

УДК 539.234.1

PACS number(s): 68.55.-a, 71.55, 78.67.-Bf

## СТРУКТУРНІ ТА ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК СУЛЬФІДУ ЦИНКУ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ КВАЗІЗАМКНЕНОГО ОБ'ЄМУ

Д. Курбатов<sup>1</sup>, А. Опанасюк<sup>1</sup>, Н. Опанасюк<sup>1</sup>, С. Данильченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сумський державний університет,  
кафедра загальної та експериментальної фізики  
бул. Римського - Корсакова, 2, 40007 Суми, Україна  
e-mail: [kurd@ukr.net](mailto:kurd@ukr.net)

<sup>2</sup>Інститут прикладної фізики НАН України, Суми, Україна

Виконано комплексне дослідження структурних та оптичних характеристик плівок ZnS, одержаних методом термічного випаровування у квазізамкненому об'ємі за різних умов конденсації. Вивчали морфологію та структуру шарів методами рентгенодифракційного аналізу, оптичної і растрової мікроскопії. Вимірювання оптичних характеристик здійснювали за допомогою дифракційного спектрофотометра СФ-46 в інтервалі довжин хвиль, близьких до "червоної межі" ZnS. Дослідження дали змогу визначити залежність основних структурних параметрів плівок, таких як текстура, період кристалічної ґратки, розміри кристалітів від фізико-технологічних умов конденсації зразків. Оптичні дослідження дали змогу отримати спектральні розподіли коефіцієнтів проходження  $T(\lambda)$  і оптичної густини  $D(\lambda)$  зразків та виявити залежність ширини забороненої зони матеріалу від температури осадження плівок ZnS.

*Ключові слова:* сульфід цинку, фазовий аналіз, період ґратки, коефіцієнт проходження, оптична густина, ширина забороненої зони.

Широкозонні напівпровідникові з'єднання групи  $A_2B_6$  такі як CdS, ZnTe, ZnSe, і ZnS, завдяки своїм унікальним електрофізичним та оптичним властивостям останнім часом привертають підвищену увагу дослідників. Це пов'язано з можливістю створення на їх основі цілої низки вискоелективних приладів мікро-, опто- та акустоелектроніки. Наприклад, сульфід цинку, який за кімнатної температури має найбільшу в цій групі ширину забороненої зони (ЗЗ)  $E_g = 3,68$  eV, є перспективним матеріалом для виготовлення емісійних діодів і лазерів, що працюють у синьо-зеленій області спектру, фотодетекторів, террагерцових приладів [1]. Плівки ZnS застосовують як матеріал для вікон гетероперехідних сонячних елементів та як базовий шар для створення електролюмінесцентних моніторів [2].

Одним з найпоширеніших методів отримання плівок з'єднань  $A_2B_6$  є метод квазізамкненого об'єму (КЗО). Цей метод, завдяки конструктивним особливостям,

дає змогу отримувати напівпровідникові шари з керованим складом при добре контрольованому технологічному процесі [3–4].

Тонкі плівки сульфиду цинку були отримані методом випаровування у КЗО у вакуумній установці ВУП-5М. Як підкладки використані очищені скляні пластинки. Проводили випаровування стехіометричного порошка ZnS гексагональної (вюрцит) модифікації з невеликою домішкою сфалериту. Температура випарника становила  $T_e = 1273$  К. Температура підкладки змінювалась в діапазоні  $T_n = 373–973$  К. Час конденсації шарів звичайно становив  $t = 10–12$  хв.

Морфологію поверхні плівок досліджували методами оптичної (МІМ-6) та растрової мікроскопії (РЕММА-102). Середній розмір зерен ( $d$ ) в шарах відшукували методом Джефріса за формулою  $d = k\sqrt{S/M^{-2}n}$ , де  $k$  – коефіцієнт форми зерна;  $S$  – площа ділянки на мікрознімку;  $M$  – збільшення;  $n$  – число зерен на обраній ділянці. Товщину плівок ( $L$ ) вимірювалась інтерференційним методом на мікроскопі МП-1 та шляхом фотографування фрактограм.

