ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 9, № 4 (2008) С. 716-722

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 9, № 4 (2008) P. 716-722

PACS 81.05.ZX, 81.05.HD

ISSN 1729-4428

М.Л. Ковальчук[1], М.Г. Колісник[2], О.В. Копач[2], В.Н. Балазюк[2], Є.С. Никонюк[3], М.Д. Раранський[2], В.М. Склярчук[2], А.І. Раренко[2], В.П. Салань[4], І.В. Докторович[2]

Фізико-хімічні та фізичні властивості кристалів і гетероструктур на базі радіаційностійких напівпровідників групи $A_2^3B_3^6$

[1]*Інститут термоелектрики, 58029, вул. Науки 1, м. Чернівці, Україна, mlkov@mail.ru*
[2]*Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, 58012, вул. Коцюбинського 2, м. Чернівці, Україна, microel-dpt@chnu.edu.ua*
[3]*Національний університет водного господарства та природокористування, 33028, вул. Соборна 11, м. Рівне, Україна*
[4]*Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка, 82100, вул. І.Франка 24, м. Дрогобич, Україна*

В роботі приведені спосіб одержання, фізико-хімічні, структурні, оптичні параметри та електрофізичні властивості напівпровідникових кристалів радіаційностійкої групи $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$, $InGaHg_2MnTe_6$. Представлені результати досліджень вольт-амперних характеристик, спектральної характеристики чутливості, струмової монохроматичної чутливості на робочій та власній довжині хвилі випромінювання, нелінійності енергетичної характеристики чутливості, швидкодії фотодіодів Шотткі на базі $In_2Hg_3Te_6$, а також показана висока стійкість їх фотоелектричних параметрів до іонізуючого γ- та β-опромінення.

Ключові слова: напівпровідники, кристали, радіаційностійкі, фізичні властивості, фотоприймачі, фотодіоди Шотткі.

Стаття поступила до редакції 07.04.2008; прийнята до друку 15.09.2008.

Вступ

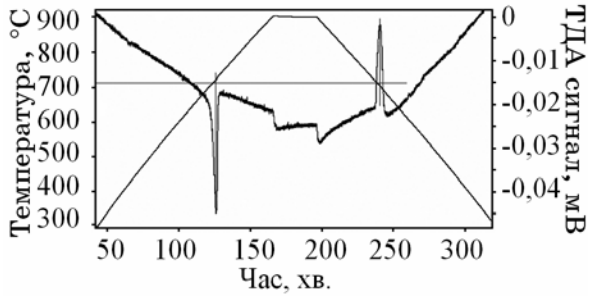
Кристали напівпровідників групи $A_2^3B_3^6$, як In2Te3, так і тверді розчини на їх основі, володіють вищою на 2-3 порядки радіаційною стійкістю електрофізичних параметрів у порівнянні з іншими напівпровідниками при опроміненні їх X-, γ-, β-, нейтронним випромінюванням [1]. За даними [1], легування цих кристалів різними елементами не приводить до зміни концентрації носіїв заряду чи типу провідності. Спостерігається лише власна провідність, що пояснюється наявністю в них стехіометричних вакансій в катіонній підгратці. Особливий інтерес представляють тверді розчини групи $A_2^3B_3^6$ і A^2B^6, зокрема, $(In_2Te_3)_x(HgTe)_{1-x}$, $(In_2Te_3)y(CdTe)_{1-y}$. В першому з них при складі x = 0,25 утворюється хімічна сполука $In_2Hg_3Te_6$ (МІТ), яка плавиться конгруентно. Рухливість електронів в цих кристалах при 300 К досягає $5\cdot10^2$ см^2/В·с, коли в In_2Te_3 вона рівна 30 см^2/В·с. На цих кристалах не створюються звичайні p-n переходи, так як введенням домішки у них неможливо змінити тип провідності, але при нанесенні на їх поверхню шарів металів Au, Ni чи напівпровідників $InSnO_2$, ZnO утворюються структури типу діодів Шотткі, які володіють високою фоточутливістю як до інфрачервоного (ІЧ), так і до X-, γ-, β- та іншого іонізуючого випромінювання. На одержаних нами однорідних по електрофізичних параметрах монокристалах $In_2Hg_3Te_6$, створені діоди та ІЧ фотодіоди Шотткі (ФДШ), в яких обернені темнові струми, що визначають їх детектуючу здатність, при 293 К менші на порядок від обернених струмів фотодіодів такої ж конфігурації, які описані в літературі. Щоб досягнути максимальної фоточутливості у сенсорах іонізуючого випромінювання виготовлених з МІТ, де E_g = 0,72 еВ [1], необхідно охолоджувати їх до 80 К. Нами синтезовані і вирощені кристали більш широкозонних напівпровідників для побудови неохолоджуваних сенсорів іонізуючого випромінювання. Вони були створені на базі $In_2Hg_3Te_6$, шляхом кратної заміни частини атомів третьої і другої групи в цій сполуці на ізовалентні їх аналоги з меншими атомними радіусами. Тобто In – на Ga, а Hg – на Cd і Mn. В результаті одержані кристали складу $InGaHg_2CdTe_6$, $InGaHg_2MnTe_6$ та інші.

