

УДК 535.012: 538.9  
PACS 42.50.Rh, 42.65.Jx

## ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОГЕННИХ ПЛІВОК ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ

І. Бурик, О. Кілиб, В. Бібик

*Конотопський інститут Сумського державного університету  
вул. Миру, 24, 41615 Конотоп, Сумська область, Україна  
byruk1982@mail.ru*

У роботі представлено результати досліджень електрофізичних властивостей та структурно-фазового складу гетерогенних плівок  $\text{Mo}+\text{Mo}(\text{C},\text{N})_x$ ,  $\text{Re}+\text{Re}(\text{N},\text{O})_x$  та  $\text{W}+\text{W}(\text{C},\text{O})_x$ . Виявлено, що ці плівки мають термоактиваційний характер провідності. На основі експериментальних даних розраховано температурний коефіцієнт опору (від'ємний,  $\sim 10^{-4} \text{K}^{-1}$ ) та енергія активації ( $\sim 10^{-3} \text{eV}$ ).

**Ключові слова:** гетерогенні плівки, температурний коефіцієнт опору, енергія активації.

На сучасному етапі розвитку електроніки значний інтерес викликають гетерогенні плівкові матеріали на основі тугоплавких металів (Ta, Mo, Re, W та ін.), які містять аморфні фази, оксиди, карбіди і т.п. Висока температурна стійкість дозволяє використовувати такі плівки для створення функціональних елементів мікроелектроніки [1] та сенсорної техніки [2] методом багат шарової металізації з прогнозуванням впливу дифузійних процесів і структури шарів на величину контактного опору та робочі характеристики. Слід відзначити, що досить широкого розповсюдження набули плівкові матеріали на основі Ta [3-5]. У попередній роботі [2] наведено результати досліджень електрофізичних властивостей та структурно-фазового складу гетерогенних плівок  $\text{Re}+\text{Re}(\text{N},\text{O})_x$ . Зроблено висновок про можливість їх використання як термічно стабільних чутливих елементів тензодатчиків. Проте менш вивченими залишаються терморезистивні властивості гетерогенних плівок  $\text{Mo}+\text{Mo}(\text{C},\text{N})_x$ ,  $\text{Re}+\text{Re}(\text{N},\text{O})_x$  та  $\text{W}+\text{W}(\text{C},\text{O})_x$ .

Для отримання плівок нами використовувалася вакуумна установка типу ВУП-5М (вакуум  $\sim 10^{-3}$  Па). Гетерогенні структури формувалися електронно-променевим методом шляхом варіювання середньої швидкості конденсації ( $\varpi$ ), температури підкладки ( $T_{\text{п}}$ ) і температури відпалювання ( $T_{\text{в}}$ ). Пристрої для отримання плівок та подальшого їх дослідження розміщувались у корпусі робочої камери. Контролювалися електричний опір (точність  $\pm 0,05\%$ ) плівок та температура (точність  $\pm 1\text{K}$ ) підкладки. Товщини плівок визначалися методом кварцового резонатора (точність 10%). З метою вивчення фазового складу та структури плівкових зразків

проводились електронографічні та електронно-мікроскопічні дослідження за допомогою електронного мікроскопу ПЕМ-125К.

Відзначимо, що плівки Mo, отримані у вакуумі  $10^{-3}$  Па при температурах підкладки  $T_{\text{п}} \cong 300 - 370$  К зі швидкостями конденсації  $\varpi < 0,2$  нм/с, мали аморфну будову. При збільшенні швидкості конденсації (до 0,8 нм/с) та температури підкладки (до 500К) формувалися дрібнодисперсні кристалічні структури ГЦК-Mo(C,N)x та ОЦК-Mo фаз з параметрами ґраток 0,419 та 0,314 нм відповідно. Після охолодження відпалених зразків (при температурі 750К протягом 15 хвилин) до кімнатної температури їх фазовий склад відповідає ОЦК-Mo+гексагональна фаза Mo<sub>2</sub>(C,N). У подібних умовах при швидкостях конденсації  $\varpi \cong 1,0$  нм/с та температурах підкладки  $T_{\text{п}} \cong 400$ К формувалися гетерогенні плівки ГЦП-Re+ГЦК-Re(N,O)x. Параметри кристалічних ґраток метастабільної ГЦК-фази оксинітриду Re для відпалених та невідпалених зразків становили 0,405 та 0,404 нм відповідно. На мікрознімках спостерігався різний контраст, що було пояснено утворенням темних кристалітів із надлишками азоту, а світлих – із надлишками кисню. Зменшення швидкості конденсації до  $\varpi \cong 0,1$  нм/с та температури підкладки до  $T_{\text{п}} \cong 300 - 350$ К, як і у попередньому випадку, призводило до утворення аморфних плівок. При зміні інтенсивності електронного пучка внаслідок кристалізації аморфної фази на електронограмах з'являлися точкові рефлекси від гексагональної фази Re<sub>3</sub>O та кубічної фази ReO<sub>3</sub>. Аналіз результатів досліджень плівкових матеріалів на основі W показав, що при  $\varpi \cong 0,1$  нм/с та  $T_{\text{п}} \cong 400$ К у вакуумі утворювалися аморфні плівки. При відпалюванні таких плівок до 750К відбувається формування гетерогенного складу a-W+W<sub>3</sub>O. Про це свідчило утворення темних плям в аморфній матриці, які відповідали оксиду W<sub>3</sub>O з простою кубічною решіткою. Збільшення швидкості конденсації та температури підкладки призводить до формування нанодисперсних плівок W, які мають ОЦК-структуру, подібну до масивних зразків. Після відпалювання плівок W+W(C,O)x на електронограмах було зафіксовано слабе розмите кільце, яке відповідає карбіоксиду W<sub>2</sub>(C,O).

