

Я.С. Яворський¹, Б.С. Дзундза¹, Г.Д. Матеїк², О.Б. Костюк¹, А.І. Ткачук¹

Приповерхневі шари та профілі електричних параметрів тонких плівок PbTe:Sb

¹Фізико-хімічний інститут Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: freik@pu.if.ua

²Івано-Франківський національний університет нафти і газу
вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, 76000, Україна

Досліджено розподіл за товщиною ефективних і локальних термоелектричних параметрів тонких плівок PbTe:Sb, вирощених із парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі на ситалових підкладках. Показано, що важливу роль у формуванні приповерхневих шарів відіграє атмосферний кисень, який створює додаткові акцепторні центри.

Ключові слова: тонкі плівки, телурид свинцю, питомий опір, рухливість, легування.

Стаття поступила до редакції 11.01.2012; прийнята до друку 15.03.2012.

Вступ

Тонкі плівки халькогенідів свинцю – перспективні матеріали для створення детекторів та джерел випромінювання в інфрачервоному діапазоні оптичного спектру [1], а також як термоелектричний матеріал в середній області температур (500-700 K) [2].

Встановлено, що їх властивості визначаються як технологічними факторами процесу вирощування, так і умовами їх наступної експлуатації [3]. При цьому домінуючу роль, через низько розмірний стан, відіграють міжфазні межі. У таких системах поверхня створює для електронів потенціальні бар'єри, що суттєво впливає на явища переносу. Крім того, взаємодія поверхні із атмосферним киснем значно ускладнює поверхневі процеси [4,5]. Легування донорною домішкою основної матриці призводить до утворення додаткових центрів розсівання, що також впливає на кінетичні коефіцієнти конденсату.

У даній роботі досліджено розподіл за товщиною ефективних і локальних питомої провідності, холлівського коефіцієнта та термо-ЕРС у плівках PbTe:Sb.

І. Методика експерименту

Плівки для дослідження отримували з парової фази на ситалових підк методом відкритого випаровування у вакуумі наперед синтезованої

сполуки. Температура випарника під час осадження складала $T_v = 700$ оС, а температура підкладок $T_p = 150$ оС. Наявність “пічки-каруселі” із п'яти нагрівників підкладки дозволяла отримати плівки різної товщини в одному технологічному процесі. Товщину плівок у межах (0,08-1,2) мкм задавали часом осадження в інтервалі (0,25-5) хв та визначали за допомогою мікроінтерферометра МІІІ-4.

Вимірювання електричних параметрів свіжо вирощених плівок проводили при кімнатній температурі у постійному магнітному полі. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти. В якості омичних контактів використовувалися плівки срібла. Струм через зразки складав ≈ 1 мА. Магнітне поле напрямлялося перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 1,5 Тл.

Залежність питомої провідності, коефіцієнта Холла і термо-ЕРС плівок PbTe:Sb від товщини зображено на рис. 1.

ІІ. Елементи теорії розрахунків

Виміряні ефективні кінетичні параметри (рис. 1) є деякими інтегральними величинами і залежать від профілю розподілу концентрації носіїв заряду і питомої електропровідності, тобто локальних значень.

У загальному випадку ефективні електричні параметри питома електропровідність $\sigma(d)$, холлівський коефіцієнт $R_H(d)$, термо-ЕРС $S(d)$,

концентрації $n(d)$ і рухливості носіїв $\mu(d)$ плівок пов'язані з відповідними локальними $\sigma(z)$, $R_H(z)$, $\alpha(z)$, $n(z)$, $\mu(z)$ значеннями співвідношеннями [6]:

