

$$J_i = \frac{I_{dc}}{2\pi R\omega} \quad (1)$$

Толщина темного катодного пространства (ТКП)  $s$  рассчитывается из формулы плотности ионного тока в разрядных системах [2]

$$J_i = \frac{4}{9} \varepsilon_0 \left( \frac{2e}{M} \right)^{1/2} \frac{V_{dc}^{3/2}}{s^2} \quad (2)$$

Используя выбранную конфигурацию магнитной системы и используя рабочее напряжение порядка 600 В установлено, что ширина зоны распыления должна составлять 28 мм. Подставляя полученные значения в формулу для плотности тока получим, что  $J_i \approx 40$  мА/см<sup>2</sup>. Отсюда толщина ТКП порядка 0.5 мм. Полученные значения ширина зоны распыления соответствуют экспериментальным результатам, а расчетные значения плотности тока превышают значения полученные на эксперименте.

Таким образом проведен расчет области зоны плазмообразования для дальнейшего расчета профиля зоны эрозии, который зависит от плотности тока ионов в плазме, и, используя законы распределения распыляемых атомов, можно получить распределение потока распыленных частиц на подложке.

**Список использованных источников:**

1. Данилин, Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин – М.: Радио и связь, 1982. - 72с.
2. Lieberman, A. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing / A. Lieberman, J. Lichtenberg. – John Wiley & Sons, Inc. 2-ed, 2005, 757 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНО-ТОРЦЕВЫХ ПОЛЕВЫХ СТРУКТУР

Кукуть Ю.М.

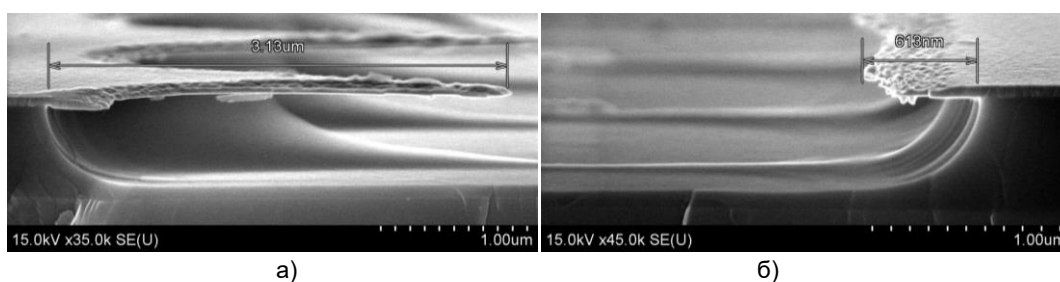
*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Лабунов В. А. – д-р техн. наук, профессор*

В данной работе исследованы и проанализированы вольт-амперные характеристики планарных лезвийных и острых полевых эмиссионных катодов.

Экспериментальное наблюдение эффекта полевой эмиссии требует создания напряженности электрического поля между катодом и анодом превышающего 10<sup>7</sup> В/см. Для достижения таких величин напряженности поля, могут быть использованы системы катод-анод различной геометрии выполненные по технологии микроэлектроники.

Были исследованы созданные ранее планарная лезвийная и острая [1] структуры. На рисунке 1 представлено их поперечное сечение (Si/SiO<sub>2</sub>/Mo). Эмитирующим слоем является молибденовая металлизация. Расстояние катод-анод для острых структур составляет 2,3 мкм, для лезвийных – 1,8 мкм. Катод и анод лезвийной структуры (рисунок 1б) выполнены симметричными.



а) б)  
Рисунок 1 – Планарная острая структура: а) катод, б) анод

Вольт-амперные характеристики были исследованы в диодном включении при помощи измерителя характеристик полупроводниковых приборов Л2-56. Во время измерения образцы находились в вакуумной камере при остаточном давлении  $2,5-3,5 \cdot 10^{-5}$  Па.

На рисунке 2а приведены вольт-амперные характеристики лезвийных (1-4) и острых (5-6) структур. На рисунке 2б при напряжениях ниже 200 В вольт-амперные характеристики в координатах Фаулера-Нордгейма приближены к линейным, отклонение характеристик от прямой наблюдается в области высоких напряжений и токов, что может быть вызвано возникновением термоэмиссии [2].

