

# ГАЗОВАЯ ДЕСОРБЦИЯ, ИОННЫЕ ПОТОКИ В СВЧ ГЕНЕРАТОРЕ

В.Б.Юферов, В.Г.Котенко, И.Н.Онищенко, Л.Г.Сороковой, Ю.В.Холод, Е.И.Скибенко

ННЦ ХФТИ ИПЭНМУ, ул. Академическая 1, г. Харьков 61108, Украина

Исследовались процессы газовой десорбции и производства ионов во время генерации СВЧ - импульсов в микросекундном виркаторе. Исследована роль вакуумных условий, определена скорость катодной плазмы. Удельные величины газовой десорбции и парциальный состав исследован для разных катодов. Параметры диода – энергия пучка до 300 кВ, ток до 10 кА, длительность полупериода 1.5 мкс, диаметр катода 10 см, анода – 20 см, анод – катодный зазор изменялся от 10 до 25 мм, длительность СВЧ - импульса около 0.5 мкс, длина волны 10 см, мощность 150 МВт. Величина газовой выделености достигает  $0.3 \text{ н}\cdot\text{см}^3$ , основным газом, более 90%, является водород. Энергия быстрых ионов достигает 200 - 300 КэВ и зависит от угла вылета, и геометрии сильноточных токовводов.

## 1. Введение

При создании генераторов мощных СВЧ - импульсов различного вида применения помимо информации о СВЧ - генерации необходимо знание целого ряда параметров сопутствующих явлений, определяющих энерго-весовые и ресурсные характеристики. Поэтому в настоящей работе помимо исследований по СВЧ - генерации, исследовались величины и парциальный состав продуктов газовой выделености, энергии и направления потоков ионов.

## 2. Установка, методики исследований

Эксперименты проводились на установке ВГИК-1 [1], см рис. 1 при параметрах диода: напряжение до 300 кВ, ток около 10 кА, форма импульсов тока и напряжения близка к синусоидальной с длительностью полупериода около 3.5 мкс. Величина анод – катодного зазора изменялась от 10 до 25 мм путем перемещения катода, имевшего диаметр 10 см. Анод – сетка из нержавеющей стали диаметром 20 см, с прозрачностью около 80%. Катод – заземлен, на анод подавался импульс положительной полярности. Исследование СВЧ - генератора такого типа описаны в работах [2, 3]. Вакуумная камера диода – труба из нержавеющей стали диаметром около 50 см и длиной 100 см. В области диода могло создаваться внешнее магнитное поле до 2кЭ, параллельно оси диода, т.е. в направлении анод – катод.

Откачка системы на первом этапе экспериментов проводилась с помощью азотно-гелиевых сорбционных и конденсационных крионасосов, на втором с помощью диффузионных масляных насосов. Вакуумная камера выполнена по обычной, не сверхвысоковакуумной технологии, имеет резиновые уплотнения и могла быть прогрета не более чем до 80°C, однако, отдельные части, например катод, могли быть прогреты до 500°C. При работе крионасосов давление в системе около  $1 \cdot 10^{-6}$  тор при работе диффузионного насоса – около  $4 \cdot 10^{-5}$  тор.

Установка снабжена следующими средствами диагностики: поясами Роговского, для измерения тока и емкостным делителем для измерения напряжения,

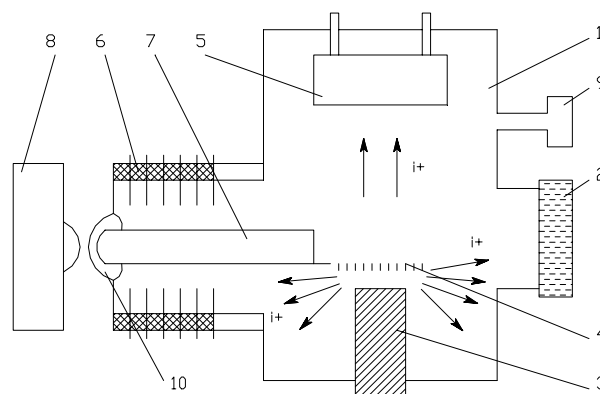


Рис. 1. Схематический вид устройства. 1 – вакуумная камера, 2 – выходное окно, 3 – катод, 4 – анод, 5 – крионасос, 6 – ускорительная трубка, 7 – высоковольтный токоввод, 8 – ГИН, 9 – масс-спектрометрическая приставка, 10 – чистая зона.

