

PACS NUMBER (S): 78.55.HX, 78.40.HA, 71.35.CC
УДК 539.2 : 621.315.548.0 : 612.029.62

ISSN 1729-4428

С.М. Левицький¹, О.І. Власенко¹, П.О. Генцарь¹, О.С. Литвин¹, В.П. Папуша¹,
Ц.А. Криськов²

Морфологія поверхні та спектри пропускання плівок халькогенідів свинцю

¹Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
03028 м. Київ, проспект Науки, 41, levutskyi@ua.fm

²Кам'янець-Подільський національний університет, кафедра фізики
32300 м. Кам'янець-Подільський, вул. І. Огієнка, 61

В даній роботі проведено дослідження морфології поверхні та спектрів пропускання у діапазоні довжин хвиль 2-25 мкм плівок халькогенідів свинцю та плівок твердих розчинів на їх основі. Показано, що дані матеріали можуть використовуватись в технології виготовлення сучасних мікро та оптоелектронних пристроїв.

Ключові слова: PbS, PbSe, PbTe, тверді розчини, технологія синтезу.

Стаття постуила до редакції 15.07.2008; прийнята до друку 15.03.2009.

Вузкощілинні напівпровідникові сполуки типу $A^{IV}B^{VI}$ є базовими термоелектричними матеріалами в області температур 300-950 К [1], перспективними матеріалами у напівпровідниковій оптоелектроніці для створення інжекційних лазерів і фотоприймачів, що функціонують в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль [2], а також модельними об'єктами для наукових досліджень [2, 3].

Метою даної роботи є дослідження морфології поверхні та спектрів пропускання в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль плівок халькогенідів свинцю та плівок твердих розчинів на їх основі для подальшого їх застосування в технології виготовлення електронних пристроїв.

Зразки PbX ($X = S, Se, Te$), а також тверді розчини на їх основі, 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, 4].

Плівки халькогенідів свинцю були отримані з парової фази методом термічного напилення. При використанні коміркової технології, як правило, у випарник, що підігривається, засипається свіжоприготовлений синтезований порошок. Підкладку поміщали у тримач, на відстані 0,20 м від джерела, що підігривається і вся система при цьому відкачується. Випарник і підкладку попередньо розділені заслінкою. Підкладку нагрівали до температури 553 К, після чого відкривали випарник і підвищували його температуру до ~ 1070 К. При цьому починається випаровування речовини.

Заслінку відкриваємо – йде напилювання речовини. Після утворення шару необхідної товщини заслінку знову закриваємо і підкладка з плівкою остигає у вакуумі. В якості підкладки був використаний монокристалічний кремній p-Si(100).

Фізичні властивості халькогенідів свинцю визначаються складом речовини, відхиленням від стехіометрії і дефектною підсистемою, яка виникає при певних технологічних умовах вирощування плівок і змінюються при відпалі, окисленні та легуванні.

Основні результати в даній роботі приведені для плівок PbS, PbSe, PbTe та твердих розчинів на їх основі товщиною ~ 1 мкм на підкладці з монокристалічного кремнію p-Si(100) із питомим опором 2 Ом-см.

Морфологія поверхні підкладок і плівок досліджувалась на атомносиловому мікроскопі (ACM) Nanoscope IIIa Dimension 3000 (Digital Instruments, США) в режимі періодичного контакту. Вимірювання проведені в центральній зоні зразка з використанням серійних кремнієвих зондів NSG-11 із номінальним радіусом заокруглення вістря до 10 нм (NT-MDT, Росія).

Морфологічні дослідження показали, що поверхня плівок PbS, PbSe, PbTe та твердих розчинів на їх основі на p-Si(100) складається із частинок з чіткою кристалічною огранкою, в основному кубічної симетрії. Отримані плівки виявились не тільки полікристалічними, але і текстурованими. Відрізняються вони ступенем розвиненості поверхні

