

УДК 621.396.6, 621.391.82

doi:10.20998/2413-4295.2023.04.01

ВПЛИВ МАТЕРІАЛУ ПІДКЛАДКИ НА СТРУКТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК ТЕЛУРИДУ КАДМІЮ

Р. В. ЗАЙЦЕВ*, М. В. КІРІЧЕНКО, К. О. МІНАКОВА, А. В. МЕРІУЦ, А. М. ДРОЗДОВ

кафедра Мікро- та наноелектроніки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, УКРАЇНА

*e-mail: zaitsev.potam@gmail.com

АНОТАЦІЯ Із використанням модернізованих промислових вакуумних установок було виготовлено серію тестових зразків плівок телуриду кадмію методом термічного вакуумного випарювання на підкладках зі скла без підшару прозорого провідного оксиду, з підшаром провідного оксиду та на підкладках з молібденової фольги для дослідження впливу матеріалу підкладки на структурні параметри тестових зразків. Проведено дослідження структури проводилося методом рентген-дифрактометричного аналізу розраховані параметри решітки, розміри областей когерентного розсіювання і коефіцієнт текстури плівки. За результатами досліджень структурних параметрів зразків виготовлених на скляній підкладці встановлено наявність кубічної фази телуриду кадмію. Показано, що при збільшенні температури підкладки зростає текстурованість зразків та спостерігається наявність розтягуючих напружень оскільки період решітки кубічної фази суттєво вищий за табличний. Для зразка отриманого на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного оксиду ІТО при температурі підкладки 200 °С встановлено наявність двох гексагональних фаз Н1 і Н2 і кубічної фази С. Зразки отримані на підкладці з молібденової фольги містять практично суцільно кубічну фазу CdTe тільки в дуже тонкому зразку №1 присутні сліди гексагональної фази. Для першого найтоншого зразка, спостерігається тільки один основний дифракційний пік кубічної фази, що можна пояснити тим, що на початкових стадіях росту плівки вона зростає як сильно текстурована кубічна фаза з можливою присутністю деякої кількості гексагональної фази. З аналізу отриманих результатів можна зазначити, що зразки, отримані на молібденовій підкладці мають параметр решітки найближчий до табличних даних - 6.482–6.483 Å. Структурні відмінності, що спостерігаються між дослідженими зразками пов'язані з тим, що вони мають різну переважну орієнтацію, що найвірогідніше обумовлено зміною швидкості напилення.

Ключові слова: телурид кадмію; структура; підкладка; решітка; текстура

INFLUENCE OF THE SUBSTRATE MATERIAL ON THE STRUCTURAL PROPERTIES OF CADMIUM TELLURIDE FILMS

R. ZAITSEV, M. KIRICHENKO, K. MINAKOVA, A. MERIUTS, A. DROZDOV

Department of Micro- and Nanoelectronics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT With the use of modernized industrial vacuum installations, a series of test samples of cadmium telluride films was produced by the method of thermal vacuum evaporation on glass substrates without a sublayer of transparent conductive oxide, with a sublayer of conductive oxide, and on molybdenum foil substrates to study the influence of the substrate material on the structural parameters of the test samples. The study of the structure was carried out by the method of X-ray diffractometric analysis, the parameters of the lattice, the sizes of the regions of coherent scattering and the texture coefficient of the film were calculated. Based on the results of research into the structural parameters of samples made on a glass substrate, the presence of a cubic phase of cadmium telluride was established. It is shown that when the temperature of the substrate increases, the texture of the samples increases and the presence of tensile stresses is observed, since the lattice period of the cubic phase is significantly higher than that of the tabular phase. For a sample obtained on a glass substrate with a layer of transparent conductive ITO oxide at a substrate temperature of 200 °C, the presence of two hexagonal phases H1 and H2 and a cubic phase C was established. The samples obtained on a molybdenum foil substrate contain almost entirely the cubic CdTe phase only in very thin sample no. 1 traces of the hexagonal phase are present. For the first thinnest sample, only one main diffraction peak of the cubic phase is observed, which can be explained by the fact that in the initial stages of the film growth, it grows as a highly textured cubic phase with the possible presence of some hexagonal phase. From the analysis of the obtained results, it can be noted that the samples obtained on the molybdenum substrate have a lattice parameter closest to the table data - 6.482–6.483 Å. The structural differences observed between the studied samples are due to the fact that they have a different preferred orientation, which is most likely due to a change in the sputtering speed

Keywords: cadmium telluride; structure; lining; grille; texture

Вступ

Телурид кадмію впродовж десятків років залишається одним з найбільш популярних плівкових напівпровідникових матеріалів для створення економічних і ефективних приладових структур, зокрема плівкових сонячних елементів наземного застосування [1,2]. Це обумовлено оптимальною для фотоелектричного перетворення в наземних умовах шириною забороненої зони, високим коефіцієнтом

оптичного поглинання, який обумовлює можливість використання в якості абсорбера шар товщиною кілька мікрометрів [3], і наявністю матеріало- та енергозберігаючих технологій отримання плівок CdTe [4]. Світовим лідером промислового виробництва найбільш ефективних сонячних модулів CdS/CdTe є фірма First Solar (США) [4,5]. У 2020 році загальна електрична потужність вироблених First Solar сонячних модулів досягла 2.4 ГВт [6]. В останні роки зростає кількість досліджень спрямованих на

застосування телуриду кадмію у приладових структурах іншого призначення. Зокрема у телуриді кадмію було відкрито і активно досліджується ефект швидкого перемикавання між станами з високою і низькою провідністю. Такий ефект може бути використаний для створення на основі телуриду кадмію пристроїв пам'яті. Перспективним є і дослідження можливості створення елементів захисту електронної апаратури від електромагнітних імпульсів завдяки використанню ефекту швидкого перемикавання в структурах на основі телуриду кадмію. Комерційні перспективи інтенсифікували наукові дослідження в галузі розвитку фізико-технічних основ промислових технологій отримання приладових структур на основі CdTe [7-11]. Оскільки принцип роботи вказаних приладових структур заснований на кінетичних процесах переносу носіїв заряду, а кристалічна структура тонкої плівки справляє безпосередній вплив на параметри носіїв заряду [12-16] то дослідження впливу матеріалу підкладок на вихідну структуру тонких плівок телуриду кадмію, є актуальною задачею плівкового матеріалознавства.

Мета роботи

Дослідження впливу матеріалу підкладки на якій сформовані тонкі плівки телуриду кадмію на їх структурні властивості.

Результати та їх обговорення

В модернізованій вакуумній установці УВН-74 – було реалізовано та виготовлено шари телуриду кадмію методом термічного вакуумного випарювання при різних фізико-технологічних параметрах температури підкладки від 100 до 300 °С. Початковий рівень вакууму у вакуумній камері становив 10^{-5} Па. Товщина отриманих зразків та швидкість процесу конденсації контролювалася після процесу напilenня оптичними методами. Отримання шарів телуриду кадмію відбувалося на підкладках зі скла без підшару прозорого провідного оксиду – для дослідження товщини та швидкості осаджених шарів та з підшаром провідного оксиду для дослідження впливу матеріалу підкладки на структурні параметри тестових зразків.

