

PACS numbers: 68.37.Hk, 78.66.Hf, 81.15.Ef

ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА СКЛАД ПЛІВОК $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ КВАЗІЗАМКНЕНОГО ОБ'ЄМУ

**В.В. Косяк¹, А.С. Опанасюк¹, П.В. Коваль¹, П.М. Фочук²,
В.В. Старіков³**

¹ Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна
E-mail: opanasjuk_sumdu@ukr.net

² Чернівецький національний університет,
вул. Коцюбинського, 2, 58012, Чернівці, Україна
E-mail: p.fochuk@chnu.edu.ua

³ Національний технічний університет «ХПІ»,
вул. Фрунзе, 21, 61002, Харків, Україна
E-mail: vadym_starikov@mail.ru

Проведено дослідження оптичних характеристик плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, отриманих методом термічного випаровування у квазізамкненому об'ємі. Вимірювання здійснювалися методами спектрофотометричного аналізу поблизу «червоної межі» фотоактивності напівпровідника. В результаті отримані спектральні розподіли коефіцієнтів пропускання $T(\lambda)$, відбиття $R(\lambda)$, поглинання $\alpha(\lambda)$ плівок та розрахована ширина забороненої зони матеріалу. Значення ширини забороненої зони було використане для визначення вмісту марганцю у конденсатах в залежності від фізико-технологічних умов їх отримання.

Ключові слова: ПЛІВКИ ТВЕРДОГО РОЗЧИНУ $Cd_{1-x}Mn_xTe$, КОЕФІЦІЄНТ ПРОПУСКАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ ВІДБИТТЯ, ШИРИНА ЗАБОРОНЕНОЇ ЗОНИ, СКЛАД ШАРІВ.

*(Одержано 10.01.2011, у відредагованій формі – 08.02.2011,
опубліковано онлайн – 02.04.2011)*

1. ВСТУП

Напівмагнітний напівпровідник $Cd_{1-x}Mn_xTe$ привертає підвищену увагу дослідників завдяки можливості створення на його основі сенсорів магнітного поля, електролюмінесцентних та магніто-оптичних приладів [1-3]. Останнім часом цей матеріал розглядається також як альтернативний твердому розчину $Cd_{1-x}Zn_xTe$ для використання у детекторах жорсткого випромінювання. На користь застосування саме цього напівпровідника як детекторного матеріалу свідчать його дуже високий питомий опір; низький коефіцієнт сегрегації марганцю ($k \sim 1$), що дозволяє виготовляти напівпровідникові шари з рівномірним розподілом домішки за об'ємом; можливість точного регулювання ширини забороненої зони (ЗЗ) розчину за рахунок зміни його складу (12 ÷ 15 меВ на 1 ат.% Mn в порівнянні із

6,7 меВ/ат.% Zn), при цьому вона може змінюватися від 1,51 до 3,2 еВ; мала ймовірність утворення преципітатів телуру та ін. [3-4].

Вивченню властивостей масивних монокристалів сполуки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ присвячені роботи [4-10]. Плівки досліджені набагато гірше внаслідок складності отримання, оскільки тиски компонентів розчину суттєво відрізняються один від одного. У зв'язку з цим, тонкі шари трикомпонентної сполуки в основному наносять методами лазерного [11] та вибухового випаровування [12], високочастотного магнетронного розпилення [13], які характеризуються високим ступенем нерівноважності процесу. В результаті такі шари мають низькоякісну дрібнодисперсну структуру, що не дозволяє використовувати їх у таких приладових структурах як фотодетектори та детектори жорсткого випромінювання, сонячні елементи тощо. У роботі [14] плівки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ отримані методом гарячої стінки, який дозволяє наносити шари багатокомпонентних матеріалів у квазірівноважних умовах. Авторами показано, що цей метод може бути ефективно застосований для нанесення шарів матеріалів з великою різницею тисків пари. Однак оптичні та структурні характеристики таких плівок не досліджувалися.

З метою визначення впливу фізико-технологічних умов конденсації на склад плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, нанесених методом термічного випаровування у квазізамкненому об'ємі (КЗО), в роботі досліджені їх оптичні характеристики. Як було показано раніше [15-17] метод КЗО може бути використаний для отримання високоякісних плівок сполук A_2B_6 , придатних для приладового використання.

