

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Южный федеральный университет  
ОАО КБ «Центр-Инвест»

## **СОТРУДНИЧЕСТВО СТРАН БРИКС ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

*Материалы  
Международной научно-практической  
конференции молодых ученых стран БРИКС*

*Ростов-на-Дону, 24-26 сентября 2015 г.*

Том 2

Ростов-на-Дону  
Издательство Южного федерального университета  
2015

УДК 378.1  
ББК 72.4  
С67

**Под общей редакцией:**

доктора экономических наук, профессора *Боровской М.А.*;  
доктора экономических наук, профессора *Высокова В.В.*;  
доктора экономических наук, профессора *Шевченко И.К.*;  
доктора экономических наук, профессора *Архипова А.Ю.*

**Редколлегия:**

доктор экономических наук, профессор *Михалкина Е.В.*;  
доктор экономических наук, профессор *Анощенко Т.Ю.*;  
доктор физико-математических наук, доцент *Карякин М.И.*;  
доктор физико-математических наук, профессор *Солдатов А.В.*;  
доктор технических наук, профессор *Старченко И.Б.*;  
доктор технических наук, доцент *Веселов Г.Е.*;  
кандидат технических наук, доцент *Грищенко С.Г.*;  
доктор химических наук *Гутерман В.Е.*;  
кандидат географических наук, доцент *Кузнецов А.Н.*;  
кандидат биологических наук, доцент *Айдаркин Е.К.*;  
доктор филологических наук, профессор *Изотова Н.В.*;  
кандидат филологических наук, доцент *Карповская Н.В.*;  
доктор географических наук, профессор *Ивлиева О.В.*

**С67**      **Сотрудничество стран БРИКС для устойчивого развития:** материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых стран БРИКС (Ростов-на-Дону, 24-26 сентября 2015 г.): в 2 т. / под общ. ред. М.А. Боровской, В.В. Высокова, И.К. Шевченко, А.Ю. Архипова.– Ростов-на-Дону. Издательство Южного федерального университета, 2015.

ISBN 978-5-9275-1844-9

Т. 2. – 2015. – 311 с.

ISBN 978-5-9275-1846-3 (Т.2)

В данном издании представлены материалы, подготовленные участниками Международной научно-практической конференции «Сотрудничество стран БРИКС для устойчивого развития», состоявшейся 24-26 сентября 2015 г. Молодые ученые исследуют развитие стран БРИКС и их регионов в мировом взаимодействии, особенности малого и среднего бизнеса, действия региональных коммерческих банков в этих странах. Предметом изучения стали также современные технологии: наноматериалы, энергоэффективность, ИТ, биотехнологии, инновационные формы ведения сельского хозяйства, опыт "зеленой экономики" как важнейший фактор развития стран БРИКС. Исследуются также особенности, взаимодействие национальных языков, задачи и пути развития цивилизационного туризма.

Предназначается для преподавателей, аспирантов, студентов и широкого круга читателей.

ISBN 978-5-9275-1846-3 (Т.2)

ISBN 978-5-9275-1844-9

УДК 378.1

ББК 72.4

© Коллектив авторов, 2015

© Южный федеральный университет, 2015

5. Коханистая Н.В., Шишкина Д.Ю. К вопросу о региональном геохимическом фоне / Актуальные проблемы наук о Земле. Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием. – Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 362-364.

6. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие положения. – М.: Госстрой России, 2003. – 36 с.

7. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник. – М.: Агропромиздат, 1991. – 303 с.

### **АВТОЭМИССИОННЫЕ КАТОДЫ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ТОКА НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ГРАФЕНА НА КАРБИДЕ КРЕМНИЯ**

Житяев И.Л., Светличный А.М., Волков Е.Ю., Спиридонов О.Б., Южный федеральный университет (Россия)

In this work field emission properties of the cathodes based on the silicon carbide with graphene films at nanometer values of rounding-off radius of the top and the interelectrode distance are researched. The density of the emission current is calculated on the basis of the current-voltage characteristics of experimental samples and the simulation results. It is shown that high density of emission current is characteristic of field emission cathodes based on films of graphene on silicon carbide.

Принцип автоэлектронной эмиссии заключается в испускании электронов с поверхности катода под действием внешнего электрического поля высокой напряженности. Перспективными источниками электронов являются автоэмиссионные катоды из наноуглеродных материалов, так как большинству из них присущи высокие значения механической прочности, электро- и теплопроводности, повышенная устойчивость к факторам, разрушающим катод (Morozov S.V. et al, 2008, с. 016602).

