

Л.В. Рашковецький, н.с.  
С.В. Пляцко, к.ф.-м.н., с.н.с.  
Інститут фізики напівпровідників ім. В.С. Лашикарєва НАН України  
П.П. Москвін, д.ф.-м.н., проф.  
В.Л. Добряков, к.ф.-м.н., доц.  
Г.В. Скиба, к.т.н., доц.  
Житомирський державний технологічний університет

## Високоякісні епітаксійні плівки CdZnTe для напівпровідникової оптоелектроніки: синтез і властивості

*Методом рідиннофазної епітаксії отримано високоякісні плівки CdZnTe різного складу. Синтез відбувався при наднизьких температурах (500–530°C) з телуrowого розчину. Проаналізовано кінетику росту епітаксійних плівок. Досліджено властивості вирощених плівок методами оптичної мікроскопії, рентгенівської дифрактометрії, Оже-спектроскопії, низькотемпературної фотолюмінесценції. Надано залежність мікротвердості від складу отриманих плівок.*

**Ключові слова:** рідиннофазна епітаксія; напівпровідникові плівки CdZnTe; морфологія поверхні; напівширина кривої гоїдання; низькотемпературна фотолюмінесценція; мікротвердість.

**Постановка проблеми.** Напівпровідникові тверді розчини CdZnTe (КЦТ) становлять значний інтерес для приладових застосувань в опто- та інфрачервоній (ІЧ) електроніці, для радіаційної дозиметрії і при створенні сонячних фотоперетворювачів. Найбільше застосування тверді розчини CdZnTe знайшли як підкладки і захисні покриття при створенні матричних фотоприймачів ІЧ-спектру випромінювання на основі гетероструктур CdHgTe / CdTe для приладів спеціального призначення. Тому аналіз вже існуючих і розробка нових епітаксійних методів та технологічних «ноу-хау», які забезпечують відтворюване отримання твердого розчину CdZnTe високої структурної досконалості та з мінімальною концентрацією власних і домішкових точкових дефектів надається на даний час досить актуальною науковою та технічною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дана робота присвячена розробці відтворюваної низькотемпературної рідиннофазної технології отримання досить товстих (більше 10 мкм) і структурно досконалих буферних шарів твердого розчину CdZnTe заданого складу з власної рідкої фази. Відома досить незначна кількість робіт по вирощуванню плівок CdTe і CdZnTe методом рідиннофазної епітаксії. Так у [1] епітаксійні шари  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  ( $x > 0,6$  мол. долі) товщиною кілька мікрон для активних шарів світло випромінювальних діодів вирощували на монокристалічних підкладках ZnTe з різних розчинників (In, Bi, Tl, Sn) в інтервалі температур 550–750°C. У [2] вивчалася можливість осадження плівок CdTe з розчинів у кадмії, а в [3] розчинником було вибрано ртуть. У той же час найбільшу увагу приділяють дослідженням процесу росту і властивостей отриманих епітаксійних плівок КЦТ з рідкої фази, збагаченої телуром [4–7]. Це пов'язано з тим, що саме при використанні в якості розчинника основного компонента напівпровідника при досить низьких температурах росту відсутнє помітне легування плівок неконтрольованими домішками, а товщина шарів може бути досить значною, у зв'язку з відносно високою розчинністю вихідних компонентів у рідкому телурі. Крім того, низький тиск парів компонентів ростового розчину при температурах кристалізації 500–600°C сприяє отриманню високоякісних з мінімальною власною дефектністю шарів КЦТ.

Теоретичне обґрунтування умов проведення епітаксійного процесу базувалося на даних за фазовими рівновагами у системі Cd-Zn-Te. Фазові рівноваги між розплавом і шаром трикомпонентного твердого розчину системи Cd-Zn-Te, когерентно сполученого з підкладкою, описувалися системою рівнянь [8]. Кінетична модель вирощування шарів твердих розчинів базувалася на уявленнях дифузійно-обмеженої кристалізації. Процес підведення речовини до фронту зростання описувався системою диференціальних рівнянь дифузії, коли рівняння когерентних фазових рівноваг [8] задавали граничні умови крайової задачі. Теоретична інформація про вплив параметрів проведення процесу епітаксії на склад і швидкість росту шарів твердого розчину  $Cd_xZn_{1-x}Te$  використовувалася як для вибору умов проведення кристалізації у попередніх експериментах, так і для його корегування при отриманні кінцевих результатів. На підставі отриманих експериментальних даних за складом рідкої і твердої фаз побудовано діаграму потрійної системи Cd-Zn-Te у Te-куті в області температур нижче 600°C, з нанесеними ізоконцентраціями ліквідусу і солідусу. Варто зазначити, що аналіз фазових рівноваг при

температурах 500–600°C у системі Cd-Zn-Te не проводився. Відповідно до [9–13] нижня межа розрахунків ліній рівноваг обмежена температурами 700–950°C.

У роботі надаються результати дослідження морфології, структурної досконалості і домішково-дефектного складу вирощених плівок, порівняно з властивостями підкладки. Вперше представлено дані по вимірюванню мікротвердості вирощених плівок різного складу.

