

ВИГОТОВЛЕННЯ ФОТОЧУТЛИВИХ ПЛІВОК CdTe І ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

Створено фоточутливі плівки на основі телуриду кадмію методом випаровування матеріалів у вакуумі за допомогою електронного променя. Досліджено електричні, оптичні та фотоелектричні характеристики, а також вплив відпалу значення електропровідності плівок.

Photosensitive thin films on the base of cadmium telluride were created by material evaporation in vacuum with electron beam. Electrical, optical and photoelectric properties of the films obtained have been studied as well as the influence of annealing on their conductivity.

Вступ

Телурид кадмію – перспективний матеріал для виготовлення сонячних елементів. Це пов'язано насамперед з тим, що його ширина забороненої зони $E_g=1,5$ eV при 300 K – оптимальна для перетворення сонячної енергії в електричну. На сьогодні важливим напрямком у створенні сонячних елементів є їх виготовлення на основі високо-ефективних плівкових структур. Описані на сьогодні у літературі методи отримання тонких плівок зводяться до застосування стандартного наплення з резистивних випаровувачів. У наших дослідженнях для розпилення матеріалу використаний електронний випаровувач, що дозволило забезпечити вищу чистоту матеріалу.

Технологія отримання тонких плівок CdTe

Для отримання тонких плівок використали метод випаровування матеріалу у вакуумі за допомогою електронного променя. Роботи проводились на вакуумному посту ВУП-5. Використані для нанесення плівок кристали CdTe мали електронну провідність, яка при 300K змінювалась у межах $10^{-4} \div 10^{-5}$ Ом⁻¹см⁻¹. Плівки наносили на скляні підкладки типорозміром 20×20×1 мм³, які попередньо обезжирювали в соляній кислоті, після чого промивали їх деіонізованою водою. Нанесення плівок проводили у вакуумі, який становив $\sim 10^{-6}$ Торр, на гарячі підкладки з температурою більшою від 550 K.

Були виготовлені фоточутливі плівки з відхиленням від стехіометричного складу в бік надлишку Cd або Te, використовуючи додаткові джерела випаровування компонентів Cd або Te. Плівки наносили при різних температурах підкладок,

які змінювали в межах 400÷700 K. Товщина отриманих плівок становила ~ 1 мкм.

За таких умов, по-перше, протягом усього процесу вирощування плівки підтримувався високий ступінь чистоти поверхні підкладки, оскільки для адсорбції навіть моноатомного шару залишкових газів потрібно декілька годин [1], і, по-друге, практично усувається забруднення матеріалу, яке можливе при використанні термічних випаровувачів. За допомогою такої технології вирощені плівки телуриду кадмію на скляних підкладках. З отриманими плівками проводили дослідження електрофізичних, фотоелектричних та оптичних характеристик.

Результати вимірювання і їх обговорення

Електричні та фотоелектричні властивості тонких плівок CdTe. Вимірювання електропровідності плівок проводили при кімнатних температурах компенсаційним методом на постійному струмі. Усі досліджені плівки характеризувались *p*-типом провідності. Електропровідність плівок σ була $\sim 10^{-7}$ Ом⁻¹ при 300 K.

Для підвищення значення величини σ плівки відпалювали на повітрі при $T=500-700$ K протягом 5-15 хв. Отримані результати зведені у таблиці 1.

Видно, що термообробка в атмосферних умовах призводить до збільшення провідності плівок. Це можна пояснити тим, що сорбоване повітря і водяна пара зумовлюють збільшення кількості акцепторних домішок. Крім цього, у процесі відпалу збільшується концентрація вакансій Cd внаслідок часткового випаровування атомів з поверхні, що теж спричинює зростання величини σ .

Таблиця 1. Вплив відпалу на електричні властивості плівок CdTe. Температура підкладки 600 К.

№ п/п	Температура відпалу, К	Час відпалу, хв	σ , Ом ⁻¹
1	не відпалена	не відпалена	$5 \cdot 10^{-7}$
1'	500	5	$1 \cdot 10^{-7}$
1''	700	15	$1 \cdot 10^{-6}$

Одержані плівки мали добру фоточутливість, що ілюструється залежністю опору плівки від сили падаючого на неї світла. Ця залежність наведена на рис. 1.

