

## РОЗМІРНІ ЕФЕКТИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЯХ ТОНКИХ ПЛІВОК ТИТАНУ

О.В. Шовкопляс, А.М. Черноус, О.Б. Ласюченко, І.Ю. Проценко  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, 244007, Суми, Україна

### Вступ

На величину питомого опору та характер його залежності від товщини у термостабілізованих плівках в основному впливає два фактори. Перший пов'язаний з розмірними ефектами в електропровідності, який обумовлюється розсіюванням носіїв електричного струму на зовнішніх поверхнях плівки та на межах зерен, а другий - з наявністю домішкових атомів у конденсатах. Більш за все останній проявляється у плівках хімічно активних елементів, таких як титан, скандій та інших, одержаних в технологічному вакуумі ( $\sim 10^{-3}$  Па). Слід відмітити, що вакуум, отриманий за допомогою пароструменевих насосів, ще досить часто використовується у технологічному обладнанні при виробництві мікроелектронних приладів.

Незважаючи на те, що вивченню структури та електрофізичних властивостей тонких плівок титану присвячена значна кількість робіт (див., наприклад, [1-4]), деякі аспекти даної проблеми залишаються маловивченими. Один із них полягає в тому, що, контролюючи ступінь вакууму та швидкість конденсації, можна отримати резистивні плівки з заданими наперед характеристиками. Дані зразки могли б знайти застосування, наприклад, як матеріали плівкових резисторів.

### Методика експерименту

Нами проводились дослідження у технологічному вакуумі ( $\sim 10^{-3}$  Па) на стандартній установці ВУП-5М. Плівки титану конденсувались зі швидкістю  $\omega \sim (0.85 + 1.25)$  нм/с на скляні підкладки з вплавними молібденовими стержнями при температурі  $T_s \approx 300$  К. Останні служили в якості електродів для вимірювання опору. Відпалювання зразків здійснювалось за схемою "нагрівання  $\leftrightarrow$  охолодження" з швидкістю  $(2+3)$  К/хв протягом 3-4 циклів в інтервалі температур  $(300+700)$  К.

Кінцева товщина визначалась за допомогою інтерферометра Лінніка з похибкою вимірювання 10% при товщинах більше 50 нм.

**Результати та їх обговорення**

В залежності від товщини зразка ( $d$ ) питомий опір ( $\rho$ ) падав або збільшувався з ростом температури, що ілюструє рис.1 на прикладі плівок товщиною 35 та 100 нм. Розмірна залежність питомого опору та температурного коефіцієнту опору (ТКО) в інтервалі товщин 15-140 нм наведено на рис.2.

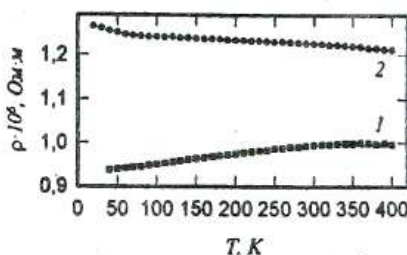


Рис.1. Залежність  $\rho(T)$  для плівок титану 1 - товщина 35, 2 - 100 нм.

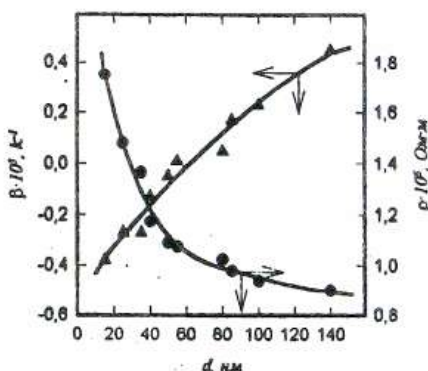


Рис.2. Залежність  $\beta(d)$  та  $\rho(d)$  для плівок титану.

Експериментальні результати оброблялись в рамках лінеаризованого співвідношення Майадаса та Шатцкеса, яке приведене в роботі [5] у такому вигляді:

$$\beta d = \beta_0 d - \beta_0 \lambda_0 (1 - p) F(\alpha), \quad (1)$$

де  $\beta$  - ТКО плівки,  $\beta_0$  - ТКО при  $d \rightarrow \infty$ ,  $\lambda_0$  - середня довжина вільного пробігу носіїв електричного струму в масивному зразку (для плівки  $\lambda_0 = \lambda_0 f(\alpha)$ ,  $f(\alpha)$  - функція розсіювання на межі зерен),  $F(\alpha)$  - функція, яка слабо залежить від товщини, вона табульована у роботі [6]. Результати обробки експериментальних даних приведені у таблиці. Тут же для порівняння приведені наші результати [7], одержані при інших швидкостях конденсації.

Параметри електропереносу плівок титану.