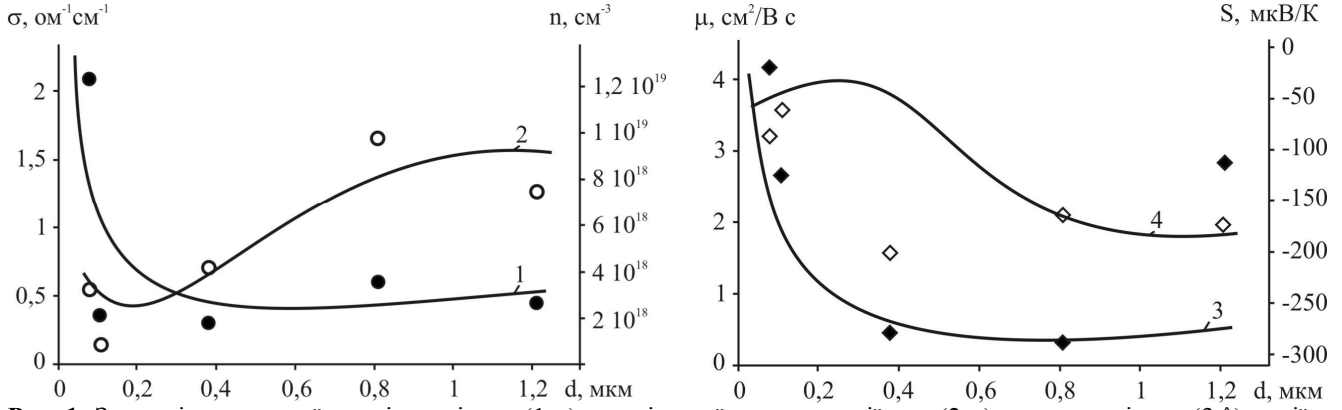


Рис. 1. Залежність питомої провідності σ – (1,○), холлівської концентрації n – (2,●), рухливості μ – (3,◇), термо-ЕРС S – (4,◆), від товщини d для плівок PbTe:Sb. Лінії – розрахунки згідно моделі Петріца.

$$\sigma(z) = \frac{\left[\sigma \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) - \sigma \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \right]}{\Delta d}; \quad (1)$$

$$R_H(z) = \frac{\left[R_H \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \sigma^2 \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) - R_H \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \sigma^2 \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \right] \cdot \Delta d}{\left[\sigma \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) - \sigma \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \right]^2}; \quad (2)$$

$$\mu(z) = R_H(z) \cdot \sigma(z); \quad (3)$$

$$p(z) = \frac{1}{R_H(z) \cdot e}; \quad (4)$$

$$S(z) = \frac{S \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \sigma \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) - S \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \sigma \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right)}{\sigma \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i + \frac{\Delta d}{2} \right) - \sigma \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right) \cdot \left(d_i - \frac{\Delta d}{2} \right)}. \quad (5)$$

Тут $d_i \pm \Delta d/2$ – задана товщина плівки, яка відрізняється внеском наступного елементарного шару Δd ; z – координата цього шару.

Для оцінки провідності приповерхневого шару у плівках аналіз електричних властивостей проводився у рамках двошарової моделі Петріца [7]. Тонку плівку у цій моделі представляють складеною з двох шарів: приповерхневого (s) (область поверхневого заряду) завтовшки d_s , концентрація носіїв струму в якому n_s , а їх рухливість μ_s , і об'ємного (b), які з'єднані паралельно. Товщина плівки $d = d_s + d_b$.

У цьому випадку [7]:

$$\sigma = \frac{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}{d}; \quad (6)$$

$$R = \frac{R_s \sigma_s^2 d_s + R_b \sigma_b^2 d_b}{(\sigma_s d_s + \sigma_b d_b)^2} d; \quad (7)$$

$$\mu = \sigma R = \frac{\sigma_s^2 d_s R_s + \sigma_b^2 d_b R_b}{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}; \quad (8)$$

$$S = \frac{S_s \sigma_s d_s + S_b \sigma_b d_b}{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}. \quad (9)$$

Співвідношення (6)-(9), за умови вимірних значень σ , R_H , μ , S та відомих σ_b , R_b , μ_b , S_b і d , дає можливість наближено визначити параметри приповерхневого шару σ_s , R_s , μ_s відповідно.

