

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.315.592

Богобоящий В.В.<sup>2</sup>, Іжнін І.І.<sup>3</sup>, Савицький Г.В.<sup>4</sup>, Юденков В.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка",

<sup>2</sup> Кременчуцький державний політехнічний університет,

<sup>3</sup> Львівський науково-дослідний інститут матеріалів НВП "Карат",

<sup>4</sup> Інститут прикладних проблем механіки та математики НАН України

## ЧАСОВА СТАБІЛЬНІСТЬ $Cd_xHg_{1-x}Te$ p-n СТРУКТУР, СФОРМОВАНИХ ІОННО-ПРОМЕНЕВИМ ТРАВЛЕННЯМ

© Богобоящий В.В.<sup>2</sup>, Іжнін І.І.<sup>3</sup>, Савицький Г.В.<sup>4</sup>, Юденков В.О.,<sup>1</sup> 2003

Bogoboyashchy V.V.<sup>2</sup>, Izhnin I.I.<sup>3</sup>, Savytskii G.V.<sup>4</sup>, Yudenkov V.A.<sup>1</sup>

## TIME STABILITY of $Cd_xHg_{1-x}Te$ p-n STRUCTURES CREATED by ION BEAM MILLING

© Bogoboyashchy V.V.<sup>2</sup>, Izhnin I.I.<sup>3</sup>, Savytskii G.V.<sup>4</sup>, Yudenkov V.A.,<sup>1</sup> 2003

Досліджено довгочасові (10 років) та короткочасові (4 місяців) релаксації електрофізичних параметрів p-n структур, створених іонно-променеви́м травленням (ІПТ) на вакансійно-легованих епітаксійних плівках p- $Cd_xHg_{1-x}Te$ , при зберіганні їх при кімнатній температурі. Виявлено різний характер релаксації електричних параметрів створених ІПТ порушеного шару та основного конвертованого n-шару. Релаксація параметрів порушеного шару пов'язується з самовідпалом радіаційних структурних дефектів, створених під час іонного бомбардування. Релаксація властивостей основного об'єму конвертованого шару пов'язана з наявністю в досліджених зразках неконтрольованих акцепторних домішок I, V групи, тобто з розпадом створених в процесі ІПТ донорних дефектів, пов'язаних з такими домішками. Показано, що переважно релаксація параметрів відбувається протягом перших 4-5 місяців, після чого параметри структур стабілізуються і зберігаються упродовж 10 років.

The long time (10 years) and the short time (4 months) relaxation of p-n structures electrical parameters created by ion beam milling (IBM) in vacancy-doped epitaxial films p- $Cd_xHg_{1-x}Te$  were investigated. It was revealed the different character of relaxation of the electrical parameters created by IBM of damaged layer and of n-layer main volume. The relaxation of parameters of damage layer is due to self-annealing of structural defects created during ion bombardment. The relaxation of parameters of converting layer's main volume is due to presents in the samples residual acceptor dopants of the I, V groups so with dissociation of donor defects associated with this dopants and created during IBM. It was shown that parameters relaxation mainly occurs at the first 4-5 month, after that parameters of the structures become stabilize.

**Вступ.** На сьогодні тверді розчини  $Cd_xHg_{1-x}Te$  (КРТ) є основним матеріалом для виробництва на їх основі матричних фотодіодних приймачів для діапазону довжин хвиль 3-5 та 8-12 мкм з найвищими параметрами [1]. При цьому найрозповсюдженішим методом створення фоточутливих p-n переходів є іонна імплантація. Однак цьому методу притаманні

недоліки, головним з яких є необхідність проведення післяімплантаційного термічного відпалу, під час якого спостерігається деградація захисного покриття, після чого його необхідно знімати та наносити заново. Тому сьогодні і надалі актуальним є пошук нових технологій для створення р-n переходів, які б не потребували процесів термічної активації. Одним з таких методів, який був запропонований в 1981 р. (Wotherspoon) [2], є іонно-променеве травлення (ПТ). За допомогою цього методу деякі фірми виготовляють багатоелементні фотодіодні приймачі [3].