При силі світла $7 \geq 10^6$ Лк залежність $R(I)$ досягає стану насичення і опір плівки становить $\sim 1,2 \cdot 10^5$ Ом. Тобто, при зміні сили світла від $2 \cdot 10^6$ Лк до $(7-9) \cdot 10^6$ Лк опір плівки зменшується більш як на 3 порядки.

Спектральна залежність фоточутливості плівок наведена на рис.1. Видно, що залежність $I_{\Phi} / I_m^{\Phi} = f(h\nu)$ має вигляд типової кривої для напівпровідникових матеріалів. Максимум фоточутливості розташований в області енергій фотонів $h\nu = 1,48-1,5$ еВ, що збігається з краєм власного поглинання. Зменшення фоточутливості при великих значеннях енергії фотонів зумовлене поверхневою рекомбінацією фотозбуджених носіїв заряду.

Оптичні властивості тонких плівок CdTe

Пропускання світла отриманими плівками CdTe вимірювали дифракційним монохроматором МДР-23.

Спектральна залежність коефіцієнта пропускання наведена на рис.2. Пропускання світла плівкою, близькою до стехіометричного складу (крива 1) значно більше, ніж плівкою з надлишком Те (крива 2). Після відпалу при температурі 700 К протягом 10 хв спектральна залежність пропускання для плівки з надлишком Те (крива 3) добре узгоджується із залежністю $T(\lambda)$ для зразка близького до стехіометричного складу.

Характерна особливістю кривої 1 рис.2 в тому, що при $\lambda > 0,84$ мкм залежність $T(\lambda)$ має вигляд синусоїди, що зумовлено наявністю інтерференції у отриманих плівках. Інтерференційну картину використали для визначення товщини плівки.

Використовуючи значення показника заломлення для тонких плівок CdTe $n=3,25$ [2], оцінено значення величини коефіцієнта відбивання R за формулою:

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$$

Визначена в такий спосіб величина $R=28\%$.

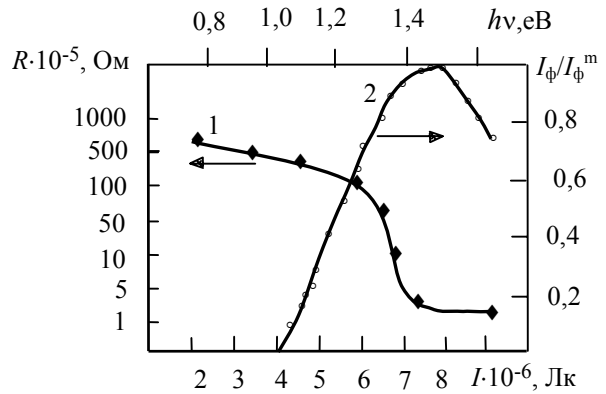


Рис.1. Залежність опору плівки CdTe від сили світла (1). Спектральна залежність фотопровідності отриманих плівок CdTe (2).

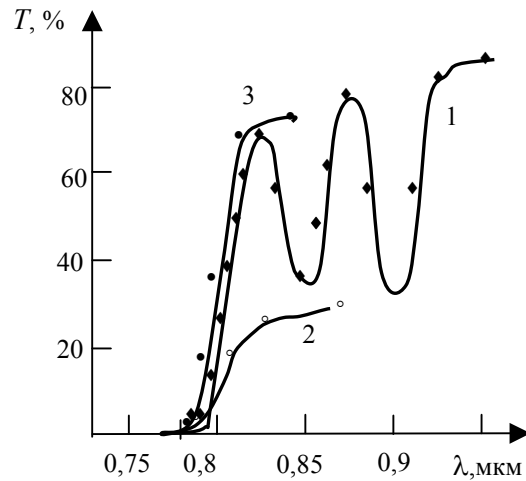


Рис 2. Спектральна залежність коефіцієнта пропускання T плівок CdTe при кімнатній температурі: плівка близька до стехіометричного складу (1), плівка з надлишком Те (2), зразок після термообробки при температурі 700 К (3).

