

Б.С. Дзундза, О.Б. Костюк, В.І. Маковишин, А.І. Ткачук

Явища переносу у тонких плівках SnTe легованих стибієм

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

Досліджено вплив товщини тонких плівок на основі сполук SnTe:Sb, осаджених на ситалових підкладках на їх структуру і механізми розсіювання носіїв струму. Встановлено, що домінуючу роль відіграє розсіювання носіїв струму на поверхні зумовлене збільшенням розмірів нанокристалітів із товщиною парофазних структур.

Ключові слова: станум телурид, розсіювання носіїв, рухливість, поверхня, наноструктура.

Стаття постуила до редакції 07.04.2015 ; прийнята до друку 15.06.2015.

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:Sb зі вмістом стибію 1 ат.% 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 МІІІ-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.

II. Результати експерименту

На рис. 1, I-IV наведено АСМ-зображення поверхні наноструктур SnTe:Sb зі вмістом стибію 1 ат.%. Видно, що парофазний конденсат сформований із нанорозмірних кристалітів пірамідальної форми.

Встановлено, що середні розміри нанокристалітів із товщиною конденсату збільшуються (рис. 1, рис. 2). Тип підкладки не значно впливає на форму та розміри нанокристалітів але для структур на ситалових підкладках розміри зерен з товщиною зростають дуже повільно, на відміну від структур на слюді (рис. 2). Також слід відзначити що тонкі плівки отримані на слюді характеризуються неоднорідною структурою, з наявністю поодиноких пірамідальних виступів.