рентгеновскими датчиками интегрального типа, СВЧ - калориметрами рупорного и плоскостного типа, СВЧ - диодами с ослабителями, вакуумными датчиками и массо - газоанализатором. Энергия и состав ионной компоненты измеряли с помощью магнитных анализаторов по трековым отпечаткам.

## 3. Результаты экспериментов

Осциллограммы тока и напряжения диода, форма СВЧ - сигнала представлены на рис. 2. Сопоставления формы СВЧ - сигнала с калориметрическими данными дают величину СВЧ - мощности на уровне 150 МВт. Калориметры градуировались с помощью токовых и СВЧ - сигналов и имеют чувствительность около 10 Дж/К при точности измерения температуры с помощью газовых термометров 5·10<sup>-2</sup> К. Длина волны, оцененная с помощью светящихся трубок и калориметра с подстроечным поршнем, при данных параметрах пучка и геометрии системы без магнитного поля лежит на уровне 10 ÷ 11 см. Длительность СВЧ - импульса существенно зависит от формы катода и для плоских углеродных и многоштырьковых катодов может изменяться от 200 до 500 нс.

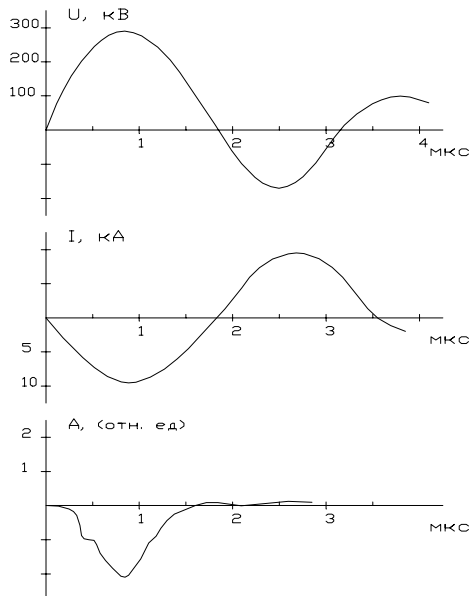


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения диода.

Направления ионных потоков показаны стрелками на рис.1, причем основным направлением является экваториальное. Естественное попадание ионов на катод не контролировалось. Зарегистрированные энергии ионов лежат на уровне  $50 \div 250$  кэВ. Основной состав ионов – железо, углерод, водород. Включение магнитного поля уменьшает экваториальный поток. В настоящее время мы не можем различить статическое и СВЧ - ускорение. Наличие ионов железа связано с абляционными процессами на аноде – сетке, где уровень энерговыделения достигает  $10 \div 50$  Дж/см<sup>2</sup>. Разрушение анодной сетки происходит, как правило, при количестве импульсов более чем  $10^3$ . Наличие ионов углерода и водорода определяется наличием графитовых катодов, средствами откачки и использованных материалов в диоде. Их же наличием определяется скорость движения катодной плазмы лежащая на уровне  $3 \div 4 \cdot 10^6$  см/с и, соответственно, длительность СВЧ - импульса.

Напыление углерода на анод – сетку также дает углеродную ионную компоненту. Любопытным наблюдением является наличие чистой зоны – зоны без осаждения пленок в области кольца шириной около 2 см вокруг высоковольтного токовода в ускорительной трубке, что может свидетельствовать о магнитной экранировке и фокусировке ионных потоков, идущих из области диода. Кроме того, особый вид отпечатка катода на выходном СВЧ - окне, располагавшимся по диаметру к тоководу позволяет предположить, что роль тока в высоковольтном тоководе проявляется и на противоположной, по диаметру стороне.

Для получения информации об импульсном газовыделении вакуумная камера диода непосредственно перед пуском ГИН отсекалась от внешнего насоса при помощи клапана КР-100. Пуск

ГИН сопровождался скачком давления в камере, который регистрировался самописцем.

Амплитуда регистрируемого скачка давления пропорциональна величине полного газовыделения лишь в том случае, когда насос внутреннего размещения полностью отключен, т.е. теплый. При наличии в экране этого насоса жидкого азота, давление в камере понижалось до  $4 \div 3 \cdot 10^5$  тор, а регистрируемый скачок давления будет пропорционален количеству неконденсируемых на азотной поверхности газов ( $H_2, N_2, CH_4, CO_3$ ). Это объясняется большой (около  $2 \cdot 10^4$  л/с) скоростью откачки конденсируемых на азотной поверхности компонент ( $H_2O, CO_2 \dots$ ) и конечной постоянной времени измерительной цепи. После залива в гелиевый конденсационный насос (ГКН) внутреннего размещения жидкого гелия величина регистрируемого скачка давления определяется общим количеством выделяющегося за импульс водорода и опять-таки соотношением между скоростью его откачки и разрешающей способностью измерительной системы.

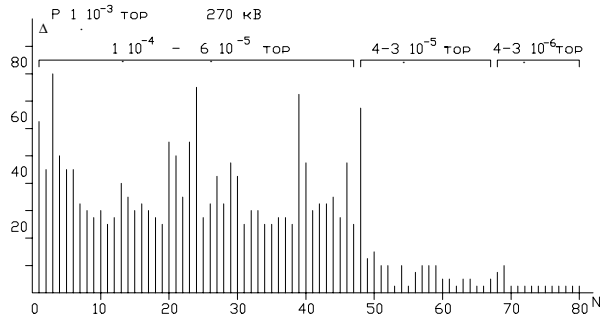


Рис. 3. Типичная последовательность изменения величины скачка давления  $\Delta P$  от импульса к импульсу в экспериментах с сеточным анодом,  $N$  – порядковый номер импульса.

На рис. 3 приведен график, представляющий типичную последовательность изменения величины скачка давления от импульса к импульсу для вышеупомянутых случаев. Из него видно, что величина скачков давления уже после первых  $5 \div 10$  импульсов устанавливается на некотором почти неизменном среднем уровне. Подобным образом ведет себя и давление в камере диода, оставаясь примерно на одном уровне, несмотря на увеличивающееся количество импульсов. После залива жидкого азота в экран ГКН внутреннего размещения, средняя величина регистрируемых скачков давления падает примерно в 4 раза. В предположении, что при этом не изменился средний уровень газовыделения, такое уменьшение скачков давления свидетельствует примерно о 50% содержании (с учетом поправки на чувствительность датчика ПМИ-2 к различным газам) в его составе легко конденсируемых при  $T = 78$  К компонент. Залив жидкого гелия в этот ГКН еще, более чем в 10 раз,

понижает величину регистрируемого скачка давления по сравнению с начальным.

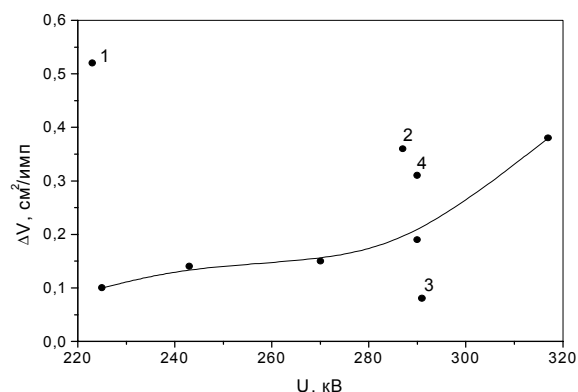


Рис. 4. Зависимость средней величины газовой выделенности  $\Delta V$  от напряжения  $U$  на диоде.

