

О.Б. СМІРНОВ, А.А. КОРЧОВИЙ, М.М. КРОЛЕВЕЦЬ, В.О. МОРОЖЕНКО,  
Р.К. САВКІНА, Р.С. УДОВИЦЬКА, Ф.Ф. СИЗОВ

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
(Просп. Науки, 41, Київ 03028; e-mail: alex\_tenet@isp.kiev.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЇ ШАРІВ $p$ -CdHgTe СТРУКТУРОВАНИХ КОВЗНИМ ОПРОМІНЕННЯМ ІОНАМИ СРІБЛА

УДК 621.793.184.06

У роботі вивчається “top-down” процес отримання наноструктурованого шару на поверхні напівпровідникового матеріалу методом іонної імплантації. У результаті опромінення гетероструктур  $p$ -Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $x = 0,223$ )/CdZnTe іонами срібла з енергією 100 eV на поверхні зразків відбувається утворення масиву наноструктур. Зменшення кута падіння іонного пучка до 40° приводить до того, що наноструктурування набуває впорядкованого характеру. При цьому наслідком стабілізації активованого імплантацією стану системи є утворення поліфункціональної системи оксид металу-напівпровідник Ag<sub>2</sub>O- $p$ -Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $x = 0,2$ ), що є розмірно-залежним відгуком на опромінення ковзним опроміненням та, що дозволяє сумістити функціональні властивості оксиду Ag<sub>2</sub>O ( $E_g = 1,41$  eV) та напівпровідника CdHgTe ( $E_g = 0,123$  eV), як основи для створення оптичних перетворювачів та масивів з НВЧ ґраток.

**Ключові слова:** наноструктурований шар, напівпровідник CdHgTe, метод іонної імплантації.

### 1. Вступ

Із зменшенням топологічних норм пристроїв інтегральної електроніки вартість літографічного устаткування має тенденцію до експоненційного зростання, а сама літографія, залишаючись важливим технологічним етапом створення сучасних приладів мікро- та наноелектроніки, наближається до вичерпання своїх можливостей. В той самий час, обробка напівпровідника концентрованими потоками енергії або частинок здатна формувати на його поверхні спектр корисних топологічних особливостей, таких як хвилястий нанорельєф, тераси, ієрархічні масиви нанооб'єктів, тощо. Зокрема, потужний потенціал іонного бомбардування дозволяє отримувати регулярні структури з порядком у десятки нанометрів із точністю, співставною з сучасним рівнем літографії [1–4].

Вперше утворення на поверхні конденсованого середовища хвилястого рельєфу (“ripples”) зафіксовано у роботі [5] при обробці поверхні скла широким пучком іонів азоту з атмосферного розряду.

Значні зусилля були прикладені до вивчення та інтерпретації мікроскопічної динаміки процесу структування поверхні металів, ізоляторів та напівпровідників під дією іонного бомбардування [6–7]. Створена теоретична модель (Бредлі-Харпера [8, 9]), відповідно до якої утворення впорядкованих структур є наслідком нестабільності, викликаній залежністю коефіцієнта розпилення від викривлення поверхні, що обробляється.

З аналізу літературних джерел [10–15] випливає, що енергія іонного опромінення забезпечує статистичний опис процесу формування наноструктур. Морфологія ж та кінетика структуроутворення визначаються кутом взаємодії потоку іонів з поверхнею мішені. В попередніх роботах нами було встановлено, що опромінення плівок CdHgTe (КРТ) іонами срібла призводить до наноструктурування їх поверхні [16–18] та утворення включень Ag<sub>2</sub>O в матриці. Метою цієї роботи було вивчення характеру змін структурних властивостей вузькощільного напівпровідникового з'єднання КРТ від кута іонного опромінення та можливості керуваного формування на поверхні наногетероархітектури Ag<sub>2</sub>O- $p$ -CdHgTe. Іонне мікроструктурування шарів твердого розчину  $p$ -Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $x = 0,223$ ) дозволить сумістити функціональні вла-

© О.Б. СМІРНОВ, А.А. КОРЧОВИЙ,  
М.М. КРОЛЕВЕЦЬ, В.О. МОРОЖЕНКО,  
Р.К. САВКІНА, Р.С. УДОВИЦЬКА,  
Ф.Ф. СИЗОВ, 2015

стивості оксиду  $\text{Ag}_2\text{O}$  ( $E_g = 1,41$  eV) та напівпровідника  $\text{CdHgTe}$  ( $E_g = 0,123$  eV), як основу для створення оптичних перетворювачів та НВЧ ґраток.