Як було встановлено [1], під час іонно-променевого травлення спостерігається р-n конверсія типу провідності в  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , початкова діркова провідність якого визначалася власними дефектами – вакансіями ртуті (так званий вакансійно-легований матеріал). Згідно з існуючими на сьогодні уявленнями, механізм конверсії типу провідності полягає у наступному [4, 5]. При ПТ внаслідок взаємодії низькоенергетичних іонів (переважно використовується Ag) створюється поверхнєве джерело дифузії міжвузловинної ртуті з надзвичайно високою концентрацією, яка на 4-5 порядків перевищує рівноважну концентрацію при відпалі в парі ртуті при однакових температурах (процес ПТ відбувається при кімнатній температурі), її подальшої надшвидкої дифузії вглиб зразка та анігіляції з початковими власними дефектами – вакансіями ртуті, які визначали р-тип провідності. При цьому глибина конвертованого шару визначається параметрами матеріалу (концентрація вакансій, склад) та режимами ПТ (густина струму, тривалість). Процес іонно-променевого травлення є суто нерівноважним, тому виникає питання про стабільність параметрів створених р-n структур, та в кінцевому рахунку фотодіодів. Це питання набуває значної актуальності після того, як була виявлена релаксація інтегральної провідності та коефіцієнта Холла р-n структур, яка спостерігається відразу після ПТ при зберіганні зразків при кімнатній температурі і триває декілька місяців [6, 7]. Будемо її називати короткочасовою релаксацією.

Тому метою роботи було дослідження та порівняння параметрів р-n структур, створених за допомогою іонно-променевого травлення вакансійно-легованого  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  в процесі довгочасової (10 років) та короткочасової (5 місяців) релаксації.

**Експеримент.** Для досліджень використовували епітаксійні плівки  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x=0,21-0,23$ ), отримані методом рідинно-фазної епітаксії з Te розплаву на підкладках CdTe з орієнтацією (111) на заводі “Чисті метали” (м. Світловодськ). Товщина плівок становила 28 мкм, концентрація важких дірок при 77 К становила  $\sim 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Для досліджень вихідних зразків і після кожного етапу релаксації р-n структур вимірювали польові залежності коефіцієнта Холла та питомого опору при 77 К в полях 0,01-1,5 Тл. Вимірювання проводили за стандартною методикою на постійному струмі в конфігурації Ван-дер-Пау. Отримані залежності аналізувалися в межах моделі двошарової структури або методом спектрів рухливості [8].

Три зразки (#1, #2, #3) з однієї епітаксійної плівки були піддані іонно-променевому травленню нейтралізованими іонами Ag з енергією 1,8 кеВ при густині струму іонів 0,16; 0,32; 0,48  $\text{mA/cm}^2$  відповідно і тривалості ПТ 10 хв. в квітні 1993 року. Після вимірювань параметрів структур (протягом 3 днів), зразки зберігалися в навколишньому середовищі при кімнатній температурі. Повторне вимірювання параметрів цих структур було проведено через 10 років в квітні 2003 року.

З врахуванням виявленої в [6, 7] короткочасової релаксації параметрів р-n структур, створених ПТ на основі  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , зразок (#4) з аналогічної іншої епітаксійної плівки був підданий іонно-променевому травленню іонами Ag з енергією 500 еВ при густині

струму  $j = 0,2 \text{ mA/cm}^2$  і тривалості ПТТ 10 хв. в січні 2003 року. Параметри цієї структури вимірювались безпосередньо після ПТТ через певні проміжки часу зберігання при кімнатній температурі протягом 5 місяців.

