ЖУРНАЛ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
т. 3, № 1 (1999) с. 95–97

JOURNAL OF PHYSICAL STUDIES
v. 3, No. 1 (1999) p. 95–97

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ТОНКИХ ПЛІВОК ГОЛЬМІЮ ТА ДИСПРОЗІЮ

Б. Л. Мельничук, Б. Р. Пенюх
Львівський державний університет імені Івана Франка,
кафедра загальної фізики
вул. Драгоманова, 50, Львів, 290005, Україна
(Отримано 8 червня 1998 р.; в остаточному вигляді — 14 січня 1999 р.)

В умовах надвисокого вакууму досліджено електропровідність тонких плівок гольмію та диспрозію (товщина плівок від 4 до 80 нм). Результати експерименту трактовано з допомогою моделі полікристалічного шару неоднорідної товщини. Визначено параметри переносу заряду в плівках та здійснена оцінка амплітуди макроскопічних неоднорідностей поверхні.
Ключові слова: тонкі плівки, поверхневе й зерномежове розсіяння носіїв струму.

PACS number(s): 72.10.–d; 73.25.+i; 73.61.–r

Відмінність електричних властивостей тонких плівок від властивостей масивних зразків металу може бути зумовлена як особливостями будови тонкої плівки, так і вищим порівняно з масивним внеском поверхневого розсіяння в загальний час релаксації носіїв струму. Тому вивчення залежности кінетичних коефіцієнтів тонких плівок від їхньої товщини (класичний розмірний ефект) дає змогу одержати інформацію про розсіяння носіїв поверхнею та міжзеренними межами, з іншого боку, дослідження плівок цікаве у зв'язку з можливим їх використанням у мікроелектроніці. Метою цієї роботи було вивчити розмірні залежності питомого опору ρ та температурного коефіцієнта опору β плівок гольмію та диспрозію. На жаль, через брак інформації про аналогічні дослідження цих металів ми не робимо порівняння отриманих результатів з іншими.

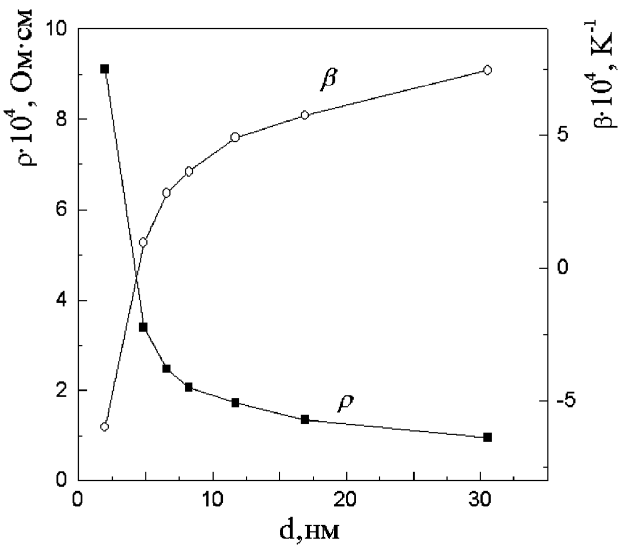

Рис. 1. Розмірні залежності питомого опору і температурного коефіцієнта опору плівок Dy.

Експерименти проводили в умовах надвисокого вакууму (тиск залишкових газів $\sim 10^{-8}$ Па) у відпаяних скляних приладах. Щоб запобігти утворенню домішкових фаз у плівках, усі деталі приладів попередньо докладно знегажували шляхом тривалого їх прогрівання у вакуумі. Плівки наносили шляхом термічного випаровування металу на охолоджене до 78 К поліроване оплавлене скло. Товщину плівок визначали за зсувом резонансної частоти п'єзокварцового вібратора, поміщеного в потоці пари випаровуваного металу. Для стабілізації властивостей плівки відпалювали при 370 К. Застосована методика експерименту, аналогічна до методик [1,2], дозволяє отримувати однорідні полікристалічні зразки з відтворюваними властивостями. На рис. 1 наведено розмірні залежності питомого опору ρ та температурного коефіцієнта опору β плівок диспрозію при $T = 78$ К. Подібні залежності одержано і для плівок гольмію.

