ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 11, № 1 (2010) С. 110-112

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 11, № 1 (2010) P. 110-112

УДК 621.315.592.

ISSN1729-4428

Б.С. Дзундза[1], Л.Й. Межиловська[1], Г.Д. Матеїк[2], Я.С. Яворський[1], А.І. Ткачук[1]

Вплив товщини на кінетичні параметри тонких плівок PbTe

[1]Фізико-хімічний інститут Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: fcss@pu.if.ua
[2]Кафедра фізики і новітніх технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, 76000, Україна

Досліджено залежності кінетичних параметрів полікристалічних плівок PbTe від товщини. За умови дифузного розсіювання носіїв заряду розраховані ефективна довжина вільного пробігу, поверхнева та зерномежова рухливості і розміри кристалічних зерен.

Ключові слова: тонкі плівки, телурид свинцю, питомий опір, рухливість.

Стаття поступила до редакції 11.08.2009; прийнята до друку 15.12.2009.

Вступ

Для тонких плівок, на відміну від монокристалів, характерними є те, що відношення поверхні до об'єму є значним. Товщина плівок, у ряді випадків, є тим параметром, який визначає транспортні властивості і домінуючі механізми розсіювання носіїв заряду. Відомо, що в області малих товщин, механізми розсіювання в плівках є суттєво відмінними від масивних зразків. Тут, зокрема, необхідно враховувати розсіювання на міжфазних і міжзеренних межах, дислокаціях невідповідності та інших дефектах росту. Локалізація носіїв струму на поверхневих станах і їх захоплення обірваними зв'язками на межах кристалітів призводять до утворення біля них областей просторового заряду, концентрація і рухливість носіїв струму в яких можуть значно відрізнятися від відповідних параметрів в об'ємі. Ступінь впливу приповерхневих областей на властивості плівок залежить від товщини останніх, структури, рівня легування, температури [1-4].

У даній роботі досліджено особливості поведінки питомого опору та рухливості носіїв від товщини плівок телуриду свинцю, осаджених на скляні підкладки.

I. Методика експерименту

Плівки для дослідження отримували з парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі на скляні підкладки, які були ретельно очищені, використовуючи гарячу воду, NaOH, дистильовану воду і ізопропіловий спирт послідовно. Температура підкладок під час осадження була кімнатною.

Вимірювання електричних параметрів плівок проводилося компенсаційним методом у постійних електричних і магнітних полях. Вимірювання проводили на окремих плівках різної товщини. Струм через зразки складав ≈ 100 мкмА. Магнітне поле напрямлялося перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 2 Тл. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти. В якості омічних контактів використовувалися плівки срібла.

Плівки являли собою полікристалічну структуру з розмірами кристалітів 0,01-0,12 мкм.

Залежність питомого омору і рухливості носіїв струму плівок PbTe від товщини зображено на рис. 1,2.

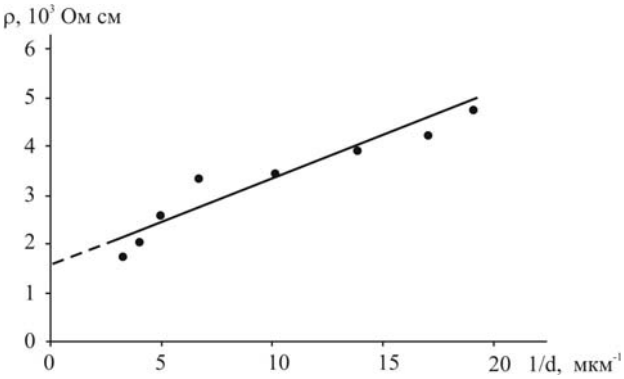

Рис. 1. Залежність питомого опору від оберненої товщини тонких плівок PbTe.

