

УДК 621.793.184

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИОННОГО ПУЧКА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕДИ

Гутенко Н.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь**Научный руководитель: Телеш Е.В. – старший преподаватель кафедры ЭТТ*

**Аннотация.** Экспериментально исследовано влияние параметров ионных пучков на электрофизические характеристики тонких пленок меди. Установлено, что удельное объемное сопротивление практически не зависело от величины ионного тока и энергии ионов и находилось в пределах  $(0,8-1,6) \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . При токе пучка 25 мкА температурный коэффициент сопротивления был отрицательным и составлял  $9,2 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ . При более высоких токах ионного пучка он имел положительный знак, слабо зависел от  $U_a$  и находился в диапазоне  $(6,2-17,0) \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** ионные пучки, тонкие пленки меди, электрофизические характеристики

**Введение.** Недостатки известных методов получения покрытий на основе металлов для изделий оптики, оптоэлектроники микро- и наноэлектроники связаны с ограниченными возможностями управления энергией осаждаемых частиц, переносом вещества к подложке по закону «косинуса» и трудностями контроля количества осаждаемого вещества. Энергия осаждаемых на подложку атомов вещества при термическом, ионном распылении и пиролитическом осаждении составляет 0,01–5 эВ, что не позволяет получать тонкопленочные покрытия с высокой адгезией и требуемой микроструктурой при низких до 323–423 К температурах подложки. Весьма перспективным методом является синтез пленок непосредственно из пучков ионов [1]. Возможность управления энергией осаждаемых ионов позволяет изменять адгезию пленок к подложке, структуру и состав растущей пленки, а следовательно, и ее свойства. Тонкие медные пленки находят применение в качестве электродов в гибких ЖК дисплеях, сенсорных экранах [2]. Перспективным направлением является также замена серебряных низкоэмиссионных слоев на медные в архитектурных стеклах и полимерных покрытиях [3]. Тонкие пленки меди толщиной около 85 нм были получены на подложках при комнатной температуре методом частично ионизованного лучевого осаждения (PIBD) с энергией ионов 3 кэВ [4]. Было исследовано влияние ускоряющего напряжения ( $U_a$ ) от 0 до 4 кВ на такие свойства, как кристалличность, шероховатость поверхности, удельное объемное сопротивление и т. д.

Целью настоящей работы является исследования влияния параметров ионных пучков меди на удельное объемное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления.

**Основная часть.** Исследования осуществляли с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса. Схема проведения экспериментов представлена на рисунке 1, а. Перед нанесением покрытий проводилось измерение тока вторичного ионного пучка зондовым методом. Толщину покрытий измеряли с использованием микроскопа-микроинтерферометра МИИ-4. Удельное поверхностное сопротивление измерялось с применением прибора ИУС-3. Энергия ионов вторичного пучка зависела от ускоряющего напряжения на аноде ионного источника  $U_a$ . Покрытия наносили на подложки из кремния. Установлено, что скорость нанесения линейно зависела от мощности вторичного ионного пучка (рис.1, б).

Исследовано влияние величины тока ионного пучка при  $U_a = 2,5 \text{ кВ}$  на удельное объемное сопротивление пленок меди. Удельное объемное сопротивление  $\rho_v$  практически не зависело от величины ионного тока пучка и находилось в пределах  $(1,08-1,35) \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  (рис.2, а). Зависимость сопротивления от температуры представлена на рисунке 2, б. При токе пучка 25 мкА температурный коэффициент сопротивления (ТКС) был отрицательным и

составлял  $9,2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ . Толщина пленки меди не превышала 5 нм, т.е механизм токопереноса имел туннельный характер.

