

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** **2 654 582** ⁽¹¹⁾ ⁽¹³⁾ **C2**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[H01J 23/36 \(2006.01\)](#)[H01P 1/08 \(2006.01\)](#)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 17.01.2019)

(21)(22) Заявка: [2016136923](#), 14.09.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.09.2016Дата регистрации:
22.05.2018Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 14.09.2016(43) Дата публикации заявки: 19.03.2018 Бюл. № [8](#)(45) Опубликовано: [22.05.2018](#) Бюл. № [15](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: [RU 2268519C1](#), [20.01.2006](#). [SU 376827A](#), [05.04.1973](#). [RU 2107705C1](#), [27.03.1998](#). [US 2010214043A1](#), [26.08.2010](#). [US 2015170867A1](#), [18.06.2015](#).Адрес для переписки:
**620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
УрФУ, Центр интеллектуальной
собственности, Маркс Т.В.**

(72) Автор(ы):

**Клинов Федор Михайлович (RU),
Мильман Игорь Игорьевич (RU),
Шульгин Борис Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)****(54) СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВАКУУМНО-ПЛОТНЫХ ОКОН ВВОДА/ВЫВОДА СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Изобретение относится к электронной и ускорительной технике для повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода и/или вывода энергии СВЧ-излучения в волноводные ускоряющие структуры и может быть использовано при создании/эксплуатации мощных современных ускорителей электронов. Одновременное повышение электрической и механической прочности диэлектрических окон ввода/вывода СВЧ-излучения достигается нанесением на одну или обе поверхности окна защитного покрытия в виде слоя клея на основе поливинилацетата толщиной 1,5-2 мм, обладающего малыми значениями коэффициентов вторичной и фотоэлектронной эмиссии, высокой адгезионной способностью к диэлектрическим материалам и высокими вакуум-прочностными свойствами. Механическая прочность вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения обеспечивается и при ее потере в результате тепловых, электрических и СВЧ-пробоев или суммарного их воздействия. Технический результат - повышение электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-

излучения в ускоряющие структуры электронных ускорителей и увеличение тем самым надежности их работы, продление сроков безаварийной эксплуатации, а также восстановление работоспособности вышедших из строя СВЧ-окон, экономии материальных и временных ресурсов при простоте реализации предлагаемого способа. 2 н.п. ф-лы.

Изобретение относится к ускорительной технике, точнее к способам повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных диэлектрических окон ввода/вывода СВЧ-излучения в последующие ускоряющие волноводные структуры. Оно может быть использовано при создании/эксплуатации мощных ускорителей электронов, в которых вакуумно-плотные окна ввода/вывода СВЧ-излучения дополнительно подвергаются действию интенсивных радиационных полей.

Из литературы известны три главные причины механического разрушения диэлектрических окон, приводящие к потере вакуума и, как следствие, к серьезным авариям (Л.Г. Суходолец. Мощные вакуумные СВЧ-приборы. Москва, 2014). Ниже кратко рассмотрены механизмы процессов, приводящих к потерям электрической и механической прочности диэлектрических окон ввода/вывода СВЧ-излучения, на снижение вероятности проявления которых направлено предлагаемое изобретение.

1. Тепловой пробой вследствие нагрева диэлектрика за счет в принципе неустраняемого поглощения части проходящей энергии СВЧ-излучения (активные потери), приводящий к необходимости принудительного отвода тепла и применению диэлектриков с малым значением тангенса угла диэлектрических потерь. Эта проблема решена несколькими известными способами. Основу большинства из них составляет принудительное охлаждение волноводной секции с диэлектрическим диском охлаждающей жидкостью (Патент №2451362 РФ «Баночное окно ввода и/или вывода СВЧ-энергии». Гришин С.И. и др. Заявл. 02.02.2011). Известно также решение этой проблемы за счет обеспечения теплопроводящего контакта окна с торцами прямоугольных волноводов (Патент №2207655 РФ «Баночное окно ввода и/или вывода энергии СВЧ». Галкин В.С. и др. Опубл. 27. 06. 2003).

