

О.І. Власенко¹, С.М. Левицький¹, П.О. Генцарь¹, М.С. Заяць¹, Ц.А. Криськов²

Оптичні властивості сполук сульфїду та селенїду свинцю

¹Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, пр. Науки, 41, м. Київ, 03028, E-mail: levytskyi@ua.fm

²Кам'янець-Подільський державний університет, вул. І. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300

В даній роботі проведено оптичні дослідження плівок PbSe і PbS товщиною 0,8 – 1 мкм, отриманих з парової фази методом термічного напилення на підкладки p-Si(100). Отримані значення показника заломлення n із кількісного аналізу спектрів відбивання, пропускання. Показано, що дані плівки можуть використовуватися в технології виготовлення електронних пристроїв.

Ключові слова: PbSe, PbS технологія синтезу.

Стаття постуила до редакції 15.01.2008; прийнята до друку 15.12.2008.

Вступ

Сульфїди й селенїди свинцю мають значні перспективи для створення пристроїв оптоелектронїки довгохвильового діапазону та термоелектрики. Їх параметри суттєво залежать від технологїчних умов синтезу.

I. Технологія отримання.

Зразки PbSe, PbS для дослідження синтезували із окремих елементів високого ступеня чистоти (не нижче 99,9999 % основного компоненту) у вакуумованих (10^{-4} - 10^{-3} Па) кварцових ампулах [1, 2].

Плівки телуриду свинцю були отримані з парової фази методом термічного напилення. При використанні коміркової технології, як правило, у випарник, що підігрівається, засипається свіжоприготовлений синтезований порошок. Підкладку поміщали у тримач, на відстані 0,20 м від джерела, що підігрівається і всю систему при цьому відкачували. Випарник і підкладка попередньо були розділені заслінкою. Підкладку нагрівали до температури 553 K, після чого температуру випарника підвищували до ~ 1070 K, при цьому починається випаровування речовини. При відкриванні заслінки – йде напилювання речовини. Після утворення шару необхідної товщини заслінку знову закриваємо і підкладка з плівкою остигає у вакуумі.

Підкладками був використаний монокристалічний кремній p-Si(100) з питомим опором $2 \div 10$ Ом-см. Відомо, що p-Si(100) є базовим

матеріалом для виготовлення сонячних елементів, сенсорів тиску і т.д.

Задача полягала в дослідженні отриманих плівок PbSe/p-Si(100) та PbS/p-Si(100) для подальшого їх застосування в технології виготовлення електронних пристроїв.

В результаті технологїчного процесу були отримані плівки PbSe/p-Si(100), PbS/p-Si(100) товщиною 0,8 – 1 мкм. Товщина вирощених плівок контролювалась за допомогою інтерферометра. Основні результати в даній роботі приведені для плівок PbSe та PbS, які мали товщину 1 мкм, на підкладці p-Si(100) з питомим опором 2 Ом-см. (контроль питомого опору здійснювався чотирьохзондовим методом).

II. Спектри відбивання

На рис. 1 зображено спектри відбивання (дифракційний ґратковий монохроматор МДР-23) систем PbSe/p-Si(100) (рис. 1., крива 2), PbS/p-Si(100) (рис. 1., крива 3) та підкладки p-Si(100) (рис. 1., крива 1) у видимій області спектру.

Коефіцієнт відбивання системи плівка – підкладка при нормальному падінні світла має вигляд [3, 4]:

$$\rho = \frac{\rho_{12} + \rho_{23} \exp(2i\delta)}{1 + \rho_{12}\rho_{23} \exp(2i\delta)}, \quad (1)$$

де

$$\rho_{12} = r_{12} \exp(i\varphi_{12}) = \frac{(n_0 - N_1)}{(n_0 + N_1)},$$

$$d^* = \frac{4\pi}{\lambda} d.$$

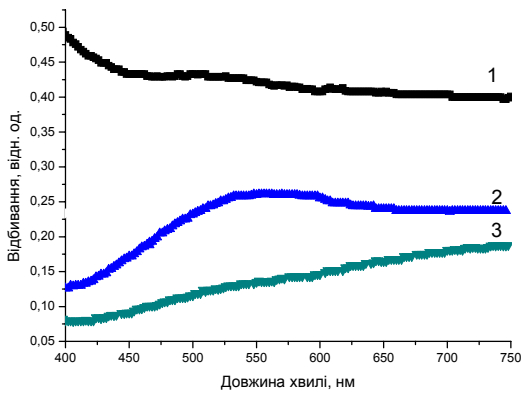


Рис. 1. Спектри відбивання підкладки p-Si(100) (крива 1) та систем PbSe/p-Si(100) (крива 2) і PbS/p-Si(100) (крива 3).

