

Д.М. Фреїк¹, О.Л. Соколов¹, І.М. Ліщинський¹, В.Ю. Потяк¹, П.М. Литвин²

Процеси структуроутворення у парофазних конденсатах телуриду кадмію

¹Фізико-хімічний інститут,

Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: fcss@pu.if.ua

²Інститут фізики напівпровідників ім. В. С. Лашкарьова НАН України, пр. Науки, 41, Київ, 03028,
Україна, e-mail: plyt@isp.kiev.ua

Методами атомно-силової мікроскопії досліджено особливості формування плівок телуриду свинцю, на свіжі сколи (0001) слюди-мусковіт у квазізамкненому об'ємі методом гарячої стінки.

Ключові слова: телурид свинцю, наноструктури, процеси росту, парова фаза.

Стаття постуила до редакції 05.04.2011; прийнята до друку 15.06.2011.

Вступ

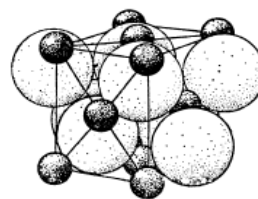
Телурид кадмію – алмазоподібний напівпровідник, кристалізується у структурі цинкової обманки з періодом ґратки $a = 6,481 \text{ \AA}$, плавиться конгруентно при $1074 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 1) [1,2].

Телурид кадмію р-типу провідності являється оптимальним матеріалом для створення високоєфективних сонячних елементів (СЕ) наземного використання [3]. Ширина забороненої зони, складає 1,45 eV, що відповідає максимуму спектра сонячного випромінювання. Тому СЕ з базовим шаром телуриду кадмію має високий коефіцієнт корисної дії. Великі атомні номери Cd і Te дозволяють досягати високих квантових ефективностей детекторів, що функціонують у діапазоні (10-500) кеВ при кімнатних температурах, на відміну від детекторів на основі Si і Ge.

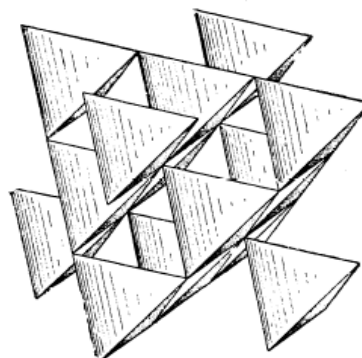
Основною проблемою на шляху створення високоєфективних приладів на CdTe є забезпечення необхідних електричних властивостей структури, які визначаються як параметрами базового матеріалу, так і технологією їх виготовлення [4-12].

Головною метою багатьох наукових досліджень телуриду кадмію можна вважати розробку технології одержання тонких плівок сполуки з визначеними електрофізичними і структурними параметрами. На сьогодні існує значна кількість методів одержання тонких шарів CdTe, серед яких переспективним є метод квазізамкненого об'єму (КЗО) [4,5,9,11]. Цей метод, завдяки конструктивним особливостям випаровувача, дає змогу одержувати плівки високої чистоти під час добре контрольованого

технологічного процесу. Водночас велика кількість невирішених фізико-технологічних проблем стають перешкодою на шляху до отримання якісних функціональних плівок CdTe з контрольованими властивостями. Ці проблеми пов'язані передусім зі складністю процесів випаровування і перенесення речовини у паровій фазі, конденсації пари на підкладку та ін.



а



б

Рис. 1. Структура сфалериту CdTe: а – у сферах двох різних діаметрів; б – у паулінговських тетрадрах.

I. Методика експерименту

Плівки CdTe отримували з парової фази у методі гарячої стінки. В якості підкладок використовували свіжі сколи (0001) слюди-мусковіт. Температуру випаровування наважки із наперед синтезованої сполуки CdTe змінювали в межах $T_B = (400 - 500)^\circ\text{C}$. У цій області температур CdTe випаровується конгруентно з більш ніж 98% молекул CdTe у парі [12]. Швидкість конденсації пари на підкладку становила $V = (0,02-2)$ мкм/хв. Температура стінки T_c підтримувалась на 50°C вище температури випарника T_B . Товщину конденсату задавали часом осадження $t = (0,5-15)$ хв у межах $(0,1-20)$ мкм (табл.). Товщину отриманих плівок визначали двома методами: оптичним (за інтерференційною картиною спектрів оптичного пропускання) та механічним (за допомогою профілометра). Для дослідження морфології поверхні зразків використовувався скануючий зондовий мікроскоп.

Отримані наноструктури досліджувалися методами атомно-силової мікроскопії (АСМ) Nanoscope 3a Dimension 3000 (Digital Instruments USA) у режимі періодичного контакту. Вимірювання проведені в центральній частині зразків з використанням серійних кремнієвих зондів NSG-11 із номінальним радіусом закруглення вістря до 10 нм (NTOMDT, Росія). За результатами АСМ досліджень крім морфології поверхні та профілограм у програмі WSxM 4.0 Develop 10.4 визначені розміри нанокристалів у латеральному напрямку, висоту та шорсткість поверхні.

II. Результати дослідження та їх обговорення

2.1. Процеси росту. Аналізуючи АСМ зображення наноструктур телуриду кадмію на сколах (0001) слюди-мусковіт, отриманих методом гарячої стінки при різних технологічних факторах (температура випаровування (T_B), температура стінки (T_c), температура осадження (підкладки) (T_p), час осадження (t)), можна стверджувати наступне (рис. 2-рис. 4). Домінуючим механізмом зародження CdTe на слюді слід вважати механізм Фольмера-Вебера, для

якого характерним є формування окремих зародків конденсату на поверхні підкладки із наступним їх розростанням і зростанням. Так, зокрема, це чітко відображено у особливостях морфології наноутворень CdTe для різного часу осадження (t), за умов сталих інших факторів ($T_B, T_p = \text{const}$) (рис. 2.).

Субзерна, розміри яких у латеральному напрямку складають до $(0,1-0,2)$ мкм мають тонку надструктуру, яка на порядок менша за величиною (рис. 2-а). Остання якраз виникає на початкових етапах осадження конденсату. Подальше збільшення часу осадження (росту) веде вже до формування досконалих структурних форм розмірами у десятків мікронетрів (рис. 2-б,в).

Характер формування наноструктур суттєво залежить також і від температури випаровування наважки (T_B) CdTe, за умов сталих температур стінки камери (T_c) та підкладки (T_p) і часу осадження ($t = \text{const}$) (рис. 3). Якщо при низьких температурах випаровування $T_B = (400-450)^\circ\text{C}$ формуються, в основному, нанодисперсні структури із утворенням нормально розміщеними відносно підкладки кристалами – віскерами (рис. 3-а,б), то вже при $T_B = 500^\circ\text{C}$ – досконалі кристаліти правильної огранки (рис. 3-в). Оптимальними умовами для формування окремих ограних кристалітів мікронних розмірів для гарячої стінки довжиною $L = 12$ см і діаметром $d = 1,5$ см слід вважати забезпечення наступних технологічних факторів: $T_B = 550^\circ\text{C}$, $T_c = 550^\circ\text{C}$, $T_p = 250^\circ\text{C}$, $t = 15$ хв (рис. 4-а). Зауважимо, що підвищення температури осадження вже до $T_p = 350^\circ\text{C}$, за умов збереження огранки кристалітів, зумовлює деяке зменшення їх лінійних розмірів (рис. 4-б).

