

УДК 537.523.74

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ТРУБКИ ПЕННИНГА НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗРЯДА С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Р. П. БАБЕРЦЯН, Г. А. ЕГИАЗАРЯН, Э. И. ТЕР-ГЕВОРКЯН, В. Х. ГАРИБЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 16 августа 1993 г.)

Методом подвижного катода, позволяющим плавно менять длину разрядного промежутка горящем разряде, исследовано влияние геометрического параметра (отношение длины анода к его диаметру) на свойства разряда с осциллирующими электронами. Показано, что геометрический параметр оказывает существенное влияние на формирование разряда. Экспериментально впервые обнаружены области устойчивости и неустойчивости.

Известно, что в некоторых условиях в разряде в трубке Пеннинга (разряд с осциллирующими электронами) возникают высокочастотные колебания—осевые, связанные с осцилляцией сгустков приосевых электронов между катодами, и диокотронные, связанные с неустойчивостью прианодного электронного слоя [1—10]. Тип колебаний, значения частот и амплитуд определяются параметрами разряда. При возникновении колебаний существенно меняются электрические характеристики. В частности, с неустойчивостью разряда связывается попадание электронов с аномальной энергией на катоды [11, 12], что в условиях стационарного режима горения разряда запрещено. Наряду с этим, изучение неустойчивого состояния служит хорошим дополнительным способом диагностики разряда [13].

Во многих экспериментальных и теоретических работах, исследующих динамические характеристики разряда Пеннинга, основное внимание уделялось влиянию физических параметров: давления p , анодного напряжения U и магнитной индукции B при постоянных значениях длины разрядного промежутка $l_a = \text{const}$. Однако, при таком подходе оставались незамеченными некоторые свойства и характерные черты разряда. В частности, это не позволяло обнаружить область неустойчивого состояния разряда в трубках диаметром 13 мм с постоянной длиной 30 мм. Важно отметить, что сфера применений разряда Пеннинга во многом зависит от его устойчивости или неустойчивости.

В настоящей работе изучено влияние длины разрядного промежутка на устойчивость горения разряда. Исследования проведены на установке, принципиальная схема которой, а также методика измерений представлены в работах [12, 14]. Изменение длины разрядного промежутка проводилось методом подвижного катода, позволя-

ющего плавно менять длину l_a непосредственно в горящем разряде, оставляя неизменными физические параметры— U , p , B . Длина разрядного промежутка менялась от 0,5 до 11 относительных единиц: $l_{отн} = l_a/d_a$, где l_a —длина анодного цилиндра, d_a —его диаметр. Измерения проводились в ячейках с диаметрами $d_1=13$ мм и $d_2=20$ мм, выбор которых был обусловлен предыдущими измерениями.

На рис. 1 представлены зависимости значений частот диокотронных колебаний ν от относительной длины разрядного промежутка для ячеек диаметрами d_1 и d_2 . На этом рисунке представлен только тот интервал Δl значений длин разрядного промежутка, в котором обнаруживаются колебания диокотронного типа, при различных значениях давления, анодного напряжения и индукции магнитного поля. Видно, что интервал значений Δl слабо зависит от индукции продольного магнитного поля, само же значение l_a существенно влияет на появление неустойчивости в разряде. Именно поэтому в проведенных ранее экспериментах [14—16] в ячейке с тем же диаметром d_1 , но

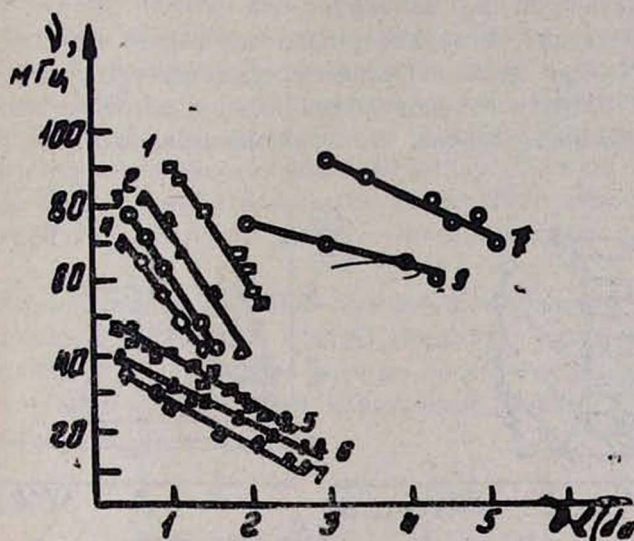


Рис. 1. Зависимость частоты ВЧ-колебаний переменной составляющей разрядного тока от относительной длины разрядного промежутка для ячеек с диаметрами $d_1=13$ мм (кривые 1—7) и $d_2=20$ мм (кривые 8, 9) при анодном напряжении 2 кВ и давлениях $4 \cdot 10^{-4}$ (1—4, 8) и $5 \cdot 10^{-5}$ Торр (5—7, 9); величины магнитной индукции соответственно равны: 880 (1), 1210 (2), 1320 (5, 8, 9), 1360 (6), 1430 (3, 7) и 1650 Гс (4). Шаг изменения длины разрядного промежутка $\Delta l=1$ мм, точности определения напряжения и тока равны $\pm 0,2\%$, давления— $\pm 15\%$, а величины магнитной индукции— $\pm 5\%$.