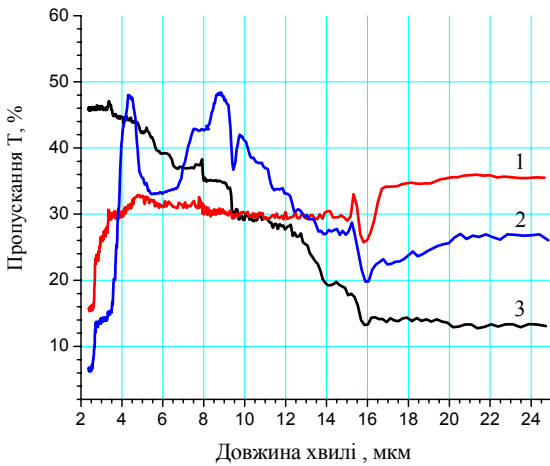


Рис. 2. Спектр пропускання плівок PbS/p-Si(100) (крива 1), PbSe/p-Si(100) (крива 2) та підкладки p-Si(100) (крива 3).

$$\rho_{23} = r_{23} \exp(i\varphi_{23}) = \frac{(N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)}$$

– френелівські коефіцієнти відбивання зовнішньої границі (зовнішнє середовище-плівка) і внутрішньої границі (плівка-підкладка); n_0 – показник заломлення зовнішнього середовища; $N_1 = n_1 + ix_1$ і $N_2 = n_2 + ix_2$ – комплексні показники заломлення плівки і підкладки відповідно; φ_{12} і φ_{23} – зсув фаз при відбиванні променя від поверхні плівки і від границі плівка – підкладка відповідно, $\delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) N_1 \cdot d$ (d – товщина плівки, λ – довжина хвилі).

Нехтуючи величинами третього і четвертого порядку малості, коефіцієнт відбивання R системи плівка – підкладка можна записати у вигляді:

$$R = \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 \exp(-2x_1 d^*) + 2r_{12} \cdot r_{23} \exp(-x_1 d^*) \cos \varphi_-}{1 + r_{12}^2 \cdot r_{23}^2 \exp(-2x_1 d^*) + 2r_{12} r_{23} \exp(-x_1 d^*) \cos \varphi_+}, \quad (2)$$

де

$$\varphi_{\pm} = \varphi_{12} \pm (\varphi_{23} + n_1 d^*),$$

Із кількісного аналізу спектрів відбивання систем PbSe/p-Si(100), PbS/p-Si(100) та підкладки p-Si(100) на довжині хвилі 635 нм отримано показник заломлення n для плівок PbSe та PbS, який рівний 4,75 і 4,17 відповідно.

III. Еліпсометричні виміри

Відомо, що еліпсометричні методи дослідження дозволяють одержати інформацію про тонкі плівки на поверхні підкладки, дані методи не впливають на поверхню плівки і дуже чутливі до слабких ефектів на границі розділу [5].

Еліпсометричні параметри визначались за допомогою еліпсометра ЛЕФ-3М, на довжині хвилі $\lambda = 632,8$ нм при куті падіння світла 70° . В даному методі використовується зміна поляризації, яка має місце, коли промінь поляризованого світла відбивається від границі розділу або поверхневого шару досліджуваних об'єктів. Із еліпсометричних вимірювань отримано показник заломлення n плівок PbSe та PbS, який дорівнює 4,86 і 4,23 відповідно.

Таким чином, значення показника заломлення плівок PbSe/p-Si(100) та PbS/p-Si(100) отримані як із кількісного аналізу спектрів відбивання ($n = 4,75$; $n = 4,17$; $\lambda = 635$ нм) так і згідно еліпсометричних вимірювань ($n = 4,86$; $n = 4,23$; $\lambda = 632,8$ нм) приблизно співпадають.

IV. Спектри пропускання

В даній роботі досліджено спектри пропускання отриманих плівок у діапазоні 2 – 25 мкм (дифракційний ґратковий інфрачервоний спектрофотометр ИКС-29) (рис. 2).