**Результати та обговорення.** Перед обговоренням отриманих результатів відзначимо дві характерні особливості р-п структур, створених ПТТ на основі  $\text{p-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  [4, 9-13]. По-перше, це характер розподілу концентрації носіїв по глибині структури, який був зокрема вперше виявлений саме на епітаксійних плівках [4]. Концентрація електронів в n-шарі не є однорідною. У приповерхневому шарі (будемо називати його порушеним) товщиною порядку 2-3 мкм спостерігається достатньо велика концентрація електронів з низькою рухливістю, яка лінійно зменшується від поверхні в глибину (при цьому рухливість збільшується) і далі (в основному об'ємі n-шару) концентрація електронів має сталі значення з постійною, достатньо високою, рухливістю. Отже, можна говорити, що сформований у результаті ПТТ n-шар можна зобразити в першому наближенні як  $n^+-n$  структуру з двома типами електронів: електрони з низькою рухливістю порушеного шару та електрони з високою рухливістю основного об'єму n-шару. По-друге, це величина концентрації електронів в основному об'ємі n-шару. Згідно з сучасними уявленнями ця концентрація визначається сумою концентрацій залишкових (неконтрольованих) донорних домішок [4], спеціально введених донорних домішок, якщо вони вводилися [9], та донорних центрів, створених під час ПТТ. Такими центрами, як це було показано в останні роки, можуть бути комплекси:  $\text{As(Sb)}_{\text{Te}} - \text{Hg}_{\text{I}}$  (атом миш'яку (сурми) в підгратці Te – міжвузловинний атом ртуті);  $\text{Cu(Ag)}_{\text{I}}$  (атом міді (срібла) витіснений в міжвузля) [3, 10-13]. Зауважимо також, що Cu та As є основними акцепторними фоновими домішками в  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ .

На рис. 1 показані польові залежності коефіцієнта Холла вихідного зразка, зразків #1, #2, #3 після ПТТ та цих самих зразків після 10 років зберігання при кімнатній температурі. Прогнозовані глибини конверсії для даних зразків та режимів ПТТ становлять величину, більшу ніж 20 мкм [5], так що вклад в провідність залишкового неконвертованого шару р-типу є малим внаслідок значно меншої рухливості дірок порівняно з рухливостями електронів. Тому для аналізу польових залежностей коефіцієнта Холла можна застосувати модель двошарової структури [9]. Як видно по перебігу польових залежностей коефіцієнта Холла в зразках після ПТТ спостерігається два типи електронів (Рис. 1, криві 2, 3, 4). У межах аналізу двошарової структури  $n^+-n$  отримуються значення рухливостей двох типів електронів та їх ефективні концентрації:

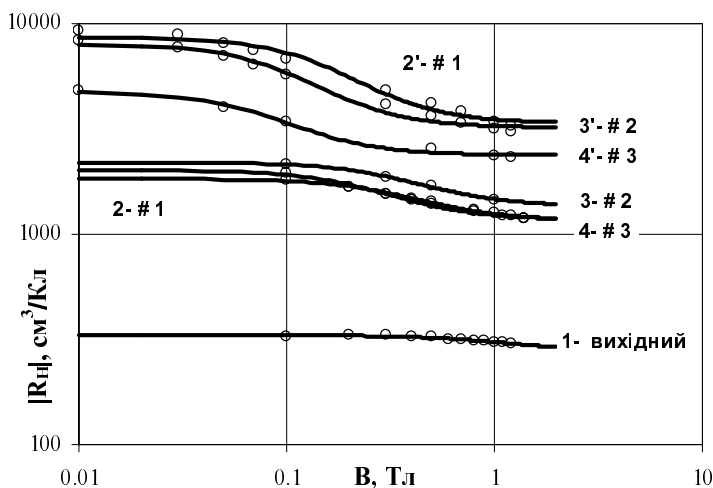


Рис. 1. Польові залежності коефіцієнта Холла при 77 К зразків #1, #2, #3:  
 1 – вихідний зразок ( $R_H > 0$ );  
 2, 3, 4 – після ПТТ ( $R_H < 0$ );  
 2', 3', 4' – через 10 років зберігання при кімнатній температурі ( $R_H < 0$ ).

$n_i^{ef} = n_i d_i / d$ , де:  $n_i$ ,  $d_i$  – концентрація електронів та товщина  $i$ -го шару, відповідно;  $d$  – загальна товщина зразка. Електрони з меншою рухливістю відповідають порушеному приповерхневому шару, електрони з більшою рухливістю – основному конвертованому шару. Цей характер польових залежностей коефіцієнта Холла спостерігається для даних зразків і після 10 років витримки при кімнатній температурі (рис. 1, криві 2',3',4'). Зсув точки перегину на польових залежностях коефіцієнта Холла в область менших значень магнітних полів для зразків після десятирічного зберігання свідчить про збільшення рухливості електронів в процесі релаксації параметрів носіїв. Визначені з польових залежностей коефіцієнта Холла параметри носіїв для зазначених зразків наведено в таблиці.