2. МЕТОДИКА ВИГОТОВЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛІВОК

Тонкі плівки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ були отримані на очищених скляних підкладках у вакуумній установці ВУП-5М при тиску залишкових газів у камері не більше, ніж $5 \cdot 10^{-3}$ Па. Методом КЗО проводилося випаровування шихти напівпровідникової чистоти яка мала склад $Cd_{0.7}Mn_{0.3}Te$. Температура підкладки становила $T_s = 423$ К. Температура випарника змінювалася у діапазоні $T_e = (923 \div 1073)$ К. Час конденсації шарів звичайно становив $t = (8 \div 10)$ хв. Товщина плівок вимірювалася інтерференційним методом і складала $d = (0,5 \div 1,2)$ мкм.

Методом КЗО з шихти напівпровідникової чистоти також одержувалися плівки CdTe. Вони використовувалися як еталон при визначенні складу марганцю у твердому розчині $Cd_{1-x}Mn_xTe$ за шириною його ЗЗ E_g . Добре відомо, що ширина ЗЗ цього матеріалу в залежності від вмісту марганцю змінюється за лінійним законом від значень характерних для CdTe до значень, характерних для MnTe. Температура підкладки при нанесенні плівок телуриду кадмію становила $T_s = (293 \div 673)$ К. Температура випарника дорівнювала $T_s = 893$ К.

Вимірювання оптичних характеристик конденсатів здійснювалося за допомогою спектрофотометра СФ-26 в інтервалі довжин хвиль $\lambda = (700 \div 1000)$ нм. Знімалися спектральні залежності коефіцієнта відбиття $R(\lambda)$ та пропускання $T(\lambda)$. Для вимірювання спектрів $R(\lambda)$ використовувалась приставка ПЗО-2, що забезпечувала при зніманні

подвійне відбиття світла від поверхні експериментальних зразків з врахуванням його відбиття від контрольного зразка. Розрахунок коефіцієнта відбиття (у відсотках) проводився за формулою $R = 10\sqrt{B}$, де B – відлік за шкалою вимірювального амперметра. Розрахунок оптичних констант матеріалу був проведений за допомогою програмного середовища Maple 7.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Складність отримання плівок з шихти твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ пов'язана з особливостями випаровування сполук A_2B_6 . Як добре відомо вони випаровуються з дисоціацією за формулою [15]

$$AB(\text{тверда фаза}) = A(\text{газова фаза}) + 1/2 B_2(\text{газова фаза}). \quad (1)$$

В результаті газова фаза містить як атоми кадмію, марганцю так і молекули телуру. Тиск насиченої пари окремих компонентів у газовій фазі може бути визначений за формулою

$$\lg P = -A/T_e + B - C \lg T_e - DT_e, \quad (2)$$

де A, B, C, D – відомі з довідників константи, наведені у таблиці 1 [15, 18].

Таблиця 1 – Константи, які були використані при розрахунках тиску пари [15, 18]

Матеріал	Cd		Te		Mn	CdTe
	Тв. фаза	Рідка фаза	Тв. фаза	Рідка фаза	Тв. фаза	Тв. фаза
T, K	298 ÷ 594,3	594,3 ÷ 1040	298 ÷ 723	723 ÷ 1263	298 ÷ 1517	768 ÷ 1000
A	5924	5406	9232	6016	15400	9761
B	10,049	11,35	19,667	6,402	12,408	6,57
C	- 0,172	- 0,975	- 2,100	0,400	- 0,369	-
D	- 0,642·10 ⁻³	-	- 2,308·10 ⁻³	-	- 0,739·10 ⁻³	-

У випадку трикомпонентної пари тиск над підкладкою (без врахування явищ перенесення) визначається співвідношенням [19]

$$P = P(Cd) + P(Mn) + P(Te_2) = \alpha_0(Cd)P(Cd)N(Cd) + \alpha_0(Mn)P(Mn)N(Mn) + \alpha_0(Te_2)P(Te_2)N(Te_2), \quad (3)$$

де $P(Cd)$, $P(Mn)$, $P(Te_2)$ тиски насиченої пари компонентів сполуки; $\alpha_0(Cd)$, $\alpha_0(Mn)$, $\alpha_0(Te_2)$ – коефіцієнти оберненої акомодатії відповідних атомів, які дорівнюють відношенню кількості атомів що реконденсувалися з поверхні підкладки до кількості атомів що зіштовхнулися з підкладкою; $N(Cd)$, $N(Mn)$, $N(Te_2)$ – мольні долі відповідних компонентів розчину. При низьких температурах підкладки коефіцієнти α_0 близькі до одиниці, що спрощує подальші розрахунки.

Відповідні розрахунки тиску насиченої пари компонентів сполуки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ здійснені для випадків, коли вони знаходяться у рідкому та твердому стані (ці розрахункові значення P виявилися за межами вибраного температурного інтервалу), представлені на рис. 1. На цьому ж рисунку для порівняння наведений тиск пари сполуки CdTe.

