

УДК 537.5

## МУЛЬТИПАКТОРНЫЙ РАЗРЯД В СКРЕЩЁННЫХ ПОЛЯХ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ ТРЁХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

*А. А. Вихарев, Е. В. Иляков, С. В. Кузиков, И. С. Кулагин*

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

Приведены результаты экспериментального исследования одностороннего мультипакторного разряда в скрещённых постоянном магнитном и высокочастотном электрическом полях в цилиндрическом резонаторе на моде  $TM_{011}$  в трёхсантиметровом диапазоне длин волн. Установлено, что разряд может развиваться за времена порядка 15 нс, при этом концентрация электронов может достигать значений, сравнимых с критическими для данной частоты излучения. В результате развития разряда резонатор из режима пропускания сигнала переходит в режим его отражения. При этом максимальная удельная мощность, рассеиваемая разрядом в стенках резонатора, может составлять несколько киловатт на квадратный сантиметр.

### ВВЕДЕНИЕ

Односторонний мультипакторный разряд, или мультипактор, может развиваться в скрещённых сверхвысокочастотном (СВЧ) электрическом и статическом магнитном полях в вакууме вблизи стенки резонатора или волновода [1–3] при определённом соотношении между циклотронной частотой электронов и частотой излучения. Теоретические исследования [4] и недавние эксперименты по мультипактору в прямоугольных волноводах, выполненные в трёхсантиметровом диапазоне длин волн [5], показали, что односторонний мультипактор развивается за  $10\div 15$  нс. За это время ток разряда достигает насыщения, а концентрация электронов в облаке разряда становится близкой к критической для данной частоты излучения. При этом максимальная удельная поглощённая разрядом мощность (в конечном итоге рассеиваемая в стенке волновода) в условиях эксперимента составляла более  $4 \text{ кВт/см}^2$  и была ограничена мощностью входного СВЧ источника. Как показывают оценки, при транспортировке излучения ещё большей мощностью уровень поглощаемой разрядом мощности может достигать до десятков и даже сотен киловатт на квадратный сантиметр [4, 6].

Эти свойства одностороннего мультипакторного разряда обуславливают привлекательность его применения в волноводах и резонаторах с объёмными пространственно развитыми модами с целью создания электрически управляемых поглощающих устройств и быстрых переключателей излучения высокой мощности.<sup>1</sup> Подобные устройства, работающие при мощностях в десятки и сотни мегаватт, востребованы для таких научных и технических задач, как нагрев и стабилизация плазмы в токамаках, компрессия электромагнитных импульсов, создание ускорителей элементарных частиц нового поколения — суперколлайдеров, радиолокация, борьба с раковыми клетками на основе локальной СВЧ гипертермии и др.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования мультипакторного разряда в скрещённых полях в цилиндрическом резонаторе с рабочей модой  $TM_{011}$  в трёхсантиметровом диапазоне длин волн.

<sup>1</sup> Ранее (см. [7]) для смещения резонансной частоты резонатора в СВЧ переключателе использовались большие токи двустороннего мультипакторного разряда.

## 1. ОБСУЖДЕНИЕ УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ МУЛЬТИПАКТОРА. СХЕМА ЭСПЕРИМЕНТА

При одностороннем мультипакторе [1–4] вторичные электроны, эмитированные со стенки вакуумного объёма, ускоряются в СВЧ поле и, возвращаясь обратно под действием магнитостатического поля  $H_0$ , бомбардируют поверхность. При этом происходит дрейф электронов поперёк силовых линий магнитного поля. В известном диапазоне энергий бомбардировки  $50 \div 2500$  эВ, т. е. между первым и вторым критическими потенциалами, когда коэффициент вторичной эмиссии  $\sigma$  больше единицы [3, 4, 8], число электронов в каскадном процессе повторения движений лавинно нарастает. Таким образом, разряд развивается и во времени, и в пространстве. Для того, чтобы ток разряда за счёт размножения электронов достиг своего насыщенного значения, определяемого объёмным зарядом, нужно несколько десятков последовательных циклов соударения электронов с поверхностью, т. е. необходимо, чтобы разрядная поверхность была достаточно длинной.