2. Электрический пробой волновода (СВЧ-пробой) на вакуумной стороне окна или со стороны волновода с избыточным давлением элегаза (SF_6) при плохом его качестве. «СВЧ-пробой» - это процесс, при котором возникает высокотемпературная дуга, мгновенно или со временем разрушающая диэлектрик окна. Основной причиной возникновения СВЧ-пробоя является вторично-эмиссионный резонансный разряд (ВЭРР). Явление возникает вследствие электронного процесса, связанного как с параметрами проходящей СВЧ волны, так и с качеством поверхности диэлектрика на вакуумной (или не вакуумной) стороне окна. Возникновение ВЭРР связывают с появлением свободного электрона на поверхности диэлектрика, наличие его всегда вероятно в пространстве, где действуют большие электрические поля. Вероятность появления свободного электрона на поверхности диэлектрика особенно высока в присутствии ионизирующих излучений, сопровождающих работу ускорителей. Под действием электрической составляющей СВЧ-поля электрон будет ускоряться вдоль поверхности, а при его ударе, например, о микровыступы на поверхности окна возникает вторичная электронная эмиссия, характеризуемая коэффициентом вторичной электронной эмиссии σ , как отношение числа вторичных электронов к числу первичных. Большинство диэлектриков, применяемых в окнах ввода/вывода СВЧ-мощности, имеют $\sigma=3-7$, т.е. много больше единицы. При изменении полярности электрического поля вторичные электроны повторяют весь цикл движения в обратном направлении, сопровождаемый бомбардировкой поверхности и рождением новых вторичных электронов. Таким образом, область колеблющегося пространственного заряда у поверхности диэлектрика получает энергию от СВЧ-поля и выделяет ее при ударе электронов о поверхность окна, которое, в итоге, нагревается и разрушается. Дополнительным эффектом, сопровождающим ВЭРР и способствующим появлению первичных электронов, является люминесценция на вакуумной стороне окна, выполняемого, как правило, из керамики Al_2O_3 , BeO , BN и др. Описанные процессы, приводящие к СВЧ-пробою, могут происходить и не на вакуумной стороне окон. В случае применения избыточного давления элегаза (SF_6) при его плохом качестве в поле ионизирующего излучения СВЧ-пробою дополнительно способствует ионизация элегаза с образованием химически активных ионов фтора и серы, бомбардирующих поверхность окна, вызывая появление вторичных электронов, способствующих возникновению СВЧ-пробоя.

3. Электрические пробои объема диэлектриков, связанные с накоплением зарядов под действием ионизирующих излучений. Радиационное заряджение диэлектриков известно, как самостоятельное физическое явление и достаточно подробно описано в

литературе (Громов В.В. «Электрический заряд в облученных материалах». М, 1982. 112 с.). Следствием электрических пробоев объема вакуумно-плотного диэлектрического окна ввода/вывода СВЧ-излучения является его механическое разрушение, приводящее к потере вакуумной плотности.

Известны технические решения, близкие к предлагаемому способу.

Пример 1

Суть способа заключается в снижении величины коэффициента стоячей волны в волноводном тракте по напряжению (КСВН). При этом уменьшаются амплитуды отраженных волн и паразитных резонансов, поскольку большие отражения вызывают существенный рост амплитуды напряженности электрического поля, в котором находится окно ввода/вывода. Снижение амплитуды напряженности электрического поля приводит к снижению энергии вторичных электронов, снижению коэффициента вторичной электронной эмиссии и, как следствие, уменьшению вероятности СВЧ-пробоя (Патент РФ № 226851 «Способ изготовления ввода/вывода энергии СВЧ приборов с баночным окном». Копылов В.В. и др. Опубликовано 20.01.2006). Недостатком способа являются его сложность и трудоемкость в достижении малых значений КСВН.

Пример 2

Суть способа снижения коэффициента вторичной электронной эмиссии (КВЭЭ) заключается в нанесении на диэлектрик покрытий из металлов с более низким, чем у подложки, коэффициентом вторичной эмиссии. В качестве покрытия окон ввода/вывода СВЧ-энергии используют проводящую титаносодержащую глазурь с пониженным коэффициентом вторичной электронной эмиссии, наносимую на вакуумную поверхность диэлектрика (А.С. СССР «Антидинаatronное покрытие». В.Н. Батыгин и др. Опубликовано 1973. Бюллетень №17). Такое покрытие способствует стеканию объемного заряда, накопленного в диэлектрике, снижая тем самым вероятность электрического пробоя в объеме окна. Недостатком этого способа является то, что увеличение проводимости покрытия автоматически влечет за собой рост тангенса угла диэлектрических потерь и, следовательно, дополнительное поглощение СВЧ-энергии и нагрев диэлектрического окна, способствующий его разрушению.

