ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 7, № 3 (2006) С. 446-449

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 7, № 3 (2006) P. 446-449

PACS: 61.43.DQ, 68.60.DV, 71.20.RV

ISSN 1729-4428

Р.І. Бігун

Вплив субмоношарових сурфактантних підшарів германію на перенос заряду в тонких полікристалічних плівках золота

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова,50, Львів, 79005

Вивчено структуру і електропровідність тонких плівок золота. Показано, що субмоношарові сурфактантні підшари германію (масова товщина 2 нм) прискорюють металізацію плівок золота. Згідно з результатами структурних досліджень, попередньо нанесений на підкладку підшар германію сприяє формуванню більш дрібнодисперсних плівок золота. Результати електричних вимірів пояснено в рамках існуючих модельних уявлень про класичний та внутрішній розмірні ефекти.

Ключові слова: тонкі металеві плівки, класичний та внутрішній розмірний ефект, поверхневе та міжкристалітне розсіювання носіїв струму.

Стаття поступила до редакції 10.02.2006; прийнята до друку 15.06.2006.

Вступ

Виготовлення та дослідження провідних зразків з наперед заданими фізичними властивостями, товщиною в декілька атомних шарів має важливе значення як для створення елементів мікроелектроніки, так і для розуміння закономірностей релаксації носіїв струму в зразках субнанометрової товщини. Відомо, що сили поверхневого натягу призводять до коагуляції зародків матеріалу, а це, в свою чергу, перешкоджає пошаровому росту плівки. Тому, при нанесенні плівок металів на діелектричні підкладки, існує певна мінімальна товщина шару d_{min}, при якій через зразок починає протікати електричний струм, так званий поріг протікання. Зниження товщини шару, що відповідає порогові протікання електричного струму через плівку даного металу, може бути здійснене з допомогою попереднього нанесення на підкладку покрить матеріалів нанометрової товщини, які зменшують вплив сил поверхневого натягу на ріст плівки. Ця проблема обговорювалась у ряді експериментальних робіт, зокрема в [1-4]. Оскільки на даний час сукупність відомих експериментальних даних, не дає повної картини про вплив сурфактантних покрить на формування та електричні властивості плівок металів, нами було досліджено особливості появи металевої провідності в плівках золота, нанесених в умовах надвисокого вакууму (тиск активних складових залишкових газів не перевищував 10^{-7} Па) на оплавлене скло та поверхню кристалу NaCl, а також вплив моношарових сурфактантних підшарів германію на структуру та електропровідність досліджуваних плівок.

I. Методика експерименту

В роботі використано експериментальні методики, описані в [3,4]. Зазначимо лише, що золото та германій напорошували методом їх термічного випаровування. Швидкість нанесення матеріалу на підкладку становила 0,05 – 0,10 нм/с. Плівки зростаючої товщини одержували шляхом послідовного допилення металу на раніше виготовлену плівку. Для стабілізації структури та електричних властивостей плівки відпалювали при 373 К протягом однієї години.

II. Результати експерименту та їх обговорення

На рис. 1 показано розмірні залежності питомого опору ρ (криві 1, 2 та 3) при T = 300 К та температурного коефіцієнта опору β (криві 4, 5, 6) плівок золота. З даних, наведених на рис. 1 можна зробити висновок, що підшар германію сприяє зменшенню товщини плівки d_{min}, при якій досягається поріг протікання електричного струму. При товщині підшару германію 2 нм на поверхні кристалу NaCl металізація плівки золота у відпалених плівках виникає при d = 6 – 7 нм (рис. 1 крива 2), в той час як, на чистій поверхні хлористого натрію провідність плівок виникає при d = 8 – 10 нм. При конденсації золота на чисте скло поріг протікання струму у відпалених плівках існує при товщині шару d = 5 – 6 нм.

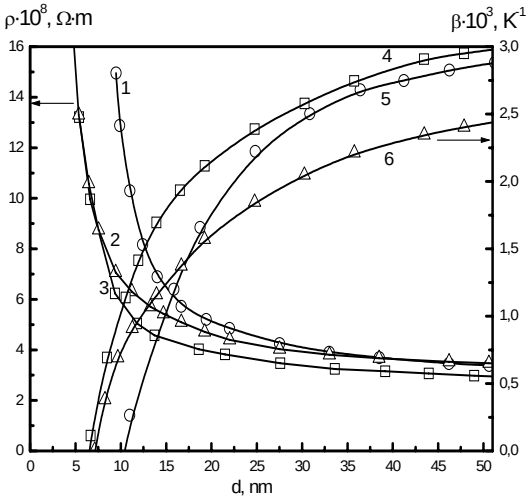


Рис. 1. Розмірні залежності питомого опору ρ та температурного коефіцієнта опору β відпалених плівок золота при T=300^{0}K.
1, 5 – плівки золота, нанесені на чистий скол NaCl;
2, 6 – плівки золота, нанесені на скол NaCl, попередньо покритий підшаром германію.
3, 4 – плівки золота, нанесені на чисте скло.

