st., 40007 Sumy, Ukraine

The temperature dependences ($T = 80\div 360$ K) analysis of electro-physical properties of $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ and $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ ($x, y \leq 0,1$) crystals, grown by Vertical Bridgman was carried out. It was installed, that in $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ crystals the conductivity is controlled as acceptors A_1 ($\varepsilon_A^0 = 0.03\div 0.05$ eV) and acceptors A_2 ($\varepsilon_A^0 \approx 0.12$ eV), ionization energy which does not depend on the composition, and in $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ and $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ crystals only by acceptors A_2 , and the dependence $\varepsilon_{A2}(y)$ is described by the equation: $\varepsilon_{A2} = 0.12 (1 + 5,5y)$, eV.

Keywords: $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-x-y}\text{Zn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ solid solutions, Single crystal, Bridgman method, Electro-physical properties.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.В. Бушуев, *Атомная энергия* **92(5)**, 371 (2002) (A.V. Bushuyev, *Atomnaya energiya* **92(5)**, 371 (2002)).
2. L. Davydov, P. Fochuk, A. Zakharchenko, et al. *IEEE T. Nucl. Sci.* **62** No 4, 1779 (2015).
3. Y. Cui, A. Bolotnikov, A. Hossain, *Proc. SPIE* **7079**, 70790N (2008).
4. K. Shcherbin, V. Volkov, V. Rudenko, S. Odoulov, A. Borshch, Z. Zakharuk, I. Rarenko, *phys. status solidi (a)* **183** No 2, 337 (2001).
5. A. Mycielski, A. Burger, M. Sowinska, M. Groza, A. Szadkowski, P. Wojnar, B. Witkowska, W. Kaliszek, P. Siffert, *phys. status solidi (c)* **2** No 5, 1578 (2005).
6. З.І. Захарук, В.В. Горбунов, С.Г. Дремлюженко, *Науковий вісник Чернівецького університету* **66**, 88 (1999) (Z.I. Zakharuk, V.V. Horbunov, S.H. Dremlyuzhenko, *Naukovyy visnyk Chernivets'koho universytetu* **66**, 88 (1999)).
7. З.І. Захарук, Е.В. Рыбак, С.Г. Дремлюженко, *Нові технології* **2** No 12, 22 (2006) (Z.Y. Zakharuk, E.V. Rybak, S.H. Dremlyuzhenko, *Novi tekhnolohiyi* **2** No 12, 22 (2006)).
8. V.V. Kosyak, A.S. Opanasyuk, P.V. Koval, P.M. Fochuk, V.V. Starikov, *J. Nano-Electron. Phys.* **3** No 2, 48 (2011).
9. P.V. Koval, V.V. Kosyak, A.S. Opanasyuk, P.M. Fochuk, A.E. Bolotnikov, R.B. James, *Proc. SPIE* **8507**, 85071K (2012).
10. E.S. Nykonyuk, Z.I. Zakharuk, A.I. Rarenko, A.S. Opanasyuk, V.V. Grynenko, P.M. Fochuk, *J. Nano Electron. Phys.* **7** No 4, 04054 (2015).
11. P.V. Zhukovskii, Ya. Partyka, P. Vengerek, Yu.V. Sidorenko Yu.A. Shostak, A. Rodzik, *Semiconductors* **35** No 8, 900 (2001).
12. В.Ф. Агемян, Н.Г. Философов, *Разбавленные магнитные полупроводники: Магнитные и оптические свойства: Учебное пособие* (СПб.: 2014) (V.F. Agekyan, N.G. Filosofov, *Razbavlennoye magnitnyye poluprovodniki: Magnitnyye i opticheskiye svoystva: Uchebnoye posobiye* (SPb.: 2014)).