

Б.С. Дзундза

Вплив міжфазних меж на розсіювання носіїв струму у плівках телуриду свинцю та олова

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: fcss@pu.if.ua

Досліджено вплив міжфазних меж на розсіювання носіїв струму у плівках телуриду свинцю та олова, осадженого на підкладках з поліамідної стрічки від їх товщини. Встановлено, що домінуючу роль відіграють розсіювання на поверхні та міжзеренних межах.

Ключові слова: телурид свинцю, телурид олова, розсіювання носіїв, рухливість.

Стаття постуила до редакції 30.12.2011; прийнята до друку 15.09.2010.

Вступ

Плівки на основі сполук $A^{IV}B^{VI}$ є перспективними для створення на їх основі активних елементів мікро- і оптоелектроніки: детекторів і джерел інфрачервоного випромінювання оптичного спектру [1], термоелектричних перетворювачів енергії [2]. Властивості тонких полікристалічних плівок у значній мірі залежать від електронних процесів, що відбуваються на поверхні і міжкристалітних межах. Тут, зокрема, необхідно враховувати розсіювання на міжфазних і міжзеренних межах, дислокаціях невідповідності та інших дефектах росту [3-6], так як локалізація носіїв струму на поверхневих станах і їх захоплення об'єктами зв'язками на межах кристалітів призводять до утворення біля них областей просторового заряду, концентрація і рухливість носіїв струму в яких можуть значно відрізнятись від відповідних параметрів в об'ємі.

У даній роботі досліджено особливості механізмів розсіювання носіїв струму у тонких плівках телуриду свинцю та олова, осадженого на підкладках з поліамідної стрічки від їх товщини.

I. Методика експерименту

Плівки отримували з парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі на підкладки з поліамідної стрічки типу ПМ-1. Температура випарника складала $T_v=(860-970)$ К, а температура підкладок $T_n=(420-520)$ К. Товщину конденсату задавали часом осадження в діапазоні (1-30) хв та вимірювали за допомогою мікроінтерферометра МІІ-4.

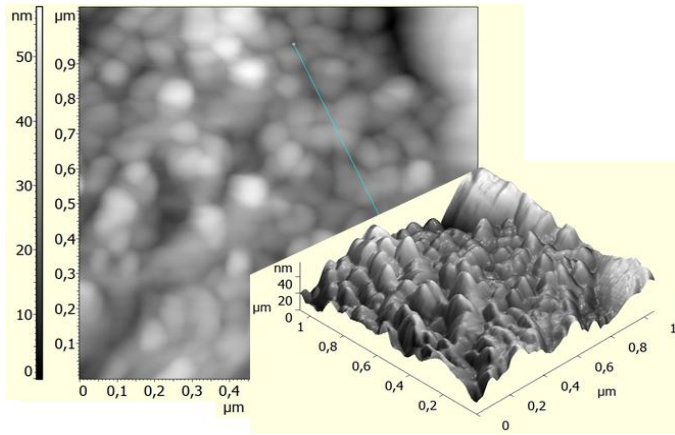
Вимірювання електричних параметрів плівок проводилося на повітрі при кімнатних температурах у постійних магнітних полях. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти. В якості омичних контактів використовувалися плівки срібла. Струм через зразки складав $\sim(0,1-1)$ мА. Магнітне поле напрямлялося перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 1,5 Тл.

Отримані зразки досліджувалися методами атомно-силової мікроскопії (АСМ) Nanoscope 3a Dimension 3000 (Digital Instruments USA) у режимі періодичного контакту. Вимірювання проведені в центральній частині зразків з використанням серійних кремнієвих зондів NSG-11 із номінальним радіусом закруглення вістря до 10 нм (NT0MDT, Росія). За результатами АСМ досліджень крім технології поверхні та профілограм у програмі WSxM 4.0 Develop 10.4 визначені розміри нанокристалів у латеральному напрямку, висоту та шорсткість поверхні.

