

Д.М. Фреїк, І.І. Чав'як, Б.С. Дзундза, О.Б. Костюк

Розсіювання носіїв струму у плівках телуриду олова на поліаміді

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

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

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

Стаття поступила до редакції 11.10.2011; прийнята до друку 15.12.2011.

Вступ

Останні десятиліття розвитку фізики твердого тіла характеризуються тим, що основними об'єктами дослідження все в більший мірі стають не масивні кристали, а тонкі плівки, багат шарові тонкоплівкові системи, наноструктури [1,2]. У таких системах істотно змінюється більшість електронних властивостей – виникає велике число нових, так званих розмірних ефектів [3]. Найбільш кардинальну перебудову властивостей мають квантові розмірні структури, в яких вільні носії заряду локалізовані в одному, двох або у всіх трьох координатних напрямках, в областях з розмірами де-Бройлевської довжини хвилі. При цьому набувають чинності закони квантової механіки і відбувається зміна найбільш фундаментальної характеристики електронної підсистеми – її енергетичного спектру. Якщо рух обмежено вздовж одного чи двох напрямків, то під впливом зовнішніх полів можуть змінюватися не три, а лише дві або тільки одна із компонент імпульсу електронів і дірок, в результаті цього носії ведуть себе як двовимірний або одномірний газ відповідно [4].

Для плівок товщина є тим параметром, який визначає транспортні властивості і домінуючі механізми розсіювання носіїв заряду. Тут, зокрема, необхідно враховувати розсіювання на міжфазних і міжзеренних межах, дислокаціях невідповідності та інших дефектах росту [5-8].

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

І. 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 (4-30) хв та вимірювали за допомогою мікроінтерферометра МІИ-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 Dimention 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 (NTOMDT, 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.

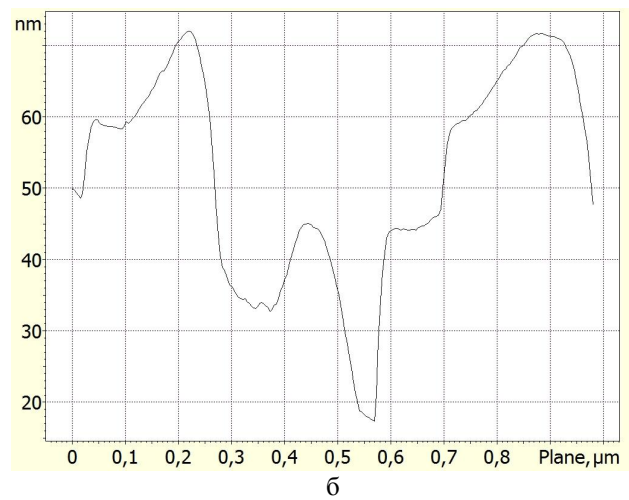
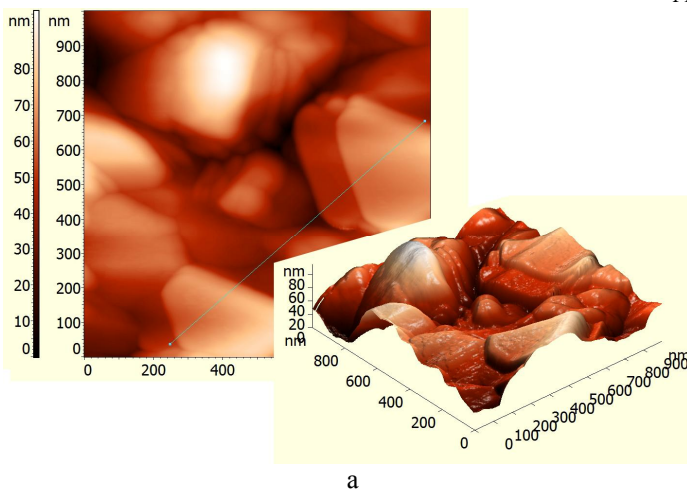
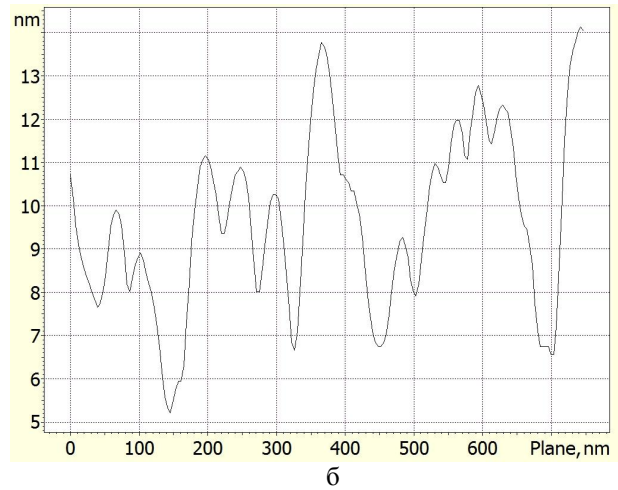
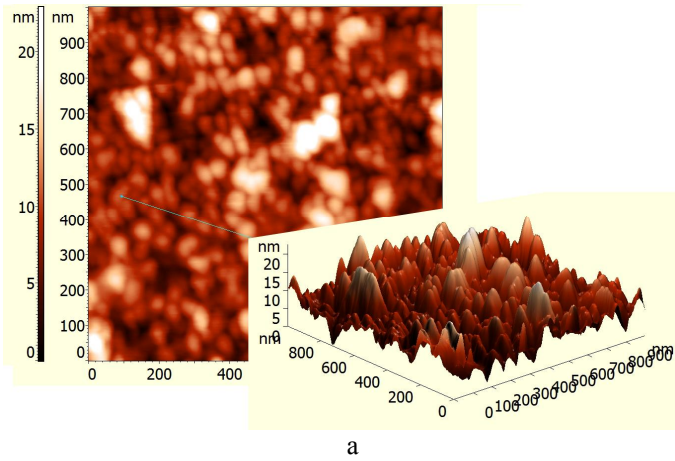