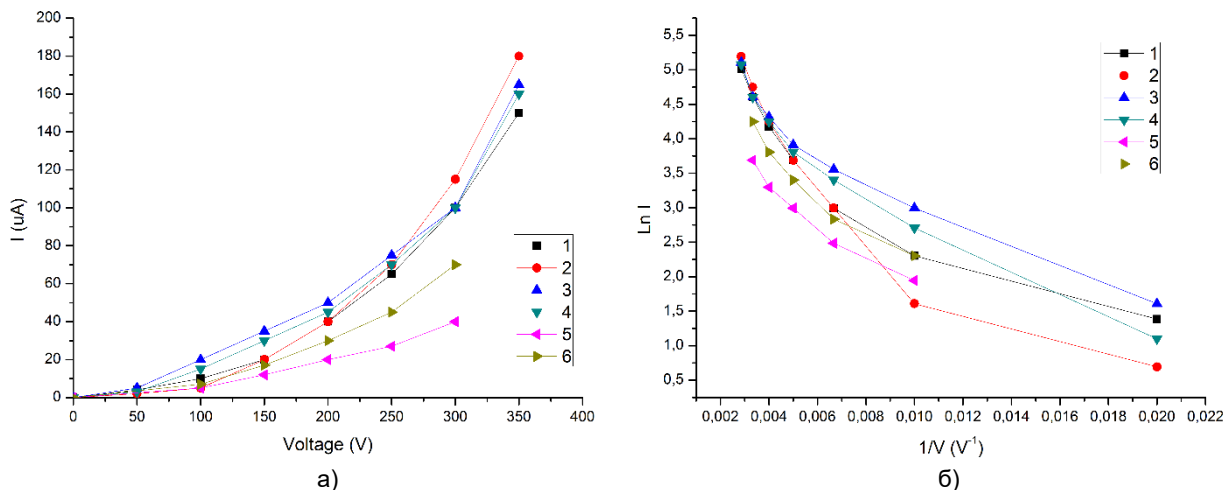


Рисунок 2 – Вольт-амперные характеристики: а) в обычных координатах; б) в координатах Фаулера-Нордгейма

**Список использованных источников:**

1. Кукуть, Ю. М. Метод получения субмикронных элементов в технологии лазерной бесшаблонной литографии / Ю. М. Кукуть // Радиотехника и электроника : материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23 - 27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. - Минск, 2018. - С. 153.
2. Фурсей Г. Н. Автоэлектронная эмиссия / Г. Н. Фурсей. - Санкт-Петербург, 2012. - С. 19-23.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДНОЙ СТРУКТУРЫ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ

*Иванов К.В., Черепко М.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Лабунов В.А. - д-р. техн. наук, профессор*

Проведены исследования, относящиеся к формированию электродной структуры суперконденсатора, состоящей из аморфного углерода или многостенных углеродных нанотрубок в водном щелочном растворе, цель которых состояла в повышении поверхностного контакта углеродного материала с электролитом. Установлено, что адсорбция на поверхности электродного материала неионогенного поверхностно-активного вещества при использовании водного электролита с этим же веществом обеспечивает увеличение емкостных характеристик суперконденсатора.

В настоящее время изготовление суперконденсаторов (СК) рассматривается, как одно из перспективнейших направлений в развитии микро-наноэлектроники. Эти устройства обладают хорошими эксплуатационными характеристиками, в частности долгим срок службы и высокой скоростью зарядки-разрядки. Активным элементом промышленно выпускаемых СК является активированный углерод, обладающий электропроводностью и высоким значением удельной поверхности. В научной литературе в качестве альтернативы активированным углям для СК рассматриваются углеродные нанотрубки и графен [1, 2]. Графен является идеальным материалом для создания электродов в СК, так как обладает высокой удельной поверхностью и аномально высокой проводимостью. Препятствием к этому является термодинамическая его нестабильность, сильное ван-дер-ваальсово притяжение между его листами, а также высокая стоимость этого материала. Вследствие этого для обсуждаемого применения более целесообразно в настоящее время рассматривать применение углеродных нанотрубок, синтез которых осуществляется дешевым газофазным химическим способом, являющимся всеобщим и широко