2.2. Топологія наноструктур. Покращення досконалості епітаксійних структур зумовлює необхідність уваги до деталей їх формування. Їх розгляд доцільно починати із початкового етапу, можливості якого значно розширюються у зв'язку із АСМ – дослідженнями (рис. 2 – рис. 4). Так, зокрема, якщо орієнтація підкладки сприяє епітаксійним процесам, а саме підкладка є бездефектною, то

Таблиця
Технологічні умови осадження плівок CdTe на сколи (0001) слюди-мусковіт у методі гарячої стінки

№ зразка	Температура підкладки $T_p, ^\circ\text{C}$	Температура випарника $T_B, ^\circ\text{C}$	Час осадження $t, \text{хв}$	Шорсткість на площі $10 \cdot 10 \text{ мкм}^2$, нм
1-2	250	500	10	122,5
2-1	250	500	5	93,7
3-2	250	500	0,5	61,1
4-1	350	500	15	64,1
5-2	250	500	15	183,1
6-1	250	450	5	51,1
7-1	250	400	5	49,7

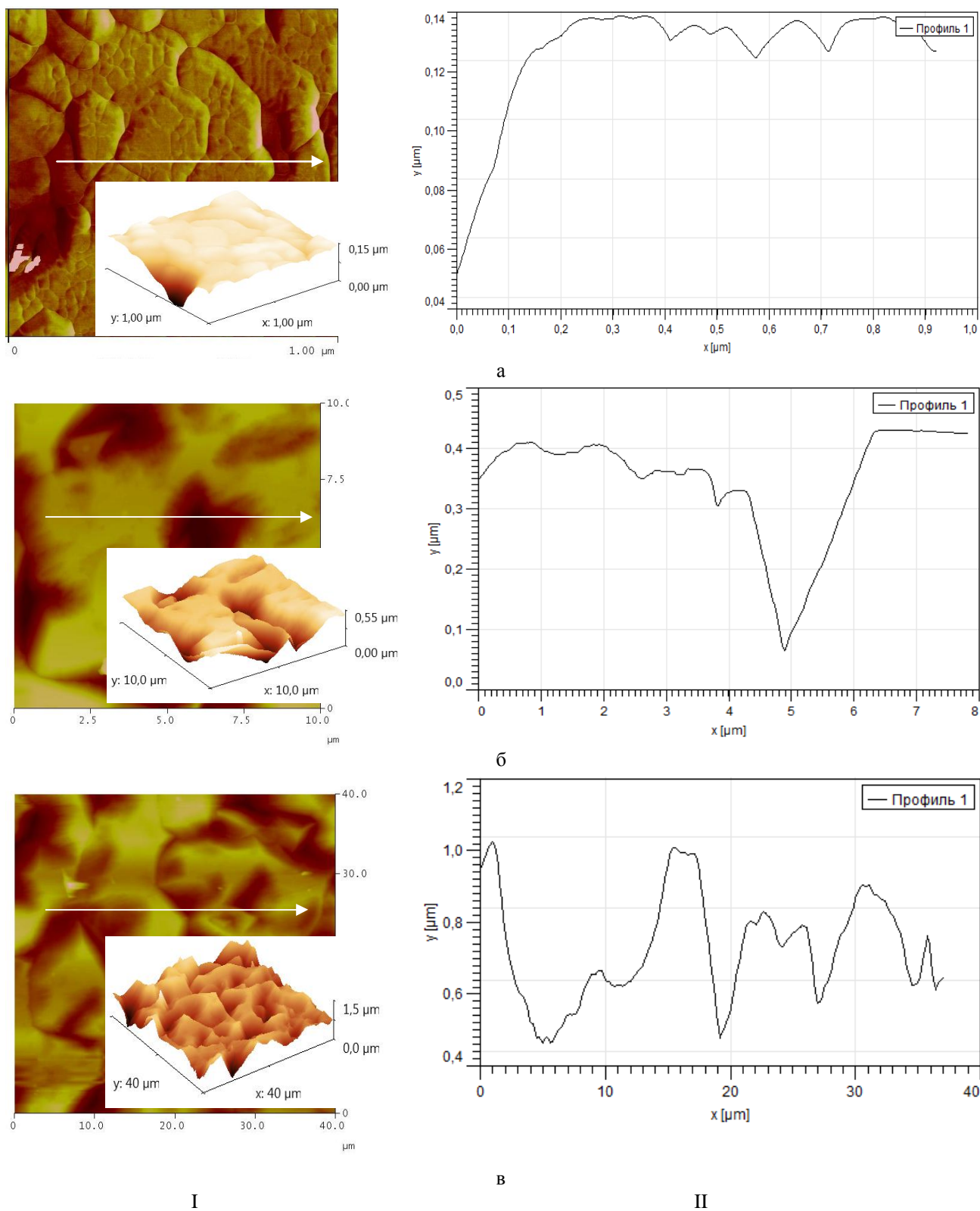


Рис. 2. АСМ – зображення (I) і профілограми (II) плівок CdTe, осаджених на сколи (0001) слюди-мусковіт методом гарячої стінки при різному часі напilenня t , хв: 0,5 (а), 5 (б), 10 (в), $T_B = 500^\circ\text{C}$, $T_{II} = 250^\circ\text{C}$.

Процеси структуроутворення у парофазних конденсатах...

