

ГЕНЕРАЦИЯ ВЧ КОЛЕБАНИЙ В РАЗРЯДНОМ ПРОМЕЖУТКЕ
ПЕННИНГА ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ

*Р. П. Баберцян, Э. С. Бадалян, Г. А. Егиазарян,
Э. И. Тер-Геворкян*

Экспериментально установлено, что непрерывное изменение длины разрядного промежутка при данных условиях приводит к коренной перестройке режимов горения разряда, к генерации ВЧ колебаний, которая сопровождается выходом потока электронов через осевое отверстие в катоде. Максимальное значение осевого электронного тока из отверстия в катоде составило 340 мкА, диапазон частот ВЧ колебаний — 30—100 МГц.

Измерены зависимости частоты ВЧ колебаний и энергии электронов, выходящих из отверстия в центре катода, от относительной длины разрядного промежутка, установлен характер колебаний (колебания диокотронного типа), определена критическая относительная длина разрядного промежутка, при которой в данных условиях возникают ВЧ колебания и ячейка становится источником электронов.

В работах [1-3] установлено, что при определенных параметрах разряда в нем развивается диокотронная неустойчивость, разряд становится нестабильным. При этом возникают ВЧ колебания, которые являются причиной появления потоков аномальных электронов за отверстием в центре катода. Установлено, что в данных условиях эффективность выхода потоков электронов в значительной степени зависит от геометрических параметров разрядного промежутка.

Главное внимание в настоящей работе уделено выяснению влияния длины разрядного промежутка на режим горения разряда при данных условиях и возможности стимулирования в нем ВЧ колебаний с целью инициирования выхода потока электронов за отверстие в центре катода без применения каких-либо электронно-оптических систем. Опираясь на предыдущие исследования, авторы выбрали те ячейки Пеннинга, в которых наиболее четко проявилось различие режимов горения разряда.

Экспериментальные данные настоящей работы свидетельствуют о важной роли относительной длины разрядного промежутка ($l_{\text{отн.}} = l/d$ — отношение длины разрядного промежутка l к диаметру анода d) в развитии неустойчивостей диокотронного типа и подтверждает механизм появления аномально быстрых электронов за отверстием катода, предложенный авторами в работах [2, 3].

Принципиальная схема разрядного промежутка, в котором проводился эксперимент, представлена на рис. 1, а, методика — в работе [6]. Для получения информации о существовании ВЧ колебаний в прианодном слое и связанное с ним появление аномальных электронов, снимаемое с сопротивления напряжения в цепи разрядного тока подавалось на вход анализаторов спектра СК4-5, СК4-59. Просматривались спектрограммы колебаний в диапазоне от 1 до 1000 МГц. Колебания в разряде изучались в зависимости от относительной длины разрядного промежутка, которая плавно менялась в горящем разряде с помощью специального устройства. Природа колебаний при фиксированной длине разрядного промежутка выяснялась варьированием физических параметров разряда.

Данные экспериментов приведены на рис. 1—3. Из экспериментальных зависимостей $\nu = f(l/d)$ (рис. 1), видно, что относительная длина разрядного про-

межутка, при которой наступает неустойчивое состояние, различна. Из тех же зависимостей следует, что при $p = \text{const}$ частота колебаний уменьшается с ростом относительной длины разрядного промежутка для всех значений анодного напряжения U_a и магнитной индукции B . Относительная длина разрядного промежутка, при которой возникают неустойчивости, зависит также и от давления (рис. 1, δ): она уменьшается с ростом давления, изменяется и величина частоты колебаний. Экспериментальные зависимости частоты ВЧ колебаний разрядного тока от индукции магнитного поля B при данном давлении и различных анодных напряжениях показали, что их частота является функцией напряженности радиального электрического поля E_r и индукции магнитного поля B : $\nu \sim E_r/B$, т. е. соответствует диокотронным колебаниям.