Разряд может развиваться только при определённых значениях статического магнитного поля, т. е. внутри зон разряда. Вблизи магнитного поля, при котором циклотронная частота электронов вдвое меньше частоты СВЧ поля,  $\omega_c = eH_0/(mc) \approx \omega/2$ , электроны, эмитированные в начале ускоряющей фазы СВЧ поля (см. [4, 6]), совершают движение от поверхности и обратно за один период СВЧ колебаний, набирая до удара наибольшую возможную энергию в заданном СВЧ поле. Этому режиму соответствует основная зона, или первая мода разряда. В области меньших магнитных полей, где циклотронная частота электронов в четыре, шесть и т. д. раз меньше частоты излучения, могут существовать более высокие моды разряда. В этих режимах электроны совершают более сложное движение от поверхности и обратно за два, три и т. д. периодов СВЧ колебаний. Однако с ростом номера моды энергия электронов, падающих на поверхность, и ток разряда существенно уменьшаются. Кроме того, как показывает анализ [4, 6], с увеличением номера моды сужается зона устойчивости разряда по магнитному полю, и он становится более чувствительным к начальному разбросу электронов по скоростям. В итоге разрядные токи и поглощаемая мощность быстро уменьшаются с ростом номера моды.

Описанные в настоящей статье эксперименты проводились на том же стенде, что и в исследованиях с прямоугольными волноводами [5]. Схема эксперимента по исследованию мультипактора в резонаторе приведена на рис. 1. Цилиндрический резонатор 8 (см. рис. 2а), рассчитанный на

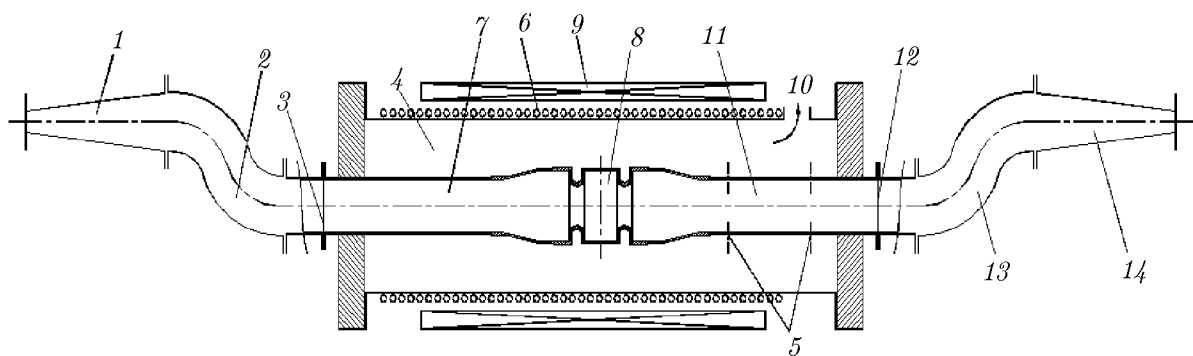


Рис. 1. Схема эксперимента: 1, 14 — адиабатические преобразователи моды  $TE_{10}$  прямоугольного волновода в моду  $TE_{11}$  круглого волновода, 2, 13 — преобразователи моды  $TE_{11}$  в моду  $TM_{01}$  круглого волновода, 3, 12 — вакуумные окна, 4 — вакуумный объём, 5 — продольные щели для вакуумной откачки волновода, 6 — подогреватель для удаления остаточных молекул, 7, 11 — круглые волноводы (вход в резонатор и выход из него), 8 — резонатор, 9 — соленоид, 10 — отверстие для вакуумной откачки

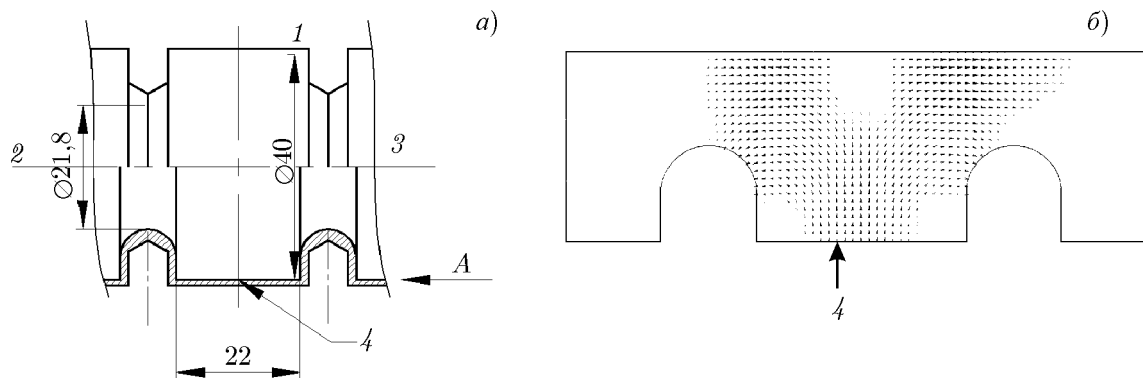


Рис. 2. Конструкция резонатора (а) и структура электрического СВЧ поля (б). Векторное поле изображено остроконечными треугольниками-стрелками, размер которых пропорционален модулю электрического поля в данной точке. 1 — резонатор с добротностью  $Q = 420$ , 2 — вход моды  $TM_{011}$ , 3 — выход моды  $TM_{01}$ , 4 — зона разряда