Також було реалізовано процес вакуумного термічного випарювання в установці ВУП-5м за допомогою модернізованого типу оснастки вакуумної камери. Дана модернізація була зумовлена обмеженістю штатних можливостей реалізації процесу вакуумного випарювання в цій установці. Також даний вакуумний пост має менший вакуумний об'єм, що дозволяє пришвидшити процес отримання базових функціональних шарів телуриду кадмію, з огляду на підготовчі процеси для реалізації термічного розпилення. Для отримання тонких плівок напівпровідників CdTe методом термовакуумного розпилення було розроблено і виготовлено оснастку, що включала резистивний випарник та нагрівач

підкладки, адаптовані до конструкції стандартної промислової вакуумної установки ВУП-5м (рис. 1).

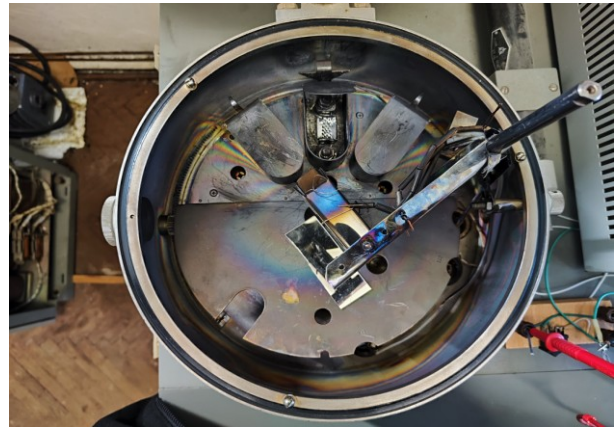


Рис. 1 - Фотографія системи термовакуумного розпилення у складі ВУП-5м

Шари телуриду кадмію було отримано при температурах підкладки $T_n = 350-400$ °С, що визначає цей процес низькотемпературним процесом отримання напівпровідникових шарів. Початковий рівень вакууму у вакуумній камері цієї установки становив 10^{-4} Па. Для отримання тестових зразків елементів захисту були використані підкладки з молібденової фольги. Час розпилення контролювався для контролю створеного шару телуриду кадмію.

Для дослідження структурних характеристик була виготовлена серія зразків базового шару з плівок CdTe на електропровідних підкладках, які можуть грати роль одного з контактів приладової структури при її виготовленні у вертикальній конфігурації, а також на діелектричній підкладці, яка може використовуватися як основа при виготовленні приладової структури в горизонтальній конфігурації. Зразки були виготовлені методом термічного випарювання. Дослідження структури проводилося методом рентген-дифрактометричного аналізу на дифрактометрі D8 DISCOVER (BRUKER) θ -2 θ скануванням у випромінюванні мідного аноду.

На рис. 2, 3 і 4 приведені дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці при температурах підкладки 100, 200 та 300 °С, а в табл. 1, 2 і 3 представлені результати аналізу дифрактограм. Розрахунки параметрів решітки, розмірів областей когерентного розсіювання і коефіцієнта текстури плівки приведені в табл. 4.

Як випливає з результатів, представлених в табл. 1, для цього зразка отриманого на скляній підкладці при температурі підкладки 100 °С впевнено можна ідентифікувати тільки одну фазу. Ця фаза в таблиці позначена як **HI**, і визначена як гексагональна фаза CdTe, яка згідно таблиці JSPDC-19-0193 має структуру $R\bar{3}m$ (186) з табличними значеннями параметрів решітки $a = 4.58$ Å, $c = 7.50$ Å.

На дифрактограмі спостерігається також пік на куті 46.305° , який може належати кубічній фазі CdTe,

що позначена в таблиці літерою *c* і згідно таблиці JSPDC-15-0770, 65-0440, 65-0880, 65-1081, 65-1082, 65-1085, 65-8395 має структуру F43m (216) з табличними значеннями параметру решітки $a = 6.48 - 6.483 \text{ \AA}$. Однак за одним піком неможливо ідентифікувати наявність фази, тим не менше, з аналізу результатів наступних зразків, випливає, що в цьому зразку все ж може бути присутньою кубічна фаза [17-19].

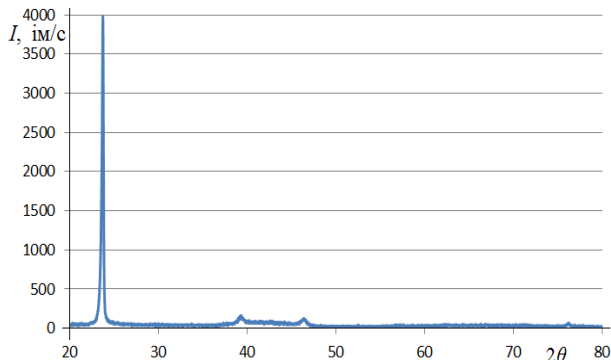


Рис. 2 – Дифрактограма плівки CdTe отриманої на скляній підкладці при температурі підкладки 100 °C

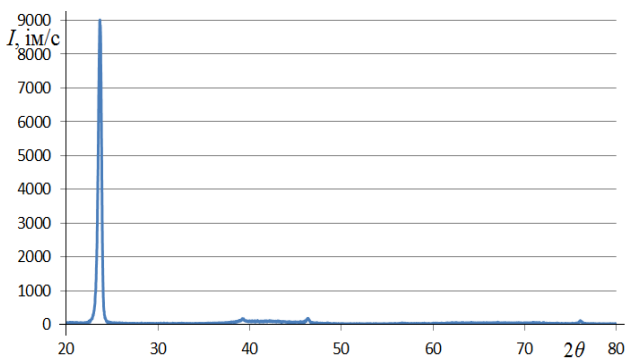


Рис. 3 – Дифрактограма плівки CdTe отриманої на скляній підкладці при температурі підкладки 200 °C

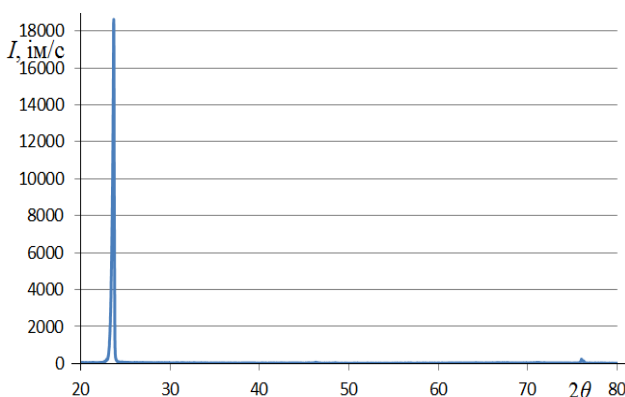


Рис. 4 – Дифрактограма плівки CdTe отриманої на скляній підкладці при температурі підкладки 300 °C

Гало між кутами 39 – 46° свідчить про низьку структурну якість плівки, що є наслідком низької температури підкладки.

Як випливає з результатів, представлених в табл. 2, для цього зразка отриманого на скляній підкладці при температурі підкладки 200 °C впевнено

можна ідентифікувати наявність двох фаз – гексагональної і кубічної. Піки на кутах 39 і 71 градусів з рівною імовірністю можуть належати як кубічній, так і гексагональній фазі, нажалі розділити їх не вдалося, тому для визначення їхньої приналежності потрібні додаткові дослідження.

