

Б.С. Дзундза, Я.С. Яворський, А.І. Ткачук, Ю.В. Бандура

Вплив міжфазних меж на розсіювання носіїв струму у легованих вісмутом плівках телуриду свинцю

Прикарпатський 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 легованих вісмутом плівках телуриду свинцю, осажденного на ситалових підкладках від їх товщини. Встановлено, що домінуючу роль відіграє розсіювання на поверхні і міжзеренних межах, відносний внесок яких визначається температурою осадження.

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

Стаття постулила до редакції 05.12.2012; прийнята до друку 15.03.2013.

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 міжкристалічних 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 обірваними 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.

Легування донорними домішками основної матриці дозволяє отримати стабільний матеріал п-типу на основі телуриду свинцю.

У даній роботі досліджено особливості механізмів розсіювання носіїв струму у тонких плівках телуриду свинцю легованих вісмутом, осажденного на ситалові підкладки від їх товщини.

I. Методика експерименту

Плівки для дослідження отримували осадженням пари у вакуумі на ситалові підкладки. Температура випарника під час осадження складала $T_v=970$ К, а температура підкладок $T_p=420-470$ К. Товщину плівок задавали часом осадження в межах (0,2-5) хв та вимірювали за допомогою мікроінтерферометра

МІІ-4. Для випаровування використовували наперед легований вісмутом (~0,05 ат.%) телурид свинцю $PbTe:Bi$.

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 ≈ 1 мА. Магнітне поле було напрямлене перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 1,5 Тл.

II. Елементи теорії

За умови переважання розсіювання носіїв струму на поверхні (μ_n) і межах зерен (μ_3), питомий опір плівок визначається правилом Маттісена [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

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

де v – теплова швидкість носіїв. 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 $\lambda = \tau_0 v$, 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 σ_0 – питома електропровідність у нескінченно товстій плівці. Рівняння (5) виражає 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 σ_0 . Знаючи довжину вільного пробігу (λ) (рис. 3), та використавши формулу (4) маємо залежність поверхневої рухливості μ_n від товщини. Аналогічно за середніми розмірами кристалітів (D) та експериментальне значення концентрації (n_n) із виразу (3) отримаємо величину рухливості яка враховує вплив розсіювання носіїв на міжзеренних межах (μ_s) (рис. 3).

III. Результати експерименту та їх обговорення

Для кімнатних температур згідно експериментальних залежностей питомої електропровідності (σ) від оберненої товщини ($1/d$) конденсатів (рис. 1) середня довжина вільного пробігу λ носіїв струму, яка для структур отриманих

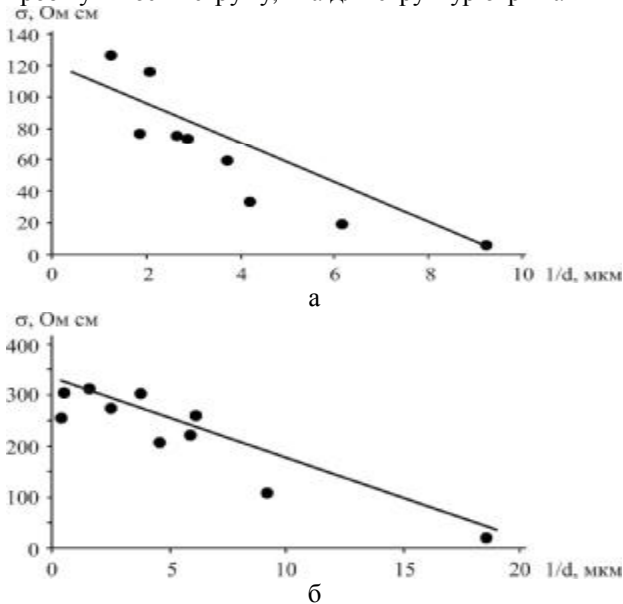


Рис. 1. Залежність питомої провідності від оберненої товщини для плівок PbTe:Bi при $T_p=420$ К ($\sigma_0 = 123$ Ом⁻¹

¹см⁻¹, $\lambda=0,26$ мкм) (а) і 470 К ($\sigma_0 = 330$ Ом⁻¹см⁻¹, $\lambda=0,12$ мкм) (б).

при температурі 470 К складає 0,12 мкм, а для структур отриманих при 420 К – 0,26 мкм, це пов’язано з різними розмірами кристалітів.

Звернемо увагу на характер залежності питомої електропровідності при зменшенні товщини конденсату, яка спадає (рис. 1). Такий характер провідності зумовлений 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. 2).