I. Спосіб одержання радіально однорідних кристалів МІТ та його модифікацій

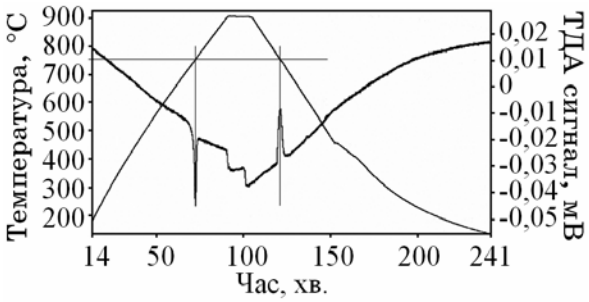
Після синтезу, кристали вище вказаних напівпровідників вирощувались методом зонної плавки в кварцових ампулах-контейнерах, при неперервному перемішуванні розплаву в зоні, що приводило до вирівнювання як хімічного складу, так і температури по всьому його об'єму. Таким чином забезпечувалась висока радіальна однорідність вирощуваних злитків, незалежно від їх діаметрів і складу. При звичайних вертикальних методах вирощування, на краях фронту кристалізації біля стінок ампули спостерігається найнижча температура, а у центрі – найвища. В результаті цього фронт кристалізації стає ввігнутим у бік початку кристала. При цьому в найнижчій частині розплаву відбуваються ліквацiйні процеси зі збагаченням центру розплаву важким компонентом – HgTe. Це приводить до радіальної і осевої неоднорідності вирощуваного злитка по складу та до розкиду по величині електропровідності в 5-10 раз.

II. Фізико-хімічні та структурні параметри

Для визначення температури плавлення і кристалізації кристалів, як базової сполуки $In_2Hg_3Te_6$, так і її похідних - $InGaHg_2CdTe_6$, $InGaHg_2MnTe_6$ проводився їх диференційно-термічний аналіз на стандартній установці. Термограми знімались при неперервному, рівномірному у часі нагріванні зразків кристалів відповідних сполук до температури 900 °C,



а)



б)

Рис. 1. Термограми плавлення і кристалізації: а) $In_2Hg_3Te_6$, б) $InGaHg_2CdTe_6$.

що значно вище температури їх плавлення, та охолодженні розплавів до температури кристалізації і нижче. Термограми усіх трьох сполук мають подібний вигляд, тому на рис. 1 вони подані лише для $In_2Hg_3Te_6$ та $InGaHg_2CdTe_6$. Як слідує з рис. 1 (а,б), спостерігаються чіткі ендо- і екзотермічні піки, що відповідають точкам плавлення та кристалізації, чим підтверджуються конгруентні фазові перетворення в досліджуваних зразках. Згідно термограм, температури плавлення і кристалізації співпадають для кожної сполуки $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$ та $InGaHg_2MnTe_6$ і відповідно складають 715°C, 760°C та 775°C.

