

ОТЗЫВ

официального оппонента 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

Общая характеристика диссертационной работы

Представленная на оппонирование диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 101 наименование. Основная часть работы изложена на 133 страницах и содержит 104 рисунка и 2 таблицы.

Во введении обоснована актуальность проведенных исследований, показаны преимущества массивных автоэмиссионных катодов из конструкционных графитов по сравнению с традиционными накаливаемыми и металлическими острыми полевыми эмиттерами. В заключении раздела сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, представлены защищаемые положения.

В первой главе проводится обзор научных исследований, посвященных автоэмиссионным катодам и методам их модификации для повышения эффективности. Показано, что наибольший интерес вызывают эмиттеры, изготовленные из графена и углеродных нанотрубок. Это связано с высоким коэффициентом усиления электрического поля эмиттирующими структурами. Описаны недостатки таких катодов: разрушение и вырывание нанотрубок в электрическом поле, ограничение эмиссионного тока за счет эффекта экранировки и др. Приводятся достоинства массивных катодов, позволяющие разработать надежный, эффективный автокатод. На основе проанализированных в первой главе данных формулируются задачи, которые необходимо решить в диссертационной работе.

Вторая глава посвящена описанию объектов исследования, экспериментальной установке, ее элементам, методике эксперимента и интерпретации экспериментальных данных. Для исследования выбраны 5 марок конструкционных графитов: ГМЗ, ГЭ, МГ, МПГ-7 и GS-1800. Созданная установка позволяет получать вольт-амперные характеристики катодов, отслеживать динамику рабочих параметров во времени как в высоком техническом вакууме, так и при напуске аргона в вакуумный объем.

В третьей главе рассмотрены результаты экспериментов с перечисленными выше углеродными материалами. Для всех образцов получены вольт-амперные и долговременные характеристики в вакууме и в атмосфере аргона. Получена стабильная работа катодов при эмиссии тока до 1 мА и давлении до $6 \cdot 10^{-4}$ Па. В условиях ионной бомбардировки характеристики катодов ухудшаются, но при этом эмиттеры способны восстанавливать свои свойства. Также проведена оценка эффективной

площади эмиссии и эффективной плотности тока. Результаты экспериментов позволили сравнить автоэмиссионные свойства исследуемых образцов графитов и оценить их ресурсные характеристики.

Четвертая глава посвящена исследованию поверхности катодов. Применены методы атомно-силовой микроскопии (АСМ) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Проведены детальные исследования методом РФЭС рабочей и нерабочей поверхностей катодов. Обнаружено изменение в спектре электронов в результате работы катодов. Анализ результатов РФЭС позволил автору сделать предположение об изменении характера гибридизации связей и образования алмазоподобных включений на рабочих поверхностях графитов.

В пятой главе показана возможность использования массивного графитового катода в катодном узле рентгеновской трубки. Для этого в стандартную рентгеновскую трубку с аксиальной симметрией внесены изменения катодного узла. Рассмотрены параметры излучателя, испытана его работа в жестких режимах, при повышенном давлении остаточных газов. Устройство продемонстрировало устойчивость к аварийным состояниям, т.к. свойства катода и трубки восстановились на 80% после возврата к нормальным условиям эксплуатации.

Актуальность

В диссертационной работе описываются исследования автоэмиссионных свойств катодов из искусственных углеродных материалов в условиях, характерных для отпаянных электровакуумных приборов. Последние десятилетия большое внимание исследователей уделяется наноструктурным катодам, а именно углеродным нанотрубкам и графеновым листам. Такие эмиттеры позволяют получить высокую плотность тока при низких рабочих напряжениях в единицы киловольт. Но эти работы проведены в условиях сверхвысокого вакуума, при давлении ниже 10^{-7} Па. В случае работы при более высоком уровне давления наблюдаются разрушения нанотрубок ионами остаточных газов, деградация катода; попытки получить большие токи упираются в ограничение тока с одной трубки, вырывание эмиттирующих структур, а также эффект экранировки за счет взаимодействия с соседними нанотрубками.

Использование в качестве автокатада массивного углеродного материала позволяет избежать многих недостатков углеродных наноэмиттеров. Катоды из конструкционных графитов легко монтируются в катодный узел, устойчивы к процессам ионной бомбардировки, способны сохранять работоспособность даже после возникновения дугового разряда. Также графиты производятся в промышленных масштабах, доступны и не требуют дорогостоящего оборудования и сложных технологических решений.

Создание надежного, эффективного автоэмиссионного катода является актуальной задачей вакуумной электроники. Использование для решения этой проблемы массивных углеродных материалов, способных работать в

условиях технического вакуума, позволит создать простой, долговечный, эффективный, высокоресурсный катод. С применением углеродных автокатодов возможно разрабатывать компактные электровакуумные приборы, не требующие дополнительных источников питания для нагрева деталей катодного узла, не нуждающиеся в дополнительных энергозатратах на акт эмиссии. Такой катод может использоваться в электронных ускорителях, рентгеновских трубках, СВЧ-приборах, источниках света и т.д. Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений.

