



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям  
ННЦ «МИСиС»

М.Р. Филонов

«15» ноября 2018г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Хамдохова Эльдара Залимовича на тему «ФОРМИРОВАНИЕ ГРАФИТОПОДОБНЫХ НАНОСТРУКТУР В УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНКАХ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.15 – Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика

Диссертационная работа Хамдохова Эльдара Залимовича посвящена разработке технологии формирования пространственно однородных углеродных наноструктур в аморфной углеродной пленке и созданию на их основе эффективных автоэмиссионных катодов.

**Актуальность** работы обусловлена тем, что автоэмиссионные катоды востребованы в приборах микроэлектроники и СВЧ электроники.

Метод электродугового распыления графитового катода является одним из наиболее распространенных способов получения пленок углерода. Однако он не позволяет избавиться от присутствия микрочастиц углерода в плазменном потоке. В связи с этим изучение автором закономерностей формирования углеродных наноструктур в субмикронных пленках углерода, полученных методом электродугового распыления графита, и поиск способов исключения возможности образования в пленках углерода включений из микрочастиц графита является актуальной задачей.

**Научная и практическая значимость работы** определяется тем, что полученные результаты могут найти применение в процессе производства приборов микроэлектроники. Результаты диссертационной работы Э.З. Хамдохова рекомендуются для использования в приборных разработках таких организациях, как НПП «Пульсар», НПО «Орион», НПП «Исток» и др., требующих применение эффективных автокатодов с низкими напряжениями автоэмиссии.

Разработанный технологический процесс получения углеродных наноструктур может использоваться для изготовления автоэмиссионных СВЧ приборов. Исследования, проведенные в ФГУП «Научно-исследовательский институт физических проблем имени Ф.В. Лукина» и Национальном исследовательском университете «МИЭТ», подтвердили эффективность использования упомянутых пленок в функции автоэмиссионных сред.



**Достоверность и обоснованность** выводов диссертации подтверждена использованием современных методов исследования: сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, обратного резерфордовского рассеяние, рентгеноструктурного анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, метода комбинационного рассеяния света. Интерпретация полученных результатов базируется на современных представлениях о структуре и физико-химических свойствах углеродных материалов.

**Степень достоверности.** Экспериментальные результаты получены на современном оборудовании; теория формирования графитоподобных наночастиц построена на известных и проверяемых фактах; идея базируется на фундаментальных положениях нанесения тонких пленок в вакууме электродуговым распылением; установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках; использованы современные методики сбора и обработки.

Диссертация Э.З. Хамдохова состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 112 наименований. Диссертация изложена на 97 страницах, включая 59 рисунка и 6 таблиц.

Во Введении отражены актуальность работы, четко сформулирована ее цель, технологические задачи и определен спектр методов контроля. Здесь же сформулированы практическая значимость, научная новизна работы и основные положения, выносимые на защиту. Во введении определен личный вклад автора, дана информация по основным публикациям работы и местам её апробации.

В первой главе диссертации достаточно полно освещено современное состояние проблемы в части применения углеродных наноструктур в качестве материала для автоэлектронной эмиссии, а также представлен детальный обзор свойств и методов получения. В результате аналитического обзора методов получения углеродных пленок диссертант аргументировано выбрал метод электродугового распыления графита, который позволяет синтезировать качественные углеродные наноматериалы, поскольку выполняется при очень высокой температуре. Также преимущество электродугового метода связано с возможностью промышленного синтеза углеродных наноструктур и повторяемостью процесса их роста.

Вторая глава диссертации посвящена обоснованию разработки ряда технических узлов экспериментальной установки для получения пленок углерода с высокой степенью структурно-фазовой однородности. При этом в качестве базовой установки для получения пленок автором выбрана серийная отечественная установка УВНИПА. Определены преимущества метода, технические характеристики установки и выявлены основные недостатки её базовой версии. В частности, автором предложены конструкция составного катода Ti-C и новый подход, связанный с использованием магнитного поля в процессе создания углеродных покрытий для сепарации дуговой плазмы. В этой главе много внимания уделено также выбору и обоснованию методов контроля



автоэмиссионных свойств углеродных пленок. Для технологического сопровождения процесса формирования графитоподобных наноструктур в углеродных пленках был изготовлен макет источника света, реализованный в виде вакуумной камеры со шлюзом и сменным механизмом, который позволял производить перемещение катода внутри камеры с точностью до 5 мкм.