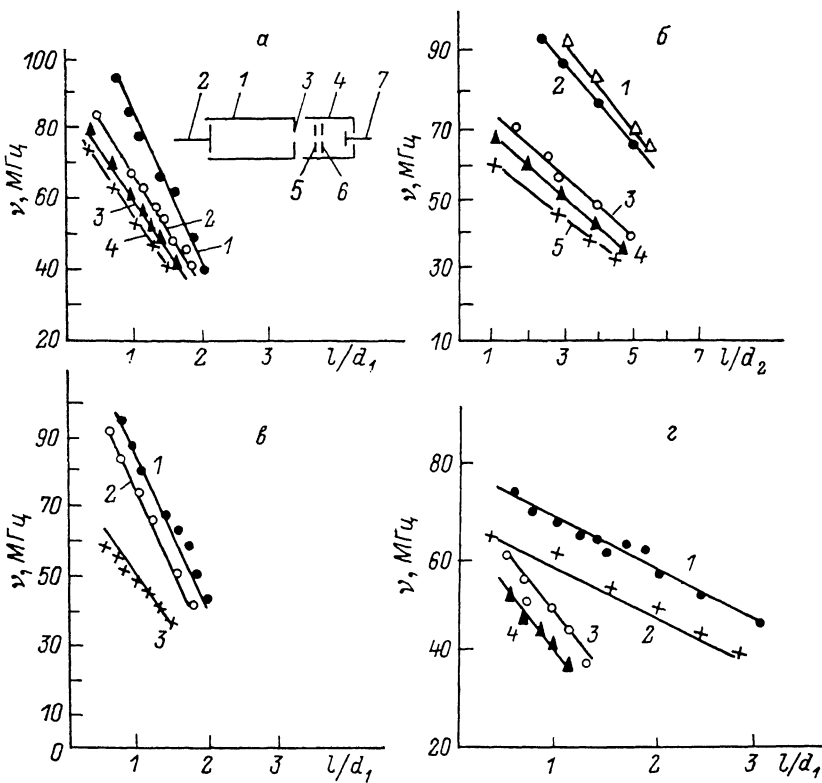


Рис. 1. Принципиальная схема разрядного промежутка.

Зависимости частоты ВЧ колебаний переменной составляющей разрядного тока от $l/d_{\text{отн}}$ разрядного промежутка для ячеек диаметров d_1 (а, в) и d_2 (б), $d_1 < d_2$, при $U_a = 3$ кВ, $p = 4 \cdot 10^{-4}$ Тор и B (Гс): а: 1 — 1210, 2 — 1430, 3 — 1540, 4 — 1650. б: 1 — 1100, 2 — 1210, 3 — 1430, 4 — 1540, 5 — 1760. в: $B = 1210$ Гс; U_a (кВ): 1 — 3, 2 — 2, 3 — 1.5. г: при $U_a = 1.5$ кВ; p (Тор): 1, 2 — $5 \cdot 10^{-4}$, 3, 4 — $4 \cdot 10^{-4}$ и B (Гс): 1, 3 — 1100, 2, 4 — 1320.

На рис. 2 представлены значения энергий электронов, вышедших из отверстия в центре неподвижного катода, в зависимости от относительной длины разрядного промежутка. Из них следует, что при данных условиях поток присевых электронов не является моноэнергетичным. Интервал измеренных энергий электронов лежит в пределах от 20 до 200 эВ. Были обнаружены электроны с энергией до 400 эВ (на графике не приведены). Выход электронов с аномально большой энергией, как видно из рис. 2, а, зарегистрирован для коротких разрядных промежутков. При этом при малых магнитных полях и тех же анодных напряжениях для коротких разрядных промежутков таких электронов не наблюдалось. С ростом относительной длины разрядного промежутка в исследуемых ячейках обнаружен выход электронов со все меньшей энергией. Она составляла 50—60 эВ в интервале разрядных промежутков 5.0—6.0 отн. ед. и более. Наиболее интенсивные ВЧ колебания также регистрировались для коротких разрядных промежутков. Об этом свидетельствуют эксперименталь-

ные зависимости амплитуды ВЧ колебаний от относительной длины. Выход таких электронов одновременно с ВЧ колебаниями говорит об общей причине их рождения и подтверждает предложенный авторами механизм их возникновения [3].