Як видно з рис. 1 тиск кадмію при традиційних температурах випаровування телуриду кадмію ($T_e = (893 \div 1015) \text{ K}$ [15-17]) суттєво перевищує тиск телуру, а той у свою чергу тиск марганцю. Таким чином, при випаровуванні трикомпонентної шихти слід очікувати збіднення плівок телуром і ще в більшій мірі марганцем порівняно з шихтою. Лише при $T_e = 1260 \text{ K}$ тиски телуру і марганцю зрівнюються. Таким чином, щоб отримати плівки з великим вмістом Mn потрібно збільшувати

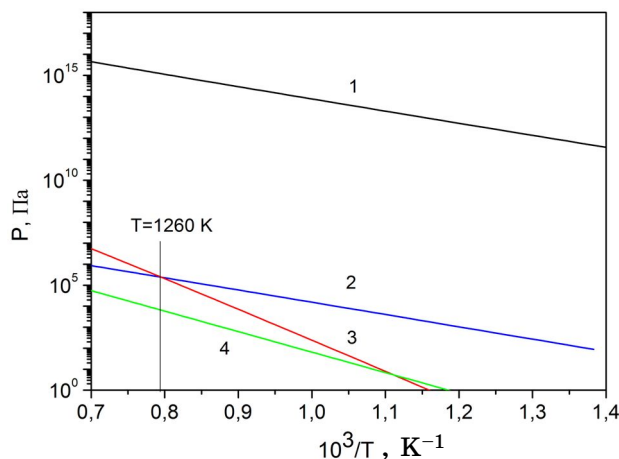


Рис. 1 – Тиски насиченої пари Cd (1), Te (2), Mn (3) та CdTe (4) при різних температурах

температуру випарника, що в свою чергу веде до відхилення умов конденсації від рівноважних та зниження кристалічної якості плівок.

Отже потрібно вибрати оптимальні температури випаровування, які з одного боку забезпечать необхідний вміст марганцю в конденсатах, а з іншого – дозволять отримати якісні плівки $Cd_{1-x}Mn_xTe$. Таким чином, аналіз даних з тиску пари компонентів трикомпонентної сполуки дозволив вибрати температури випаровування шихти, які використані в роботі $T_e = (923 \div 1073) \text{ K}$. Температура підкладки при цьому була низькою, щоб запобігти ревіпаровуванню речовини з підкладки $T_s = 423 \text{ K}$.

Спектральні залежності коефіцієнтів відбиття $R(\lambda)$ та пропускання $T(\lambda)$ від плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, отриманих при різних температурах випаровування шихти, наведені на рис. 2 а, б. Для порівняння на цьому ж рисунку (рис. 2 в, г) наведені результати вимірювання оптичних характеристик плівок CdTe. Як видно з рисунку, досліджені двошарові структури скло – плівка $Cd_{1-x}Mn_xTe$ характеризуються досить високим коефіцієнтом відбиття (рис. 2 б), який складає $12 \div 17 \%$, і зростає при збільшенні λ . Це обумовлено слабко вираженим рельєфом низькотемпературних конденсатів та дзеркальністю їх поверхні.

Спектри пропускання плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, отриманих при різних режимах конденсації, мають подібний вигляд (рис. 2 а). При довжинах хвилі випромінювання, більших $\lambda \sim (720 \div 730) \text{ nm}$ (енергіях, менших ширини ЗЗ матеріалу), відбувається суттєве зростання коефіцієнту

пропускання конденсатів. В цьому інтервалі довжин хвиль коефіцієнт пропускання плівок, у деяких випадках сягає $(50 \div 60) \%$. Як на залежностях $R(\lambda)$, так і на $T(\lambda)$ спостерігаються максимуми і мінімуми інтенсивності, пов'язані з інтерференцією випромінювання у тонких шарах халькогеніду (як вже вказувалося, їх товщина була малою та складала $d \leq 1,2$ мкм). Інтерференційні піки, що присутні на цих спектрах, свідчать про однорідність досліджених плівок за площею.

