ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 5, № 2 (2004) С. 318-320

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 5, № 2 (2004) P. 318-320

УДК 539.2+537.2; PACS: 73.50

ISSN 1729-4428

Б.Л. Мельничук, Б.Р. Пенюх, З.В. Стасюк

Електричні властивості тонких плівок марганцю

Львівський національний університет імені Івана Франка, факультет електроніки,
вул. Драгоманова 50, м. Львів, 79005, Україна,
(032)2964-784; stasyuk@wups.lviv.ua

В умовах надвисокого вакууму вивчено електропровідність та абсолютну диференціальну термоелектрорушійну силу тонких плівок марганцю. Результати експерименту трактовано в рамках модельних уявлень про вплив поверхневого розсіювання носіїв струму на перенос заряду в плівках. Здійснено оцінку параметрів переносу заряду в плівках.

Ключові слова: тонкі плівки, поверхневе розсіювання носіїв струму, середня довжина вільного пробігу носіїв.абсолютна диференціальна термоелектрорушійна сила.

Стаття поступила до редакції 07.02.2004; прийнята до друку 19.05.2004.

Відмінність електричних властивостей тонких плівок від властивостей масивних зразків металу зумовлена не лише особливостями будови тонкої плівки, а й залежним від товщини плівки внеском поверхневого розсіяння носіїв струму в результуючий час їх релаксації. Тому вивчення залежності кінетичних коефіцієнтів тонких плівок від їх товщини (розмірних залежностей) дає змогу одержати інформацію про розсіювання носіїв струму поверхнею плівки.

Потреби сучасної мікроелектроніки, зокрема у зв'язку з розвитком нанотехнологій, вимагають пошуку нових матеріалів для тонкоплівкових елементів мікросхем. З даної точки зору цікавим об'єктом досліджень є марганець, оскільки ця речовина має великий питомий опір і слабку температурну залежність провідності та диференціальної термоелектрорушійної сили [1]. Плівки марганцю досліджено в незначній кількості робіт і найбільш повні дані про їх властивості описано в роботах, наведених в огляді [2,3]. Аналіз цих даних показує, що плівки марганцю могли б використовуватись як резистивні елементи мікросхем та плівкові термопари. Таким чином, систематичне вивчення властивостей плівок даного матеріалу може бути корисним для подальшого розвитку плівкових технологій.

I. Методика експерименту

Дослідження проводили у відпаяних скляних надвисоковакуумних експериментальних приладах. Методика експерименту, загалом подібна до методики, що використовувалася у наших попередніх роботах [4,5]. Для запобігання забруднення плівок залишковими газами та домішками з підкладки (підкладкою слугувала полірована кварцова пластина з платиновими контактами) значна увага зверталася на ретельне знегаження всіх деталей експериментального приладу шляхом їх прогрівання. Знегаження скляних деталей (включаючи підкладку) здійснювалося шляхом прогріву приладу в електропечі протягом 35-40 год. при температурі близько 400°С. 4-5-годинні цикли прогрівання приладу чергувалися із знегаженням усіх металевих деталей шляхом їх нагрівання при пропусканні через них електричного струму або ж шляхом електронного бомбардування. Випаровувачі марганцю тренували в робочому режимі протягом 30 годин. Під час експерименту тиск залишкових газів у експериментальному приладі не перевищував 10^{-7} Па, а тиск активних компонентів залишкових газів не перевищував 10^{-9} Па. Для підтримання вакууму в приладі під час нанесення плівок, їх відпалу та проведення вимірів у приладі використовували занурений у зріджений азот скляний титановий іонно-гетерний насос.

Плівки марганцю наносили на підкладки, охолоджені до 78 К, з швидкістю, що не перевищувала 0,01 нм/с, методом термічного випаровування металу. Плівки різної товщини отримували шляхом послідовного допилення металу. Розігрівання випаровувачів здійснювали за допомогою електронного бомбардування. Контроль товщини плівок проводили за зсувом резонансної частоти п'єзокварцового вібратора, розміщеного на шляху потоку пари металу. Для стабілізації структури та електричних властивостей свіжонапилених плівок їх відпалювали упродовж