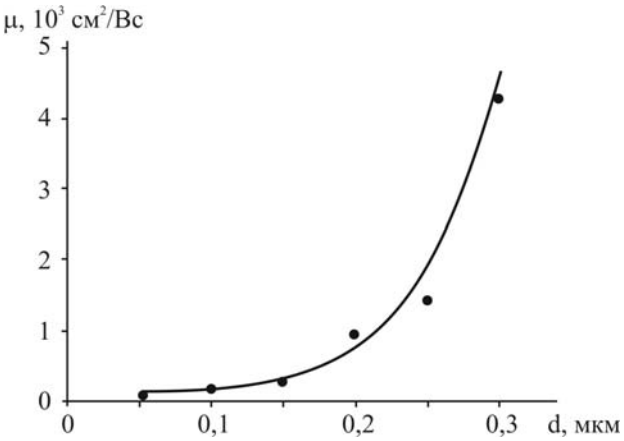

Рис. 2. Залежність рухливості носіїв струму від товщини тонких плівок PbTe.

II. Елементи теорії розрахунків

За умови переважання розсіювання носіїв струму на поверхні ($\mu_П$) і межах зерен ($\mu_з$) питомий опір плівок визначається правилом Маттісена [3]. Якщо концентрація носіїв і ефективна маса є сталими, тоді

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_п} + \frac{1}{\mu_з}, \qquad (1)$$

де μ – експериментально визначена рухливість.

Час між двома актами розсіювання на межах кристалітів $\tau_з$ визначається як

$$\tau_з = D\upsilon^{-1}, \qquad (2)$$

де υ – теплова швидкість носіїв, яка у випадку виродження, не залежить від температури. Для халькогенідів свинцю температура виродження велика через високу концентрацію носіїв внаслідок значного відхилення від стехіометричного складу. За цих умов згідно [2]:

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

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 [3]:

$$\mu_п = \mu_v (1 + \lambda / d)^{-1}. \qquad (4)$$

Тут λ – середня довжина вільного пробігу носіїв, μ_v – рухливість об'ємного матеріалу.

Згідно моделі Тейлєра [5] розсіювання носіїв заряду на межах зерен описується часом релаксації τ_0 таким чином, що $\lambda = \tau_0 \upsilon$, де λ – ефективний середній вільний пробіг носіїв заряду у нескінченно товстій плівці. Тоді

$$\rho = \rho_0 \left[1 + \frac{3}{8} \lambda \frac{(1-P)}{d} \right] \qquad (5)$$

Тут ρ_0 – питомий опір у нескінчено товстій плівці. Рівняння (1) виражають пряму лінію $y = A \pm Bx$ у координатах $\rho \sim d^{-1}$, де $A = \rho_0$; $B = \frac{3}{8}\rho_0 \lambda (1-P)$.

Із рівнянь (1´) випливає, що пряма лінія пересікає вісь ординат при $d^{-1} \to 0$ у точці, що визначає ρ_0. Тангенс кута нахилу прямої визначає величину в яку входить λ. Якщо розглядати дифузне розсіювання (тобто P=0), то можна легко визначити λ і ρ_0.

Визначивши згідно (6) із експериментальної залежності питомого опору від оберненої товщини (рис. 1.) довжину вільного пробігу (λ), та використавши формулу (4) маємо залежність поверхневої рухливості $\mu_п$ від товщини. Враховуючи правило Маттісена (1) та маючи експериментальне значення рухливості (рис. 2) із виразу (3) отримуємо величину зерна (D) у плівках (рис. 3).

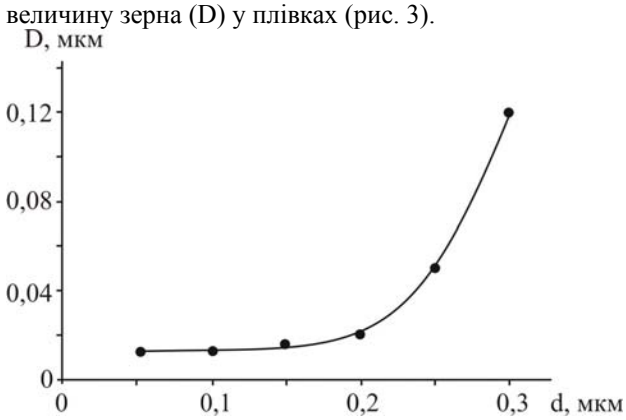

Рис. 3. Залежність розміру зерна від товщини плівок PbTe.