Таблиця 1 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці при температурі підкладки 100 °C

CdTe	2θ	Peak height	d	Int. ints	Int. W
HI (002)	23.70688	2715.06	3.74986	707.06	0.26487
HI (110)	39.2007	42.33	2.29613	33.16	0.78327
galo	39.5 - 46				
C (311)	46.30546	40.16	1.95902	30.2	0.74778
HI (006)	76.06612	17.22	1.25018	11.07	0.64201

Таблиця 2 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці при температурі підкладки 200 °C

CdTe	2θ	Peak height	d	Int. ints	Int. W
HI (002)	23.67294	5960.17	3.75516	2797.12	0.46904
HI (110) C (220)	39.21402	34.34	2.29538	9.85	0.28687
galo	39.5 - 46				
C (311)	46.33094	69.52	1.958	30.33	0.44485
C (400)	56.6096	7.29	1.62446	6.6	0.90505
C (331)	62.28231	4.82	1.48943	3.68	0.76556
HI (300) C (422)	71.03671	5.73	1.32582	4.83	0.84315
HI (006)	76.04768	49.41	1.25044	21.62	0.43762

Таблиця 3 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці при температурі підкладки 300 °C

CdTe	2θ	Peak height	d	Int. ints	Int. W
HI (002) C (111)	23.68978	12102.81	3.75253	3454.4	0.29202
C (311)	46.2483	19.96	1.96131	10.54	0.52928
C (222)	48.4302	7.36	1.87792	3.02	0.3956
HI (300) C (422)	71.11673	8.89	1.32453	5.01	0.56534
HI (006) C (333)	76.01848	156.94	1.25084	44.65	0.28447

Для зразка отриманого на скляній підкладці при температурі підкладки 300 °C скоріше за все маємо більше кубічної фази. Однак зі зростанням температури підкладки перший пік зміщується в бік менших кутів, а для кубічної фази повинен зміщуватися до більших кутів, тому повністю виключити наявність гексагональної фази неможна і далі розглядається можливість її присутності для цього зразка.

В табл. 4 зведені результати розрахунку параметрів решітки, розмірів областей когерентного розсіювання (ОКР) і напружень, для фази **H1**, для якої була пара кратних піків і для зразка, отриманого при температурі підкладки 300 °С, де можна прийняти кратні піки для кубічної фази.

Таблиця 4 – Параметри решітки, розміри ОКР і напружень для фаз, визначених в плівках CdTe отриманих на скляній підкладці.

H1: a = 4.58 Å, c = 7.50 Å								C: a = 6.48 – 6.483 Å	
$T_{sb},$ °C	c, Å	a, Å	L, nm		ε		G	G	a, Å
			min	max	min	max			
100	7.501	4.593	1.84	2.33	-	-	1.08		6.497
200	7.503	4.593	3.37	3.54	0.0087	0.0358	1.63	0.47	6.495
300	7.505	4.588	5.09	5.43	0.0046	0.0294	1.26		
Кубічна фаза 300 °C			4.54	4.68	-	-		1.33	6.493

Для розрахунку параметрів решітки використовувався метод найменших квадратів, в якості функції, яка враховує систематичну похибку при вимірюванні дифракційної картини, використовувалася функція $F(\theta) = \cos^2(\theta)$.

Як видно з результатів, приведених в табл. 4, при зростанні температури розміри ОКР збільшуються. Незалежно від фазового складу плівки основна фаза **H1** має текстуру для всіх зразків. Зі збільшенням температури від 100 до 200 °С збільшується текстурованість гексагональної фази (табл. 4). Абсолютна величина напружень при зростанні температури підкладки від 100 до 200 °С зменшується на порядок і напруження змінюють знак з «-» на «+». Оскільки при цьому параметри решітки гексагональної фази залишаються практично незмінними, то зміна знаку напружень може бути непрямим підтвердженням появи кубічної фази [20-23]. При подальшому зростанні від 200 до 300 °С знак напружень знову змінюється тепер вже з «+» на «-», що може бути пов'язаним тепер вже зі зменшенням вмісту гексагональної фази. Крім того, період решітки кубічної фази суттєво вищий за табличний, тобто ця фаза повинна піддаватися значним напруженням розтягування.

На рис. 5, 6 і 7 приведені дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО (суміш SnO₂:In₂O₃) при температурах підкладки 100, 200 та 300 °С, а в табл. 5, 6 і 7 представлені результати аналізу дифрактограм. Розрахунки параметрів решітки, розмірів областей когерентного розсіювання і коефіцієнта текстури плівки приведені в табл. 8.

Як впливає з результатів, представлених в табл. 5, для зразка отриманого на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 100 °С впевнено можна

ідентифікувати дві гексагональні фази. Фазу, яка позначена, як **H1** і яка спостерігалася на скляних підкладках без електропровідного шару, а також фазу, яка в таблиці позначена як **H2**, і визначена як гексагональна фаза CdTe, яка згідно таблиці MDI JADE software #97-015-0941 структуру R₆mc з табличними значеннями параметрів решітки $a = 4.684 \text{ Å}$, $c = 7.674 \text{ Å}$.

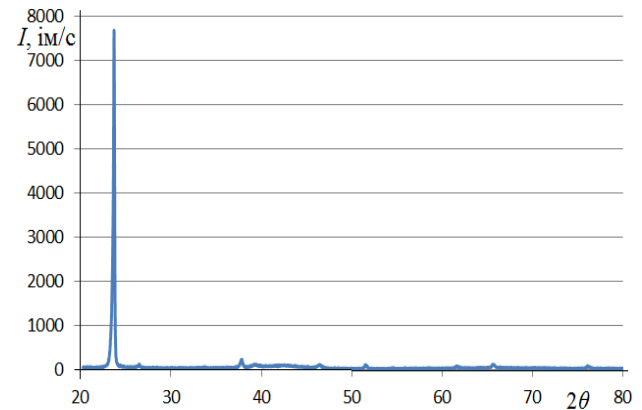


Рис. 5 – Дифрактограма плівки CdTe отриманої на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 100 °С

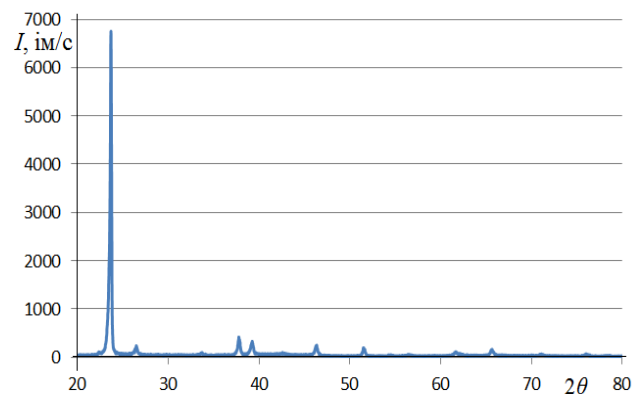


Рис. 6 – Дифрактограма плівки CdTe отриманої на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 200 °С