Структурні дослідження плівок були виконані на рентгенодифрактометрі ДРОН 4-07 у Ni-фільтрованому  $K_{\alpha}$  випромінюванні мідного анода. Знімання проводилось в діапазоні кутів  $2\theta$  від  $20^\circ$  до  $80^\circ$ , де  $2\theta$  – брегівський кут. Під час досліджень використовували фокусування рентгенівського випромінювання за Бреггом–Брентано. Криві нормували на інтенсивність піку (111) кубічної фази. Фазовий аналіз проводили шляхом зіставлення міжплощинних відстаней і відносних інтенсивностей від досліджених зразків та еталону за даними ASTM [5]. Текстуру плівок оцінювали за методом Харріса [6]. Як еталон нетекстурованого зразка використовували порошок ZnS.

Рентгенографічний метод був застосований також для визначення середнього розміру областей когерентного розсіювання (ОКР) тонких плівок ZnS. За методом Дебая–Шеррера дисперсність конденсатів може бути визначена з використанням співвідношення

$$d_{hkl} = \frac{k\lambda}{\beta_{hkl} \cdot \cos\theta},$$

де  $k$  – константа Шеррера, що є формою кристалітів і їх орієнтацією;  $\beta_{hkl}$  – фізичне уширення дифракційного піку [6]. Середнє значення сталої  $k$  для полікристалічних плівок становило 0,9.

Визначали період кристалічної ґратки кубічної фази матеріалу за положенням  $K_{\alpha 1}$  складової лінії (400), а там де цей пік не фіксували за положенням лінії (222)

за допомогою співвідношення  $a = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі

рентгенівського випромінювання,  $(hkl)$  – індекси Міллера. Розраховували постійні  $a$  і  $c$  гексагональної фази матеріалу за положенням ліній (203) та (101) за

$$\text{формулами } a = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \sqrt{\frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2) + \left(\frac{a}{c}\right)^2 l^2}, \quad c = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \sqrt{\frac{4}{3}\left(\frac{c}{a}\right)^2 (h^2 + hk + k^2) + l^2}.$$

Крім того, сталу ґратки сульфиду цинку відшукували за допомогою екстраполяційного методу Нельсона–Рілі [6–7]. З метою визначення періоду ґратки гексагональної фази використовували графічний метод послідовних наближень [7]. Розділення  $K_{\alpha}$  дублету проводили методом Речінгера з використанням пакета прикладних програм DIFWIN.

Оптичні властивості плівок вимірювали за допомогою спектрофотометра СФ-46 в діапазоні довжин хвиль  $\lambda=320\text{--}520$  нм за кімнатних температур. Знімалися показники оптичного пропускання  $T(\lambda)$  та оптичної густини  $D(\lambda)$  сульфїду цинку відносно підкладки (скло), коефіцієнт пропускання якої становив 100%. Надалі за  $T(\lambda)$  спектрами в області сильного поглинання світла з використанням співвідношення Ламберта  $\alpha = -\ln(T)/L$  розраховували спектральні розподіли коефіцієнта поглинання плівок  $\alpha(\lambda)$  [8].

Дослідження морфології поверхні та структури конденсатів засвідчили, що плівки ZnS в інтервалі температур осадження  $T_n > 373$  К були полікристалічними, однорідними за площею і мали добру адгезію до підкладки. За нижчих температур підкладки отримати якісні плівки сульфїду цинку не вдалося через виникнення напружень, очевидно структурного походження, які приводили перед тим як станеться розтріскування та подальше руйнування плівок.

Механізм росту шарів ZnS головню був схожий до того, що простежувався у плівках CdTe [9]. На підкладці відбувалося утворення дрібнокристалічного перехідного шару з подальшим розростанням кристалїтів, орієнтованих площиною (111) паралельно підкладці.

За температур підкладки  $T_n < 720$  К зростання розмірів кристалїтів під час збільшення товщини плівок майже не відбувалося, а самі зерна набували рівноосевї форми, близької до сферичної (рис. 1, а). При підвищенні температури підкладки механізм росту змінювався і плівки починали рости за стовпчастим механізмом.

