

Б.С. Дзундза, М.А. Лоп'янко, Я.С. Яворський, І.Б. Гатала

Післяконденсаційні процеси у легованих вісмутом плівках телуриду свинцю

Кафедра фізики і хімії твердого тіла Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, вул. Галицька, 201, Івано-Франківськ, 76008, Україна, E-mail: freik@pu.if.ua

Досліджено зміну питомого опору ρ полікристалічних плівок РbТе:Ві від часу t їх витримки при 300 К. На основі електротехнічної моделі для обрахунку опору плівок показано, що зміна $\rho(t)$ пов'язана із процесами перебудови кристалічної структури плівок. Визначено залежність лінійних розмірів кристалітів плівок РbТе:Ві від часу їх витримки.

Ключові слова: тонкі плівки, телурид свинцю, питомий опір, кристалічна структура, легування.

Стаття постуила до редакції 24.11.2011; прийнята до друку 15.12.2011.

Вступ

Плівки халькогенідів свинцю – перспективні матеріали для створення на їх основі активних елементів мікро- і оптоелектроніки: детектори і джерела інфрачервоного випромінювання [1], термоелектричні перетворювачі енергії [2]. Зауважимо, що робочі характеристик приладових структур і їх стабільність у часі визначаються структурним станом і деградаційними процесами, що мають місце у тонкоплівковому матеріалі [3]. Легування донорною домішкою основної матриці призводить до утворення стабільного в часі матеріалу n -типу провідності [4].

Метою роботи є розробка фізичних моделей, які дають можливість пояснити встановлені експериментально зміни електричних властивостей полікристалічних плівок РbТе:Ві при їх витримці і відпалі на повітрі.

І. Методика експерименту

Плівки РbТе:Ві отримували з парової фази методом осадження пари у вакуумі на свіжі сколи (0001) слюди-мусковіт. Температура випарника під час осадження складала $T_B=970$ К, а температура підкладок $T_{II}=420$ К. Товщину плівок задавали часом осадження в діапазоні (5-30) хв та вимірювали за допомогою мікроінтерферометра МІІ-4.

Вимірювання електричних параметрів проводилося у постійних електричному і магнітному полях. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти. В якості омічних контактів використовували плівки срібла. Струм

через зразок складав ≈ 3 мА. Магнітне поле було напрямлене перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 2 Тл.

Для кожного зразка проводилася серія вимірювань через певний час протягом тижня а потім піддавали відпалу на повітрі і вимірювали залежності термоелектричних параметрів від температури.

Структура конденсату досліджувалася методами атомно-силової мікроскопії (АСМ). Вимірювання проведені в центральній частині зразків з використанням серійних кремнієвих зондів NSG-11.

АСМ-зображення та профілограми наноструктур наведено на рис. 1. Видно, що одержані структури складаються з нанорозмірних кристалітів пірамідальної форми. Середні розміри кристалітів тонких плівок, отриманих при часі осадження 5 хв у перпендикулярному до поверхні напрямку складають ~ 30 нм, а у латеральному ~ 100 нм (рис. 1, А) і є значно меншими ніж для товстих, які мають розміри ~ 80 нм і ~ 200 нм відповідно, а також характеризуються більш пологими вершинами (рис. 1, Б).

Залежності питомого опору, коефіцієнта Холла і рухливості носіїв струму структур РbТе:Ві різної товщини від часу витримки на повітрі зображено на рис. 3. Видно, що питомий опір ρ тонких наноструктур на слюді (0,08 – 0,67) мкм (рис. 2, а – криві 1-2) на два порядки менший ніж товстих 1,08 мкм (рис. 2, а – крива 3),

Представлені експериментальні результати значень питомого опору плівок РbТе:Ві при різних часах витримки характеризується значною зміною тільки на початкових етапах (рис. 2). При подальшій витримці їх питомий опір змінюється незначно і всі криві $\rho(t)$ мають тенденцію до насичення (рис. 2).