рабочую моду  $TM_{011}$  помещался в однородное магнитное поле соленоида 9, так что силовые линии магнитного поля были направлены вдоль оси резонатора, а силовые линии электрического поля СВЧ излучения — по радиусу. В результате на цилиндрической поверхности резонатора создавались скрещённые аксиально-симметричное СВЧ электрическое поле и однородное магнитостатическое поле, необходимые для развития одностороннего разряда. В данных условиях электроны разряда дрейфовали поперёк силовых линий магнитного поля и, двигаясь по кругу, могли совершать большое число последовательных циклов соударения с поверхностью, что обеспечивало достижение режима насыщения разряда. При этом кривизна цилиндрической поверхности с радиусом 20 мм практически не должна была влиять на движение электронов ввиду малости масштаба их траекторий, не превышающего 1 мм.

Радиальная компонента СВЧ электрического поля на стенке была сильно неоднородна по продольной координате, см. рис. 2б, где приведена структура электрических СВЧ полей на резонансной частоте. Это означало, что при смещении от центральной плоскости резонатора электроны начинали испытывать действие усреднённой силы Миллера, которая постепенно от цикла к циклу вытесняла их в зону более слабого электрического СВЧ поля. Подробнее об этом см. [9, 10], где приведены результаты моделирования влияния силы Миллера на двусторонний мультипактор. Сила Миллера хотя и создавала дополнительный отсев электронов, но оказывать существенного влияния на разряд была не должна (по аналогии с разрядом в волноводе [5]).

Резонатор был рассчитан так, чтобы его резонансная частота во всём диапазоне температур нагрева от 20 до 600 °С, проводимого с целью удаления остаточных молекул с поверхности, попадала в диапазон частот перестраиваемого магнетрона. Добротность резонатора выбиралась исходя из следующих соображений. Слой электронов насыщенного разряда, характеризуемый предположительно критической или близкой к ней концентрацией, уменьшает эффективный радиус резонатора. Физически это означает, что силовые линии СВЧ электрического поля заканчиваются на зарядах, не доходя до стенки. Добротность резонатора должна быть достаточно велика, чтобы это изменение привело к выходу резонатора из состояния резонанса и его переключению из режима полного прохождения излучения в режим отражения. Исходя из оценок [4] для амплитуды СВЧ электрического поля 20 кВ/см и частоты 9,13 ГГц насыщенный слой электронов разряда должен был уменьшить радиус резонатора по крайней мере на 0,1 мм, что означало увеличение резонансной частоты на 20 МГц. В условиях реального эксперимента по изменению прошедшего и отражённого сигналов регистрировалась перестройка резонатора под действием разряда, параметры которого могли и не достигать указанных величин. Используемый резона-

тор с добротностью 420, измеренной при рабочей температуре 400 °С с помощью измерителя коэффициента стоячей волны напряжения, имел полосу 22 МГц, что отвечало поставленным задачам.

Уход резонансной частоты при нагревании до 500 °С составлял 5 МГц и учитывался при точной настройке на резонанс. Омические потери мощности излучения в резонаторе при возрастании удельного сопротивления материала стенки с ростом температуры от 20 до 500 °С увеличивались с 7 до 12 %.

Для максимального схождения условий вторичного эмиссионного размножения электронов разряда с условиями, при которых в предыдущих исследованиях разряд создавался в прямоугольном волноводе [5], боковая поверхность резонатора изготавливалась из того же материала, что и стандартная волноводная труба — сплава Л-96. Остальная часть резонатора и подводящие волноводы изготавливались из бескислородной меди.