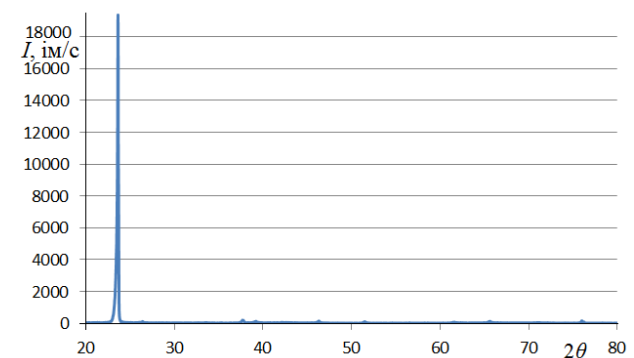


Рис. 7 – Дифрактограма плівки CdTe отриманої на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 300 °С

Таблиця 5 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 100 °С

	2θ	Peak height	$d, \text{Å}$	Int. ints	Int. W
H1 (002)	23.71022	5241.6	3.74934	1144.7	0.2184
SnO ₂ (110)	26.47142	32.6	3.36418	12.32	0.3801
SnO ₂ (101)	33.6946	7.96	2.65768	4.95	0.6231
SnO ₂ (200)	37.77811	107.5	2.37926	36.8	0.3423
H1 (110) C (220)	39.27214	25.95	2.29212	14.59	0.5621
H1, H2 galo	42.496	24.30	2.12552	85.3	3.5097
H2 (201) C (311)	46.39332	36.86	1.95552	19.22	0.5216
SnO ₂ (211), In ₂ O ₃ (440)	51.47393	55.98	1.7738	19.09	0.3491
SnO ₂ (220)	54.5037	8.56	1.68214	3.5	0.4097
H2 (3 $\bar{1}$ 1)	61.58227	22.14	1.50467	9.41	0.4254
H2 (3 $\bar{1}$ 2)	65.5635	53.36	1.4226	19.77	0.3705
H1 (006) C (333)	76.07544	27.14	1.25005	11.29	0.4159
H2 (106)	78.34793	4.73	1.21938	2.47	0.5226

Не дивлячись на те, що є три піки, які в порівнянні з наступними зразками найближче лежать до кубічної фази (220), (311), (333) і на те, що перший пік також найближче до кубічної фази (111), немає однозначного приводу вважати що в цьому зразку є кубічна фаза, тому що немає жодного піка, який би належав тільки кубічній фазі і нічому більше [24-28]. Хоча з аналізу результатів наступних зразків, впливає, що все ж можна очікувати її наявність і в цьому зразку але для доведення цього потрібні додаткові дослідження.

Як впливає з результатів, представлених в таблиці 6, для зразка отриманого на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 200 °С можна ідентифікувати дві гексагональні фази **H1** і **H2** і кубічну фазу **C**. Це можна зробити, оскільки для кожної з цих фаз існує хоча б одне відбиття, яке належить виключно цій фазі і не накладається на інші. Нажаль, розділити відбиття для фаз **H1** і **C** неможливо.

Зі зростанням температури підкладки найінтенсивніший пік, який відповідає фазі **H1** (002) все більше зміщується в бік менших кутів та змінюється орієнтація зерен різних фаз, одні піки зникають, інші з'являються.

В табл. 8 представлені результати розрахунку параметрів решітки, розмірів ОКР і напружень, для

фази **H1**, для якої була пара кратних підків, та параметрів решітки для фаз **H2** і **C**.

Таблиця 6 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 200 °С

	2θ	Peak height	$d, \text{Å}$	Int. ints	Int. W
H1 (100)	22.3342	19.4	3.97713	4.45	0.2294
H1 (002)	23.68674	4332.6	3.753	1034.8	0.2294
SnO ₂ (110)	26.46571	93.7	3.36489	35.96	0.3836
SnO ₂ (101)	33.64761	23.1	2.66129	6.49	0.2808
SnO ₂ (200)	37.76602	215.9	2.38	77.2	0.3574
H1 (110) C (220)	39.21152	146.8	2.29553	57.2	0.3900
H2 (103)	41.831	5.03	2.157623	2.4	0.4684
H1 (103)	42.58	14.0	2.121392	13.9	0.9902
H2 (201) C (311)	46.26632	117.0	1.96059	42.6	0.3644
SnO ₂ (211), In ₂ O ₃ (440)	51.4848	95.3	1.77345	30	0.3115
SnO ₂ (220)	54.50231	10.7	1.68218	5.09	0.4778
C (400)	56.4814	14.0	1.62784	9.1	0.6498
H2 (3 $\bar{1}$ 1)	61.608	35.07	1.504102	23.6	0.6731
C (331) H1 (210)	62.222	11.9	1.490718	7.44	0.6267
H2 (3 $\bar{1}$ 2)	65.58257	80.2	1.42224	30.0	0.3737
H1 (300) C (422)	71.03127	20.4	1.32591	10.8	0.5348
H1 (006) C (333)	76.00232	25.7	1.25107	14.3	0.5483
H2 (106)	78.30629	7.6	1.21993	5.7	0.7492

Як видно з результатів, приведених в табл. 8, при зростанні температури розміри ОКР збільшуються. Незалежно від фазового складу плівки основна фаза **H1** має текстуру для зразків, отриманих при всіх температурах. Зі збільшенням температури від 100 до 200 °С текстурованість фази **H1** дещо зменшується, але при подальшому підвищенні температури до 300 °С суттєво збільшується (табл. 8). Абсолютна величина напружень при зростанні температури підкладки від 100 до 200 °С зменшується в двічі, а при подальшому зростанні температури змінює знак з «+» на «-» і зменшується на два порядки.

На рис. 8, 9 і 10 приведені дифрактограми плівки CdTe отриманої на підкладці з молібденової фольги при температурі підкладки 300 °С, а в табл. 9,

10 і 11 представлені результати аналізу дифрактограм. Зразки мали різну товщину, зразок №1 ~1 – 2 мкм, зразок №2 ~3 – 4 мкм, зразок №3 ~4 – 5 мкм.

Таблиця 7 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe отриманої на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 300 °С

	2θ	Peak height	$d, \text{Å}$	Int. ints	Int. W
H1 (002)	23.66102	13954.9	3.75702	2437.7	0.1761
SnO ₂ (110)	26.40661	25.62	3.37229	9.48	0.3706
SnO ₂ (101)	33.57044	11.49	2.66723	4.54	0.3959
SnO ₂ (200)	37.71313	109.95	2.38321	33.42	0.3039
H1 (110) C (220)	39.17154	49.81	2.29778	20.43	0.4101
H1, H2 galo	42.486	12.08	2.12596	26.07	2.1593
H2 (201) C (311)	46.26628	53.19	1.96059	21.02	0.3953
SnO ₂ (211), In ₂ O ₃ (440)	51.43654	46.56	1.775	15.77	0.3386
SnO ₂ (220)	54.4604	5.08	1.68337	2.12	0.4164
C (400)	56.60219	4.17	1.62465	1.79	0.4295
H2 (3 11)	61.52529	16.22	1.50593	7.44	0.4588
H2 (3 12)	65.53529	51.52	1.42315	21.07	0.4044
H1 (300) C (422)	71.055	8.00	1.32553	7.5	0.9370
H2 (3 13)	71.919	2.44	1.311716	1.61	0.6583
H1 (006)	76.00239	113.23	1.25107	23.81	0.2104
H2 (106)	78.21225	5.56	1.22116	2.13	0.3751

Таблиця 8 – Параметри решітки, розміри ОКР і напружень для фаз, визначених в плівках CdTe отриманих на скляній підкладці.