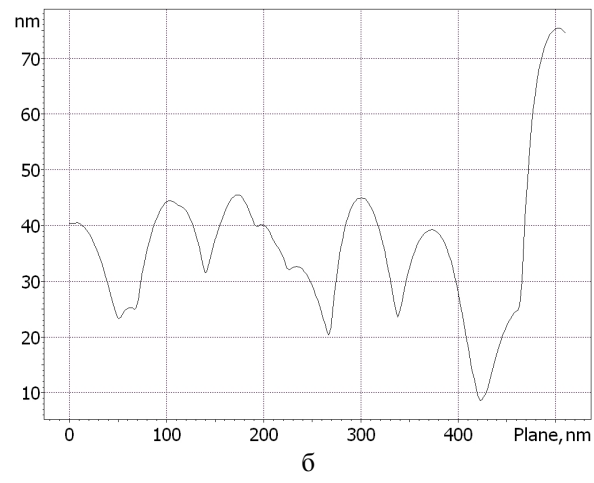
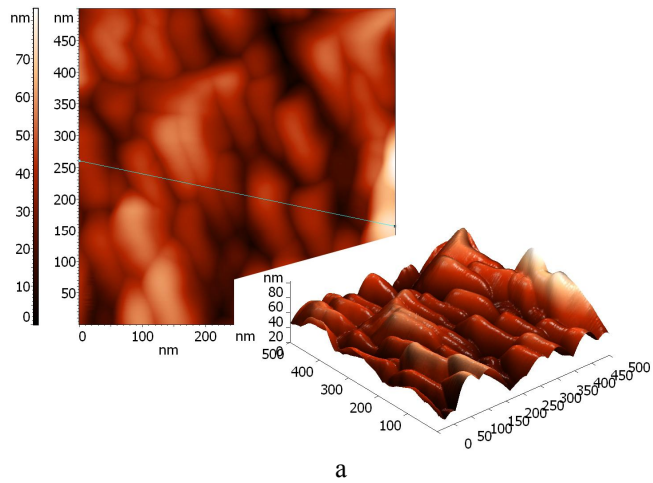
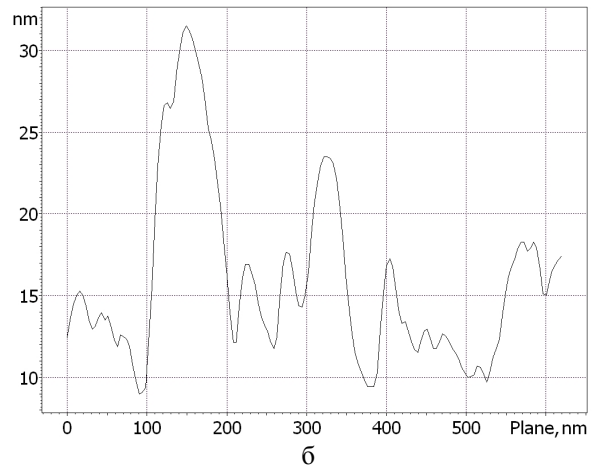
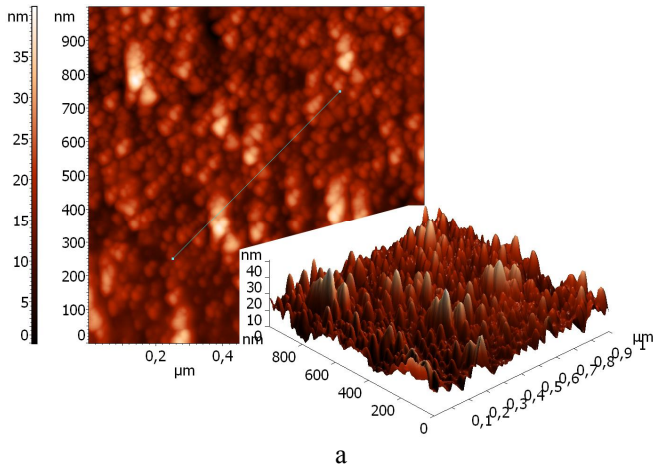


Рис. 1. АСМ-зображення (а) і профілограми (б) наноструктур РbТе:Ві на сколах (0001) слюди-мусковіт. Температура випаровування $T_v=970$ К, температура осадження $T_n=420$ К, час осадження t : хв – 5(А), 30 (Б).