Для вакуумной откачки резонатора, помещённого в вакуумную камеру 4 (см. рис. 1), в стенках круглых подводящих и отводящих СВЧ излучение волноводов были проделаны сквозные продольные щели 5, слабо возмущающие моду  $TM_{01}$ . На входе и выходе из круглых волноводов располагались вакуумные СВЧ окна 3, 12 из тонкой слюды. Эксперимент проводился при постоянном термическом удалении остаточных молекул из камеры 4 с помощью специального нагревателя 6, способного обеспечивать температуру волновода до 600 °С. В эксперименте степень прогрева ограничивалась температурой плавления припоя, с помощью которого были спаяны элементы резонатора и подводящих волноводов. Вакуум с остаточным давлением  $5 \cdot 10^{-7}$  мм рт. ст. создавался с помощью криосорбционного насоса. В качестве источника излучения использовался магнетрон с выходной мощностью до 250 кВт и перестраиваемой частотой излучения в диапазоне от 9,13 до 9,5 ГГц (что соответствует длине волны порядка 3,2 см) при длительностях импульсов до 10 мкс и частотой их следования до 1 Гц. Уровень выходной мощности магнетрона регулировался путём изменения питающего напряжения. Частота излучения при этом менялась несущественно. От влияния отражённого излучения магнетрон был защищён циркулятором. В качестве измерителя мощности служил импульсный твёрдотельный калориметр [11]. Излучение от магнетрона с помощью волноводных преобразователей 1 и 2 (см. рис. 1) с высоким коэффициентом преобразования [12] трансформировалось из моды  $TE_{10}$  прямоугольного волновода в моду  $TM_{01}$  круглого волновода и через вакуумное окно 3 для СВЧ излучения и круглый волновод 7 подводилось к резонатору 8. После выхода из резонатора и аналогичных обратных преобразований излучение попадало в выходной тракт. Для контроля падающей, отражённой от резонатора и прошедшей через него волн в тракте прямоугольного сечения были установлены направленные волноводные ответвители.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 2.1. Изменение резонансной частоты при возникновении разряда

Известно, что при изучении процессов, связанных со вторичной эмиссией, решающими условиями достоверности получаемых данных являются чистота исследуемой поверхности и степень вакуумной откачки. Один из способов получения чистой поверхности заключается в том, что исследуемый материал прокаливается при высокой температуре в вакууме. В результате с его поверхности, а также частично и из приповерхностного объёма, удаляются молекулы загрязняющих веществ [8]. С точки зрения условий существования мультипактора важно, что примеси увеличивают коэффициент вторичной эмиссии, и по мере их удаления величина  $\sigma$ , как правило, снижается и стабилизируется на уровне, характерном для чистых металлов, который совсем или