H1							
$T_{sbs}, \text{°C}$	$c, \text{Å}$	$a, \text{Å}$	L, nm		ϵ		G
			min	max	min	max	
100	7.500	4.584	7.91	9.83	0.01141	0.06929	1.27
200	7.505	4.592	8.43	12.76	0.02528	0.12643	1.13
300	7.505	4.591	8.77	8.90	-0.0004	-0.004	1.58

H2			C	
$c, \text{Å}$	$a, \text{Å}$	G	$a, \text{Å}$	G
7.679	4.693	0.37	6.498	
7.677	4.685	0.55	6.492	0.26
7.666	4.659	0.71	6.491	0.44

Розрахунки параметрів решітки, розмірів областей когерентного розсіювання і коефіцієнта текстури плівки приведені в табл. 12. Зразки отримані на підкладці з молибденової фольги містять кубічну фазу CdTe тільки в дуже тонкому зразку №1 можуть бути присутні сліди гексагональної фази.

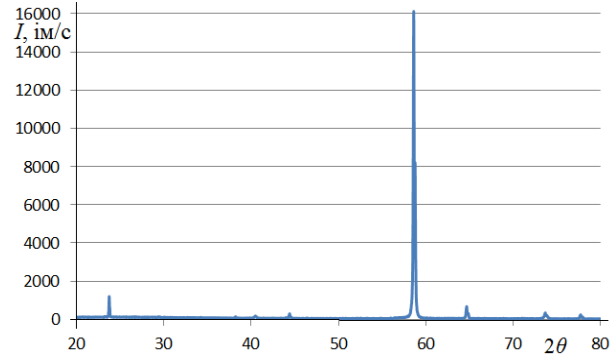


Рис. 8 – Дифрактограма плівки CdTe (зразок №1 ~1 – 2 мкм) отриманої на підкладці з молибденової фольги

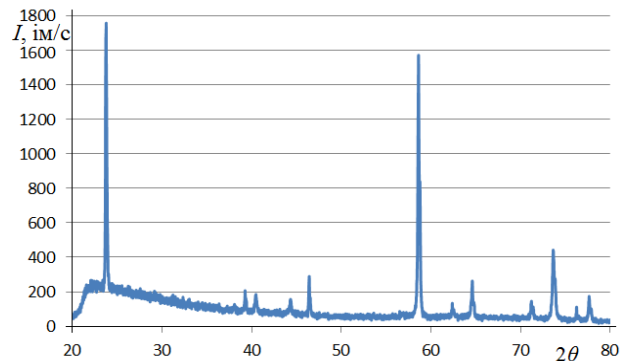


Рис. 9 – Дифрактограма плівки CdTe (зразок №2 ~3 – 4 мкм) отриманої на підкладці з молибденової фольги

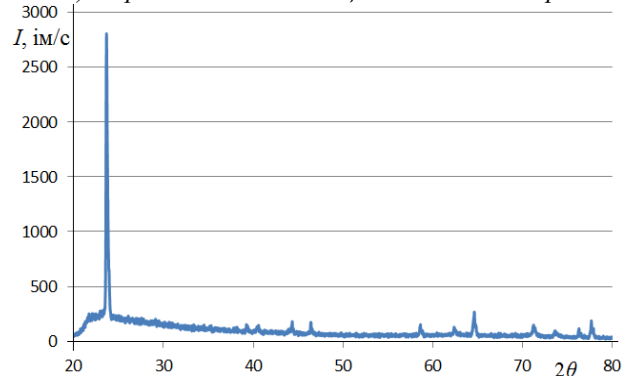


Рис. 10 – Дифрактограма плівки CdTe (зразок №3 ~4 – 5 мкм) отриманої на підкладці з молибденової фольги

Таблиця 9 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe (зразок №1 ~1 – 2 мкм) отриманої на підкладці з молибденової фольги

	2θ	Peak height	$d, \text{Å}$	Int. ints	Int. W	$a, \text{Å}$
(111) CdTe, C	23.76582	55	3.74069	70.26	0.09128	6.479
(2 10) CdTe, H2	38.23092	41.79	2.35212	8.71	0.20843	
(110) Mo	40.45715	57.63	2.22768	21.28	0.36929	3.150
(200) Mo	58.6115	14630	1.57365	2159.53	0.14761	3.147
(211) Mo	73.64024	225.12	1.28525	65.6	0.29348	3.148

Таблиця 10 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe (зразок №2 ~3 – 4 мкм) отриманої на підкладці з молібденової фольги

	2θ	Peak height	$d, \text{Å}$	Int. ints	Int. W	$a, \text{Å}$
(111) CdTe	23.72026	1056	3.74778	194.18	0.18385	6.491345
(202) CdTe	39.25178	70.67	2.29326	11.6	0.164	6.486319
(110) Mo	40.43389	54.13	2.2289	13.25	0.24405	3.152141
(311) CdTe	46.401	159.5	1.95521	159.51	0.1342	6.484698
(400) CdTe	56.82571	15.22	1.62007 9	7.92	0.52009	6.480316
(200) Mo	58.6	1241	1.57393	244.84	0.19731	3.14786
(313) CdTe	62.37	45.13	1.48757	7.58	0.16585	6.484167
(242) CdTe	71.18824	50.8	1.32337	10.86	0.16135	6.483162
(211) Mo	73.64491	292	1.28518	77.62	0.26636	3.148035
(333) CdTe	76.23016	51.99	1.2479	9.06	0.17423	6.484279

В табл. 12 представлені результати розрахунку параметрів решітки, розмірів ОКР і напружень, для фази C плівки CdTe отриманої на підкладці з молібденової фольги. Що стосується першого найтоншого зразка, то для нього спостерігався тільки один основний дифракційний пік кубічної фази, то можна припустити, що на початкових стадіях росту плівки вона зростає як сильно текстурована кубічна фаза з можливою присутністю деякої кількості гексагональної фази.

Таблиця 11 – Результати аналізу дифрактограми плівки CdTe (зразок №3 ~4 – 5 мкм) отриманої на підкладці з молібденової фольги

	2θ	Peak height	$d, \text{Å}$	Int. ints	Int. W	$a, \text{Å}$
(111) CdTe	23.648	1122	3.759048	193.12	0.26168	6.511
(202) CdTe	39.24324	22.3	2.29374	6.8	0.20305	6.488
(110) Mo	40.48426	29.96	2.22625	11.9	0.39709	3.148
(311) CdTe	46.39861	44	1.95531	10.05	0.12693	6.485
(200) Mo	58.57904	55.38	1.57445	9.77	0.17638	3.149
(313) CdTe	62.37185	27.2	1.4875	6.97	0.15384	6.484
(242) CdTe	71.18728	36.8	1.32339	12.25	0.19627	6.483
(211) Mo	73.59378	27.68	1.28594	7.71	0.27837	3.150
(333) CdTe	76.2366	28.7	1.24781	10	0.18327	6.484

Таблиця 12 – Параметри решітки, розміри ОКР і напружень для фаз, визначених в плівках CdTe отриманих на підкладці з молібденової фольги.