**Методика дослідження.** Плівки  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  складу твердої фази  $x = 0,015 - 0,15$  мол. дол. і товщиною  $> 10$  мкм вирощували у зміщеній графітовій касеті марки ОСЧ МПГ у закритій вакуумованій кварцовій системі з залишковим тиском компонентів  $10^{-6}$  мм рт. ст. в інтервалі температур 500–530°C зі збагаченого телуристого розчину потрібної системи Cd-Zn-Te методом контрольованого примусового охолодження. Інтервал переохолодження становив 30–50°C. Ростовий телуристовий розчин готувався з вихідних компонентів високого ступеня чистоти марки «Екстра» 6N, у яких, за даними мас-спектрального аналізу, концентрація залишкових домішок не перевищувала  $10^{15}-10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Гомогенізація такого розчину проводилася впродовж 10–12 годин при температурах, що на 10–20°C перевищують температуру ліквідусу, розраховану по когерентній фазовій діаграмі [8].

Як підкладки використовувались монокристалічні пластини телуриду кадмію CdTe (111) діаметром 20 мм, що вирізані зі злитків діаметром 40 мм та вирощених вертикальним методом Бріджмена. Підкладки попередньо піддавались двосторонній хіміко-механічній обробці в бром-поліруючих травниках для повного видалення після механічного різання поверхневого порушеного шару завтовшки 100–200 мкм і досягнення шорсткості їх поверхні  $R_z < 0,1$  мкм.

Після закінчення процесу росту епітаксійних плівок цілеспрямовано використовували процедуру відцентрового видалення залишків телуристого ростового розчину. Необхідність проведення такого етапу технологічного процесу пов'язана з фізико-хімічними властивостями системи, а саме, з низьким коефіцієнтом поверхневого натягу телуру ( $170$  дин см<sup>-1</sup> при 500°C). Останнє призводить до хорошого змочування підкладки вхідною рідкою фазою і ускладнює декантацію ростового розчину. Ігнорування такою стадією процесу синтезу призводить до утворення на поверхні вирощених плівок численних морфологічних дефектів.

Кристалографічна якість плівок CdZnTe вказаних вище складів при синтезі матеріалу в заданому інтервалі температур корегувалася підбором складу вхідної рідкої фази. В такому технологічному процесі за істинну температуру початку кристалізації вважали температуру, яка забезпечувала відсутність підрозчинення підкладки при її контакті з ростовим розчином та внаслідок чого відбувалося осадження шарів з планарною поверхнею.

Після процесу вирощування гетероструктури CdZnTe / CdTe розколювали по площині спайності (110). Далі по природному відколу (рис. 1) визначали товщину плівки у відбитому світлі за допомогою оптичного мікроскопу NU-2E фірми Carl Zeiss. Морфологію поверхні вирощених плівок аналізували за допомогою растрової електронної мікроскопії (прилад JSM-35C фірми JEOL). Структурну досконалість плівок і підкладок досліджували рентгенодифракційними методами на двохкристалльному спектрометрі. У цих дослідженнях вимірювалася напівширина кривих гойдання при відображенні (333)  $CuK_{\alpha}$  випромінювання, аналізувалися параметри решітки, тобто вміст цинку в твердій фазі, знімалися топограми поверхні шарів у симетричній і асиметричній схемах дифракції при відбиттях (422), (440), (511)  $CuK_{\alpha}$  випромінювання. При вимірюваннях використовувався монохроматор InSb (333).

Оцінку якості поверхні вихідних підкладок і вирощених плівок проведено із застосуванням методу електронної Оже-спектроскопії (прилад JAMP-10 JEOL). Глибина аналізу становила 2 мкм, діаметр аналізованої площі від 1 до 10 мкм.

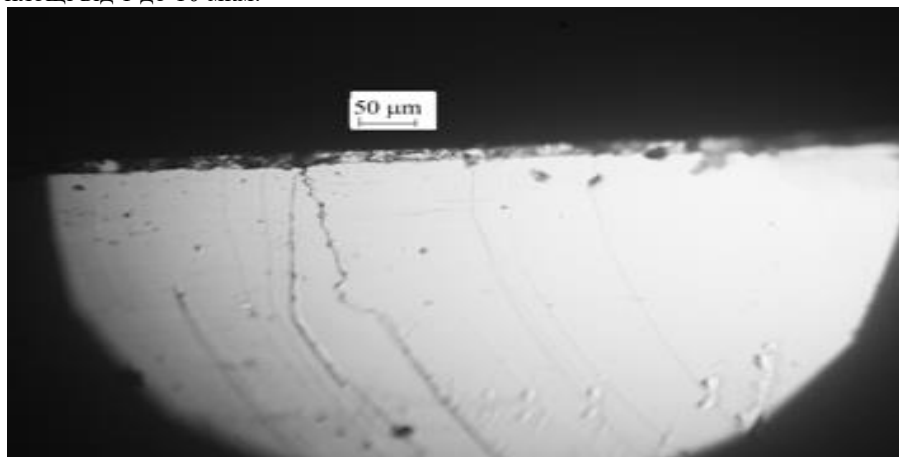


Рис. 1. Фотографія типового природного сколу гетероструктури CdZnTe / CdTe, синтезованої в роботі

