

УДК 621.793.184

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИОННЫХ ПУЧКОВ МЕДИ

Телеш Е.В.<sup>1</sup>, Данилович С.В.<sup>2</sup>, Гутенко Н.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

<sup>2</sup>НП УП «Дисплей»

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Исследованы параметры пучков ионов меди в зависимости от режимов работы ионного источника и особенностей его конструкции. Измерения осуществляли с использованием ускорителя с анодным слоем, работающим в режиме ионно-пучкового фокуса, одиночного и многосеточного зондов. При измерениях плотности тока варьировались давление рабочего газа, ускоряющее напряжение на аноде  $U_a$  и расстояние  $h$  «ионный источник–диафрагма». Установлено, что при низких давлениях рабочего газа и при ускоряющем напряжении свыше 1,5–2,0 кВ наблюдается снижение плотности тока ионов. Увеличение  $h$  способствовало снижению плотности тока электронов и росту плотности ионного тока до 10 мА/см<sup>2</sup>. Анализ тормозных характеристик показал, что энергия ионов изменялась в диапазоне 36–60 эВ.

**Ключевые слова:** ускоритель с анодным слоем, вторичный разряд, ионно-пучковый фокус, ионы меди, энергия ионов.

## INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF COPPER ION BEAMS

Telesh E.<sup>1</sup>, Danilovich S.<sup>2</sup>, Gutenko N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

<sup>2</sup>SM UE «Display»

Minsk, Belarus

**Abstract.** The parameters of beams of copper ions are investigated depending on the operating modes of the ion source and the features of its design. The measurements were carried out using an accelerator with an anode layer operating in the ion-beam focus mode, single and multigrad probes. When measuring the current density, the pressure of the working gas, the accelerating voltage at the anode  $U_a$ , and the distance  $h$  «ion source – diaphragm» were varied. It was found that at low pressures of the working gas and at an accelerating voltage above 1.5–2.0 kV, a decrease in the ion current density is observed. An increase  $h$  promoted a decrease in the electron current density and an increase in the ion current density to 10 mA/cm<sup>2</sup>. Analysis of the inhibitory characteristics showed that the ion energy varied in the range of 36–60 eV.

**Key words:** accelerator with anode layer, secondary discharge, ion-beam focus, copper ions, ion energy.

Адрес для переписки: Телеш Е.В., ул. П. Бровки, 6, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: etelesh@mail.ru

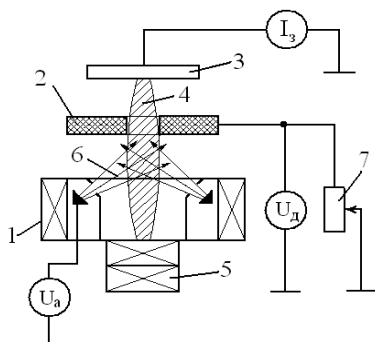
Современная электроника требует разработки новых методов получения тонких пленок. Недостатки существующих методов связаны с ограниченными возможностями управления энергией осаждаемых частиц, переносом вещества к подложке по закону «косинуса» и трудностями контроля количества осаждаемого вещества. Перспективным методом является осаждение тонких пленок непосредственно из пучков ионов, энергия может варьироваться от десятков до сотен электронвольт в то время как в процессах ионного распыления материалов энергия осаждаемых атомов составляет в среднем 5–15 эВ, а при термическом испарении – не превышает обычно 0,2 эВ. Возможность управления энергией осаждаемых ионов позволяет изменять адгезию пленок к подложке, структуру и состав растущей пленки, и, следовательно, управлять свойствами формируемых слоев [1].

Наноразмерные полупрозрачные медные пленки находят все большее 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].

Разработан новый метод нанесения тонких медных пленок посредством формирования потока ионов меди из ионно-пучкового фокуса. Его суть заключается в том, при определенных условиях в ионном источнике на основе ускорителя с анодным слоем имеет место формирование зоны вторичного разряда. Атомы меди генерировались путем распыления диафрагмы первичным пучком ионов аргона. Задачей настоящей работы являлось исследование параметров пучков ионов меди в зависимости от режимов работы ионного источника и особенностей его конструкции.