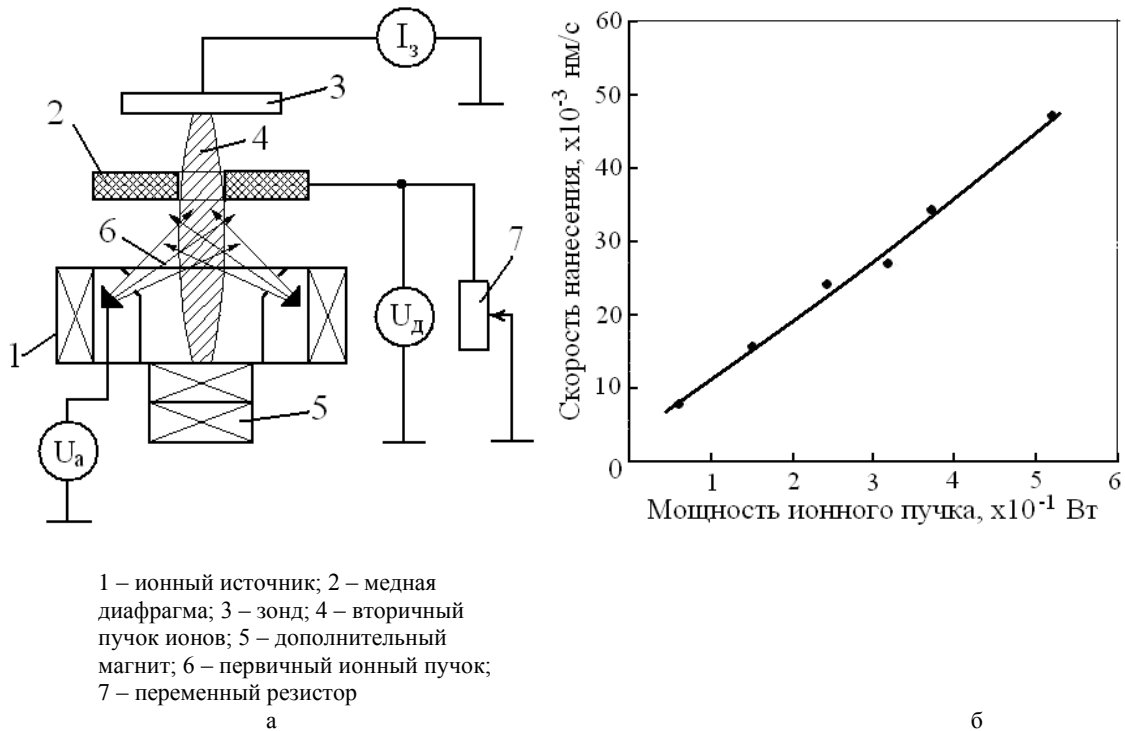


Рисунок 1 – Схема проведения экспериментов (а) и зависимость скорости нанесения от мощности вторичного ионного пучка (б)

При токе пучка 60 мкА и толщине пленки 20 нм. ТКС также имел отрицательные значения. Это можно объяснить наличием оксидных и нитридных слоев на поверхности зерен меди из-за низкой скорости нанесения и, соответственно, туннелированием электронов через диэлектрический барьер. При более высоких токах ионного пучка ТКС имел положительный знак.

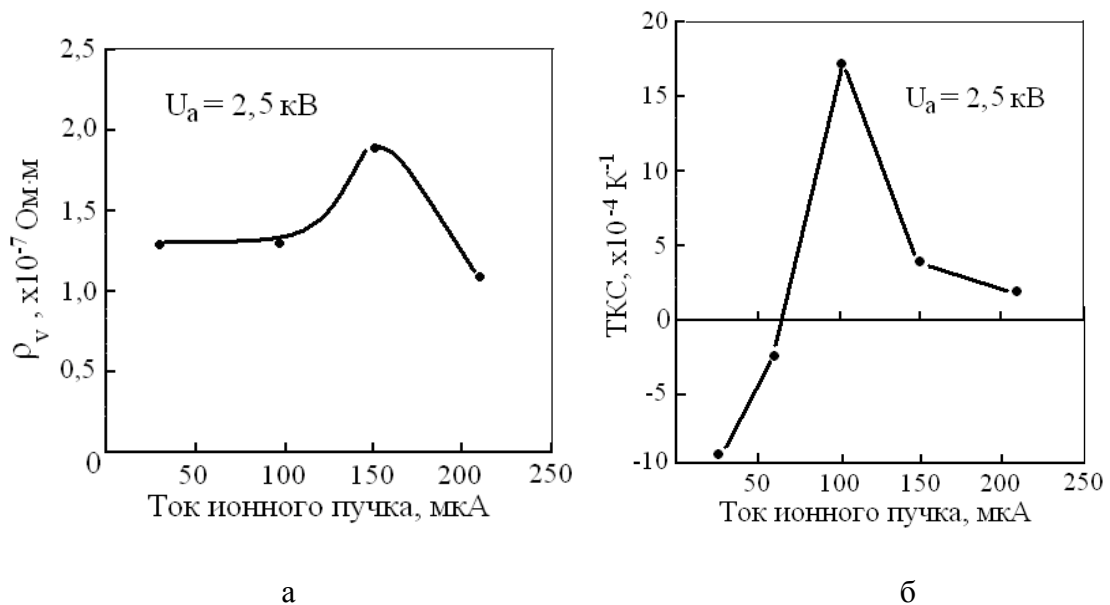


Рисунок 2 – Зависимости удельного объемного сопротивления (а) и температурного коэффициента сопротивления (б) от величины тока вторичного ионного пучка

