

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сторублева Антона Вячеславовича  
«ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ  
НАНОУГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ СВЧ И СУБТЕРАГЕРЦОВОЙ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ», представленной на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база  
микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

Диссертация А.В. Сторублева посвящена решению одной из наиболее сложных проблем современной микровакуумной электроники – синтезу, характеристике и исследованию физических процессов в структурах с полевой эмиссией на основе наноразмерных композитных углеродосодержащих покрытий, ориентированных на применение в приборах миллиметрового диапазона. Критичность такого рода структур по отношению к малым изменениям рабочего напряжения, технологии изготовления, состава и морфологии композитов, состава и давления остаточной атмосферы определяют трудности создания надежных и долговечных автоэмиссионных источников тока на протяжении длительного времени. Решение данной проблемы не является тривиальным. Поэтому актуальность темы диссертационного исследования не вызывает сомнений.

К наиболее значимым научным результатам диссертационного исследования можно отнести:

- предложенные композитную структуру и технологию изготовления эмиттера с полевой эмиссией электронов, практическая реализация которых перспективна для формирования ленточного пучка с субмикронной толщиной и током 6-8 мА, приемлемым по величине для применения в целом ряде электровакуумных приборов миллиметрового диапазона длин волн;

- установленные закономерности связи поверхностного электросопротивления алмазоуглеродного покрытия с предельной эмиссионной способностью полевого эмиттера, позволяющие заранее прогнозировать характер ВАХ и реализовать оригинальный вариант способа управления током эмиттера внедрением распределенного балластного сопротивления;

- исследование и обоснование метода вторичной активации алмазоуглеродного эмиттера;

- способ подавления паразитной эмиссии с поверхности управляющих сеток импульсных ЭВП СВЧ.

Результаты работы прошли широкую апробацию на 8 всероссийских и международных научных мероприятиях, отражены в 16 публикациях, включая 4 статьи в изданиях, индексируемых в системах WoS и/или Scopus, 3 – из списка ВАК. Оригинальные решения защищены 2 патентами РФ на изобретение, что свидетельствует об их практической значимости.

В качестве замечаний и пожеланий можно указать следующее:

1. Наблюдается заметное различие между планируемым целевым параметром (п. 3 на стр. 4: «Изучить долговременную воспроизводимость эмиссионных характеристик... с плотностью автоэмиссионного тока не менее  $100 \text{ A/cm}^2$ ») и заявленным результатом (п. 3 на стр. 6-7: «Испытания на долговременную воспроизводимость... при средней плотности токоотбора  $1,3 \cdot 10^3 \text{ A/cm}^2$ »). Желательно пояснить, не оказалось ли превышение параметра более чем на порядок для диссертанта неожиданным, не запланированным.

2. В разделе по главе 4, посвященном описанию «долговременной воспроизводимости и стабильности» структур обязательно необходимо указать не только уровень расчетной плотности тока, но и параметры импульсов - длительность и

скважность. Это важно для оценки реального времени воздействия высокого напряжения на эмиттер при заявленном времени испытаний 13,5 час., а также для обоснования приемлемости пренебрежения влиянием усредненного во времени термического нагружения поверхности эмиттера при импульсной нагрузке в несколько кВт/см<sup>2</sup>, соответствующей указанной плотности тока.

3. Немонотонность кривых на Рис. 3(б) определенно указывает на существование значительных по величине падений напряжения как на композитных пленках, так и на эмиссионном зазоре. То же самое следует и из анализа изменений структуры пленки на Рис. 7. Поскольку информация о падении напряжения на элементах конструкции эмиттера не регистрировалась, то более корректным было бы результаты токовых измерений представлять не в координатах «Напряженность поля», а в координатах «Разность потенциалов».

Однако указанное выше не снижает общей высокой оценки работы.

Таким образом, судя по тексту автореферата, представленная диссертация А.В. Сторублева является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной проблемы синтеза и характеристики композитных покрытий для автоэмиссионных узлов микровакуумных электронных приборов, имеющей существенное значение для развития отечественной электронной компонентной базы микро- и нанoeлектроники. Считаю, что по квалификационным характеристикам настоящая диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.п. 9-11 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 23 сентября 2013 г. (с изменениями в редакции постановлений правительства Российской Федерации №335 от 21.04.2016 г., №748 от 02.08.2016 г., № 650 от 29.05.2017 г., № 1024 от 28.08.2017 г., № 1168 от 01.10.2018 г.), предъявляемым к работам на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств», а ее автор, Сторублев Антон Вячеславович, заслуживает присуждения ему искомой научной степени кандидата физико-математических наук.

Главный научный сотрудник Института проблем точной механики и управления – обособленного структурного подразделения ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

Якунин Александр Николаевич

21.11.2022

Год защиты – 2007, научные специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника».

Институт проблем точной механики и управления  
– обособленное структурное подразделение ФИЦ  
«Саратовский научный центр РАН»,  
410028, г. Саратов, ул. Рабочая, 24.  
Тел: +7 845 222 23 76; E-mail: [anyakunin@mail.ru](mailto:anyakunin@mail.ru)

Подпись Якунина А.Н. заверяю:  
Учёный секретарь ИПТМУ РАН,  
д.т.н., с.н.с.



Ивашченко Владимир Андреевич