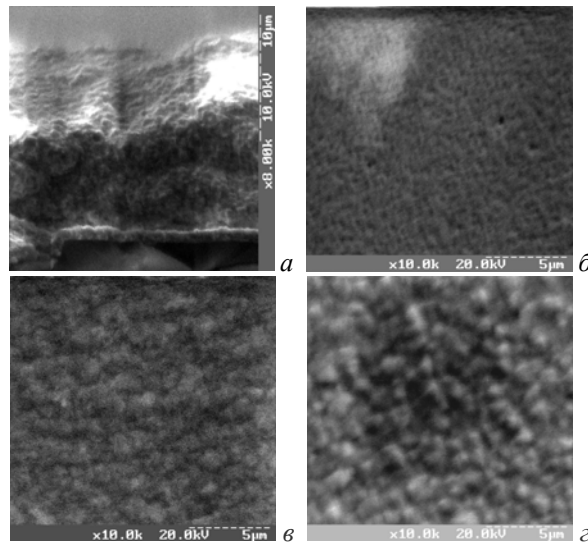


Рис. 1. Мікроструктура плівок ZnS: фрактограма (а);  $T_n = 373$  К (б);  $T_n = 573$  К (в);  $T_n = 973$  К (г)

Діаметр стовпчастих зерен визначали фізико-технологічними режимами конденсації у КЗО (рис. 1, б-г) та товщиною плівки  $L$ . Під час зростання  $T_n$  їх середній розмір в площині плівок збільшувався від  $d = 0,1$  до 1–1,2 мкм при  $L \sim 10$  мкм. За однакових режимів конденсації та товщини плівки ZnS мали менші

розміри кристалітів, ніж шари CdTe та ZnTe [9–10]. Це, очевидно, пов'язано з більшою температурою плавлення сульфиду цинку ( $T_{пл}=2\,373\text{ К}$ ), порівняно з телуридами кадмію і цинку ( $T_{пл}=1\,371$  та  $1\,573\text{ К}$ , відповідно) та різницею тисків цих з'єднань за однакових температур випаровування матеріалу, що призводить до збільшення перенасичення пари сполуки за подібних умов конденсації.

Аналіз рентгенограм засвідчив, що плівки ZnS, одержані в інтервалі температур  $373 < T_n < 573\text{ К}$ , мають кубічну структуру. Гексагональна фаза в конденсатах рентгенографічно не виявляється (рис. 2, б, в) незважаючи на те, що шихта, яку використовували під час випаровування, була двофазною з суттєвим переважанням вюрцити. Зазвичай на дифрактограмах реєструють відбивання від площин (111), (311), (222), (331) кубічної фази. Домінуючими за інтенсивністю у більшості випадків є піки (111), що свідчить про наявність у плівках яскраво вираженої текстури.

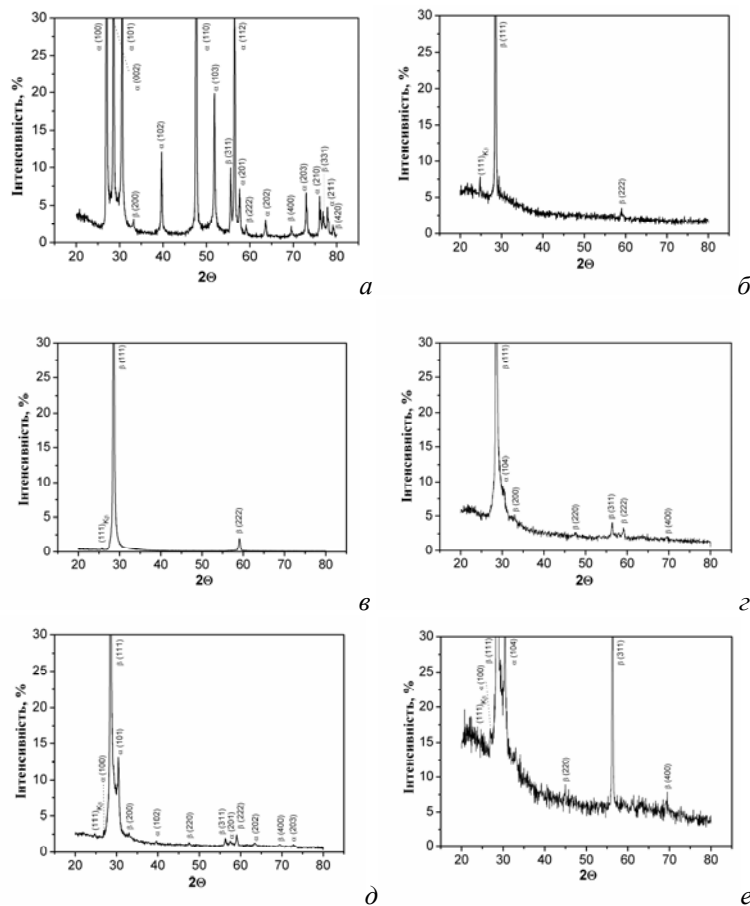


Рис. 2. Дифрактограми плівок ZnS, отриманих під час різних температур конденсації: шихта (а);  $T_n=373\text{ К}$  (б);  $T_n=573\text{ К}$  (в);  $T_n=723\text{ К}$  (г);  $T_n=803\text{ К}$  (д);  $T_n=973\text{ К}$  (е)