Третья глава диссертации посвящена разработке технологического процесса формирования графитоподобных наноструктур в субмикронных пленках углерода и изложению результатов исследования. Подробно представлены технологические аспекты получения углеродных структур в пленках углерода, а также представлены результаты исследований их фазового состава, морфологии и структурного совершенства в зависимости от вариаций технологического режима. Также в этой главе представлены результаты применения автокатодов на основе микроканальных пластин.

В Заключении диссертаций сформулированы общие **выводы**, отражающие наиболее важные результаты работы в целом.

По тексту диссертации имеется ряд замечаний:

1. Автор не всегда придерживается требованиям, предъявляемыми ГОСТ Р 7.0.11-2011 (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления). Например, единица измерения температуры в диссертации отличается многообразием форм написания, и напряженность электрического поля имеет различные обозначения:  $E$  и  $U$ , при этом переменные в формулах не описываются и не определяются (уравнение (1)). В тексте работы и в обозначениях рисунков присутствуют грамматические и стилистические ошибки.
2. Диссертант в заключении обосновано отмечает: «Установлено, что трансформация аморфной углеродной пленки наноразмерной толщины графеновые слои зависит от температуры отжига и соотношения толщин пленок катализатора (Ni) и углерода». Но роль слоя никеля автором не описывается.

Отмеченные замечания не снижают практической и научной значимости полученных результатов и не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация представляет собой самостоятельно выполненную, цельную и завершенную научно-исследовательскую работу по актуальной тематике. Автореферат диссертации дает достаточно полное представление о проведенных автором исследованиях и полученных результатах.

### **Заключение**

Диссертационная работа Э.З. Хамдохова «Формирование графитоподобных наноструктур в углеродных пленках, полученных электродуговым методом» представляет собой научно-квалификационную работу и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям (п.п. 9,10 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г., № 842). Тема и содержание диссертации соответствует паспорту специальности

01.04.15. - Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика (п.п. 1,2,4).

По объему выполненных работ и новизне полученных результатов диссертационная работа Э.З. Хамдохова на тему «Формирование графитоподобных наноструктур в углеродных пленках, полученных электродуговым методом» рекомендуется для защиты на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.15. - Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Доклад по диссертационной работе и отзыв обсуждены, и отзыв утверждён на совместном заседании кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков и кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ «МИСиС» «14» ноября 2018 года, протокол № 01/18.

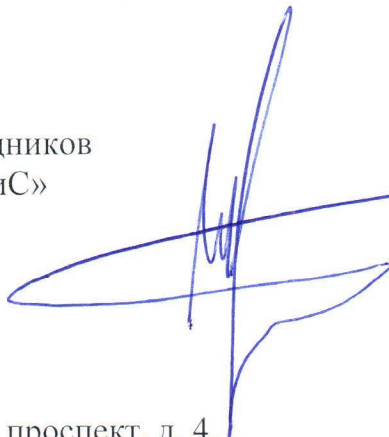
Отзыв подготовил:

Доцент кафедры ППЭиФПП  
к.ф.-м.н., доцент  
(osipov@misis.ru)



Ю.В.Осипов

Заведующий кафедрой  
материаловедения полупроводников  
и диэлектриков НИТУ «МИСиС»  
д.ф.-м.н., профессор



Ю.Н.Пархоменко

14.11.2018

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4,  
тел. +7 495 955-00-32, e-mail: cancela@misis.ru



*Осипов Ю.В., Пархоменко Ю.Н.*

*Кузнецова А.Е.*

« 15 » 11 2018 г.