



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИСЭ СО РАН
академик РАН, д.ф.-м.н.
Н.А. Ратахин

«24» июля 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН) на диссертационную работу Чепусова Александра Сергеевича «Свойства автоэмиссионных катодов из углеродных материалов в условиях технического вакуума», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Актуальность темы диссертации

Разработка эффективного автоэмиссионного катода с большим ресурсом является актуальной задачей вакуумной электроники. Работа Чепусова А.С. посвящена исследованию автокатодов из массивных углеродных материалов, производимых промышленностью. Свойства данных катодов исследованы не в сверхвысоком вакууме, характерном для научных работ, а в техническом вакууме, при давлениях 10^{-4} Па и выше. Такой уровень давления остаточных газов поддерживается в отпаянных приборах и возникает в аварийных режимах работы.

Для науки и техники являются актуальными вопросы, рассмотренные в диссертационной работе: поиск материалов для разработки холодных катодов со стабильной электронной эмиссией, исследование эмиттеров в различных режимах работы, изучение их стойкости к ионному воздействию, особенностей эксплуатации в условиях повышенного давления остаточных газов.

В диссертации исследованы несколько марок конструкционных графитов. В результате работы выявлен класс углеродных материалов, наиболее подходящий для использования в качестве автоэмиссионных катодов – мелкозернистые графиты. Также продемонстрирована возможность использования массивных конструкционных графитов для создания электровакуумных приборов. Разработанная рентгеновская трубка с автоэмиссионным катодом из графита может использоваться в стоматологии, дефектоскопии, а также научных исследованиях, для рентгенофлуоресцентного анализа.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выдвинутые автором научные положения, выводы и рекомендации относительно полученных свойств автоэмиссионных катодов из массивных углеродных материалов, эксплуатируемых в условиях технического вакуума, при давлении выше 10^{-4} Па, четко сформулированы и обоснованы в тексте диссертации. Полученные результаты опубликованы в авторитетных отечественных и зарубежных журналах, докладывались на всероссийских и международных конференциях.

Оценка новизны и научной ценности результатов исследований

Проведенные работы характеризуются новизной сочетания материалов и условий их исследования. Рассмотрена работа автоэмиссионных катодов из массивных конструкционных графитов в условиях интенсивной ионной бомбардировки, в то время как в последние десятилетия научные работы посвящены наноструктурным автоэмиттерам, эксплуатируемым в сверхвысоком вакууме.

В экспериментах обнаружено новое явление восстановления эмиссионных свойств углеродных катодов, что не характерно для холодных эмиттеров.

Оригинальным является применение метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для анализа влияния процессов автоэмиссии на электронную структуру поверхностного слоя катодов. Обнаружено, что в результате работы автоэмиссионного катода на поверхности с sp^2 -гибридизацией формируются кластеры с sp^3 -типом гибридизации.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

В результате проведенной работы создана установка для исследования автоэмиссионных свойств материалов. Она позволяет получать вольт-амперные характеристики, оценивать эффективную площадь эмиссии катода, а также исследовать динамику рабочих параметров катода в течение длительного времени.

Исследования катодов из конструкционных графитов показали возможность создания долговечных эмиттеров миллиамперного диапазона со стабильностью эмиссионного тока до 10%.

Обнаруженные особенности эксплуатации углеродных катодов: режим самовосстановления и формирование алмазоподобных кластеров – создают пространство для дальнейших как экспериментальных, так и теоретических исследований.

Результаты, полученные в диссертационной работе, имеют несомненную практическую и научную значимость.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Диссертационная работа А.С. Чепусова представлена на 134 страницах. Она включает введение, 5 глав и заключение. Во введении сформулированы актуальность, цель и задачи диссертационной работы, перечисляются новизна и практическая ценность работы. Первая глава посвящена обзору опыта мирового научного сообщества в области исследования автоэмиссионных свойств углеродных наноструктурных катодов и устройств на их основе. Показаны недостатки эмиттеров из углеродных нанотрубок. Во второй главе описываются экспериментальная установка, исследуемые материалы, используемые методики. Третья глава посвящена исследованию автоэмиссионных свойств массивных катодов из углеродных материалов. Получены серии вольт-амперных характеристик в различных режимах эксплуатации для всех образцов, рассмотрена работа катодов в течение длительного времени, а также в условиях повышенного давления остаточных газов. Проведена оценка эффективной площади эмиссии, коэффициента усиления электрического поля. В четвертой главе проанализированы результаты исследования модификаций приповерхностного слоя катода методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Пятая глава описывает рентгеновскую трубку с автоэмиссионным

катодом из графита, ее свойства и особенности работы при повышенном давлении остаточных газов. В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы. Таким образом, можно заключить, что работа хорошо выстроена логически, грамотно изложена, а материал соответствует специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки.

Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание.

Личный вклад соискателя в получении результатов исследования является определяющим. Автор участвовал в создании исследовательской установки, лично проводил эксперименты по исследованию катодов из промышленных углеродных материалов, анализ и обработку экспериментальных данных, разработал рентгеновская трубку с автокатодом из графита.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты и выводы диссертации А.С. Чепусова, полученные при исследовании автоэмиссионных свойств катодов из углеродных материалов, полезны для разработки и создания отпаянных электровакуумных приборов, например рентгеновских трубок, на предприятиях вакуумно-электронной промышленности: ПАО «Светлана», ООО «Импульсные технологии», ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор». Кроме этого, отдельные электрофизические наработки, предлагаемые в работе, могут представлять интерес для ряда академических институтов, а также быть востребованными в междисциплинарных исследованиях.

Основные результаты диссертации опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах, 4 из них входят в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК; в 6 тезисах всероссийских конференций.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. При интерпретации экспериментальных данных в работе предполагается, что эмиссия электронов из исследуемых катодов имеет исключительно автоэмиссионный характер. Мы полагаем, что в условиях выполненных экспериментов нельзя исключать наличие микроразрядов и это может повлиять на правильность интерпретации характера изменения поверхности катодов в процессе их длительной эксплуатации. К сожалению, в работе не представлены данные, опровергающие или подтверждающие отсутствие микроразрядов при регистрации долговременных характеристик катодов, а интерпретация результатов выполнена без учёта такой возможности.

2. В работе зарегистрированы высокие значения фактора β уравнения Фаулера-Нордгейма. Такие значения β выходят за пределы теории Фаулера-Нордгейма. В настоящее время в литературе известны теоретические модели, объясняющие такие значения, но в работе это не отражено. Учёт этих моделей был бы полезен для анализа полученных экспериментальных данных.

Заключение

В целом диссертация Чепусова А.С. является научно-квалификационной работой, в которой на высоком уровне представлены исследования автоэмиссионных свойств катодов из углеродных материалов, показана возможность использования

такого класса материалов для создания высокоресурсных электровакуумных приборов.

Диссертация отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, а ее автор, Чепусов Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки.

Диссертационная работа Чепусова А.С. рассмотрена на расширенном научном заседании лаборатории вакуумной электроники ИСЭ СО РАН, протокол №1 от 23.07.2018 г.

Заведующий лабораторией
вакуумной электроники, к.ф.-м.н.



Батраков А.В.

Батраков Александр Владимирович,
кандидат физико-математических наук, заместитель директора, заведующий лабораторией вакуумной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН).

Почтовый адрес: 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 2/3.

Телефон: +7-382- 249-27-09 (рабочий), +7-913-883-30-87 (мобильный).

Эл. почта: batrakov@lve.hcei.tsc.ru .