### Параметри зразків до і після ПТ

Зразок	$\sigma_0$ , (Ом·см) <sup>-1</sup>	$n(p^*)$ , см <sup>-3</sup>	$\mu_n(\mu_p^{**})$ , см <sup>2</sup> /(В·с)	$n_h(p_l^{\#})$ , см <sup>-3</sup>	$\mu_{nh}(\mu_{pl}^{\#\#})$ , см <sup>2</sup> /(В·с)
Вихідний зразок					
#1-3	0.9009	2.2·10 <sup>16</sup> *	250**	3·10 <sup>12</sup> #	9200 ##
#4	1.011	2.4·10 <sup>16</sup> *	280**	2.3·10 <sup>13</sup> #	6900 ##
Після ПТ					
#1	50.5	2.7·10 <sup>15</sup>	104000	2.7·10 <sup>15</sup>	14600
#2	42.5	2.2·10 <sup>15</sup>	105000	2.4·10 <sup>15</sup>	14200
#3	42.1	2.0·10 <sup>15</sup>	104000	3.4·10 <sup>15</sup>	17400
#4	91.2	5.1·10 <sup>15</sup>	102000	5.1·10 <sup>15</sup>	10700
Через 10 років зберігання при кімнатній температурі					
#1	12.15	3.5·10 <sup>14</sup>	147000	1.5·10 <sup>15</sup>	16400
#2	12.59	2.5·10 <sup>14</sup>	170000	1.7·10 <sup>15</sup>	21600
#3	17.21	2.4·10 <sup>14</sup>	170000	2.4·10 <sup>15</sup>	28000
Після 3 місяців зберігання					
#4	38.5	1.2·10 <sup>15</sup>	130000	2.2·10 <sup>15</sup>	26000

Як свідчить аналіз параметрів зразків (таблиця) після десятирічної витримки спостерігається незначне зменшення (приблизно в 1.5 раза) ефективної концентрації електронів порушеного шару та зростання (приблизно в 1.5 раза) їх рухливості. Суттєвіші зміни спостерігаються для електронів основного конвертованого шару: зменшення (приблизно в 10 разів) ефективної концентрації електронів та зростання (приблизно в 1.5 раза) їх рухливості. Проте необхідно підкреслити, що  $n^+$ - $n$  структура конвертованого  $n$ -шару з двома типами електронів (з низькою рухливістю для порушеного шару та високою рухливістю для основного об'єму  $n$ -шару) зберігається після 10 років витримки при кімнатній температурі.

Для порівняння результатів, отриманих на зразках після десятирічної витримки, з результатами зміни параметрів  $p$ - $n$  структур відразу після ПТ під час короткочасової релаксації був проведений експеримент на аналогічному до зразків #1, #2, #3 – зразку #4 (табл. 1). Польові залежності коефіцієнта Холла через певні відрізки часу витримки при кімнатній температурі зображені на рис. 2. Від початку спостережень минуло близько чотирьох місяців, процес релаксації триває, проте характер змін польових залежностей

коефіцієнта Холла під час релаксації узгоджується із таким, який було наведено вище для зразків #1, #2, #3. А саме це форма кривих польових залежностей коефіцієнта Холла та зсув точки перегину на них в область менших магнітних полів при зростанні часу зберігання, що свідчить про збільшення рухливості легких електронів.