Мікротвердість зразків вимірювали на приладі Shimadzu HNV-2000 методом Вікерса. Відбитки мікротвердості на досліджувану поверхню вирощених плівок КЦТ різного складу, але однакової товщини 20 мкм, наносили стандартною пірамідою Вікерса з кутом при вершині  $136^\circ$  при автоматичному навантаженні на індентор  $P = 0,05 - 0,1\text{N}$  і загальному часі витримання і зняття інденування 20 с. Використання такої величини навантаження пов'язане з високою крихкістю і пластичністю досліджуваних об'єктів, тобто, при цих навантаженнях на відбитках індентора не утворюються мікротріщини. Кількість нанесених відбитків була не менше 15. Отримані дані усереднювалися. Число мікротвердості  $H_v$ , як безрозмірну величину, прилад автоматично визначав за формулою (1):

$$H_v = 1,854 - \frac{P}{d^2}; \quad (1)$$

де  $d$  – довжина діагоналі відбитка індентора, мм.

Для переведення величини мікротвердості в МПа використовували формулу(2):

$$H_v (\text{МПа}) = H_v \cdot 9,8 \cdot 10^5. \quad (2)$$

Спектри низькотемпературної фотолюмінесценції (НФЛ) досліджуваних плівок КЦТ і підкладок CdTe вивчали при температурі  $T = 5\text{K}$ . Люмінесценцію збуджували He-Ne лазером ЛГН-222 с інтенсивністю збудження  $L = 10^{19}$  кв/см<sup>2</sup>·с та енергією квантів  $h\nu = 1,96$  еВ. Для отримання спектрів низькотемпературної фотолюмінесценції в інтервалі енергій 1,3–1,7 еВ використовували монохроматор МДР-23 з роздільною здатністю не менше 0,2 меВ. Реєстрацію сигналу проводили за допомогою охолоджуваної фотоелектронної системи ФЕУ-62.

**Результати та їх обговорення.** На рисунку 2 наведено зображення морфології поверхні лише вирощеної епітаксійної плівки КЦТ. Її вигляд типовий для пошарового механізму росту [14] і характеризується наявністю атомарно-гладких терас і ростових сходинок різної висоти.

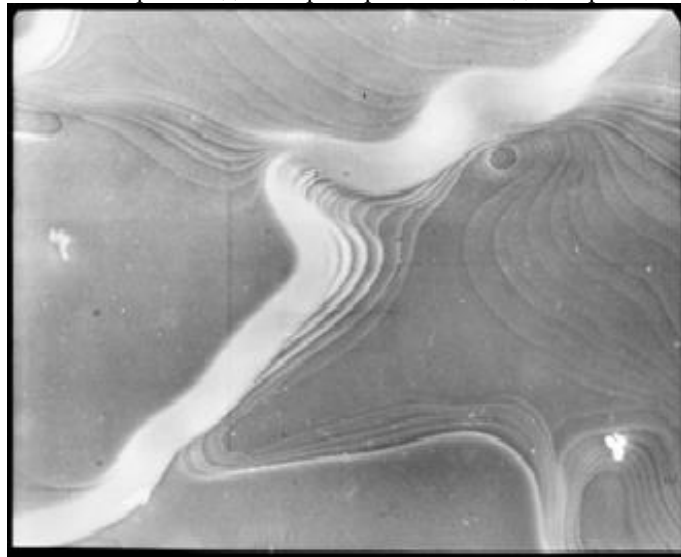


Рис. 2. Типова топограма поверхні гетероструктури CdZnTe / CdTe, що синтезована в роботі

Згідно з існуючими уявленнями, формування останніх відбувається в результаті штабелювання елементарних ростових сходинок внаслідок різної швидкості їх поширення. Такий механізм їх утворення відомий як *step bunching* [15]. На відміну від росту з парової фази, механізм штабелювання сходинок при рідинно фазній епітаксії в даний час залишається недостатньо вивченим. Відомі експериментальні дані про те, що в цьому випадку, крім поверхневої дифузії адсорбованих атомів на поверхні терас, має бути і дифузія компонентів в об'ємі розчину-розплаву [15]. Загальна висота мікрорельєфу поверхні, виміряна за допомогою мікроінтерферометра МП-4, не перевищує 0,1 мкм.

