

Б.С. Дзундза<sup>1</sup>, Я.С. Яворський<sup>1</sup>, Г.Д. Матеїк<sup>2</sup>, Ю.В. Лисюк<sup>1</sup>

## Зміна кінетичних параметрів плівок р-PbTe при тривалій витримці на повітрі

<sup>1</sup>Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: [fcss@pu.if.ua](mailto:fcss@pu.if.ua)  
<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76000, Україна

Досліджено зміни кінетичних параметрів полікристалічних плівок PbTe різних товщин (0,1-0,8) мкм при тривалій їх витримці до одного на повітрі. З використанням двошарової моделі Петріца знайдено залежність товщини приповерхневого окисленого шару та його швидкості утворення від часу витримки на повітрі.

**Ключові слова:** тонкі плівки, телурид свинцю, питомий опір, рухливість. Отримані результати інтерпретуються процесами адсорбції і дифузії кисню та свинцю.

*Стаття постуила до редакції 11.10.2010; прийнята до друку 15.12.2010.*

### 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 К) [2]. Встановлено, що їх властивості визначаються як технологічними факторами процесу вирощування, так і умовами їх наступної експлуатації [3].

У даній роботі досліджено закономірності зміни кінетичних параметрів плівок телуриду свинцю різної товщини при тривалій витримці на повітрі.

### I. Методика експерименту

Плівки для дослідження отримували з парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі на підкладки з поліамідної стрічки. Температура випарника під час осадження складала 700 °С, а температура підкладок 150 °С. Товщину плівок задавали часом осадження в діапазоні (10-90) хв та контролювали за допомогою мікроінтерферометра МІІІ-4.

Вимірювання електричних параметрів плівок проводилося на повітрі при кімнатних температурах у постійних магнітних полях. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти. В якості омичних контактів використовувалися плівки срібла. Струм через зразки складав  $\approx 100$  мкА. Магнітне поле було напрямлене перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 2 Тл.

Для кожного зразка проводились серія вимірювань через певний час на протязі приблизно одного року.

Залежності питомого опору, коефіцієнта Холла і рухливості носіїв струму плівок PbTe витриманих різний час на повітрі від товщини зображено на рис. 1 – рис. 3.

### II. Елементи теорії та результати розрахунків

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 проводити за допомогою двошарової моделі 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  $n_s$ , а їх рухливість  $\mu_s$ , і об'ємного (II), що характеризується аналогічними величинами:  $d_b$ ,  $n_b$ ,  $\mu_b$  які з'єднані паралельно. Товщина плівки  $d = d_s + d_b$ .

У цьому випадку [4]:

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

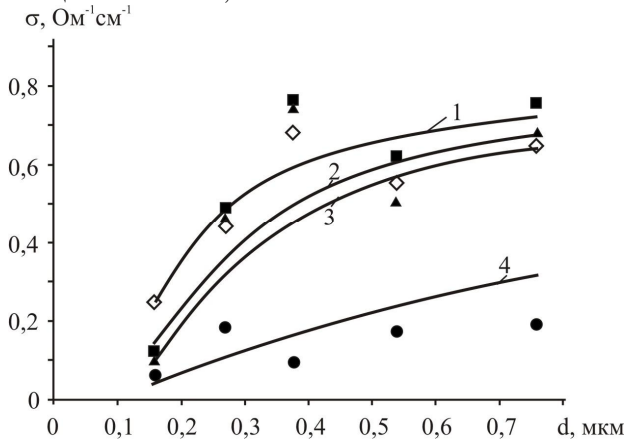
$$R = \frac{R_s \sigma_s^2 d_s + R_b \sigma_b^2 d_b}{(\sigma_s d_s + \sigma_b d_b)^2} d; \quad (2)$$

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

Співвідношення (1)-(3), за умови відомих експериментальних значень  $\sigma$ ,  $R$ ,  $\mu$  та об'ємних  $\sigma_b$ ,  $R_b$ ,  $\mu_b$  і  $d$ , дають можливість наближено визначити параметри приповерхневого шару  $\sigma_s$ ,  $R_s$ ,  $\mu_s$  відповідно.

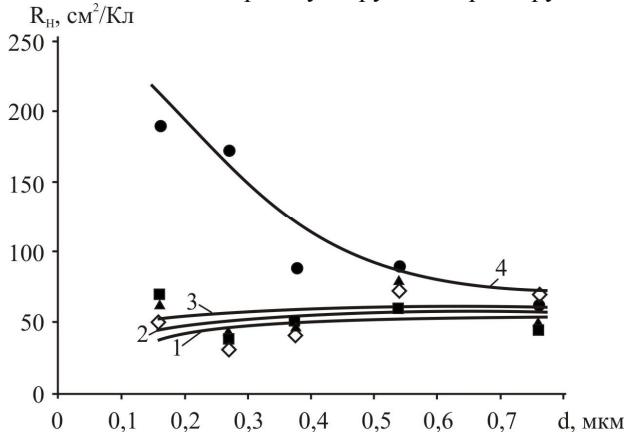
### III. Результати експерименту та розрахунки

Із рис. 1 бачимо, що зі збільшенням товщини плівки незалежно від часу їх витримки на повітрі провідність зростає з виходом на насичення при товщині близько 0,8 мкм.