Трактування результатів експерименту може бути здійснене на основі відомих теоретичних моделей явищ переносу заряду в зразках обмежених розмірів [3,4]. Причому вклади різних видів розсіяння носіїв струму в плівці в сумарний час їх релаксації (поверхневе — [3] та зерномежове — [4]) вважаємо незалежними один від одного згідно з правилом Маттісена. Зокрема, у випадку придатности моделі однорідного плоскопаралельного шару [3] для опису властивостей плівок залежності $\rho \cdot d$ та $\beta \cdot d$ від товщини плівок d, побудовані на основі експериментальних даних, повинні бути лінійними функціями, бо для достатньо товстих плівок $(d > \lambda)$

$$\begin{aligned} \rho \cdot d &= \rho_\infty \cdot d + 3 \cdot (1-p) \cdot \lambda/8 \\ \beta \cdot d &= \beta_\infty \cdot d - 3 \cdot (1-p) \cdot \lambda/8 \end{aligned} \tag{1}$$

тут ρ_∞ і β_∞ — відповідно питомий опір та температурний коефіцієнт опору плівки безмежної товщини $d \to \infty$ зі структурою, аналогічною досліджуваній плівці, λ — середня довжина вільного пробігу носіїв струму, p — коефіцієнт дзеркальности відбивання носіїв поверхнею. Відмінність ρ_∞ та β_∞ від аналогічних параметрів ρ_0 і β_0, що характеризують масивний кристал, зумовлена впливом зерномежового розсіювання на релаксацію носіїв струму.

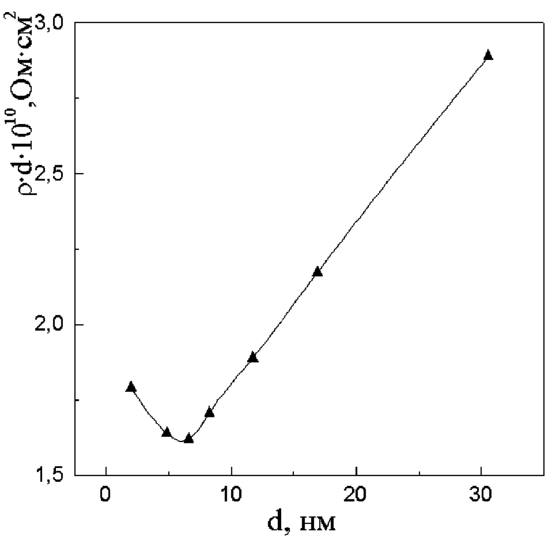

Рис. 2. Розмірна залежність $\rho \cdot d$ для плівок Dy.

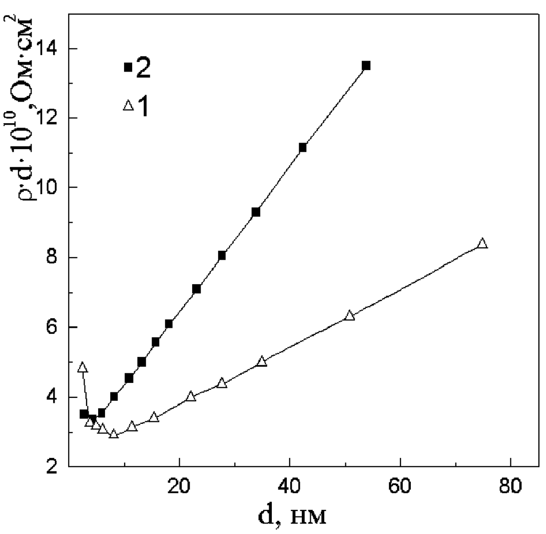

Рис. 3. Розмірні залежності $\rho \cdot d$ для відпаленої (1) та свіжонанесеної (2) плівок Ho.