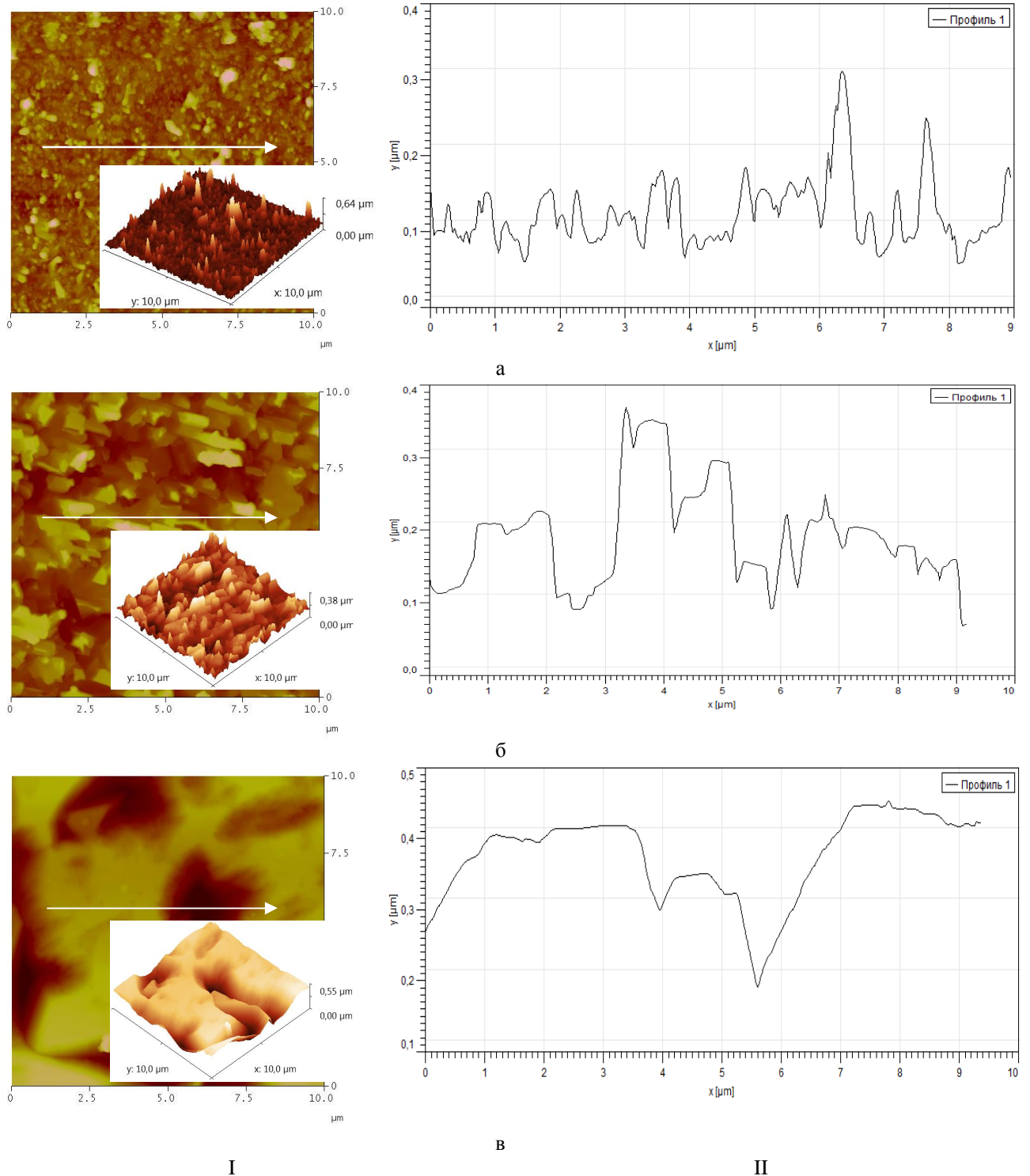


Рис. 3. АСМ – зображення (I) і профілограми (II) плівок CdTe, осаджених на сколи (0001) слюди-мусковіт при різних температурах випарника T_v , °C: 400 (а), 450 (б), 500 (в). $t = 5$ хв, $T_{п} = 250$ °C.

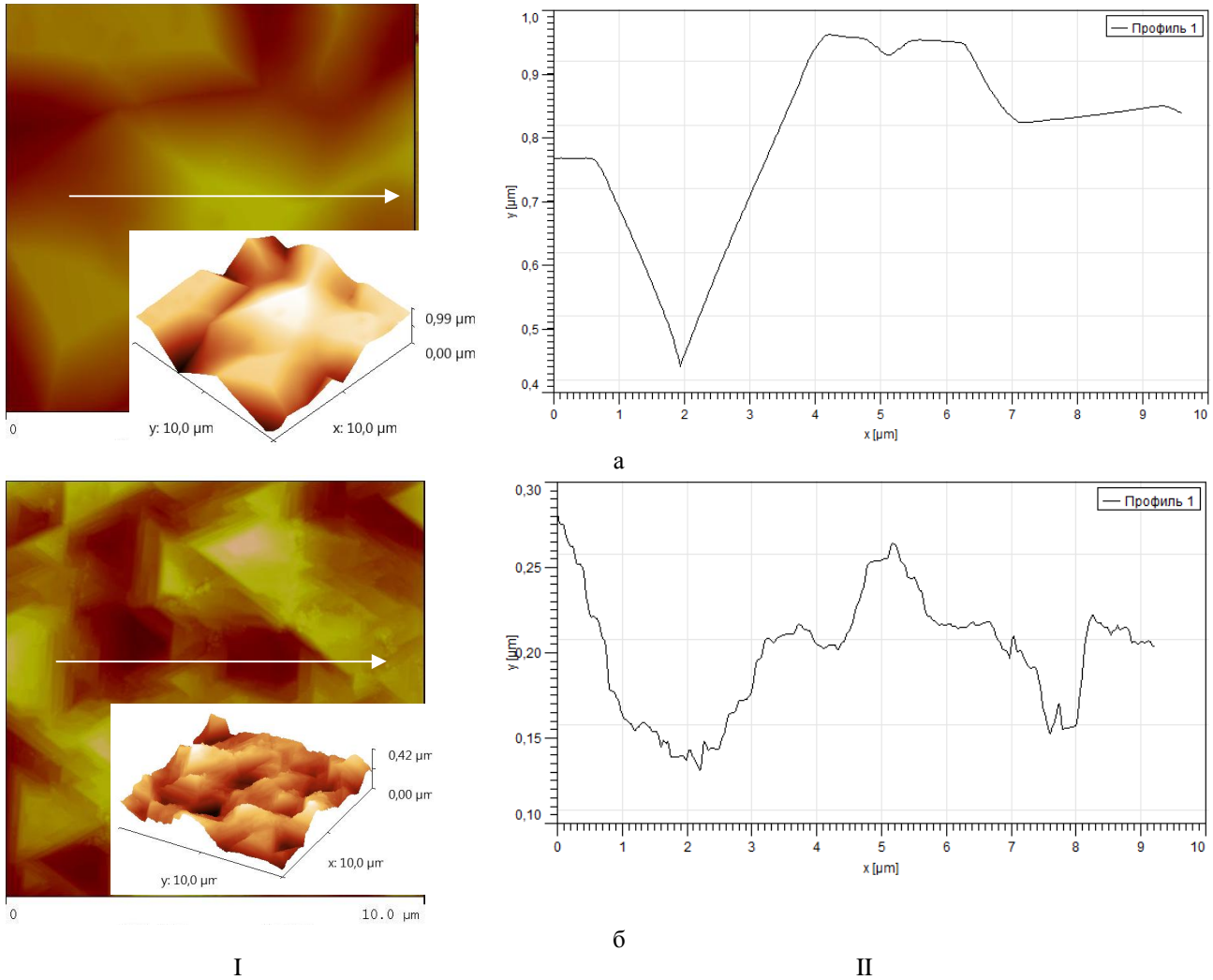


Рис. 4. АСМ – зображення (I) і профілограми (II) плівок CdTe, осаджених на сколи (0001) слюди-мусковіт при різних температурах підкладки $T_{\text{П}}$, °C: 250 (а); 350 (б), $t = 15$ хв, $T_{\text{В}} = 500^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{С}} = 550^{\circ}\text{C}$.