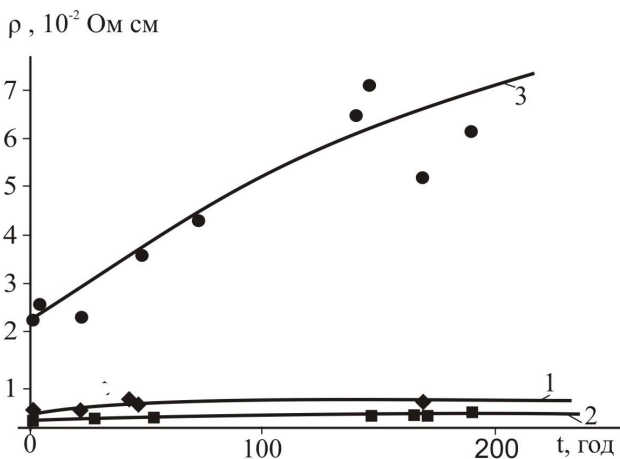


Рис. 2. Зміна питомого опору полікристалічних плівок РbТе:Ві/слюда від часу витримки при 300 К. Товщини d , мкм: 0,08 – 1; 0,67 – 2; 1,08 – 3. •, ♦, ■ – експеримент, – — розрахунок за електротехнічною моделлю 4).

II. Електротехнічна модель опору плівок

Тонку полікристалічну плівку представимо як систему кристалітів кубічної форми з довжиною ребра l які мають міжзеренні межі товщиною h (рис. 2,а). Тоді лінійний розмір самого моноблочного зерна буде дорівнювати $d = l - 2h$, а його опір $R_0 = \rho_0 d^{-1}$, де ρ_0 – питомий опір кристалітів. Крім того, така електротехнічна комірка буде мати ще чотири опори $R_{g\parallel}$ міжзеренних меж, що включені паралельно і два опори $R_{g\perp}$ послідовних до R_0 (рис. 2,б) [5]:

$$R_{g2} = \rho_g \frac{1}{l^2 - d^2} \quad (1)$$

$$R_{g1} = 2R_{g\perp} = \rho_g \frac{1-d}{d^2} \quad (2)$$

Тут ρ_g – питомий опір області міжзеренних меж.

Враховуючи еквівалентну схему (рис. 2,в), загальний опір кристаліта з міжзеренними межами R_e буде визначатися співвідношенням:

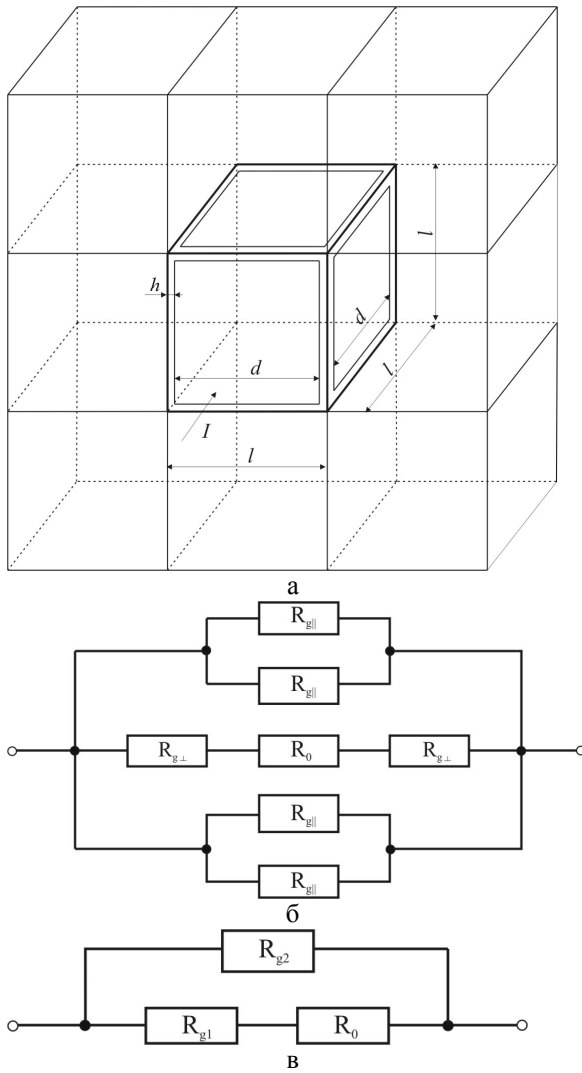


Рис. 3. Модель полікристалічної структури плівок PbTe (а), та її еквівалентна електротехнічна схема (б,в).

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_0 + R_{g1}} + \frac{1}{R_{g2}},$$

$$R_e = \frac{R_{g2}(R_0 + R_{g1})}{R_0 + R_{g1} + R_{g2}}. \quad (3)$$

Знаючи опір електротехнічної комірки плівки R_e можна визначити її еквівалентний питомий опір [5]:

$$\rho_e = R_e l = \frac{R_{g2}(R_0 + R_{g1})l}{R_0 + R_{g1} + R_{g2}}. \quad (4)$$

Беручи до уваги обґрунтоване твердження про те, що питомі опори кристалітів (ρ_0) і міжзеренних меж (ρ_g) у процесі структурних змін у плівках не змінюються, можна знайти залежність питомого опору плівок від лінійних розмірів кристалітів (l, h) за умови $\rho = \rho_e$.

Апроксимація електротехнічною моделлю (рис. 2) залежності питомого опору полікристалічних плівок PbTe:Bi від часу їх витримки (рис. 3) вказує, що добре співпадання результатів експерименту і розрахунків (рис. 4) має місце при наступному характері зміни лінійних розмірів кристалітів:

$$l(t) = l_0 + l_1 e^{-a_1 t} \quad (5)$$

Зауважимо, що результати апроксимації підтверджують також і той факт, що на питомий опір плівок суттєво не впливає зміна товщини міжзеренних меж (h): вона суттєво не змінюється при структурних процесах у даній плівці (табл.).

Слід звернути увагу також і на те, що питомий опір областей міжзеренних меж (ρ_g) у декілька разів перевищує опір кристалітів (ρ_0) (табл.). Це пов'язано із тим, що кристалічна структура міжзеренних меж є менш досконалою ніж у самих кристалітах.

Таблиця

Значення коефіцієнтів у електротехнічній моделі опору полікристалічних плівок PbTe:Bi

	PbTe:Bi/слюда		
	d=0,08 мкм	d=0,67 мкм	d=1,08 мкм
h, см	1,5 · 10 ⁻⁶	1,5 · 10 ⁻⁶	1,5 · 10 ⁻⁶
ρ ₀ , Ом см	0,0012	0,0009	0,0016
ρ _g , Ом см	0,01	0,01	0,37
l ₀ , см	0,97 · 10 ⁻⁵	1,22 · 10 ⁻⁵	1,57 · 10 ⁻⁵
a ₀ , с ⁻¹	0,049	0,0063	0,013
l ₁ , см	1,3 · 10 ⁻⁵	2,64 · 10 ⁻⁵	4,2 · 10 ⁻⁵