## 2. Експеримент

Були проведені експериментальні дослідження гетероепітаксійних плівок  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x = 0,223$ ) на підкладці  $\text{CdZnTe}$ , виготовлених методом рідиннофазної епітаксії, що піддавалися опроміненню іонами срібла з енергією 100 eV та дозою імплантації  $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$  при кімнатній температурі. Імплантацію іонами срібла проводили, як при нормальному падінні променя (подвійною дозою), так і під кутом  $40^\circ$  (однією дозою) по відношенню до поверхні зразків.

Дослідження поверхні напівпровідникових плівок проводилися у контактному режимі за допомогою АСМ-мікроскопії (NanoScope IIIa Digital Instruments). Додатково вивчалися зміни оптичних властивостей гетероструктур шляхом реєстрації спектрів пропускання.

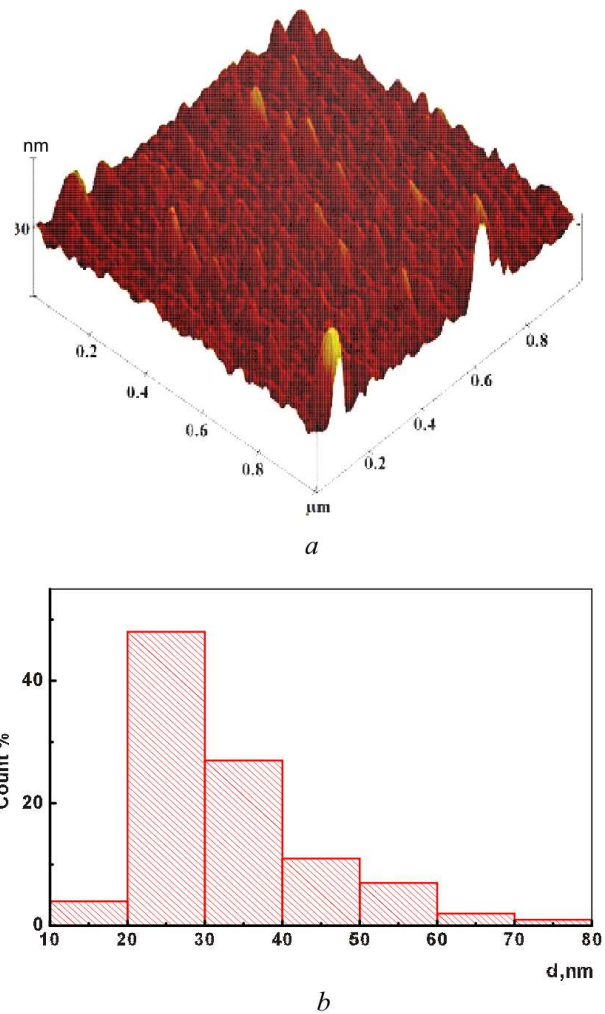
## 3. Результати

### 3.1. Топометрія

Для всіх досліджуваних зразків (вихідного, проімплантованого під кутом  $90^\circ$  та  $40^\circ$  відповідно) наведено 3D АСМ-зображення (рис. 1, *a*, 2, *a*, 3, *a*) та гістограми (рис. 1, *b*, 2, *b*, 3, *b*). В таблиці наведено параметри поверхні (площа реальної поверх-