Для дослідження терморезистивних властивостей плівок ми проводили 3 термостабілізаційні цикли “нагрівання-охолодження” в області проміжних температур. Як приклад на рис. 1 наведено типові температурні залежності для гетерогенних плівок Mo+Mo(C,N)x, отримані при охолодженні на 3 циклі.

Отримані результати також дозволили оцінити величину енергії активації, яка для плівок Mo+Mo(C,N)x товщиною 20 та 40 нм становить відповідно  $3,1 \cdot 10^{-3}$  та  $5,9 \cdot 10^{-3}$  eV, що у порівнянні з енергією теплового руху атомів має величину на порядок меншу.

На рис.2 та 3 наведено типові температурні залежності для плівкових матеріалів на основі W та Re. Значення енергії активації для плівок W+W(C,O)x товщиною 30 та 40 нм відповідно становлять  $0,9 \cdot 10^{-3}$  та  $2,0 \cdot 10^{-3}$  eV. Для плівок Re+Re(N,O)x товщиною 40 нм вона становить  $4,9 \cdot 10^{-3}$  eV. Згідно [5] у гетерогенних плівках Ta (концентрація Ta становила від 48 до 59%) товщиною від 100 до 150 нм характерна присутність на температурній залежності опору двох ділянок з різною крутизною, і відповідно з різними енергіями активації (0,1-0,2 eV та 1,5-2,0 eV).

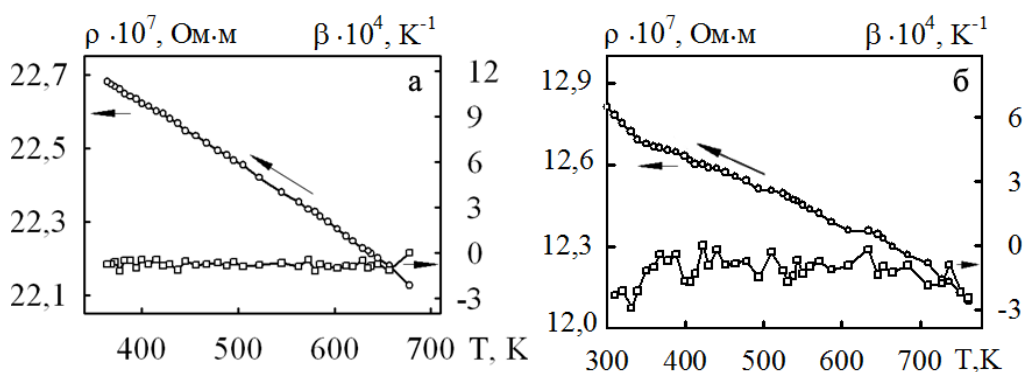


Рис. 1: Температурні залежності питомого опору і температурного коефіцієнта опору для гетерогенних плівок Mo+Mo(C,N)<sub>x</sub> різних товщин: а – 20 нм, б – 40 нм

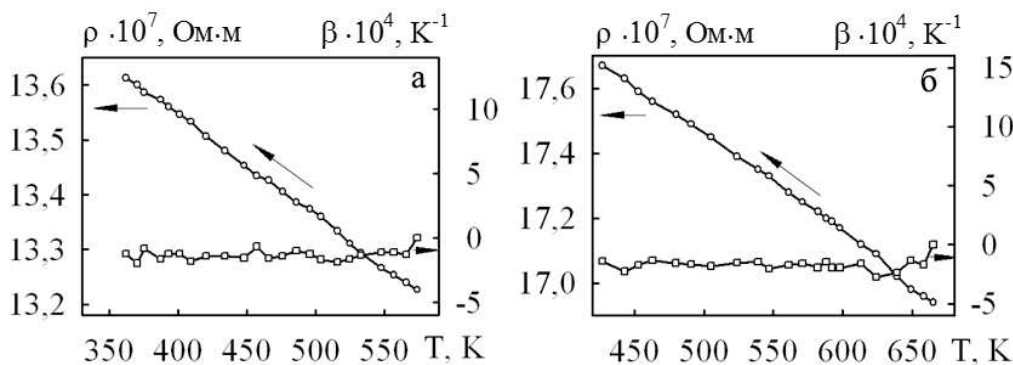


Рис. 2: Температурні залежності питомого опору і температурного коефіцієнта опору для гетерогенних плівок W+W(C,O)<sub>x</sub>: а – 40 нм, б – 30 нм