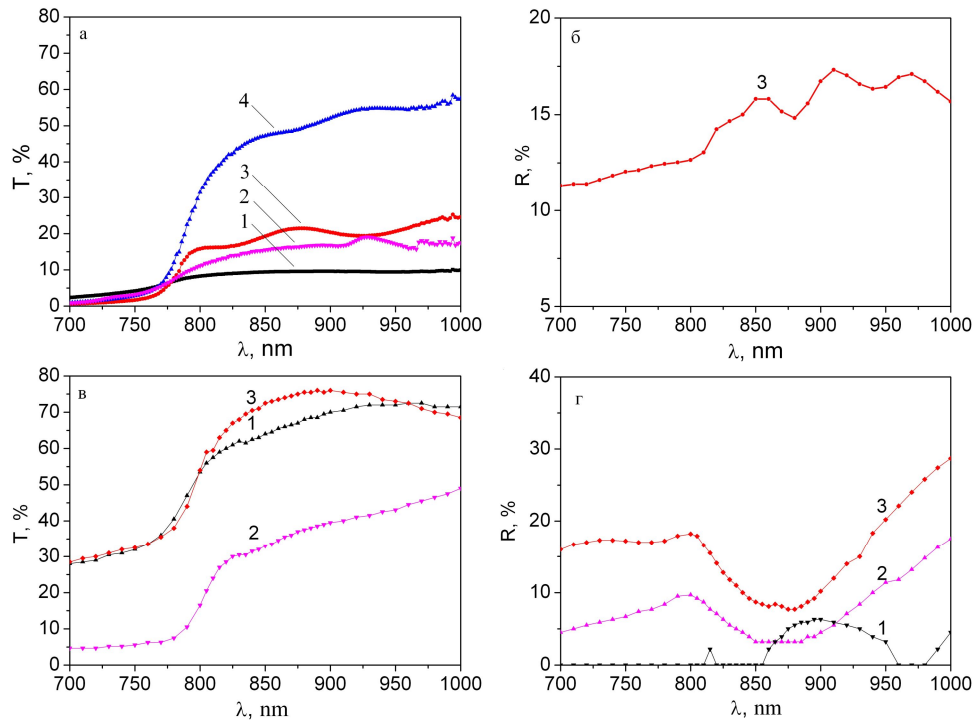


Рис. 2 – Спектри пропускання (а) плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, отриманих при $T_s = 423$ К та різних T_e , К: 923 (1), 973 (2), 1023 (3), 1073 (4) та відбиття (б) $T_e = 1023$. Спектри пропускання (в) та відбиття (г) плівок $CdTe$ – $T_e = 893$ К; T_s , К: 473 (1), 573 (2), 673 (3)

Для визначення оптичної ширини $33 E_g$ твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ та $CdTe$ нами було використане наступне співвідношення, справедливе для прямозонних напівпровідників [20]:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2}, \quad (4)$$

де A – деяка константа, що залежить від ефективної маси носіїв заряду у матеріалі; $h\nu$ – енергія оптичних квантів; α – коефіцієнт поглинання матеріалу.

З цього співвідношення випливає, що екстраполяція лінійної частини графіка $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ на вісь енергій дозволяє визначити ширину 33 напівпровідників. Коефіцієнти поглинання плівок твердого розчину

$Cd_{1-x}Mn_xTe$ та $CdTe$ при різних довжинах падаючого випромінювання, необхідні для розрахунку E_g , знаходилися нами за спектрами пропускання та відбиття світла з використанням співвідношення [4, 21]

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \left(\frac{1}{R^2} \left(-\frac{(1-R)^2}{2T} + \sqrt{\frac{(1-R)^4}{4T^2} + R^2} \right) \right). \quad (5)$$

Як свідчать розрахунки, коефіцієнт поглинання отриманих плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ в області енергій випромінювання більших ширини ЗЗ, звичайно, становив $\alpha = (1 \div 5) \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ (рис. 3). Ці величини є близькими до тих що спостерігалися для чистого телуриду кадмію $\alpha = (2 \div 5) \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$.

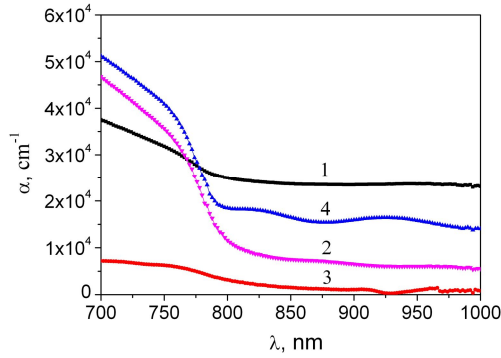


Рис. 3 – Спектри поглинання випромінювання плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, отриманих при $T_s = 423 \text{ K}$ та різних T_c , K: 923 (1); 973 (2); 1023 (3); 1073 (4)

На рисунку 4 наведені залежності $(ah\nu)^2 - h\nu$, які використовувалися для визначення ширини ЗЗ $Cd_{1-x}Mn_xTe$ та $CdTe$. Як видно з рисунку ці залежності в області енергій близьких до червоної межі фотоефекту апроксимуються прямими лініями перетини яких з віссю енергій дозволяють визначити E_g . У випадку чистого $CdTe$ вона склала $E_g = (1,52 \div 1,53) \text{ eV}$, твердий розчин мав ширину ЗЗ $E_g = (1,46 \div 1,57) \text{ eV}$. Відповідні результати визначення E_g для досліджених зразків $Cd_{1-x}Mn_xTe$ наведені у таблиці 2.

