

Д.М. Фреїк<sup>1</sup>, Б.С. Дзундза<sup>1</sup>, Г.Є. Малашкевич<sup>2</sup>, Г.Д. Матеїк<sup>3</sup>

## Особливості розсіювання носіїв струму в полікристалічних плівках телуриду свинцю

<sup>1</sup>Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: [fess@pu.if.ua](mailto:fess@pu.if.ua)

<sup>2</sup>Інститут молекулярної і атомної фізики НАНБ,  
220072, Мінськ, проспект Незалежності, 70, Білорусь, [malash@imaph.bas-net.by](mailto:malash@imaph.bas-net.by)

<sup>3</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

Досліджено механізми розсіювання носіїв струму в полікристалічних плівках PbTe, осаджених на скляні підкладки. Показано, що домінуючу роль відіграє розсіювання на міжзеренних межах.

**Ключові слова:** телурід свинцю, тонкі плівки, міжзеренні межі.

Стаття поступила до редакції 12.04.2007; прийнята до друку 15.06.2007

### Вступ

Плівки телуриду свинцю – перспективні матеріали для детекторів і джерел інфрачервоного діапазону оптичного спектра випромінювання. Важливий вплив на експлуатаційні характеристики приладових структур на їх основі мають механізми розсіювання носіїв струму. Розгляду механізмів перенесення носіїв струму в полікристалічних плівках, вирощених на скляних підкладках, присвячено ряд робіт [1-6]. Так, зокрема, автори роботи [1] досліджували рухливість носіїв в полікристалічних плівках PbTe товщиною 0,1-1 мкм. Визначено домінуючу роль поверхневої рухливості, а також підтверджено значний вплив міжзеренних меж. В роботах [2-4] розглянуто післяконденсаційні процеси в полікристалічних плівках при їх старінні і відпалі у вакуумі. Показано, що електричні параметри плівок при цьому можуть змінюватися за рахунок фрагментації або укрупнення кристалітів. Питанням механізму проходження носіїв струму через міжзеренні межі присвячено роботи [5,6]. Встановлено, що проходження носіїв струму через бар'єри на міжзеренних межах пов'язане із термоелектронною емісією.

У даній статті вивчено залежність механізмів розсіювання носіїв струму у тонких полікристалічних плівках PbTe від товщини (2,5-7,7) мкм в інтервалі температур (77-300) К.

### І. Елементи теорії

У тонких плівках реалізуються: розсіювання на кристалічній ґратці в об'ємі плівки, поверхні та дефектах росту [7]. За умови, що кожний із цих механізмів розсіювання можна розглядати незалежним, ефективна рухливість  $\mu_e$ , яка визначається експериментально, буде представлена як [8]

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_s} + \frac{1}{\mu_z} \quad (1)$$

де  $\mu_L$  – об'ємна рухливість (на ґратці),  $\mu_s$  – поверхнева рухливість,  $\mu_z$  – рухливість, обумовлена впливом міжзеренних меж.

Для повністю дифузного розсіювання на поверхні, згідно [9]

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{1}{\mu_b} \left( 1 + \frac{\lambda}{d} \right), \quad (2)$$

де

$$\frac{1}{\mu_b} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_z} \quad (3)$$

З рівнянь (1) и (2), поверхнева рухливість дорівнюватиме

$$\frac{1}{\mu_s} = \frac{1}{\mu_e} \frac{1}{1 + \frac{d}{\lambda}}, \quad (4)$$

де  $\lambda = 0,2$  мкм – середня довжина вільного пробігу [9].

Розсіювання на міжзеренних межах згідно

рівнянь (1), (4) буде рівне.

$$\frac{1}{\mu_z} = \frac{1}{\mu_e} - \left( \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_s} \right) = \frac{1}{\mu_e} \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{d}} - \frac{1}{\mu_L}. \quad (5)$$

З іншого боку, за умови, що переважаючим є розсіювання на міжзеренних межах  $\mu_z$  згідно [10]

$$\mu_z = \mu_0 e^{-\frac{\Delta E}{kT}}, \quad (6)$$

де  $\Delta E$  – енергія активації,  $\mu_0$  – константа яка залежить від параметрів вирощування.

Прологарифмувавши вираз (6)

$\ln \mu_z = \ln \mu_0 - \frac{\Delta E}{kT}$  можна визначити енергію активації, пов'язану з впливом міжзеренних меж.

