

**Фреик Д.М., Дзундза Б.С., Костюк О.Б., Маковышын В.И.**

Прикарпатский национальный университет имени Василя Стефаныка,  
ул. Шевченко, 57, Ивано-Франковск, 76018, Украина

## **ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕЛУРИДА ОЛОВА ЛЕГИРОВАННОГО СУРЬМОЙ**

*Исследованы термоэлектрические свойства тонких пленок на основе телурида олова легированного сурьмой SnTe:Sb с содержанием стибия 2 ат.%, полученных в открытом вакууме при разных температурах осаждения на свежих сколах (0001) слюды. Установлено, что максимальную термоэлектрическую мощность владеют образцы толщиной около 1.5 мкм, которая достигает 25 мВт/К<sup>2</sup>-см, что значительно лучше чем в чистом телуриде олова.*

**Ключевые слова:** тонкие пленки, телурид олова, легирование, термоэлектрические свойства

*The thermoelectric properties of thin films based on Tin Telluride doped Stibium Snte:Sb with Stibium containing 2 at.%, which are obtained in the open vacuum deposition at different temperatures on fresh chips (0001) of mica Investigated. It is established that the maximum thermoelectric power has samples of thickness about 1.5 microns, which reaches 25  $\mu$ W/K<sup>2</sup>-cm. It is much better than pure Tin Telluride.*

**Key words:** thin film, tin telluride, doping, thermoelectric properties

### **Введение**

Телурид олова широко применяется в полупроводниковой технике. Также он является перспективным термоэлектрическим материалом для среднетемпературной области (500 – 750) [1-4]. Получение тонкопленочного материала в значительной степени расширяет границы его практического применения. Введение легирующих примесей дает возможность существенно модифицировать термоэлектрические свойства материала.

В данной работе исследованы толщинные зависимости термоэлектрических параметров пленок на основе SnTe легированного сурьмой, полученных из паровой фазы на слюдяных подложках.

### **Методика эксперимента**

Пленки для исследования получали осаждением паров синтезированного материала SnTe в вакууме на подложки из свежих сколов (0001) слюды-мусковит и ситала. Температура испарителя составляла 600 °С, а температуру подложек изменяли в диапазоне 150...300 °С. Толщину пленок регулировали временем осаждения в пределах 45...240 с и измеряли с помощью микроинтерферометра МИИ-4.

Измерение электрических параметров пленок осуществлялось в воздухе при комнатных температурах в постоянном магнитном поле на разработанной автоматизированной установке, обеспечивающей как процессы измерения электрических параметров, так и регистрацию и первичную обработку данных, с возможностью построения графиков временных и

температурных зависимостей. Измерянный образец имел четыре холловских и два токовых контакта. В качестве омических контактов использовались пленки серебра. Ток через образцы составлял примерно 1 мА. Магнитное поле с индукцией 1.5 Тл направлялось перпендикулярно к поверхности пленок.

Результаты исследованной зависимости удельной электропроводности  $\sigma$ , холловской концентрации носителей тока  $n_h$  и коэффициента Зеебека  $S$  от температуры подложки и толщины представлены на рис. 1 – 3.