Исследования осуществляли с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса. Измерение плотности тока вторичного ионного пучка осуществлялось зондовым методом (рис. 1) Варьировалось давление рабочего газа, ускоряющее напряжение на аноде  $U_a$  и расстояние  $h$  «ионный источник–диафрагма». На рис. 2 приведены зависимости плотности тока от вышеуказанных параметров. Установлено, что при низких давле-

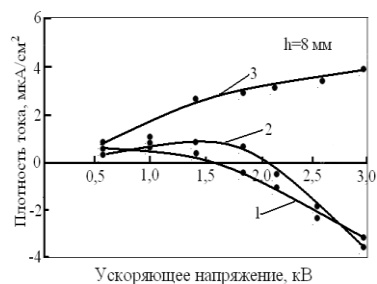
ниях рабочего газа и при  $U_a$  свыше 1,5–2,0 кВ наблюдалось снижение плотности тока ионов. Более того дальнейшее увеличение  $U_a$  привело к равенству плотностей тока ионов и электронов, а затем и к превалированию электронного тока.



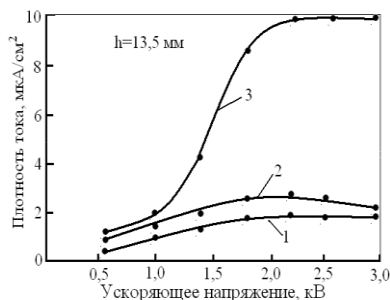
1 – ионный источник; 2 – медная диафрагма; 3 – зонд;  
4 – вторичный пучок ионов; 5 – дополнительный магнит; 6 – первичный ионный пучок;  
7 – переменный резистор

Рисунок 1 – Схема проведения измерений

Это можно объяснить усилением процессов вторичной ионной эмиссии электронов из металла диафрагмы (медь) из металла зонда (нержавеющая сталь). Следует отметить, что увеличение  $h$  способствовало снижению плотности тока электронов и росту плотности ионного тока до  $10 \text{ mA/cm}^2$  при давлении газа  $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ .



а



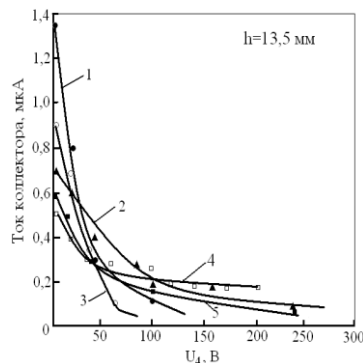
б

1 –  $p = 2,66 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ ; 2 –  $p = 3,32 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ ;  
3 –  $p = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$

Рисунок 2 – Зависимости плотности тока от давления рабочего газа,  $U_a$  и расстояния «ионный источник–диафрагма»

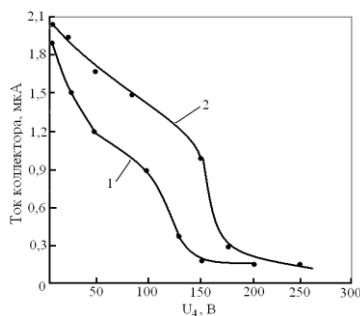
Измерение энергии ионов осуществлялось с использованием многосеточного зонда путем снятия тормозных характеристик. На рис. 3 приведены тормозные характеристики пучков ионов, полученных при разных режимах и при  $h = 13,5 \text{ мм}$ . Анализ характеристик показал, что энергия ионов варьируется в диапазоне 36–60 эВ.

При наличии положительного потенциала на диафрагме  $U_d$  энергия ионов возрастает с 135 эВ ( $U_d = 50 \text{ В}$ ) до 175 эВ ( $U_d = 100 \text{ В}$ ), что можно объяснить ускорением пучка ионов электрическим полем диафрагмы.



1 –  $U_a = 3,5 \text{ кВ}$ ,  $I_p = 60 \text{ mA}$ ; 2 –  $U_a = 4,0 \text{ кВ}$ ,  $I_p = 50 \text{ mA}$ ;  
3 –  $U_a = 3,0 \text{ кВ}$ ,  $I_p = 60 \text{ mA}$ ; 4 –  $U_a = 2,0 \text{ кВ}$ ,  $I_p = 60 \text{ mA}$ ;  
5 –  $U_a = 3,0 \text{ кВ}$ ,  $I_p = 50 \text{ mA}$

Рисунок 3 – Тормозные характеристики пучков ионов, полученных при разных режимах



1 –  $U_d = 50 \text{ В}$ ; 2 –  $U_d = 100 \text{ В}$

Рисунок 4 – Тормозные характеристики при разных напряжениях на диафрагме

### Литература

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. 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. – Vol. 5, 16838. DOI: 10.1038/srep16838
3. 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. – Vol. 3. – № 5. – P. 433–439.