

Б.С. Дзундза, І.І. Чав'як, Л.Й. Межиловська, О.Б. Костюк

Приповерхневі шари і термоелектричні властивості тонких плівок станум телуриду

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна, E-mail: freik@pu.if.ua

Досліджено термоелектричні властивості плівок телуриду олова, отриманих конденсацією пари у відкритому вакуумі на ситалові та слюдяні підкладки. На основі двошарової моделі Петріца визначено електричні параметри приповерхневих шарів. Отримані результати інтерпретуються процесами адсорбції кисню на поверхні та його дифузії в глибок конденсату.

Ключові слова: тонкі плівки, телурид олова, поверхня, термоелектричні властивості.

Стаття постуила до редакції 11.10.2013; прийнята до друку 15.12.2013.

Вступ

Станум телурид широко застосовуються в напівпровідниковій техніці. Також він є перспективним як термоелектричний матеріал для середньотемпературної області (500-750) [1,2]. Отримання тонкоплівкового матеріалу у значній мірі розширює межі практичного застосування. Ще до тепер залишається до кінця нерозв'язаною задача про стабільність у часі електричних параметрів. Крім того, при витримці плівок на повітрі завдяки акцепторній дії кисню, на поверхні утворюється шар збагачений носіями р-типу провідності [3].

У даній роботі досліджено закономірності зміни термоелектричних параметрів плівок станум телуриду отриманих із парової фази їх товщини на ситалових та слюдяних підкладках.

I. Методика експерименту

Плівки для дослідження отримували осадженням пари синтезованого матеріалу SnTe у вакуумі на підкладки із свіжих сколів (0001) слюди-мусковіт та ситалу. Температура випарника складала $T_v = 870$ К, а температура підкладок $T_p = 470$ К. Товщину плівок задавали часом осадження в межах (5-480) с та вимірювали за допомогою мікроінтерферометра МІІ-4.

Вимірювання електричних параметрів плівок проводилося на повітрі при кімнатних температурах у постійних магнітних полях на розробленій автоматизованій установці, яка забезпечує як процеси вимірювання електричних параметрів, так і реєстрацію і первинну обробку даних, з можливістю

побудови графіків часових і температурних залежностей. 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.

Результати досліджень і залежності питомої електропровідності σ і холлівської концентрації носіїв струму n_H та коефіцієнта Зеебека S від товщини представлені на рис. 1-3.

II. Елементи теорії

У плівках при їх витримці на повітрі завдяки акцепторній дії кисню, на поверхні утворюється шар збагачений носіями р-типу.

Для оцінки провідності приповерхневого шару у плівках аналіз електричних властивостей доцільно використати двошарову модель Петріца [4]. Тонку плівку у цій моделі представляють складеною з двох шарів: приповерхневого (I) (область поверхневого заряду) завтовшки d_s , концентрація носіїв струму в якому p_s , а їх рухливість μ_s , і об'ємного (II), що характеризується аналогічними величинами: d_b , p_b , μ_b які з'єднані паралельно. Товщина плівки $d = d_s + d_b$.

У цьому випадку згідно [4]:

$$\sigma = \frac{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}{d}; \quad (1)$$

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

$$\mu = \sigma R = \frac{\sigma_s^2 d_s R_s + \sigma_b^2 d_b R_b}{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b} \quad (3)$$

$$S = \frac{S_s \sigma_s d_s + S_b \sigma_b d_b}{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b} \quad (4)$$

За умови відомих експериментальних значень σ , R , μ та об'ємних σ_b , R_b , μ_b , S_b і d , із даних співвідношень можна наближено визначити параметри приповерхневого шару σ_s , R_s , μ_s , S_s відповідно.

III. Результати дослідження та їх аналіз

Плівки станум телуриду характеризується значною концентрацією дірок, яка для товстих плівок досягає значень 10^{20} см^{-3} , і при зменшенні товщини зростає більш ніж на порядок. Така поведінка концентраційних залежностей пов'язана з адсорбцією кисню поверхнею та його дифузиею в глиб плівки. Провідність та коефіцієнт Зеебека також значно зростають при зменшенні товщини плівки досягаючи значень $5 \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ і 70 мкВ/К відповідно (рис. 1, 3), що забезпечує високі значення термоелектричної потужності $S^2 \sigma \approx 20 \text{ мкВт/К}^2 \text{ см}$. Товсті плівки мають значно нижчі значення термоелектричних параметрів $\sigma = 1,5 \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ і $S = 20 \text{ мкВ/К}$, $S^2 \sigma \approx 0,5 \text{ мкВт/К}^2 \text{ см}$.