Із структурних досліджень відомо, що тонка плівка звичайно більш дрібнозерниста, ніж зразок масивного металу, а тому згідно з [4]: $\frac{\rho_0}{\rho_\infty} = f(\alpha) = 3 \cdot \left\{\frac{1}{3} - \frac{\alpha}{2} + \alpha^2 - \alpha^3 \cdot \ln\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right\}$, причому середня довжина вільного пробігу носіїв струму в масивному кристалі λ_0 пов'язана з λ оберненим співвідношенням $\frac{\lambda}{\lambda_0} = f(\alpha)$, де $\alpha = \frac{\lambda_0 \cdot r}{D(1-r)}$. Тут D — середні лінійні розміри кристалітів, r — коефіцієнт зерномежового розсіювання. Виявилось, що експериментальні розмірні залежності $\rho \cdot d$ та $\beta \cdot d$ лінійні. Для прикладу на рис. 2 наведено подібну залежність для плівок диспрозію.

Відхилення розмірних залежностей $\rho \cdot d$ від лінійности спостерігали при товщинах плівок менших за 10 нм. При відсутності забруднень поверхні та нерівноважних структурних фаз це відхилення можна пояснити тільки відмінністю будови реальної плівки від моделей плоскопаралельного шару, на якій базувалися згадані вище теорії: реальна плівка, яка складається з кристалітів, мусить мати неоднорідності товщини, що сумірні з розмірами кристалітів. Існування таких неоднорідностей підтверджено з допомогою тунельної мікроскопії [5]. Тому для опису властивостей дуже тонких плівок доцільно використати модель полікристалічного шару неоднорідної товщини [6,7], у якій порівняно з [3,4] додатково враховано вплив макроскопічних неоднорідностей товщини сумірних із середніми розмірами кристалітів на перенос заряду в плівці. Згідно з [6,7] вираз для питомого опору плівок у наближенні, аналогічному до виразу (1), набуває вигляду:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{f(\alpha)} \cdot \left[1 + \left(\frac{h}{d}\right)^2\right]^{-1/2} \times \left\{1 + \frac{3 \cdot \lambda_0 \cdot f(\alpha)}{8 \cdot d} \cdot \left[1 + \left(\frac{h}{d}\right)^2\right]^{-1}\right\} \qquad (2)$$

де h — амплітуда поверхневих неоднорідностей. Використання виразу (2) дозволило достатньо добре апроксимувати хід залежностей $\rho(d)$ для плівок гольмію та диспрозію і здійснити оцінку h. Для відпалених плівок диспрозію $h \sim 0,7 - 0,9$ нм. Відпал плівок збільшує шорсткість поверхні плівки. Це добре видно з рис. 3, на якому наведено залежності $\rho \cdot d$ від d для відпалених (крива 1) та свіжонанесених (крива 2) плівок гольмію.

Таким чином, у результаті проведеного дослідження підтверджено придатність моделі [6,7] для опису властивостей плівок та розрахунку параметрів переносу заряду в плівках.

[1] Б. Л. Мельничук, З. В. Стасюк, Физ. мет. металловед. **62**, 53 (1992).
[2] И. М. Дума, К. И. Лах, Б. Л. Мельничук, З. В. Стасюк, Металлофизика **15**, 60(1993).
[3] C. R. Tellier, A. J. Tosser, C. Boutrit, Thin Soild Films **44**, 201 (1977).
[4] U. Jacob, J. Vancea, H. Hoffmann, Phys. Rev. B **41**, 11852 (1990).
[5] U. Jacob, J. Vancea, Thin Solid Films **85**, 147 (1981).
[6] З. В. Стасюк, Укр. фіз. журн. **31**, 742 (1986).
[7] З. В. Стасюк, в сб.: *Физико–химические, структурные и эмиссионные свойства тонких плёнок и поверхности твёрдого тела*, под ред. ак. АН Украины Н. Г. Находкина (УМК ВО, Киев, 1992), с. 212.

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ТОНКИХ ПЛІВОК ГОЛЬМІЮ ТА ДИСПРОЗІЮ

ELECTRICAL CONDUCTANCE OF HOLMIUM AND DYSPROSIUM THIN FILMS

B. L. Mel'nychuck, B. R. Penyukh
Ivan Franko Lviv State University
50 Drahomanov Str., Lviv, UA–290005, Ukraine

The electrical conductivity of holmium and dysprosium thin films (ranging in thickness from 4 to 80 nm) has been investigated under ultra high vacuum conditions. The experimental results were interpreted in the framework of heterogeneous cross–section thin film model. The charge transport parameters were calculated and the amplitude of surface roughness was estimated.