## II. Методика експерименту і результати

Плівки PbTe для дослідження отримували з парової фази методом гарячої стінки на скляні підкладки. Швидкість росту плівок складала 1-3 нмс<sup>-1</sup>. Структура плівок досліджувалася методами електронної мікроскопії і дифракції, а також оптичної металографії. Вимірювання електричних параметрів плівок проводилося компенсаційним методом у постійних електричних і магнітних полях. Вимірювання проводили на окремих плівках різної товщини. Струм через зразки складав  $\approx 0,1$  мА. Магнітне поле напрямлялося перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 0,8 Тл. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти.

Плівки були полікристалічними з розмірами кристалітів близько  $\sim 1$  мкм, які являли собою чітко сформовані пластинчасті структури, орієнтовані переважно площинами {100} паралельно до поверхні скляної підкладки із значною роз орієнтацією по азимуту (рис. 1).

Залежності питомої електропровідності, коефіцієнта Холла, рухливості носіїв заряду та концентрації носіїв для плівок PbTe від товщини зображено на рис. 2. Видно, що із збільшенням товщини плівок має місце зростання питомої електропровідності (рис. 2, крива 1), а також рухливості носіїв заряду (рис. 2, крива 4) і значення холлівського коефіцієнта (рис. 2, крива 2). Холлівська концентрація носіїв струму при цьому зменшується (рис. 2, крива 3). Температурні залежності рухливості плівок PbTe, представлено на рис. 3.

## III. Аналіз результатів

З метою уточнення домінуючого механізму розсіювання носіїв заряду нами проаналізовано температурну залежність рухливості  $\mu(T)$ . Відомо [11], що температурну залежність рухливості для плівок товщиною  $d$  можна представити у вигляді

$$\mu = \mu_0 T^{-n(d)}, \quad (10)$$

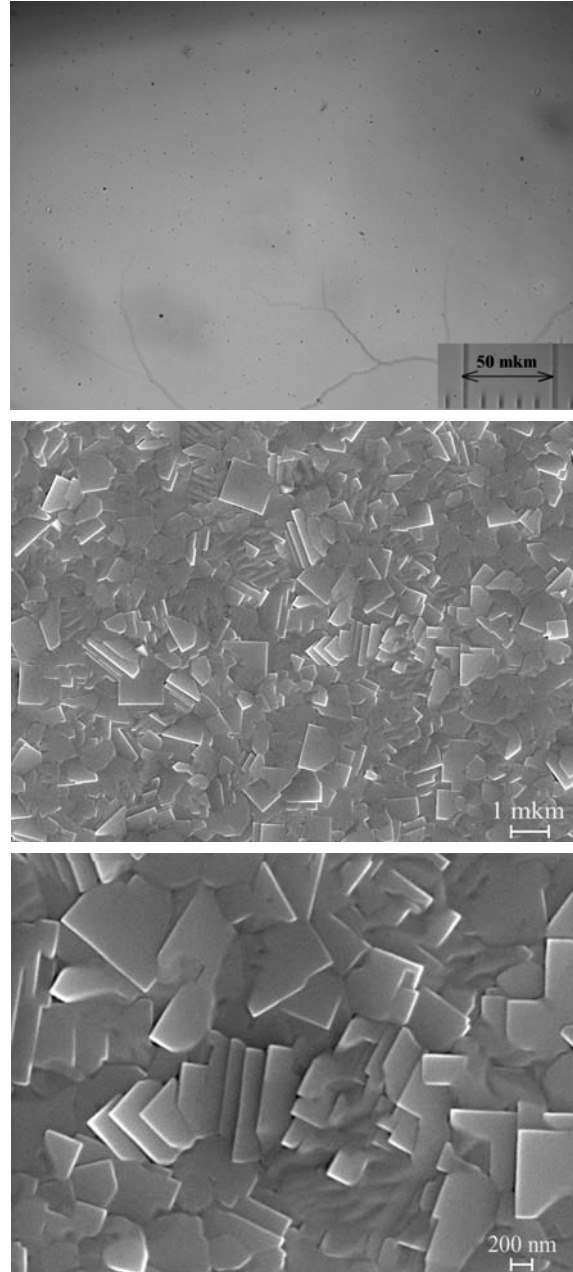
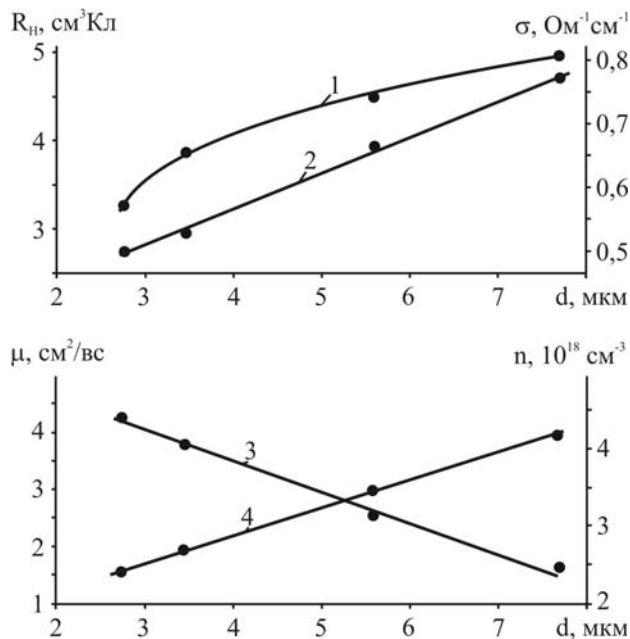