Кристаліграфічна досконалість отриманих шарів досліджувалася методами рентгеноструктурного аналізу. Результати досліджень показали, що напівширина кривої гойдання вирощених плівок при зростанні вмісту цинку в твердій фазі монотонно зростала, досягаючи величини 200 arc. sec для складу плівки  $x = 0,10$  мол. дол. У той час як напівширина кривої гойдання підкладок була в межах 20–50 arc. sec. Останнє дозволяє стверджувати, що все ж структурна досконалість матеріалу підкладок істотно вища, порівняно з досконалістю осажденного шару. На наш погляд така ситуація є наслідком наявності суттєвої різниці в періодах кристалічних ґраток матеріалів, що епітаксійно спряжені. Варто зазначити, що такі ж значення напівширини кривих гойдання спостерігались при вирощуванні плівок CdZnTe, як буферних шарів, методами МВЕ, МOCVD на підкладках Si, GaAs [16, 17].

Вагомим підтвердженням суттєвого впливу різниці в періодах кристалічних ґраток матеріалів, що відносяться на структурну досконалість шару, є виникнення  $60^\circ$  сітки дислокацій невідповідності, які орієнтовані у площині (110). Типову топограму дислокаційної сітки, що виникла внаслідок різниці параметрів решіток підкладки-плівки, зображено на рисунку 3. На тому ж рисунку 3 надано фотографічне зображення високоякісної дзеркальної поверхні підкладки, виготовленої з CdTe.

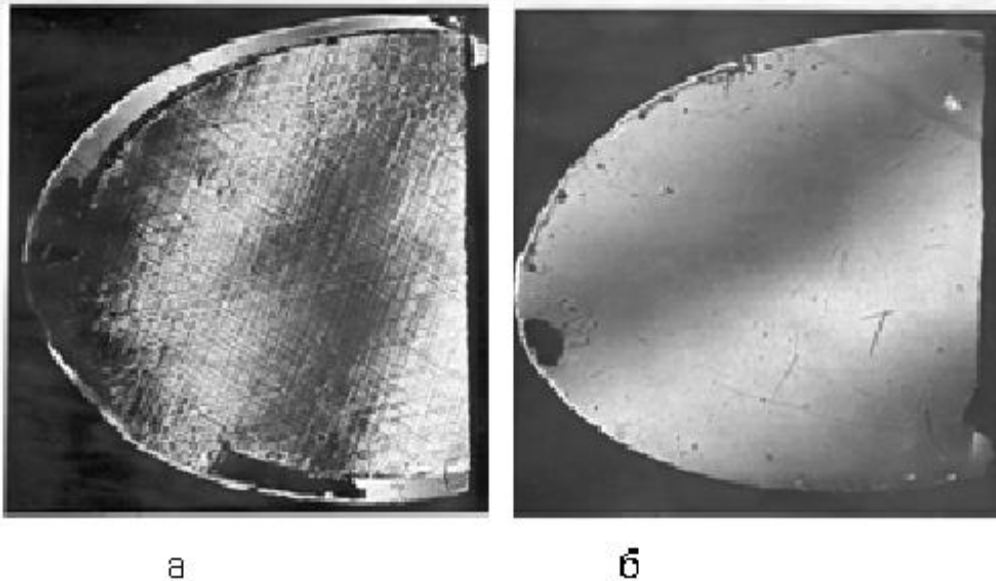


Рис. 3. Топограма плівки складу  $x=0.1$  (а) і підкладки (б). Відбиття від площини (440). Глибина екстинції 2–3 мкм

На рисунку 4 подано дані досліджень низькотемпературної фотолюмінесценції від плівок  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ , що отримано в роботі. Як видно зі спектрів НФЛ плівок (рис. 4 б, в), випромінювання в них практично повністю визначається високоенергетичними смугами, зумовленими анігіляцією екситонів, що пов'язані з глибоким донором ( $\text{D}^0\text{X}$ ) та акцептором ( $\text{A}^0\text{X}$ ). У той же час смуги, що пов'язані з переходами електронів на глибокі дефекти (Д) і дрібні нейтральні акцептори ( $\text{eA}^0$ ), характеризуються дуже великою амплітудою. Для них типовим є співвідношення (3):

$$I_{\text{A}^0\text{X}, \text{D}^0\text{X}} / I_{\text{D}, \text{eA}^0} \gg 20. \quad (3)$$

Дослідження показують, що типова напівширина смуг зв'язаних екситонів становить  $\sim 2,5$  меВ. Такий вид спектрів НФЛ свідчить про високу кристалографічну якість вирощених плівок при дуже низьких концентраціях дефектів і домішок. Імовірно, що останнє зумовило низьку концентрацію безвипромінювальних центрів, порівняно з об'ємними кристалами  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  (рис. 4 з) та підкладками CdTe (рис. 4 а).

Відомо, що хімічна чистота поверхні підкладки суттєво впливає на електрофізичні властивості шару, що на ній осаджується. Тому питанням хімічної чистоти поверхні підкладки в роботі було приділено значну увагу. Так хімічний склад поверхні епітаксійних плівок  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  досліджувався методом електронної Оже-спектроскопії. Для виконання порівняльних досліджень додатково було знято Оже-спектри від природного сколу (110) плівки після травлення її поверхні іонами аргону безпосередньо в камері спектрометра. Результати показали, що в отриманих оже-спектрах вихідної поверхні плівок спостерігали лінії Zn, Cd, Te, а також лінію S, яка зникла після травлення поверхні плівки іонами  $\text{Ag}^+$  впродовж 20 хв. Даний факт свідчить про присутність даної домішки як поверхневого забруднення. Проте на Оже-спектрах не спостерігались лінії лужних металів, заліза, кремнію, селену та інших типових домішок, що свідчить про високу чистоту отриманих плівок. Такий результат підтверджує припущення [19], що телуровий розчин у процесі росту фактично є джерелом забруднюючих неконтрольованих домішок.

