

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южный федеральный университет»**

# **Миссия молодежи в науке**

**Материалы научно-практической  
конференции**

**Том II**

**Ростов-на-Дону  
20-21 ноября 2014 года**

УДК 001.8  
ББК 70  
М 65

**ОТВЕТСТВЕННЫЕ ЗА СБОРНИК:**  
**Цатурян Аршак, Бураева Елена**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**  
**Общее редактирование: Цатурян Аршак, Бураева Елена**

**М 65** Миссия молодежи в науке. Сборник материалов научно-практической конференции: в 2 т. Том 2. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. - 564 с.  
ISBN 978-5-9275-1477-9  
ISBN 978-5-9275-1479-3 (Т.2)

Настоящее издание содержит тезисы докладов научно-практической конференции «Миссия молодежи в науке», проводившейся в рамках V Фестиваля науки Юга России. Представлены работы, посвященные ключевым направлениям фундаментальных и прикладных исследований в молодежном научном сообществе. В I томе представлены тезисы докладов по направлениям: Экономика и право; Архитектура и искусство; История; Филология и журналистика; Философия и культурология; Социология и политология; Междисциплинарные гуманитарные исследования. Во II томе собраны работы по направлениям: Инженерные и технические науки; Педагогика и психология; Науки о Земле и Вселенной; Физика и математика; «Биология и почвоведение; Химия и медицина; Высокие технологии и пьезотехника, а также материалы конкурса на лучшую научно-исследовательскую работу студентов и молодых ученых федеральных университетов. Данное издание адресуется всем интересующимся современными научными разработками.

Конференция проходила при финансовой поддержке Программы развития деятельности студенческих объединений ЮФУ 2014 года.

Сборник публикуется в авторской редакции.

ISBN 978-5-9275-1477-9  
ISBN 978-5-9275-1479-3 (Т.2)

УДК 001.8  
ББК 70

© Южный федеральный университет, 2015

2. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. / Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. — М.: Физмалит, 2012.

3. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. / Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. — М.: Физматлит, 2010.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛЕНОК ГРАФЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ КАРБИДА КРЕМНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВ**

*М.Н. Григорьев М.В. Демьяненко И.Л. Житяев*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

*maks\_vd@mail.ru*

Для контроля технологических сред, безопасности производства и жизнедеятельности необходимы сенсоры различных неэлектрических величин, в том числе сенсоры состава газов.

В настоящее время широко используются сенсоры на основе полупроводниковых материалов. В качестве чувствительных элементов в таких сенсорах используется пористый кремний, органические полупроводники, оксиды металлов, редкоземельные металлы. Однако, несмотря на ряд достоинств: низкая стоимость изготовления, простота конструкции, указанные сенсоры имеют и существенные недостатки: необходимость в нагреве чувствительного элемента, что требует значительных затрат мощности, а также относительно низкая чувствительность. Чувствительность таких датчиков ограничена флуктуациями, обусловленными тепловым движением зарядов и дефектов, в результате чего уровень шума на много порядков превышает сигнал от отдельной молекулы, [1]. Одним из решений этой проблемы является использование графена в качестве газочувствительного слоя датчика.

Графен – это планарная гексагональная упаковка углеродных атомов.

Высокая подвижность электронов, низкое удельное сопротивление и минимальная толщина графена (всего один атом) открывает перспективы для создания различных химических и биохимических датчиков, а также различных вариантов тонких пленок, которые могут найти применение в

сенсорных экранах или фотоэлектрических устройствах для преобразования солнечной энергии, [2].

Существует несколько способов получения графена: механический (отшелушиванием), химическое осаждение из газовой фазы, с помощью лазерного излучения, термическое разложение карбида кремния. Авторами были получены пленки графена методом термического разложения карбида кремния. Данный метод наиболее приемлем для промышленного производства графена, [2].

Был разработан технологический процесс изготовления графенового сенсора. Особенностью данного процесса является использование тугоплавких оксидов для формирования пленки графена с определенным рисунком. Изменяя этот рисунок мы влияем на параметры сенсора в ту или иную сторону.

Исследование влияния различных газов на электрическую проводимость пленок графена полученного сенсора осуществлялось на приборе для измерения газочувствительности. Данный прибор собран самостоятельно по существующим схемам изготовления таких устройств. Основными частями прибора являются кварцевый цилиндр, стальная балка с размещенными на ней выводами и нагревательным столиком, герметичные фторопластовые пробки.