формування конденсату визначається технологічними факторами осадження. Будь які забруднення на підкладці, а також незначні мікро- і нанопошкодження зумовлюють появу багато чисельних і різновидних фігур росту: ямки і горбки росту, вініціали, мікродвійникові ламелі і дефекти упаковки, тощо [13]. Що стосується двійників, то їх утворення, в першу чергу згідно Пангарова [14], пов'язано із значним пересиченням пари, яка у нашому випадку може реалізуватися при низьких температурах підкладки.

У цьому плані перспективними підкладками для осадження конденсату є свіжі сколи (0001) слюди-мусковіт. Сукупність електричних характеристик мусковіта із такими його технологічними властивостями, як добра розчепленість на тонкі і рівні за площиною пластинки, висока хімічна стійкість, гнучкість, механічна міцність роблять її високоякісним електроізолюючим матеріалом, який широко використовується не тільки в електро- і радіотехніці, але і мікро – та наноелектроніці для формування атомних елементів.

Слюда-мусковіт $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$, сингонія

моноклинна, пр. гр. $c/2c(c^2_{\text{6h}})$, $Z = 2$, $a_0 = 5,19 \text{ \AA}$; $b_0 = 9,04 \text{ \AA}$; $c_0 = 20,08 \text{ \AA}$; $\beta = 95^{\circ}30'$ (рис. 5). Температура плавлення $(1260-1290)^{\circ}\text{C}$, теплопровідність перпендикулярно площині спаяності (0001) $(1,0-1,6) \cdot 10^{-3} \text{ кал/см}\cdot\text{с}\cdot\text{K}$, температуростійкість $(500-600)^{\circ}\text{C}$. Мусковіт відзначається високими електричними характеристиками: питома електропровідність перпендикулярно площині спаяності $10^{14}-10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{см}$, паралельно – $10^8-10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

У площині сколу (0001) підкладки слюди-мусковіт є три симетричні напрямки, розміщені під кутом 120° , тому найбільш ймовірними є зародження і ріст окремих тетраедричних форм конденсату CdTe у трьох різних позиціях. Це має чисто кристалографічне пояснення (рис. 6) і реалізується на практиці (рис. 2, рис. 4). Дійсно, маємо ріст тригранних пірамід CdTe на сколах (0001) слюди-мусковіт, який здійснюється за механізмом «паракристал» шляхом багатопозиційного зародження паралельних, антипаралельних

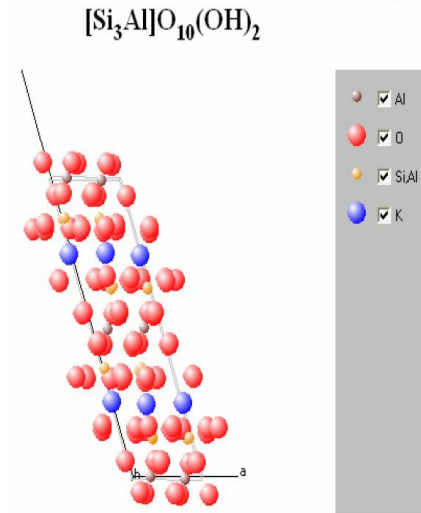


Рис. 5. Умвне зображення структури слюди-мусковіт.

двійникових симетрично орієнтованих структур, а також фігур, повернутих одна відносно другої на кут 30° (рис. 7-а). При цьому має місце їх розростання як у латеральному, так і нормальному до поверхні підкладки напрямках. Зауважимо, що зростання епітаксійних утворень відбувається без їх злиття. Останнє викликає появу структурних дефектів і каналів на межах стикування окремих зародків, які у ряді випадків утворюють чіткі трикутні перерізи у площині конденсату (рис. 7-а; обведено лініями). Реконструкція останніх наведена на рис. 8.

Найбільш ймовірно порожнини утворюються у місцях зростання пірамід у напрямках $\langle 111 \rangle$. Це зумовлено тим, що у процесі росту кристалітів адатоми, що транспортуються із пари переважно розміщуються у місцях із мінімальною

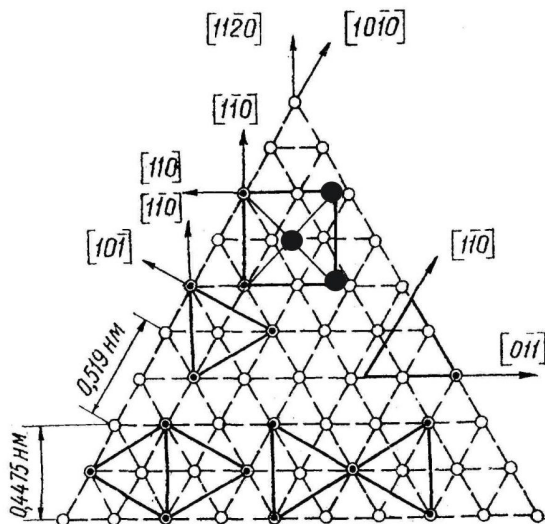
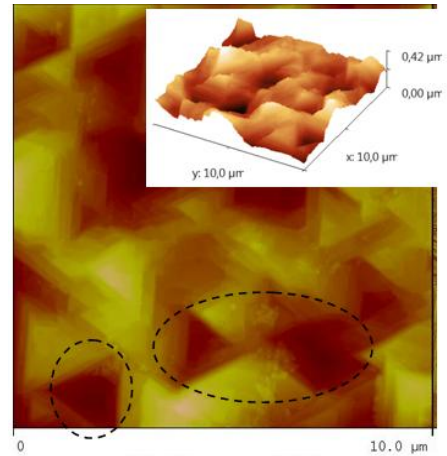
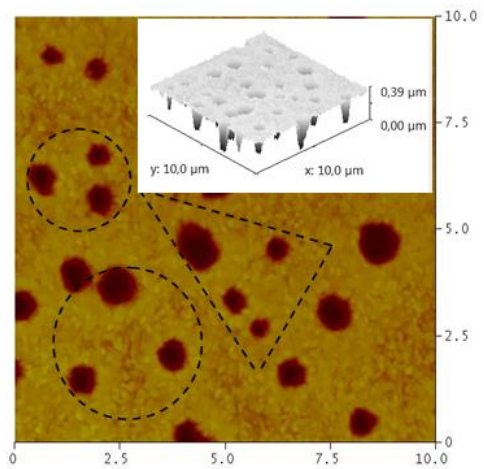


Рис. 6. Можливі варіанти взаємного розміщення плоских сіток сколу (0001) слюди-мусковіт і (111) та (100) сфалеритної структури CdTe: \circ – атоми слюди; \bullet – атоми Cd.



а



б

Рис. 7. АСМ – зображення топологічних типів структур CdTe на сколах (0001) слюди-мусковіт: а – тетраедри росту; б – порожнини росту.

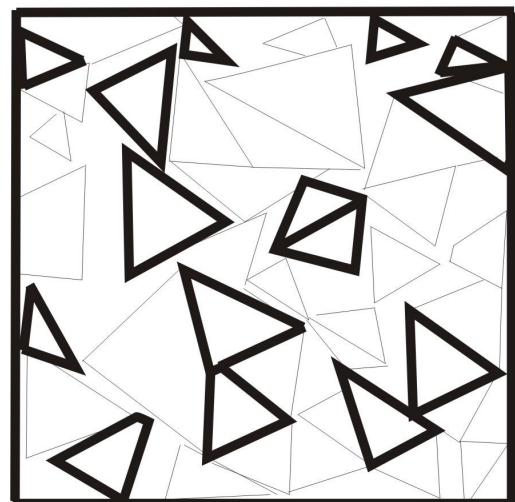
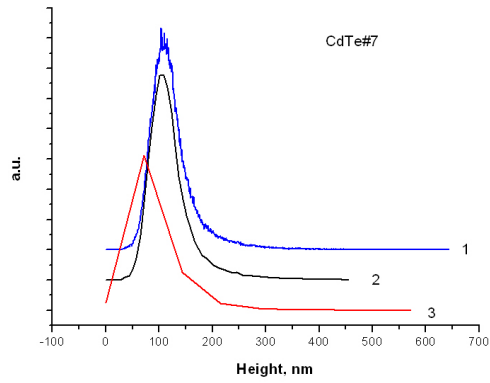
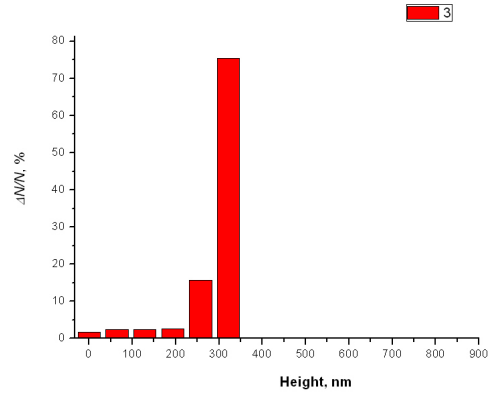


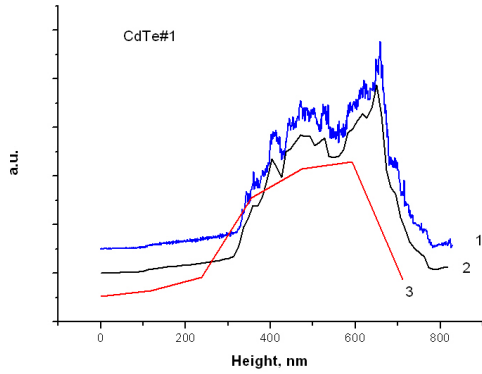
Рис. 8. Реконструкція топології наноструктур CdTe, осаджених на свіжі сколи (0001) слюди-мусковіт згідно даних АСМ рис. 7-а. Чорні лінії – порожнини.