## Висновки

Таким чином, в інтервалі проміжних температур для гетерогенних плівок Mo+Mo(C,N)<sub>x</sub>, Re+Re(N,O)<sub>x</sub> та W+W(C,O)<sub>x</sub> зафіксовано термоактиваційний характер провідності – при зменшенні температури питомий опір лінійно зростає. Енергія активації має величину у декілька разів меншу у порівнянні з енергією теплового руху атомів. Температурний коефіцієнт опору практично не змінюється та приймає лише від'ємні значення  $\sim 10^{-4} \text{K}^{-1}$ . Отримані результати можна пояснити наявністю у гетерогенних плівках певної кількості діелектричної та інтерметалідної фази.

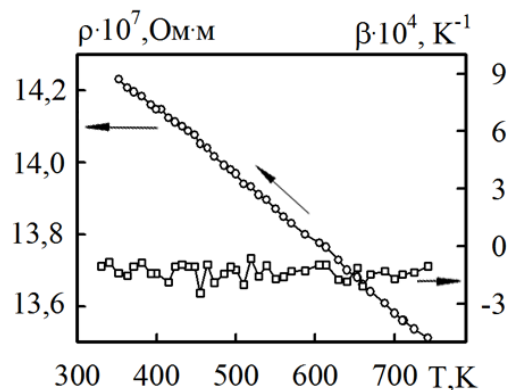


Рис. 3: Температурні залежності питомого опору і температурного коефіцієнта опору для гетерогенної плівки  $\text{Re}+\text{Re}(\text{N},\text{O})_x$  товщиною 40 нм

### Список використаної літератури

1. *Новосядлий С.П.* Конструкторсько-технологічні особливості формування транзисторних структур ВІС для аналогово-цифрової схемотехніки / С. П. Новосядлий, В. М. Вівчарук, В. П. Перегінський // ФХТТ. – 2009. – Т. 10, № 4. – С. 957-970.
2. *Бурик І.П.* Тензорезистивні властивості гетерогенних плівкових матеріалів на основі тугоплавких металів / І. П. Бурик, Л.В. Одноворець // Ж. нано- та електрон. фіз. – 2009. –Т. 1, № 3. – С. 24–29.
3. *Ayerdi I.* Characterization of tantalum oxynitride thin films as high-temperature strain gauge / I. Ayerdi, E. Castano, A. Garcia-Alonso [etal.] //Sens. Actuat.A.– 1995. – V. 46 – 47. – P. 218–221.
4. *Chung G.S.* Characterization of tantalum nitride thin film strain gauges for harsh environments / G.S. Chung // Sens. Actuat. A. – 2007.–V.135. – P. 355–359.
5. *Чистоедова И.А.* Полифункциональные тонкие пленки неметаллических соединений тантала : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.17.11 “Технология силикатных и тугоплавких неметаллических соединений” / И. А. Чистоедова. – Томск, 2005. – 19 с.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2012  
 прийнята до друку 17.10.2012

**ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF HETEROGENEOUS  
FILMS BASED ON REFRACTORY METALS****I. Buryk, O. Kilyb, V. Bibyk**

*Konotop Institute of Sumy State University,  
24 Myr St., UA-41615 Konotop, Sumy region, Ukraine  
byruk1982@mail.ru*

This article presents the research results of the electrophysical properties and structural-phase state of the Mo+Mo(C,N)<sub>x</sub>, Re+Re(N,O)<sub>x</sub> and W+W(C,O)<sub>x</sub> heterogeneous films. It is found that these films have thermoactivational mechanism of electrical conductivity. The temperature coefficient of resistance ( $\sim 10^{-4} K^{-1}$ ) and activation energy (negative,  $\sim 10^{-3} eV$ ) were calculated using the experiment data.

**Key words:** heterogeneous films, thermal coefficient of resistance, activation energy.

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОГЕННЫХ  
ПЛЕНОК ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ****И. Бурик, А. Килыб, В. Бибык**

*Конотопский институт Сумского государственного  
университета  
ул. Мира, 24, 41615 Конотоп, Сумская область, Украина  
byruk1982@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований электрофизических свойств и структурно-фазового состава гетерогенных пленок Mo+Mo(C,N)<sub>x</sub>, Re+Re(N,O)<sub>x</sub> и W+W(C,O)<sub>x</sub>. Установлено, что пленки имеют термоактивационный характер электрической проводимости. На основании экспериментальных данных были рассчитаны температурный коэффициент сопротивления (отрицательный,  $\sim 10^{-4} K^{-1}$ ) и энергия активации ( $\sim 10^{-3} eB$ ).

**Ключевые слова:** гетерогенных пленки, температурный коэффициент сопротивления, энергия активации.