Дослідження впливу часткової кратної заміни In та Hg в сполуці $In_2Hg_3Te_6$ на ізовалентні елементи відповідно Ga та Cd, Mn повинні були привести до підсилення хімічного зв'язку, підвищення температури плавлення, зміни параметрів елементарної комірки відповідних кристалів $InGaHg_2CdTe_6$, $InGaHg_2MnTe_6$ у порівнянні з базовими кристалами $In_2Hg_3Te_6$. З літературних даних відомо, що кристали $In_2Hg_3Te_6$ мають гранецентровану кубічну ґратку з періодом $a = 6{,}29 \pm 0{,}03$ Å. Для проведення структурних досліджень усіх трьох серій зразків, включаючи базові (МІТ), застосовано метод Дебая-Шерера. Дослідження проводились в Fe-K_α випромінюванні з довжиною хвилі $\lambda = 1{,}93728$ Å, за схемою зворотної зйомки [2] в камері типу КРОС-2. Вибір даної схеми зумовлений тим, що для досліджуваних кристалів характерне значне вторинне рентгенівське випромінювання, що супроводжується зростанням дифузного фону. Умова фокусування задається аналітичним виразом

$$2l = 2R\mathrm{tg}(180° - 2\theta),$$

де $2l$ – відстань між вибраними лініями; R – віддаль зразок-плівка; θ – максимальний кут Брегга. Точність визначення періоду гратки становила 10^{-4}-10^{-5} Å. В якості еталона використовувалось (222) відбивання мідного зразка високої чистоти.

Експериментальні значення кутів θ, періодів гратки a і міжплощинних віддалей d наведені в табл. 1.

З порівняння експериментальних величин d_{hkl} з розрахунковими визначено, що досліджувані речовини мають гратку сфалериту, структурний тип F43m(B_3).

Характер зміни періодів граткок в бік зменшення для кристалів похідних сполук можна пояснити тим,

Таблиця 1

Параметри кристалічних граток $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$ та $InGaHg_2MnTe_6$

Матеріал	θ_{hkl}	d_{hkl}, Å	a_{hkl}, Å
$In_2Hg_3Te_6$	65°38'	1,063	6,2912
$InGaHg_2CdTe_6$	66°07'03"	1,056	6,2529
$InGaHg_2MnTe_6$	69°53'05"	1,026	6,1032

Таблиця 2

Електричні параметри типових зразків $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$ та $InGaHg_2MnTe_6$

Кристал	T=295 К			$\lg\rho = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$		$\lg\left(R_x T^{3/2}\right) = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$
	σ, (Ом·см)$^{-1}$	R_x, см^3/Кл	$\mu_n=\sigma R_x$, см^2/В·с	E_1, еВ	E_2, еВ	E_D, еВ
$InGaHg_2MnTe_6$	$2\cdot10^{-8}$	$8{,}7\cdot10^4$	41	0,60	0,19	0,58
$InGaHg_2CdTe_6$	$6{,}6\cdot10^{-6}$	$4{,}6\cdot10^6$	30	0,45	0,12	0,41
$In_2Hg_3Te_6$	$7{,}4\cdot10^{-4}$	$3{,}7\cdot10^5$	275	0,35		0,30

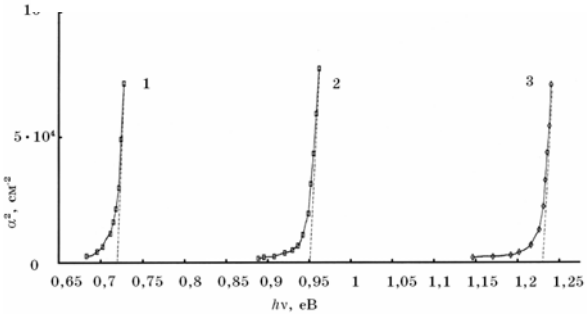


Рис. 2. Спектральна залежність коефіцієнта поглинання: 1 – $In_2Hg_3Te_6$ (Eg_1=0,72 еВ), 2 – $InGaHg_2CdTe_6$ (Eg_2=0,95 еВ), 3 – $InGaHg_2MnTe_6$ (Eg_3=1,23 еВ).