При  $T_n > 573$  К в плівках ZnS з'являються сліди гексагональної фази, кількість якої дещо збільшується при зростанні  $T_n$  (рис. 2, *z-e*). Важливо зазначити, що у масивних зразках гексагональна фаза є стабільною вище  $T=1297$  К. Зазвичай на дифрактограмах зафіксовано відбивання лише від площини (101) вюрциту, що свідчить про присутність текстури і у цієї фази. Отже, високотемпературні конденсати сульфїду цинку є двофазними.

Отримані результати добре узгоджуються з даними розрахунків енергій утворення поліморфних фаз у з'єднаннях  $A_2B_6$  [4], згідно з якими стійкість структури цинкової обманки зростає у ряду CdS-ZnS-CdSe-ZnSe-CdTe-ZnTe. Тому в плівках ZnS ( $\Delta u_{сф-в} = 0$ ) існування нестабільної гексагональної фази ймовірне.

Як свідчать дослідження з використанням високороздільної електронної мікроскопії плівок CdTe [11], гексагональна фаза у з'єднаннях  $A_2B_6$ , як правило, формується не у вигляді окремих зерен, а за рахунок порушення порядку чередування щільноупакованих площин: перехід від тришарової упаковки ABCABC, характерної для сфалериту, до двошарової ABABAB, спричинює утворення вюрциту [4]. Тому виникає сфалеритна матриця з великою кількістю дефектів пакування та прошарків гексагональної фази, яка особливим чином  $([110]_{сф} \parallel [110]_{вюр}, [111]_{сф} \parallel [001]_{вюр})$  спряжена з кубічною. Це ускладнює виявлення вюрцитної фази рентгенівськими методами [11].

Про шарувату будову вивчених плівок ZnS непрямо свідчать результати визначення середніх розмірів ОКР у конденсатах за методом Дебая–Шеррера, яке проводилося за розширенням дифракційного піку (222) кубічної фази. Цей пік не збігається з відбиваннями від площин гексагональної фази, а отже (оскільки  $\beta \sim \sec\theta$ ), можна отримати інформацію щодо дисперсності сфалеритної фази у напрямі [111], в якому і відбувається порушення порядку чередування щільноупакованих площин. Результати розрахунків показані на рис. 3. Як видно з рисунка, розмір ОКР найбільший ( $d=203$  нм) у низькотемпературних однофазних плівках, проте він суттєво зменшується ( $d=25-28$  нм) у двофазних високотемпературних конденсатах. Лише у плівках, одержаних при  $T_n=973$  К, знову відбувається певне збільшення розмірів кристалітів ( $d=47,4$  нм). Оскільки ці розміри суттєво менші від розмірів зерен, знайдених металографічно, на нашу думку, вони відповідають відстаням між включеннями гексагональної фази в кубічній матриці.

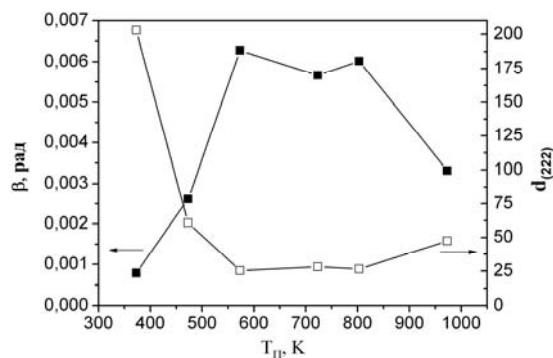


Рис. 3. Розширення дифракційних піків та середній розмір ОКР в кубічній фазі плівок ZnS, отриманих за різних  $T_n$

Розрахунки за методом обернених полюсних фігур дали змогу виявити у шарах ZnS аксіальну текстуру росту [111], досконалість якої зростає у разі збільшення товщини конденсату та визначається режимами одержання плівок. Відповідні залежності орієнтаційного чинника від температури нанесення плівок показані на рис. 4. Варто зазначити, що аксіальна текстура росту [111] у сфалеритних плівках з'єднань  $A_2B_6$  є традиційною і простежена у конденсатах, нанесених різними методами [4]. Певне зменшення  $f$  у шарах ZnS, отриманих при  $T_n \sim 700\text{--}750$  К, пов'язане зі зміною механізму росту плівок від пошарового до стовпчастого у цьому діапазоні температур. При  $T_n$  близьких до критичних зменшення текстурованості плівок зумовлене тим, що відбувається заміна текстури [111] на текстуру росту [220] та [311]. Важливо зазначити, що подібні особливості зміни текстури у разі зміни режимів конденсації простежили автори [12] у плівках CdTe, одержаних методом сублімації у замкненому об'ємі.