l, мкм

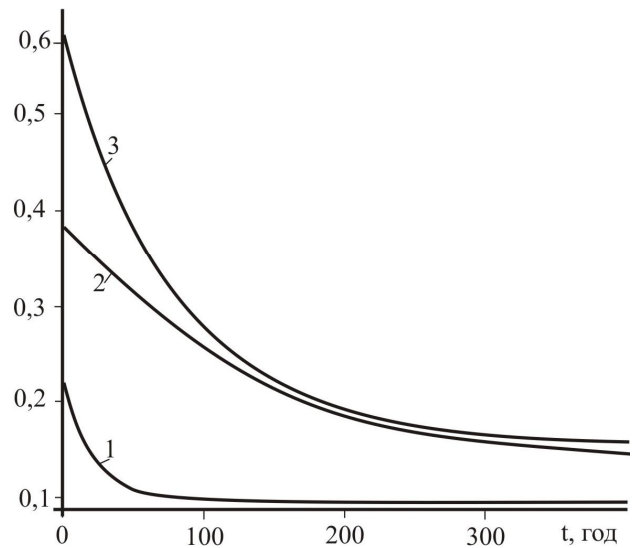


Рис. 4. Залежність розміру зерна полікристалічних плівок PbTe:Bi/слюда і від часу витримки при 300 К. Товщини d, мкм: 0,08 – 1; 0,67 – 2, 1,08 – 3.

Аналіз розрахованих на основі електротехнічної моделі залежностей розмірів кристалітів полікристалічних плівок PbTe:Bi від часу їх витримки вказує на процеси розпаду великих кристалічних блоків на більш дрібні що призводить до зростання питомого опору за рахунок утворення нових меж розділу. Ці процеси активні лише на протязі перших кілька годин після вирощування і в подальшому практично припиняються, а електричні параметри структур стабілізуються в часі (рис. 2).

Розраховані розміри зерен після припинення рекристалізаційних процесів добре узгоджуються із середніми розмірами зерен отриманими з профілограф АСМ.

Висновки

1. За допомогою електротехнічної моделі опору полікристалічних плівок встановлено залежності зміни лінійних розмірів кристалітів від часу відпалу для полікристалічних плівок PbTe:Bi різної товщини.
2. Показано, що у при витримці можуть відбуватися процеси рекристалізації, пов'язані із фрагментацією кристалітів.

Робота виконана у рамках наукових проектів ДФФД України (державні реєстраційні номери

0110U007674, 0111U004951) та НАН України (державний реєстраційний номер 0110U006281).

Дзундза Б.С. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
Лоп'яно М.А. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Яворський Я.С. – аспірант;
Гатала І.Б. – студент фізико-технічного факультету.

- [1] F.F. Sizov. Zarubezhnaja jelektronnaja tehnika 24, 31 (1977).
- [2] V.M. Shperun, D.M. Freik, R.I. Zapuhljak. Termoelektrika teluridu svincju ta jogo analogiv (Plaj, Ivano-Frankivs'k, 2000).
- [3] Ju.A. Bratashevs'kij, V.D. Okunev, Z.A. Samojlenko. Neorganicheskie materialy 21(7), 1124 (1985).
- [4] D.M. Freik, B.S. Dzundza, Ja.S. Javors'kij, O.B. Kostjuk. Fizika i himija tverdogo tila 12(4), 913 (2011).
- [5] Ja.P. Salij I.M. Freik. Fizika i himija tverdogo tila 5(1), 94 (2004).

B.S. Dzundza, M.A. Lopyanko, Ya.S. Yavorskiy, I.B. Gatala

After Condensation Processes in Lead Telluride Films Doped Bismuth

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

The resistivity ρ change of polycrystalline films PbTe:Bi from exposure time t at 300 K. On the basis of electrical model for resistance calculating of films shows that the change in $\rho(t)$ is related to the restructuring process in the crystal structure of the films. The linear sizes of crystallites films PbTe:Bi dependence since their exposure are detected.

Keywords: thin films, lead telluride, resistivity, crystal structure, doping.