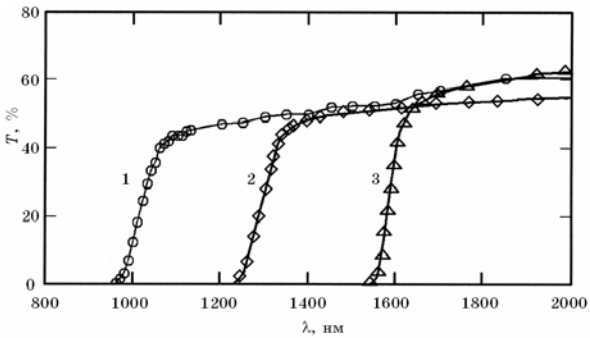


Рис. 3. Залежність оптичного пропускання від довжини хвилі: 1 – $InGaHg_2MnTe_6$, 2 – $InGaHg_2CdTe_6$, 3 – $In_2Hg_3Te_6$.

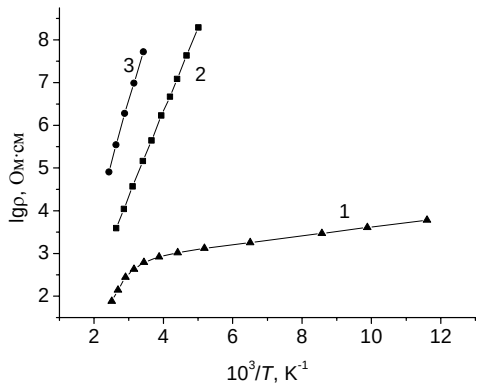


Рис. 4. Температурна залежність питомого опору типових зразків: 1 – $In_2Hg_3Te_6$, 2 – $InGaHg_2CdTe_6$, 3 – $InGaHg_2MnTe_6$.

що при легуванні атоми Hg та In частково заміщуються атомами з меншим радіусом. Атомні радіуси Hg і In відповідно рівні 1,57 Å та 1,66 Å, а Mn, Cd і Ga – відповідно 1,30 Å, 1,56 Å і 1,41 Å.

III. Оптичні параметри

Визначення ширини забороненої зони одержаних кристалів проводилось стандартним оптичним методом по залежності пропускання від довжини хвилі випромінювання на зразках різної товщини. Визначалась залежність квадрата коефіцієнта поглинання від енергії падаючого фотона на краю області власного поглинання (рис. 2). Згідно рис. 2, ширини заборонених зон $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$ та $InGaHg_2MnTe_6$ при 300 К відповідно рівні 0,72 еВ, 0,95 еВ та 1,23 еВ.

Крім того, досліджувалось оптичне пропускання зразків товщиною 0,8 мм усіх трьох сполук в спектральному діапазоні λ=800-2000 нм (рис. 3). Як видно з рисунка, краї поглинання кристалів мають чітку форму, а за краєм власного поглинання спостерігається високе пропускання. Це підтверджує з одного боку структурну досконалість, відсутність високої концентрації вільних домішкових носіїв заряду в цих кристалах, з другого – придатність їх безпосереднього застосування для довгохвильових радіаційностійких фільтрів інфрачервоного діапазону та як підкладок для інтерференційних фільтрів в широкому інфрачервоному діапазоні спектру.

Обидві серії досліджень оптичних параметрів проводилися на модернізованому спектральному комп'ютерному комплексі КСВУ-12

IV. Електрофізичні властивості

Вимірювання питомої електропровідності (σ) і постійної Холла (R_x) кристалів всіх трьох сполук проводилося електрометрично на зразках з двома струмовими і чотирма потенціальними контактами по загально прийнятій методиці. За знаком холлівської напруги зразки в усьому температурному інтервалі вимірювань володіли електронною провідністю. В табл. 2 приведені електропровідність, постійна Холла та рухливість електронів (μ_n) визначені при 295 К, а також енергетичні параметри.

Температурні залежності питомого опору (рис. 4) описуються двома енергіями активації. При $T > 290$ К енергія активації E_1 в різних зразках знаходиться в

межах (0,34-0,60) еВ. При $T < 250$ К визначається енергія активації E_2 в межах (0,043-0,22) еВ.

Можна припустити, що енергія активації E_1 пов'язана з іонізацією глибоких скомпенсованих донорів, енергія іонізації яких визначалась з температурної залежності постійної Холла (рис. 5) і складала E_D = (0,30-0,60) еВ в різних зразках. Такими донорами можуть бути міжвузольні атоми In.