Явища переносу у тонких плівках SnTe легованих стибієм

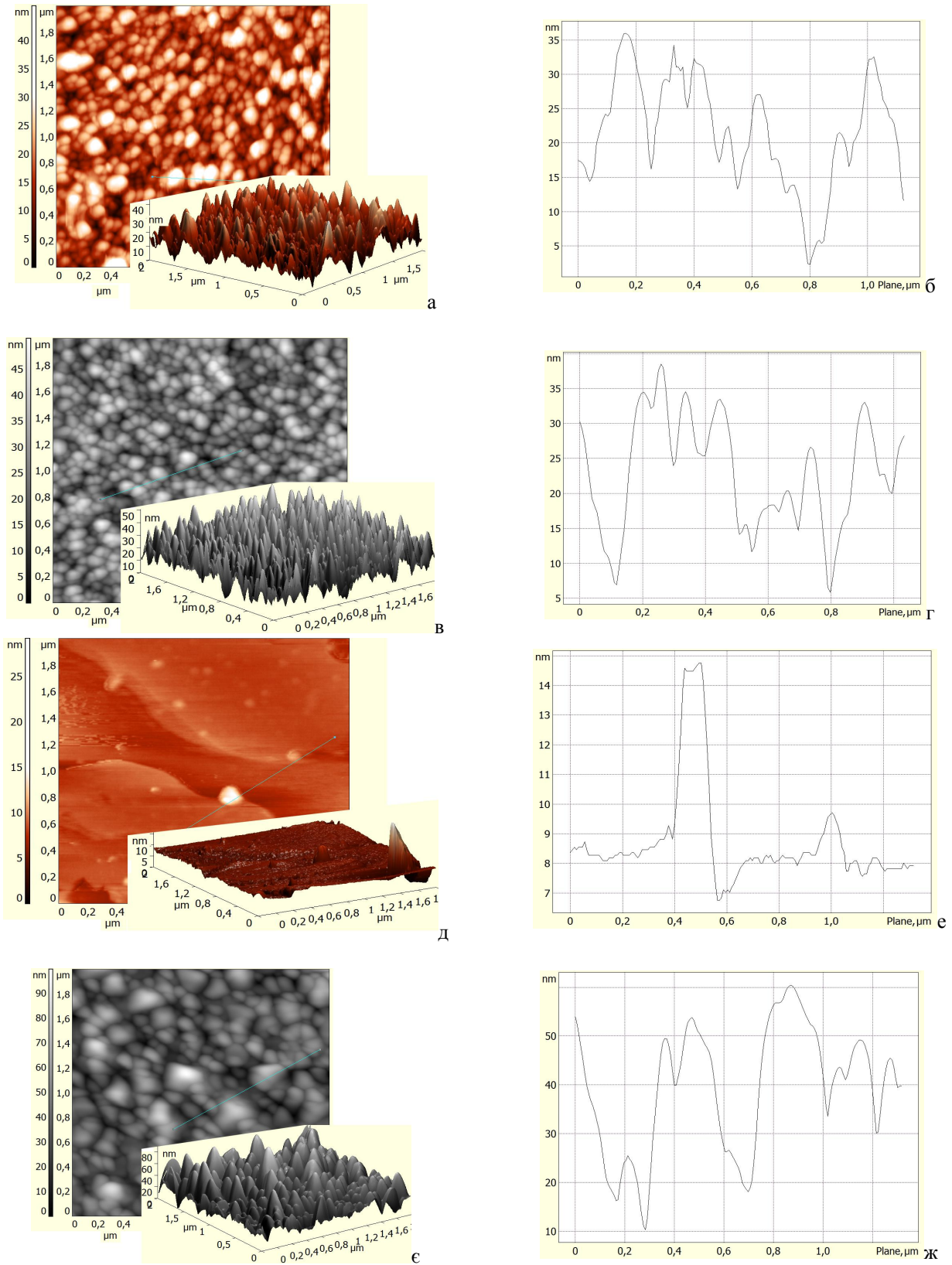


Рис. 1. 2D і 3D ACM-зображення та профілограми поверхні плівок: SnTe:Sb – а,б,в,г - на ситалі; д,е,є,ж – на слюді. Товщина плівок д, нм: 270 (а,б), 1350 (в,г); 270 (д,е), 2160 (є,ж).

Що стосується товщинних залежностей електричних параметрів парофазних конденсатів, то вони зводяться до наступного. Питома електропровідність (σ) із товщиною (d) (зменшенням $1/d$) зростає для всіх досліджуваних структур (рис. 3).

Рухливість носіїв струму (μ) конденсатів адекватно змінюється із товщиною (d) (рис. 4): дещо зростає із збільшенням d . Останнє добре корелює також із характером зміни розмірів нанокристалітів: – характерна насиченість їх значень для конденсатів при $d > (1000-3000)$ нм (рис. 2).

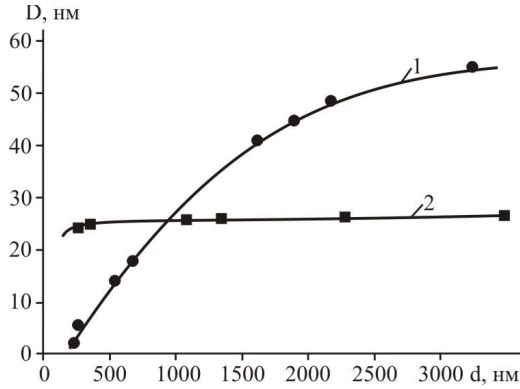


Рис. 2. Залежність середніх розмірів нанокристалітів у нормальному до поверхні напрямку (D) від товщини (d) плівок SnTe:Sb(1 ат.% Sb): 1,● –слюда-мусковіт, 2,■ – ситал.