В подальшому, отримані експериментально значення ширини ЗЗ матеріалу були використані для визначення вмісту марганцю у твердому розчині $Cd_{1-x}Mn_xTe$ за відомими залежностями $(E_g - x)$. Для цього бралися наступні вирази взяті із літературних джерел [11-13, 22].

$$E_g = 1,528 + 1,316x, \quad (6)$$

$$E_g = 1,53 + 1,26x, \quad (7)$$

$$E_g = 1,54 + 1,35x, \quad (8)$$

$$E_g = 1,458 + 1,303x, \quad (9)$$

$$E_g = 1,453 + 1,34x. \quad (10)$$

Таблиця 2 – Результати визначення ширини ЗЗ та складу плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ з використанням різних літературних даних

Зразок	T_e , К	T_s , К	E_g , еВ	x_1 [11]	x_2 [13]	x_3 [12]	x_4 [22]	x_5 [22]
1	923	423	1,456	- 0,0547	- 0,0587	- 0,0622	- 0,0015	0,0022
2	973	423	1,480	- 0,0364	- 0,0397	- 0,0444	0,0169	0,0202
3	1023	423	1,561	0,0251	0,0246	0,0156	0,0791	0,0806
4	1073	423	1,565	0,02812	0,0278	0,0185	0,0821	0,0836

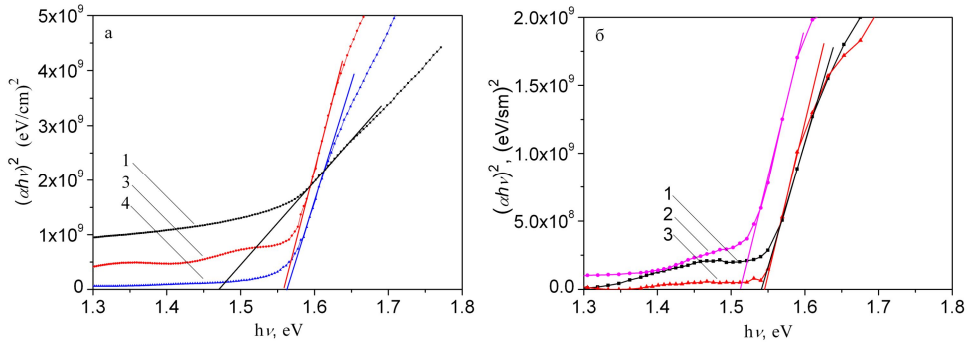


Рис. 4 – Визначення оптичної ширини ЗЗ $Cd_{1-x}Mn_xTe$ та $CdTe$. Плівки твердого розчину отримані при $T_s = 423$ К та різних T_e , К: 923 (1), 1023 (3), 1073 (4) (а); плівки $CdTe$ – $T_e = 893$ К; T_s , К: 473 (1), 573 (2), 673 (3) (б)

Слід відзначити, що співвідношення (6) було отримане в результаті пьезомодуляційних досліджень відбиття від конденсатів $Cd_{1-x}Mn_xTe$, а вираз (7) – в результаті еліпсометричних досліджень. Останні два співвідношення одержані шляхом оптичних вимірювань коефіцієнту пропускання плівок, з наступним визначенням ширини ЗЗ за 50 % значенням цього коефіцієнту.

Залежності ($E_g - x$), які відповідають співвідношенням (6)-(10) наведені на рис. 5. Значення x визначенні з цих залежностей за експериментально знайденими значеннями E_g узагальнені у таблиці 2.

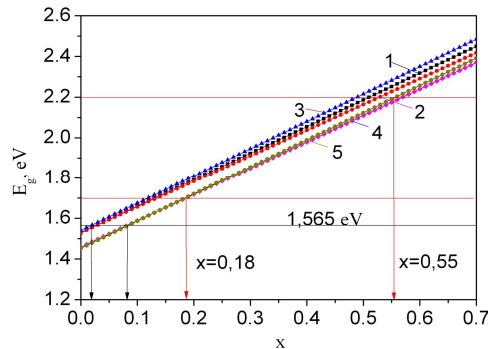


Рис. 5 – Залежність ширини ЗЗ E_g потрібної сполуки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ від вмісту марганцю x . Використані літературні дані: співвідношення (6) – 1 [11], (7) – 2 [13], (8) – 3 [12], (9), (10) – 4, 5 [22]