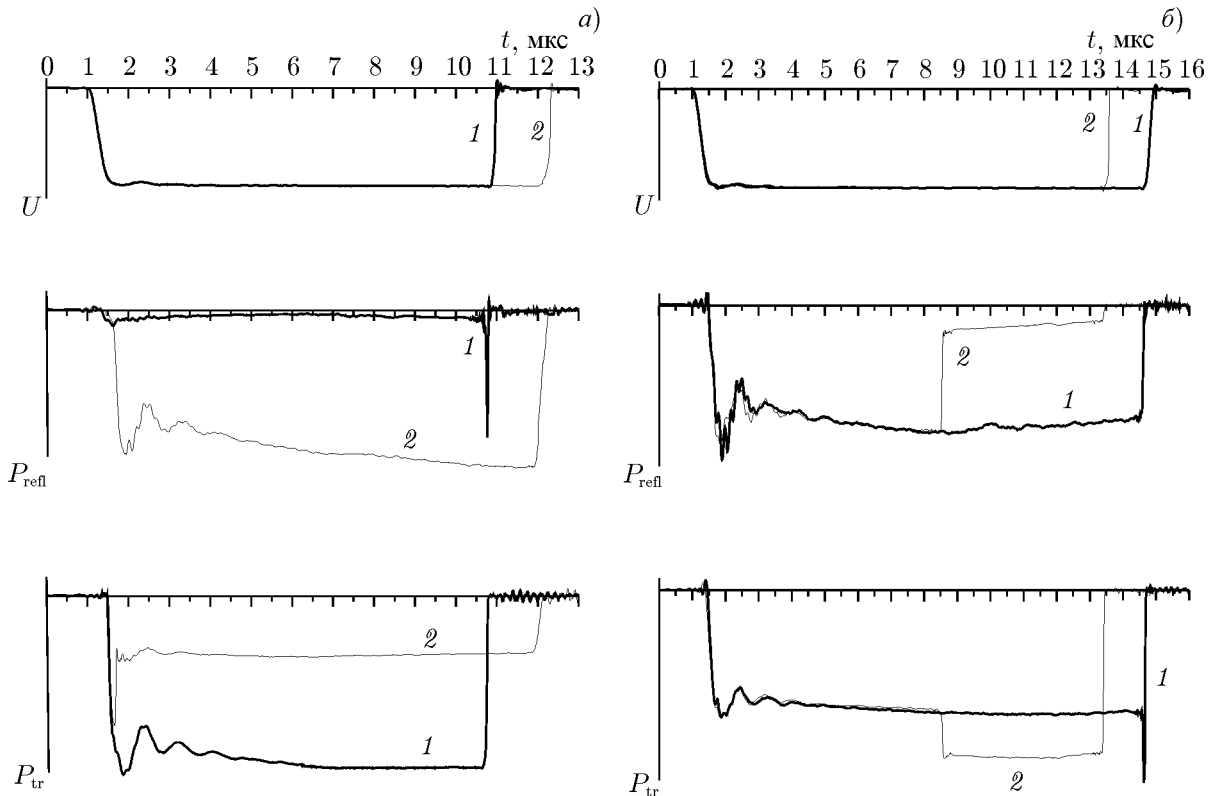


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на магнетроне  $U$  и мощностей СВЧ сигналов, отражённых от резонатора,  $P_{\text{refl}}$ , и прошедших через него,  $P_{\text{tr}}$ , при мощности входного сигнала  $80 \div 90$  кВт. Кривые 1 соответствуют отсутствию условий для мультипактора (нулевое магнитное поле), кривые 2 — наиболее благоприятным условиям для развития мультипактора. Осциллограммы на панели (а) получены в случае точной настройки частоты излучения на частоту резонатора, на панели (б) — при частоте входного излучения на 5 МГц выше частоты резонатора

почти совсем не зависит от температуры [13].

Перед проведением исследований из резонатора предварительно в течение нескольких часов удалялись остаточные молекулы при температуре  $400^\circ\text{C}$ . Эта же температура поддерживалась в ходе проведения экспериментов. Исследования показали, что в области расчётных значений амплитуд электрических СВЧ полей и магнитных полей (для первой моды разряда требуется магнитное поле около  $1,65$  кЭ) в резонаторе развивается мультипакторный разряд, который приводит к расстройке резонатора и изменяет соотношение мощностей прошедшего и отражённого сигналов. На рис. 3 приведены характерные осциллограммы этих сигналов при двух разных значениях частоты магнетрона и при одинаковой мощности. Рисунок 3а соответствует осциллограммам с точной настройкой магнетрона на центральную частоту резонатора. Из них видно, что мультипактор успевает развиться уже на фронте СВЧ импульса, в результате чего сигнал, прошедший через резонатор, резко уменьшается, а величина отражённого сигнала быстро возрастает.

На рис. 3б приведены осциллограммы для случая, когда частота магнетрона примерно на 10 МГц выше центральной частоты резонатора, т. е. находится около середины спадающей части резонансной кривой. Этот случай характерен тем, что возникновение разряда в предварительно отстроенном резонаторе приводит к возвращению его частоты к частоте точного резонанса, так что величина прошедшего сигнала нарастает, а отражённого — падает. При смещении ча-

стоты магнетрона примерно на 10 МГц в другую сторону от центральной частоты резонатора с появлением мультипактора прошедший сигнал дополнительно уменьшается, а отражённый — дополнительно увеличивается. Это также указывает на смещение полосы пропускания резонатора в область более высоких частот.

Исследования показали, что при точной настройке частоты магнетрона на центральную частоту резонатора возникновение разряда и перестройка собственной частоты резонатора происходят в широком диапазоне мощностей входного СВЧ излучения  $P_{in}$ , причём с ростом последней момент возникновения разряда всё ближе смещается к началу фронта импульса излучения, мощность отражённого сигнала  $P_{refl}$  возрастает, а мощность прошедшего через расстроенный резонатор сигнала  $P_{tr}$  и мощность излучения, поглощённого в его стенках при разряде и вследствие омических потерь,  $P_{abs}$ , падают. Соответствующие зависимости приведены на рис. 4 и отражают баланс между расстройкой резонатора, концентрацией электронов в возникающем разряде и СВЧ полем в резонаторе. Этот баланс определяет соотношение между мощностями падающего, отражённого и прошедшего излучения [7]. В результате исследуемый резонатор при использовании в качестве коммутатора СВЧ излучения с ростом мощности становится эффективнее.

Следует отметить, что использование материалов с более стабильным и высоким коэффициентом вторичной эмиссии также должно повысить эффективность перестройки собственной частоты резонатора.

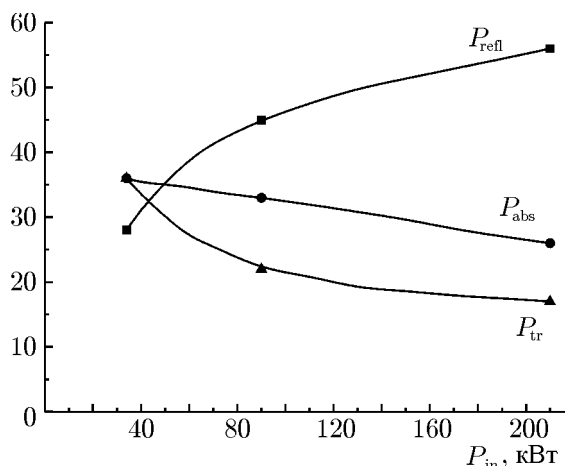


Рис. 4. Зависимости относительных значений мощностей отражённого ( $P_{refl}$ ) и прошедшего ( $P_{tr}$ ) излучения, а также поглощённой мощности  $P_{abs}$  от мощности падающего  $P_{in}$  излучения (в процентах)