Енергія іонізації E_2 імовірно пов'язана з іонізацією мілких донорів. По аналогії з властивостями кристалів HgTe, де міжвузольна ртуть є мілким донором, можна припустити, що в розглянутому випадку твердих розчинів на базі HgTe мілким донором також є міжвузольна ртуть.

Як робочу, можна запропонувати універсальну зонну модель для групи досліджуваних кристалів (рис. 6).

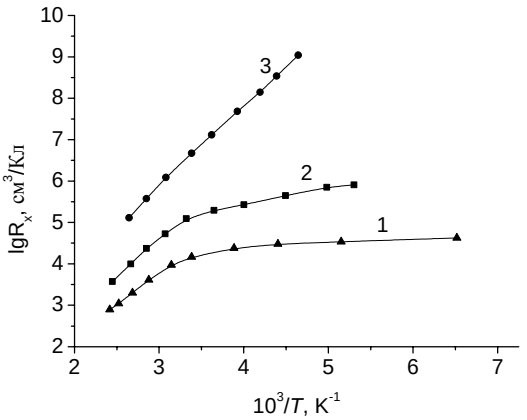


Рис. 5. Температурна залежність постійної Холла типових зразків: 1 – $In_2Hg_3Te_6$, 2 – $InGaHg_2CdTe_6$, 3 – $InGaHg_2MnTe_6$.

З порівняння значення енергії активації E_1 визначеної з електричних вимірювань та значення ширини забороненої зони визначеної оптичним шляхом в кристалах всіх трьох складів, слідує, що E_1 близька до 1/2 ширини забороненої при 295 К. Звідси можна зробити висновок, що дана енергія активації відповідає енергії, потрібній для переходу електронів в зону провідності з донорного рівня, який в цих кристалах знаходиться в межах середини забороненої зони.

V. Властивості створених діодів та фотодіодів Шотткі

На одержаних однорідних по електрофізичних властивостях монокристалах $In_2Hg_3Te_6$, створені діоди та фотодіоди Шотткі. В даній роботі представлені результати проведених досліджень наступних їх характеристик і параметрів: вольт-амперні характеристики; спектральна характеристика чутливості; струмова монохроматична чутливість на робочій та власній довжині хвилі випромінювання;

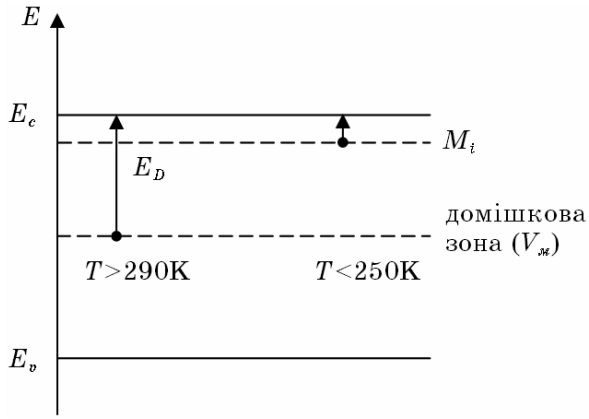


Рис. 6. Загальна модель зонної структури для кристалів $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$ та $InGaHg_2MnTe_6$.

нелінійність енергетичної характеристики чутливості; швидкодія.

Вимірювання спектрального діапазону чутливості проведено на метрологічній установці шляхом порівняння чутливостей досліджуваного фотоприймача (ФП) та еталонної радіометричної головки (ЕРГ), в якості якої вибрано германієвий фотодіод ФД297, атестований службою НДІ «Метрологія» м. Харків. ФД297 та досліджуваний фотодіод Шотті на МІТ мають близькі спектральні характеристики.

Вимірювання фотосигналів $U_{\lambda ФП}$(В) та $U_{\lambda ЕРГ}$(В) – фотосигналів з досліджуваного ФП та ЕРГ відповідно, проводилися в діапазоні довжин хвиль 500-2000 нм з інтервалом 5 нм в усьому спектральному діапазоні при робочій напрузі ФП $U_{роб}$ = 10 В, частоті модуляції потоку випромінювання $f_м$ = 1 кГц та нагрузці $R_н$ = 1 кОм.