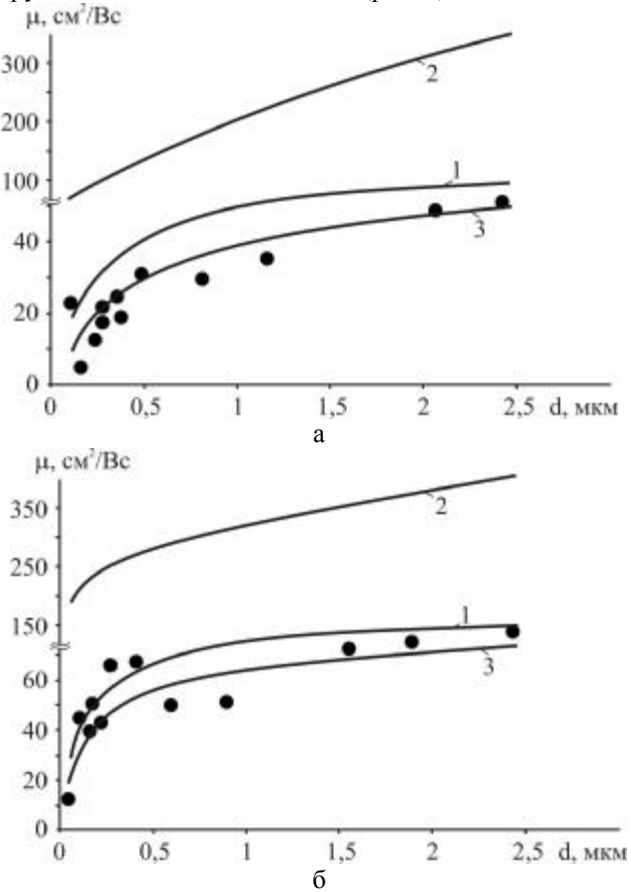


Рис. 2. Залежність рухливості носіїв струму (μ) від товщини (d) для свіжовирощених плівок PbTe:Bi, отриманих при температурі підкладки 420 К (а) і 470 К (б). Криві 1 – рухливість носіїв при врахуванні розсіювання на поверхні (μ_n); 2 – рухливість носіїв, що враховує розсіювання на межах зерен (μ_s); 3 – сумарна рухливість (μ) згідно (1), • – експеримент ($\mu_{v(420)}=62$ см²/Vs $\mu_{v(470)}=84$ см²/Vs).

На основі аналізу результатів досліджень (рис. 3) можна стверджувати, що для плівок PbTe:Bi, отриманих при температурі $T_p=470$ К основний внесок у результуючу рухливість (μ) вносить дифузне розсіювання на поверхні (μ_n) (рис. 2, б – криві 1,3). Це слідує із того, що розрахункова крива (μ_n) добре співпадає із експериментом (рис. 2, б). При нижчих температурах осадження ($T_p=420$ К) така кореляція дещо гірша (рис. 2,а), що можна

інтерпретувати додатковим внеском розсіювання на границях зерен (рис. 2,а – крива 2). Незначний внесок міжзеренних меж у розсіювання носіїв у першому випадку зумовлений достатньо великим розміром кристалітів. Залежності середніх розмірів кристалітів від товщини конденсатів (рис. 3) добре узгоджуються з отриманими результатами АСМ досліджень.

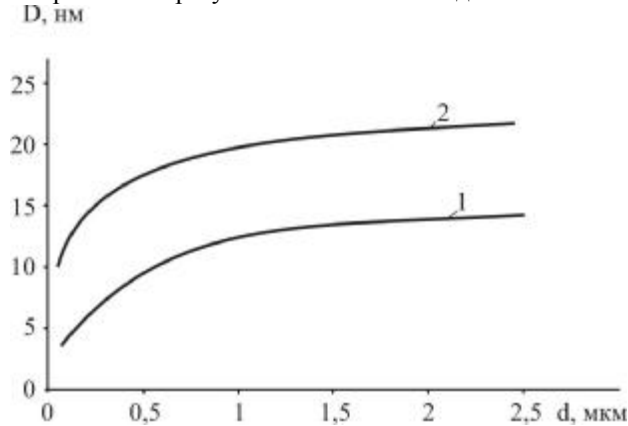


Рис. 2. Залежність середніх розмірів кристалітів плівок PbTe:Bi отриманих на ситалових підкладках підігрітих до $T_p=420$ К (1) та $T_p=470$ К (2) від товщини конденсатів.

Таким чином, врахування поверхневого (μ_n) та міжзеренного (μ_3) розсіювання носіїв струму показало добре співпадання результатів розрахунків з експериментом, що вказує на їх домінування у конденсованих структурах PbTe:Bi.

Висновки

1. Досліджено залежності питомої провідності і рухливості носіїв струму для плівок телуриду свинцю легованого вісмутом PbTe:Bi від їх товщини.

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

3. Показано, що домінуючими механізмами у плівках PbTe:Bi отриманих при $T_p=470$ К є розсіювання носіїв на поверхні, а при $T_p=420$ К на поверхні та міжзеренних межах.

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

Робота виконана згідно комплексного наукового проекту МОН України (державний реєстраційний номер 0113U000185).

Дзунда Б.С. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
Яворський Я.С. – аспірант;
Ткачук А.І. – аспірант;
Бундура Ю.В. – студент.

- [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. Freik, V.F. Pasichnjak, O.L. Sokolov, B.S. Dzundza. Ukraïns'kij fizichnij zhurnal 50(11), 1250 (2005).
- [7] Tellier C.R., Tosser A.J., Boutrit C. Thin Solid Films 44, 201 (1977).

B.S. Dzundza, Ya.S. Yavorskiy, A.I. Tkachuk, Yu.V. Bandura

Influence of Interfaces on the Scattering of Charge Carriers in Doped Bismuth Telluride Films Lead

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

The influence of interfaces on the scattering of charge carriers in doped bismuth telluride films of lead deposited on sital substrates on their thickness. Found that the dominant role played by scattering on the surface and within intergrain, the relative contribution is determined by the temperature of deposition.

Keywords: Lead telluride, scattering, mobility, surface.