

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Жабина Геннадия Анатольевича «Совершенствование эмиссионных и эксплуатационных свойств молекулярно-напыленных оксидных катодов для циклотронных защитных устройств», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. – Вакуумная и плазменная электроника

Развитие перспективных систем радиолокации различного назначения требует применения в них защитных устройств, обладающих низкими шумами, малым временем восстановления, высокой надёжностью и увеличенным сроком службы. Перечисленным выше требованиям отвечают циклотронные защитные устройства (ЦЗУ), востребованные в бортовых и наземных РЛС. Одним из важных элементов ЦЗУ является катодно-подогревательный узел с молекулярно-напыленным оксидным катодом (МНОК). Несмотря на достаточно большое количество теоретических и экспериментальных работ, связанных с исследованием МНОК, ряд задач на момент постановки диссертационной работы оставался малоизученным. Работа Жабина Геннадия Анатольевича посвящена исследованию и совершенствованию эмиссионных и эксплуатационных свойств молекулярно-напыленных оксидных катодов и разработке новых конструкций термокатодов, применяемых в ЦЗУ. Поэтому тема диссертационной работы, несомненно, является актуальной.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 139 страницах, содержит 64 рисунка. Список литературы включает 103 наименования. Автореферат полностью соответствует содержанию работы.

Во **введении** обосновывается актуальность темы работы, формулируются цели и задачи исследования, а также обсуждается

достоверность, научная ценность и новизна результатов, их научная и практическая значимость. Также приводятся основные положения, выносимые на защиту, сведения о личном вкладе автора и апробации результатов, о структуре и объеме диссертации.

**Первая глава** содержит литературный обзор, связанный с темой диссертации, а также современное состояние технологии оксидного катода и тонкопленочного МНОК. Рассмотрены методики исследования физико-химических и эмиссионных свойств и вопросы совершенствования технологии МНОК для применения в ЦЗУ. Показаны преимущества МНОК перед ОК и проблемы, возникающие при использовании МНОК с тонким эмиссионным покрытием. Сделаны выводы, что актуальной является проблема повышения долговечности и надежности МНОК, а основными факторами, влияющими на эмиссию и долговечность, являются свойства материала и морфология поверхности керна, режимы ионно-плазменного осаждения эмиссионных покрытий, материал и конструкция подогревателя, рабочая температура катода и вакуумные условия в ЦЗУ.

**Вторая глава** посвящена исследованию фазового и элементного состава, а также морфологии эмиссионной поверхности МНОК. Приведены результаты исследования влияния высокотемпературного отжига керна в водороде на состав поверхности и эмиссионные свойства МНОК, показана возможность отбора тока повышенной плотности с МНОК и его влияние на состав поверхности. Представлены результаты испытаний на долговечность при различных режимах работы катода в ЦЗУ.

**Третья глава** посвящена исследованию влияния режимов осаждения покрытий на эмиссионные свойства МНОК, а также анализу воздействия СВЧ-мощности во входном резонаторе ЦЗУ на характеристики МНОК. Сравнительный анализ образцов эмиссионных покрытий методами АСМ и РЭМ показал, что состав и давление инертного газа при осаждении оказывают влияние на морфологию и микроструктуру пленки. Показано, что в зависимости от температуры образца (зависящей от его положения в

установке) меняется количество дефектов и содержание углерода, что влияет на эмиссионные свойства. Обнаружено, что воздействие СВЧ-мощности на входной резонатор прибора приводит к электронной бомбардировке внутренних поверхности резонатора, десорбции атомов с них и адсорбции на поверхности катода положительных ионов, что вызывает резкое падение эмиссии. Однако, в ходе последующей тренировки катода эмиссия восстанавливается, а флуктуации тока МНОК уменьшаются с 4-10% до 1-3% благодаря улучшению вакуумных условий в ЦЗУ.

В четвертой главе на основании проведенных исследований предложена технология изготовления МНОК с помощью наносекундного лазера на парах меди (ЛПМ) и фемтосекундного волоконного лазера, представлены эмиссионные и эксплуатационные характеристики катодов новой конструкции. Катоды, изготовленные в соответствии с разработанной промышленной технологией, показали лучшую эмиссионную активность, повышенную плотность тока и долговечность.