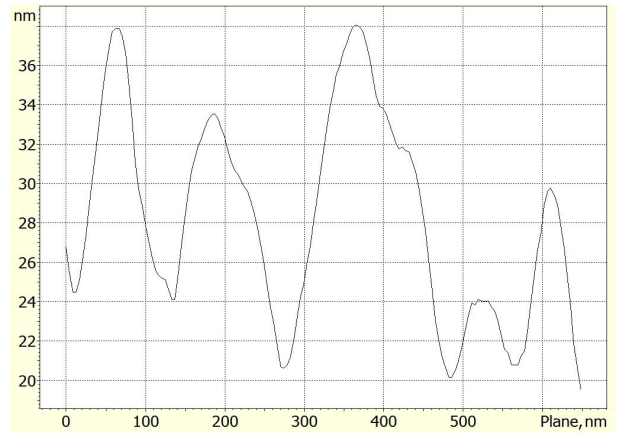
АСМ-зображення та профілограми плівок наведено на рис. 1. Видно, що одержані вони складаються з нанорозмірних кристалітів пірамідальної форми. З профілограф визначено залежності середніх розмірів кристалітів у латеральному і перпендикулярному напрямках від товщини плівки (рис. 2.). Із зростанням товщини розміри кристалітів також збільшуються в обох напрямках з виходом на насичення при товщині більше 1,5 мкм. Слід відзначити, що плівки телуриду свинцю характеризуються майже в двічі більшими розмірами кристалітів як в латеральному так і в перпендикулярному до поверхні напрямку ніж плівки SnTe.

Вплив міжфазних меж на розсіювання носіїв струму у плівках телуриду свинцю та олова

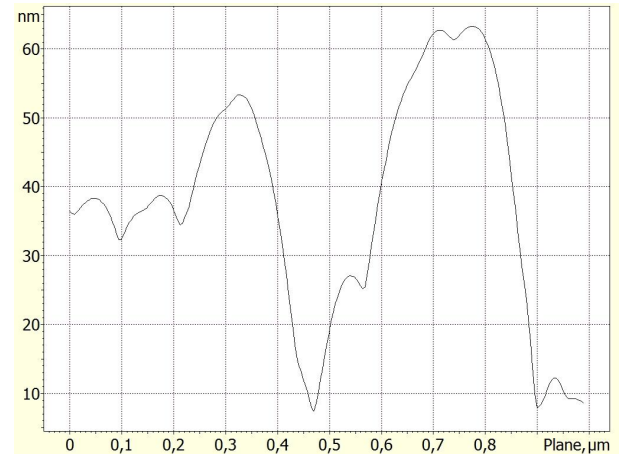
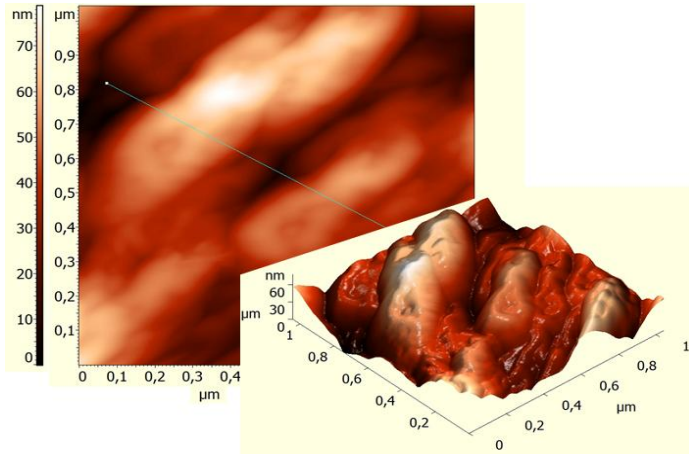
А



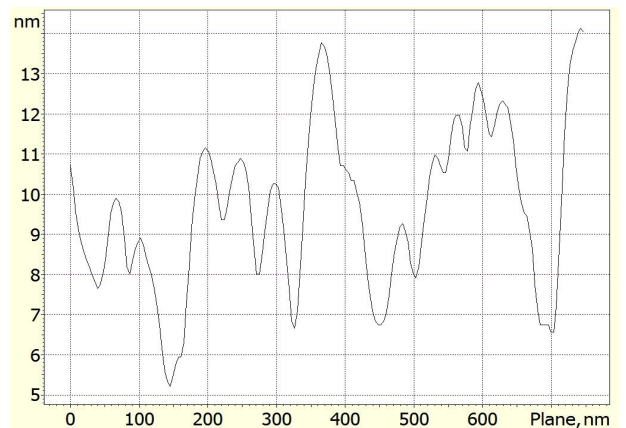
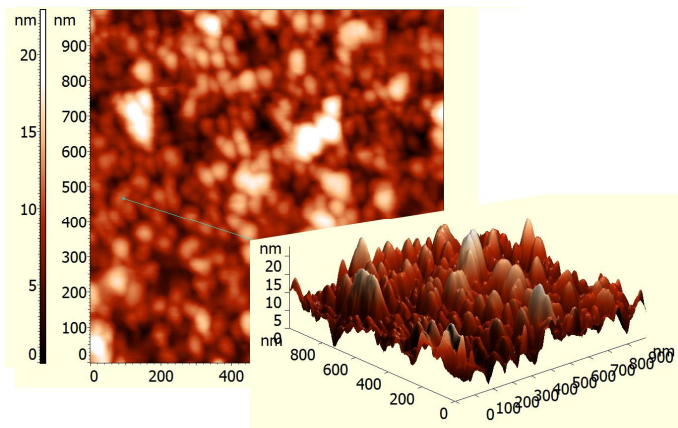
Б