III. Аналіз результатів

Свіжовирощені плівки характеризувались п-типом провідності і немонотонною залежністю

концентрації носіїв (рис. 1, крива 2), яка при зменшенні товщини спадає. Провідність і рухливість зростають в області малих товщин (рис. 1, крива 1,3), а термо-ЕРС, навпаки, більша для товстих плівок (рис. 1, крива 4), крім того локальні (рис. 2) значення електричних параметрів виявляють біля поверхні, завдяки дії кисню, область р-типу провідності. На повітрі протягом двох діб всі зразки змінюють провідність з n на р-тип.

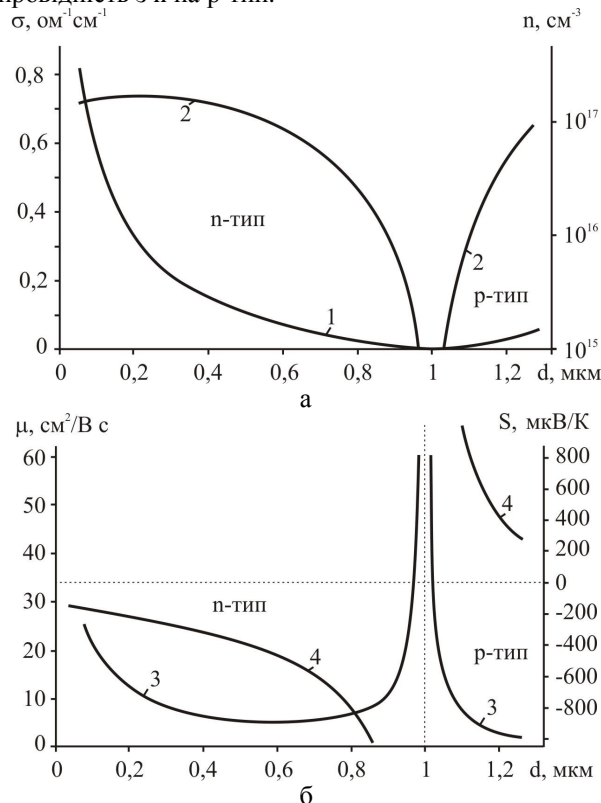


Рис. 2. Профілі розподілу за товщиною локальних значень електричних параметрів (питомої провідності σ – (1), холлівської концентрації n – (2), рухливості μ – (3) носіїв, термо-ЕРС S – (4)) від товщини d для плівок PbTe:Sb. Нуль відповідає межі розділу “плівка-підкладка”.

Для пояснення немонотонних змін концентрації носіїв були розраховані профілі розподілу електричних параметрів по товщині (рис. 2), що в поєднанні з розрахунками згідно моделі Петріца дало можливість оцінити вплив приповерхневих шарів на електричні властивості плівок. Результати розрахунку наведено в таблиці.

Значення електричних параметрів приповерхневого шару, розраховані згідно моделі Петріца, підтверджують отримані з профілів розподілу результати про значний вплив кисню і наявність досить товстого (~280 нм) поверхневого шару р-типу провідності. Порівняно низькі значення ефективної концентрації носіїв (рис. 1, крива 2) в легovanому конденсаті PbTe:Bi зумовлено якраз акцепторним впливом кисню. Наявність приповерхневого шару р-типу і взаємною компенсацією також можна пояснити те, що локальні значення рухливості на порядок вищі ніж

експериментальні.