Пример 3

В способе подавления вторичной электронной эмиссии на керамические окна наносят порошкообразный диэлектрик с низким коэффициентом вторичной электронной эмиссии, например нитрид бора. Покрытие не ухудшает диэлектрических свойств керамики и, следовательно, не вызывает дополнительных тепловых потерь. Последнее обусловлено высокими диэлектрическими свойствами самого покрытия из нитрида бора (А.С. СССР «Способ получения антидинаatronного покрытия на керамике». В.Г. Аветиков и др. Опубликовано 15.XI.1968. Бюллетень №35). Недостатком способа является проблема закрепления на стекле защитного порошкообразного покрытия, что снижает надежность получаемого устройства.

Способы, описанные в примерах 1-2, направлены на снижение вероятности СВЧ-пробоя за счет снижения напряженности электрического поля у поверхности окна (Пример 1), увеличения проводимости поверхности окон, снижение коэффициента вторичной электронной эмиссии (Пример 2). Недостатком способов, приведенных в примерах 1-2, является то, что каждый из них направлен на снижение вероятности проявления только одного механизма, приводящего к снижению СВЧ-пробоя. Ни в одном из способов (Примеры 1-2) не обеспечивается механическая прочность вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения в случае ее потери в результате тепловых, электрических и СВЧ-пробоев или суммарного их воздействия.

Задачей, решаемой в предлагаемом изобретении, вытекающей из анализа причин, приводящих к потере электрической и механической прочности вакуумно-плотных диэлектрических окон ввода/вывода СВЧ-энергии, является разработка способа одновременного повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных СВЧ-окон за счет снижения вероятности возникновения СВЧ-пробоев и сохранения вакуумной плотности при механическом разрушении диэлектрических окон в результате электрических пробоев их объемов.

Поставленная задача повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения решается тем, что

1) на поверхность диэлектрического окна со стороны источника СВЧ-излучения наносят слой клея на основе поливинилацетата в жидкой фазе толщиной 1,5-2 мм, после чего высушивают покрытие в течение 24 часов до получения гладкой твердофазной поверхности покрытия,

2) на обе поверхности диэлектрического окна наносят слой клея на основе поливинилацетата в жидкой фазе толщиной 1,5-2 мм, после чего высушивают

покрытие в течение 24 часов до получения гладкой твердофазной поверхности покрытия.

Пример осуществления способа повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения по п. 1

Для реализации способа использовалось волноводное СВЧ-окно типа TH20674 фирмы THALES ELECTRON DEVICES (Франция, стоимость 15000 евро) с толщиной стенки диэлектрической пластины 2,5 мм. Причем данное окно было уже непригодно к эксплуатации из-за образования в нем сквозных микротрещин и потери вакуумной плотности вследствие электрических и СВЧ-пробоев. В предлагаемом способе для нанесения покрытия использован клей на основе поливинилацетата, устойчивый к ионизирующим полям, СВЧ-излучению и пригодный для применения в высоковакуумных установках.

После нанесения на окно (ввода/вывода СВЧ-излучения) клеевого слоя в жидкой фазе толщиной 1-2 мм со стороны СВЧ-излучателя покрытие высушивалось в течение 24 часов до приобретения вида гладкого стеклообразного твердого покрытия. Толщина клеевого покрытия выбиралась из условия минимального поглощения СВЧ-излучения и необходимости поглощения в нем вторичных электронов, образовавшихся в диэлектрике под действием ионизирующего излучения (пробеги таких электронов с энергией 70-100 КэВ составляют величину 0,8-1,58 мм, соответственно). Нанесение покрытия в жидкой фазе позволяет сгладить микронеровности поверхности керамического окна, а при его застывании образовывать новую гладкую твердофазную вакуумно-плотную поверхность с низким коэффициентом вторичной электронной эмиссии и тем самым снижать вероятность образования вторичных электронов. После нанесения клеевого слоя толщиной 1,5 мм со стороны СВЧ-излучения вышедший ранее из строя СВЧ-модуль был вновь установлен в ускоритель. Испытания проводились в штатном режиме ускорителя, энергия ускоренных электронов 10 МэВ, ток пучка 1 мА, а мощность СВЧ-излучения клистрона 5 МВт. Восстановленное СВЧ-окно (на момент подачи изобретения) проработало 8 месяцев без пробоев и ограничений передаваемой СВЧ-мощности, без нагрева окна и видимых изменений в защитном клеевом слое.