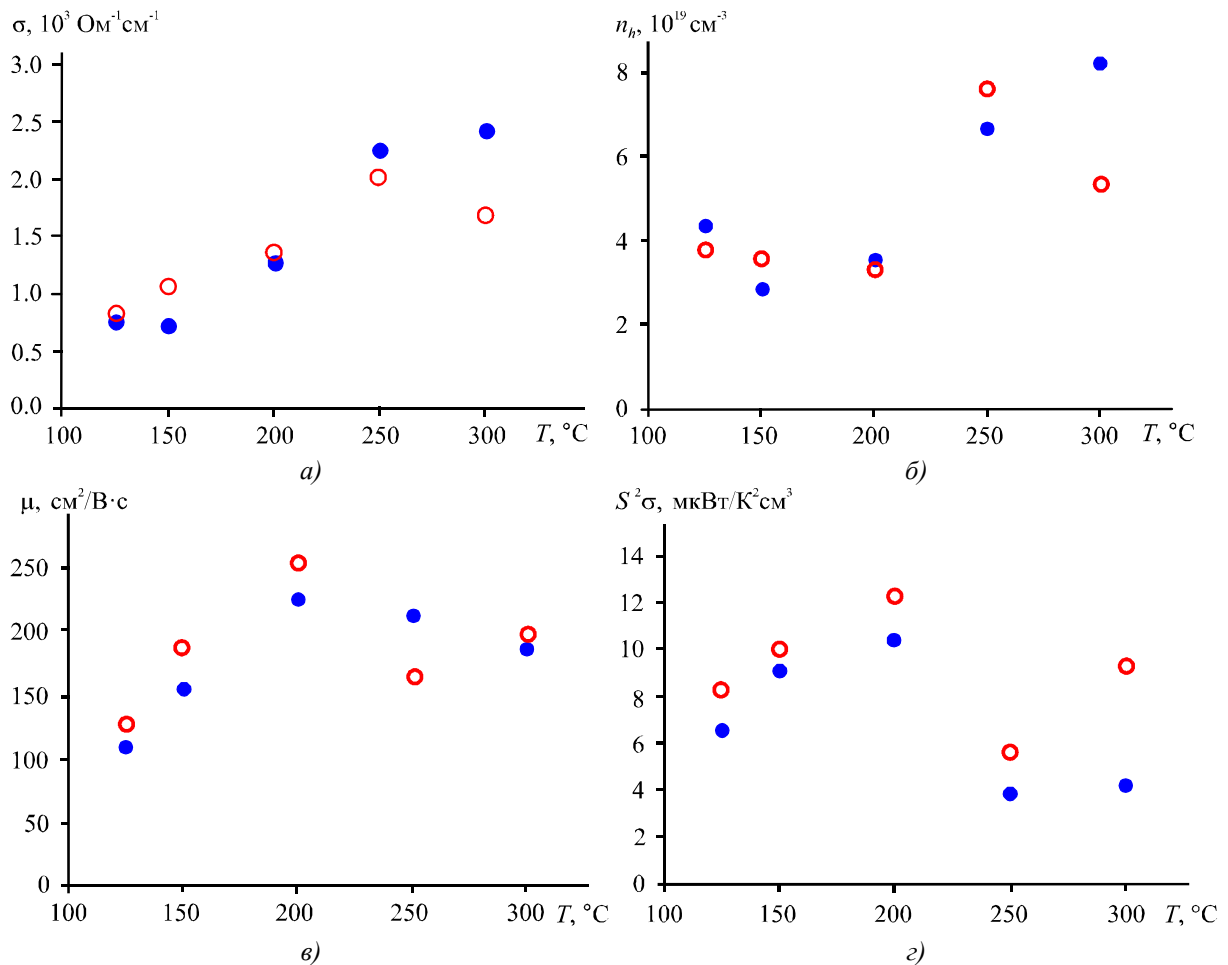


Рис. 1. Зависимости удельной проводимости  $\sigma$  (а), холловской концентрации  $n_h$  (б), подвижности носителей заряда  $\mu$  (в) и термоэлектрической мощности  $S^2\sigma$  (г) от температуры  $T$  осаждения пленок полученных на свежих сколах слюды. Время осаждения: ● – 120 с, ○ – 240 с.

## Результаты исследования и их анализ

Как видно из рис. 1, температура осаждения довольно существенно влияет на термоэлектрические параметры исследуемого материала. Удельная электропроводность и холловская концентрация носителей заряда возрастают с повышением температуры осаждения, а термоэлектрическая мощность имеет четкий максимум при температуре осаждения 200 °С. Подвижность при этом возрастает при увеличении температуры до 200 °С, а при дальнейшем увеличении – уменьшается. Это связано со структурным совершенством конденсата: с ростом температуры осаждения за счет повышения самоорганизации структура материала более упорядочена, что приводит к уменьшению влияния рассеивания на границах зерен. При

дальнейшем повышении температуры подложки значительно ускоряются процессы переиспарения конденсата и термоэлектрические параметры материала ухудшаются.

Учитывая наличие четкого максимума термоэлектрической мощности, дальнейшие исследования зависимости параметров от толщины конденсата проводили для образцов, полученных при 200 °С.

В области малых толщин пленок их электропроводность и холловская концентрация носителей заряда резко возрастают, это связано с акцепторным действием кислорода, а коэффициент Зеебека, наоборот – уменьшается (рис. 2). Поэтому в зависимости термоэлектрической мощности ( $S^2\sigma$ ) от толщины пленки  $d$  наблюдается четкий максимум в области 1.5 мкм (рис. 3).