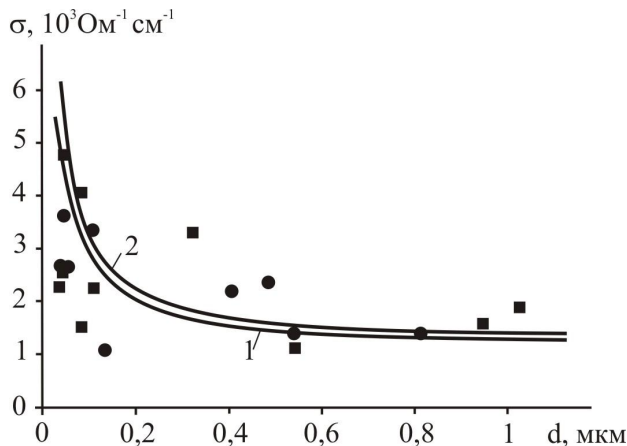


Рис. 1. Залежності питомої електропровідності σ від товщини d плівок SnTe на підкладках слюди (1, ●) та ситалу (2, ■). Точки – експеримент, суцільні лінії – розрахунок згідно моделі Петріца.

Параметри приповерхневого шару, оцінені згідно моделі Петріца (1) – (4), наведені в таблиці. Розраховані криві задовільно описують експериментально отримані результати (рис. 1-3) за визначених значень приповерхневих електричних параметрів d_s , σ_s , R_s , p_s , μ_s , S_s (табл.).

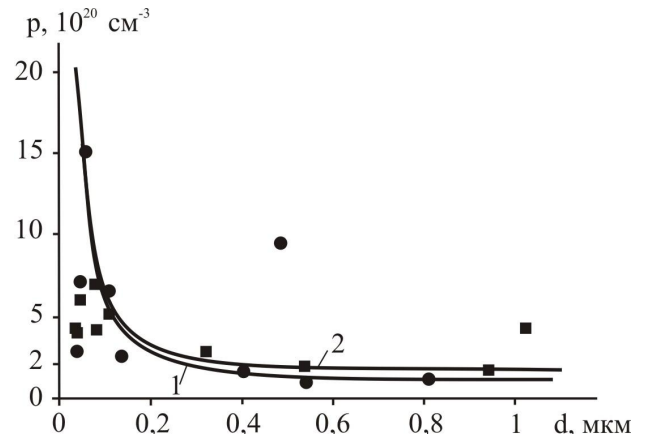


Рис. 2. Залежності холлівської концентрації носіїв струму p від товщини d плівок SnTe на підкладках слюди (1, ●) та ситалу (2, ■). Точки – експеримент, суцільні лінії – розрахунок згідно моделі Петріца.

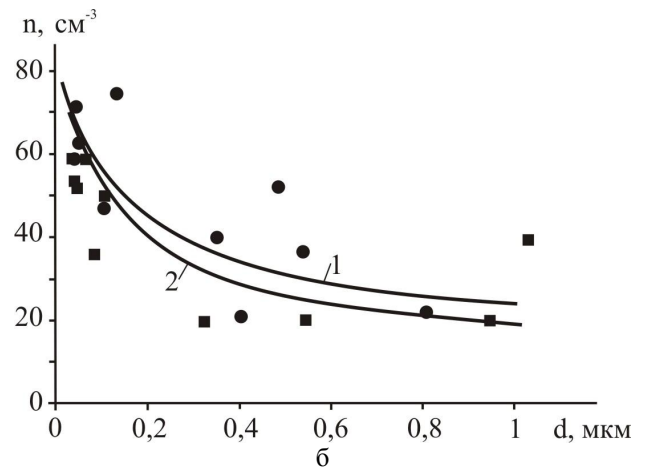


Рис. 3. Залежності коефіцієнта Зеебека S від товщини d плівок SnTe на підкладках слюди (1, ●) та ситалу (2, ■). Точки – експеримент, суцільні лінії – розрахунок згідно моделі Петріца.