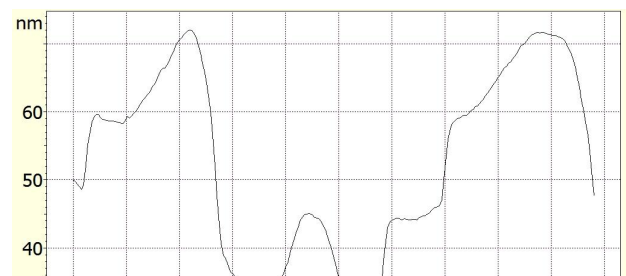
а



б



В



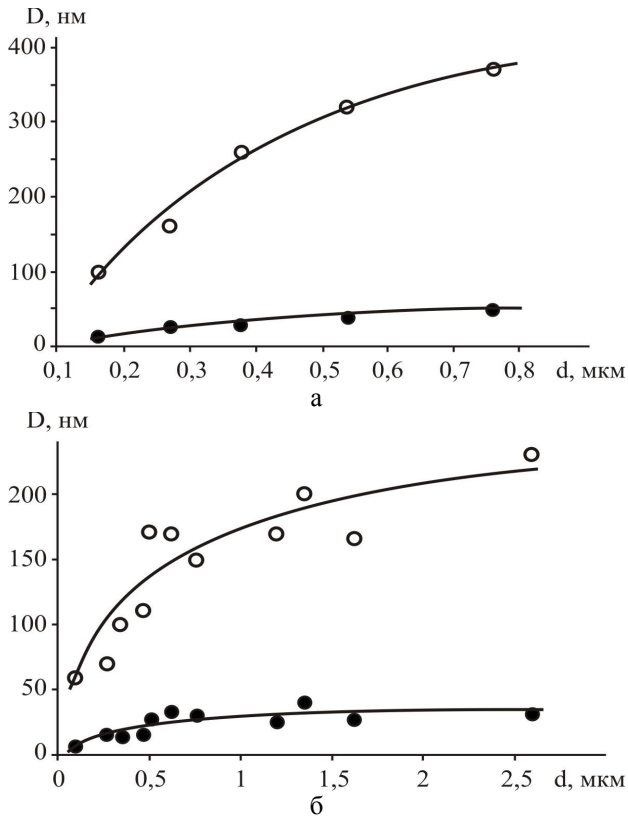


Рис. 2. Залежність середніх розмірів кристалітів плівок PbTe (а) і SnTe (б) у латеральному (○) і перпендикулярному (●) до поверхні підкладки напрямках від товщини плівки.

II. Елементи теорії

За умови переважання розсіювання носіїв струму на поверхні (μ_n) і межах зерен (μ_3), питомий опір плівок визначається правилом Маттієна [5]. Якщо концентрація носіїв і ефективна маса є сталими, тоді

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_n} + \frac{1}{\mu_3}, \quad (1)$$

де μ – експериментально визначена рухливість.

Час між двома актами розсіювання на межах кристалітів τ_3 визначається як

$$\tau_3 = D\nu^{-1}, \quad (2)$$

де ν – теплова швидкість носіїв, яка у випадку виродження, не залежить від температури. Для телуриду олова температура виродження велика через високу концентрацію носіїв ($\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$) внаслідок значного відхилення від стехіометричного складу. При цьому згідно [4]:

$$\mu_3 = \frac{2q}{h} D \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{-1/3}, \quad (3)$$

де D – середній розмір зерна, q – заряд носіїв, n – концентрація носіїв, h – стала Планка.

Рухливість носіїв струму у випадку дифузного розсіювання на поверхні визначається як [7]:

$$\mu_n = \mu_v (1 + \lambda/d)^{-1}. \quad (4)$$

Тут λ – середня довжина вільного пробігу носіїв, μ_v –

рухливість об'ємного матеріалу.

