

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Сторублева Антона Вячеславовича на тему «Получение и исследование функциональных покрытий на основе наноуглеродных композитов для СВЧ и субтерагерцовой микроэлектроники», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Актуальность работы

Освоение ТГц диапазона является актуальным направлением современного приборостроения. В связи с этим в мире ведутся постоянные исследования по совершенствованию приборов твердотельной и вакуумно-плазменной эмиссионной электроники. Для достижения уровней мощности порядка десятков ватт и выше оптимальными являются миниатюрные аналоги «классических» приборов вакуумной СВЧ электроники: ламп бегущей и ламп обратной волны. Без сомнения, одними из наиболее критических параметров в работе электровакуумных приборов являются, кроме мощности излучения, время готовности, которое определяется как промежуток времени между включением прибора и до выхода на рабочий режим и длительность ресурса эксплуатации. Термоэмиссионные катоды в силу своей специфики не могут обеспечить выполнение этих требований. В этой связи особый интерес представляют автоэмиссионные катоды, выполненные на основе углеродных материалов, обладающих повышенной деградационной стойкостью, что очень важно при эксплуатации в условиях технического вакуума. Другой особенностью углеродных материалов является возможность управления работой выхода электронов в зависимости от состава углеродного композита, что позволяет создавать на их основе, как высокоэмиссионные, так и низкоэмиссионные материалы, которые могут снизить коэффициент вторичной электронной эмиссии с элементов катодно-сеточных узлов мощных ЭВП СВЧ, изготавливаемых в настоящее время исключительно на основе металлопористых катодов.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы Сторублева А.В., направленная на получение и исследование функциональных покрытий на основе углеродных пленочных композитов для СВЧ и субтерагерцовой электронной компонентной базы, является актуальной.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе Сторублева А.В., состоящей из пяти глав, на защиту вынесено четыре положения на защиту, которые обосновываются с использованием результатов проведенных исследований, имеющих научную новизну и практическую значимость, и выводов из них. Постановка задач исследований произведена на основании расширенного анализа публикаций по тематике исследования. Исследования проведены с использованием современных методик характеристики углеродных пленочных структур

различного фазового состава и измерения автоэмиссионных характеристик катодов и параметров их долговременной стабильности в квазистационарных и импульсных электрических полях с микросекундной длительностью. Установлены закономерности взаимосвязей максимальных автоэмиссионных токов со скоростью их увеличения в зависимости от напряженности анодных электрических полей, а также интервалов допустимых изменений рабочих напряженностей импульсных анодных полей. Рассмотрены механизмы, определяющие взаимосвязь максимальных плотностей автоэмиссионных токов и крутизну ВАХ. Термоэмиссия управляющей сетки с фторированным углеродным покрытием и без него была измерена по специально разработанной методике, которая позволяет определить эмиссионную способность сетки в зависимости от температуры и эмиссионного тока металлопористого катода. Предложены физико-химические механизмы формирования антиэмиссионных свойств углеродных покрытий с плазменным фторированием поверхности.

Считаю, что обоснование научных положений, выводов и рекомендаций проведено на должном уровне.

Новизна и достоверность научных результатов

Новизна научных результатов, приведенных в диссертационной работе Сторублева А.В. заключается в установлении фундаментальных факторов и процессов, ограничивающих максимальную плотность тока, а также стабильность и долговечность полевых источников электронов на основе композитных алмазографитовых пленочных структур. Впервые определены технологические возможности создания сильноточных полевых источников электронов на основе тонкопленочных планарно-торцевых алмазографитовых структур, удовлетворяющих различным схмотехническим требованиям. Предложена теоретическая интерпретация механизмов, обеспечивающих более низкий порог начала полевой эмиссии и достижение максимального эмиссионного тока в наноалмазографитовых композитах с низким сопротивлением. Установлено влияние плазменного фторирования углеродных покрытий на эмиссионную способность управляющих сеток электровакуумных приборов, а также скорость формирования на них новой фазы из термически распыленных активных примесей металлопористых катодов.

Достоверность научных результатов подтверждается применением современного измерительного оборудования и технологических установок, обеспечивающих необходимые условия для изготовления образцов. Результаты работы апробированы на научных мероприятиях различного уровня. Так по теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендуемых ВАК, 4 работы, включенные в базы SCOPUS или Web of Science, 7 работ в прочих изданиях, входящих в РИНЦ, получено 2 патента на изобретения РФ.

Замечания

1. Ни в диссертации, ни в автореферате не указывается соответствие между КРС данными и пленочными структурами, использованными для получения сильноточной эмиссии и в качестве антиэмиссионных сеточных покрытий КСУ ЭВП. Кроме того, не приведены электрофизические свойства пленочных антиэмиссионных покрытий, при которых получено увеличение работы выхода электронов на 0,6 эВ.
2. Построением полевых ВАХ в координатах Фаулера и Нордгейма диссертант утверждает, что термоэмиссионная составляющая тока в режимах эксплуатации близких к экстремальным отсутствует. Однако при этом оставляет без объяснения, почему крутизна ВАХ, построенная в этих координатах при увеличении напряженности поля возрастает.
3. Представляет интерес, несомненно, оригинальный результат по обнаружению свечения эмиттирующих участков лезвийного автокатода при плотности полевого тока выше 1000 А/см². Отмечается, что его природой является электролюминисценция в прикатодной области вакуумного промежутка. При этом влияние Джоулева нагрева никак не оценивается.

Заключение

Очевидно, что результаты диссертационной работы Сторублева А.В. являются новыми и имеют практическую значимость, а сама работа является законченным научным исследованием. Считаю, что цель работы достигнута, а поставленные задачи реализованы в степени необходимой для ее достижения. Научные результаты представлены на Всероссийских конференциях, и опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК. Автореферат диссертации в достаточной для ознакомления мере отражает ее содержание.

Представленная к защите диссертационная работа «Получение и исследование функциональных покрытий на основе нанокремниевых композитов для СВЧ и субтерагерцовой микроэлектроники» соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, установленным п.п. 9-11, 13, 14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 30.07.2014 №723, от 21.04.2016 №335, от 02.08.2016 №748, от 29.05.2017 №650, от 28.08.2017 №1024), а ее автор Сторублев Антон Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых

устройств.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор по кафедре микроэлектроники,
директор Института нано- и микросистемной техники Национального
Исследовательского Университета - МИЭТ.



Тимошенко Сергей Петрович

«03» ноября 2022 г.

Подпись доктора технических наук, профессора, директора Института нано- и микросистемной техники НИУ МИЭТ Тимошенко Сергея Петровича

ЗАВЕРЯЮ

Учёный секретарь
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники», д.т.н., профессора, директора
Института нано- и микросистемной техники



Козлов Антон Викторович

Служебный адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Телефон: +7(499)720-87-68

E-mail: spt111@mail.ru

Научная специальность докторской диссертации Тимошенко Сергея Петровича 05.27.06 технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники