



Плутон

АО «Плутон»
ИНН 7709093255, КПП 770901001
105120 Москва, ул. Н.Сыромятническая, д.11
т. +7 (495) 730 36 19, ф. +7 (495) 737 56 90
www.pluton.msk.ru, info@pluton.msk.ru

Утверждаю
Первый заместитель
генерального директора


С.Ю. Баранов
« 28 / 2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Диссертационная работа Вашина Сергея Александровича направлена на повышение электрической прочности межэлектродных промежутков многолучевых клистронов (МЛК) различного уровня выходной мощности. Результаты работы автором достигаются за счет разработки методик высоковольтной тренировки МЛК, а также исследования технологий изготовления приборов и разработки технологии нанесения поглощающих СВЧ-энергий покрытий с повышенной прочностью сцепления с подложкой.

Актуальность работы:

В современной радиоэлектронной аппаратуре нашли широкое применение электровакуумные приборы сверхвысоких частот (ЭВП СВЧ). Для обеспечения высокой эксплуатационной надежности аппаратуры появилась необходимость изготовления ЭВП СВЧ с высокой электрической прочностью. Возникновение токов утечки с последующим их возрастанием часто инициирует развитие пробоев в межэлектродных промежутках приборах СВЧ, что приводит к потере ЭВП своего функционального назначения. В связи с этим одной из основных задач является обеспечение электрической прочности для ЭВП СВЧ, которое достигается за счет совершенствование

конструкций и технологий изготовления современных разрабатываемых приборов.

Краткая характеристика работы:

Диссертационная работа Вашина С.А. является законченным научным трудом, которая состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Диссертация составляет 161 страницы, включая список литературы из 123 наименований, 9 таблиц и 75 рисунков, выполнена на высоком научном и техническом уровне.

Во введении показана актуальность темы диссертации, оставлены цели и задачи исследований диссертационной работы, сформулированы научные положения, выносимые на защиту, изложена научная новизна, практическая значимость, а также личный вклад автора в работу.

В первой главе дан литературный обзор основных работ по обеспечению электрической прочности межэлектродных промежутков ЭВП и обоснование актуальности диссертации, сформулированы основные цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе рассмотрено влияние десорбции газов с поверхностей МЛК на электрическую прочность. Проведены исследования влияния величины адсорбированных и остаточных газов внутривакуумного объема отпаянных МЛК на электрическую прочность в процессе высоковольтной тренировки приборов. Даны рекомендации по восстановлению электрической прочности в межэлектродных промежутках МЛК при давлении остаточных газов в приборах выше 10^{-5} Па.

В третьей главе проведена работа по разработке и исследованию методик высоковольтной тренировки межэлектродных промежутков МЛК. В результате проведенных исследований повышенного давления остаточных газов и электрической прочности была разработана методика высоковольтной тренировки для МЛК среднего и высокого уровня мощности. Проведенные исследования вольтамперных характеристик высоковольтной тренировки приборов позволили разработать методики определения и разделения токов утечки по изоляторам на наружную и внутреннюю проводимости. Кроме того, разработаны методики снижения токов утечки по изоляторам и токов автоэлектронной эмиссии на межэлектродном промежутке сетка-анод с учетом сохранения изоляторов МЛК. Усовершенствована методика одновременной тренировки двух зазоров для МЛК среднего и высокого

уровня мощности, позволяющая снижать токи автоэлектронной эмиссии в промежутке сетка-катод.

В четвертой главе исследованы технологии изготовления МЛК, повышающим электрическую прочность приборов СВЧ. С целью снижения токов утечки изоляторов МЛК проведена работа по совершенствованию режимов откачки приборов, а также проведен выбор вида сварки для малогабаритных МЛК. Для сохранения вакуума в ЭВП исследованы сложные течи и способы их герметизации. Особую роль в главе уделено разработкам технологии детонационного нанесения покрытия поглотителя СВЧ-энергии с повышенной прочностью сцепления с подложкой и способам подготовки поверхности перед напылением.

