

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Вашина Сергея Александровича** на тему **«Повышение электрической прочности межэлектродных промежутков многолучевых клистронов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. – Вакуумная и плазменная электроника.

Проблемы электропрочности вакуумных зазоров и разделяющих их изоляторов в теплонагруженных узлах приборов, к которым относятся катодно-сеточные узлы ЛБВ и клистронов, возникли одновременно с появлением самих электровакуумных приборов. Сложность в их исследовании и устранении связана с множеством взаимосвязанных физико-химических процессов, влияющих на нежелательные токи, протекающие в цепях катод-сетка и катод-анод. К ним относятся прежде всего токи термоэлектронной, автоэлектронной, вторично электронной эмиссии с управляющей и теневой сеток. Для термоэлектронной и автоэлектронной эмиссий характерна экспоненциальная зависимость тока от температуры электродов, напряженности электрического поля в междуэлектродных зазорах и работы выхода с поверхности электродов. Сложность прогнозирования и оценки абсолютных значений токов термо- и автоэлектронной эмиссии связана с трудно контролируемыми процессами разогрева сеточных электродов и напылением на них активного вещества катода и изменением работы выхода электронов в процессе эксплуатации прибора. Если термо- и автоэмиссионные токи в цепи сетки изменяются при смене полярности напряжения на сетке (рабочий режим и режим запираения), то токи утечки по внутренней поверхности изолятора зависят только от напряженности поля на поверхности изолятора и проводимости пленки, образованной напылением проводящих материалов в процессе сборки и эксплуатации прибора при нагретом катоде. Кроме указанных токов в междуэлектродных зазорах существуют ионные токи, возникающие при ионизации остаточных газов и продуктов испарения с

поверхности катода, а ток же токи пороэлектронной эмиссии по поверхности керамики.

Все эти явления объективно существуют в современных ЭВП различного класса и назначения и разработчикам ЭВП хорошо известны. Проблема заключается в том, чтобы абсолютные значения паразитных токов между электродами не превышали допустимой величины, не приводящей к вакуумному пробою и выходу прибора из строя.

Конструктивные и технологические особенности изготовления различного класса ЭВП создают условия, при которых некоторые явления маловероятны и ими можно пренебречь (ионные токи при наличии высокого вакуума и необходимой дегазации и химической очистки деталей и узлов). Снижение температуры сеточного электрода за счет устранения прямого перехвата тока катода приводит к уменьшению термоэлектронной эмиссии с ее поверхности. Однако, некоторые виды сеточных токов полностью устранить не представляется возможным (например термоэлектронную эмиссию с сеток и токи утечки по внутренней поверхности изолятора, которые связаны с напылением активного вещества с катода и материала припоя из соединительных швов деталей).

Задачей разработчика является выявление причин и закономерностей возникновения и развития междуэлектродных токов утечек и поиск способов их минимизации или устранения. Именно этой проблеме, а именно повышению электрической прочности межэлектродных промежутков в многолучевых клистронах и посвящена диссертация, а достижение поставленных в ней целей **является актуальной задачей.**

Для решения поставленной задачи Вашин С.А. сформулировал и, в ходе выполнения диссертационной работы, решил конкретные научно-технические задачи, направленные на исследование закономерностей и совершенствование технологии высоковольтной тренировки и снижение токов утечки в многолучевых клистронах (МЛК).

К наиболее значимым научным результатам, следует отнести:

1. Разработку технологии высоковольтной тренировки междуэлектродных зазоров сетка – анод в МЛК, позволяющей снизить автоэмиссионные утечки от 5 до 20 раз с одновременным контролем температуры изолятора, не приводящей к его разрушению под воздействием термических напряжений.

2. Выбор минимальной энергии маломощных пробоев при высоковольтной тренировке зазоров катод-сетка и сетка-анод, позволяющей снизить токи утечки сетка-катод до 20 раз, не допуская напыления материала разрушенных вискером на внутреннюю поверхность керамического изолятора и не ухудшая его изоляционных свойств.

3. Методику высоковольтной тренировки междуэлектродных промежутков при повышенном давлении остаточных газов, позволяющую сократить время тренировки в несколько раз.