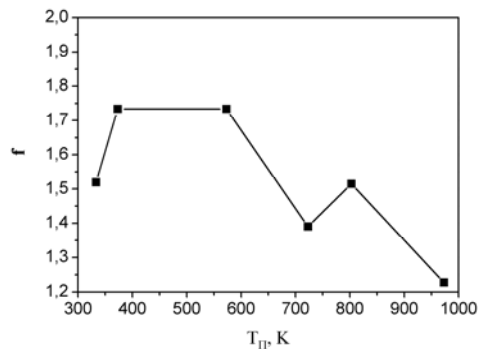


Рис. 4. Орієнтаційний фактор  $f$  плівок ZnS отриманих за різних температур підкладки  $T_n$

Під час дослідження конденсатів з яскраво вираженою текстурою [111], незважаючи на використання фільтрів, на дифрактограмах виявляли рефлекси, які відповідали відбиванню  $K_\beta$  випромінювання від площини (111). Ці лінії можуть бути помилково прийняті за рефлекси від окисної або інших сторонніх фаз.

Період кристалічної ґратки двохкомпонентних напівпровідників є характеристикою надзвичайно чутливою до зміни стехіометрії матеріалу, введення домішок, окиснення та інше, саме тому його прецизійне вимірювання дає підстави вивчення цих процесів.

Постійні ґратки ZnS відшукували як за положенням  $K_{\alpha 1}$  складової ліній на великих кутах, так і за допомогою екстраполяційного методу Нельсона–Рілі (рис. 4). Однак най достовірнішими доцільно вважати значення періоду ґратки, одержані екстраполяційним методом. Відповідні результати рентгendifрактометричного визначення сталих ґратки шихти, з якої відбувалось випаровування, та плівок ZnS, отриманих за різних режимів конденсації для кубічної та гексагональної фаз, наведені у таблицях 1, 2. Залежності постійних  $a$  і  $c$ , знайдених за методом Нельсона–Рілі від  $T_n$ , подані на рис. 5. Потрібно зазначити, що особливості наведених залежностей зберігаються і для випадку використання постійних ґратки, визначених безпосередньо за положенням рефлексів (222), (400) кубічної та (101), (203) гексагональної фаз.

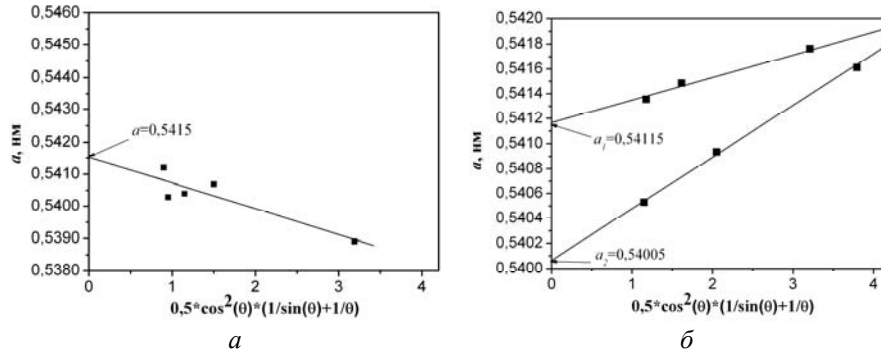


Рис. 5. Прецизійне визначення періоду ґратки кубічної фази плівок ZnS за методом Нельсона-Рілі: шихта (а),  $T_n=803$  К (б)

Таблиця 1

Період ґратки кубічної фази плівок ZnS

$T_n$ , К	$a$ , нм			
	за рефлексом з $(hkl)$		метод Нельсона – Рілі	
шихта	(222)	0,54069	0,54163	-
шихта	(400)	0,54039	-	-
373	(222)	0,54152	0,54196	-
473	(222)	0,54086	0,54060	-
573	(222)	0,54119	0,54189	-
723	(222)	0,54102	0,54171	-
723	(400)	0,54148	-	-
803	(222)	0,54136	0,54182	0,54107
803	(400)	0,54053	-	-
973	(400)	0,54053	0,54182	0,54220
0,54060				[5]
0,5428–0,5409				[14]