$\beta_s \cdot 10^3, K^{-1}$	$\lambda(1-p), \text{нм}$		Примітки
	$\lambda_o(1-p)$	$\lambda_s(1-p)$	
0.41	57.3	7.1	[7]
0.47	96.7	10.6	

Обговорюючи одержані результати, потрібно звернути увагу на від'ємне значення ТКО.

В роботі [8] розглядалось питання про вплив швидкості конденсації та ступеню робочого вакууму на структуру та електрофізичні властивості плівок скандію. Авторами був введений параметр конденсації у вигляді:

$$\alpha = \frac{P}{\omega \sqrt{T_n}} \quad (2)$$

де  $p$  - тиск газів залишкової атмосфери,  $\omega$  - швидкість конденсації,  $T_n$  - температура підкладки. Згідно даних, приведених у [8], збільшення параметру  $\alpha$  приводить до утворення плівок гідриду скандію з ГЦК решіткою  $(2.4 \cdot 10^{-8} \leq \alpha \leq 1.2 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{К}^{1/2}}$ . При значеннях  $\alpha < 8.1 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{К}^{1/2}}$  утворюються чисті плівки цього металу.

Аналізуючи вираз (2) та результати, приведені в [7], можна зробити висновок, що більш чисті зразки утворюються при збільшенні швидкості їх конденсації ( $p = \text{const}$ ), або при зменшенні тиску газів залишкової атмосфери ( $\omega = \text{const}$ ).

Повертаючись до наших результатів, слід зазначити, що в інтервалі товщин  $(15+80)$  нм параметр  $\alpha$  змінюється від  $5 \cdot 10^{-4}$  до  $3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{К}^{1/2}}$ , а при товщинах  $(85+140)$  нм  $\alpha$  має величину  $1.8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{К}^{1/2}}$ .

Збільшення параметра  $\alpha$ ; з одного боку, може привести до утворення оксиду титану (див., наприклад, [4]) з ГЦК структурою. З другого боку, це може бути твердий розчин типу ГЦУ-Ті-О з, можливо, нижнім шаром  $\text{TiO}_x$ , що найбільш імовірно. Слід відмітити, що в роботі [4] плівки були одержані при швидкості конденсації  $0.2+0.4$  нм/с у вакуумі  $1 \cdot 10^{-3}$  Па. При цьому параметр  $\alpha$  складає  $2.9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{К}^{1/2}}$ . В цій же роботі за залежністю  $\ln \sigma \left( \frac{1}{T} \right)$  було розраховано значення енергії активації електропровідності для плівок  $\text{TiO}_x$  товщиною  $(10+90)$  нм, яке складає  $(0.23+6.65) \cdot 10^{-2}$  еВ.

Менше значення енергії активації  $\Delta E \approx 0.18 \cdot 10^{-2}$  еВ, одержане за нашими даними, наводить на думку про утворення твердого розчину ГЦУ-Ті-О, що підтверджується прямими електронографічними дослідженнями.

Виходячи з вище сказанного, можна зробити висновок про те, що значення параметрів електропереносу в тонких плівках титану істотно залежить від умов конденсації. Керуючи даними умовами, можна отримати зразки з потрібними характеристиками. При цьому основну роль у значеннях параметрів електропереносу будуть відігравати хімічний склад та структура плівок.

На нашу думку, такі зразки могли б знайти застосування при виробництві плівкових резисторів. Так як в окремих інтервалах товщин, у нашому випадку  $(45+70)$

## Раздел 7

нм, вони мають низке значення ТКО ( $\sim 10^{-4} + 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ). Значення поверхневого питомого опору  $\rho_s$  складає  $(15+20) \text{ Ом/}\square$ . Ці дані задовольняють вимогам до матеріалів гліткових резисторів.

### Література

1. Мельничук Б.Л., Стасюк З.В. //ФММ - 1978. - т.46, № 6. - С.1115-1117.
2. Зыман З.З., Глушко В.И. //Электронная техника. Серия: Материалы. - 1984. - Вып.12 (197). - С.59-61.
3. Gabr Abd-El-Moneim A., El-Agrab M.I., El-Nahass M.M. et al. //Fizika. - 1984. - V.16, №3. - P.233-241.
4. Осипова Г.И., Проценко И.Е., Шамомя В.Г., Яременко А.В. //ФиХОМ. - 1983. - №6. - С.59-63.
5. Tellier C.R., Tosser A.J. //Thin Solid Films. - 1976. - V.33, №1. - P.19-26.
6. Tosser A.J., Tellier C.R., Pichard C.R. //J.Maten-Sci. - 1981. - V.16, №3. - P.944-948.
7. Шовкопляс О.В., Опанасюк Н.Н., Ласюченко Е.Б., Проценко И.Е. //Тезисы докладов конференции "Вакуумная металлизация". - Харьков: ХВО. - 1996. - С.89.
8. Loboda V.V., Protsenko I.E., Yaremenko A.V. //Kristall and Technik. - 1980. - V.15, №1. - P.43-53.