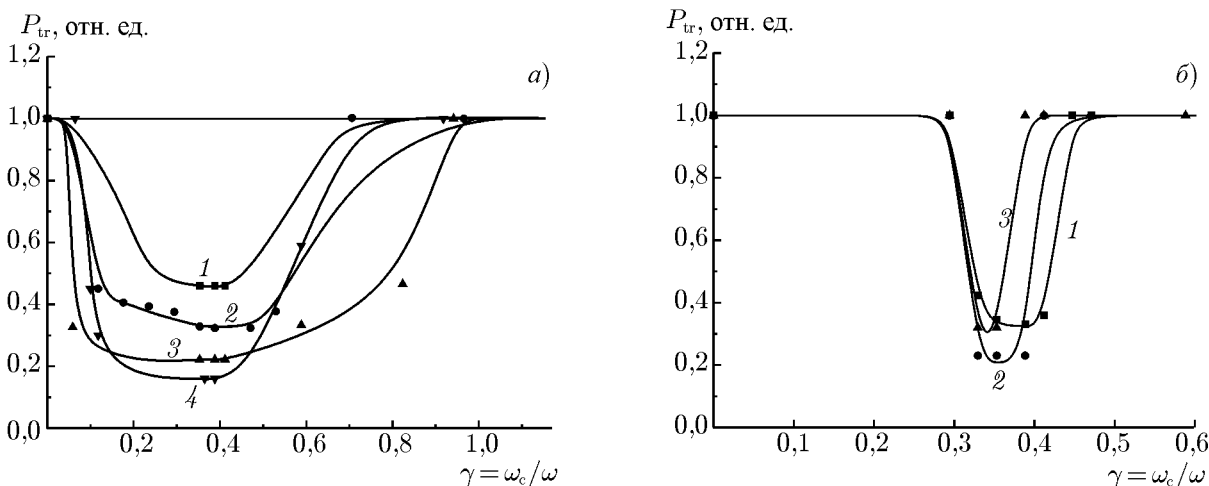


Рис. 5. Зависимость мощности СВЧ излучения, прошедшего через резонатор,  $P_{tr}$ , от относительного магнитного поля  $\gamma$  при различных мощностях входного СВЧ излучения. Панель (а) соответствует температуре удаления остаточных молекул 400 °С, кривая 1 отвечает мощности входного СВЧ излучения 25 кВт, 2 — 45 кВт, 3 — 75 кВт, 4 — 190 кВт. Панель (б) соответствует температуре удаления остаточных молекул 600 °С, кривая 1 — 90 кВт, 2 — 140 кВт, 3 — 175 кВт

## 2.2. Зависимость от магнитного поля

На рис. 5а приведены зависимости ослабления прошедшего через резонатор сигнала при развитии мультипактора, т. е. отношение мощности прошедшего сигнала, ослабленного разрядом, к мощности сигнала без разряда, от величины магнитного поля, представленной через отношение циклотронной частоты к частоте СВЧ излучения  $\gamma = \omega_c/\omega$  при различных уровнях мощности входного излучения. Из него видно, что разряд развивается в существенно более широком диапазоне значений магнитных полей по сравнению с данными, полученными по исследованию мультипактора в прямоугольных волноводах при той же степени откачки воздуха и той же температу-

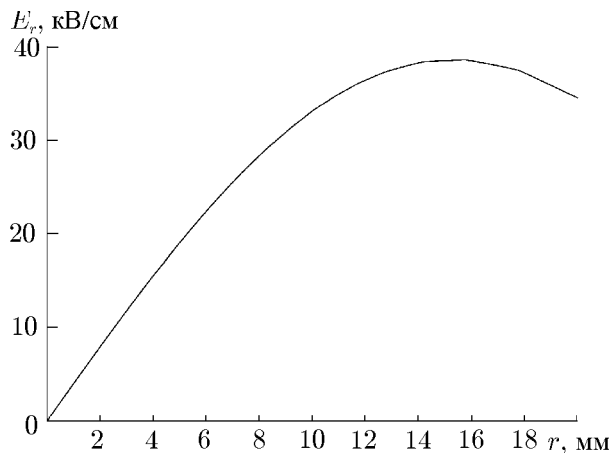


Рис. 6. Расчётное распределение радиальной компоненты амплитуды электрического СВЧ поля  $E_r$  в центральном поперечном сечении резонатора. Мощность входного излучения равна 100 кВт, а частота — частоте точного резонанса

появление дополнительного заряда. Особенности воздействия этих факторов и их относительная значимость требуют дополнительных исследований.

