

## ОТЗЫВ

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

Одним из типов устройств, используемых для защиты вакуумных СВЧ приборов от повышенной входной СВЧ мощности, являются циклотронные защитные устройства (ЦЗУ). ЦЗУ выгодно отличаются от защитных устройств другого типа прежде всего малым временем восстановления их характеристик после воздействия СВЧ перегрузки. Поиску путей совершенствования ЦЗУ посвящено довольно много работ. Однако до сих пор еще далеко не исчерпаны возможности улучшения важнейших их характеристик, в том числе по уменьшению массы и габаритов, что особенно важно при использовании ЦЗУ в коротковолновом сантиметровом и миллиметровом диапазоне длин волн, по снижению шумов этих устройств, а также по увеличению их долговечности. Важнейшей деталью ЦЗУ, определяющей их работу, является катодный узел с молекулярно-напыленным оксидным катодом (МНОК). Диссертационная работа Г.А. Жабина нацелена на поиск путей совершенствования эмиссионных и эксплуатационных характеристик тонкопленочных миниатюрных МНОК для ЦЗУ в востребованных на практике приборах коротковолнового сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн и поэтому **представляется актуальной.**

Диссертантом выполнено большое по объему, экспериментальное в своей основе исследование, нацеленное на выяснение закономерностей и механизма воздействия целого ряда факторов на функционирование катодов, создаваемых для ЦЗУ. Получены в том числе данные о влиянии на работу МНОК материала и структуры поверхности керна, а также наносимого на его поверхность эмиссионно-активного покрытия, о влиянии температурных режимов деталей

катодной системы и вакуумных условий в приборе. Использовались современные методы диагностики химического состава и морфологии поверхности исследуемых материалов, в том числе методы рентгеновской и оже-электронной спектроскопии. Для определения характеристик морфологии поверхности использовались растровый и атомно-силовой микроскопы. Кроме того, большое внимание в диссертации уделено рассмотрению возможностей улучшения характеристик катодов при использовании прецизионных лазерных методов обработки мелкоструктурных деталей МНОК. Полученные данные использованы в разработке усовершенствованных технологий создания катодных систем для ЦЗУ.

Достоверность и надежность полученных Г.А. Жабиным данных не вызывает сомнений, так как они неоднократно воспроизводились и согласуются с результатами исследований других авторов в тех случаях, когда такое сопоставление возможно. Основные результаты диссертации опубликованы в 11 статьях, 1 патенте и докладывались на 9 представительных конференциях.

В диссертации Г.А. Жабина разработана промышленная технология изготовления конструкций МНОК для ЦЗУ. Выполненное исследование позволило получить ряд новых и чрезвычайно важных результатов. Среди наиболее существенных и новых заслуживают внимания следующие результаты диссертации:

1. Выявлена возможность использования повторного отжига в водороде для существенного ускорения процесса активирования и улучшения эмиссионных характеристик МНОК на вольфрам-рениевом керне, покрытом пленкой иридия, а также для повышения в 1.5-2 раза срока службы подвергнутых такой обработке катодов.
2. Определены оптимальные температурные режимы деталей катодной системы в процессе её формирования. Продемонстрирована возможность обеспечения срока службы ЦЗУ с катодами, созданными в оптимальных условиях, до 7-10 тысяч часов при отборе в непрерывном режиме достаточно больших плотностей тока эмиссии  $2-3 \text{ А/см}^2$  с их поверхности.

3. Обнаружена возможность повышения жесткости и виброустойчивости создаваемых катодных систем в результате прецизионной их обработки излучением лазеров и снижения на 25 -30 дБ благодаря такой обработке уровня паразитных сигналов в ЦЗУ.

Уже перечисленные результаты свидетельствуют о практической значимости выполненной диссертантом работы. **Защищаемые положения и основные выводы**, сформулированные в диссертации, **достаточно обоснованы**. Их достоверность и новизна не вызывают сомнения. Полученные в диссертации Г.А. Жабина данные используются и могут быть использованы в дальнейшем для создания ЦЗУ высокого качества.

Диссертационная работа Г.А. Жабина, как и всякое большое по объему научное исследование, не лишена недостатков. По диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. Не совсем оправдано избранное автором построение диссертации, в котором при описании каждого конкретного результата подробно сообщается о методе его получения. При этом не избежать повторов и труднее сосредоточиться на результатах. Разумнее, мне кажется, было бы в отдельной главе сообщить все необходимое о методах исследования и далее не повторять их описание.

2. Некоторые сделанные в диссертации утверждения не совсем понятны и требуют дополнительного пояснения. **Так, на стр.38** указывается, что "МНОК недостаточно стоек к электронной бомбардировке, так как при этом происходит распыление активного покрытия". **Хотелось бы понять, какой механизм распыления покрытия электронами имеет в виду автор и насколько сильно распыление может повлиять на функционирование катода.**

3. Результаты проведенных исследований Г.А. Жабин иллюстрирует на основе данных, полученных для образцов с заданными характеристиками и в заданных условиях. При этом не всегда понятно, чем определяется выбор данных характеристик и условий.

Так, например, в **параграфе 2.1 (стр.41)** говорится об образцах МНОК с пленкой иридия толщиной 250-300 нм, нанесенной "методом магнетронного напыления в атмосфере ксенона при давлении  $5 - 8 \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст." При этом

далее "Методом ионно-плазменного напыления в атмосфере аргона и  $\text{CO}_2$  на пленку иридия наносилось эмиссионное покрытие из карбонатной мишени  $(\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca})\text{CO}_3$ , имеющей состав щелочно-земельных металлов соответственно 47, 45 и 8%." Было бы неплохо пояснить, как будут меняться характеристики катода, если поменять хотя бы немного толщину пленок и атмосферу в системах напыления, а также состав щелочно-земельных металлов.

**На стр.55** говорится: "Для получения МНОК с высокими эмиссионными и эксплуатационными свойствами в описанной установке ионно-плазменного напыления, необходимо осуществлять осаждение М-покрытия на радиальном расстоянии 33 – 36 мм от центра подложки при температуре в данной зоне не более  $260^\circ \text{C}$ ". **А что делать на других установках? Какова общность полученных результатов?**

**Отмеченные недостатки** касаются, в основном, огрехов в описании некоторых данных, практически не затрагивают основных выводов и защищаемых положений и не меняют в целом положительную оценку диссертации.

**Основные результаты диссертации опубликованы** в рецензируемых научных журналах и неоднократно обсуждались на представительных конференциях и симпозиумах. Автореферат правильно и достаточно полно отражает основное содержание диссертации. Результаты диссертационной работы внедрены в производство и использованы при разработках ЦЗУ, работающих на частотах до 40 ГГц.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Диссертация Г.А. Жабина является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. В ней разработаны новые технические решения, позволяющие существенно улучшить эмиссионные и эксплуатационные характеристики молекулярно-напыляемых оксидных катодов, используемых в циклотронных защитных устройствах вакуумных СВЧ приборов коротковолнового сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн.

Диссертация полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Геннадий Анатольевич Жабин обладает высокой научной квалификацией и заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 – Вакуумная и плазменная электроника.

Доктор физико-математических наук,  
профессор Высшей Инженерно-Физической Школы  
ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого



Г.Г. Соминский

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого»  
E-mail: office@spbstu.ru  
Тел.: +7 (812) 775-05-30

Подпись д. ф.-м. н. Соминского Геннадия Гиршевича заверяю