Рис. 1. Мікроструктура плівок PbTe, осаджених на скляні підкладки.

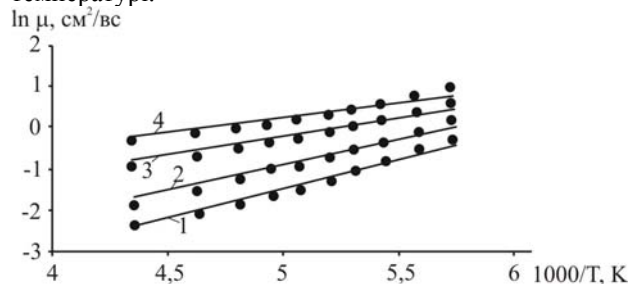
де  $\mu_0$  – стала величина, яка визначається параметрами матеріалу і залежить від товщини плівок;  $n(d)$  – показник, який визначається переважанням конкретного механізму розсіювання у плівках для заданої товщини.

Для достатньо досконалих плівок халькогенідів свинцю  $n \approx 2,5$ , що пов'язано із розсіюванням на довгохвильових акустичних фонах із врахуванням температурної залежності ефективної маси. При поверхневому розсіюванні  $n \approx 0,5$ , а при більшій значення  $n$  пов'язують із розсіюванням на дефектах росту [11].

Для даних плівок було одержано значення показника  $n \approx 0,7-1,4$ . Таким чином, для досліджуваних товщин плівок показник  $n$  температурної залежності рухливості підтверджує



**Рис. 2.** Експериментальні залежності питомої електропровідності ( $\sigma$  – 1) і сталої Холла ( $R_h$  – 2), концентрації носіїв ( $n$  – 3) і холівської рухливості ( $\mu$  – 4) плівок PbTe від товщини при кімнатній температурі.

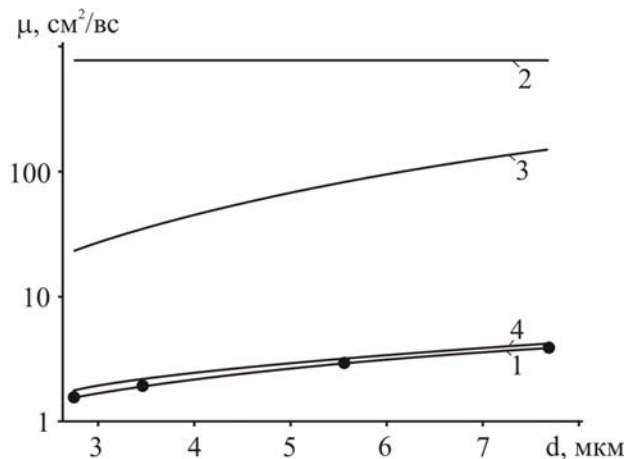


**Рис. 3.** Температурні залежності рухливості носіїв струму для плівок PbTe різної товщини  $d$ , мкм: 1 – 2,7; 2 – 3,5; 3 – 5,5; 4 – 7,6.

домінування розсіювання носіїв заряду на міжзеренних межах.

Зауважимо, що товщинні (рис. 4) залежності рухливостей носіїв струму, плівок PbTe розраховані за умови розсіювання на міжзеренних межах незначно відрізняються від експериментальних. Це додатково підтверджує домінування розсіювання носіїв струму на міжзеренних межах.

Енергія активації, розрахована з температурної залежності холівської рухливості з використанням формули (6), складає 0,04-0,07 еВ.