Этот диапазон смещён и расширен в сторону пониженных магнитных полей. В нём располагаются области существования более высоких мод разряда с более жёсткими условиями возникновения, которые в экспериментах с прямоугольными волноводами [5] не наблюдались скорее всего по причине влияния начального разброса электронов по скоростям. Однако, можно предположить, что некоторые факторы смягчают условия существования, т. е. расширяют область устойчивых фаз, для высоких мод разряда. Такими факторами могут быть нарастающее от стенки резонатора электрическое СВЧ поле (см. рис. 6, где приведена зависимость радиальной компоненты амплитуды электрического СВЧ поля от радиуса,  $E_r(r)$ ), поле пространственного заряда мультипакторных электронов, а также так называемые «тёмные токи», обуславливающие

## 2.3. Влияние температуры удаления остаточных молекул

На рис. 5б приведены зависимости, аналогичные представленным на рис. 5а, но полученные при температуре 600 °С. Из него видно, что при этой температуре происходит существенное сужение диапазона магнитных полей, в котором развивается разряд. Кроме того, наблюдается тенденция к дальнейшему сужению этого диапазона с ростом мощности излучения. Осциллограммы, полученные в этих условиях, показывают, что с увеличением последней разряд становится неустойчивым (рис. 7а), а при максимальных мощностях излучения вообще подавляется (см. рис. 7б): разряд возникает на переднем фронте СВЧ импульса при умеренном уровне мощности излучения и гаснет на его вершине при повышенной мощности. Отметим также, что область существования разряда становится уже, чем в волноводе [5] и смещена на 15÷20 % в область меньших магнитных полей. При понижении температуры до 400 °С область существования разряда по магнитным полям восстанавливается.

Такое влияние температуры резонатора на разряд, по-видимому, связано со следующими явлениями. Прежде всего, с ростом температуры понижается количество примесей на поверхности и, как следствие, коэффициент вторичной эмиссии  $\sigma$ . Это, как известно, сужает зону существования разряда, т. к. уменьшается эффективность восполнения утерянных электронов, попадающих

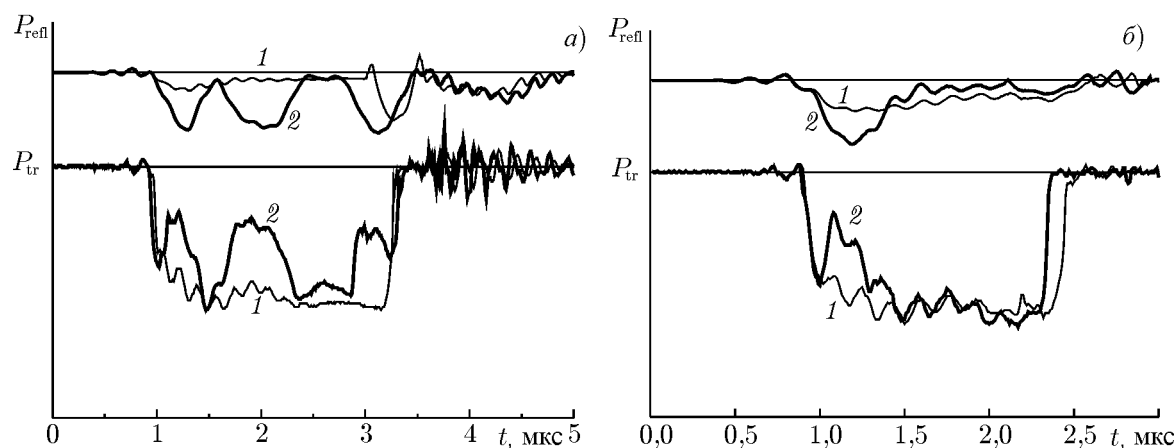


Рис. 7. Осциллограммы мощности СВЧ сигналов, отражённых от резонатора ( $P_{\text{refl}}$ ) и прошедших через него ( $P_{\text{tr}}$ ), при мощности входного сигнала 120 кВт (а) и 180 кВт (б). Кривые 1 соответствуют отсутствию условий для мультипактора (нулевое магнитное поле), кривые 2 — наиболее благоприятным условиям для его развития. Температура удаления остаточных молекул равна 600 °С

в неблагоприятные для разряда фазы СВЧ поля [3, 4]. С ростом мощности излучения к этим явлениям добавляется ещё нарастающая продольная компонента силы Миллера, связанная с неоднородностью СВЧ поля по длине резонатора, которая также снижает эффективность восполнения утерянных электронов и способствует разрушению разряда (см. [9, 10], где приведены результаты моделирования влияния силы Миллера на двусторонний мультипактор). Следует отметить, что неустойчивость и разрушение разряда наблюдались при таких СВЧ полях и энергиях бомбардировки, при которых, согласно оценкам, второй критический потенциал не достигается, так что разряд, в принципе, должен существовать.