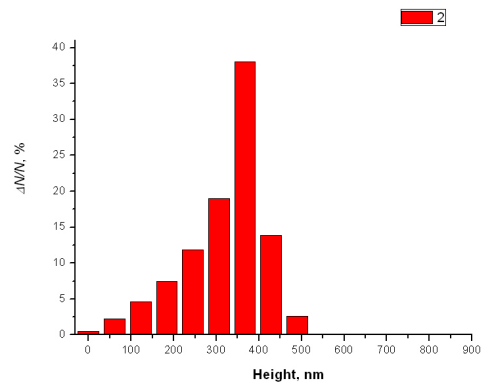
а



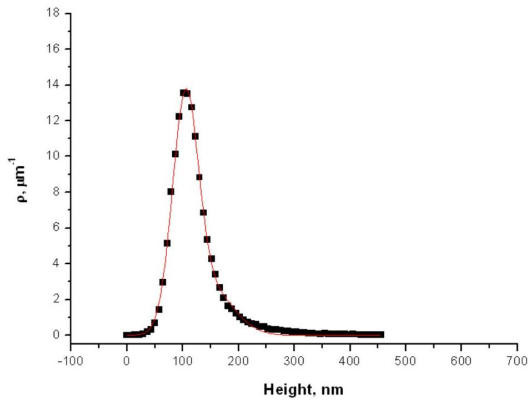
а



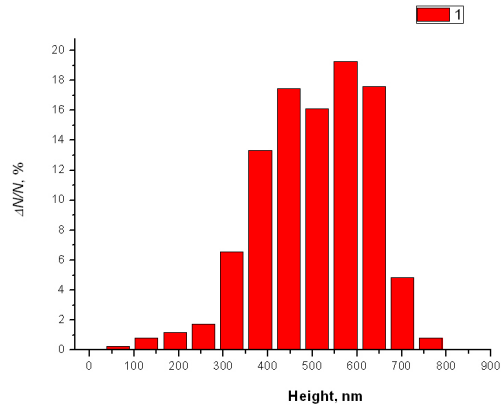
б



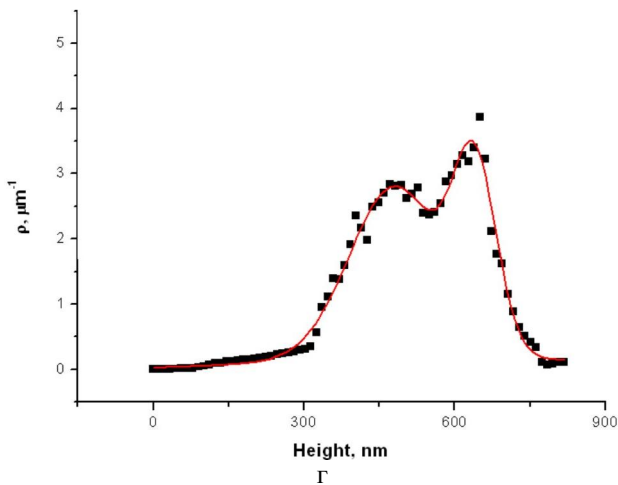
б



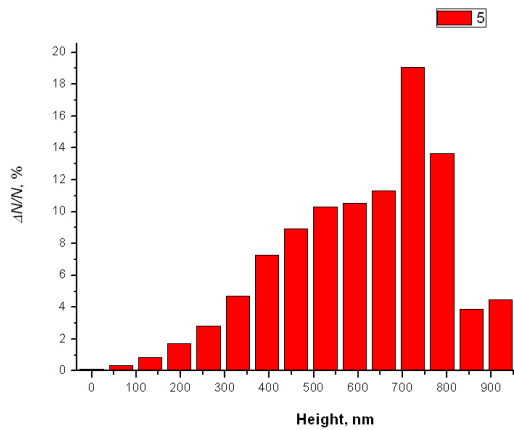
в



в



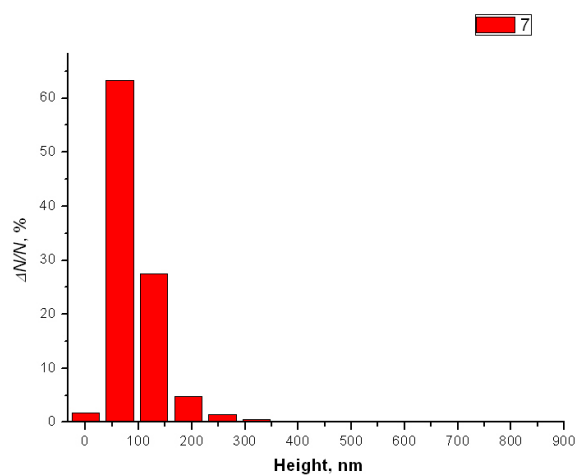
г



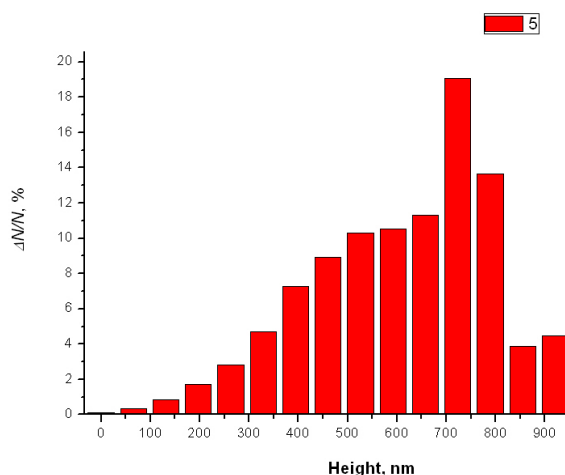
г

Рис. 9. Гістограми розподілу за висотою наночастинок CdTe, осаджених на сколах (0001) слюди-мусковіт при: а – $T_{\text{в}} = 400^\circ\text{C}$, $T_{\text{с}} = 500^\circ\text{C}$, $T_{\text{п}} = 250^\circ\text{C}$, $t = 5$ хв; б – $T_{\text{в}} = 500^\circ\text{C}$, $T_{\text{с}} = 550^\circ\text{C}$, $T_{\text{п}} = 250^\circ\text{C}$, $t = 10$ хв для кроків 1М (1), 10М(2) і 100М та їх реконструкція функціями Гауса (в,г) відповідно.

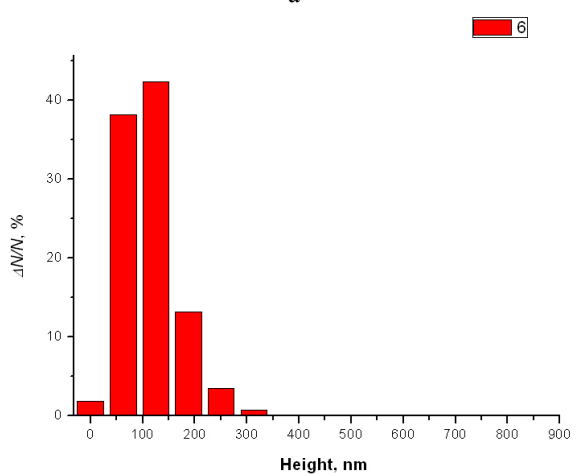
Рис. 10. Гістограми розподілу наночастинок CdTe на сколах (0001) слюди мусковіт за висотою за різних часів осадження t , хв: а – 0,5; б – 5; в – 10; г – 15.



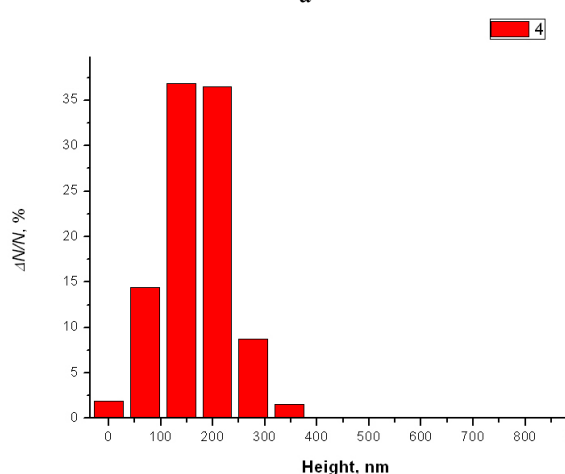
а



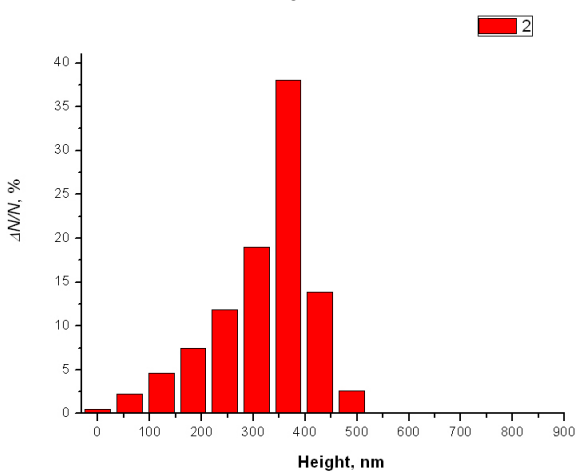
а



б



б



в

Рис. 11. Гістограми розподілу наночастинок CdTe на сколах (0001) слюди-мусковіт за висотою за різних температур випаровування наважки T_v , °C: а – 400; б – 450; с – 500. Температура підкладок $T_p = 250$ °C, час осадження $t = 5$ хв.

Рис. 12. Гістограми розподілу наночастинок CdTe за висотою на сколах (0001) слюди-мусковіт, за різних температур осадження T_p , °C: а – 250, б – 350. Температура випаровування $T_v = 500$ °C, температура стінок $T_c = 550$ °C, час осадження $t = 15$ хв.