Таким образом, интервал значений относительных длин разрядного промежутка, при которых разряд находится в неустойчивом состоянии, зависит не только от физических, но и от геометрических параметров разряда (рис. 1, а, б). Именно этим можно объяснить факт отсутствия ВЧ колебаний при тех же значениях физических параметров в той же ячейке меньшего диаметра, но с постоянной длиной разрядного промежутка [3], большей критической относительной длины $l_{отн.кр.}$, при которой в данных условиях разряд переходит в неустойчивое состояние. Возможность получения условий, при которых иницииру-

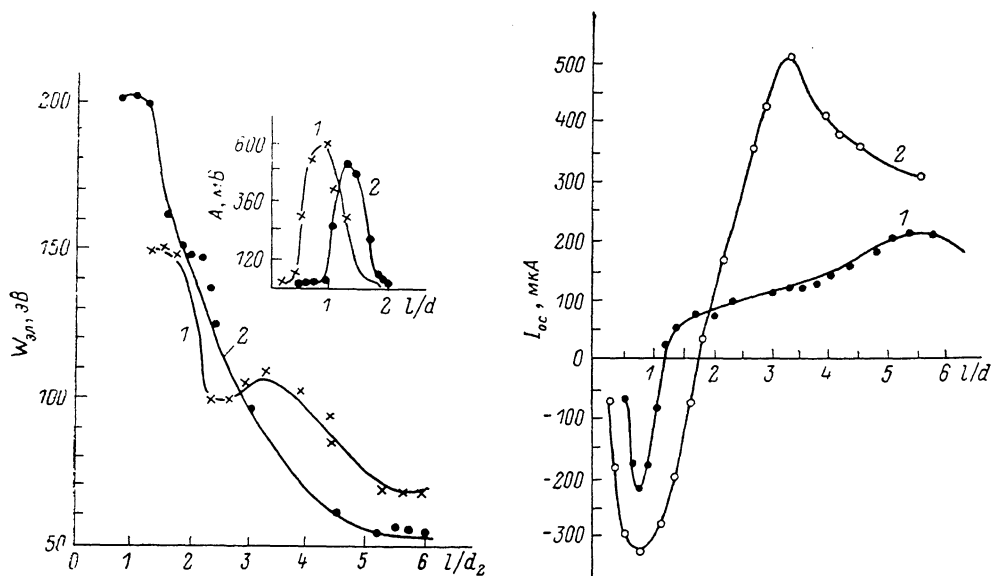


Рис. 2. Зависимость энергии электронов, вышедших из осевого отверстия в центре катода и амплитуды ВЧ колебаний от $l_{отн.}$ разрядного промежутка при $p=5 \cdot 10^{-5}$ Тор., $B=1500$ Гс, U_a (кВ): 1 — 1.2, 2 — 2.4.

Рис. 3. Зависимость осевого компонента разрядного тока от $l_{отн.}$ разрядного промежутка при $p=4 \cdot 10^{-4}$ Тор.

1 — при $U_a=2.3$ кВ, $B=1500$ Гс, для ячейки диаметром d_1 ; 2 — при $U_a=3$ кВ, $B=1300$ Гс для ячейки диаметром d_2 .

ются ВЧ колебания, была получена благодаря плавному изменению относительной длины разрядного промежутка в ячейках, исследуемых в настоящей работе. Из рис. 1, а, б видно, что с ростом индукции магнитного поля при $U_a = \text{const}$ и $p = \text{const}$, $l_{отн.кр.}$ уменьшается, с ростом же анодного напряжения при $B = \text{const}$ и $p = \text{const}$ — увеличивается (рис. 1, в). Отметим, что критическое значение магнитного поля $B_{кр.}$, при котором возникают неустойчивости диодротронного типа, зависит от величины объемного промежутка.