Значення коефіцієнта поглинання α , обчислені за формулою, що враховує багатократне відбивання світла від граней плівки [3]:

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

Оцінку показника поглинання κ проводили за формулою:

$$\kappa = \frac{\alpha \lambda}{4\pi}$$

Спектральна залежність κ наведена на рис.3. Отримані результати узгоджуються з літературними даними для тонких плівок [3] та монокристалів CdTe [5].

Із залежності $\alpha^2 = f(h\nu)$, яка наведена на рис.4, визначена ширина забороненої зони отриманих

плівок. Величина E_g дорівнювала 1,48 еВ, що близько до значення ширини забороненої зони монокристалічного CdTe [5]. Оскільки залежність має вигляд прямої лінії, то можна зробити висновок, що в отриманих плівках при поглинанні світла відбуваються прямі дозволені переходи електронів з валентної зони у зону провідності, що узгоджується з великими значеннями коефіцієнта поглинання $\sim 10^5 \text{ см}^{-1}$.

Переходи такого типу спостерігались у монокристалічному CdTe [5].

Висновки

Виготовлені фоточутливі плівки на основі телуриду кадмію методом випаровування матеріалу у вакуумі за допомогою електронного променя. Провідність отриманих плівок була p -типу і зростала при відпалі на повітрі.

На спектральній залежності коефіцієнта пропускання спостерігалась інтерференційна картина, що вказує на добру досконалість отриманих плівок. Із спектральної залежності коефіцієнта поглинання визначена ширина забороненої зони $E_g=1,48 \text{ еВ}$, що узгоджується з аналогічною величиною для монокристалічних зразків CdTe [5].

Результати свідчать, що плівки, виготовлені методом випаровування у вакуумі за допомогою електронного променя з використанням попередньо синтезованого CdTe, відповідають хімічній сполуці CdTe. Параметри отриманих плівок дозволяють прогнозувати їх ефективне використання при виготовленні сонячних елементів.

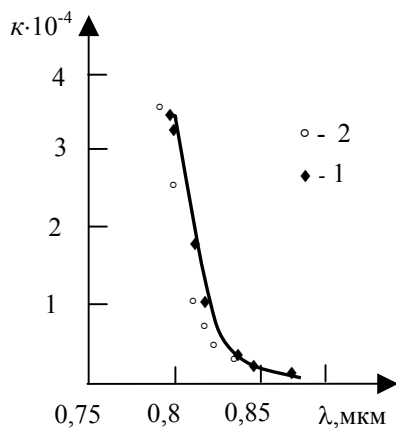


Рис.3. Спектральна залежність показника поглинання отриманих плівок (1); дані роботи [4] (2).

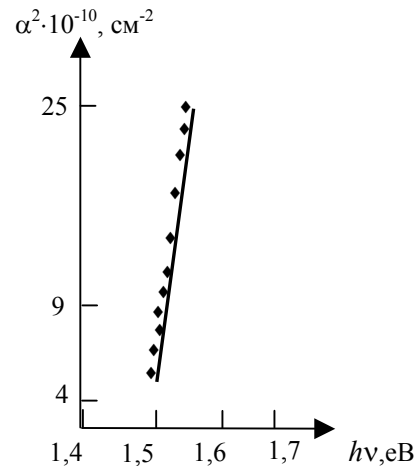


Рис.4. Залежність коефіцієнта поглинання від енергії фотонів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Калинкін І.П., Алесковський В.Б. Симашикевич А.В.* Эпитаксиальные пленки соединений $A^{II}B^{VI}$. - Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978.
2. *Кот М.В.* Некоторые электрические свойства теллурида кадмия // Ученые записки Кишин. ун-та. - 1961. - **49** (физический). - С.86-91.
3. *Уханов Ю.И.* Оптические свойства полупроводников. - М.: Наука, 1977.
4. *Марончук Ю.Е., Шерстяков А.П.* Электронные процессы на поверхности и в монокристаллических слоях полупроводников / Под. ред. А.В.Ржанова. - Новосибирск: Наука, 1967. - С.209-214.
5. *Савицкий А.В.* Получение и физические свойства теллурида кадмия. - Киев: УМК ВО, 1990.