**Рис. 1.** Залежності питомої провідності від товщини плівок РbТе для різного часу витримки на повітрі:  $\diamond$ , 1 – 10 хв;  $\blacksquare$ , 2 – 1 доба;  $\blacktriangle$ , 3 – 2 доби;  $\bullet$ , 4 – ~1 рік. Точки – експеримент, суцільні лінії – розрахунок згідно моделі Петріца.

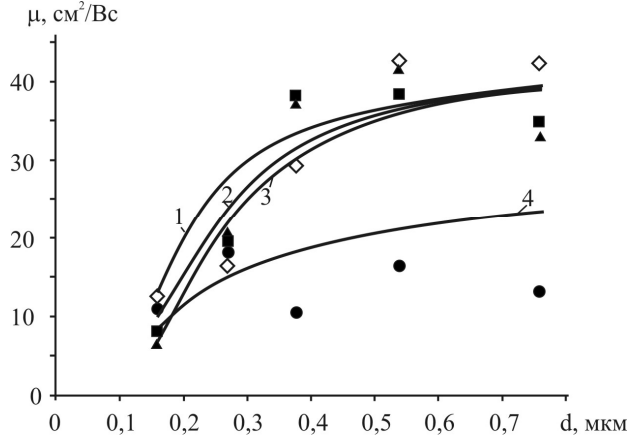
Аналогічно поводить себе рухливість носіїв струму (рис. 3.). Для плівок, витриманих на повітрі до кількох діб, при зменшенні товщини коефіцієнт Холла також зменшується (рис. 2, криві 1-3.). Зростання концентрації носіїв пов'язано з акцепторною дією кисню і утворенням на поверхні збагаченого на носії р-типу шару, тобто  $p_+$  шару.



**Рис. 2.** Залежності коефіцієнта Хола від товщини плівок РbТе для різного часу витримки на повітрі:  $\diamond$ , 1 – 10 хв;  $\blacksquare$ , 2 – 1 доба;  $\blacktriangle$ , 3 – 2 доби;  $\bullet$ , 4 – ~1 рік. Точки – експеримент, суцільні лінії – розрахунок згідно моделі Петріца.

згідно моделі Петріца.

При тривалій витримці на повітрі (близько 1 року), зі зменшенням товщини плівки,  $R_H$  зростає (рис. 2, крива 4), а концентрація носіїв відповідно спадає. Це може бути зумовлено, як насиченням поверхні киснем так і подальшою дифузією свинцю до поверхні якій компенсує акцепторний вплив кисню.



**Рис. 3.** Залежності рухливості носіїв струму від товщини плівок РbТе для різного часу витримки на повітрі:  $\diamond$ , 1 – 10 хв;  $\blacksquare$ , 2 – 1 доба;  $\blacktriangle$ , 3 – 2 доби;  $\bullet$ , 4 – ~1 рік. Точки – експеримент, суцільні лінії – розрахунок згідно моделі Петріца.

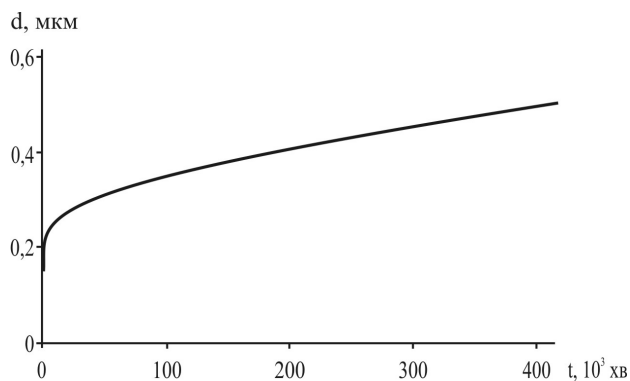
**Таблиця**

Значення кінетичних параметрів приповерхневого шару (s) і об'єму (b) для плівок РbТе р-типу провідності, розраховані згідно двошарової моделі Петріца