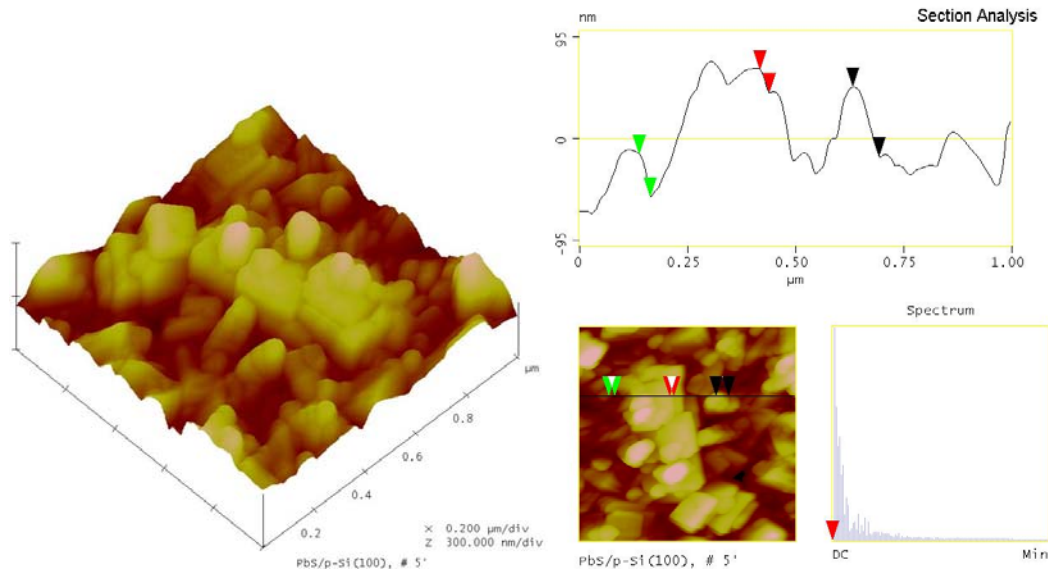


Рис. 1. АСМ зображення PbS.

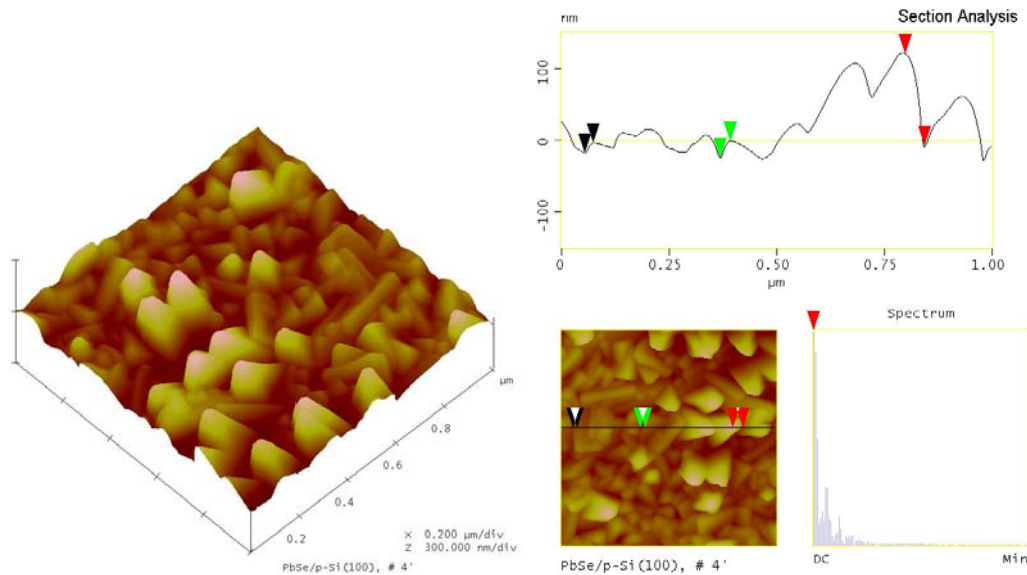


Рис. 2. АСМ зображення PbSe.

(аналіз шорсткості) та розмірами блоків (рис. 1-3).

В даній роботі досліджено спектри пропускання плівок PbS, PbSe, PbTe та твердих розчинів на їх основі у діапазоні 2-25 мкм (дифракційний ґратковий інфрачервоний спектрофотометр ИКС-29). Експериментальні дані показали, що в області ІЧ-спектру отримано просвітлюючі покриття (рис. 4-6) PbS від 10 мкм, PbSe від 7 мкм (довжина хвилі максимального пропускання спостерігається і в області 4,32 мкм), PbTe від 4 мкм.

Із кількісного аналізу спектрів пропускання систем PbS/p-Si(100) (рис. 4, крива 3), PbSe/p-Si(100) (рис. 5, крива 3), PbTe/p-Si(100) (рис. 6, крива 4) і підкладки p-Si(100) (рис. 4, крива 4) відповідно до теорії тонких плівок [5] по формулі:

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

де

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

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

оцінено пропускання і відбивання плівок на довжинах хвиль 3 мкм для PbS, 4,6 мкм для PbSe та 4 мкм для PbTe ($E_g = 0,41$ eV для PbS, $E_g = 0,27$ eV для PbSe і $E_g = 0,31$ eV для PbTe при $T = 300$ K [6]). Значення показника заломлення n для даних плівок на вищевказаних довжинах хвиль дорівнює 4,15, 4,77 і 5,42 відповідно.

З наведених графічних залежностей (рис. 4-6) видно, що за допомогою легування можна змінювати пропускання плівок халькогенідів свинцю в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль.