Таблиця

Значення параметрів приповерхневого шару (s) і об'єму (b) для плівок SnTe

Параметри	Свіжовирощені
d_s , мкм	0,28
σ_s , Ом ⁻¹ см ⁻¹	0,1
σ_b , Ом ⁻¹ см ⁻¹	0,8
R_s , см ³ Кл ⁻¹	40
R_b , см ³ Кл ⁻¹	-0,9
p_s , см ⁻³	1,56E+17
p_b , см ⁻³	6,94E+18
μ_s , см ² В ⁻¹ с ⁻¹	4
μ_b , см ² В ⁻¹ с ⁻¹	0,72
S_s , мкВ/К	270
S_b , мкВ/К	-200

У будь-якому випадку неоднорідність плівок варто враховувати при інтерпретації експериментальних результатів. Внаслідок неоднорідності провідності матеріалу по товщині, визначені з вимірювань ефекту Холла і електропровідності, концентрація і рухливість носіїв струму є деякими усередненими величинами, що залежать від профілю їх розподілу. Більше того, навіть тип провідності, в деяких випадках, може бути усередненою величиною. Такий стан має місце, коли в плівці спостерігається р-n-перехід як у нашому випадку (рис. 2).

Висновки

1. Досліджено розподіл за товщиною ефективних і локальних значень електричних параметрів для плівок телуриду свинцю легovanого сурмою, вирощених із парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі на ситалових підкладках.

2. Для плівок із усередненою електронною провідністю на поверхні виявлено досить товстий (~280 нм) шар р-типу. Показано, що він виникає внаслідок акцепторної дії атмосферного кисню вже при кімнатній температурі.

3. В рамках моделі Петріца розраховано значення електричних параметрів приповерхневих шарів.

Робота частково виконана у рамках наукових проектів МОН України (№ реєстрації 0111U001766), ДФФД України (державні реєстраційні номери 0111U00550074, 0112U003693) та НАН України (державний реєстраційний номер 0110U006281).

Яворський Я.С. – аспірант;

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

Матеїк Г.Д. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Костюк О.Б. – студентка;

Ткачук А.І. – аспірант.

- [1] J.N. Zemel. Recent developments in epitaxial IV-VI films // *J. Luminescence*, **7**, pp 524-541 (1973).
- [2] Д.М. Фрейк, М.А. Галушак, Л.Й. Межиловская. *Физика и технология тонких пленок*. Вища школа, Львов. 182с., (1988).
- [3] А.Н. Ковалев, В.В. Остробородова, В.И. Парамонов, П.И. Фоломин Проявление неоднородностей в нелегированных халькогенидах свинца по гальваномагнитным свойствам // *Физика и техника полупроводников*, **23**(11), сс. 2039-2048, (1989).
- [4] Ю.А. Бойков, В.А. Кутасов Влияние приграничных слоев на свойства тонких пленок теллурида свинца. // *Физика твердого тела*. 25(10), сс.2984-2987 (1983).
- [5] Д.М. Фрейк, Б.С. Дзундза, Я.С. Яворський, О.Б. Костюк Зміна кінетичних параметрів плівок PbTe:Bi при їх витримці на повітрі // *Фізика і хімія твердого тіла*. 12(1). сс. 85-88 (2011).
- [6] Фрейк Д.М. Салій Я.П., Довгий О.Я. Ефективні і локальні значення електричних параметрів у полікристалічних плівках телуриду свинцю // *Фізика і хімія твердого тіла*. 2(4). сс. 711-718 (2001).
- [7] R.L. Petritz. Theory of an Experiment for Measuring the Mobility and Density of Carriers in the Space-Charge Region of a Semiconductor Surface

Ya.S. Yavorskiy¹, B.S. Dzundza¹, G.D. Mateik², O.B. Kostuk¹, A.I. Tkachuk¹

Near-Surface Layers and Profiles of Electric Parameters of Thin Films PbTe:Sb

¹Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: freik@pu.if.ua

²Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

Investigated the distribution of the thickness and effective local thermoelectric parameters of thin films of PbTe:Sb, grown from the vapor phase by open evaporation in a vacuum at sital substrates. It is shown that an important role in the formation of surface layers of the atmosphere plays oxygen, which creates additional acceptor centers.

Key words: thin films of lead telluride, resistivity, mobility, doping.