Як видно з таблиці, використання залежностей ($E_g - x$) наведених різними авторами [11-13, 22], приводить до дещо відмінних значень вмісту марганцю у досліджених плівках. Іноді ці величини навіть мають від'ємне значення, що є нефізичним. Це може бути пов'язано з тим, що крім основної причини, вмісту марганцю, ширина ЗЗ потрійної сполуки, (як і телуриду кадмію) визначається також розміром кристалітів, товщиною плівки, вмістом у матеріалі неконтрольованих ізовалентних домішок, перш за все кисню [23-24]. Це й призводить до розбігу значень E_g наведених у різних роботах. Найбільш точні значення x все ж, з нашої точки зору, були знайдені з використанням виразів (6)-(8), оскільки ширина ЗЗ телуриду кадмію, що використана у цих співвідношеннях, близька до знайденої нами для плівкових зразків $CdTe - E_g = (1,52 \div 1,53)$ еВ. Тобто, досліджені плівки скоріше за все містять саме $(2 \div 4)$ % марганцю.

Перевагою співвідношення (10) є те, що воно дозволяє для усього масиву експериментальних даних E_g отримати позитивні значення x , хоча, можливо, і з деякою невеликою систематичною похибкою (на рівні декількох відсотків). Саме тому воно було використане нами у подальшому для додаткових розрахунків.

Слід відзначити, що використання всіх відомих залежностей ($E_g - x$) дозволяє виявити тенденцію до збільшення концентрації марганцю у конденсатах при збільшенні температури випаровування шихти, як це і повинно відбуватися згідно з аналізом залежностей тиск – температура (рис. 1).

Дані, що були отримані на основі аналізу оптичних характеристик зразків підтверджуються результатами дослідження складу плівок методом EDAX. На відповідних спектрах разом з піками, які належать кадмію та телуру, спостерігалися піки від марганцю. При цьому концентрація марганцю у конденсатах приблизно складала $(2 \div 4)$ %. Співпадання даних отриманих оптичним методом та методом рентгенівського спектрального мікроаналізу свідчить про те, що марганець з телуридом кадмію утворює саме твердий розчин, а не виділяється у вигляді преципітатів в об'ємі кристалітів або по межах зерен.

Відзначимо, що наведені на рис. 5 залежності дозволяють спрогнозувати вміст марганцю в шарах $Cd_{1-x}Mn_xTe$, перспективних для використання як детекторний матеріал. Нагадаємо, що при роботі детектора при кімнатній температурі потрібен матеріал з $E_g \sim 1,60$ еВ, а при більших температурах $E_g \sim (1,70 \div 2,20)$ еВ [3-4]. Ці значення ширини ЗЗ відповідають матеріалу з $x = 0,05 \div 0,06$ та $x = 0,18 \div 0,55$ (рис. 5). Таким чином, плівки отримані при високих температурах випарника $T_e = 1073$ К з вмістом марганцю $x = 0,02 \div 0,04$ (таблиця 2), але більш товсті, можуть бути використані як базовий матеріал детекторів, що працюють при кімнатній температурі. Крім того вони є перспективними як поглинаючі шари тонкоплівкових сонячних перетворювачів, оскільки можуть бути отримані з n -типом провідності, що забезпечує кращу рухливість носіїв заряду у матеріалі [1-2].

За результатами досліджень нами були побудовані залежності ($x - T_e$) та ($E_g - T_e$) (рис. 6), які дозволяють у першому наближенні визначити температуру випарника, (при низьких температурах підкладки коли

ревипаровуванням матеріалу можна знехтувати) необхідну для отримання плівок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ з потрібною для приладового використання шириною ЗЗ та вмістом марганцю.

В аналітичному вигляді ці залежності можуть бути записані таким чином.

$$E_g = 0,701 + 8,16 \cdot 10^{-4} T_e, \quad (11)$$

$$x = 6,09 \cdot 10^{-4} T_e - 0,561. \quad (12)$$

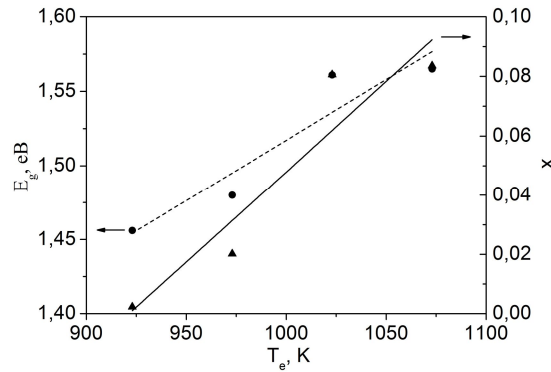


Рис. 6 – Залежність ширини ЗЗ E_g та вмісту марганцю x потрібної сполуки $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ у плівках від температури випаровування матеріалу T_e