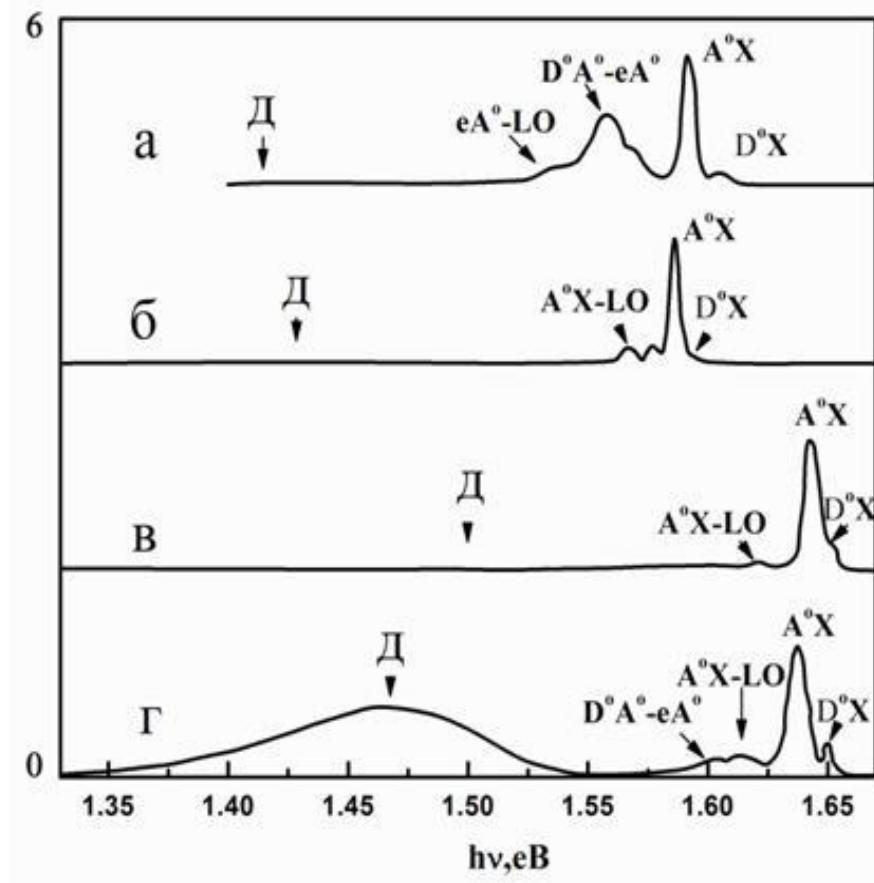


Рис. 4. Спектри НФЛ ( $T = 5K$ ) епітаксійних шарів  $CdZnTe$  різного складу: а – підкладка, б –  $x = 0,04$  мол. дол., в –  $x = 0,1$  мол. дол., г – спектр високоякісного детекторного матеріалу  $x = 0,1$  мол. дол. [18]

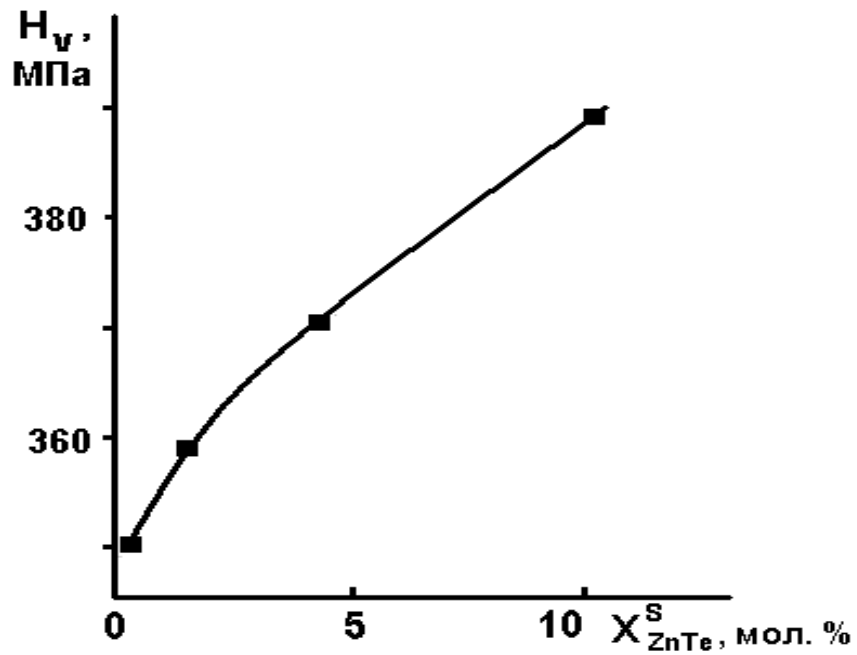


Рис. 5. Залежність мікротвердості плівок  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  від їх складу  $X$