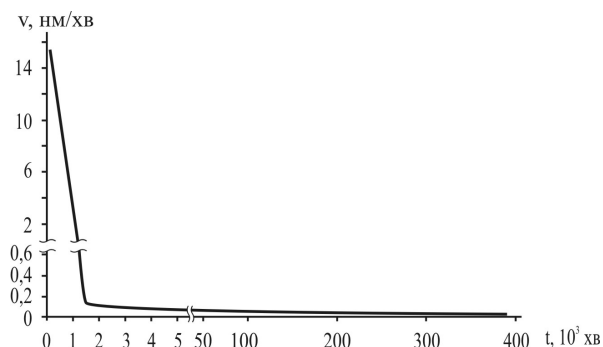
Параметри об'ємного шару		
$\sigma_b, \text{Om}^{-1}\text{cm}^{-1}$	0,85	
$R_{Hb}, \text{cm}^3/\text{Kл}$	50	
$n_b, \text{cm}^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{17}$	
$\mu_b, \text{cm}^2/\text{Vs}$	42,5	
Поверхневі параметри при коротких витримках (до 2 діб)		
$\sigma_s, \text{Om}^{-1}\text{cm}^{-1}$	0,25	
$R_{Hs}, \text{cm}^3/\text{Kл}$	30	
$n_s, \text{cm}^{-3}$	$2 \cdot 10^{17}$	
$\mu_s, \text{cm}^2/\text{Vs}$	7,5	
Поверхневі параметри при тривалій витримці (до 1 року)		
$\sigma_s, \text{Om}^{-1}\text{cm}^{-1}$	0,27	
$R_{Hs}, \text{cm}^3/\text{Kл}$	95	
$\mu_s, \text{cm}^2/\text{Vs}$	25,65	
$n_b, \text{cm}^{-3}$	$6,58 \cdot 10^{16}$	
Зміна товщини поверхневого шару з часом витримки		
Час витримки	Товщина $d_s$ , мкм	Швидкість окислення, мкм/хв
10 хв	0,16	$1,6 \cdot 10^{-2}$
1 доба	0,22	$1,5 \cdot 10^{-4}$
2 доби	0,24	$8,7 \cdot 10^{-5}$
1 рік	0,50	$1,2 \cdot 10^{-6}$

Параметри приповерхневого шару, оцінені згідно моделі Петріца, наведені в таблиці. Бачимо, що розрахункові криві задовільно описують експериментально отримані результати (рис. 1–рис. 3).

Модель дозволила визначити залежність товщини поверхневого шару від часу витримки плівок р-PbTe на повітрі (рис. 4) та середню швидкість його утворення на кожному етапі (рис. 5).



**Рис. 4.** Залежність товщини приповерхневого шару від часу витримки плівок р-PbTe на повітрі.



**Рис. 5.** Залежність швидкості росту приповерхневого шару (окислення) від часу витримки плівок р-PbTe на повітрі.

Видно (рис. 5), що на початкових етапах витримки плівок р-PbTe на повітрі швидкість зміни товщини приповерхневого шару окислення різко спадає, і на протязі першої доби стає незначною, а при подальшій витримці змінюється дуже повільно. Це також вказує на відмінність механізмів процесів окислення на ранній стадії та під час тривалої витримки на повітрі.

## Висновки

1. Досліджено вплив тривалої витримки на повітрі на товщинні залежності кінетичних параметрів плівок PbTe.
2. З використанням моделі Петріца визначено параметри приповерхневого шару та залежність його товщини від часу витримки.
3. Зроблено припущення, що якщо на початкових етапах домінують процеси адсорбції кисню на поверхні, та його дифузія в глиб плівки, то в подальшому вони компенсуються дифузією свинцю до поверхні.

*Робота частково фінансується в межах проекту НАН України (державний реєстраційний номер 0110U006281) та державним комітетом України з питань науки, інновацій та інформатизації (державний реєстраційний номер 0110U007674).*

**Дзунда Б.С.** – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;  
**Яворська Я.С.** – аспірант;  
**Матейк Г.Д.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент;  
**Лисюк Ю.В.** – 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. *Фізика и технология тонких пленок*. Вища школа, Львов. 182 с. (1988).  
 [3] А.Н. Ковалев, В.В. Остробородова, В.И. Парамонов, П.И. Фоломин Проявление неоднородностей в нелегированных халькогенидах свинца по гальваномагнитным свойствам // *Фізика и техника полупроводников*, **23**(11), сс. 2039-2048 (1989).  
 [4] 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. Dzundza<sup>1</sup>, Ya.S. Yavorskyu<sup>1</sup>, G.D. Mateik<sup>2</sup>, Yu.V. Lysyuk<sup>1</sup>

## **Change the Kinetic Parameters of p-PbTe Films at Long Holding Time On Air**

<sup>1</sup>*Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University 57, Shevchenko Str.,  
Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: [fcss@pu.if.ua](mailto:fcss@pu.if.ua)*

<sup>2</sup>*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15, Carpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine*

The changes kinetic parameters of polycrystalline PbTe films of different thickness (0,1-0,8)  $\mu\text{m}$  at long exposure on the air are research. Using a mathematical model Petritsa find thickness dependence of surface oxidized layer and oxidation speed time exposure on air.