**Параметри поверхні  $\text{CdHgTe}$  до та після імплантації іонами срібла**

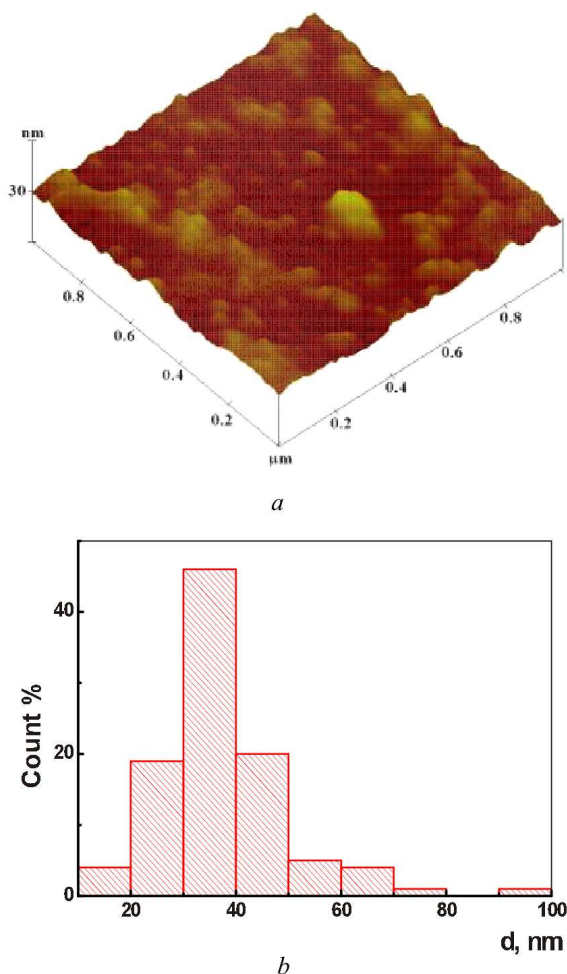
Зразок	Параметри шорсткості фрагмента поверхні площею $(1 \times 1) \text{ мкм}^2$		
	Площа реальної поверхні, $\text{мкм}^2$	Різниця площі рельєфу відносно ідеальної, %	Середньоквадратична шорсткість, $R_q$ , нм
Вихідний	1,0375	3,75	3,34
Імплантований сріблом двічі, кут $90^\circ$	1,0093	0,93	2,17
Імплантований сріблом, кут $40^\circ$	1,03041	3,041	3,11



**Рис. 1.** АСМ-зображення вихідних зразків гетероепітаксійної структури  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x = 0,223$ ): *a* – 3D зображення, *b* – гістограма розподілу частинок за розміром у площині  $X\text{-}Y$

ні, різниця площі рельєфу відносно ідеальної, середня квадратична шорсткість) вихідного та проімплантованих зразків гетероепітаксійної структури  $\text{CdHgTe}$ .

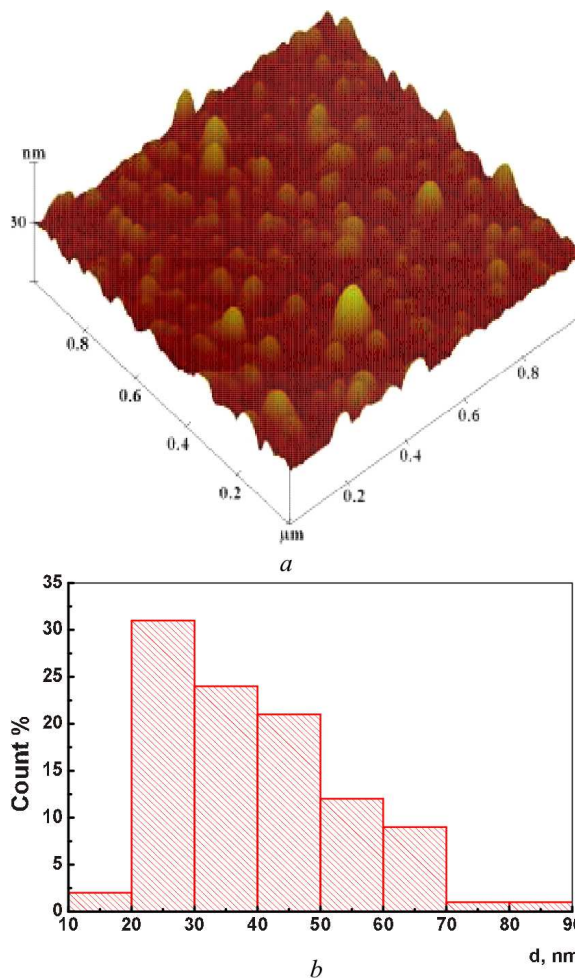
На АСМ-зображеннях спостерігається складний рельєф поверхні гетероепітаксійної плівки. Результати топометрії вихідного зразка (рис. 1, *a* показали, що площина поверхні щільно та рівномірно упакована зернами округлої форми від 20 до 40 нм. Тобто, досліджувана епітаксійна плівка характеризується значним ресурсом нерівнованжності. Цей стан зазвичай сконцентрований у ме-



**Рис. 2.** АСМ-зображення зразків гетероепітаксійної структури  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x = 0,223$ ), при імплантації іонами срібла при нормальному падінні ( $90^\circ$ ) з подвійною дозою:  $a$  – 3D зображення,  $b$  – гістограма розподілу частинок за розміром у площині  $X\text{-}Y$

ханічних напруженнях, які носять локальний характер (зерна–пори), що підтверджується наявністю сіток квазіпор глибиною 3,5–10 нм та діаметром 50–160 нм. Середня квадратична шорсткість фрагмента такої поверхні дорівнює 3,34 нм (див. таблицю).