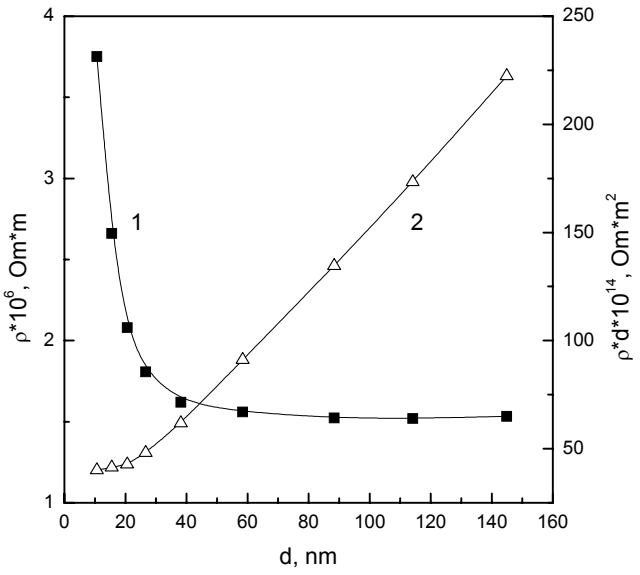

Рис. 1. Розмірні залежності ρ та ρd плівок марганцю при температурі T = 273 K.

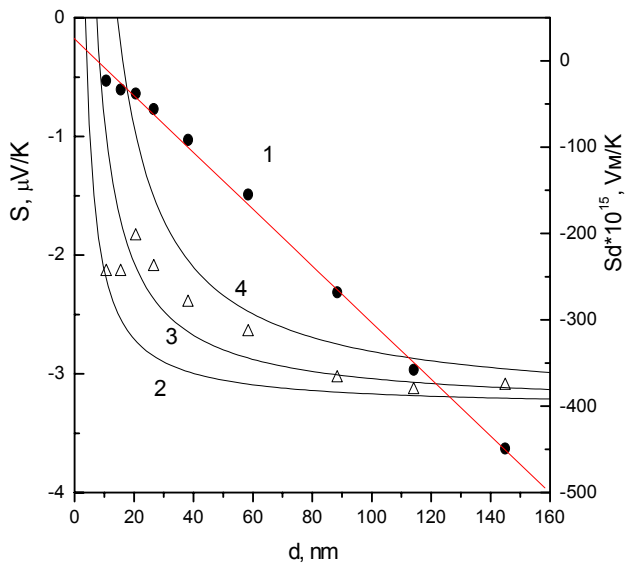

Рис. 2. Розмірні залежності S(Δ) та Sd(•) плівок марганцю при температурі T = 273 K. 2, 3, 4 – теоретичні залежності S від d, розраховані для значеньU відповідно рівних -0,86, -0,76, -0,6.

години при температурі, близькій до 370 K. Опір плівок вимірювали двохзондовим методом з допомогою цифрового вольтомметра В7-34А. Термо-е.р.с. вимірювали за допомогою фотокомпенсаційного нановольтамперметра Р341 при 273 K (різниця температур ΔT між гарячим та холодним спаями плівки не перевищувала 10 K). Значення абсолютної диференціальної термоелектрорушійної сили визначали з допомогою співвідношення $S = S_{Pt} + \Delta E / \Delta T$, де ΔE – виміряне значення термо-е.р.с. досліджуваного металу в парі з платиною, $S_{Pt} = -3{,}3$ мкВ/К абсолютна диференціальна термо-е.р.с. платини.

II. Результати експерименту і їх обговорення

На рис. 1 (крива 1) показано залежність питомого опору ρ плівки марганцю від її товщини d при температурі 273 K. Подібні залежності отримано і для температур 78, 293 та 373 K. Зростання питомого опору в області малих товщин плівки можна пояснити, виходячи з модельних припущень про додаткові механізми розсіяння носіїв струму поверхнею [6], що передбачають таку розмірну залежність ρ:

$$\frac{\rho}{\rho_\infty} = \left[1 + \left(\frac{h}{d}\right)^2\right]^{-1/2} \left\{1 + \frac{3\lambda(1-p)}{8d}\left[1 + \left(\frac{h}{d}\right)^2\right]^{-1}\right\}, \qquad (1)$$

тут ρ_∞ – питомий опір плівки безмежної товщини ($d \to \infty$) із структурою, аналогічною структурі досліджуваної плівки, λ – середня довжина вільного пробігу носіїв струму, p – коефіцієнт дзеркальності відбивання носіїв струму поверхнею плівки, h – амплітуда поверхневих неоднорідностей. З виразу (1) випливає, що розмірні залежності ρd для $d >> \lambda$ мають бути лінійними функціями товщини плівки. В області товщин $d > 10$ нм вони справді лінійні (рис. 1, крива 2), а додаткове збільшення ρd в області $d < 10$ нм можна пояснити наявністю макроскопічних неоднорідностей товщини плівки з амплітудою h. Відзначимо також, що лінійність розмірної залежності ρd є доказом ідентичності структури плівок різної товщини. Використання виразу (2) дозволило провести оцінку λ, ρ_∞, h. При T = 273 K отримали $\rho = 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м, $\lambda = 6$ нм. середня амплітуда поверхневих макроскопічних неоднорідностей $h = 1$ нм.