№	$a, \text{Å}$	L, nm		ϵ		G
		min	max	min	max	
1	6.479	-	-	-	-	
2	6.483	8.3	7.7	-0.0025	-0.026	0.85
3	6.482	5.8	4.9	-0.0083	-0.068	0.97

З аналізу отриманих результатів можна зазначити, що параметр решітки для зразка №1 найближчий до даних з таблиці JSPDC-65-0890 ($a = 6.4775 \text{ Å}$), для зразка №2 відповідає даним з таблиці JSPDC-65-0440 ($a = 6.483 \text{ Å}$), а параметр решітки для зразка №3 відповідає даним з таблиці JSPDC-65-0880 ($a = 6.482 \text{ Å}$). Зразок №2 має досконалішу структуру: більші розміри ОКР, менші напруження, що відбивається на, в середньому меншій, інтегральній ширині дифракційних піків для цього зразка. Структурні відмінності між цими зразками пов'язані з тим, що вони мають різну переважну орієнтацію, що могло статися за рахунок зміни швидкості напилання.

Висновки

Із використанням модернізованих промислових вакуумних установок було виготовлено серію тестових зразків плівок телуриду кадмію методом термічного вакуумного випарювання на підкладках зі скла без підшару прозорого провідного оксиду, з підшаром провідного оксиду та на підкладках з молібденової фольги для дослідження впливу матеріалу підкладки на структурні параметри тестових зразків.

Проведено дослідження структури проводилося методом рентген-дифрактометричного аналізу розраховані параметри решітки, розміри областей когерентного розсіювання і коефіцієнт текстури плівки.

За результатами досліджень структурних параметрів зразків виготовлених на скляній підкладці встановлено наявність кубічної фази телуриду кадмію, вміст якої зростає із збільшенням температури при якій здійснювалося осадження телуриду кадмію і досягає максимуму при температурі осадження 200 °C .

Гало між кутами $39 - 46^\circ$ свідчить про низьку структурну якість плівки, що є наслідком низької температури підкладки.

Показано, що при збільшенні температури підкладки зростає текстурованість зразків. Абсолютна величина напружень при зростанні температури підкладки від 100 до 200 °C зменшується на порядок і напруження змінюють знак з «-» на «+». Оскільки при цьому параметри решітки гексагональної фази залишаються практично незмінними, то зміна знаку напружень може бути непрямым підтвердженням появи кубічної фази. При подальшому зростанні від 200 до 300 °C знак напружень знову змінюється тепер вже з «+» на «-», що може бути пов'язаним тепер вже зі зменшенням вмісту гексагональної фази. Крім того, період решітки кубічної фази суттєво вищий за

табличний, тобто ця фаза повинна піддаватися значним напруженням розтягування.

Для зразка отриманого на скляній підкладці з шаром прозорого електропровідного окислу ІТО при температурі підкладки 200 °С встановлено наявність двох гексагональних фаз **H1** і **H2** і кубічної фази **C**. Як і для зразків отриманих на суто скляній підкладці встановлено, що при зростанні температури розміри ОКР збільшуються. Незалежно від фазового складу плівки основна фаза **H1** має текстуру для зразків, отриманих при всіх температурах. Зі збільшенням температури від 100 до 200 °С текстурованість фази **H1** дещо зменшується, але при подальшому підвищенні температури до 300 °С суттєво збільшується. Абсолютна величина напружень при зростанні температури підкладки від 100 до 200 °С зменшується в двічі, а при подальшому зростанні температури змінює знак з «+» на «-» і зменшується на два порядки.

Зразки отримані на підкладці з молібденової фольги містять практично суцільно кубічну фазу CdTe тільки в дуже тонкому зразку №1 присутні сліди гексагональної фази. Для першого найтоншого зразка, спостерігається тільки один основний дифракційний пік кубічної фази, що можна пояснити тим, що на початкових стадіях росту плівки вона зростає як сильно текстурована кубічна фаза з можливою присутністю деякої кількості гексагональної фази.

З аналізу отриманих результатів можна зазначити, що зразки, отримані на молібденовій підкладці мають параметр решітки найближчий до табличних даних - 6.482–6.483 Å. Структурні відмінності, що спостерігаються між дослідженими зразками пов'язані з тим, що вони мають різну переважну орієнтацію, що найвірогідніше обумовлено зміною швидкості напilenня.

Подяка

Робота виконана за фінансової підтримки Національного Фонду Досліджень України, проєкт з виконання наукового дослідження і розробки 2022.01/0014, «Розробка експериментального зразка плівкового елемента захисту електронної техніки від імпульсів електромагнітного випромінювання».

Список літератури

- Bosio A., Pasini S., Romeo N. The history of photovoltaics with emphasis on CdTe solar cells and modules. *Coatings*. 2020. Vol. 10, no. 4. P. 344–1 – 344-30. doi: 10.3390/coatings10040344.
- Munshi A., Kephart J., Abbas A., Shimpi T., Barth K., Walls J., Sampath W. Polycrystalline CdTe photovoltaics with efficiency over 18 % through improved absorber passivation and current collection. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2018. Vol. 176. P. 9–18. doi: 10.1016/j.solmat.2017.11.031.
- Chander S., Dhaka M. S. Thermal evolution of physical properties of vacuum evaporated polycrystalline CdTe thin films for solar cells. *Journal of Materials Science: Mater in Electronics*. 2016. Vol. 27. P. 11961–11973. doi: 10.1007/s10854-016-5343-2.
- Bosio A., Rosa G. Past present and future of the thin film CdTe/CdS solar cells. *Solar Energy*. 2018. Vol. 175. P. 31–43. doi: 10.1016/j.solener.2018.01.018.
- Dunlop E. D., Levi D. H., Hohl-Ebinger J., Yoshit M., Ho-Baillie A. W. Solar cell efficiency tables (Version 54). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 2019. Vol. 27, no. 7. P. 565–575. doi: 10.1002/pip.3171.
- First Solar.com, Series 6 Datasheet. URL: <http://www.firstsolar.com/-/media/First-Solar/TechnicalDocuments/Series-6-Datasheets/Series-6-Datasheet.ashx> (accessed: 20 January 2020).
- Dharmadasa I. M., Alam A. E., Ojo A. A., Echendu O. K. Scientific complications and controversies noted in the field of CdS/CdTe thin film solar cells and the way forward for further development. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2019 Vol. 30. P. 20330–20344. doi: 10.1007/s10854-019-02422-6.
- Zeng G., Liu X., Zhao Y., Shi Y., Li B., Zhang J., Feng L., Wang Q. Study on the stability of unpackaged CdS/CdTe Solar Cells with different structures. *International journal of photoenergy. Special Issue: Materials for Photoelectric and Electrooptical Conversion and Device Applications*. 2019. Vol. 2019. P. 3579587-1 3579587-8. doi: 10.1155/2019/3579587.
- Kartopu G., Williams B.L., Zardetto V., Gürelek A. K., Clayton A. J., Jones S., Kessels W. M., Creatore M. M., Irvine S. J. C. Enhancement of the photocurrent and efficiency of CdTe solar cells suppressing the front contact reflection using a highly-resistive ZnO buffer layer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2019. Vol. 191. P. 78–82. doi: 10.1016/j.solmat.2018.11.002.
- Rasha A., Deng A., Li B., Song Z., Bista S. S., Razooqi M. A., Grice C. R., Chen L., Liyanage G. K., Li C., Phillips A. B., Heben M. J. Influences of buffer material and fabrication atmosphere on the electrical properties of CdTe solar cells. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 2019. Vol. 27, no. 12. P. 1115–1123. doi: 10.1002/pip.3192.
- Niasse O. A., Diaw A., Niane M., Mbengue N., Tankhari M. A., Olivier P., Ba B. Comparative study of the influence of antireflective coatings and transparent oxides on a CdS/CdTe solar cell. *American Journal of Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 6, no. 2. P. 43–48. doi: 10.12691/ajmse-6-2-4.
- Томашин В. Н., Грыцев В. И. *Диаграмма состояний систем на основе полупроводниковых соединений А2В6*. Киев. Наукова думка, 1982. 210 с.
- Nunoue S. Y., Hemmi T., Kata E. Mass spectrometric study of the phase boundaries of the CdS-CdTe system. *Journal Electrochemical Society*. 1990. Vol. 137, no. 4. P. 1248-1251.
- Lane D. W., Rogers K. D., Painter J. D., Wood D. A. Structural dynamics in CdS-CdTe thin films. *Thin Solid Film*. 2000. Vol. 361–362. P. 1–8. doi: 10.1016/S0040-6090(99)00827-5.
- McCandide B. E., Hantek G. M., Jensen D. G., Birkmire R. W. Phase behavior in the CdTe-CdS pseudobinary system. *Journal Vacuum Science Technology*. 2002. Vol. A20, no. 4. P. 1462–1467. doi: 10.1116/1.1487872.
- McCandide B. E., Birkmire R. W. CdTe_{1-x}S_x absorber layers for thin-film CdTe/CdS solar cells. *26 th IEEE Photovoltaic Special Conference: Proceeding of the International Conference*, Anaheim, USA. 1997. P. 307-311.
- Bonnet D. The CdTe thin – film – an overview. *International Journal of Solar Energy*. 1992. Vol. 12, no. 1. P. 3–34.
- Bonnet D. Status of CdTe solar cells. *14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference: Proceeding of the conference*. Barcelona. Spain. 1997. P. 2688–2693.