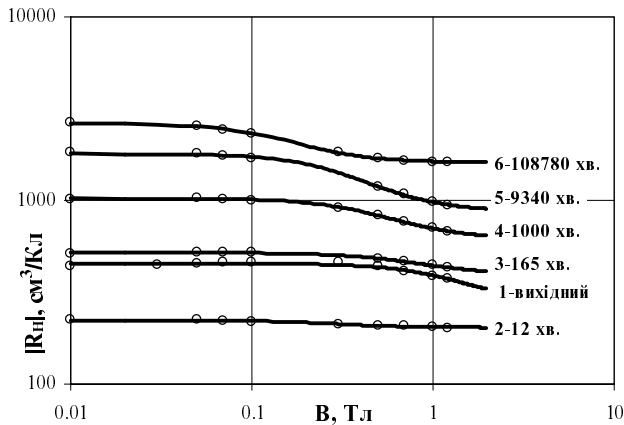


Рис. 2. Польові залежності коефіцієнта Холла при 77 К зразка #4: 1 – вихідний зразок ( $R_H > 0$ ); 2-6 – після ПТТ ( $R_H < 0$ )

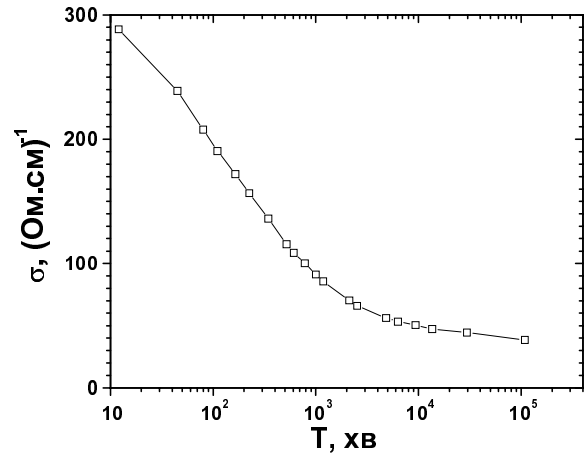


Рис. 3. Часова зміна інтегральної провідності при 77 К зразка #4 після ПТТ при зберіганні при кімнатній температурі

Дані про часові зміни інтегральної питомої провідності зразка #4 при 77 К під час релаксації показані на рис. 3, з яких видно, що після витримки зразка  $\sim 3$  місяців при кімнатній температурі провідність виходить на насичення, що в свою чергу узгоджується з результатами [6, 7].

Аналіз магнітопольових залежностей коефіцієнта Холла та питомої провідності для зразка #4 в процесі короткочасової релаксації та зразка #2 після 10 років витримки, був здійснений методом спектрів рухливості [8] (рис. 3).

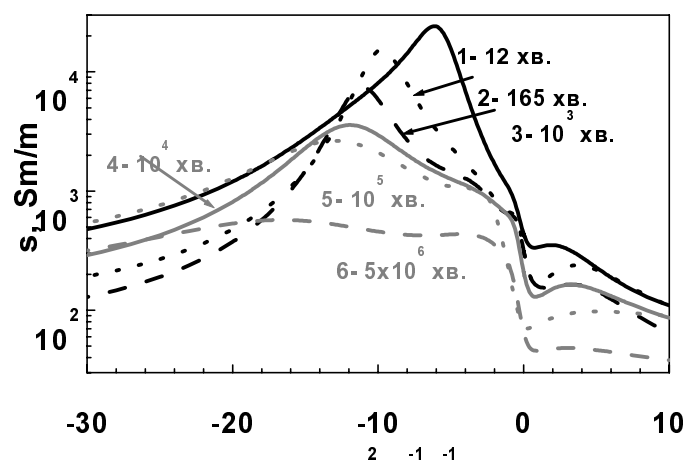


Рис. 3. Спектри рухливостей в зображенні провідності для зразка #4 під час релаксації (1-5) та зразка #2 після 10 років (6)