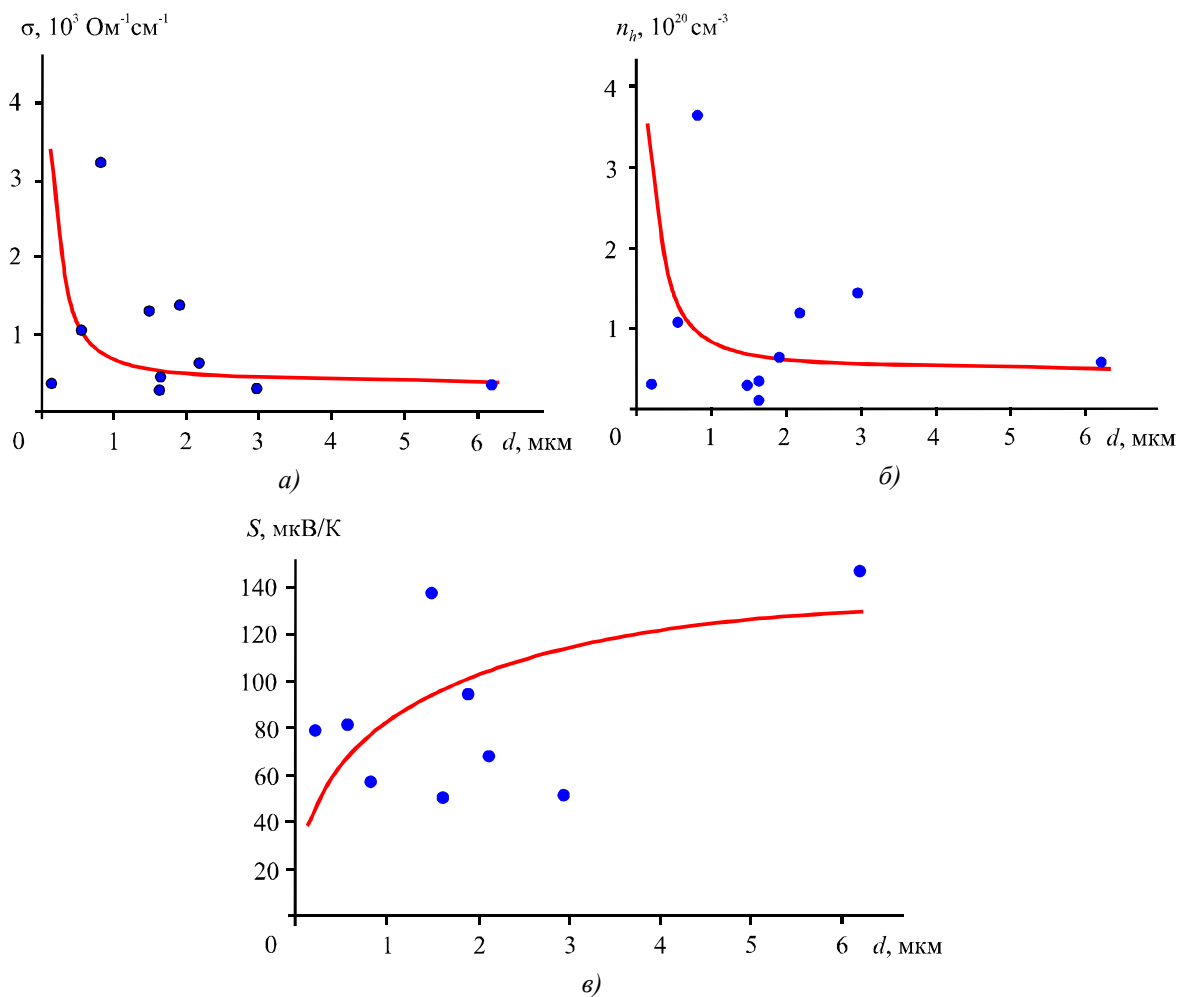


Рис. 2. Зависимости удельной электропроводности  $\sigma$  (а), холловской концентрации  $n_h$  (б), и коэффициента Зеебека  $S$  (в) от толщины  $d$  пленок SnTe:Sb на слюдяных подложках.

Точки – эксперимент, сплошная линия – расчеты согласно модели Петрица.

Для определения влияния поверхности исследован толщинные зависимости термоэлектрических параметров для пленок, полученных на различных подложках (рис. 2). Параметры приповерхностных слоев оценивали с помощью модели Петрица [5]. Тонкую пленку в этой модели представляют составленной из двух соединенных параллельно слоев: приповерхностного (I) (область поверхностного заряда) толщиной  $d_s$ , концентрация носителей тока в котором  $n_s$ , а их подвижность  $\mu_s$ , и объемного (II), характеризующегося аналогичными величинами:  $d_b$ ,  $n_b$ ,  $\mu_b$  которые. Толщина пленки  $d = d_s + d_b$ .