Після подвійної імплантації іонами срібла під кутом  $90^\circ$  (рис. 2,  $a$ ) поверхня напівпровідникової плівки трансформується. Розвиток мікрорельєфу відбувається за рахунок розмиття ділянок поверхні. Майже не видно квазіпор, відбувається значне розмиття границь зерен, деякі зерна, при не-



**Рис. 3.** АСМ-зображення зразків гетероепітаксійної структури  $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x = 0,223$ ), при імплантації іонами срібла під кутом

змінних порівняно з вихідними розмірами, формують ланцюжки з каналами між ними. Внаслідок подвійної імплантації середня квадратична шорсткість зменшилася до 2,17 нм. Утворився значний розрив у висотах по ділянках поверхні, що, імовірно, визначається наявністю дефектних та бездефектних областей напівпровідника. Отже, подвійна імплантація демонструє явище іонного розпилення (“sputtering”) і деградації поверхні плівки КРТ.

Після імплантації іонами срібла під кутом  $40^\circ$  (рис. 3,  $a$ ) на поверхні, на фоні незначного розмиття границь зерен, але при збереженні її вихідної пористості, спостерігається незначне зростання розмірів зерен до 60 нм. Рельєф стає більш

розвиненим. Утворюється однорідний масив конусоподібних утворень з висотою  $h$  від 5 до 10 нм та діаметром основи  $d$  від 50 до 80 нм відповідно. Із таблиці видно, що в результаті імплантації іонами срібла під кутом  $40^\circ$  середня квадратична шорсткість по відношенню до вихідного значення зменшилась незначно, до 3,11 нм.

З метою визначення характеру розподілу розмірів об'єктів, що локалізовані по поверхні зразків, у роботі була проведена обробка отриманих АСМ-зображень. Як результат, побудовано гістограми, які відображають результат накладання функцій розподілу латеральних розмірів у площині  $X-Y$  (див. рис. 1, *a*, 2, *b*, 3, *b*). Найбільш ймовірний розмір наноб'єктів визначається за головним максимумом гістограми розподілу.

Аналіз графіків розподілу для всіх зразків показує незначні відхилення головних максимумів у відсотковому відношенні від 30 до 50%. З рис. 1, *b* видно, що розподілення за розміром об'єктів по поверхні вихідного зразка суттєво несиметричне з найбільш ймовірним розміром зерна 25 нм. На гістограмі розподіл розмірів наноб'єктів для плівок КРТ, опромінених іонним променем під нормальним кутом до поверхні зразка (рис. 2, *b*), майже симетричний по відношенню до найбільш ймовірного розміру (35 нм). Тобто, розподіл функції ймовірного розміру зсувається у бік збільшення латеральних розмірів порівняно із вихідним і сам розподіл наближається до гаусіану. Гістограма розподілу наноб'єктів на поверхні зразка (рис. 3, *b*), що опромінювався під кутом  $40^\circ$ , має лінійну ділянку (в логарифмічному масштабі), наявність якої вказує, що на поверхні епітаксійної плівки напівпровідникового з'єднання відбувається процес формування структур з фрактальною геометрією [19]. Для підтвердження періодичності та упорядкованості системи були отримані фур'є-образи АСМ-зображень досліджуваних зразків (рис. 4, *a*, *b*, *c*). Для вихідного зразка характерне повне розмиття світлових границь, фур'є-образ має дифузний характер (рис. 4, *a*). В той самий час фур'є-образ просторових частот структурованої іонною імплантацією поверхні CdHgTe вказує на утворення двовимірної квазіперіодичної структури, яка являє собою систему дугоподібних утворень з нанозерен.