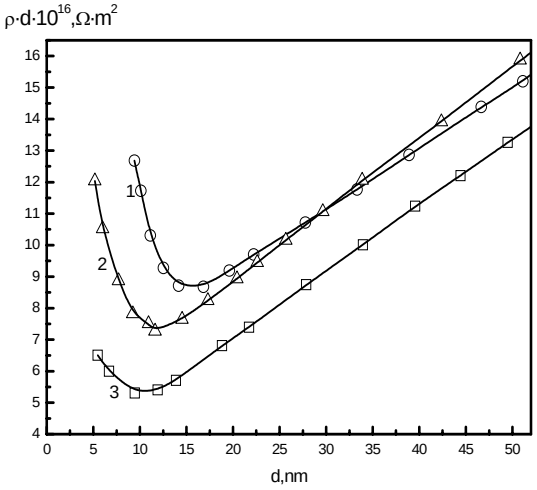
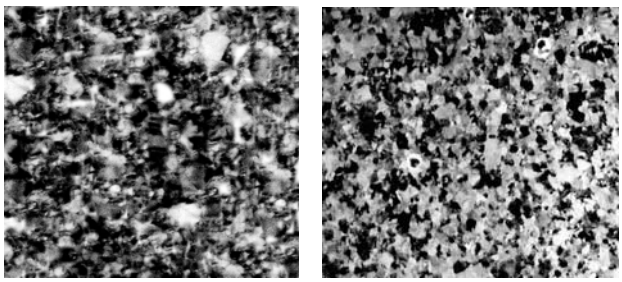


Рис. 2. Розмірні залежності $\rho d = f(d)$ плівок золота, розраховані за даними рис.1

Аналіз розмірних залежностей температурного коефіцієнта опору плівок золота, нанесених на чисте скло, скол кристалу хлористого натрію та на підшар германію (рис. 1 криві 4, 5 та 6), показує, що електрично суцільні відпалені плівки золота з металевим характером провідності (β > 0) отримують при товщинах d > 8 нм для плівок, нанесених на підшар германію та чисту поверхню скла, і при d > 10 нм для плівок, нанесених на чисту поверхню хлористого натрію.

Електронномікроскопічні та електронографічні дослідження структури плівок (рис. 3) показали, що відпалені плівки золота являють собою однорідні неорієнтовані полікристалічні зразки з кристалічною граткою, аналогічною гратці масивного металу. Середні лінійні розміри зерен для плівок нанесених на чисту поверхню NaCl, у площині плівки становлять D = 25 нм (рис. 3 а), а в плівках, нанесених на підшар германію, D = 20 нм (рис. 3 б).



а) б)

Рис. 3. Мікроструктура плівок золота
а) Au, d = 20 нм ×75000
б) Au, d = 20 нм ×75000 Ge(d = 2 нм)

Розмірні залежності питомого опору ρ та температурного коефіцієнта опору β плівок золота можна описати з допомогою наближених виразів теорії Фукса-Зондгеймера [5]:

$$\rho(d) = \rho_\infty[1+3\lambda(1-p)/8d],\ \beta(d) = \beta_\infty[1-3\lambda(1-p)/8d], \quad (1)$$

де ρ(d) – питомий опір шару товщиною d; ρ_∞ та β_∞ – питомий опір та температурний коефіцієнт опору плівки безмежної товщини ($d \to \infty$), структура якої ідентична структурі даної плівки; λ – середня довжина вільного пробігу носіїв струму; p – коефіцієнт дзеркальності поверхневого відбивання носіїв струму ($0 \le p \le 1$). Згідно [5], залежності ρ(d)·d = f(d) та β(d)·d = f(d) повинні бути лінійнійними. Це підтверджує рис. 2, на якому показано відповідні залежності ρ(d)·d = f(d), побудовані за даними рис.1. Відзначимо, що в області малих товщин плівки має місце відхилення цих залежностей від лінійності. За результатами рис.2 нами розраховано ρ_∞, λ_ρ, β_∞ та λ_β при T = 300 K. Ці результати наведено в табл. 1. Вважаємо, що розсіювання носіїв струму зовнішніми поверхнями плівки є дифузним: p = 0.

Таблиця 1

Питомий опір, температурний коефіцієнт опору, середня довжина вільного пробігу носіїв струму в плівках золота безмежної товщини при T = 300 K

Підкладка	$\rho_\infty \cdot 10^8$, Ом·м	$\beta_\infty \cdot 10^3$, K^{-1}	λ_ρ, Нм	λ_β, нм
NaCl	3,2	3	27	26
NaCl+Ge	3,8	2,6	23	22
Скло	3.1	3,2	32	33

Співставлення величин ρ_∞ та β_∞, наведених в табл. 1, з відповідними табличними даними ρ_0 та β_0 [6] показує, що $\rho_\infty > \rho_0$, а $\beta_\infty < \beta_0$. Спостережувані відмінності можна пояснити на основі модельних уявлень про внутрішній розмірний ефект Телье-Тосе-Пішара (Т-Т-П) [7]. В даній теорії процес розсіювання електронів границями зерен описується з допомогою коефіцієнта міжзеренного тунелювання

t. Параметр t пов'язаний з імовірністю зерномежового розсіювання r наступним співвідношенням: $r/(1-r) = 2(1-t)/(1+t)$. Параметри переносу заряду в плівках золота розраховано з виразів теорії [7]. Результати розрахунку наведено в табл. 2. Більш детально процедура співставлення експериментальних даних з виразами теорії [7] описана нами в [4] при обговорені властивостей плівок міді.