Згідно моделі Тейлера [6] розсіювання носіїв заряду на межах зерен описується часом релаксації τ_0 таким чином, що $\lambda = \tau_0 \nu$, де λ – ефективний середній вільний пробіг носіїв заряду у нескінченно товстій плівці. Тоді

$$s = s_0 \left[1 - \frac{3}{8} I \frac{(1-P)}{d} \right]. \quad (5)$$

Тут σ_0 – питома електропровідність у нескінченно товстій плівці. Рівняння (5) виражають пряму лінію $y = A \pm Bx$ у координатах $\sigma \sim d^{-1}$,

$$\text{де } A = \sigma_0; B = -\frac{3}{8} s_0 I (1-P).$$

Із рівняння (5) випливає, що пряма лінія пересікає вісь ординат при $d^{-1} \rightarrow 0$ у точці, що визначає σ_0 . Тангенс кута нахилу прямої визначає величину в яку входить λ . Якщо розглядати дифузне розсіювання (тобто $P=0$), то можна визначити λ і ρ_0 .

Визначивши довжину вільного пробігу (λ) (рис. 3), та використавши формулу (4) маємо залежність поверхневої рухливості μ_n від товщини. Аналогічно маючи середній розмір кристалітів (D) та експериментальне значення концентрації (n_n) із виразу (3) отримуємо величину рухливості яка враховує вплив розсіювання носіїв струму на міжзеренних межах (μ_3).

III. Результати експерименту та їх обговорення

На рис. 3 представлена експериментальна залежність питомої електропровідності від оберненої товщини плівки.

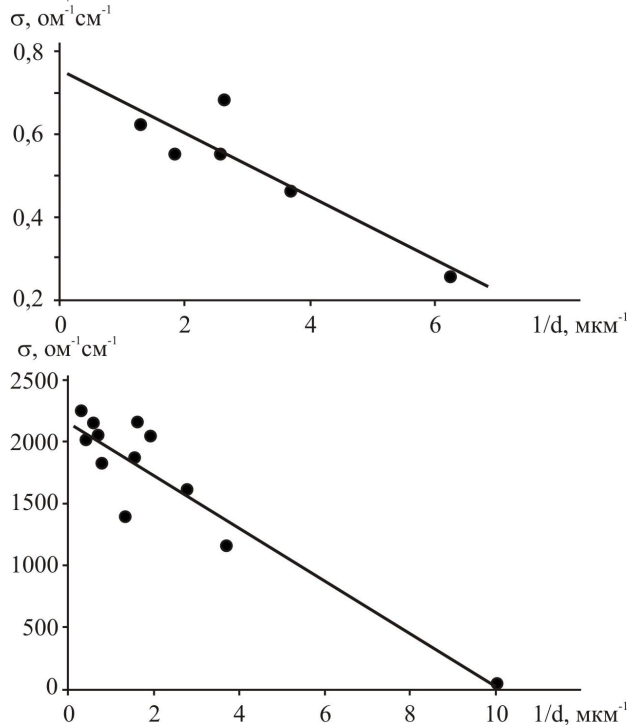


Рис. 3. Залежність питомої провідності від оберненої товщини для плівок PbTe ($\sigma_0 = 0,75 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, $\lambda = 0,27 \text{ мкм}$) (а) і SnTe ($\sigma_0 = 2146,4 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, $\lambda = 0,26 \text{ мкм}$) (б) при температурі 300 К.

Для кімнатних температур визначена середня довжина вільного пробігу λ носіїв струму, яка виявилась практично однаковою для обох серій зразків і складає $\approx 260 \text{ нм}$.

Питома електропровідність плівок телуриду олова на три порядки більша ніж у плівках PbTe, що пов'язане з великою концентрацією носіїв струму. Звернемо увагу на характер товщиної залежності питомої електропровідності при зменшенні товщини вона різко спадає (рис. 3). Такий характер провідності можна пояснити впливом дифузного розсіювання носіїв на поверхні, яке стає домінуючим в області малих товщин. Це також підтверджують експериментальні та розрахункові залежності рухливості носіїв від товщини (рис. 4).

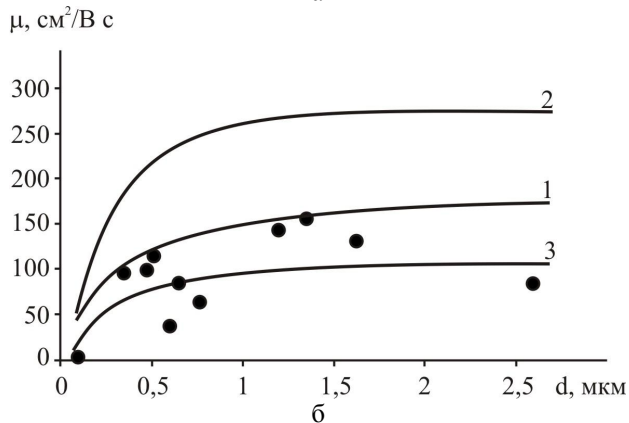
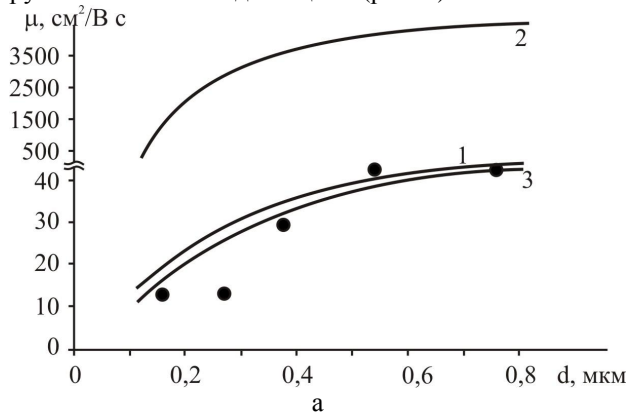