На образі рис. 4, *b* можна виділити упорядковані структури з просторовими періодами  $1/f_1 =$

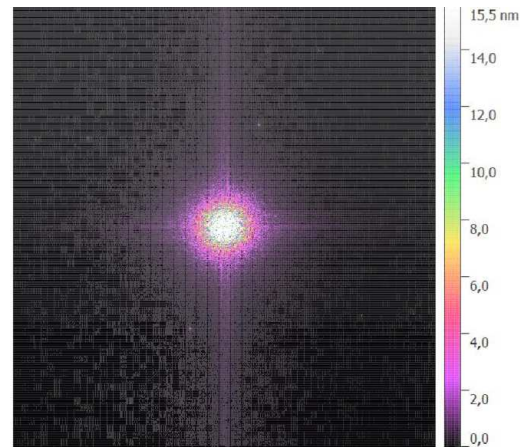
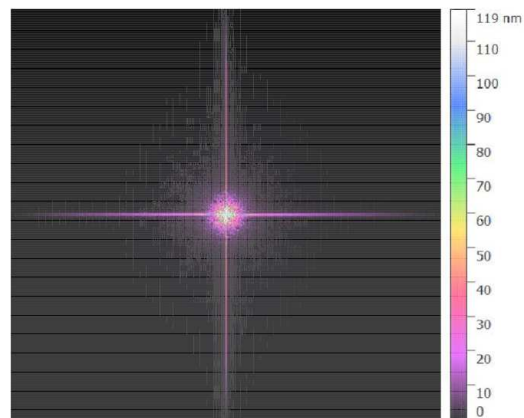
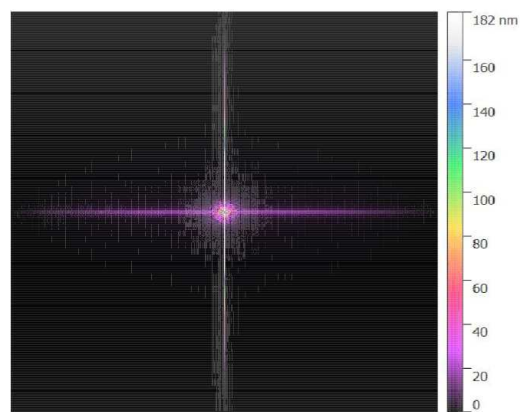
*a**b**c*

Рис. 4. Фур'є-образ АСМ-зображення: *a* – для вихідного; для імплантованого сріблом: під кутами – *b* –  $40^\circ$ ; *c* –  $90^\circ$  (2 рази)

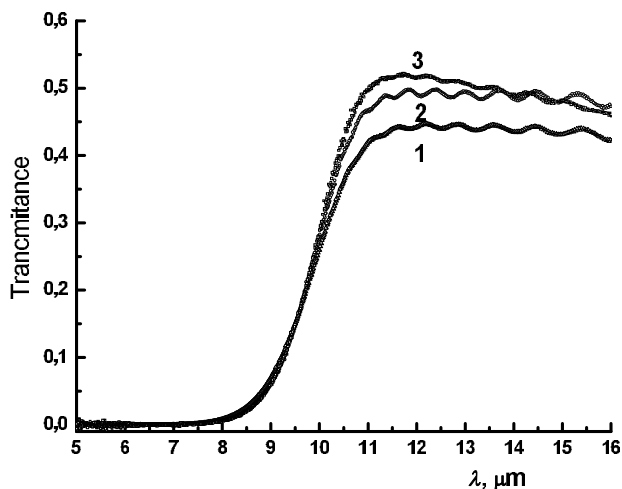


Рис. 5. Спектри пропускання зразків: вихідного (1); імплантація сріблом під кутами: 40° (2) та 90° (3) відповідно

= 80 нм та  $1/f_2 = 90$  нм (з відповідними до них характерними частотами  $f_1 = 1/801$  нм<sup>-1</sup>,  $f_2 = 1/90$  нм<sup>-1</sup>). Частоти, що утворюють “хрест” у центрі частотних спектрів пов’язаний з методом фур’є-перетворення (викликані крайовим ефектом), тому при аналізі дані частоти необхідно проігнорувати. На фур’є-образі зразка, двічі опроміненого під кутом 90° (рис. 4, с), спостерігається відсутність характерних частот для будь якої періодичної структури, що вказує на те, що мікроструктура поверхні зразка була повністю зруйнована в процесі імплантації подвійною дозою.