В настоящее время опубликовано большое количество работ по исследованиям автоэмиссионных свойств пленок графена (Охрименко О.Б. и др., 2012, с. 335-342). В большей мере они относятся к пленкам, полученным методом CVD (Wang Xiao-Ping et al, 2012, с. 128102–1-4). Нами был выбран метод термической деструкции карбида кремния в вакууме для формирования графена (De Heera W.A. et al, 2007, с. 92-100). В этом случае графен надежно закреплен на всей поверхности подложки SiC, являясь её естественным продолжением (Конакова Р.В. и др., 2013, с. 802-804). Не требуется операция переноса пленок графена на изолирующую подложку (Антонова И.В. и др., 2014, с. 827-832). Карбид кремния устойчив в широком диапазоне температур и радиации (Лебедев А.А. и др., 2002, с. 1354-1359).

В нашей работе исследовались автоэмиссионные характеристики катодов в форме острия из карбида кремния с пленками графена на поверхности. Оптимальные геометрические параметры автоэмиссионной структуры были определены ранее путем моделирования (Svetlichnyi A.M. et al, 2015, с. 163-167).

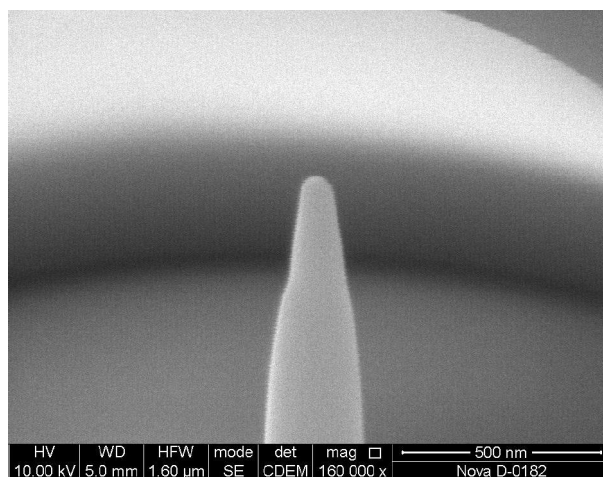


Рисунок 1 – РЭМ-изображение вершины автоэмиссионного катода

На основе полученных данных были изготовлены автоэмиссионные катоды из карбида кремния с пленками графена (рис. 1). Измерения эмиссионного тока производились при расстоянии анод-катод – 3 нм. Радиус закругления вершины автокатода – 40 нм. Нанометровые значения межэлектродного расстояния и радиуса закругления способствовали началу эмиссии при разнице потенциалов в единицы Вольт (рис. 2). При напряжении более 9 В наблюдается снижение интенсивности роста автоэмиссионного тока, что объясняется особенностями измерительного оборудования.

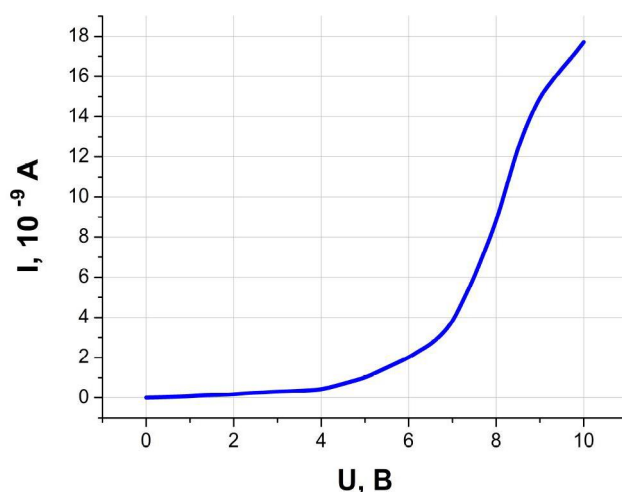


Рисунок 2 – Вольт-амперная характеристика автоэмиссионный катод-анод

По результатам измерений вольт-амперных характеристик было проведено моделирование распределения напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке автоэмиссионной структуры. Моделирование позволяет оценить величину напряженности электрического поля и рассчитать площадь эмитирующей поверхности (Светличный А.М. и др., 2015, с. 225-236).

Плотность автоэмиссионного тока рассчитывалась по формуле:

$$J_{\text{эм}} = I_{\text{эм}} / S_{\text{эм}},$$

где  $I_{\text{эм}}$  – эмиссионный ток,  $S_{\text{эм}}$  – площадь эмитирующей поверхности.

