

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Хамдохова Эльдара Залимовича

«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

Диссертация Хамдохова Э. З. посвящена получению электродуговым методом графитоподобных наноструктур в аморфных углеродных пленках для создания автоэмиссионных сред.

Актуальность темы работы обусловлена тем, что эмиссионные приборы вакуумной электроники могут обладать параметрами (коэффициентом усиления, временем переключения, энергопотреблением), сопоставимыми с параметрами твердотельной электроники. В то же время такие приборы имеют большую стойкость к внешним воздействиям. Однако в настоящее время автоэмиссионные приборные структуры с триодными характеристиками, обладающие практически значимыми параметрами, отсутствуют. Это обусловлено, в том числе, отсутствием достаточно данных о способах получения автоэмиссионных углеродных сред большой площади с однородными эмиссионными свойствами рабочей поверхности. Диссертация Хамдохова Э. З. направлена на разработку технологии получения таких автоэмиссионных структур электродуговым методом.

В основе решения поставленной задачи лежит оригинальная конструкция электродугового испарителя в составе составного Ti-C катода и системы магнитной сепарации. Благодаря этому удалось решить принципиально важную задачу: добиться выделения мелкодисперсной углеродной фракции из общего плазменного потока.

Таким образом, исследования, проведенные Хамдоховым Э. З., несомненно актуальны для современной микроэлектроники как с научной, так и с прикладной точки зрения.

Целью работы является развитие технологии формирования графитоподобных наноструктур (эмиссионных центров) в углеродных пленках, полученных электродуговым распылением графита в магнитном поле, для создания автоэмиссионных катодов.

Диссертация состоит из введения, трех глав и выводов, списка цитируемой литературы из 112 наименований. Диссертация изложена на 97 страницах, включая 59 рисунков и 6 таблиц. Язык изложения ясный и логичный.

Во введении автор определяет объект, цели исследования и задачи, которые необходимо решить при выполнении работы, излагает общую методику исследований, обосновывает актуальность, достоверность, научную новизну и практическую ценность работы. Приведен список конференций, на которых проведена апробация диссертационной работы.

В первой главе обсуждаются основные способы получения наноструктурированных пленок на основе углерода для применений в составе СВЧ автоэмиссионных приборов. Отмечено, что перспективность применения электродугового метода для синтеза углеродных наноструктур связана с возможностью их промышленного синтеза.

Во второй главе описан разработанный электродуговой испаритель, применение которого позволило получить углеродные пленки с гладкой поверхностью.

Описаны методики структурно-фазового анализа полученных пленок.

В третьей главе представлены результаты исследований фазового состава аморфных углеродных пленок. Показано, что содержание графитоподобных нанокластеров в аморфной углеродной пленке составляет ~4% от массы углеродных фаз.

В главе представлены также результаты исследования процесса формирования графена в структурах Si/SiO₂/Si₃N₄/C/Ni. Показано, что в процессе термического отжига этих структур происходит растворение углерода в никеле и, таким образом, уменьшение толщины углеродного слоя на гетерогранице Ni/Si₃N₄ вплоть до нескольких нанометров, что стимулирует преобразование аморфной углеродной пленки в стопку из графеновых слоев. Кроме того, показано, что применение термического отжига и наноразмерного барьерного слоя нитрида титана способствует формированию в аморфной углеродной пленке гетероструктуры Si/TiN/C/Ni графитоподобных наноструктур с линейным размером ~7 нм. При этом отмечается, что использование никелевой дуги для непосредственного нагрева структуры Si/TiN/C/Ni в вакууме исключает необходимость последующего термического отжига структуры Ni/C. В главе также представлены результаты исследований разработанного автоэмиссионного катода с опорной структурой из МКП с каналами, внутри которых электродуговым способом сформированы регулярно расположенные эмиссионные центры на основе графитоподобных наноструктур с низкой работой выхода электронов. Проведенные исследования ВАХ опытных образцов показали, что предельный выходной ток около 1 мА/см² достигается при U_{вых} ~400 В.

В главе представлены результаты КРС-исследований, позволяющие сделать вывод о том, что процесс осаждения углерода на нихромовую пленку сопровождается образованием графитоподобных наноструктур.

Заключение по диссертации из 9 пунктов содержит основные результаты, отмеченные во второй и третьей главах. Название диссертации соответствует содержанию, автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

В пользу достоверности полученных в диссертационной работе результатов свидетельствует то, что они получены на основании использования общепризнанных и аттестованных методов диагностики материалов и приборных структур. К ним относятся методы РОР, АСМ, РФА, КРС и РЭМ. Полученные результаты гармонично вписываются в общую картину физических представлений.

Результаты диссертации Хамдохова Э.З. обладают высоким уровнем практической значимости поскольку направлены на создание востребованных приборов СВЧ электроники, а теоретические результаты в области оценки размеров углеродных наноструктур будут полезны при оптимизации процесса формирования в углеродных пленках эмиссионных центров. Основные положения и результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на ряде всероссийских и международных конференциях и опубликованы в открытой печати, среди них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ. В приложении к диссертации имеются копии «Акта о внедрении результатов кандидатской диссертации» и «Справка об использовании результатов кандидатской диссертации».

Результаты рассмотрения диссертационной работы позволяют сделать некоторые замечания:

1. Преимущества метода электродугового распыления графита в магнитном поле базируются на том, что можно добиться выделения кристаллитов графита из общего плазменного потока. В то же время о ре-

альной величине кристаллитов в работе ничего не сказано.

2. В экспериментальном исследовании автокатода на основе МКП следовало бы также исследовать параметры автокатодов в режиме импульсной генерации тока.

При оформлении текста, рисунков и таблиц допущены несколько неточностей и опечаток. Например, плотность 10^8 см (Автореферат, стр. 8).

Указанные замечания не снижают общий высокий научный уровень работы. 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.

доктор физико-математических наук,
профессор, зам.заведующего кафедрой
вакуумной электроники МФТИ

Подпись Е.П. Шешина

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ:
ЗАВЕРЮЩАЯ
КАНЦЕЛЯРИЯ
АДМИНИСТРАТИВНОГО ОТДЕЛА
М.А. Гусева



Е.П. Шешин

ФИО: Шешин Евгений Павлович

Ученая степень: доктор физико-математических наук

Специальность: 01.04.07

Почтовый адрес: 141700, Московская обл., Долгопрудный, Институтский пер.9,

МФТИ, Кафедра вакуумной электроники

Телефон: +7 (495) 408 59 44

Адрес электронной почты: sheshin.ep@mipt.ru

Наименование организации: Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Должность: профессор