Рис. 1. АСМ-зображення (а) і профілограми (б) плівок SnTe на поліаміді. Товщина, мкм: 0,1 (А), 2,6 (Б).

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 2 мкм.

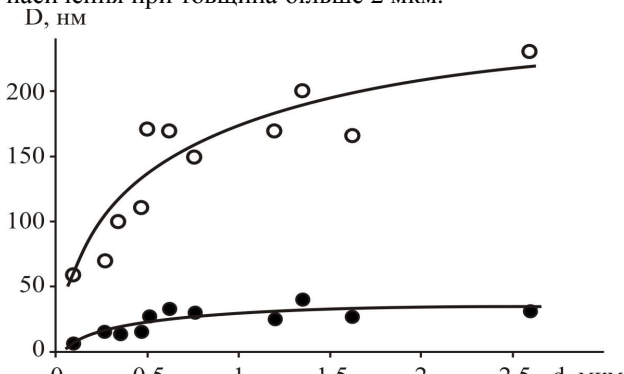


Рис. 2. Залежність середніх розмірів кристалітів плівок SnTe/ПІМ-1 у латеральному (○) і перпендикулярному (●) до поверхні підкладки напрямках від товщини плівки.

Б

II. Елементи теорії

За умови переважання розсіювання носіїв струму на поверхні (μ_n) і межах зерен (μ_z), питомий опір плівок визначається правилом Маттієна [7]. Якщо концентрація носіїв і ефективна маса є сталими, тоді

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

де μ – експериментально визначена рухливість.

Час між двома актами розсіювання на межах кристалітів τ_3 визначається як

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

де v – 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 [6]:

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

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 [9] розсіювання носіїв заряду на межах зерен описується часом релаксації τ_0 таким чином, що $\lambda = \tau_0 v$, 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 s_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_H) 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. Для кімнатних температур визначена середня довжина вільного пробігу носіїв струму в плівках SnTe/ПМ-1 складає $\lambda \approx 260$ нм.

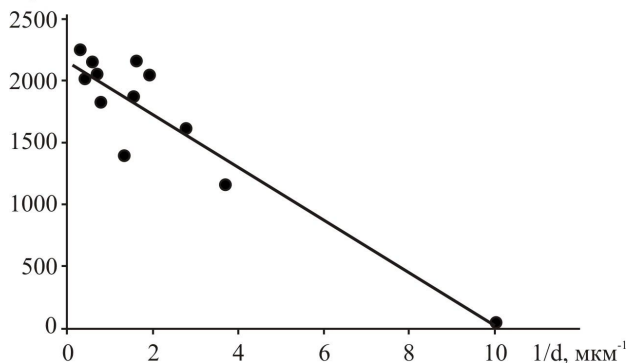


Рис. 3. Залежність питомої провідності від оберненої товщини для плівок SnTe/ПМ-1 при температурі 300 К. $\sigma_0 = 2146,4 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$, $\lambda = 0,26 \text{ мкм}$.

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). Видно, що вплив розсіювання на міжзеренних межах (μ_3) (рис. 4 – крива 2) є дещо менший і основний внесок у результуючу рухливість дає дифузне розсіювання носіїв на поверхні (μ_n) (рис. 4 – крива 1). Незначний внесок міжзеренних 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.