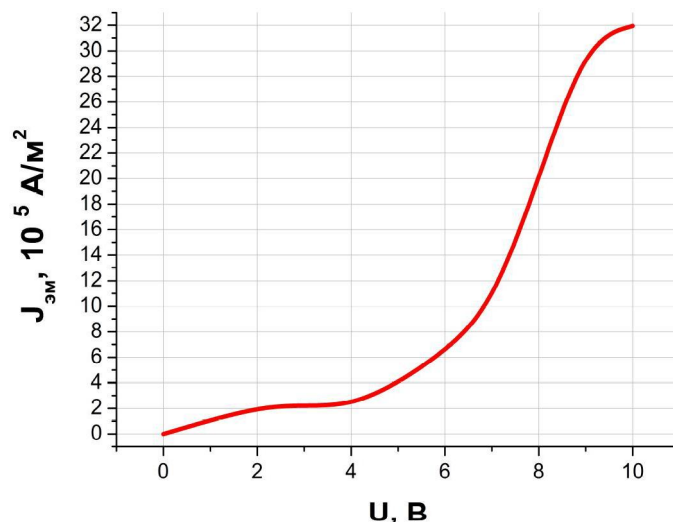


Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика автоэмиссионной наноструктуры

Большинство современных автоэмиссионных катодов демонстрирует плотности тока не более  $10^5$  А/м<sup>2</sup> при напряжениях  $\sim 10^2$ - $10^3$  В (Васильева Е.А. и др., 2012, с. 107-111). Из рисунка 3 видно, что максимальное значение плотности автоэмиссионного тока в структурах с острым катодом из карбида кремния с пленками графена составило  $3.19 \times 10^6$  А/м<sup>2</sup> при напряжении 10 В. В итоге, можно сделать вывод, что исследуемые катоды являются перспективными энергоэффективными элементами автоэмиссионной наноэлектроники.

Результаты работы были получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования и научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южного федерального университета. Исследование выполнено в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (Задание №16.1154.2014/К).

#### ИСТОЧНИКИ И ЛИТЕРАТУРА

1. De Heera W.A., Bergera C., Wu X. [et al.]. Epitaxial graphene / Solid State Communications. – 2007. – Vol. 143, Is. 1-2. – P. 92-100.
2. Morozov S.V., Novoselov K.S., Katsnelson M.I. [et al.]. Giant intrinsic carrier mobilities in graphene and its bilayer / Phys. Rev. Lett. – 2008. – Vol. 100. – P. 016602.
3. Svetlichnyi A.M., Ageev O.A., Volkov E.Yu. [et al.]. Modelling of the influence of a pointed field emission cathode design from the silicon carbide with graphene film on the electric field strength / Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 752-753. – P. 163-167.
4. Wang X.-P., Liu X.-F., Liu X.-X. [et al.]. Field emissions of graphene films deposited on different substrates by CVD system / Chin. Phys. B. – 2012. – Vol. 21, № 12. – P. 128102–1-4.
5. Антонова И.В., Голод С.В., Соотс Р.А. [и др.]. Сравнение разных способов переноса графена и мультиграфена, выращенных методом химического газофазного осаждения, на изолирующую подложку SiO<sub>2</sub>/Si / Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48, вып. 6. – С. 827-832.
6. Васильева Е.А., Клещ В.И., Образцов А.Н. Влияние уровня вакуума на автоэлектронную эмиссию из нанографитных пленок / Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82, вып. 7. – С. 107-111.
7. Конакова Р.В., Светличный А.М., Волков Е.Ю. [и др.]. Сравнительные характеристики спектров комбинационного рассеяния света пленок графена на проводящих и полуизолирующих подложках 6H-SiC / Физика и техника полупроводников. – 2013. – Т. 47, вып. 6. – С. 802-804.

8. Лебедев А.А., Козловский В.В., Строкан Н.Б. и др. Радиационная стойкость широкозонных полупроводников (на примере карбида кремния) // Физика и техника полупроводников. – 2002. – Т. 36, вып. 11. – С. 1354-1359.

9. Охрименко О.Б., Конакова Р.В., Светличный А.М [и др.]. Оценка автоэмиссионных свойств наноструктур на основе карбида кремния и графена // Наносистемы. – 2012. – Т 10. – № 2. – Стр. 335-342.

10. Светличный А.М., Спиридонов О.Б., Житяев И.Л. [и др.]. Моделирование распределения напряженности электрического поля в наноструктурах с катодом прямоугольного сечения на основе пленок графена на SiC / Известия ЮФУ. Технические науки, 2015. – №2. – С. 225-236.