4. ВИСНОВКИ

В роботі розраховані тиски компонентів сполуки $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ та оцінені температури випаровування, необхідні для отримання плівок з малим (декілька відсотків) та великим вмістом марганцю. Методом КЗО при низькій температурі підкладки ($T_s = 423$ K), коли процесами ревипаровування речовини можна знехтувати, та різних температурах випарника ($T_e = 923 \div 1073$ K), з шихти зі складом $\text{Cd}_{0,7}\text{Mn}_{0,3}\text{Te}$ отримані тонкі плівки цієї сполуки. Досліджені спектральні залежності коефіцієнта відбиття $R(\lambda)$ та пропускання $T(\lambda)$ отриманих плівок та визначена ширина ЗЗ матеріалу, що дорівнює $E_g = (1,46 \div 1,57)$ eV. З використанням літературних даних про залежність ширини ЗЗ сполуки $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ від вмісту марганцю визначена концентрація цього елемента у зразках. Встановлено, що вміст марганцю у плівках становить $x = 0,02 \div 0,04$, збільшуючись зі збільшенням температури випаровування шихти. Ці дані підтверджені результатами дослідження складу плівок методом EDAX. Отримані аналітичні залежності, які дозволяють у першому наближенні прогнозувати склад плівок та ширину ЗЗ матеріалу за відомою температурою випаровування шихти.

Робота виконана при фінансуванні в рамках держбюджетної теми № 0110U001151 (2010-2012) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

OPTICAL CHARACTERISTICS AND COMPOSITION OF $Cd_{1-x}Mn_xTe$ FILMS OBTAINED BY THE CLOSE SPACED SUBLIMATION TECHNIQUE

V.V. Kosyak¹, A.S. Opanasyuk¹, P.V. Koval¹, P.M. Fochuk², V.V. Starikov³

¹ Sumy State University,
2, Rimsky-Korsakow str., 40007, Sumy, Ukraine
E-mail: opanasjuk_sumdu@ukr.net

² Chernovitsky National University,
2, Kotsiubynsky str., 58012, Chernivtsi, Ukraine
E-mail: p.fochuk@chnu.edu.ua

³ National Technical University "KhPI",
21, Frunze str., 61002, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vadym_starikov@mail.ru

Study of the optical properties of $Cd_{1-x}Mn_xTe$ films obtained by the close spaced sublimation technique was carried out. Measuring of the optical characteristics of the layers was performed by the spectrophotometric analysis method near the "red boundary" of the semiconductor photoactivity. This research allowed to obtain the spectrum distributions of the transmission $T(\lambda)$, reflection $R(\lambda)$ and absorption $\alpha(\lambda)$ coefficients of the films as well as estimate the band-gap energy of the compound. The values of the band-gap energy were used for determination of manganese concentrations in the films depending on the growth conditions.

Keywords: $Cd_{1-x}Mn_xTe$ SOLID SOLUTION FILMS, TRANSMISSION COEFFICIENT, REFLECTION COEFFICIENT, WIDE BAND GAP, LAYER COMPOSITION.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СОСТАВ ПЛЕНОК $Cd_{1-x}Mn_xTe$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КВАЗИЗАМКНУТОГО ОБЪЕМА

V.V. Косяк¹, А.С. Опанасюк¹, П.В. Коваль¹, П.М. Фочук², В.В. Стариков³

¹ Сумский государственный университет,
ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, Сумы, Украина
E-mail: opanasjuk_sumdu@ukr.net

² Черновецкий национальный университет,
ул. Коцюбинского, 2, 58012, Черновцы, Украина
E-mail: p.fochuk@chnu.edu.ua

³ Национальный технический университет «ХПИ»,
ул. Фрунзе, 21, 61002, Харьков, Украина
E-mail: vadym_starikov@mail.ru

Проведено исследование оптических характеристик пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, полученных методом термического испарения в квазизамкнутом объеме. Измерения проводились методами спектрофотометрического анализа вблизи «красной границы» фотоактивности полупроводника. В результате получены спектральные распределения коэффициентов пропускания $T(\lambda)$, отражения $R(\lambda)$, поглощения $\alpha(\lambda)$ пленок и рассчитана ширина запрещенной зоны материала. Значения ширины запрещенной зоны были использованы для определения содержания в конденсатах марганца в зависимости от физико-технологических условий их получения.