Таблиця

Значення параметрів приповерхневого шару (a) і об'єму (b) для плівок SnTe, розраховані згідно двошарової моделі Петріца

Параметри	Вид підкладки	
	Слюда	Ситал
d_s , мкм	0,029	0,031
σ_s , $\text{Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	7000	7000
σ_b , $\text{Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	1070	1250
R_s , $\text{см}^3 \text{ Кл}^{-1}$	0,002	0,002
R_b , $\text{см}^3 \text{ Кл}^{-1}$	0,075	0,055
p_s , см^{-3}	$3,1 \cdot 10^{21}$	$3,1 \cdot 10^{21}$
p_b , см^{-3}	$8,3 \cdot 10^{19}$	$1,1 \cdot 10^{20}$
μ_s , $\text{см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$	14	14
μ_b , $\text{см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$	80	69
S_s , мкВ/К	70	70
S_b , мкВ/К	15	10

Видно, що концентрація дірок приповерхневого шару p_s більш ніж на порядок вища за об'ємну для всіх зразків незалежно від роду підкладки. Це пов'язано з процесом адсорбції кисню вільною

поверхнею конденсатів. Товщина приповерхневого шару дуже слабо залежить від роду підкладки, і є дещо більшою для плівок отриманих на ситалових підкладках, що можна пояснити їх меншою структурною досконалістю у порівнянні з зразками на слюді у яких завдяки впорядкованій структурі процес дифузії кисню вглиб плівки дещо повільніший.

Зауважимо, що спостережуване зростання концентрації основних носіїв у приповерхневих шарах SnTe, тобто утворення p^+ областей і зумовлює їх високу питому провідність ($\sigma_s = 7 \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$) з однієї сторони, а з іншої зменшення рухливості дірок ($\mu_s = 14 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) у порівнянні із відповідними значеннями об'єму конденсату ($\sigma_b = (1,07-1,25) \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, $\mu_b = (69-80) \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) відповідно (табл.).

Таким чином, високі значення провідності у поєднанні із значною величиною коефіцієнта Зеебека плівок SnTe (рис. 1-3, табл.) дозволяють отримувати стабільний в часі термоелектричний матеріал p -типу провідності який є перспективним для побудови плівкових мікромодулів термоелектричного перетворення енергії.

Висновки

1. Досліджено термоелектричні властивості парофазних тонких плівок станум телуриду отриманих на підкладках ситалу та слюди.
2. З використанням моделі Петріца визначено термоелектричні параметри приповерхневого шару.
3. Показано, що тонкі плівки SnTe p -тип провідності мають покращені термоелектричні параметри у порівнянні із масивними зразками.

Робота виконана згідно комплексного наукового проекту МОН України (державний реєстраційний номер 0113U000185, та ДФФД України (державний реєстраційний номер 0113U003689).

Дзундза Б.С. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
Чав'як І.І. – викладач;
Межиловська Л.Й. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Костюк О.Б. – студентка фізико-технічного факультету.

- [1] V.M. Shperun, D.M. Freik, R.I. Zapuhljak, Termoelektrika teluridu svincju ta jogo analogiv (Plaj, Ivano-Frankivs'k, 2000).
- [2] D.M. Freik, M.A. Galushhak, L.J. Mezhiловskaja, Fizika i tehnologija tonkih plenok. (Vishha shkola, L'vov, 1988).
- [3] Ju.V. Klanichka, B.S. Dzundza, L.J. Mezhiловs'ka, Ja.S. Javors'kij, Physics and Chemistry of Solid State. 12, 346 (2011).
- [4] R.L. Petritz, Phis. Rev. (110), 1254 (1958).

B.S. Dzundza, I.I. Chaviyak, L.Yo. Mezhylovska, O.B. Kostyuk

Surface Layers and Thermoelectric Properties of Thin Films of Tin Telluride

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

The thermoelectric properties of tin telluride films obtained by vapor condensation on the high vacuum on ceramics and mica substrate are researched. Based on a two-layer Petritz's model defined electrical parameters of surface layers. The results are interpreted by adsorption of oxygen on the surface and its diffusion into the interior of the condensate.

Keywords: thin film, tin telluride, surface, thermoelectric properties.