На рисунке 1 представлен график зависимости сопротивления пленки графена под воздействием диоксида азота. При подаче газа происходит скачок сопротивления пленок графена. После продувки воздухом и прогрева сенсора происходит восстановление исходных параметров пленок графена. Газочувствительность  $\text{NO}_2$  с концентрацией 65 ppm составляет 30%. Создание чувствительного сенсора для такого газа является важной задачей

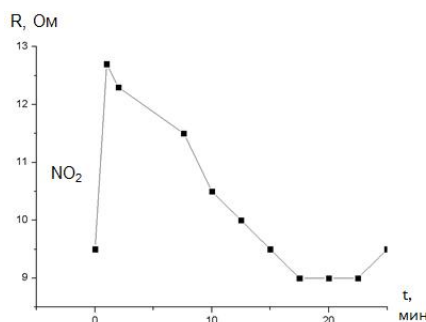


Рис. 1 – График зависимости сопротивления пленки графена под воздействием диоксида азота (65 ppm)

На рисунке 2 представлен график зависимости сопротивления пленки графена под воздействием аммиака. При подаче газа происходит резкий скачок сопротивления графена. После продувки воздухом и прогрева сенсора происходит восстановление параметров пленок графена. Чувствительность сенсора для концентрации 100 ppm составляет 20%.

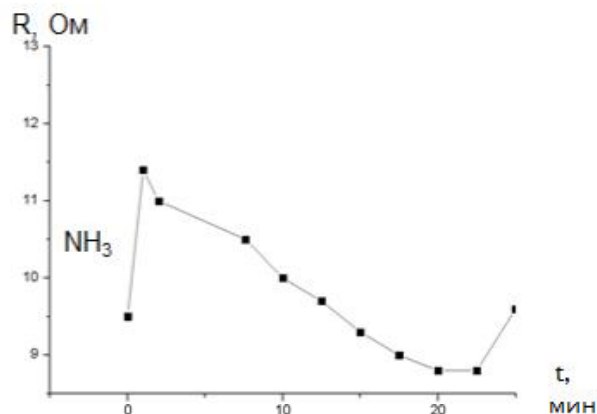


Рис. 2 – График зависимости сопротивления пленки графена под воздействием аммиака (100 ppm)

На рисунке 3 представлена зависимость сопротивления пленки графена от температуры. До 100 градусов идет практически линейное убывание сопротивления. После достижения 100 сопротивление не меняется, что согласуется с литературными данными, [3].

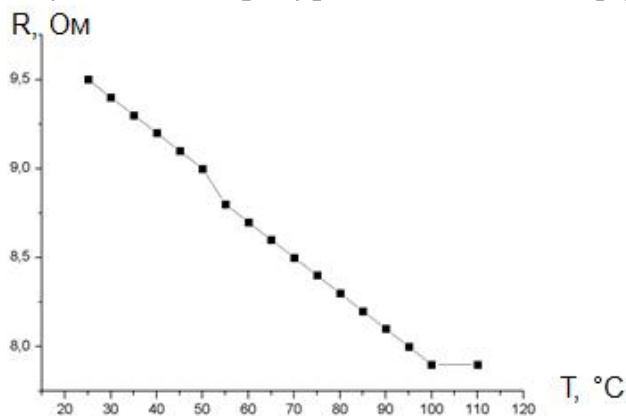


Рис 3 – График зависимости сопротивления пленки графена от температуры

Таким образом, изучая эффект изменения электрического сопротивления пленок графена на карбиде кремния при воздействии различных газов возможно создать высокочувствительный газовый сенсор.

Основные трудности, возникающие при разработке такого сенсора, связанные с селективностью обнаружения молекул газа, можно решить путем применения программно-аппаратных средств.

#### Литература

1. Гаман В.И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров: монография. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 112 с.

2. Губин С.П., Ткачев С.В. Графен и родственные формы углерода. Изд. 2-е, М.: книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012 – 104 с.

3. К. Ху, P.G. Cao and J.R. Heath Scanning tunneling microscopy characterization of the electrical properties of wrinkles in exfoliated graphene monolayers // Nano Lett, 9, с. 4446-4451 (2009).