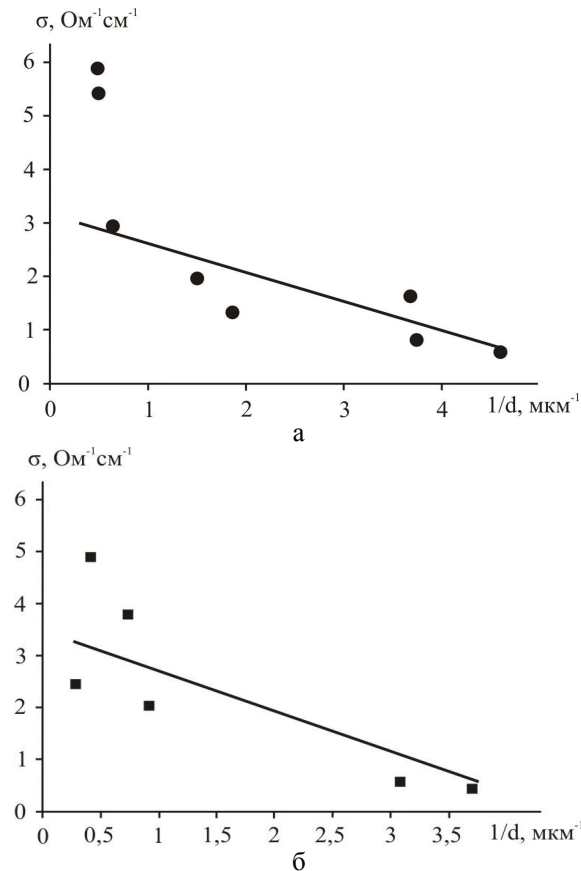


Рис. 3. Залежність питомої провідності (σ) від оберненої товщини ($1/d$) для плівок SnTe:Sb(1 ат.% Sb):а,● –слюда-мусковіт, б,■ – ситал.

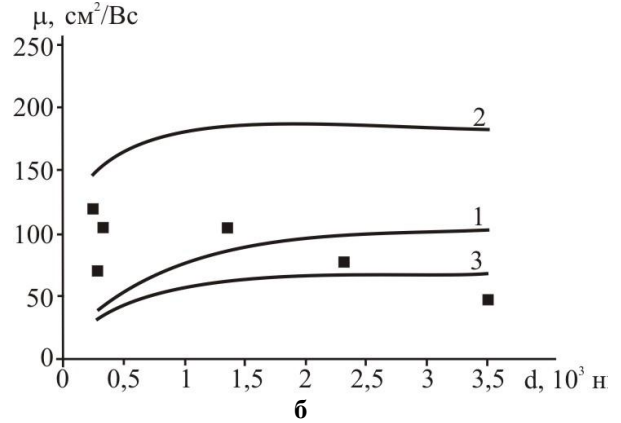
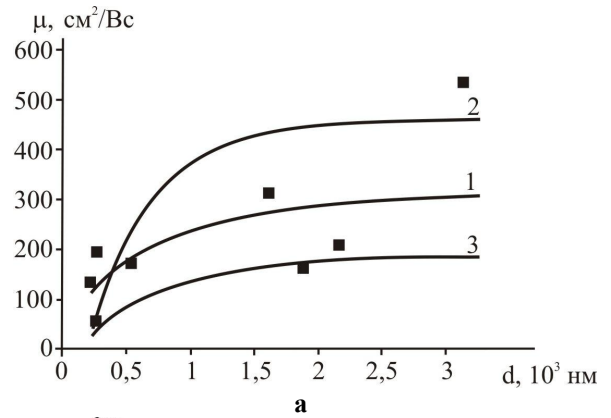


Рис. 4. Залежність рухливості носіїв струму (μ) від товщини (d) для свіжовирощених плівок SnTe:Sb(1 ат.% Sb): а,● –слюда-мусковіт, б,■ – ситал. Рухливість носіїв при врахуванні: 1 – розсіювання на поверхні (μ_n); 2 – розсіювання на межах зерен (μ_z); 3 – сумарна рухливість (μ) згідно (1). Точки – експеримент.