III. Аналіз результатів

Результати експериментальних досліджень та проведених розрахунків наведено на рис. 1-3. Відзначимо, що для досліджуваних плівок характерним є розмірний ефект у електричному опорі: має місце його зростання із зменшенням товщини (зростання 1/d) (рис. 1). При цьому холлівська рухливість носіїв заряду суттєво зменшується (рис. 1). Так, зокрема, при зміні товщини плівок від 0,3 мкм до 0,05 мкм рухливість зменшується майже на два порядки. Останнє вказує на те, що міжфазні межі "плівка – підкладка", "плівка – вільна поверхня" та міжкристалічні межі впливають на явища переносу, які пов'язані із значенням середньої довжини вільного пробігу носіїв заряду. У нашому випадку ефективний середній вільний пробіг носіїв складає $\lambda \approx 0{,}32$ мкм.

Розрахунки вказують, що якщо в області малих товщин (0,05 - 0,15) мкм переважає розсіювання на поверхні плівок, то вже в діапазоні (0,15-0,3) мкм домінує розсіювання на межах зерен.

Експериментально спостережуване зростання рухливості рухливості з товщиною плівок (рис. 2) пов'язано із збільшенням величини кристалітів у плівках (рис. 3).

Висновки

1. Досліджено розмірні ефекти питомого опору та рухливості носіїв у тонких плівках PbTe, вирощених із парової фази методом відкритого випаровування у вакуумі.

2. Визначено середню довжину вільного пробігу носіїв заряду та визначено розміри кристалітів.

3. Залежність холлівської рухливості плівок від товщини пояснено дифузним механізмом розсіювання носіїв струму на поверхні та впливом міжзеренних меж.

Автори висловлюють вдячність проф. Д.М. Фреїку за постановку задачі та обговорення результатів дослідження.

Робота частково фінансується МОН України (державний реєстраційний номер 0109U001414) та ДФФД МОН України (державний реєстраційний номер 0109U004505).

Дзундза Б.С. – кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
Межиловська Л.Й. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Матеїк Г.Д. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Яворський Я.С. – студент;
Ткачук А.І. – старший лаборант.

[1] J.N. Zemel. in Recent developments epitaxial IV-VI films // *J. Luminescence*, **7**, pp 524-541 (1973).
[2] *Поверхностные свойства твердых тел*. Под. ред. М. Грина. Мир, М. 432 с. (1972).
[3] P.R. Vaya, J. Majht, B.S.V. Gopalam, C. Dattatrepan. Thickness Dependence of Hall Mobility of HWE Grown PbTe Films // *Phys. Stat. Sol. (a),* **87**(341), pp. 341-350 (1985).
[4] Д.М. Фреїк, В.Ф. Пасічняк, О.Л. Соколов, Б.С. Дзундза. Розсіяння носіїв заряду в епітаксійних плівках PbTe // *Український фізичний журнал*, **50**(11), сс. 1250-1252 (2005).
[5] Tellier C.R., Tosser A.J., Boutrit C. // *Thin Solid Films,* **44,** 201 (1977)

B.S. Dzundza[1], L.Y. Mezhylovska[1], G.D. Mateyik[2], Y.S. Yavorskyy[1], A.I. Tkachuk[1]

Influence of Thickness on the Kinetic Parameters Thin Films of PbTe

[1]Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua
[2]Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Physics and advanced technologies department
15, Carpathian Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine

Investigate the dependence of kinetic parameters polycrystalline PbTe films from thickness. With the diffuse scattering of charge carriers calculated effective mean free path, surface and grainborder mobility and size of crystalline grains.