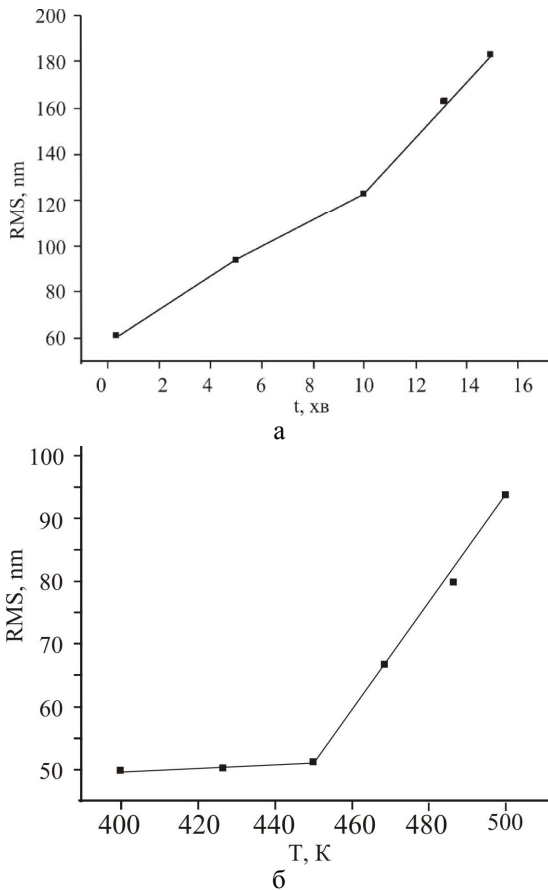


Рис. 13. Залежність шорсткості поверхні конденсату CdTe на слюді від: а – часу осадження t ($T_{\text{п}} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{в}} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{с}} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$); б – температури випарника $T_{\text{в}}$ ($T_{\text{п}} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 5\text{ хв}$).

поверхневою енергією якими і є грані тетраедрів. При цьому залишається незаповненим простір між площинами пірамід.

Ще однією особливістю топології наноструктур є утворення, за певних технологічних умов, конічних порожнин, які пронизують всю товщину конденсату, виходи яких утворюють собою чіткі трикутні геометричні форми (рис. 7.-б, обведено лініями).

Формування нанопорожнин (НП) може бути спричинено результатом розриву ковалентних зв'язків у приповерхневих шарах слюди. Такі дефекти утворюються не тільки у результаті нагріву підкладки у вакуумі, але і внаслідок інтеркаляції вільних йонів Cd^{2+} , які є у парі у цей прошарок слюди-мусковіт. Не виключена при цьому і каталітична дія сегрегованого металічного кадмію. Так, зокрема, при утворенні НП після розриву ковалентних зв'язків, атоми кадмію збираються у краплі (конденсуються та сегрегуються) і випадають у міжшаровий простір на підкладці та пов'язані із нижнім шаром міжмолекулярними силами. При цьому молекули CdTe та йони Cd^{2+} пари, які попадають на наноутворення з парової фази внаслідок багаторазового відбивання від граней конденсованих структур та їх поверхні співударяються між собою, що веде до росту ступеня пересичення та збільшення ймовірної дисоціації.

Чіткі геометричні форми у взаємному розміщенні НП (рис. 7-б) пов'язані із симетрією у розташуванні атомів у площині сколу (0001) слюди-мусковіт (рис. 6). Крім того, ймовірно і те, що поверхня тетраедрів конденсованої сполуки CdTe збагачена металічною компонентою у процесі їх росту, що є додатковою причиною йонізації кадмію із його впливом згідно вище відзначеного механізму. Слід зауважити, що аналогічні процеси були вже відслідковані при осадженні PbTe і SnTe на Ван-дер-Вальсовій поверхні (0001) кристалів галій селеніду [15]. Аналізуючи генезис пористості в анізотропному середовищі, яким є наш конденсат, слід мати на увазі, що поверхнева енергія є функцією кристаліграфічного напрямку. При цьому порожнина набуває форму так званого «від'ємного кристалу», який виділяється із матриці у вигляді вторинної фази і огранена у відповідності із принципом Гіббса-Кюрі-Вульфа кристаліграфічними площинами із мінімальною міжфазною поверхневою енергією [16]. При цьому форма порожнин, як правило, відповідає рівноважній огранці материнського кристалу (рис. 7-а; рис. 8). Крім того, важливим фактором, який впливає на форму порожнин є сама кінетика їх росту чи заліковування. Зокрема, внаслідок можливої неоднорідності просторового розподілу потоку вакансій ефективність їх адсорбції різними поверхнями порожнини буде неоднаковою: у нормальному напрямку до поверхні, яка діє як найбільш ефективний стік для вакансій, порожнина буде рости із максимальною швидкістю (рис. 7). При цьому може мати місце відхилення форми порожнини від рівноважної за рахунок кристаліграфічної анізотропної взаємодії вакансій із порожниною. Останнє призводить до округлення ребер між гранями «від'ємного кристалу» і, практично втрачає їх чітко вираженої огранки (рис. 7-б).

2.3. Гістограми розподілу частинок та шорсткість. Типові гістограми розподілу частинок за висотою із різним кроком підрахунку (через $1a\sqrt{3}$, $10a\sqrt{3}$ і $100a\sqrt{3}$, а – параметр ґратки) для конденсатів CdTe, осаджених на слюді за різних технологічних факторів представлені на рис. 9. Видно, що і слід було очікувати, найбільш детальний розподіл отримуємо при розрахунках через один моношар ($1M = 1a\sqrt{3}$), більш грубий через 10M і 100M (рис. 9). Хоча, як якісні, так і певні кількісні параметри зберігаються: загальний вигляд та характеристики гістограм (рис. 9). Зауважимо наступне, так як гістограми розподілу наночастинок за висотою є асиметричними, то їх можна реконструювати суперпозицією функцій Гаусса виду:

$$y = A_1 \exp^{-0.5\left(\frac{x-x_1}{w_1}\right)^2} + A_2 \exp^{-0.5\left(\frac{x-x_2}{w_2}\right)^2}, \text{ або} \quad (1)$$

$$y = A_1 \exp^{-0.5\left(\frac{x-x_1}{w_1}\right)^2} + A_2 \exp^{-0.5\left(\frac{x-x_2}{w_2}\right)^2} + A_3 \exp^{-0.5\left(\frac{x-x_3}{w_3}\right)^2}$$

де x_1 – положення максимумів по осі OX, w – півширина; A – амплітуда. На рис. 9-в,г представлено приклад реконструкції гістограм функціями Гаусса –

двома (рис. 9-в) та трьома (рис. 9-г) відповідно.

Результати обробки розподілу наночастинок CdTe за висотою у вигляді стовпчастих гістограм для різних технологічних факторів у методі гарячої стінки наведено на рис. 10, рис. 12. Видно наступне. Із збільшенням часу осадження пари в інтервалі $t = (0,5-15)$ хв маємо значне зменшення висоти наночастинок до більших розмірів – від (300-350) нм (рис. 10-а) до (700-800) нм (рис. 10-в). Останнє пов'язано із нарощуванням маси конденсату і домінуванням росту нанокристалів у вертикальному напрямку. При цьому форма апроксимуючої гаусіани також змінюється від різко асиметричної (рис. 10-а) до зменшення величини асиметрії (рис. 10-в,г), що пов'язано із більшою однорідністю конденсату. До аналогічних змін у розподілі частинок за висотою веде і підвищення температури випаровування в інтервалі $T_v = (400-500)$ °C за умови сталих інших умов отримання (рис. 11). Останнє можна пояснити тим, що підвищення температури випаровування T_v зумовлює зростання інтенсивності потоку пари і нарощування маси конденсату за заданий час її осадження. Підвищення температури садження T_p – (250-350) °C веде до формування більш однорідних структур та зменшення їх розкиду за висотою (рис. 12): гістограма із сильно вираженою асиметрією на боці наночастинок із більшими розмірами (рис. 12-а) трансформується у симетричну із максимумом в області (125-225) нм (рис. 12-б).