В целом работа производит положительное впечатление. В ней решен ряд сложных технических задач, позволивших улучшить эмиссионные свойства катодов, повысить плотность токоотбора и долговечность, разработать технологию и новые конструкции МНОК для перспективных ЦЗУ сантиметрового и миллиметрового диапазона. Полученные результаты являются новыми. Их обоснованность и достоверность не вызывает сомнений. Достоверность основных положений и выводов диссертации обеспечивается применением апробированных экспериментальных методов, а также сравнением полученных данных с результатами других исследователей.

Вместе с тем, по диссертационной работе имеются следующие **замечания**.

1. Несмотря на подробное исследование состава эмиссионной поверхности МНОК, в диссертации не уделено внимание возможному вкладу боковой поверхности катодов в ток эмиссии.

2. В работе проведены обширные экспериментальные исследования, однако не проводилось математического моделирования процессов напыления эмиссионных покрытий. При всей сложности физико-химических процессов, эта информация, несомненно, была бы полезна и другим исследователям.
3. В диссертации показано, что осаждение в атмосфере ксенона и диоксида углерода позволяет улучшить эмиссионные свойства, по сравнению с процессом в атмосфере аргона, однако этому вопросу не приведено объяснений.
4. К сожалению, в диссертации при рентгенофазовом исследовании покрытий на подложках WRe и Ir/WRe, автору не удалось расшифровать рефлексy, отмеченные звездочкой на рисунке 2.11 на стр.51.
5. На стр. 71 диссертации указано, что «из анализа рисунка 2.24,б следует, что наибольшая плотность тока, полученная с катода № 1 при 880°C, составила 28 А/см<sup>2</sup>, а второго катода – 31 А/см<sup>2</sup> при температуре 785°C». Более высокий ток катода № 2 объясняется автором неодинаковыми вакуумными условиями работы катодов в приборах, однако конкретных цифр по вакууму в каждом приборе не приведено.
6. Есть недостатки в формулировании предложений в тексте диссертации и в представлении графического материала диссертации. Так, рисунок № 2.20 на стр. 60 имеет мелкие, нечеткие элементы, что затрудняет восприятие материала.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не изменяют общего положительного впечатления о работе. Диссертация свидетельствует о проведении автором большого объема работы по исследованию и оптимизации условий напыления, а также разработке новых конструкций МНОК для ЦЗУ. Ее результаты, в частности, могут быть использованы при разработке новых приборов для систем радиолокации. Результаты работы изложены в 11 статьях и 1 патенте, представлены в 9 докладах на научно-технических конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Представленная на оппонирование диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена научно-техническая задача – усовершенствованы эмиссионные параметры и долговечность МНОК, а также разработана технология изготовления катодов новой конструкции. Результаты исследований подкреплены патентом на изобретение и внедрены в производство. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, является самостоятельным, системно оформленным исследованием и представляет научный труд, имеющий существенное значение для техники СВЧ и технологии изготовления катодов. Основные результаты диссертации обсуждались на Всероссийских и международных конференциях с участием ведущих специалистов в области СВЧ-электроники.

Диссертационная работа Жабина Геннадия Анатольевича «Совершенствование эмиссионных и эксплуатационных свойств молекулярно-напыленных оксидных катодов для циклотронных защитных устройств» отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертации Жабин Геннадий Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

**Официальный оппонент:**

Профессор кафедры вакуумной электроники МФТИ, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»



Шешин Е.П.

**Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных,  
связанных с защитой диссертации**

Шешин Евгений Павлович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», заместитель заведующего кафедрой вакуумной электроники, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Адрес: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Tel: +7 (495) 408-59-44; E-mail: [sheshin.ep@mipt.ru](mailto:sheshin.ep@mipt.ru)

Подпись профессора кафедры вакуумной электроники ФГАОУ «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», доктора физико-математических наук Шешина Евгения Павловича заверяю:

Ученый секретарь ученого совета МФТИ

Евсеев Е.Г.

