

Б.С. Дзундза¹, І.І. Чав'як¹, А.І. Ткачук¹, Г.Д. Матеїк², О.Л. Соколов¹

Приповерхневі шари та профілі електричних параметрів тонких плівок SnTe

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

²Кафедра фізики і новітніх технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, 76000, Україна

Досліджено залежності кінетичних параметрів полікристалічних плівок SnTe від товщини та температури їх відпалу на повітрі. Показано, що важливу роль у формуванні приповерхневих шарів відіграє атмосферний кисень.

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

Стаття постуила до редакції 11.03.2010; прийнята до друку 15.06.2010.

Вступ

Для тонких плівок, на відміну від монокристалів, характерними є те, що відношення поверхні до об'єму є значним. Товщина плівок, у ряді випадків, є тим параметром, який визначає транспортні властивості і домінуючі механізми розсіювання носіїв заряду. Відомо [1,2], що в області малих товщин, механізми розсіювання в плівках є суттєво відмінними від масивних зразків. Тут, зокрема, необхідно враховувати розсіювання на міжфазних і міжзеренних межах, дислокаціях невідповідності та інших дефектах, пов'язаних із приповерхневим станом. Локалізація носіїв струму на поверхні 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. Ступінь впливу приповерхневих областей на властивості плівок залежить від товщини останніх, структури, рівня легування, температури [1-4]. При цьому важливу роль відіграє атмосферний кисень [5].

У даній роботі досліджено особливості поведінки питомої провідності, холлівського коефіцієнта та термо-ЕРС у плівках телуриду олова, осаджених на свіжі сколи (0001) слюди мусковіт від товщини та температури відпалу на повітрі.

I. Методика експерименту

Плівки для дослідження отримували з парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі на

свіжі сколи (0001) слюди мусковіт. Температура випарника під час осадження складала $T_v = 700^\circ\text{C}$, а температура підкладок $T_{\text{п}} = 150\text{-}250^\circ\text{C}$. Товщину плівок у межах (0,05-2) мкм задавали часом осадження в інтервалі (0,5-30) хв та визначали за допомогою мікроінтерферометра МІІ-4.

Вимірювання електричних параметрів свіжо вирощених плівок проводили при температурах 290-353 К у постійних магнітних полях. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти. В якості омичних контактів використовувалися плівки срібла. Струм через зразки складав ≈ 4 мА. Магнітне поле напрямлялося перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 1,5 Тл.

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

II. 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 $\sigma(d)$, $R_H(d)$, $\alpha(d)$, $\mu(d)$ плівок пов'язані з відповідними локальними $\sigma(z)$, $R_H(z)$, $\alpha(z)$, $\mu(z)$ значеннями співвідношеннями [6]:

Приповерхневі шари та профілі електричних параметрів...