19. Lane D. W., Conibeer G. J., Wood D. A., Rogers K. D., Capper P., Romani S. Sulfur diffusion in CdTe and phase diagram of the CdS-CdTe pseudo – binary alloy. *Journal of Crystal Growth*. 1999. Vol. 197. P. 743–748. doi: 10.1016/S0022-0248(98)00813-6.
20. Lane D. W. A review of the optical band gap of thin film CdTe_{1-x}S_x. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2006. Vol. 90, no. 9. P. 1169–1175.
21. Meyers P. V. Thin film CdTe cells. *First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC): Proceeding of the conference*. Hawaii. USA. 1994. P. 266–271.
22. Boiko B. T., Kopach G. I., Kopach V. R., Khrypunov G. S. Photovoltaic properties and structures of multilayers heterojunction systems based on cadmium telluride. *CA Selects: Solar Energy Issue*. 1991. no. 21. P. 123–126.
23. Melender-Lira O. M., Hernander-Calderon I. Study of CdS_xTe_{1-x} solid solutions obtained by screen printing. *First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC): Proceeding of the conference*. Hawaii. USA. 1994. P. 369–372.
24. McCandless B. E., Engelmann M. G., Birkmire R. W. Inter diffusion of CdS/CdTe thin films: modeling X-ray diffraction line profile. *Journal of Applied Physics*. 2001. Vol. 89. P. 988–994. doi: 10.1063/1.1330245.
25. Terheggen M., Heinrich H., Kistorz G., Romeo A., Tiwari A. N. Structural and chemical studies on CdTe/CdS thin film solar cells with analytical transmission electron microscopy. *17 th European Photovoltaic Solar Energy Conference: Proceeding of the conference*. Munich. Germany. 2001. P. 1188–1191.
26. Conibeer G. J., Woog D. A., Rogers K. D., Lane D. W. Investigation of the CdS/CdTe phase diagram and sulphur diffusion in CdTe for later application to thin film solar cells. *14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference: Proceeding of the conference*. Barcelona. Spain. 1997. P. 2075–2078.
27. Terheggen M., Heinrich H., Kistorz G., Romeo A., Baetner D., Tiwari A. N. Transmission electron microscopy of diffusion structural and chemical changes in CdTe solar cells. *E-MRS Spring Meeting*. Strasbourg. France. 2002. P. 345-349.
28. McCandless B. E., Birkmire R. W. Analysis of post deposition processing for CdTe/CdS thin film solar cells. *Solar Cells*. 1991. Vol.31(6). P. 527–535.
1. Bosio A., Pasini S., Romeo N. The history of photovoltaics with emphasis on CdTe solar cells and modules. *Coatings*, 2020, Vol. 10, no. 4, pp. 344–1 – 344-30, doi: 10.3390/coatings10040344.
2. Munshi A., Kephart J., Abbas A., Shimpi T., Barth K., Walls J., Sampath W. Polycrystalline CdTe photovoltaics with efficiency over 18 % through improved absorber passivation and current collection. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2018, Vol. 176, pp. 9–18, doi: 10.1016/j.solmat.2017.11.031.
3. Chander S., Dhaka M. S. Thermal evolution of physical properties of vacuum evaporated polycrystalline CdTe thin films for solar cells. *Journal of Materials Science: Mater in Electronics*, 2016, Vol. 27, pp. 11961–11973, doi: 10.1007/s10854-016-5343-2.
4. Bosio A., Rosa G. Past present and future of the thin film CdTe/CdS solar cells. *Solar Energy*, 2018, Vol. 175, pp. 31–43, doi: 10.1016/j.solener.2018.01.018.
5. Dunlop E. D., Levi D. H., Hohl-Ebinger J., Yoshit M., Ho-Baillie A. W. Solar cell efficiency tables (Version 54). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2019, Vol. 27, no. 7, pp. 565–575, doi: 10.1002/pip.3171.
6. First Solar.com, Series 6 Datasheet. Available at: <http://www.firstsolar.com/-/media/First-Solar/TechnicalDocuments/Series-6-Datasheets/Series-6-Datasheet.ashx> (accessed: 20 January 2020).
7. Dharmadasa I. M., Alam A. E., Ojo A. A., Echendu O. K. Scientific complications and controversies noted in the field of CdS/CdTe thin film solar cells and the way forward for further development. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2019, Vol. 30, pp. 20330–20344, doi: 10.1007/s10854-019-02422-6.
8. Zeng G., Liu X., Zhao Y., Shi Y., Li B., Zhang J., Feng L., Wang Q. Study on the stability of unpackaged CdS/CdTe Solar Cells with different structures. *International journal of photoenergy. Special Issue: Materials for Photoelectric and Electrooptical Conversion and Device Applications*, 2019, Vol. 2019, pp. 3579587-1 3579587-8, doi: 10.1155/2019/3579587.
9. Kartopu G., Williams B. L., Zardetto V., Gürlek A. K., Clayton A. J., Jones S., Kessels W. M., Creatore M. M., Irvine S. J. C. Enhancement of the photocurrent and efficiency of CdTe solar cells suppressing the front contact reflection using a highly-resistive ZnO buffer layer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2019, Vol. 191, pp. 78–82, doi: 10.1016/j.solmat.2018.11.002.
10. Rasha A., Deng A., Li B., Song Z., Bista S. S., Razooqi M. A., Grice C. R., Chen L., Liyanage G. K., Li C., Phillips A. B., Heben M. J. Influences of buffer material and fabrication atmosphere on the electrical properties of CdTe solar cells. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2019, Vol. 27, no. 12, pp. 1115–1123, doi: 10.1002/pip.3192.
11. Niasse O. A., Diaw A., Niane M., Mbengue N., Tankhari M. A., Olivier P., Ba B. Comparative study of the influence of antireflective coatings and transparent oxides on a CdS/CdTe solar cell. *American Journal of Materials Science and Engineering*, 2018, Vol. 6, no. 2, pp. 43–48, doi: 10.12691/ajmse-6-2-4.
12. Tomashin V. N., Grytsev V. I. *Diadramma sostoyaniy sistem na osnove polyprovodnikovyykh soedineniei A2B6*. [State diagram of systems based on semiconductor compounds]. Kiev. Naukova dumka, 1982. 210 p.
13. Nunoue S. Y., Hemmi T., Kata E. Mass spectrometric study of the phase boundaries of the CdS-CdTe system. *Journal Electrochemical Society*, 1990, Vol. 137, no. 4, pp. 1248–1251.
14. Lane D. W., Rogers K. D., Painter J. D., Wood D. A. Structural dynamics in CdS-CdTe thin films. *Thin Solid Film*, 2000, Vol. 361–362, pp. 1–8, doi: 10.1016/S0040-6090(99)00827-5.
15. McCandless B. E., Hanket G. M., Jensen D. G., Birkmire R. W. Phase behavior in the CdTe-CdS pseudobinary system. *Journal Vacuum Science Technology*, 2002, Vol. A20, no. 4, pp. 1462–1467, doi: 10.1116/1.1487872.
16. McCandless B. E., Birkmire R. W. CdTe_{1-x}S_x absorber layers for thin-film CdTe/CdS solar cells. *26 th IEEE Photovoltaic Special Conference: Proceeding of the International Conference*, Anaheim, USA. 1997, pp. 307-311.
17. Bonnet D. The CdTe thin – film – an overview. *International Journal of Solar Energy*, 1992, Vol. 12, no. 1, pp. 3–34.
18. Bonnet D. Status of CdTe solar cells. *14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference: Proceeding of the conference*, Barcelona. Spain, 1997, pp. 2688–2693.
19. Lane D. W., Conibeer G. J., Wood D. A., Rogers K. D., Capper P., Romani S. Sulfur diffusion in CdTe and phase diagram of the CdS-CdTe pseudo – binary alloy. *Journal of*