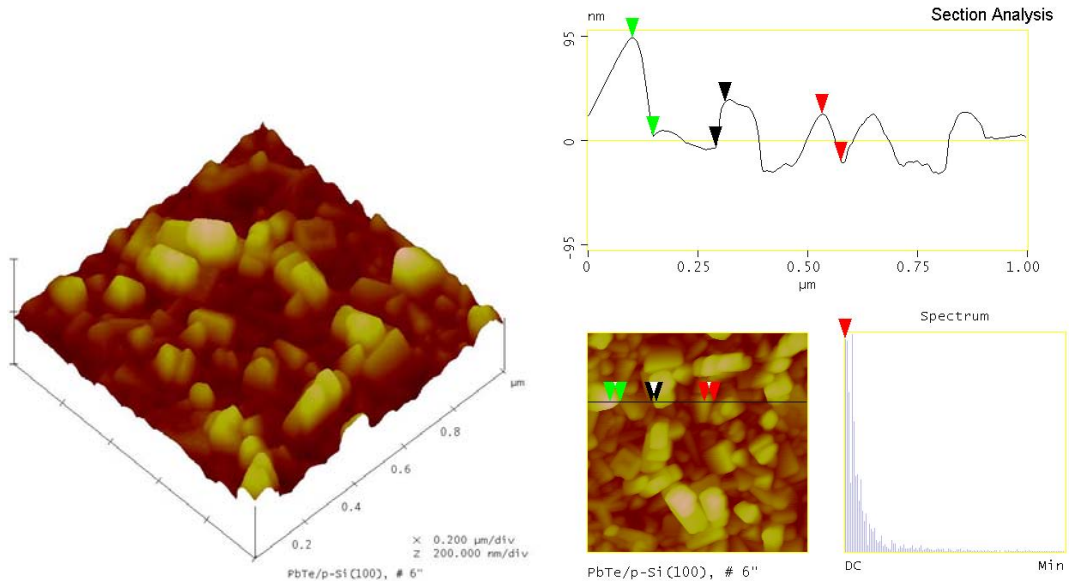


Рис. 3. АСМ зображення PbTe.

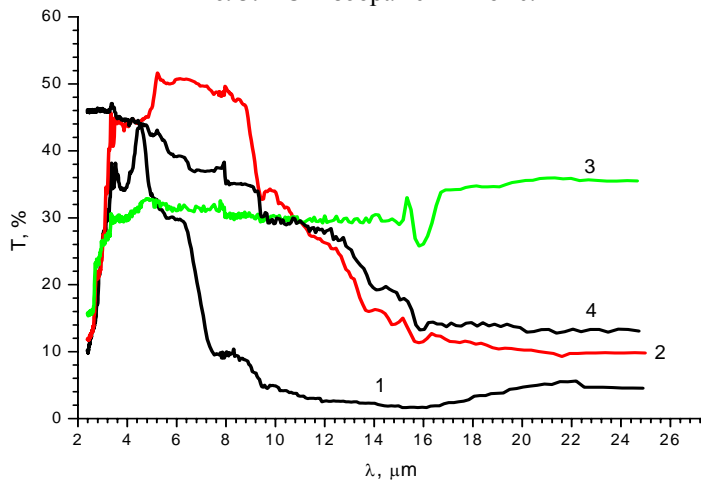


Рис. 4. Спектри пропускання підкладки p-Si(100) (крива 4) і плівок PbS:Pb, PbS:Se, PbS (криві 1-3 відповідно) в інфрачервоній області спектру.

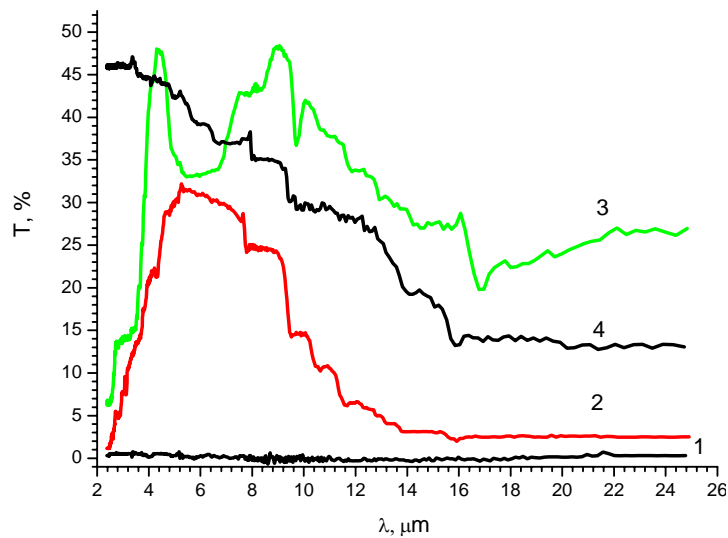


Рис. 5. Спектри пропускання підкладки p-Si(100) (крива 4) і плівок PbSe:Pb, PbSe:Se і PbSe (криві 1-3 відповідно) в інфрачервоній області спектру.