## ВЫВОДЫ

Проведённые эксперименты по исследованию одностороннего мультипактора в скрещённых полях в цилиндрическом резонаторе с рабочей модой  $\text{TM}_{011}$  в трёхсантиметровом диапазоне длин волн показали, что время развития разряда составляет порядка 15 нс. Концентрация электронов в разряде может достигать значений  $10^{11} \div 10^{12} \text{ см}^{-3}$ , близких к критическому для данной частоты излучения, в результате чего собственная частота резонатора изменяется настолько, что он переходит из режима пропускания сигнала в режим его отражения.

Данное свойство одностороннего мультипактора в скрещённых полях по аналогии с двусторонним разрядом [7] может быть использовано в переключателях СВЧ потоков, использующих объёмные пространственно развитые моды для транспортировки излучения повышенной мощности. Высокая поглощающая способность разряда также может быть использована в пространственно развитых системах для создания мощных электропрочных нагрузок и аттенуаторов, поскольку в разряде не содержится никаких элементов, ослабляющих электропрочность и приводящих к пробое, т. е. диэлектриков, острых эмитирующих кромок и др. Эти устройства могут быть рассчитаны на большую среднюю мощность, т. к. диссипация энергии происходит на металлической стенке, которую легко охладить.

Смоделированы условия в выходных устройствах мощных релятивистских СВЧ приборов и показана возможность возникновения в них разряда, способного влиять на их характеристики. К таким приборам относится, например, релятивистская черенковская лампа обратной волны с рабочими модами  $\text{TM}_{01}$  и  $\text{TM}_{02}$ .



Работа выполнена при частичной поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун С. Элементарные процессы в плазме газового разряда. М.: Госатомиздат, 1961.
2. Бляхман Л. Г., Нечаев В. Е. // ЖТФ. 1980. Т. 50, № 4. С. 720.
3. Сливков И. Н. Процессы при высоком напряжении в вакууме. М.: Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
4. Бляхман Л. Г., Горшкова М. А., Нечаев В. Е. // Изв. вузов. Радиофизика. 2000. Т. 43, № 11. С. 1004.
5. Иляков Е. В., Кулагин И. С., Нечаев В. Е. // Изв. вузов. Радиофизика. 2009. Т. 52, № 12. С. 979.
6. Александров А. Ф., Бляхман Л. Г., Галузо С. Ю., Нечаев В. Е. // Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ АН СССР, 1983. Вып. 3. С. 219.
7. Forrer M., Milazzo C. // Proc. IRE. 1962. No. 4. P. 442.
8. Бронштейн И. М., Фрайман Б. С. Вторичная электронная эмиссия. М.: Наука, 1969. 408 с.
9. Chojnacki E. // Phys. Rev. Spec. Topics. Accel. Beams. 2000. V. 3, No. 3. Art. no. 032001.
10. Semenov V. E., Zharova N. A., Anderson D., et al. // Phys. Plasmas. 2010. V. 17, No. 12. Art. no. 123503.
11. Зайцев Н. И., Иляков Е. В., Ковнеристый Ю. К. и др. // Приборы и техника эксперимента. 1992. № 2. С. 153.
12. Виноградов Д. В., Денисов Г. Г. // Изв. вузов. Радиофизика. 1990. Т. 33, № 9. С. 1098.
13. Брюнинг Г. Физика и применение вторичной электронной эмиссии. М.: Сов. радио, 1958. 192 с.

Поступила в редакцию 7 ноября 2011 г.; принята в печать 27 декабря 2011 г.

### MULTIPACTOR DISCHARGE IN CROSSED FIELDS IN A CYLINDRICAL CAVITY OPERATED IN THE 3-CM WAVELENGTH BAND

*A. A. Vikharev, E. V. Ilyakov, S. V. Kuzikov, and I. S. Kulagin*

We present the results of studying experimentally the one-sided multipactor discharge in crossed fields, specifically, a stationary magnetic field and a high-frequency electric field, in a cylindrical cavity at the  $TM_{011}$  mode in the 3-cm wavelength band. It is found that the discharge can develop during times being of an order of 15 ns, and in this case, the electron density can reach values, which are comparable with those critical for this radiation frequency. As a result of the discharge evolution, the cavity switches from the regime of signal transmission to that of signal reflection. In this case, the maximum specific power dissipated by the discharge in the cavity walls can amount to several kilowatts per square centimeter.