- Crystal Growth*, 1999, Vol. 197, pp. 743–748, doi: 10.1016/S0022-0248(98)00813-6.
20. Lane D. W. A review of the optical band gap of thin film CdTe_{1-x}S_x. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2006, Vol. 90., no. 9, pp. 1169–1175.
 21. Meyers P. V. Thin film CdTe cells. *First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC): Proceeding of the conference*, Hawaii. USA. 1994, pp. 266–271.
 22. Boiko B. T., Kopach G. I., Kopach V. R., Khrypunov G. S. Photovoltaic properties and structures of multilayers heterojunction systems based on cadmium telluride. *CA Selects: Solar Energy Issue*, 1991, no. 21, pp. 123–126.
 23. Melender-Lira O. M., Hernandez-Calderon I. Study of CdSxTe1-x solid solutions obtained by screen printing. *First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)*. Hawaii. USA. 1994, pp. 369–372.
 24. McCandless B. E., Engelmann M. G., Birkmire R. W. Interdiffusion of CdS/CdTe thin films: modeling X-ray diffraction line profile. *Journal of Applied Physics*, 2001, Vol. 89, pp. 988–994, doi: 10.1063/1.1330245.
 25. Terheggen M., Heinrich H., Kistorz G., Romeo A., Tiwari A. N. Structural and chemical studies on CdTe/CdS thin film solar cells with analytical transmission electron microscopy. *17 th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Munich. Germany, 2001, pp. 1188–1191.
 26. Conibeer G. J., Woog D. A., Rogers K. D., Lane D. W. Investigation of the CdS/CdTe phase diagram and sulphur diffusion in CdTe for later application to thin film solar cells. *14 th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Barcelona. Spain. 1997, pp. 2075–2078.
 27. Terheggen M., Heinrich H., Kistorz G., Romeo A., Baetzner D., Tiwari A. N. Transmission electron microscopy of diffusion structural and chemical changes in CdTe solar cells. *E-MRS Spring Meeting*, Strasbourg. France, 2002, pp. 345–349.
 28. McCandless B. E., Birkmire R. W. Analysis of post deposition processing for CdTe/CdS thin film solar cells. *Solar Cells*, 1991, Vol.31(6), pp. 527–535.

Відомості про авторів (About authors)

Зайцев Роман Валентинович – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри Мікро- та наноелектроніки; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-2286-8452; e-mail: zaitsev.poman@gmail.com.

Roman Zaitsev – D.Sc. of Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department of Micro- and Nanoelectronics; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-2286-8452; e-mail: zaitsev.poman@gmail.com.

Кіриченко Михайло Валерійович – кандидат технічних наук, старший дослідник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри Мікро- та наноелектроніки; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-4847-506X; e-mail: kirichenko.mv@gmail.com.

Mykhailo Kirichenko – PhD of technical sciences, senior researcher, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor of the Department of Micro- and Nanoelectronics; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-4847-506X; e-mail: kirichenko.mv@gmail.com

Мінакова Ксенія Олександрівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри Фізики; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-8869-1082; e-mail: fridaymarjoryjohnes@gmail.com.

Ksenia Minakova – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor of the Department of Physics; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-8869-1082; e-mail: fridaymarjoryjohnes@gmail.com.

Меріуц Андрій Володимирович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри Мікро- та наноелектроніки; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-4176-2530; e-mail: meriuts@ukr.net.

Andriy Meriuts – PhD of physical and mathematical sciences, associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor of the Department of Micro- and Nanoelectronics; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4176-2530; e-mail: meriuts@ukr.net.

Дроздов Антон Миколайович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри Мікро- та наноелектроніки; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-5736-0697; e-mail: drozdoffantonio@gmail.com.

Anton Drozdov – PhD of physical and mathematical sciences, associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor of the Department of Micro- and Nanoelectronics; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5736-0697; e-mail: drozdoffantonio@gmail.com

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Зайцев Р. В., Кіриченко М. В., Мінакова К. О., Меріуц А. В., Дроздов А. М. Вплив матеріалу підкладки на структурні властивості плівок телуриду кадмію. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 4 (18). С. 3-12. doi:10.20998/2413-4295.2023.04.01.

Please cite this article as:

Zaitsev R., Kirichenko M., Minakova K., Meriuts A., Drozdov A. Influence of substrate material on structural properties of cadmium telluride films. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 4(18), pp. 3-12, doi:10.20998/2413-4295.2023.04.01.

*Надійшла (received) 02.11.2023
Прийнята (accepted) 08.12.2023*