### 3.2. Оптичні властивості

Склад  $x$  та однорідність епітаксійного шару оцінювалися по ГЧ-спектрах пропускання, при кімнатній температурі в діапазоні 2,5–20 мкм. Для всіх зразків на рис. 5 чітко видно різкий спад пропускання в області довжин хвиль  $\lambda < 9,9$  мкм, який визначається композиційним складом активного шару КРТ ( $E_g = 0,123$  еВ). Після опромінення зразків іонами срібла, як нормально (рис. 5 спектр 3), так і під кутом 40° до поверхні зразка (рис. 5 спектр 2), спостерігається підвищення оптичного пропускання від вихідного значення (40%) до 50%, що узгоджується із зменшенням шорсткості (див. таблицю).

У першому випадку зміни оптичних показників можна пов’язати з процесом розмиття ділянок поверхні гетероструктури КРТ, що відображається

на спектрах зникненням інтерференційної картини, характерної для матеріалу у вихідному стані [20]. Більш чітка інтерференційна картина для зразка, опроміненого під кутом 40°, може свідчити про більшу однорідність гетерошару за товщиною, що узгоджується з ефектом впорядкування структури, зменшення пор та ущільнення поверхні, в результаті цього інтерференція в спектрі пропускання стає контрастнішою, а значення показника  $T$  збільшується (рис. 5 спектр 2).

Для зразка, опроміненого подвійною дозою під кутом 90°, окрім розмиття інтерференційної картини (рис. 5 спектр 3), в області  $\lambda > 12$  мкм спостерігається більш різке зменшення пропускання при збільшенні довжини хвилі. Як відомо, в області  $h\nu < E_g$  поглинання відбувається на вільних носіях заряду, що зумовлює залежність коефіцієнта поглинання від довжини хвилі  $\alpha(\lambda) \sim \lambda^2$  для  $p$ -КРТ та  $\alpha(\lambda) \sim \lambda^{3,2}$  для  $n$ -КРТ [21].

Отже, в нашому випадку опромінення подвійною дозою могло призвести до конвертації провідності  $p \rightarrow n$ , або утворення шару  $n$ -КРТ. Необхідно зауважити також, що оскільки оптичне пропускання пов’язане не тільки з поглинанням, а і з відбиванням світла, то для однозначного встановлення причини більш суттєвої залежності  $T$  від  $\lambda$  необхідні додаткові дослідження оптичних та електричних властивостей опроміненого матеріалу.

### 4. Обговорення

Таким чином, дослідження впливу іонного бомбардування на структурні властивості епітаксійних плівок  $p$ -КРТ в залежності від інтенсивності та кута падіння іонного пучка показали таке. Іонне опромінення епітаксійних плівок КРТ іонами срібла при нормальному падінні (90°) пучка іонів на поверхню досліджуваних зразків призводить до утворення масиву наноструктур з латеральним розміром від 60 до 120 нм та висотою від 12 до 16 нм [16, 17]. В результаті зменшення кута падіння іонного пучка до 40° наноструктурування поверхні набуває впорядкованого характеру – відбувається утворення двовимірної квазіперіодичної системи з просторовим періодом  $1/f = 80$ –90 нм. Тоді як опромінення подвійною дозою під кутом 90° приводить до деградації поверхні плівки КРТ. Слід відзначити, що опромінення плівок КРТ іонами бора в тій же геометрії (при нормальному



падінні пучка іонів на поверхню досліджуваних зразків) та з тією ж енергією та дозою, що і у випадку опромінення іонами срібла, призводить до утворення суттєво відмінного за характером пошкодження та товщини порушеного шару [16]. Наноструктурування поверхні не спостерігається. Також відмінний характер спотворення кристалічної ґратки КРТ – максимальні механічні напруження  $\sigma_{\max}$  в порушеному шарі відрізняються на два порядки величини та подібні до стискання у випадку  $V^+$  ( $\sim 10^3$  Pa [16]) тоді як при імплантації іонами більшого радіуса ( $Ag^+$ ) кристалічна ґратка розтягується ( $\sim 10^5$  Pa [16]).