Реальна поверхня плівка не є плоскопаралельною, а тому макроскопічні поверхневі неоднорідності виступають додатковими центрами розсіювання при переносі заряду в тонкій плівці і призводять до неузгодженості з теорією [5] в області малих товщин. Параметром, що характеризує макроскопічні поверхневі неоднорідності, є величина h, яка має сенс середньої амплітуди макроскопічних неодородностей поверхні На основі моделі полікристалічного шару неоднорідної товщини [7] можна здійснити достатньо коректну оцінку параметра h. Для цього експериментальні дані підставляємо в апроксимаційний вираз теорії [8]:

$$\rho(d)=[\rho_0/f(\alpha)]b^{(-1/2)}\{1+(3\lambda_0/8d)f(\alpha)b^{(-1)}\}, \qquad (2)$$

в якому $b = [1-(h/d)^2]$, ρ_0 – питомий опір масивного металу, $f(\alpha)$ – зерномежова функція, λ_0 – середня довжина вільного пробігу носіїв струму в масивному металі. Розраховані за допомогою виразу (2) значення h наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри переносу заряду в плівках золота при T=300K.

Підкладка	r	t	h, нм
NaCl	0.18	0.80	6.5
NaCl+Ge	0.21	0.77	3.4
Скло	0.15	0.84	3

Висновки

Проведене дослідження показало, що германієві підшари прискорюють металізацію плівок золота, а також сприяють формуванню більш дрібнодисперсних плівок.

Отримані кількісні характеристики параметрів переносу заряду в плівках золота, нанесених на скол хлористого натрію та поверхню, попередньо покриту підшаром германію, достатньо добре узгоджуються між собою та з даними, наведеними в роботах інших авторів, зокрема [9].

Автор висловлює подяку завідувачу кафедри фізичної та біомедичної електроніки, доктору фізико-математичних наук професору Стасюку З.В. за обговорення експериментальних результатів.

Бігун Р.І. – аспірант факультету електроніки кафедри фізичної та біомедичної електроніки.

[1] K. Schroder, Le Zhang. Unusual low resistivity of sub-nm thick Cr overlayers on Ge substrates // *Phys. Stat. Sol. (b)*, **183**, pp. k5-k8 (1994).

[2] T. Lewowski, P. Wieczorek. Surfactant effect of Sb on the growth of Ag films on sappfhire substrate *// Appl. Surf. Sci*., **93**, pp. 85-87 (1996).

[3] З.В. Стасюк, М.М. Козак, Б.Р. Пенюх, Р.І. Бігун. Вплив алюмінієвих та германієвих субатомних сурфактантних шарів на перенос заряду в тонких паладієвих плівках // *ФХТТ*, **3**(3), сс. 418-422 (2002).

[4] Р.І. Бігун, З.В. Стасюк. Вплив сурфактантних субатомних шарів сурми на структуру та електропровідність плівок міді нанометрової товщини // *ФХТТ*, **6**(4), сс. 418-422 (2005).

[5] К.Л. Чопра, *Электрические явления в тонких пленках*. М.: Мир, 435 с. (1972).

[6] И.К. Кикоин. *Таблицы физических величин. Справочник*, М.: Атомиздат, 624 с. (1976).

[7] Bedda, C.R. Pichard, A.J. Tosser. Numerical approximations for transport parameters in the framework of multidimensional conduction models // *Journ. Mat. Sci*. 21, pp. 1405-1412 (1986).

[8] Z.V. Stasyuk. Quasiclassical models of electron transport phenomena in thin metal films *// Journ. Phys. Studies*, **3**(1), pp.102-106 (1999).

[9] M. Hubin, J. Gouault. Resistivity and thermoelectric power between -100^0 C and $+100^0$ C of gold and silver thin films formed and studied in ultrahigh vacuum // *Thin Solid Films*. **24**, pp. 311-331 (1974).

R.I. Bihun

The Influence of Germanium Submonolayers on Electron Transport in Polycrystalline Thin Gold Film

'Ivan Franko' Lviv National University, 50, Dragomanova Str., Lviv, 79005, Ukraine

The structure and electrical properties of Au films were investigated. It was shown that subatom Ge layer (mass thickness 2 nm) hasted Au films metallization. Predeposited subatom Ge surfactant undelayer course formation of more fine-dyspersated thin Au films. The experimental results were explained within the framework of the classical and internal size effect theories.