Результати аналізу для зразка #4 показали, що характер короткочасової релаксації параметрів носіїв є різним для електронів порушеного шару (з низькою рухливістю) та електронів основного об'єму n-шару (з високою рухливістю). Для електронів порушеного шару рухливість швидко зростає протягом  $10^3$  хв і далі залишається сталою на рівні  $\sim 26000$   $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ . При цьому їх концентрація спадає протягом цього часу і далі також залишається сталою (ефективна концентрація дорівнює  $2.2 \cdot 10^{15}$   $\text{cm}^{-3}$ ). Характер релаксації електронів основного об'єму n-шару є складнішим. Протягом перших  $10^4$  хв спостерігається різке зменшення ефективної концентрації електронів і далі швидкість зменшення їх концентрації спадає (після витримки  $10^5$  хв ефективна концентрація дорівнює  $1.2 \cdot 10^{15}$   $\text{cm}^{-3}$ ). Аналогічно зростає рухливість електронів основного об'єму n-шару, яка після витримки  $10^5$  хв дорівнює  $\sim 130000$   $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , тобто набуває цілком відповідного значення для  $\text{p-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  даного складу ( $x=0.23$ ) і концентрації акцепторів. Відмінність між параметрами легких електронів для зразка #4 після короткочасової релаксації та зразків #1, #2, #3 після 10 років зберігання при кімнатній температурі пов'язана з тим, що зразок #4 був вирізаний з епітаксійної плівки, отриманої в іншому технологічному процесі, яка характеризувалася іншим складом та рівнем фонових домішок.

Механізми релаксації параметрів р-n структур, створених ППТ, нам бачаться наступними. Для електронів порушеного шару спостерігається швидке зростання їх рухливості та зменшення концентрації, після чого їх параметри стабілізуються, а самий порушений шар зберігається після десятирічної витримки при кімнатній температурі. Релаксацію параметрів важких електронів ми пов'язуємо з самовідпалом радіаційних структурних дефектів, створених під час іонного бомбардування. Наявність додаткових структурних дефектів в порушеному шарі (2-3 мкм) після ППТ була підтверджена нами раніше даними рентгенівських досліджень [14]. Проте природа та механізм утворення порушеного шару на сьогодні остаточно не з'ясовані і це вимагає подальших досліджень. Релаксація властивостей основного об'єму конвертованого шару пов'язана передусім з наявністю в досліджених зразках неконтрольованих акцепторних домішок I, V групи таблиці (в основному As, Cu), тобто з розпадом створених в процесі ППТ донорних дефектів. Оскільки відомо, що залишкові неконтрольовані донори в  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  є стабільними, що підтверджує стабільність параметрів матеріалу n-типу провідності, отриманого термічним відпалом вакансійно-легованого вихідного матеріалу, а спеціального легування індієм в досліджених зразках не проводилося. Як було відзначено вище, такими донорними дефектами можуть бути комплекси:  $\text{As}(\text{Sb})_{\text{Te}} - \text{Hg}_i$  (атом миш'яку (сурми) в підґратці Te – міжвузловинний атом ртуті);  $\text{Cu}(\text{Ag})_i$  (атом міді (срібла) витіснений в міжвузля). Умовою утворення їх є перевищення концентрації міжвузловинної ртуті в джерелі дифузії над відповідними константами рівноваги реакцій утворення відповідних дефектів, що і досягається при ППТ [11, 12]. При цьому швидкість релаксації буде визначатися типом домінуючого донорного дефекту, тобто типом домішки. Зокрема припущення про зв'язок релаксації параметрів р-n структур, сформованих ППТ на вакансійно-легованому  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , з наявністю в такому матеріалі фонових домішок миш'яку було висунуто в [6]. Крім того, короткочасова релаксація параметрів р-n структури, створеної ППТ, безпосередньо спостерігалась нами на зразку  $\text{p-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , легovanого миш'яком, в якому вакансії ртуті були відсутні [7]. Характер часових змін провідності для нього добре узгоджується з таким для зразка #4 (рис. 3).

**Висновки.** Досліджено довгочасову (10 років) та короткочасову (декілька місяців) релаксацію параметрів р-n структур, створених іонно-променевим травленням на вакансійно-легованих епітаксійних плівках  $\text{p-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ . Показано, що переважно релаксація параметрів відбувається протягом перших 3-4 місяців, після чого параметри структури стабілізуються. При цьому характерні особливості створених ППТ структур, а

саме наявність двох типів електронів з низькою та високою рухливістю в порушеному шарі та основному об'ємі n-шару, відповідно, залишаються після довготривалого (10 років) зберігання зразків при кімнатній температурі в атмосфері навколишнього середовища. Виявлено різний характер релаксації параметрів електронів порушеного шару та основного об'єму n-шару. Релаксацію параметрів порушеного шару можна пов'язати з самовідпалом радіаційних структурних дефектів, створених під час іонного бомбардування, тоді як релаксація властивостей основного об'єму конвертованого шару пов'язана з наявністю у вихідних зразках неконтрольованих акцепторних домішок I, V групи, тобто з розпадом створених в процесі ПТ донорних дефектів.