На рисунку 5 наведено залежність величини мікротвердості  $H_v$  від складу епітаксійних плівок  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ . Як і очікувалося, із збільшенням вмісту в твердому розчині телуриду кадмію мікротвердість матеріалу монотонно зростає. Така поведінка мікротвердості пояснюється збільшенням долі в твердому розчині хімічно міцних зв'язків Zn-Te при збільшенні в ньому вмісту цинку. Про такий вплив збільшення долі ZnTe в матеріалі на його властивості раніше повідомлялося в [20].

Як і очікувалося, отримані дані по величині відрізняються від відповідних даних, що були знайдені раніше різними авторами на об'ємних кристалах. За величиною мікротвердості вивчені нами плівки знаходяться між найм'якшим зразком CdTe зі значенням  $H_v = 300$  МПа і найтвердішим зі значенням  $H_v = 670$  МПа при легуванні In. Такі значення мікротвердості пояснюються чистотою отриманих кристалів або впливом введених домішок. У [21] з використанням «solid-solution hardening model» було проведено розрахунки для сплавів CdZnTe у всьому діапазоні складів і показано, що введення цинку покращує властивості матеріалу. При цьому додавання ZnTe призводить до стабілізації зв'язку Cd, а на кривій залежності мікротвердості при  $X_{ZnTe} = 0,60$  спостерігається максимум  $H_v = 1550$  МПа. Зазначимо, що всі значення  $H_v$  наведено лише для монокристалів телуриду кадмію-цинку. У випадку досить тонких епітаксійних плівок на величину мікротвердості шарів суттєво впливає присутність гетеромежі підкладка-плівка. На такій гетеромежі можливе істотне збільшення концентрації дислокацій невідповідності (на кілька порядків) внаслідок розходження параметрів решіток і коефіцієнтів термічного розширення матеріалів, що сполучаються. Останнє неминуче знайде відображення на значенні параметра, що обговорюється.

**Висновок.** Таким чином, за результатами проведеної роботи можна зробити такі висновки:

1. Розроблено відновлювальну технологію отримання епітаксійних шарів CdZnTe при наднизькій температурі з телурового розчину.
2. Методами рентгенівського аналізу досліджено кристалографічну досконалість гетероструктур, що сформовано на основі твердих розчинів CdZnTe і підкладки CdTe. Досліджено спектри низькотемпературної фотолюмінесценції отриманих структур.
3. Виконано виміри мікротвердості плівок, залежно від їх складу. Отримано дані щодо фізико-оптичних і механічних властивостей плівок у взаємозв'язку з технологічними умовами синтезу матеріалу, необхідні для створення сенсорів різноманітного призначення.