### **ВЫБОР СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУКТУР БАЗ ДАННЫХ И ПРОЦЕДУР МАНИПУЛИРОВАНИЯ ДАННЫМИ И СТРУКТУРОЙ**

*А.С. Грищенко*

*Инженерно-техническая академия*

*Южного федерального университета, Таганрог*

*a.s.grishchenko@gmail.com*

Для выявления правил взаимодействия баз данных и процедур манипулирования данными и структурой необходимо решать задачу исследования структуры этого взаимодействия. При этом любое взаимодействие нужно рассматривать как динамический процесс, анализируя его структуру, для чего представляя в виде определенной знаковой формы. Сформируем требования к знаковой форме для отображения структуры динамического процесса:

- обладать достаточной наглядностью для отображения двух и более процессов;
- должна подходить для отображения структуры динамических процессов, то есть:
  - а. должна включать *метод* процесса;
  - б. должна включать в себя *содержание* процесса;

# ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК МУЛЬТИГРАФЕНА НА КАРБИДЕ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ФОКУСИРОВАННЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ

*И.Л. Житяев<sup>а</sup>, А.С. Коломийцев<sup>б</sup>, М.В. Демьяненко<sup>б</sup>, Ю.Ю. Житяева<sup>с</sup>*

*Южный федеральный университет, Таганрог*

*jityaev.igor@gmail.com*

Явление автоэлектронной эмиссии основано на испускании с поверхности твердого (жидкого) тела электронов под действием электрического поля высокой напряженности [1]. За счет высокого быстродействия, низкого уровня шумов, устойчивости к радиации и СВЧ-излучению, отсутствия затрат энергии на нагрев и облучение автоэмиссионные приборы являются перспективными источниками электронов. Способность сохранять электрические, механические и температурные характеристики на протяжении всего срока службы автоэмиссионного прибора обеспечивается путем использования катодов, изготовленных на основе углеродных материалов: карбид кремния, алмазоподобные пленки, нанотрубки, фуллерены, пленки графена и мультиграфена [2, 3].

В настоящей работе автоэмиссионные катоды изготавливались из пленок мультиграфена, полученных методом деструкции карбида кремния в вакууме. Известно, что данный метод позволяет получать на всей поверхности подложки мультиграфен с хорошими адгезионными свойствами. Толщина и структурное совершенство получаемых пленок зависит от технологических условий их получения [4]. Карбид кремния, используемый в качестве подложки, обладая высокой теплопроводностью, способствует отводу тепла, выделяющегося во время работы, от острия автоэмиссионного катода.

Перед высокотемпературным отжигом пластина полуизолирующего карбида кремния 6H-SiC с удельным сопротивлением  $> 10^8$  Ом·см резалась на образцы размером 10x10 мм. Затем образцы отмывались по технологии, предложенной в работе [5]. Карбид кремния отжигался в течение 2 часов в вакуумной камере при температуре 900 °С и давлении  $10^{-3}$  Па для удаления оксида кремния с поверхности. После двухчасового отжига температуру повышали до 1400 °С и отжигали еще 20 мин. На этом этапе происходило

формирование пленок мультиграфена на поверхности SiC.

Для формирования автоэмиссионных структур был выбран метод фокусированных ионных пучков, позволяющий производить наноразмерное локальное профилирование поверхности образца с высокой скоростью и точностью при отсутствии необходимости использования резистов и масок [6, 7]. Травление осуществлялось с помощью растрового электронного микроскопа с колонной ФИП Nova NanoLab 600 по заранее созданному шаблону в виде растрового изображения (Рис. 1).

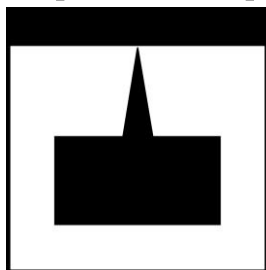


Рис. 1 – Графический шаблон

На основе результатов теоретических расчетов и математического моделирования было решено изготавливать планарный автоэмиссионный катод острейшего типа [8, 9]. Для этого на первом этапе изготовления проводилось определение оптимальных режимов травления путем подбора времени травления и тока ионного пучка. Для повышения точности травления необходимо задавать ток ионного пучка минимально возможным. Тестовые структуры формировались при следующих режимах: ток ионного пучка 1 пА, время травления 1-15 мин.; ток ионного пучка 10 пА, время травления 1-15 мин. Морфология поверхности после процесса травления исследовалась с помощью сканирующей зондовой нанолaborатории Ntegra Vita в полуконтактном режиме атомно-силовой микроскопии. Результаты АСМ-исследований показали, что при токе 1 пА не происходил процесс травления. Наблюдалось лишь вспучивание поверхности, увеличение времени травления не давало положительных результатов. При токе 10 пА были выявлены три случая: недостаточное травление, избыточное травление и оптимальное травление. При недостаточном травлении не происходило образования межэлектродного зазора. При избыточном травлении наблюдалось частичное стравливание острия автоэмиссионного катода. Оптимальный режим травления приведен в таблице 1.