На нашу думку, формування складного рельєфу поверхні у вигляді масиву наноострівців відбувається шляхом іонно-променевої ерозії. Цей механізм працює при низькоенергетичному опроміненні [9]. При опроміненні бінарної сполуки за рахунок переважного розпилення одного з компонентів порушується стехіометрія та на поверхні матеріалу утворюється шар альтернативного складу [12]. При цьому поверхня збагачується більш тяжкими компонентами твердого розчину КРТ, а саме Hg. Це узгоджується з результатами рентгеноструктурного аналізу плівок КРТ складом  $x = 0,23$ , опромінені іонами срібла з енергією 100 eV, що представлені нами у роботі [18], які показали утворення на поверхні полікристалічного шару КРТ складу  $x = 0,2$ .

Крім того, для нашого випадку важливу роль відіграє деформація, яку вносить в матрицю іонне опромінення. Відмінність ефектів, що виникають у приповерхневому шарі епітаксійної плівки КРТ в результаті обробки іонами бору та срібла, пов'язана саме з протилежним характером деформацій, які вони вносять у кристалічну ґратку напівпровідника. Зокрема, деформації розтягування приповерхневої області епітаксійної плівки  $p$ -КРТ та, відповідно, стискання більш глибоких шарів, стимулюють “витягування” до поверхні іонів срібла та утворення сполуки  $Ag_2O$  в приповерхневому шарі матриці (згідно з даними рентгеноструктурного аналізу, наведених у роботі [18]). Вирішальним фактором при цьому є схильність срібла до створення твердих розчинів у  $p$ -CdHgTe при іонній імплантації.

В існуючих рамках, у роботі вивчається “top-down” процес отримання наноструктурованого шару на поверхні напівпровідникового матеріалу ме-

тодом іонної імплантації. Проникнення іонів срібла призводить до зміни термодинамічних параметрів порушеного шару епітаксійної плівки КРТ. Стабілізація компонентів нерівноваженого планарного середовища відбувається через зміну макро- та мікроскопічних характеристик складної системи. З одного боку, відбувається деформація розтягнення, зниження енергії утворення дефектів, зміна параметрів кристалічної ґратки, підвищення концентрації та дифузійної рухливості дефектів, тощо. З іншого боку – характеристики планарного мікроструктурування напівпровідника стають такими, що визначають стан всієї системи. При цьому наслідком стабілізації активованого імплантацією стану системи є утворення поліфункціональної системи оксид металу–напівпровідник  $Ag_2O$ – $Cd_xHg_{1-x}Te$ .

## 5. Висновки

У роботі наведено результати вивчення впливу іонного бомбардування на структурні властивості епітаксійних плівок  $p$ -CdHgTe в залежності від параметрів іонного пучка. Показано формування поверхневих структур нанометрового масштабу, при цьому кінетика структуроутворення залежить від кута взаємодії променя іонів з поверхнею мішені. В результаті іонного опромінення мішені під кутом  $40^\circ$  на поверхні зразка відбувається самоорганізація масиву наноструктур з латеральним розміром від 50 до 80 нм та висотою  $h$  від 5 до 10 нм. Аналіз гістограм розподілу нанооб'єктів на поверхні зразка, що опромінювався під кутом  $40^\circ$ , вказує на формування структур з фрактальною геометрією. Подвійна імплантація поверхні при нормальному падінні іонів срібла призводить до деградації поверхні плівки КРТ.

1. E. Chason and W.L. Chan, Topics Appl. Physics **116**, 53 (2010).
2. B. Ziberi, M. Cornejo, F. Frost, and B. Rauschenbach, J. Phys. Condens. Matter. **21**, 224003 (2009).
3. S. Facsko, T. Dekorsy, C. Koerdt, C. Trappe, H. Kurz, A. Vogt, and H.L. Hartnagel, Science **285**, 1551 (1999).
4. F. Frost, A. Schindler and F. Bigl, Phys. Rev. Lett. **85**, 4116 (2000).
5. M. Navez, C. Sella, and D. Chaperot, Acad. Sci. Paris **254**, 240 (1962).
6. R. Cuerno and A.-L. Barabasi, Phys. Rev. Lett. **74**, 4746 (1995).
7. M. Makeev and A.-L. Barabasi, Appl. Phys. Lett. **71**, 2800 (1997).