На рисунке 3 представлена зависимость удельного объемного сопротивления от ускоряющего анодного напряжения при токе ионного пучка 100 мкА. Установлено, что  $\rho_v$  находилось в диапазоне  $(0,8-1,6) \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  и практически не зависело от величины  $U_a$ .

Температурный коэффициент сопротивления имел положительный знак, также слабо зависел от  $U_a$  и находился в диапазоне  $(6,2-17,0) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

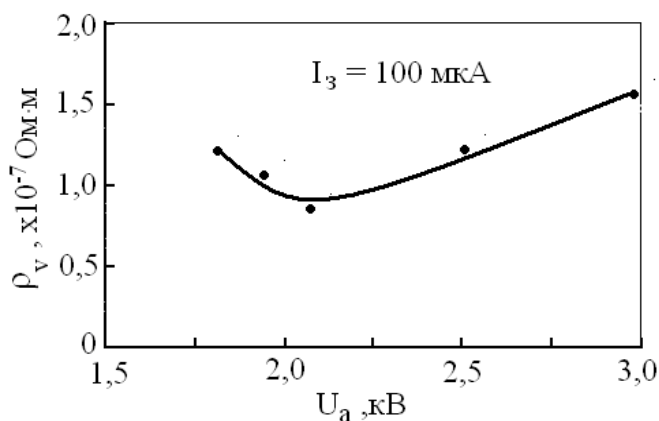


Рисунок 3 – Зависимость удельного объемного сопротивления от величины ускоряющего анодного напряжения

**Заключение.** Установлено, что скорость нанесения линейно зависела от мощности вторичного ионного пучка. Удельное объемное сопротивление практически не зависело от величины ионного тока и энергии ионов и находилось в пределах  $(0,8-1,6) \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Температурный коэффициент сопротивления пленок меди менял свой знак с отрицательного на положительный при толщине плёнок более 20 нм.

#### Список литературы

1. Телеш, Е.В. Применение вторичного разряда в ускорителе с анодным слоем для формирования оптических покрытий из диоксида кремния. / Е.В. Телеш, А.П. Достанко. Контенант, 2014. – т.13. – №2. – С.31–33.
2. Kim, D.-J. Indium-free, highly transparent, flexible  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}/\text{Cu}_2\text{O}$  mesh electrodes for flexible touch screen panels/ D.-J. Kim et al. //Sci. Rep.–2012.– V.5, 16838; doi: 10.1038/srep16838.
3. Zakharov, A.N. Properties of low-emission coatings based on Ag and Cu deposited on polymer film by magnetron sputtering /A.N. Zakharov et al. //Inorganic Materials: Applied Research.– 2012.–V.3.– №5. – P. 433–439.
4. Jang , H. G. Thermal Stability of Cu Films on Tin/Ti/Si(100) by Partially Ionized Beam Deposition /H. G. Jang et al. // MRS Online Proceeding Library Archive438. – 2012.

UDC 621.793.184

## EFFECT OF ION BEAM PARAMETERS ON THE ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THIN COPPER FILMS

Gutenko N.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh E.V. – senior lecturer of the Department of ETT

**Annotation.** The influence of the parameters of ion beams on the electrophysical characteristics of thin copper films has been experimentally studied. It was found that the specific volume resistance was practically independent of the ion current and ion energy and was within the range  $(0.8-1.6) \cdot 10^{-7} \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ . At a beam current of  $25 \mu\text{A}$ , the temperature coefficient of resistance was negative and amounted to  $9.2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ . At higher ion beam currents, it had a positive sign, weakly depended on  $U_a$ , and was in the range  $(6.2-17.0) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

**Keywords:** ion beams, copper thin films, electrophysical characteristics