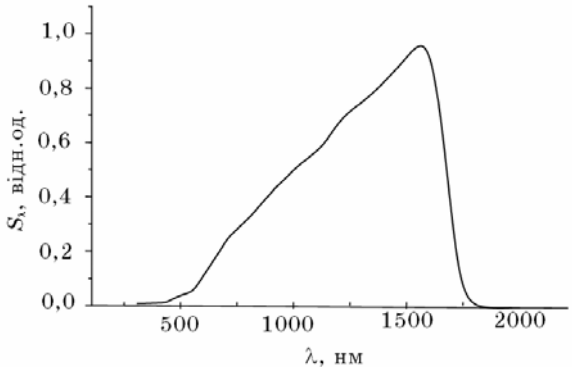


Рис. 7. Відносна спектральна характеристика чутливості ФДШ на МІТ.

Для узгодження фотоприймача з вимірювальним трактом та надійного вимірювання малих рівнів фотосигналів в установці використовувався прецизійний перетворювач струм-напруга ППТН-1 [3].

Спектральна чутливість вимірюваного ФП ($S_{\lambda ФП}$) визначалась за співвідношенням:

$$S_{\lambda ФП} = S_{\lambda ЕРГ} \frac{U_{\lambda ФП}}{U_{\lambda ЕРГ}},$$

Таблиця 3

Результати вимірів фотоелектричних параметрів фотодіода Шотткі на МІТ

Струмова монохроматична чутливість, S_λ, А/Вт	λ = 1,06 мкм	0,19 – 0,35
	λ = 1,30 мкм	0,34 – 0,48
	λ = 1,55 мкм	0,58 – 0,66
Час наростання та спаду, нс	$\tau_{0,1}^{0,9}$	75 - 100
	$\tau_{0,1}^{0,9}$	75 - 100
Максимальна енергетична освітленість (при нелінійності чутливості 5 %), E_e, Вт/м^2		13 - 15
Темновий струм, мкА		0,1-0,4

Таблиця 4

Порівняльні параметри Ni-InHgTe фотодіодів Шотткі та Si фотодіодів на p-n-переході до і після γ-, β-опромінення

Номер зразка	Еквівалентна доза, бер	Фото-ЕРС, В		Струм короткого замикання, мкА		Зворотній струм при напрузі 1В, мкА	
		До опромінення	Після опромінення	До опромінення	Після опромінення	До опромінення	Після опромінення
Ni-HgInTe-In							
26080_2	10^7	0,15	0,14	40	40	4	3,6
30408_1	10^8	0,12	0,1	30	28	1,2	1,25
Si-фотодіод (ФД288)							
ФД12	10^8	0,45	-	40	-	Зворотній струм при напрузі 5В, мкА	
						0,8	-

де $S_{\lambda ЕРГ}$ – паспортні дані спектральної чутливості ЕРГ, відн.од.

Відносна спектральна характеристика чутливості досліджуваного ФП $S_{ФП}(\lambda)$ наступна:

$$S_{ФП}(\lambda) = \frac{S_{\lambda ФП}}{S_{\lambda_{max}}},$$

де $S_{\lambda_{max}}$ – максимальне зі значень чутливості $S_{\lambda ФП}$.

Результати вимірювань відносної спектральної характеристики чутливості досліджуваного ФП приведено на рис. 7.

Вимірювання струмової імпульсної монохроматичної чутливості ($S_{i\lambda_{max}}$) проводилось на робочій довжині хвилі випромінювання (λ_{max}). На сьогодні споживач виставляє вимоги до фотоприймачів, які чутливі до потоків на кількох довжинах хвиль – це потоки імпульсного випромінювання з максимумом довжин хвиль λ_{max}: 1,06; 1,35; 1,5 мкм та ін., з тривалістю імпульсів по рівню 0,5 від 10 до 1000 нс. Для досліджень при розробці та серійному виробництві ФП в якості джерел випромінювання на вказаних довжинах хвиль використовуються світло- або лазерні діоди.