Характер гістограм розподілу наночастинок за висотою однозначно визначають шорсткість поверхні конденсату. Так, зокрема, збільшення часу осадження пари на підкладки зумовлює ріст розмірів наночастинок (рис. 2), зменшення максимумів гістограм на бік їх більшої висоти (рис. 10), що є причиною наростання неоднорідності і, відповідно, величини шорсткості (рис. 13-а). Ідентично, як вже ми відзначали вище, веде себе і підвищення температури випаровування (рис.3; рис. 11; рис.13-б).

Висновки

1. Методами АСМ досліджено механізми росту і топологію наноструктур CdTe, осаджених із парової фази методом гарячої стінки на свіжій сколи (0001) слюди-мусковіт при різних технологічних факторах.
2. Показано, що основним механізмом зародженням є механізм Фольмера-Вебера із наступним розростанням і зростанням нанокристалів симетричних напрямках площини сколу (0001) слюди-мусковіт.
3. Основними топологічними формами наноструктур є тетраедричні утворення при зростанні яких утворюються структурні дефекти у вигляді дефектів упаковки, «від'ємних кристалів», порожнин.
4. Запропоновано фізико-хімічний механізм формування дефектної підсистеми у парофазному конденсаті CdTe: розрив ковалентних зв'язків у слюді, каталітична дія йонів кадмію, напрямлений стік вакансій до поверхні.
5. Встановлено взаємозв'язок розподілу частинок за розмірами та шорсткості із технологічними факторами осадження плівок CdTe, визначено оптимальні їх значення, що забезпечують формування наноутворень із заданою топологією.

Фреїк Д.М. – заслужений діяч науки і техніки України, доктор хімічних наук, професор, директор Фізико-хімічного інституту, завідувач кафедри фізики і хімії твердого тіла;

Соколов О.Л. – науковий співробітник;

Ліщинський І.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Потяк В.Ю. – аспірант;

Литвин П.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент.

- [1] С.А. Медведева. *Фізика і хімія сполучених $A^{II}B^{VI}$* . Мир, М. (1970).
- [2] А.Н. Георгобіани, М.К. Шейкман. *Фізика сполучених $A^{II}B^{VI}$* . Наука, М. (1986).
- [3] Д.В. Корбутяк, С.В. Мельничук, Є.В. Корбут, М.М. Борисик. *Телурид кадмію і домішково-дефектні стани та детекторні властивості*. Іван Федоров, К. 198 с. (2000).
- [4] Ю.З. Бубнов, М.С. Лур'є, Ф.Г. Старос, Г.А. Филаретов. *Вакуумное нанесение пленок в квазизамкнутом объеме*. Энергия. Л. 161 с. (1975).
- [5] И.Н. Калинин, В.Б. Алесковский, А.В. Симашкевич. *Эпитаксиальные слои соединений $A^{II}B^{VI}$* . Изд-во ЛГУ, Л. (1978).
- [6] С.А. Колосов, Ю.В. Клевков, А.Ф. Плотников. Транспортные явления в крупнозернистых поликристаллах CdTe // *Фізика і техніка напівпровідників*, **38**(3), сс. 305-309(2004).
- [7] В.А. Майоров, А.М. Яфясов, В.Б. Божевольнов, В.Ф. Раданцев. Электрофизические и морфологические свойства пленок CdTe, синтезированных методом молекулярного наслаивания // *Фізика і техніка напівпровідників*, **44**(5), сс. 590-592 (2010).
- [8] А.П. Беляев, В.П. Рубец, М.Ю. Нуждин, И.П. Калинин. Механизм гетероэпитаксиального роста тонких пленок теллурида кадмия в тепловом поле градиента температуры // *Фізика твердого тела*, **43**(4), сс. 745-748 (2001).
- [9] Д.М. Фреїк, І.В. Горічок, О.Л. Соколов, В.Ю. Потяк. Технологічні аспекти осадження плівок CdTe методом гарячої стінки // *Фізика і хімія твердого тіла*, **12**(1), сс. 89-94.

- [10] Ye.O. Bilevych, A.I. Voka, L.O. Darchuk, J.V. Gumenjuk-Sichevska et al. Properties of CdTe thin films prepared by hot wall epitaxy // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, **7**(2), pp. 129-132 (2004).
- [11] В. Косяк, А. Опанасюк. Явища перенесення та осадження у разі одержання плівок CdTe методом квазізамкненого об'єму // *Вісник Львів. ун-ту. Серія фізична*. (41), сс.117-124 (2008).
- [12] Sukarno Olavo Ferreira^а, F'abio Fagundes Leal^а, Tatiana Estorani de Faria, Jos'e Eduardo de Oliveira^а, Paulo Motisuke and Eduardo Abramof. Characterization of CdTe Thin Films Grown on Glass by Hot Wall Epitaxy // *Brazilian Journal of Physics*, **36** (2A), 317 (2006).
- [13] Н.Н. Шергаль, Т.А. Смородина. *Морфология и совершенство эпитаксиальных слоев. – В кн.: Процессы реального кристаллообразования*. Наука. М. сс. 131-143 (1977).
- [14] Н.А. Пангаров. *Ориентация кристаллов при электроосаждении металлов. – В кн.: Рост кристаллов*, Т.10, Наука, М. сс. 71-98 (1974).
- [15] А.П. Бахтинов, В.Н. Водоньянов, Е.И. Слинко, З.Д. Ковалюк, О.С. Литвин. Самоорганизация наноструктур теллуридов свинца и олова на Ван-дер-Вальсовой поверхности селенида галлия (0001) // *Письма в ЖТФ*, **33**(2), сс. 80-88 (2007).
- [16] А.П. Шпак, П.Г. Черемской, Ю.А. Куницкий, О.В. Соболев. *Кластерные и наноструктурные материалы. Т.3. Пористость, как особое состояние самоорганизованной структуры в твердотельных наноматериалах*. Академперіодика. – 516 с. (2005).

D.M. Freik¹, O.L. Sokolov¹, I.M. Lishchynskyy¹, V.Yu. Potyak¹, P.M. Lytvyn²

The Processes of Structure Formation in the Vapor Condensates of Cadmium Telluride

¹*Physico-Chemical Institute*

'Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University, 57 Shevchenko St., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine

²*V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, prospect Nauki, 41, Kyiv, 03028*

Methods of atomic force microscopy, studied the processes of growth Methods of atomic force microscopy features of formation of lead telluride films on fresh chips (0001) mica-muscovite in quasi-closed volume by hot wall.

Key words: lead telluride, nanostructures, the processes of growth, the steam phase.