Таблица 1 – Режим формирования автоэмиссионного катода

| № п/п | Параметр                                      | Значение               |
|-------|---|------------------------|
| 1     | Ускоряющее напряжение пучка                   | 30 кэВ                 |
| 2     | Ток ионного пучка                             | 10 пА                  |
| 3     | Время травления структуры                     | 2 мин. 33 сек.         |
| 4     | Перекрытие пучка при пошаговом экспонировании | 50 % от диаметра пучка |
| 5     | Тип ионов                                     | Ga <sup>+</sup>        |

В результате были сформированы планарные автоэмиссионные структуры острейного типа из пленок мультиграфена на карбиде кремния. Проведены АСМ-исследования изготовленных структур, которые позволили определить оптимальные режимы травления с помощью фокусированных ионных пучков.

#### Литература:

1. Фурсей, Г.Н. Автоэлектронная эмиссия. / Г.Н. Фурсей // Соросовский образовательный журнал, – 2000. – Т. 6, № 11. – С. 96-103.
2. Fursey, G.N. Low-threshold field electron emission from carbon nanoclusters formed upon cold destruction of graphite. / G.N. Fursey, V.I. Petrick, D.V. Novikov // Technical Physics, – 2009. – V. 54, 7. – P. 1048-1051.
3. Gao, J.H. Fabrication of globe-like diamond microcrystalline aggregate films and investigation of their field emission properties. / J.H. Gao, L. Zhang, V.L. Zhang [et al.] // Thin Solid Films, – 2008. – № 516. – P. 7807–7811.
4. Конакова, Р.В. Сравнительные характеристики спектров комбинационного рассеяния света пленок графена на проводящих и полуизолирующих подложках 6H-SiC. / Р.В. Конакова, А.М. Светличный, Е.Ю. Волков [и др.] // Физика и техника полупроводников, – 2013. – Т. 47, №6. – С. 802-804.
5. Пирс, К. Технология СБИС. / К. Пирс, А. Адамс, Л. Кац [и др.] под ред. С. Зи – М.: Мир, 1986. – 1, 2 т. 404 с.
6. Young, R.J. Application of the focused ion beam in materials characterization and failure analysis. / R.J. Young // Microstructure Science, 1997. – №25. – P. 491-492.

7. Лучинин, В.В. Фокусированный ионный пучок как технология локального прецизионного травления. / В.В. Лучинин, А.Ю. Савенко // Вакуумная техника и технология, – 2008. – Т. 18, №3. С. 191-195.

8. Житяев, И.Л. Влияние конструкции острых наноразмерных автокатодов на основе пленок графена на карбиде кремния на эмиссионные характеристики. / И.Л. Житяев // X Ежегодная научная конференция студентов и аспирантов базовых кафедр Южного научного центра РАН: тезисы докладов (г. Ростов-на-Дону, 14–29 апреля 2014 г.). Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, – 2014. – с. 138-139.

9. Житяев, И.Л. Особенности моделирования автоэмиссионных катодов в форме острия на основе пленок мультиграфена на карбиде кремния. / И.Л. Житяев, А.М. Светличный, М.В. Демьяненко // Нанотехнологии в электронике и МЭМС. Труды международной научно-технической конференции и молодежной школы-семинара. Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, – 2014. – с. 49-50.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЖИДКОСТНОГО ТРАВЛЕНИЯ  
ЖЕРТВЕННОГО СЛОЯ ДЛЯ СОЗДАНИЕ ПОЛИКРЕМНИЕВЫХ  
КОНСОЛЬНЫХ СТРУКТУР ПО ТЕХНОЛОГИИ  
ПОВЕРХНОСТНОЙ МИКРООБРАБОТКИ**

***Ю.Ю. Житяева, Е.Ю. Гусев, В.А. Гамалеев, И.Л. Житяев, И.Н. Коц***

*Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения*

*Южного федерального университета, Таганрог*

*julia.jityaeva@gmail.com*

Существует две основные технологии микрообработки кремния: объемная, при которой формирование механических элементов производится непосредственно из материала подложки, и поверхностная, при которой структура формируется из тонких пленок, осажденных на подложку. Первая является наиболее распространенной и разработанной, однако использование поверхностной микрообработки позволяет изготавливать электрическую и механическую часть устройства на одном кристалле в одном технологическом цикле, избежать стадии микросборки, уменьшить размеры элементов [1].