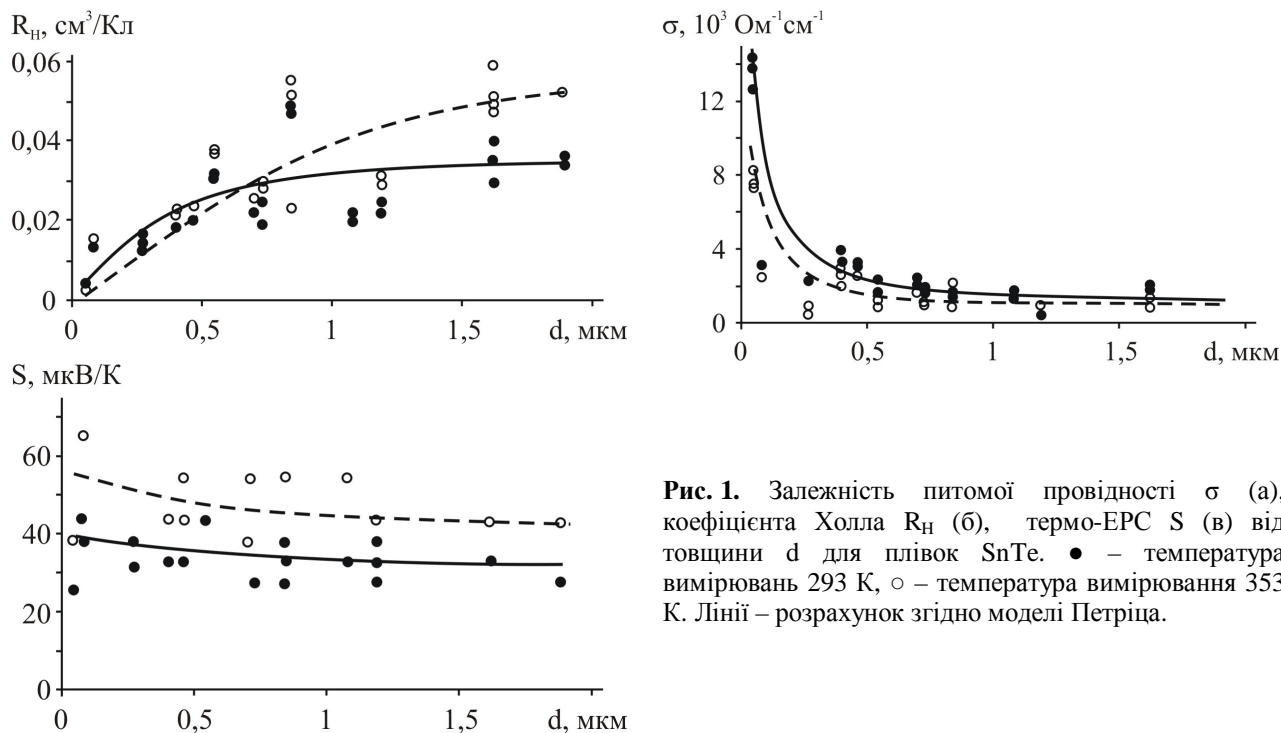


Рис. 1. Залежність питомої провідності σ (а), коефіцієнта Холла R_H (б), термо-ЕРС S (в) від товщини d для плівок SnTe. \bullet – температура вимірювань 293 К, \circ – температура вимірювання 353 К. Лінії – розрахунок згідно моделі Петріца.

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

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

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

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

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

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 виміряних 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.

На рис. 2, враховуючи експериментальні результати і отримані вирази (5) – (9), наведено профілі вже локальних значень кінетичних коефіцієнтів для досліджуваних наноплівочок.

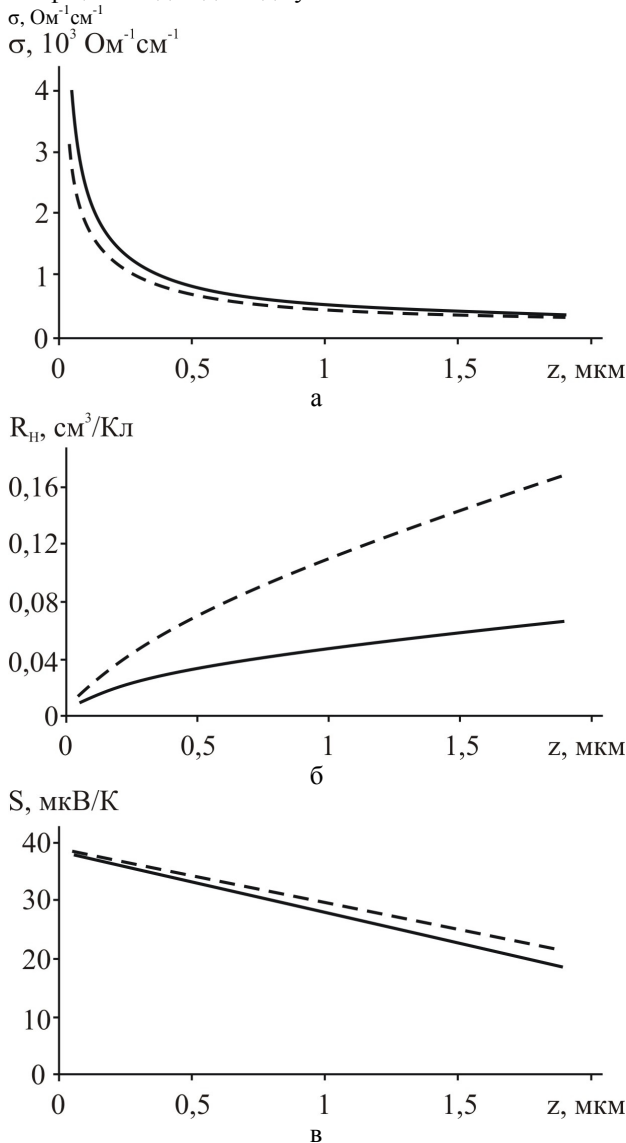


Рис. 2. Профілі розподілу за товщиною локальних значень електричних параметрів (питомої провідності (а), коефіцієнта Холла (б), термо-ЕРС (в)) від товщини d для плівок SnTe. Суцільна лінія – свіжовирощені плівки, штрихова – відпалені при температурі 353 К.