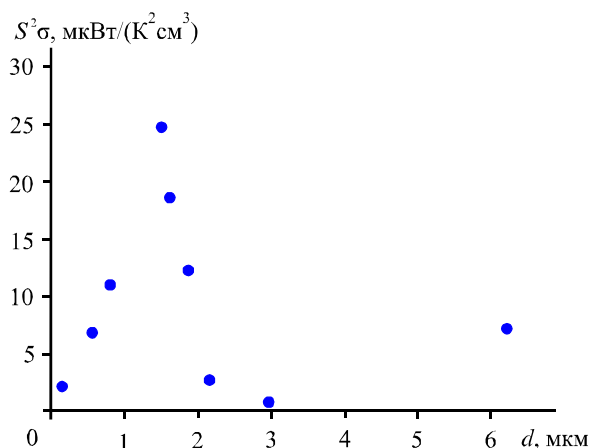


Рис. 3. Зависимость термоэлектрической мощности  $S^2\sigma$  от толщины  $d$  пленок SnTe:Sb на слюдяных подложках.

В этом случае

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

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

$$S = \frac{\sigma_s d_s S_s + \sigma_b d_b S_b}{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}. \quad (3)$$

По известным экспериментальным значениям  $\sigma$ ,  $R$ ,  $\mu$  и объемных  $\sigma_b$ ,  $R_b$ ,  $\mu_b$  и  $d$ , из данных соотношений можно приближенно определить параметры приповерхностных слоев  $\sigma_s$ ,  $R_s$ ,  $\mu_s$  соответственно. Их значения приведены в таблице. Видно, что рассчитанные кривые (сплошные линии на рис. 2) удовлетворительно описывают экспериментально полученные результаты при определенных значениях приповерхностных электрических параметров  $d_s$ ,  $\sigma_s$ ,  $R_s$ ,  $n_s$ ,  $\mu_s$  (таблица 1).

Таблица 1

Значение параметров приповерхностного слоя ( $s$ ) и объема ( $b$ ) пленок SnTe:Sb, рассчитанные согласно двухслойной модели Петрица.

	Параметры
$d_s$ , мкм	0.13
$\sigma_s$ , Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	3100
$\sigma_b$ , Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	300
$R_s$ , см <sup>3</sup> Кл <sup>-1</sup>	0.013
$R_b$ , см <sup>3</sup> Кл <sup>-1</sup>	0.15
$n_s$ , см <sup>-3</sup>	$4.81 \cdot 10^{20}$
$n_b$ , см <sup>-3</sup>	$4.17 \cdot 10^{19}$
$\mu_s$ , см <sup>2</sup> В <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	40.3
$\mu_b$ , см <sup>2</sup> В <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	45
$S_s$ , мкВ/К	80
$S_b$ , мкВ/К	150

Отметим, что достаточно большое значение приповерхностных удельной электропроводности, холловской концентрации носителей и коэффициентов Зеебека  $S_s \approx 80$  мкВ/К (таблица 1), создают перспективу использования  $SnTe:Sb$  в качестве веток  $p$ -типа тонкопленочных термоэлементов.

## Выводы

1. Исследованы термоэлектрические свойства тонких пленок теллурида олова легированного сурьмой, полученных парофазными методами на подложках слюды. Установлено, что максимальную термоэлектрическую мощность имеют образцы толщиной около 1.5 мкм. При этом ее величина достигает  $25$  мкВт/К<sup>2</sup>·см, что значительно выше, чем в чистом теллуриде олова.
2. Определены термоэлектрические параметры приповерхностных слоев. Показано, что тонкие пленки  $SnTe$   $p$ -типа проводимости имеют улучшенные термоэлектрические параметры по сравнению с массивными образцами.

Работа выполнена согласно комплексному научному проекту МОН Украины (государственный регистрационный номер 0115U002303).

## Литература

1. В.М. Шперун, Д.М. Фреик, Р.И. Запужляк. Термоэлектричество теллурида свинца и его аналогов. – Ивано-Франковск, Плай. – 2000. – 250 с.
2. Е.П. Сабо Технология халькогенидных термоэлементов. Физические основы. Структура и свойства материалов. // Термоэлектричество. – 2002. – №1. – С. 63 – 71.
3. Д.М. Фреик, И.В. Горичок, Н.И. Дикун, Ю.В. Лысюк Влияние технологии изготовления на термоэлектрические свойства нестехиометричного и легированного теллурида свинца и твердых растворов на его основе // Термоэлектричество. – 2011. – №2. – С. 45 – 53.
4. Д.М. Фреик, М.А. Галушак, Л.Й. Межиловская. Физика и технология тонких пленок. – Львов: Высшая школа, 1988. – 182 с.
5. Petritz R.L. 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).

Поступила в редакцию 03.07.15.