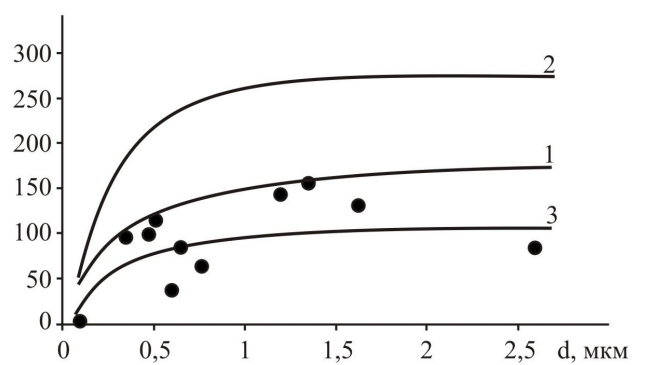


Рис. 4. Залежність рухливості носіїв струму (μ) від товщини (d) для свіжовирощених плівок SnTe/ПМ-1 при 300 К. Крива 1 – рухливість носіїв при врахуванні розсіювання на поверхні (μ_n), 2 – рухливість носіїв, що враховує розсіювання на межах зерен (μ_3) у перпендикулярному до поверхні напрямі, 3 – сумарна рухливість (μ) згідно (1), • – експеримент. $\mu_v = 190 \text{ см}^2/\text{Vc}$.

Висновки

1. Досліджено залежності питомої провідності і рухливості носіїв струму для плівок телуриду 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 міжзеренних межах.

3. Показано, що домінуючими механізмами є дифузне розсіювання носіїв на поверхні та міжзеренних межах.

Робота виконана у рамках наукових проектів ДФФД України (державні реєстраційні номери 0110U007674, 0111U004951) та НАН України (державний реєстраційний номер 0110U006281).

Фреїк Д.М. – заслужений діяч науки і техніки України, доктор хімічних наук, професор, директор Фізико-хімічного інституту, завідувач кафедри;
Чав'як І.І. – аспірант;
Дзундза Б.С. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
Костюк О.Б. – студент фізико-технічного факультету.

- [1] Dresselhaus M. S., Ghen G., Rang M. I., Yang R., Lee H., Wang D., Ren Z., Fleurial J-P., Gogna P., New Directions for Low-Dimensional Thermoelectric Materials // *Adv. Mater.* — 2007. — ¹ 19. — P. 1043-1053.
- [2] Rogacheva E. I., Nashchekina O. N., Meriuts A. V., and Lyubchenko S. G., Dresselhaus M. S. And Dresselhaus G., Quantum size effects in n-PbTe/p- SnTe/n-PbTe heterostructures // *Appl. Phys. Lett.* — 2005 — V.86 — 063103.
- [3] Р.А. Андриевский. Наноматериалы: концентрация и современные проблемы // *Рос. хим. ж.*, **56**(5), сс. 50-56 (2002).
- [4] Д.М. Фреїк, В.М. Чабанюк, Л.І. Никируй. Напівпровідникові тонкі плівки – сучасний стан (огляд) // *Фізика і хімія твердого тіла*, **7**(3), сс. 405-417 (2006).
- [5] J.N. Zemel. in Recent developments epitaxial IV-VI films // *J. Luminescence*, **7**, pp 524-541 (1973).
- [6] *Поверхностные свойства твердых тел*. Под. ред. М. Грина. Мир, М. 432 с. (1972).
- [7] P.R. Vaya, J. Majht, B.S.V. Gopalam, C. Dattatrepan. Thickness Dependence of Hall Mobility of HWE Grown PbTe Films // *Phys. Stat. Sol. (a)*, **87**(341), pp. 341-350 (1985).
- [8] Д.М. Фреїк, В.Ф. Пасічняк, О.Л. Соколов, Б.С. Дзундза. Розсіяння носіїв заряду в епітаксійних плівках PbTe // *Український фізичний журнал*, **50**(11), сс. 1250-1252 (2005).
- [9] Tellier C.R., Tosser A.J., Boutrit C. // *Thin Solid Films*, **44**, 201 (1977).

D.M. Freik, I.I. Chavyak, B.S. Dzundza, O.B. Kostyuk

Charge Carriers Scattering in Tin Telluride Films on Polyamide

Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua

The peculiarities of carriers scattering mechanisms in tin telluride films deposited on substrates with polyamide tape on their thickness. Established that the dominant role played scattering on the surface and between grains within.

Key words: tin telluride, scattering, carriers mobility.