Отже, внаслідок проведених досліджень вперше показано, що за допомогою іонно-променевого травлення вакансійно-легованого  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  формуються шари n-типу провідності, які після короткочасової релаксації (декілька місяців) мають стабільні впродовж 10 років електричні параметри і метод ПТ є придатним для формування p-n переходів фотодіодів.

1. Rogalski A. *Infrared Detectors at the beginning of the next millennium // Sensors and Materials.* – 2000. – Vol. 12, №5. – P.233-288.

2. Wotherspoon J.T.M. *Method of Manufacturing a Detector Device // UK Patent № GB 2095898, 1981.*

3. Baker I.M., Maxey C.D. *Summary of HgCdTe 2D array technology in the UK // JEM.* – 2001. – Vol. 30, №6. – P.682-689.

4. Иванов-Омский В.И., Миронов К.Е., Мынбаев К.Д. *Электрофизические свойства CdHgTe, подвергнутого ионно-лучевому травлению // ФТП.* – 1990. – Т.24, №12. – С.2222-2224.

5. Bogoboyashchii V.V., Izhnin I.I. *Mechanism for conversion of the type of conductivity in p-  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  crystals upon bombardment by low-energy ions. // Russian Physics J., 2000.* – Vol. 43, №8. – P.627-636.

6. Belas E., Grill R., Franc J., Moravec P., Varghová R., Höschl P., Sitter H., Toth A.L. *Dynamics of Native Point Defects in  $\text{H}_2$  and Ar Plasma-Etched Narrow Gap (HgCd)Te // Journal of Crystal Growth.* – 2001. – Vol.224, №1-2. – P.52-58.

7. Belas E., Bogoboyashchii V.V., Grill R., Izhnin I.I., Yudenkov V.A. *Time relaxation of points defects in p- and n-(HgCd)Te after ion beam milling // The 2002 U.S. Workshop on the Physics and Chemistry of II-VI Materials, Extended Abstracts, San Diego, USA, 2002, P.191-194.*

8. Beck W.A., Anderson J.R. *Determination of electrical transport properties using a novel magnetic field-dependent Hall technique // J.Appl.Phys.* – 1987. – V.62, N2, P.541-554.

9. Izhnin I.I., Izhnin A.I., Kurbanov K.R., Prytuljak B.B. *P-to-n ion beam milling conversion in specially doped  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  // Proc. SPIE.* – 1996. – V.3182. – P.383-387.

10. Siliquini J.F., Dell J.M., Musca C.A., Faraone L., Piotrowski J. *Characterisation of reactive-ion-etching-induced type-conversion in p-type HgCdTe using scanning laser microscopy // J.Cryst.Growth.* – 1998. – V.184/185, №1-4. – P.1219-1222.

11. Bogoboyashchii V.V., Vlasov A.P., Izhnin I.I. *Mechanism for conversion of the conductivity type in arsenic-doped p- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  subject to ionic etching // Russian Physics J., 2001.* – Vol.44, №1. – P.61-70.

12. Berchenko N.N., Bogoboyashchii V.V., Izhnin I.I., Ilyina Yu.S., Vlasov A.P. *Type conductivity conversion in As-, Sb-doped p- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  under ion beam milling // Surface & Coatings Technol.* – 2002. – Vol.158-159. – P.732-736.

13. Antoszewski J., Musca C.A., Dell J.M., Faraone L., *Characterisation of  $\text{Hg}_{0.3}\text{Cd}_{0.7}\text{Te}$  n-on p-type structures obtained by reactive ion etching induced p- to n conversion // J.Elctron.Mater.* – 2000. – Vol.29, №6. – P.837-840.

14. Savitsky V., Mansurov L., Fodchuk I., Izhnin I.I., Virt I., Lozynska M., Evdokimenko A. *Peculiarities of MCT Etching in RF Mercury Glow Discharge // Proc. SPIE.* – 1998. – Vol.3725. – P.299-303.