III. Обговорення результатів

Відносно товщинних d -залежностей структурних і електричних параметрів конденсатів (рис. 3 – рис. 5), то їх можна пояснити механізмами розсіювання носіїв струму на міжзеренних межах та поверхні [5]. Так, зокрема, за умови переважання розсіювання носіїв струму на поверхні (μ_n) і межах зерен (μ_z) загальна рухливість носіїв струму (μ) у плівок визначається правилом Маттісена [5]. 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_z визначається як

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

де v – теплова швидкість носіїв. При цьому згідно [4]:

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

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 Тейлора [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 $\sigma \sim d^{-1}$, де $A = \sigma_0$;

$$B = -\frac{3}{8} \sigma_0 I (1-P).$$

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 v 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. 4).

Для кімнатних температур згідно експериментальних залежностей питомої електропровідності (σ) від оберненої товщини ($1/d$) конденсатів (рис. 3) середня довжина вільного пробігу λ носіїв струму розрахована згідно моделі Тейлора, для тонких плівок на основі SnTe:Sb на ситалі складає ~ 60 нм, а для плівок на слюді ~ 45 нм, що пов'язано з різною структурною досконалістю конденсатів (рис. 1).

На основі аналізу результатів досліджень (рис. 3) можна стверджувати, що основний внесок у рухливість носіїв заряду дає дифузне розсіювання на поверхні (μ_n) (рис. 4 – криві 1), вплив міжзеренних меж (μ_s) значно менший завдяки зростанню розмірів зерен.

Висновки

1. Досліджено залежності розмірів нанокристалітів питомої провідності та рухливості носіїв струму у тонких плівках на основі сполук SnTe:Sb у залежності від їх товщини та хімічного складу.

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

3. Показано, що домінуючими механізмами є розсіювання носіїв на поверхні, а не на міжзеренних межах, що пов'язано із значними розмірами нанокристалітів у тонко плівкових структурах.

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

Дане дослідження частково фінансується Відділом Громадської Дипломатії НАТО у рамках програми “Наука заради миру” (NATO.NUKR.SFPP984536)

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

Костюк О.Б. – аспірант;

Маковишин В.І. – аспірант;

Ткачук А.І. – старший лаборант НДЦНМ

- [1] В.М. Шперун, Д.М. Фреїк, Р.І. Запужляк, Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів (Плай, Івано-Франківськ, 2000).
- [2] Д.М. Фреїк, М.А. Галушак, Л.Й. Межиловская, Физика и технология тонких пленок (Вища школа, Львов, 1988).
- [3] Ю.В. Кланічка, Б.С. Дзундза, Л.Й. Межиловська, Я.С. Яворський, Фізика і хімія твердого тіла 12, 346 (2011).
- [4] Поверхностные свойства твердых тел. Под. ред. М. Грина (Мир, Москва, 1972).
- [5] P.R. Vaya, J. Majht, B.S.V. Gopalam, C. Dattatrepan, Phys. Stat. Sol. (a), 87(341), 341 (1985).
- [6] Д.М. Фреїк, І.І. Чав'як, Б.С. Дзундза, О.Б. Костюк, Фізика і хімія твердого тіла 13(1), 73 (2012).
- [7] C.R. Tellier, A.J. Tossier, C. Boutrit, Thin Solid Films 44, 201 (1977).

Б.С. Дзундза, О.Б. Костюк, В.І. Маковишин, А.І. Ткачук

B.S. Dzundza, O.B. Kostyuk, V.I. Makovyshyn, A.I. Tkachuk

Transport Phenomena in thin Films of SnTe Doped Stibium

*Vasyl Stefanyk Prekarpathian University, Shevchenko Str., 57, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine,
e-mail: fcss@pu.if.ua*

The influence of the thickness of thin films based on compounds SnTe: Sb, deposited on Sital substrates at their structure and mechanisms of carrier scattering are researched. The dominant role of scattering on the surface due to the increasing size of nanocrystals with increasing of thickness vapor-phase structures are defined.

Keywords: tin telluride, scattering mechanisms, mobility, surface, nanostructure.