Рис. 4. Залежність рухливості носіїв струму (μ) від товщини (d) для свіжовирощених плівок PbTe (а) і SnTe (б) при 300 К. Крива 1 – рухливість носіїв при врахуванні розсіювання на поверхні (μ_n), 2 – рухливість носіїв, що враховує розсіювання на межах зерен (μ_3) у перпендикулярному до поверхні напрямі, 3 – сумарна рухливість (μ) згідно (1), • –

експеримент. $\mu_{v(\text{PbTe})} = 65 \text{ см}^2/\text{Vc}$ $\mu_{v(\text{SnTe})} = 190 \text{ см}^2/\text{Vc}$.

Видно, що вплив розсіювання на міжзерених межах (μ_3) для плівок PbTe (рис. 4,а – крива 2) є значно менший і основний внесок у результуючу рухливість дає дифузне розсіювання носіїв на поверхні (μ_n) (рис. 4,а – крива 1), а у плівках SnTe вплив границь зерен лише дещо менший за вплив поверхні. Незначний внесок міжзерених меж у розсіювання носіїв зумовлений достатньо великим розміром кристалітів. При розрахунках використовувались середні розміри кристалітів в перпендикулярному напрямку так як вони є майже на порядок меншими ніж у латеральному (рис. 1).

Таким чином, врахування поверхневого та міжзеренного розсіювання показало добре співпадання результатів розрахунків з експериментом, що вказує на домінування цих двох механізмів.

Висновки

1. Досліджено залежності питомої провідності і рухливості носіїв струму для плівок телуриду свинцю та олова, отриманих з парової фази на поліаміді (ПМ-1) від їх товщини.

2. З АСМ-зображень топологій поверхні визначено середні розміри кристалітів в латеральному і перпендикулярному до поверхні підкладки напрямках для плівок різної товщини.

3. Визначено середню довжину вільного пробігу носіїв струму та їх рухливості при розсіюванні на поверхні та міжзерених межах.

3. Показано, що домінуючими механізмами у плівках PbTe є розсіювання носіїв на поверхні, а у плівках SnTe на поверхні та міжзерених межах.

Автор висловлює вдячність проф. Фреїку Д.М. за постановку задачі, цінні поради та обговорення результатів дослідження.

Робота виконана у рамках наукових проектів МОН України (державні реєстраційні номери 0111U001766) та НАН України (державний реєстраційний номер 0110U006281).

Дзундза Б.С. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник.

[1] F.F. Sizov. Zarubezhnaja jelektronnaja tehnika 24, 31 (1977).

[2] V.M. Shperun, D.M. Freik, R.I. Zapuhljak. Termoelektrika teluridu svincju ta jogo analogiv (Plaj, Ivano-Frankivs'k, 2000).

- [3] J.N. Zemel. J. Luminescence 7, 524 (1973).
- [4] Poverhnostnye svojstva tverdyh tel. Pod. red. M. Grina (Mir, Moskva, 1972).
- [5] P.R. Vaya, J. Majht, B.S.V. Gopalam, C. Dattatrepan. Phys. Stat. Sol. (a) 87(341), 341 (1985).
- [6] D.M. Freïk, V.F. Pasichnjak, O.L. Sokolov, B.S. Dzundza. Ukraïns'kij fizichnij zhurnal 50(11), 1250 (2005).
- [7] C. R. Tellier, A.J. Tosser, C. Boutrit. Thin Solid Films 44, 201 (1977).

B.S. Dzundza

Interfaces Influence on the Charge Carriers Scattering in Lead and Tin Telluride Films

*Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua*

Researched the interfaces influence on the charge carriers scattering in lead and tin telluride films deposited on substrates with polyamide substrate on their thickness are. Established that the dominant role played scattering on the surface and inter-grain borders.

Keywords: lead telluride, tin telluride, scattering, motility.