Таким образом, эксперименты показали, что в условиях, близких к традиционным, средняя величина полного газовой выделенности в вакуумной камере диода составляет  $1 \div 3 \cdot 10^{-1}$  см<sup>3</sup> за импульс и растет с мощностью импульса (рис. 4). Существенного снижения среднего уровня газовой выделенности (и давления) по мере увеличения количества импульсов (до 150 за серию) не наблюдалось. На наш взгляд, причиной отсутствия процессов обезгаживания и тренировки вакуумных поверхностей камеры может быть поток газа, поступающий из такого неиссякаемого источника, как капролоновый изолятор. Величина этого потока к тому же стимулируется предпробойными явлениями при подаче импульса напряжения на высоковольтный ввод диода. Этот газ активно адсорбируется очищенными в течение предыдущего импульса поверхностями и десорбируется в результате воздействия последующего импульса. Энергетический выход десорбированных частиц составляет около  $1 \cdot 10^3$  эВ или  $10^2$  частиц на электрон пучка.

Как показывают дополнительные эксперименты, поверхностью, подвергающейся очистке, являются не только электроды диодного промежутка, но и близлежащие к нему участки. Например, замена фланца из нержавеющей стали, расположенного на уровне изолятора диода под углом 90° к нему на фланец из органического стекла, привела к увеличению средней величины газовой выделенности в 5 раз (точка 1, рис. 4) при фиксированном напряжении. Кроме того, в экспериментах с анодом в виде диска было обнаружено, что средняя величина газовой выделенности по сравнению с сеточным анодом увеличивалась в 2 раза (точка 2, рис. 4), несмотря на то, что площадь анода увеличивалась не более чем на 20%. Этот факт можно объяснить эффективным отражением потоков частиц и излучения на боковые стенки, камеры дисковым анодом. Включение магнитного поля, 1.2 кЭ, привело к общему снижению скачков давления и средней величины газовой выделенности (точка 3, рис. 4). Это обстоятельство находит

объяснение, если учесть, что силовые линии магнитного поля в основном параллельны боковой поверхности камеры и электрический разряд в продольном магнитном поле локализуется в области катод - анодного промежутка.

Обратный эффект наблюдается при наложении этой же величины магнитного поля в экспериментах с сеточным анодом (точка 4, рис. 4). На источник увеличения газовой выделенности в этом случае указывает появление четкого зачерненного круга автографа катода на днище азотного экрана ГКН внутреннего размещения, находящегося на 20 см выше сетчатого анода. Здесь, таким образом, увеличение газовой выделенности происходит в результате десорбции газов с поверхности азотного экрана под воздействием потоков катодной плазмы, распространяющейся вдоль силовых линий магнитного поля, и некоторой доли электронного пучка и ионов.

Таблица 1.

Газ	H <sub>2</sub>	28	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
$\Delta P_{\text{кд}}, 10^{-6}$ тор	3300	90	57	39	15
%	93	3	2	1	0.4

#### 4. Выводы

В экспериментах с изоляторами и катодами из различных материалов показано, что, несмотря на существование некоторых отличий в фоновых спектрах для различных условий эксперимента, величина и состав импульсного газовой выделенности (ИГ) существенно не зависит от материала изолятора и катода. Характерный для рассматриваемых условий эксперимента состав ИГ, полученный путем усреднения по большому числу импульсов (до 150 на пик), приведен в табл. 1. Видно, что вклад в состав ИГ на уровне более 1% дают несколько газов, преобладающим же является водород. Установленный в экспериментах факт отсутствия заметного влияния на величину и состав ИГ материалов изолятора и катода указывает на то, что основным его источником являются стенки вакуумной камеры диода.

Как следует из экспериментов, существенной проблемой при создании частотно – периодических СВЧ – генераторов является импульсное газовой выделение, усложняющее вакуумную систему, поэтому, представляется, что необходима разработка мер, его снижающих.

#### 5. Литература

1. Котенко В.Г., Курносов В.И., Кусков В.И., Юферов В.Б. ВАНТ. Сер ЯФЭ, 1990, вып. 8(10) с 12.
2. Диденко А.Н. и др. ФП, 1976, т. 2, в 3, с. 514.
3. Didenko A.N., Fomenko G.P., Gleizer J.Z. at all? Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Topical Conference on High Power Electron and Ion Beam Research and Technology. July 3-6, 1979, Novosibirsk, p. 683.