III. Аналіз результатів

З профілів локальних значень електричних параметрів (рис. 2) можна визначити середні значення провідності і концентрації об'ємного шару та, використовуючи модель Петріца, оцінити параметри приповерхневого шару. Результати розрахунку наведено в таблиці.

З рис. 2 бачимо, що для вирощених, описаним методом плівок, мають місце суттєві неоднорідності електричних параметрів по товщині. Так, зокрема,

ефективні (рис. 1) і локальні (рис. 2) значення електричних параметрів виявляють на поверхні сильно збагачену дірками область.

Таблиця

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

Параметри	Свіжовирощені	Відпалені при 353 К
d_s , мкм	0,09	0,18
σ_s , Ом ⁻¹ см ⁻¹	9100	3200
σ_b , Ом ⁻¹ см ⁻¹	840	760
R_s , см ³ Кл ⁻¹	0,008	0,007
R_b , см ³ Кл ⁻¹	0,031	0,091
p_s , см ⁻³	$7,81 \cdot 10^{20}$	$8,93 \cdot 10^{20}$
p_b , см ⁻³	$2,02 \cdot 10^{20}$	$6,87 \cdot 10^{19}$
μ_s , см ² В ⁻¹ с ⁻¹	72,8	22,4
μ_b , см ² В ⁻¹ с ⁻¹	26,1	69,2
S_s , мкВ/К	39	52
S_b , мкВ/К	28	38

Суттєве спостережуване зростання поверхневої провідності плівок SnTe на повітрі, пов'язане із збагаченням поверхні основними носіями заряду за рахунок акцепторної дії кисню. Термо-ЕРС поверхневого шару лише дещо більша за об'ємну (табл. 1).

Відпал плівок на повітрі призводить до занчного зростання поверхневої концентрації дірок, деякого зменшення провідності та зростання термо-ЕРС. Товщина приповерхневого шару при цьому зростає приблизно в двічі.

Висновки

1. Досліджено розподіл за товщиною ефективних і локальних значень питомої провідності, холлівського коефіцієнта та термо-ЕРС у тонких плівках SnTe, вирощених із парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі на підкладках (0001) слюди-мусковіт.

2. В рамках моделі Петріца розраховано значення електричних параметрів приповерхневих шарів як свіжовитрошених так і відпалених на повітрі при температурі 353 К плівок.

3. Показано, що на поверхні плівок, за рахунок взаємодії з атмосферним киснем, утворюється сильно збагачений на акцепторні центри шар товщиною $d_s \approx (0,09-0,18)$ мкм.

Автори висловлюють вдячність проф. Д.М. Фрейку за постановку задачі та обговорення результатів дослідження.

Робота частково фінансується МОН України (державний реєстраційний номер 0109U001414) та ДФФД МОН України (державний реєстраційний номер 0109U004505).

Дзундза Б.С. – кандидат фізико-математичних наук,
науковий співробітник;
Чав'як І.І. – аспірант;
Ткачук А.І. – старший лаборант;
Матеїк Г.Д. – кандидат фізико-математичних наук,
доцент;
Соколов О.Л. – науковий співробітник.

- [1] J.N. Zemel. in Recent developments epitaxial IV-VI films // *J. Luminescence*, **7**, pp 524-541 (1973).
- [2] *Поверхностные свойства твердых тел.* Под. ред. М. Грина. Мир, М. 432 с. (1972).
- [3] 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).
- [4] Д.М. Фреїк, В.Ф. Пасічняк, О.Л. Соколов, Б.С. Дзундза. Розсіяння носіїв заряду в епітаксійних плівках РbTe // *Український фізичний журнал*, **50**(11), сс. 1250-1252 (2005).
- [5] Ю.А. Бойков, В.А. Кутасов Влияние приграничных слоев на свойства тонких пленок теллурида свинца. // *Физика твердого тела*. 25(10), сс2984-2987 (1983).
- [6] Фреїк 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 // *Phis. Rev.* (110), P. 1254 (1958).

B.S. Dzundza¹, I.I. Chaviak¹, A.I. Tkachuk¹, G.D. Mateyk², O.L. Sokolov¹

Near-surface Layers and Profiles Electric Parameters of Thin Films SnTe

Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua
²*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,*
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

The dependences kinetic parameters of polycrystalline films SnTe on their thickness and annealing temperature in air are research. Shown that an important role in the formation of surface layers plays atmospheric oxygen.