#### Список використаної літератури:

1. Akigiro K. Liquid phase epitaxial growth of ZnTe and  $Zn_{1-x}Cd_xTe$  / K.Akigiro, O.Tadahisa, T.Kiyoshi // J. Electrochem. Soc. – 1975. – Vol. 122. – № 8. – Pp. 1117–1124.
2. Nishibe T. Growth of CdTe on CdS polar faces by LPE from Cd solution / T.Nishibe, A.Kobayashi // Jap. J. Appl. Phys. – 1982. – Vol. 21. – № 2. – Pp. 395–396.
3. Low temperature epitaxial growth of cadmium telluride from mercury solvent / S.P.S. Sangha, J.D. Medland, J.A. Berry, L.M. Rinn // J. Cryst. Growth. – 1987. – Vol. 83. – № 1. – Pp. 127–136.
4. Бабецьов В.Н. Структурные свойства и низкотемпературная фотолюминесценция пленок теллурида кадмия, полученных методом жидкофазной эпитаксии / В.Н. Бабецьов, Г.И. Жовнир, Л.В. Рашковецкий // ЖТФ. – 1992. – Т. 62. – Вып. 4. – С. 186–190.
5. The use of alternative solvents for the low-temperature LPE growth of CdTe films / M.Astles, G.Blackmore, N.Gordon, D.R. Wight // J. Cryst. Growth. – 1985. – Vol. 72. – Pp. 61–71.
6. Growth and characterization of LPE CdHgTe /CdZnTe/ CdTe structure / B.Pelliciani, J.B. Chamonal, G.L. Destefanis, L. Di Cioccio // SPIE. – 1987. – Vol. 865. – № 22. – Pp. 78–81.
7.  $Hg_{0.8}Cd_{0.2}Te$  grown by liquid phase epitaxy using  $Cd_{0.94}Zn_{0.06}Te$  buffer layer / N.J. Kwak, I.H. Choi, S.W. Lim, S.H. Sub // J. Cryst. Growth. – 1994. – Vol. 138. – Pp. 950–955.
8. Когерентные фазовые равновесия в системе Zn-Cd-Te и жидкофазная эпитаксия упругодеформированных слоев твердых растворов  $Zn_xCd_{1-x}Te$  / П.П. Москвин, Л.В. Рашковецкий, Ф.Ф. Сизов, В.А. Мошников // ФТП. – 2011. – Т. 45. – Вып. 7. – С. 865–873.
9. Singh A.K. Phase equilibrium calculation of Zn-Cd-Te system / A.K. Singh, R.C. Sharma // CALPHAD. – 1992. – Vol. 16. – № 2. – P. 172.
10. Haloui A. Experimental study of the ternary system Cd-Zn-Te / A.Haloui, Y.Feutelais, B.Legendre // J. Alloys and Compounds. – 1997. – Vol. 260. – Pp. 179–192.
11. Steininger J. Phase diagram of the Zn-Cd-Te system / J.Steininger, A.J. Strauss, R.F. Brebrick // J. Electrochem. Soc. – 1970. – Vol. 117. – № 10. – Pp. 1305–1309.
12. Laugier A. Thermodynamics and phase diagram calculations in II-VI and IV-VI ternary systems using an associated solution model / A.Laugier // Revue de Physique Appliquee. – 1973. – Vol. 8. – № 3. – Pp. 259–270.
13. Szapiro S. Solid-equilibria in ternary regular associated solutions / S.Szapiro // J. Electron. Mater. – 1970. – Vol. 5. – № 2. – Pp. 223–246.
14. Burton W.K. The growth of crystals and the equilibrium structure of their surfaces / W.K. Burton, N.Cabrera, F.C. Frank // Phil. Trans. Roy. Soc. – 1951. – Vol. 243. – № 866. – Pp. 299–304.
15. Chernov A.A. Notes on interfase growth kinetics / A.A. Chernov // 50 Years progress in crystal growth : a reprint collection ; in R.S. Feigelson ed. – Elsevier, Amsterdam. – 2004. – Pp. 47–66.

16. Direct molecular beam epitaxial growth of ZnTe (100) and CdZnTe (100) / ZnTe (100) on Si (100) substrates / T.D. Lyon, J.A. Roth, O.K. Wu, S.M. Johnson, S.A. Cockrum // *Appl. Phys. Lett.* – 1993. – Vol. 63. – № 6. – Pp. 818–820.
17. Rajavel D. Metalorganic molecular beam epitaxial growth of high quality Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te (0 <x< 0.27) / D.Rajavel, J.J. Zinck // *Appl. Phys. Lett.* – 1993. – Vol. 63. – № 3. – Pp. 322–324.
18. Cadmium zinc telluride and its use as a nuclear radiation detector material / T.E. Schlesinger, J.E. Toney, H.Yoon, E.Y. Lee, B.A. Branett, R.B. James // *Mater. Sci. and Engineering: R.* – 2001. – Vol. 32. – Pp. 103–189.
19. Triboulet R. CdTe growth by «multipass thm» and «sublimation thm» / R.Triboulet, Y.Marfain // *J. Cryst. Growth.* – 1981. – Vol. 51. – Pp. 89–94.
20. Imhoff D. Zn influence on the plasticity of Cd<sub>0.96</sub>Zn<sub>0.04</sub>Te / D.Imhoff, A.Zozime, R.Triboulet // *J.Phys. III (France).* – 1991. – Vol. 1. – Pp. 1841–1853.
21. Effect influencing the structural integrity of semicomductors and their alloys / A.Sher, A.-B. Chen, W.E. Spicer, C.K. Shin // *J. Vac. Sci. Technol. A.* – 1985. – Vol. 3. – Pp. 105–111.