На рис. 3 представлены экспериментальные зависимости осевого компонента тока из отверстия в центре катода от относительной длины разрядного промежутка исследуемых ячеек. Видно, что в зависимости от длины разрядного промежутка при данных физических параметрах газоразрядные ячейки работают в различных режимах: ячейка меньшего диаметра становится преимущественно источником ионов, начиная с длины разрядного промежутка равной 1.2 отн. ед., а большего диаметра — с 1.7 отн. ед. Из отверстия в центре катода извлекается электронный ток, максимальное значение которого для различных ячеек (340 и 240 мкА), достигается при относительной длине, равной 0.9 отн. ед. В этих условиях создается оптимальный режим работы газоразрядной ячейки в ка-

честве источника электронов. Дальнейшее увеличение относительной длины разрядного промежутка приводит к спаду электронного тока. При этом $I_{e\max}$ — максимум электронного тока с ростом индукции магнитного поля смещается в сторону коротких разрядных промежутков, уменьшаясь по величине. С ростом же анодного напряжения его величина увеличивается. Максимальное значение ионной составляющей тока из отверстия приходится на интервал относительных длин разрядных промежутков от 3.5 до 5.5 отн. ед. При этом с увеличением B относительная длина разрядного промежутка, на которую приходится максимальная величина ионного тока из отверстия растет. Рост анодного напряжения при данных условиях приводит к росту максимального значения ионного тока $I_{i\max}$ из отверстия в центре катода.

Ход экспериментальных зависимостей свидетельствует о том, что с ростом относительной длины разрядного промежутка радикально меняется структура и распределение пространственного заряда, а следовательно, и род потока заряженных частиц (рис. 3), выходящих из отверстия в центре катода.

Появление ВЧ колебаний с изменением относительной длины разрядного промежутка говорит о переходе от стационарного к динамическому режиму горения разряда. Это неустойчивое состояние разряда возникает при достижении предельного критического значения плотности прианодного электронного слоя, которое зависит от величины индукции магнитного поля [4].

Из приведенных зависимостей следует, что для возникновения неустойчивостей (кроме физических параметров) важную роль играет и относительная длина разрядного промежутка. Более того, ход экспериментальных зависимостей $\nu = f(l/d)$ показывает, что для широкого интервала физических параметров неустойчивое состояние возможно лишь при коротких разрядных промежутках. При больших относительных длинах разрядных промежутков в условиях эксперимента не было найдено какого-либо сочетания физических параметров, которое бы привело к неустойчивому режиму горения разряда. Это также может объясняться теорией диокотронных колебаний. Для генерирования ВЧ колебаний в разрядном промежутке необходимо создать также радиальное электрическое поле E_r , которое сможет обеспечить ионизацию, достаточную для возникновения критической плотности пространственного заряда в прианодном слое. Именно изменение относительной длины разрядного промежутка в горящем разряде и создает такое перераспределение компонентов E_r и E_z электрического поля [5], при котором возможно выполнение вышеуказанных условий и объяснение всех наблюдаемых закономерностей.

Таким образом, установлено, что изменение относительной длины разрядного промежутка приводит к коренной перестройке режимов горения разряда и получению потоков различного рода частиц. Выявлена область относительных длин l/d , в которой развиваются ВЧ колебания, контроль за которыми может служить дополнительным удобным средством диагностики разряда без какого-либо искажения пространственного заряда.

Список литературы

- [1] Баберцян Р. П., Бадалян Э. С., Егизарян Г. А., Тер-Геворкян Э. И. Физика. Межвузовский сб. научных тр. 1985. Вып. 5. С. 34—41.
- [2] Баберцян Р. П., Бадалян Э. С., Егизарян Г. А., Тер-Геворкян Э. И. Об аномальных электронах в разряде с осциллирующими электронами. ЕГУ. 1984. № 1. С. 87—90.
- [3] Баберцян Р. П., Бадалян Э. С., Егизарян Г. А., Тер-Геворкян Э. И. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 1. С. 73—78.
- [4] Knaier W. // Journ. Appl. Phys. 1966. Vol. 37. N 2. P. 602—611.
- [5] Баберцян Р. П., Бадалян Э. С., Егизарян Г. А., Тер-Геворкян Э. И. // ЖТФ. 1987. Т. 57. № 10. С. 2039—2040.

Ереванский государственный университет
Физический факультет

Поступило в Редакцию
1 августа 1988 г.
В окончательной редакции
15 мая 1989 г.