На рис. 2 (трикутниками) зображено отриману експериментальну розмірну залежність абсолютної диференціальної термо-е.р.с. плівок марганцю при температурі T = 273 K. Згідно з теорією класичного розмірного ефекту [7], розмірна залежність термо-е.р.с. в моделі вільних електронів повинна описуватись виразом:

$$S = S_\infty \left(1 - \frac{3\lambda(1-p)}{8d}\frac{U}{1+U}\right), \qquad (2)$$

в якому S_∞ – абсолютна диференціальна термо-е.р.с. плівки безмежної товщини ($d \to \infty$) із структурою, аналогічною структурі досліджуваної плівки, U – визначає енергетичну залежність вільного пробігу носіїв струму на рівні Фермі ($\varepsilon = \varepsilon_f$): ($U = \partial(\ln\lambda)/\partial(\ln\varepsilon)$). В моделі вільних електронів $U = 2$

З виразу (2) випливає, що залежність $Sd = f(d)$ повинна бути лінійною. Для плівок марганцю дана вимога виконується. Про це свідчить наведена на

рис. 2 крива 1, яка побудована за експериментальними даними, показаними на цьому ж рисунку у вигляді експериментальних точок. Отримана експериментальна розмірна залежність $S(d)$ найкраще описується виразом (2) при $U = -0,76$, що підтверджується теоретичними кривими, побудованими для $S(d)$ при трьох значеннях U (рис. 2, суцільні криві 2, 3, 4).

Отриманий нами результат $U = -0,76$ свідчить про те, що у випадку плівок марганцю не виконується умова $\lambda \sim \varepsilon^2$, а поверхня Фермі металу несферична. Оскільки марганець належить до перехідних металів, більш коректне пояснення експериментальних результатів можливе після проведення додаткових досліджень, зокрема після дослідження розмірних залежностей постійної Холла. Це дозволить розділити внески електронних та діркових траєкторій носіїв струму в сумарний перенос заряду в плівках.

Мельничук Б.Л. – доцент кафедри загальної фізики;
Пенюх Б.Р. – асистент кафедри фізичної і біомедичної електроніки;
Стасюк З.В. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізичної і біомедичної електроніки.

[1] А. Салли. *Марганець*. М., Гос. научн-тех. изд. лит. по черной и цветной металлургии, 296 с. (1959).
[2] A.H. Ammar. Electrical properties of manganese thin films // *Physica B.*, pp. 132-136 (1996).
[3] M.A. Angadi. Some transport properties of transition metal films // *J. Matt. Sci.*, **20**, pp. 761-796 (1985).
[4] З.В. Стасюк. Кінетичні явища в плівках скандію // *УФЖ*, **37**(4), сс. 601-604 (1992).
[5] И.М. Дума, Б.Л. Мельничук, З.В. Стасюк. Электропроводность и термоэдс. тонких пленок никеля и молибдена // *Изв. высш. уч. зав. Физика*, 12, сс. 33-37 (1992).
[6] Z.V. Stasyuk. Quasiclassical models of electron transport phenomena in thin metal films // *Journ. of Phys. Stud.*, **3**, pp. 102-106 (1999).
[7] E.H. Sondheimer. The mean free path of electrons in metals // *Adv. Phys. J.*, **1**, pp. 1-42 (1952).

B.L. Melnichuk, B.R. Penyukh, Z.V. Stasyuk

Electrical Properties of Thin Manganese Films

Lviv Ivan Franko National University, Department of Electronics,
50, Drahomanov Str., Lviv, 79005, Ukraine

The electrical conductivity and absolute thermoelectric power of manganese thin films have been investigated under ultrahigh vacuum conditions. The experimental results were interpreted in the framework of the model of surface scattering influence on electron transport in films. The charge transport parameters in thin films were estimated.