Пример осуществления способа повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения по п. 2

Исследуемое окно ввода/вывода СВЧ-излучения работало в составе линейного ускорителя электронов УРЛС-10-10С, изготовитель CORAD (Санкт-Петербург). Энергия ускоренных электронов 10 МэВ, ток пучка 1 мА. Мощность СВЧ-излучения клистрона 5 МВт. Согласно предлагаемому способу для нанесения покрытия использован клей на основе поливинилацетата, устойчивый к ионизирующим полям, СВЧ-излучению и пригодный для применения в высоковакуумных установках. После нанесения на окно клеевого слоя в жидкой фазе толщиной 1-2 мм как со стороны СВЧ-излучателя, так и со стороны вакуумной части волновода покрытие высушивалось в течение 24 часов до приобретения вида гладкого стеклообразного твердого покрытия. Толщина клеевого покрытия выбиралась из тех же условий минимального поглощения СВЧ-излучения и необходимости поглощения в нем вторичных электронов, образовавшихся в диэлектрике под действием ионизирующего излучения, что и в примере по п. 1. Нанесение защитного покрытия в жидкой фазе с обеих сторон диэлектрического окна позволяет сгладить микронеровности поверхности обеих сторон окна, а при его застывании образовывать новую гладкую твердофазную вакуумно-плотную поверхность с низким коэффициентом вторичной электронной эмиссии и тем самым снижать вероятность образования вторичных электронов. По истечении полугода непрерывной и безаварийной работы ускорителя был проведен осмотр окна, в результате которого в слоях покрытий видимых изменений обнаружено не было.

Как показали проведенные испытания, использование клеевого слоя на основе поливинилацетата обеспечивает простоту способа одновременного повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения, надежность, долговечность, экономию материальных и временных ресурсов. Важным преимуществом предлагаемого способа является возможность не только защищать вновь вводимые в эксплуатацию СВЧ-окна, значительно увеличивая срок их службы, но и восстанавливать работоспособность окон, потерявших вакуумную плотность (пример способа по п. 1). Причем восстановление вышедшего из строя окна не требовало его технически сложного извлечения из конструкции волноводной секции.

Использование клеевого слоя на основе поливинилацетата, обладающего малыми значениями коэффициентов вторичной и фотоэлектронной эмиссии, высокой адгезионной способностью к диэлектрическим материалам и высокими вакуум-

прочностными свойствами и низким значением тангенса угла диэлектрических потерь, а также высокой радиационной стойкостью, обеспечивает простоту способа одновременного повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-мощности, обеспечивает надежность, долговечность, экономию материальных и временных ресурсов.

Технический результат предлагаемого решения заключается в том, что процессы микроструктурирования приграничных слоев клей - диэлектрическое СВЧ-окно приводят к повышению электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения в ускоряющие структуры электронных ускорителей и увеличению тем самым надежности их работы, к продлению сроков безаварийной эксплуатации, а также к восстановлению работоспособности вышедших из строя СВЧ-окон, экономии материальных и временных ресурсов при простоте реализации предлагаемого способа.

Формула изобретения

1. Способ повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения, характеризующийся тем, что на поверхность диэлектрического окна со стороны источника СВЧ-излучения наносят слой клея на основе поливинилацетата в жидкой фазе толщиной 1,5-2 мм, после чего высушивают покрытие в течение 24 ч до получения гладкой твердофазной поверхности покрытия.

2. Способ повышения электрической и механической прочности вакуумно-плотных окон ввода/вывода СВЧ-излучения, характеризующийся тем, что на обе поверхности диэлектрического окна наносят слой клея на основе поливинилацетата в жидкой фазе толщиной 1,5-2 мм, после чего высушивают покрытие в течение 24 ч до получения гладкой твердофазной поверхности покрытия.