#### References:

1. Akigiro, K., Tadahisa, O. and Kiyoshi, T. (1975), «Liquid phase epitaxial growth of ZnTe and Zn<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te», *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 122, No. 8, pp. 1117–1124.
2. Nishibe, T. and Kobayashi, A. (1982), «Growth of CdTe on CdS polar faces by LPE from Cd solution», *Jap. J. Appl. Phys.*, Vol. 21, No. 2, pp. 395–396.
3. Sangha, S.P.S., Medland, J.D., Berry, J.A. and Rinn, L.M. (1987), «Low temperature epitaxial growth of cadmium telluride from mercury solvent», *J. Cryst. Growth*, Vol. 83, No. 1, pp. 127–136.
4. Babencov, V.N., Zhovnir, G.I. and Rashkoveckij, L.V. (1992), «Strukturnye svoystva i nizkotemperaturnaja fotoluminescencija plenok tellurida kadmija, poluchennyh metodom zhidkofaznoj jepitaksii», *ZhTF*, Vol. 62, Part 4, pp. 186–190.
5. Astles, M., Blackmore, G., Gordon, N. and Wight, D.R. (1985), «The use of alternative solvents for the low-temperature LPE growth of CdTe films», *J. Cryst. Growth*, Vol. 72, pp. 61–71.
6. Pelliciani, B., Chamonal, J.B., Destefanis, G.L. and Di Cioccio, L. (1987), «Growth and characterization of LPE CdHgTe / CdZnTe / CdTe structure», *SPIE*, Vol. 865, No. 22, pp. 78–81.
7. Kwak, N.J., Choi, I.H., Lim, S.W. and Sub, S.H. (1994), «Hg<sub>0.8</sub>Cd<sub>0.2</sub>Te grown by liquid phase epitaxy using Cd<sub>0.94</sub>Zn<sub>0.06</sub>Te buffer layer», *J. Cryst. Growth*, Vol. 138, pp. 950–955.
8. Moskvina, P.P., Rashkoveckij, L.V., Sizov, F.F. and Moshnikov, V.A. (2011), «Kogerentnye fazovye ravnovesija v sisteme Zn-Cd-Te i zhidkofaznaja jepitaksija uprugodeformirovannyh sloev tverdyh rastvorov ZnxCd1-xTe», *FTP*, Vol. 45, Part 7, pp. 865–873.
9. Singh, A.K. and Sharma, R.C. (1992), «Phase equilibrium calculation of Zn-Cd-Te system», *CALPHAD*, Vol. 16, No. 2, P. 172.
10. Haloui, A., Feutelais, Y. and Legendre, B. (1997), «Experimental study of the ternary system Cd-Zn-Te», *J. Alloys and Compounds*, Vol. 260, pp. 179–192.
11. Steininger, J., Strauss, A.J. and Brebrick, R.F. (1970), «Phase diagram of the Zn-Cd-Te system», *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 117, No. 10, pp. 1305–1309.
12. Laugier, A. (1973), «Thermodynamics and phase diagram calculations in II-VI and IV-VI ternary systems using an associated solution model», *Revue de Physique Appliquee*, Vol. 8, No. 3, pp. 259–270.
13. Szapiro, S. (1970), «Solid-equilibria in ternary regular associated solutions», *J. Electron. Mater.*, Vol. 5, No. 2, pp. 223–246.
14. Burton, W.K., Cabrera, N. and Frank, F.C. (1951), «The growth of crystals and the equilibrium structure of their surfaces», *Phil. Trans. Roy. Soc.*, Vol. 243, No. 866, pp. 299–304.
15. Chernov, A.A. (2004), «Notes on interphase growth kinetics», *50 Years progress in crystal growth*, a reprint collection, in Feigelson, R.S. (ed.), Elsevier, Amsterdam, pp. 47–66.
16. Lyon, T.D., Roth, J.A., Wu, O.K., Johnson, S.M. and Cockrum, S.A. (1993), «Direct molecular beam epitaxial growth of ZnTe (100) and CdZnTe (100) / ZnTe (100) on Si (100) substrates», *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 63, No. 6, pp. 818–820.
17. Rajavel, D. and Zinck, J.J. (1993), «Metalorganic molecular beam epitaxial growth of high quality Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te (0 <x< 0.27)», *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 63, No. 3, pp. 322–324.
18. Schlesinger, T.E., Toney, J.E., Yoon, H., Lee, E.Y., Branett, B.A. and James, R.B. (2001), «Cadmium zinc telluride and its use as a nuclear radiation detector material», *Mater. Sci. and Engineering: R*, Vol. 32, pp. 103–189.
19. Triboulet, R. and Marfain, Y. (1981), «CdTe growth by «multipass thm» and «sublimation thm», *J. Cryst. Growth*, Vol. 51, pp. 89–94.
20. Imhoff, D., Zozime, A. and Triboulet, R. (1991), «Zn influence on the plasticity of Cd<sub>0.96</sub>Zn<sub>0.04</sub>Te», *J. Phys. III*, Vol. 1, France, pp. 1841–1853.
21. Sher, A., Chen, A.-B., Spicer, W.E. and Shin, C.K. (1985), «Effect influencing the structural integrity of semicomductors and their alloys», *J. Vac. Sci. Technol.: A*, Vol. 3, pp. 105–111.

**Рашковецький** Любомир Васильович – науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України.

Наукові інтереси:

– технологічні процеси та термодинаміка отримання складних напівпровідників.

E-mail: rashlv@ukr.net.

**Пляцко** Сергій Володимирович – старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України.

Наукові інтереси:

– фізичні, оптичні властивості складних напівпровідників.

E-mail: plyatsko@isp.kiev.ua.

**Москвін** Павло Петрович – професор, доктор фізико-математичних наук, завідувач кафедри фізики-математики Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– фізика напівпровідників, термодинаміка отримання складних напівпровідників.

E-mail: moskvinpavel56@gmail.com.

**Добряков** Володимир Львович – доцент, кандидат фізико-математичних наук Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання фізичних процесів у складних системах.

E-mail: moskvinpavel56@gmail.com.

**Скиба** Галина Віталіївна – доцент, кандидат технічних наук Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– фізико-хімічні процеси та термодинаміка отримання складних напівпровідників.

E-mail: skybagalyana26@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2018.