**Рис. 4.** Залежності рухливості носіїв струму від товщини плівок PbTe при кімнатній температурі: 1 – експеримент ( $\mu_{exp}$ ), 2 – для об’ємного кристалу ( $\mu_L$ ), 3 – поверхнева ( $\mu_s$ ), 4 –розсіювання на міжзеренних межах ( $\mu_z$ ).

## Висновки

1. Одержано вираз для розрахунку рухливості носіїв струму у тонких плівках при розсіюванні на поверхні і міжзеренних межах.
2. Досліджено залежності рухливості носіїв струму для плівок PbTe, осаджених на скляні підкладки від товщини і температури.
3. Показано, що домінуючим механізмом є розсіювання носіїв на міжзеренних межах.
4. Оцінено енергію активації електропровідності пов’язану з розсіюванням на міжзеренних межах.

Робота частково фінансується МОН України (Державний реєстраційний номер 0106U00220) та ДФФД МОН України (проект № 14.1/028).

**Фреїк Д.М.** – заслужений діяч науки і техніки України, доктор хімічних наук, професор, директор Фізико-хімічного інституту, завідувач кафедри фізики і хімії твердого тіла;  
**Дзунда Б.С.** – аспірант кафедри фізики і хімії твердого тіла;  
**Малашиків Г.Є.** – доктор фізико-математичних наук, професор;  
**Матейк Г.Д.** – кандидат фізико-математичних наук, викладач кафедри фізики новітніх технологій.

[1] W.B. Berry and T.S. Jayadevaiah Mobility Studies on Vacuum Deposited PbTe Thin Films // *Thin solid films*, **6**, pp. 77-83 (1968).  
 [2] Ю.А. Браташевський, В.Д. Окунев, З.А. Самойленко. Влияние структуры на электропроводность поликристаллических пленок PbTe // *Неорганические материалы*, **21**(7), сс. 1124-1129 (1985).  
 [3] Ю.А. Бойков, В.А. Кутасов. Изменения в концентрации и подвижности носителей заряда в пленках PbTe после завершения процесса конденсации // *Физика твердого тела*, **23**(8), сс. 2527-2529 (1981).  
 [4] Д.М. Фреїк, Б.С. Дзунда, Я.П. Салій. Моделі процесів відпаду полікристалічних плівок телуриду свинцю // *Фізика і хімія твердого тіла*, **7**(1), сс. 45-49 (2006).  
 [5] С.А. Колосов, Ю.В. Клевков, А.Ф. Плотников. Электрические свойства мелкозернистых поликристаллов CdTe // *Физика и техника плупроводников*, **38**(4), сс. 473-478, (2004).

- [6] Д.М. Фреїк, Б.С. Дзундза, Г.Д. Матеїк, Ю.В. Кланічка. Перенесення носіїв струму у дрібнодисперсних плівках кадмій і плюмбум телуридів // *Фізика і хімія твердого тіла*, **7**(2), сс. 245-247 (2006).
- [7] *Поверхностные свойства твердых тел*. Под. ред. М. Грина. Мир, М. 432 с. (1972).
- [8] J.N. Zemel. Recent developments in epitaxial IV-VI films // *J. Luminescence*, **7**, pp 524-541 (1973).
- [9] A.B. Mandale. Transport Properties of Lead Telluride Films // *Thin solid films* **195**, pp. 15-21 (1991).
- [10] A.M. Phahle. Electrical Properties of Thermally Evaporated Tellurium Films // *Thin solid films*, **41**, pp. 235-241 (1977).
- [11] О.А. Александров, Р.Ц. Бондоков, Н.В. Саунин, Ю.М. Таиров. Подвижность носителей заряда в двухслойных структурах PbTe/PbS // *Фізика и техника полупроводников*, **32**(9), сс. 1064-1068 (1998).

D.M. Freik<sup>1</sup>, B.S. Dzundza<sup>1</sup>, G.E. Malashkevych<sup>2</sup>, G.D. Mateik<sup>3</sup>

## Features of Current Carrier Scattering in the Polycrystalline Thin Films of Lead Telouride

<sup>1</sup>*Prekarpathian national university of name of Vasiliy Stefanyk  
201, Galitska Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine, E-mail: freik@pu.if.ua*

<sup>2</sup>*Institute of the molecular and nuclear physics NASB,  
220072, Minsk, pr. Nezalezhnosti, 70, Belarus, [malash@imaph.bas-net.by](mailto:malash@imaph.bas-net.by)*

<sup>3</sup>*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine*

The mechanisms of current carrier scattering in the polycrystalline PbTe thin films, deposition on the glass substrate are explored. It is shown, that determining role is acted by scattering on the intercrystalline of boundary.