В Заключении сформулированы основные результаты исследований и выводы, полученные в диссертационной работе.

Научная новизна диссертационной работы

1. Впервые показано, что повышение давления остаточных газов в отпаянных МЛК от $2,1 \cdot 10^{-4}$ до $1,6 \cdot 10^{-3}$ Па обеспечивает ускорение процесса высоковольтной тренировки приборов и снижение токов автоэлектронной эмиссии за счет возрастания частоты пробоев на межэлектродных промежутках.
2. Установлено, что в процессе проведения одновременной тренировки межэлектродных зазоров сетка-катод и сетка-анод повышение напряжения на аноде МЛК (промежуток сетка-анод) до пробивного значения позволяет получать пробой на другом промежутке (промежуток сетка-катод), за счет чего снижаются токи автоэлектронной эмиссии на межэлектродном промежутке сетка-катод.
3. На основе экспериментальных исследований процесса высоковольтной тренировки показано, что во время разогрева проводящей пленки изолятора собственным током при температуре изолятора не превышающей 170°C обеспечивается сохранность изолятора и снижение токов утечки.
4. Повышение напряжения до пробивного значения и разогрев изолятора ЭВП током автоэлектронной эмиссии до 170°C в процессе высоковольтной тренировки позволяет снизить значительные (от 1 до 10 мА) токи автоэлектронной эмиссии межэлектродного промежутка сетка-анод.
5. Температура нагрева поверхностей МЛК в процессе высоковольтной тренировки линейно зависит от выделяемой мощности на тренируемом вакуумном промежутке.

6. Применение новой технологии детонационного напыления, а также разработанных способов подготовки поверхности подложки позволяет получать покрытие поглотителя СВЧ-энергии из TiO_2 с прочностью сцепления ~ 40 МПа.

Практическая значимость работы состояла во внедрении разработанных методик высоковольтной тренировки в технологию производства МЛК на предприятии АО «НПП «Исток» им. Шокина». Кроме того, разработано покрытие поглотителя СВЧ-энергии (стойкого к осыпанию) из TiO_2 с повышенной прочностью сцепления.

Достоверность научных результатов подтверждена использованием поверенного и аттестованного современного оборудования, применением статистических методов обработки результатов обширного массива полученных в ходе выполнения диссертационной работы экспериментальных данных, сопоставлением результатов работы с полученными выводами других авторов.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы были доложены и опубликованы в материалах 7-ми международных и всероссийских научно-технических конференций.

По материалам диссертации опубликовано 30 печатных работ, 8 - в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, получено 4 патента РФ на изобретения.

К работе имеются следующие замечания:

- 1) В разделе 3.5.3 и в формулах 3.5.1, 3.5.2 удельная рассеиваемая мощность оценивалась не в единицах системы «Си» - $[Вт/см^2]$.
- 2) В разделе 4.1 не учитывалось образование проводимости изоляторов при испарении материалов катода в процессе их обработки во время обезгаживания ЭВП.
- 3) Раздел 4.3.3 посвящен герметизации течей, но в тексте не приведены названия герметиков, применяемых для устранения натекания в ЭВП.
- 4) В разделе 4.4.2 проведено исследование сложных течей, но не показана микроструктура материалов для визуальной оценки дефектов.
- 5) Раздел 4.5.4 посвящен разработке технологии напыления покрытий поглотителей СВЧ-энергии из TiO_2 , но в тексте не указаны режимы процесса нанесения детонационного покрытия.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают положительную оценку и значимость диссертационной работы.

Заключение

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертационная работа соответствует научной специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника и требованиям, установленным п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней».

Диссертация «Повышение электрической прочности межэлектродных промежутков многолучевых клистронов» Вашина Сергея Александровича выполнена на высоком уровне, а её автор заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности «2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника».

Заместитель генерального директора

по научно-технологическому развитию, д.т.н.



И.П. Ли

Главный конструктор, к.ф-м.н.



И.А. Фрейдович