8. R.M. Bradley and P.D. Shipman, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 145501 (2010).
9. R.M. Bradley and J.M.E. Harper, *J. Vac. Sci. Technol. A* **6**, 2390 (1988).
10. P.A. Sigmund, *J. Mater. Sci.* **8**, 1545 (1973).
11. M. Castro, R. Cuerno, L. Vrazquez, and R. Gago, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 016102.152 (2005).
12. S. Facsko, T. Bobek, A. Stahl and H. Kurz, *Phys. Rev. B* **69**, 153412 (2004).
13. M. Kardar, G. Parisi, and Y.C. Zhang, *Phys. Rev. Lett.* **56**, 889 (1986).
14. D.E. Wolf, *J. Villian Europhys. Lett.* **13**, 389 (1990).
15. Y. Kuramoto and T. Tsuzuki, *Prog. Theor. Phys.* **55** (2), 356 (1976).
16. A.B. Smirnov, O.S. Litvin, V.O. Morozhenko, R.K. Savkina, M.I. Smoliy, R.S. Udovytska and F.F. Sizov, *Ukr. J. Phys.* **58**, 872 (2013).
17. Патент України на корисну модель № 87886 від 25.02.14. Промислова власність. **4**, (2014).
18. F.F. Sizov, R.K. Savkina, A.B. Smirnov, R.S. Udovytska, V.P. Kladko, A.I. Gudimenko, N.V. Safruk, and O.S. Lytvyn, *Phys. Solid State* **56**, 2160 (2014).
19. A.-L. Barabasi and H.E. Stanley, *Fractal Concepts in Surface Growth* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1995).
20. A.V. Nikonov, K.O. Boltar, and N.I. Iakovleva, *Applied Phys.* **1**(4), 500 (2013) (in Russian).
21. Li Biao, J.H. Chu, Z.H. Chen, Y. Chang, H.M. Ji, and D.Y. Tang, *J. Appl. Phys.* **79**, 7738 (1996).

Одержано 20.01.15

*А.Б. Смирнов, А.А. Корчовой,  
Н.М. Кролевец, В.А. Морозенко,  
Р.К. Савкина, Р.С. Удовыцкая, Ф.Ф. Сизов*

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ  
СЛОЕВ  $p$ -CdHgTe СТРУКТУРИРОВАННЫХ  
ОБЛУЧЕНИЕМ ИОНАМИ СЕРЕБРА ПОД УГЛОМ

Резюме

В работе изучается “top-down” процесс получения наноструктурированного слоя на поверхности полупроводни-

кового материала методом ионной имплантации. В результате облучения гетероструктур  $p$ -Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $x = 0,223$ )/CdZnTe ионами серебра с энергией 100 эВ на поверхности образцов происходит образование массива наноструктур, а уменьшение угла падения ионного пучка до 40° приводит к тому, что процесс структурирования приобретает упорядоченный характер, что является размерно-зависимым откликом на облучение скользящим пучком. Следствием стабилизации активированного имплантацией состояния является образование полифункциональной системы: оксид-металл-полупроводник Ag<sub>2</sub>O- $p$ -Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $x = 0,2$ ), что позволяет совместить функциональные свойства оксида Ag<sub>2</sub>O ( $E_g = 1,41$  эВ) и полупроводника CdHgTe ( $E_g = 0,123$  эВ), как основы для создания оптических преобразователей и массивов СВЧ решеток.

*A.B. Smirnov, A.A. Korchoviy,  
N.M. Krolevic, V.A. Morozhenko,  
R.K. Savkina, R.S. Udovytska, F.F. Sizov*

STUDY OF THE MORPHOLOGY  
OF  $p$ -CdHgTe LAYERS STRUCTURED  
BY GRAZING SILVER-ION BEAM IRRADIATION

Summary

The “top-down” process of deposition of nanostructured layers on the surface of semiconductor materials by the ion implantation is studied. The irradiation of  $p$ -Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $x = 0.223$ )/CdZnTe heterostructures with 100-keV silver ions induces the formation of a nanostructure array on the specimen surface. The reduction of the ion beam incidence angle to 40° stimulates an ordering of nanostructures. The stabilization of the implantation-activated state of the system gives rise to the formation of the multifunctional metal oxide-semiconductor system Ag<sub>2</sub>O- $p$ -Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ( $x = 0.2$ ). The latter is a size-dependent response to the grazing beam irradiation and allows the combination of the functional properties of Ag<sub>2</sub>O oxide ( $E_g = 1.41$  eV) and CdHgTe semiconductor ( $E_g = 0.123$  eV) to be used as a basis for the creation of optical transducers and microwave grid arrays.