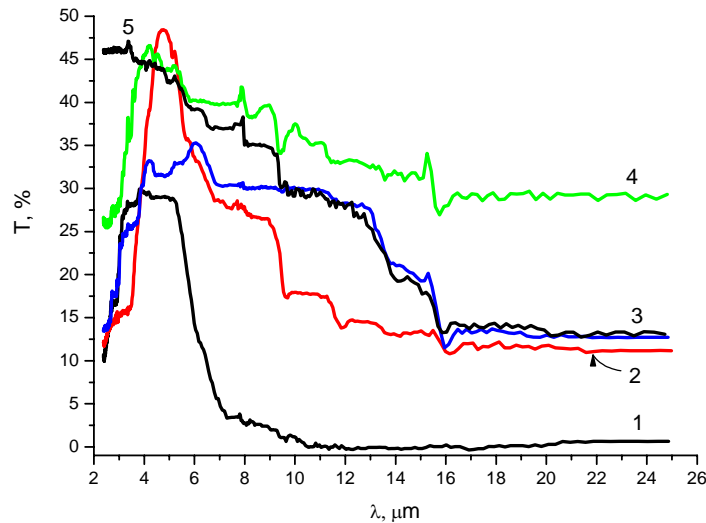


Рис. 6. Спектри пропускання підкладки p-Si(100) (крива 5) і плівок PbTe:CgJ₂, PbTe:Se, PbTe:In, PbTe (криві 1-4 відповідно) в інфрачервоній області спектру.

Проведені дослідження морфології поверхні та спектрів пропускання плівок халькогенідів свинцю показали:

- плівки мають досить розвинену поверхню, яка подібна до поверхонь об'ємних кристалів;
- із кількісного аналізу спектрів пропускання плівок PbS/p-Si(100) на довжині хвилі 3 мкм, PbSe/p-Si(100) на довжині хвилі 4,6 мкм і PbTe/p-Si(100) на довжині хвилі 4 мкм отримані значення показника заломлення n , які рівні 4,15, 4,77 і 5,42 відповідно;
- отримані плівки PbS, PbSe, PbTe та тверді розчини на їх основі на підкладці p-Si(100) можуть ефективно використовуватись в технології виготовлення електронних пристроїв;

- за допомогою легування можна змінювати оптичні параметри матеріалу.

Власенко О.І. – доктор фіз.-мат. наук, проф., заст. директора, зав. відділом;
Левицький С.М. – молодший науковий співробітник відділу;
Генцарь П.О. – кандидат фіз.-мат. наук, науковий співробітник відділу;
Литвин О.С. – кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник відділу;
Папуша В.П. – кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник відділу;
Криськов Ц.А. – кандидат фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри.

- [1] В.М. Шперун, Д.М. Фреїк, Р.І. Запужляк. *Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів*. Плай, Івано-Франківськ. 250 с. (2000).
- [2] Ю.И. Равич, В.А. Ефимова, В.А. Смирнова. *Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS*. Наука, М. 384 с. (1968).
- [3] Н.Х. Абрикосов, Л.Е. Шелимова. *Полупроводниковые материалы на основе соединений A^{IV}B^{VI}*. Наука, М. 196 с. (1975).
- [4] *Теория роста и методы выращивания кристаллов*. Под ред. К. Гурмана. Мир, М. 1977, 362 с.
- [5] В.А. Тягай, О.В. Снитко. *Электроотражение света в полупроводниках*. Наукова думка, К. 302 с. (1980).
- [6] К.В. Шалимова. *Физика полупроводников: учебник для вузов*. 3-е изд., перераб. и доп. Энергоатомиздат, М., 392 с. (1985).

O.I. Vlasenco¹, S.N. Levytskyi¹, P.A. Gentsar¹, O.S. Lytvyn¹, V.P. Papuscha¹,
Ts.A. Kryskov²

Morphology of Surface and Spectrums of Transmission of Films of Chalkogenides Lead

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

²Kamyanskyi Podilsky Nationality University, Ogienko Str. 61, Kamyanskyi-Podilsk, 32300

In the given work it is resulted of morphology of surface and spectrums of transmission in the range of lengths of waves of 2-25 mkm films of chalkogenides lead and solid state their basis. It is shown, that data of a film can be used in manufacturing techniques of electronic devices.

Key words: PbS, PbSe, PbTe, solid solution.