Достоверность экспериментальных данных, степень обоснованности заключений и выводов

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается грамотным использованием современных средств и методик проведения исследований. Список использованной литературы, состоящий из 101 наименования, показывает, что автором изучены и критически проанализированы известные достижения других исследователей. Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Достоверность заключений и выводов, приведенных в диссертационной работе, подтверждается также многочисленными экспериментами, соответствием их результатов теоретическим моделям.

Научная новизна результатов

Исследованы вольт-амперные характеристики и динамика рабочих параметров в течение длительного времени различных марок графита. Наилучшие свойства как в высоком техническом вакууме, так и при повышенном давлении остаточных газов демонстрирует малозольный графит ГМЗ.

Показано, что в жестких условиях эксплуатации углеродные автокатоды способны работать в режиме самовосстановления, при этом эмиссионный ток и напряжение на аноде осциллируют около определенного уровня, катоды демонстрируют квазистабильную работу.

За счет анализа изменения электронной структуры приповерхностного слоя впервые показано образование на поверхности графита алмазоподобных кластеров в результате работы углеродного автоэмиссионного катода.

Разработан рентгеновский источник с автоэмиссионным катодом из искусственного углеродного материала. Конструкция рентгеновской трубки характеризуется компактностью, высокой эффективностью вывода излучения, экранирует анод от напыления материала катода. Использование массивного графитового катода делает ее надежной, сохраняет работоспособность даже при возникновении аварийных ситуаций.

Значение для теории и практики

Разработанная экспериментальная установка позволяет исследовать эмиссионные свойства различных материалов, модифицировать их за счет

воздействия ионной бомбардировки газов, подбирать оптимальные режимы эксплуатации, условия работы катода.

Проведенные исследования позволяют сформулировать рекомендации для выбора материала автоэмиссионного катода электровакуумных приборов. Так для получения максимальных токов лучше всего подходит графит ГМЗ, для устойчивой работы в условиях жестких термических и радиационных воздействий - МПГ-7, для изготовления мелких элементов - GS-1800.

Явление самовосстановления автоэмиссионных катодов связаны с комплексом процессов на их поверхности, в частности сорбции-десорбции, что подтверждает теории о влиянии атмосферы остаточных газов на эмиссионные свойства материалов. Но сложный характер обнаруженного явления требует дополнительных исследований, а также теоретической проработки рассматриваемого вопроса. Интересным также является формирование алмазных структур в результате работы катода. Изучение данного физического, или даже физико-химического, преобразования может стать отдельным, самостоятельным направлением исследований.

Стиль написания диссертации, раскрытие основных положений в автореферате, полнота публикаций основного ее содержания

Диссертация имеет логичное построение, изложена грамотным научно-техническим языком.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертационной работы.

Оформление автореферата и диссертации соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Результаты работы достаточно полно опубликованы автором в научно-технической периодике, доложены на авторитетных и представительных отечественных и зарубежных конференциях и симпозиумах.

Замечания и вопросы по диссертации

- 1 Экспериментальные ВАХ в диссертации приведены в абсолютных значениях тока эмиссии. В то время как для удобства их восприятия и сравнения с теорией удобнее использовать плотность автоэмиссионного тока.
2. В процессе анализа РФЭС рабочей и нерабочей поверхностей катодов, автор использовал известные данные о спектрах равновесного графита и алмаза. Между тем после воздействия интенсивных электрических и тепловых полей образцы катодов могут сохранять значительные упругие напряжения и дефекты, влияющие на углеродные связи и спектры графита. Поэтому утверждение о образовании алмазных кластеров нуждается в дополнительных, независимых подтверждениях.
3. Приведенные в работе спектры валентной полосы образца МПГ – 7, на мой взгляд, недостаточны для утверждения об изменениях электронной структуры этой полосы.

4. Согласно приведенным в работе экспериментальным данным, характеристики ДВХ не достигают стационарного значения параметров. Хотелось бы знать мнение автора о причинах этого факта.

Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления о диссертации.

Заключение

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. Диссертационная работа содержит результаты и решение задач, имеющих существенное значение для развития приборов и методов экспериментальной физики в области вакуумной электроники.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней (постановление Правительства РФ 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.

Я, Березин Владимир Михайлович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Чепусова Александра Сергеевича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

Березин В.М.

доктор физико-математических наук, специальность ВАК 02.00.04 – «Физическая химия», профессор кафедры «Физическая электроника» института естественных и точных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета)» (susu.ru).

Подпись Березина В.М. удостоверяю

ВЕРНО
Ведущий документовед
О.В. Брюхова



Березин Владимир Михайлович
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

г. Челябинск, проспект Ленина, д. 76

e-mail: berezinvm@susu.ru Тел.: 8 (351) 272-30-51