У випадку вимог по $S_{\lambda імп}$ на інших довжинах хвиль її величина розраховується за відомими відносною спектральною характеристикою чутливості та виміряною імпульсною монохроматичною чутливістю ФП на довжині хвилі,

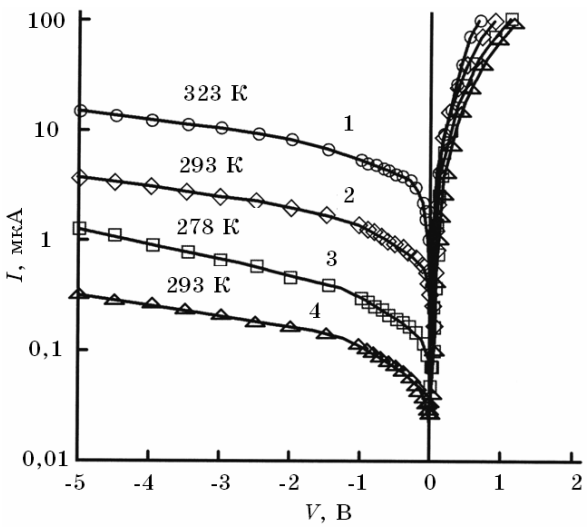


Рис. 8. Вольт-амперні характеристики Au-InHgTe фотодіодів Шотткі для трьох температур: 1,2,3 – опубліковані в літературі характеристики, 4 – характеристики діода, одержаного авторами даної статті.

яка ближче знаходиться до заданої.

Вимірювання імпульсної монохроматичної чутливості ($S_{\lambda імп}$) проводяться методом порівняння чутливості вимірюваного ФП з контрольним:

$$S_{\lambda імп} = S_{\lambda імп.к} \frac{U_{\lambda с.д}}{U_{\lambda ск}},$$

де $S_{\lambda імп.к}$ – імпульсна монохроматична чутливість атестованого (контрольного) ФП на робочій довжині хвилі, А/Вт;

$U_{\lambda сд}$ – напруга фотосигналу досліджуваного ФП, В;

$U_{\lambda ск}$ – напруга фотосигналу контрольного ФП, В.

Результати вимірювань приведені в табл. 3.

Основна відносна похибка вимірювання $S_{\lambda імп}$ не виходить за межі ± 20 %.

Вимірювання часу наростання ($\tau_{0.1}^{0.9}$) та спаду ($\tau_{0.9}^{0.1}$) фотосигналу проводилося на довжині хвилі λ_{max} = 1,3 мкм. Результати вимірювань приведені в табл. 3.

З вимірювання енергетичної характеристики чутливості $S = f(E_e)$, установлено діапазон значень вимірюваної величини, в межах якого може працювати даний фотоприймач. Цей діапазон називають динамічним діапазоном. В його межах можна говорити про лінійність енергетичної характеристики приймача випромінювання, тобто про пропорційну залежність між величиною падаючого на приймач світлового потоку та рівнем реакції – фотовідповіддю.

За результатами вимірювань енергетичної характеристики ФП були розраховані максимальні енергетичні освітленості, при яких нелінійність чутливості на довжині хвилі λ_{max} = 1,3 мкм не перевищуватиме 5 % (див. табл. 3).

Порівняльні вольт-амперні характеристики створеного авторами статті ФДШ та представлених в літературі подано на рис 8. Як видно з рисунка, обернені темнові струми, які визначають важливий параметр ІЧ фотоприймачів – детектуючу затність, на досліджуваних ФДШ на порядок менші від обернених струмів фотодіодів такої ж конфігурації, які описані в літературі.

Також було досліджено вплив на електричні, фотоелектричні параметри фотодіодів Шотткі Ni-InHgTe іонізуючого кобальтового гамма випромінювання в широких межах доз (10^6-10^8 бер), та енергії квантів 1,17 МеВ та 1,33 МеВ (табл. 4). Показано, що дози γ- випромінювання до 10^8 бер включно не впливають на фотоелектричні параметри вказаних фотодіодів, в той час, як фотодіоди на Si при опроміненні 10^8 бер перестають функціонувати.