Ключевые слова: ПЛЕНКИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $Cd_{1-x}Mn_xTe$, КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПУСКАНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ, ШИРИНА ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ, СОСТАВ СЛОЕВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Mycielski, L. Kowalczyk, R.R. Galazka, R. Sobolewski, D. Wang, A. Burger, M. Sowinska, M. Groza, P. Siffert, A. Szadkowski, B. Witkowska, W. Kaliszek, *J. Alloy Compd.* **423**, 163 (2006).
2. S.B. Trivedi, C.-C. Wang, S. Kutcher, U. Hommerich, W. Palosz, *J. Cryst. Growth* **310**, 1099 (2008).
3. A. Owens, A. Peacock, *Nucl. Instrum. Meth. A* **531**, 18 (2004).
4. Л.А. Косяченко, І.М. Раренко, В.М. Склярчук та ін., *Sensor Electron. Microsystem Technol.* **1**, 74 (2010).
5. К.Н. Kim, S.H. Cho, J.H. Suh, S.U. Kim, *IEEE T. Nucl. Sci.* **56**, 858 (2009).
6. O.S. Babalola, A.E. Bolotnikov, M. Groza, A. Hossain, S. Egarievwe, R.B. James, A. Burger *J. Cryst. Growth* **311**, 3702 (2009).
7. J. Parkin, P.J. Sellin, A.W. Davies, A. Lohstroh, M.E. Ozsan, P. Seller *Nucl. Instrum. Meth. A* **573**, 220 (2007).
8. R.S. Becker, B.S. Swartzentruber, J.S. Vickers, and T. Klitsner, *Phys. Rev. B* **39**, 1633 (1989).
9. K. Chattopadhyay, K.M. Pour, S.U. Egarievwe, J.O. Ndap, H. Chen, X. Ma, S. Morgan, A. Burger, *J. Electron. Mater.* **28**, 666 (1999).
10. І.Г. Аксянов, М.Е. Компан, М.В. Меш, *ФТТ* **49**, 657 (2007) (I.G. Aksyanov, M.E. Kompan, M.V. Mesh, *Phys. Solid State* **49**, 691 (2007)).
11. A.P. Caricato, E. D'Anna, M. Fernandez, G. Leggieri, A. Luches, E. Mero, M. Martino, *Thin Solid Films* **433**, 45 (2003).
12. I. Caraman, G.I. Rusu, L. Leontie, *J Optoelectron. Adv. M* **8**, 927 (2006).
13. P. Banerjee, B. Ghosh, *J. Phys. Chem. Solids* **69**, 2670 (2008).
14. I. Miotkowski, S. Miotkowska, T. Warminski, *Thin Solid Films* **150**, 337 (1987).
15. І.П. Калинин, В.Б. Алесковский, *Эпитаксиальные пленки соединений A_2B_6* (Ленинград: ЛГУ: 1978).
16. D. Kurbatov, H. Khlyar, A. Opanasyuk, *phys. stat. sol. (a)* **206** No7, 1549 (2009).
17. V.V. Kosyak, A.S. Opanasyuk, P.M. Bukivskij, Y.P. Gnatenko, *J. Cryst. Growth* **312**, 1726 (2010).
18. А.И. Ефимов, Л.П. Белорукова, И.В. Василькова, В.П. Чечев, *Свойства неорганических соединений* (Ленинград: Химия: 1983).
19. Л. Майссел, Р. Гленг, *Технология тонких пленок* (Москва: Советское радио: 1977).
20. Ж. Панков, *Оптические процессы в полупроводниках* (Москва: Мир: 1973).
21. T.S. Moss, M. Balkanski, *Handbook on Semiconductors: Optical Properties of Semiconductors*, (Amsterdam: Elsevier: 1994).
22. К.Н. Kim, А.Е. Bolotnikov, G.S. Camarda, G. Yang, A. Hossain, Y. Cui, R.B. James, J. Hong, S.U. Kim, *J. Appl. Phys.* **106**, 023706 (2009).
23. Н.К. Морозова, Д.А. Мидерос, В.Г. Галстян, Е.М. Гавришчук, *ФТП* **42**, 1039 (2008) (N.K. Morozova, D.A. Mideros, V.G. Galstyan, E.M. Gavrishchuk, *Semiconductors* **42**, 1023 (2008)).
24. Н.К. Морозова, И.А. Каретников, К.В. Голуб, Н.Д. Данилевич, В.М. Лисицын, В.И. Олешко, *ФТП* **39**, 513 (2005) (N.K. Morozova, I.A. Karetnikov, K.V. Golub, N.D. Danilevich, V.M. Lisitsyn, V.I. Oleshko, *Semiconductors* **39**, 485 (2008)).