4. Оригинальную технологию текстурирования поверхности резонаторных блоков и их покрытие поглощающей СВЧ энергию пленкой из  $TiO_2$ , которая обеспечивает прочность сцепления с подложкой до 40 МПа.

Несомненным достоинством диссертационной работы является ей **экспериментальный характер.**

Полученные результаты свидетельствуют о **новизне и практической значимости диссертационной работы.**

**Обоснованность и достоверность** результатов исследований, полученных диссертантом Вашиным С.А., не вызывает сомнений. Они воспроизводятся и согласуются с результатами, полученными другими авторами. Соискатель использовал современные научно-технические методы, программы и аппаратуру для исследования физико-химических явлений в катодно-сеточных узлах МЛК, что подтверждает **достоверность** полученных результатов.

**Апробация** основных результатов диссертации подтверждена публикациями в 30 печатных работах, в том числе в 8 публикациях в

рецензируемых журналах из перечня ВАК, 4 патентами РФ на изобретения. Основные научные результаты докладывались и обсуждались на 2-х Международных научно-технических конференциях. Результаты исследований внедрены в технологический процесс изготовления приборов СВЧ и подтверждены актами внедрения.

Область исследований соответствует паспорту специальности 2.2.1. – «Вакуумная и плазменная электроника». Научные положения отражают научную новизну полученных в ходе выполнения диссертационной работы результатов достаточно обоснованы и убедительно аргументированы.

Автореферат соответствует материалам и отражает содержание диссертационной работы.

**Замечания** по диссертационной работе:

1. В разделе 3.5.2 стр. 93 автор отмечает, что «При очистке внутренней поверхности керамики от токопроводящей пленки выжигание её мощностью пропускаемого тока возможно перенапыление материала пленки на другие участки керамики». Данный недостаток устраняется «выбором длительности высоковольтной тренировки до 2...8 часов». Остается не ясным – куда денется из замкнутого объема испарившийся материал пленки за любой промежуток времени? Все равно пары куда-нибудь адсорбируются!

2. В разделе 3.3 стр. 77 утверждается, что в процессе одновременной тренировки промежутков катод-сетка и сетка-анод маломощные пробои не разрушают поверхности электродов. Данное утверждение не подтверждается фотографией поверхности катода (рис.3.3.5), на которой видны поврежденные пробоем участки катодной поверхности.

3. На рис. 2.6.1 стр.60 зависимости 1 и 2 - изменения давления десорбированных газов от времени выдержки не соответствуют текстовой интерпретации.

4. На рис.2.5.1 стр. 53 зависимости давления и тока сетка-анод на оси ординат не приведена шкала для давления P, что затрудняет понимание представленных результатов.

5. В главе 2 стр. 8 Автореферата говорится о «давлении адсорбированных газов». Данная формулировка не корректна – какое давление могут иметь газы, адсорбированные на поверхности подложки?

Данные замечания носят не принципиальный характер, не затрагивают существа и значимости результатов диссертационной работы.

Диссертация соискателя Вашина С.А. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на **высоком научно-техническом уровне.**

Полученные в диссертационной работе результаты по повышению электрической прочности межэлектродных промежутков многолучевых клистронов имеет **важное народно-хозяйственное значение.**

Таким образом, диссертация полностью отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.13 года, в редакции постановлений Правительства РФ № 335, №748, №650, №1024 и № 1168 от 01.10.18 года, предъявляемым ВАК РФ к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор – Вашин Сергей Александрович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 - Вакуумная и плазменная электроника.

Ведущий научный сотрудник Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Алмаз» (АО «НПП «Алмаз»),  
доктор технических наук  
Шестеркин Василий Иванович

Россия, 410033, г. Саратов, ул. им. Панфилова И.В., д.1,  
E-mail: [shesterkinvi@almaz-rpe.ru](mailto:shesterkinvi@almaz-rpe.ru), Тел.: +78452479991

Подпись д.т.н. Шестеркина Василия Ивановича заверяю:  
Начальник отдела управления персоналом:

Коноплина Наталья Александровна.



«17» марта 2023 г.