Таблиця 2

Період ґратки гексагональної фази плівок ZnS

$T_n$ , К	$a, c$ , нм				
	за рефлексом з $(hkl)$			метод Нельсона – Рілі	
шихта	(101)	0,38186	0,62472	0,38213	0,62514
шихта	(203)	0,38204	0,62502	-	-
573	(101)	0,38016	0,62194	-	-
723	(101)	0,38605	0,63158	-	-
803	(101)	0,38308	0,62672	0,38352	0,62744
803	(203)	0,38267	0,62605	0,38292	0,62645
973	(101)	0,38259	0,62592	-	-
$a=0,3811$ нм, $c=0,6234$ нм					[5]

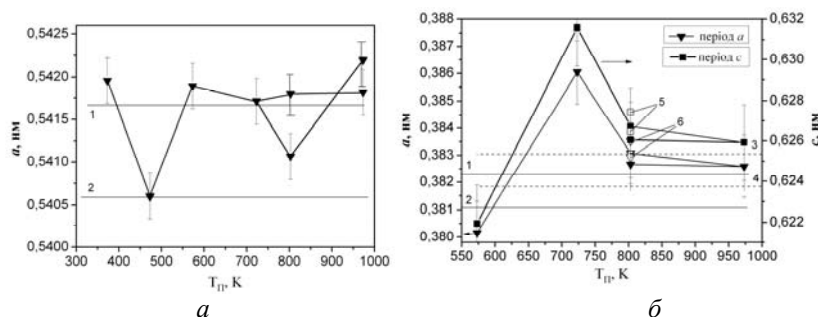


Рис. 6. Залежність постійних ґратки, визначених за методом Нельсона–Рілі, для кубічної (а) та гексагональної (б) фаз плівок ZnS від температури конденсації  $T_n$ : 1, 3 – значення постійної ґратки шихти; 2, 4 – дані ASTM; 5, 6 – значення постійних ґратки знайдених іншими методами

Визначено, що кубічна фаза шихти ZnS має період ґратки, який становить  $a=0,541633$  нм, тоді як постійні ґратки гексагональної фази набувають значень  $a=0,38213$  нм,  $c=0,62514$  нм. У разі зміни температури підкладки період ґратки сфалеритної фази змінюється в інтервалі  $a=0,54060–0,54196$  нм. Ці значення добре узгоджуються з даними, наведеними в ASTM [5] для монокристалів сульфіду цинку ( $a=0,54060$  нм) та отриманими у [14] для плівок ZnS ( $a=0,54090–0,54280$  нм). Потрібно зазначити, що у випадку високотемпературних конденсацій ZnS значення  $a$  та  $c$  знайдені за кутами відбивань від різних кристалографічних площин під час використання методу Нельсона–Рілі апроксимувалися не однією (рис. 5, а), а двома різними лініями (рис. 5, б). З нашої точки зору це свідчить про деформацію кристалічної ґратки матеріалу внаслідок утворення вакансій чи впровадження надлишкових атомів цинку (сірки) нестехіометричного з'єднання у міжвузля. При цьому можлива самоорганізація надлишкових атомів компонент, як це спостерігали автори [15] у випадку легування ZnS ізовалентними домішками.

Для гексагональної фази плівок ZnS отримані такі значення параметрів ґратки  $a=0,38016–0,3861$  та  $c = 0,62194–0,63158$  нм ( $c/a=1,64–1,66$ ). Ці значення також досить добре корелюють з даними наведеними в ASTM [5]  $a=0,3811$  нм;  $c=0,6234$  нм ( $c/a = 1,64$ ).

Як видно з рис. 6 залежності  $a, c - T_n$  для конденсацій ZnS мають складний характер. Відмінність значень постійної ґратки у плівках, нанесених за різних фізико-технологічних умов конденсації, пов'язана зі зміною елементного складу матеріалів, що було підтверджено з використанням рентгеноспектрального аналізу шарів.