Висновки

В роботі представлений метод вирощування кристалів напівпровідників на базі радіаційностійкої групи $A_2^3B_3^6$, зокрема $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$ та $InGaHg_2MnTe_6$. Приведені результати дослідження температури фазових перетворень (плавлення-кристалізації), структури кристалічних граток, гальваномагномагнітні властивості та рухливості носіїв заряду, а також залежності коефіцієнтів оптичного поглинання від довжини хвилі і відповідні значення ширин заборонених зон, визначені оптичним шляхом. Фізичні властивості кристалів останніх двох сполук частково розглядались лише в наших роботах, зокрема [5], тому були проведені порівняння їх властивостей і параметрів з властивостями і параметрами базової сполуки $In_2Hg_3Te_6$, більш широко описаної в літературі. Створені фотодіоди Шотткі на вирощених однорідних кристалах МІТ та досліджені їх основні параметри та характеристики, зокрема показано, що зворотні темнові струми в них на порядок нижчі ніж представлені в літературі іншими авторами. Слід відзначити, що на сьогоднішній час широко використовуються лазери на довжині хвилі λ = 1,6 мкм для оптичної локації та передачі інформації по оптико-волоконних лініях. Кристали МІТ, крім радіаційної стійкості, володіють прямими оптичними переходами, на відміну від кристалів Ge, з яких створюються фотоприймачі на p-n-переходах в цьому ж діапазоні ІЧ спектру. Перевагою застосування фотодіодів Шотткі на МІТ є значно ширші можливості створення на них багатоелементних радіаційностійких фотоприймачів, в тому числі з кодом Грея, та більша швидкодія у порівнянні з фотоприймачами на p-n-переходах.

Ковальчук М.Л. – молодший науковий співробітник;
Колісник М.Г. – старший науковий співробітник;
Копач О.В. – кандидат хімічних наук, доцент;
Балазюк В.Н. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Никонюк Є.С. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Раранський М.Д. – доктор фізико-математичних наук, профессор;
Склярчук В.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Раренко А.І.– кандидат фізико-математичих наук, старший науковий співробітник;
Салань В.П. – аспірант;
Докторович І.В. – аспірант.

[1] В.М. Кошкин, И.Н. Воловичев, Ю.Г. Гуревич, Л.П. Гальчинецкий, И.М. Раренко. Материалы и устройства с гигантским радиационным ресурсом // *Диэлектрики и полупроводники в детекторах излучения* / Под. ред. Малюкина Ю.В. – Харьков: Институт монокристаллов. сс. 5-64 (2006).

[2] Г.П. Кушта *Введение в кристаллографию*. Вища школа, Львов, 238 с. (1976).

[3] В.К. Бутенко, В.М. Годованюк, І.В. Докторович. Прецизійний перетворювач струм-напруга // *Науковий вісник чернівецького університету*. (102), сс. 84-85 (2001).

[4] Л.А. Косяченко, Ю.С. Паранчич, В.Н. Макогоненко, В.М. Склярчук, Е.Ф. Склярчук, И.И. Герман Электрические свойства поверхостно-барьерной фотодиодной структуры на основе HgInTe // *ЖТФ*, **73**(5), сс. 126-129 (2003).

[5] М.Л. Ковальчук , М.Г. Колісник, Є.М. Косенков, А.І. Раренко , В.М. Склярчук, О.Ф. Склярчук. HgMnInGaTe – новий радіаційностійкий матеріал для напівпровідникової електроніки // *III Українська наукова конференція з фізики напівпровідників.* Тези доповідей, Одеса, с. 451 (2007).

M.L. Koval'chuk, M.G. Kolisnyk, O.V. Kopach, V.N. Balaziuk, E.S. Nikoniuk, M.D.Raranskyi, V.M.Skliarchuk, A.I. Rarenko, V.P. Salan', I.V.Doctorovych

Physicochemical and Physical Properties of Crystals and Hetero-Structures on the Basis of $A_2^3B_3^6$ Radioactivity-Resistant Semiconductor Group

The method of synthesis, physicochemical, structural, optical parameters, electro-physical properties of semiconductor crystals, which belong to $In_2Hg_3Te_6$, $InGaHg_2CdTe_6$, $InGaHg_2MnTe_6$ radioactivity-resistant group, have been under analysis in this study. The study has revealed the results in such domains as: volt-ampere parameters, spectral properties of sensitivity, current's mono-chromatic sensitivity in the working and own wave length of radiation, non-linear energy characteristics of sensitivity, the speed of Shottki photodiodes operation on the basis of $In_2Hg_3Te_6$. High stability of photo-electric parameters of the photodiodes compared to ionizing γ- and β- radiation has also been described.

Key words: semiconductors, crystals, radiation-resisted, physical properties, photoreceivers, Shottki photodiodes.