Із кількісного аналізу спектрів пропускання системи PbSe/p-Si(100) (рис. 2., крива 2) та PbS/p-Si(100) (рис. 2., крива 1) та підкладки p-Si(100) (рис. 2., крива 3) згідно теорії тонких плівок оцінено пропускання T_{12} і відбивання R_{12} плівок на довжинах хвиль 4,6 мкм для PbSe і 3 мкм для PbS ($E_g = 0,27$ eV для PbSe і $E_g = 0,41$ eV для PbS при $T = 300$ K [6]). Значення показника заломлення n для даних плівок на вищевказаних довжинах хвиль дорівнює 4,77 і 4,15 відповідно, що добре узгоджується із літературними даними [6, 7].

Висновки

Таким чином проведені оптичні дослідження (спектри відбивання в діапазоні 400 – 750 нм; еліпсометричні вимірювання на довжині світлової хвилі 623,8 нм при куті падіння світла 70° ; спектри пропускання в діапазоні 2 – 25 мкм) плівок PbSe і PbS товщиною 0,8 – 1 мкм, отриманих з парової фази методом термічного напилення на підкладки з

монокристалїчного кремнїю p-Si(100) з питомим опором $2 \div 10$ Ом·см, показали:

1. Отриманї значення показника заломлення п плївок PbSe і PbS як із кількісного аналізу спектрів відбивання систем PbSe/p-Si(100) ($n = 4,75$; $\lambda = 635$ нм) і PbS/p-Si(100) ($n = 4,17$; $\lambda = 635$ нм) так і згідно еліпсометричних вимірювань ($n = 4,86$ і $n = 4,23$ $\lambda = 632,8$ нм) свідчать, що кристалїчна та енергетична зонна структура тонких приповерхневих шарів плївок ($d = \frac{\lambda}{4\pi n}$) аналогічні до об'ємних кристалів.

2. Значення показника заломлення n отримане із кількісного аналізу спектрів пропускання плївок PbSe/p-Si(100) ($n = 4,77$) на довжинї хвилі 4,6 мкм і PbS/p-Si(100) ($n = 4,15$) на довжинї хвилі 3 мкм добре узгоджуються із літературними даними.

3. Отриманї плївки PbSe та PbS на підкладках p-Si(100) можуть ефективно використовуватись в технології виготовлення електронних пристроїв (анти відбиваючі покриття в діапазоні 400 – 750 нм; просвітлюючі покриття в інфрачервонїй області спектру).

Власенко О.І. – доктор фіз.-мат. наук, проф., заст. директора, зав. відділом № 17;

Левицький С.М. – аспірант;

Генцарь П.О. – кандидат фіз.-мат. наук, науковий співробітник;

Заєць М.С. – кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник;

Криськов Ц.А. – кандидат фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри фізики.

- [1] В.М. Шперун, Д.М. Фреїк, Р.І. Запужляк. *Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів*. Плай, Івано-Франківськ, 250 с. (2000).
- [2] *Теория роста и методы выращивания кристаллов*. Под ред. К. Гурмана. Мир, М. 362 с. (1977).
- [3] В.А. Тягай, О.В. Снитко. *Электроотражение света в полупроводниках*. Наукова думка, К. 302 с. (1980).
- [4] Евстигнеев А.М., Снитко О.В., Артамонов Л.В., Генцарь П.А., Красико А.Н. Вклад поверхности в эффект электроотражения и его выделение при наличии поляризационной анизотропии. // *УФЖ*, **32** (2). сс. 269-272 (1987).
- [5] Ю П., Кардона М. *Основы физики полупроводников*. Физматлит., М. 506 с. (2002).
- [6] К.В. Шалимова. *Физика полупроводников*. Энергоатомиздательство, М. 392 с. (1985).
- [7] В.И. Гавриленко, А.М. Грехов, Д.В. Корбутяк, В.Г. Литовченко. *Оптические свойства полупроводников*. Справочник. Наукова думка, К. 608 с. (1987).

O.I. Vlasenco¹, S.N. Levytskyi¹, P.A. Gentsar¹, M.S. Zayats¹, Ts.A. Kryskov²

Optical Property Connections PbSe and PbS

¹V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, prospect Nauki, 41, Kyiv, 03028 E-mail: levytskyi@ua.fm

²Kamyanets-Podilsky State University, Ogienko Str. 61, Kamyanets-Podilsk, 32300

In the given work it is resulted optical researches films PbSe and PbS by thickness 0,8 - 1 micron on substrates p-Si(100). Values of a parameter of refraction n from the quantitative analysis of spectra of reflection, passage are received. It is shown, that data of a film can be used in manufacturing techniques of electronic devices.

Key words: PbSe, PbS, technology of synthesis.