Оптичні характеристики плівок ZnS ( $T(\lambda)$ ,  $D(\lambda)$  спектри) показано на рис. 7. Наявні на  $T(\lambda)$  спектрах інтерференційні піки свідчать про однорідність досліджених шарів. Відмінність коефіцієнта пропускання та оптичної густини плівок, отриманих за різних температур конденсації, зумовлена різною кристалічною та фазовою структурами цих зразків. Аналіз свідчить, що найбільше оптичне пропускання мають плівки, одержані при  $T_n=373$  К, найменше при  $T_n=573$  К.



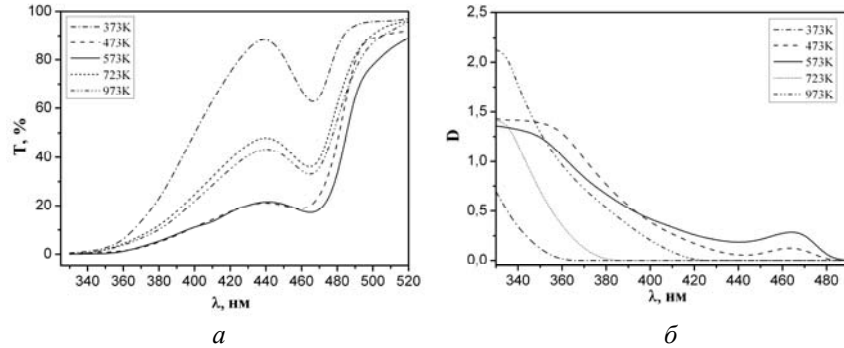


Рис. 7. Спектри пропускання (а) та оптичної густини (б) плівок ZnS, отриманих при різних  $T_n$

На рис. 8 показано спектральні розподіли коефіцієнта поглинання плівок, які були отримані шляхом обробки  $T(\lambda)$  спектрів. Добре відомо, що для прямозонних матеріалів, яким є ZnS, екстраполяція лінійної частини графіка  $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$  на вісь енергій визначає ширину  $3\text{Z}$  напівпровідника  $E_g$ . Як видно з рисунка,  $E_g$  плівок, одержаних за різних температур підкладки, дещо відрізняється. При зростанні  $T_n$  від 473 до 973 К вона зростає від  $E_g = 3,39$  до  $E_g = 3,59$  еВ, відповідно. Ці значення добре узгоджуються з результатами досліджень конденсатів ZnS, отриманих при  $T_n = 473\text{--}623$  К методом випаровування у замкненому об'ємі ( $E_g = 3,42\text{--}3,61$  еВ) [14], при  $T_n = 573\text{--}773$  К методом піролізу ( $E_g = 3,2\text{--}3,52$  еВ) [16] та дещо нижчі від даних, наведених для монокристалів сульфиду цинку ( $E_g = 3,68$  – сфалерит,  $E_g = 3,78$  еВ – вюрцит) [13]. Збільшення ширини  $3\text{Z}$  плівок ZnS у разі зростання температури конденсації подібне до того, яке ми спостерігали, автори [14] пояснюють ефектом Бурштейна–Мосса.

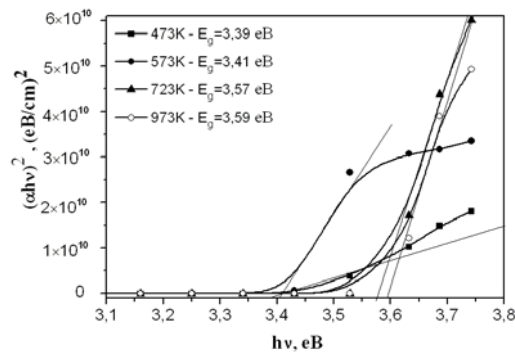


Рис. 8.  $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$  залежності плівок ZnS, отриманих при різних  $T_n$

Отже, у статті досліджено тонкі плівки ZnS, отримані методом термічного випаровування у КЗО за різних фізико-технологічних режимах конденсації.

Визначені структурні та оптичні характеристики цих шарів. У тому визначені головні характеристики конденсатів, такі як текстура, період кристалічної ґратки, розміри кристалітів, спектральні розподіли коефіцієнтів проходження  $T(\lambda)$  і оптичної густини  $D(\lambda)$ , ширина ЗЗ матеріалу, а також досліджена залежність цих параметрів від фізико-технологічних умов конденсації шарів. Визначені фізико-технологічні режими осадження плівок з оптимальними для їх використання як вікон сонячних перетворювачів параметрами.

1. *Bhargava R.* Properties of wide band gap II–VI semiconductors. London, United Kingdom: INSPEC, The Institution of Electrical Engineers. 1997. 238 p.
2. *Lee H. J., Lee S. I.* Deposition and optical properties of nanocrystalline ZnS thin films by a chemical method // *Current Applied Physics*. 2007. N 7. P. 193–197.
3. *Lopez-Otero A.* Hot wall epitaxy. Invited Review// *Thin Solid Films*. 1978. N 49. P. 3–57.
4. *Калинкин И. П., Алесковский В. Б.* Эпитаксиальные пленки соединений  $A_2B_6$ . Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1978. 311 с.
5. Selected powder diffraction data for education straining (Search manual and data cards). Published by the International Centre for diffraction data. USA. 1988. 432 p.
6. *Уманский Я. С., Скаков Ю. А., Иванов А. Н.* та др. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Москва: Металлургия, 1982. 632 с.
7. *Миркин Л. И.* Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М.: Физ.-мат. литература, 1961. 863 с.
8. Структура и физические свойства твердого тела: Учеб. пособие/ Под ред. Л. С. Палатника. К.: Вища школа, 1983. 264 с.
9. *Бойко Б. Т., Копач Г. И., Копач В. Р.* и др. Кристаллическая и энергетическая структура пленок CdTe для фотоэлектрических преобразователей // *Bulg. J. Phys.* № 11(2). 1984. С. 18–29.
10. *Данильченко С. М., Калініченко Т. Г., Колесник М. М.* та ін. Структурні характеристики плівок ZnTe, отриманих методом квазізамкненого об'єму // *Вісн. Сум. у-ту. Серія: фізика, математика, механіка*, 2007. № 1. С. 117–123.
11. *Yan Y., Al-Jassim M. M., Jones K. M.* et al. Observation and first-principles calculation of buried wurtzite phases in zinc-blende CdTe thin films. *Appl. Phys. Lett.* 2000. N 77(10). P. 1461–1463.
12. *Luschitz J., Lakus-Wollny K., Klein A., Jaegermann W.* Growth regimes of CdTe deposited by close-spaced sublimation for application in thin film solar cells // *Thin Solid Films*. 2007.
13. *Берченко Н. Н., Кревс В. Е., Средин В. Г.* Полупроводниковые твердые растворы и их применение: Справочные таблицы. М.: Воениздат, 1982. 208 с.
14. *Venkata Subbaiah Y. P., Prathap P., Ramakrishna Reddy K. T.* Structural, electrical and optical properties of ZnS films deposited by close-spaced evaporation // *Appl. Surf. Sci.* 2006. N 253 P. 2409–2415.
15. *Елюхина О. В., Соколовский Г. С., Кучинский В. И.* Самоорганизация изовалентных примесей Mg и O в ZnSe // *Физ. и техн. полупроводн.* 2007. № 41 (2). С.129–133.

16. *Elidrissi B., Addou M., Regragui M.* et al. Structure, composition and optical properties of ZnS thin films prepared by spray pyrolysis // *Materials Chemistry and Physics*. 2001. N 6. P. 175–179.

### STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES ZnS THIN FILMS CONDENSATED IN QUSI-CLOSE VOLUME

**D. Kurbatov<sup>1</sup>, A. Opanasyuk<sup>1</sup>, N. Opanasyuk<sup>1</sup>, S. Danilchenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Sumy State University,  
department of general and experimental physic,  
R.-Korsakova Str. 2, UA-40007 Sumy, Ukraine  
e-mail: [kurd@ukr.net](mailto:kurd@ukr.net)*

<sup>2</sup>*Applied Physics Institute NAS, Sumy, Ukraine*

Complex investigations of structural and optical properties ZnS thin films, condensated in quasi-close volume at different growth conditions were carrying out. The morphology and structure of layers was studied by X-ray diffraction, optical and scanning microscopy. We used spectrophotometer for measurements “ЛЮМО СФ-46” samples optical properties in wavelength range close to photoelectric threshold of ZnS. Our investigations allow to determined dependences base structural parameters of thin films, such as texture, lattice spacing, grain size at growth conditions. By optical investigations spectral distribution of transmission coefficient and absorbance and dependences band-gap energy at temperature of condensation.

*Key words:* ZnS, phase analyses, lattice spacing, transmission coefficient, absorbance, band-gap energy.

Стаття надійшла до редколегії 18.09.2007  
Прийнята до друку 08.07.2008