при постоянной длине при широком изменении физических параметров U , p , B колебания диокотронного типа не были обнаружены. Это объяснялось тем, что в такой геометрии электроны быстро уходят на анод, пространственный заряд в этом случае небольшой и его

плотность недостаточна для нарастания диокотронной неустойчивости. Использование же методики, позволяющей непрерывно менять длину разрядного промежутка в горящем разряде, позволило обнаружить те небольшие интервалы Δl , в которых возникают и усиливаются высокочастотные колебания (рис. 1).

В этих же условиях на центральный зонд идет электронный ток. Причем энергии этих электронов достаточно велики, а амплитуды колебаний значительны. Это свидетельствует о том, что в данных условиях при данной геометрии разрядного промежутка формируемся прианодный слой с плотностью электронов n_{kf} , достаточной для возникновения диокотронной неустойчивости, и на анализаторе спектра регистрируются колебания. Подтверждением является ход зависимостей $\nu = f(B)$ и $\nu = f(U)$ на рис. 1. Проведенные исследования показывают, что амплитуды осевых колебаний ν_{oc} , в основном, на порядок ниже и при незначительных нарушениях продольности магнитного поля они исчезают. Значения же ν и другие характеристики разряда практически не меняются.

Таким образом, экспериментально показано, что для каждого значения диаметра ячейки Пеннинга существует определенный интервал длин разрядного промежутка Δl , вне которого колебания отсутствуют, и разряд устойчив, что продемонстрировано на рис. 2. Это

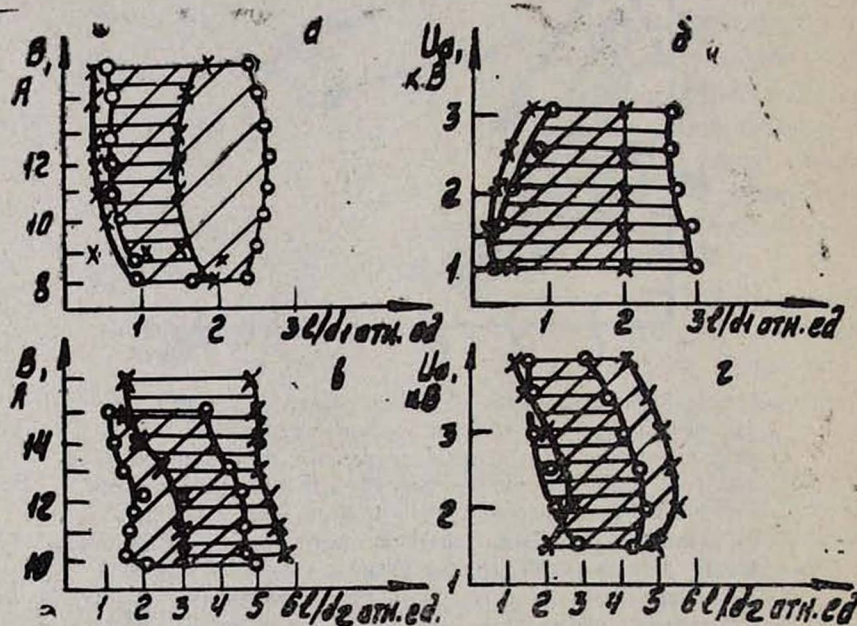


Рис. 2. Области неустойчивости разряда (заштрихованы) в ячейках диаметром $d_1=13$ мм (а, б) и $d_2=20$ мм (в, г), представленные на плоскости относительной длины разрядного промежутка и магнитной индукции при постоянном $U=2$ кВ (а, в), а также на плоскости относительной длины и анодного напряжения при постоянном $B=1320$ Гс (б, г); значения давления— $5 \cdot 10^{-5}$ Торр (1, косая штриховка) и $4 \cdot 10^{-4}$ Торр (2, горизонтальная штриховка); точности измерения те же, что и на рис. 1.

говорит о том, что геометрический параметр оказывает основное влияние на формирование пространственного заряда и его устойчивость. Из рис. 2 видно, что при $l_{отн} < 0,5$ и $l_{отн} > 2$ колебания отсутствуют независимо от значений физических параметров (U , p , B), при этом нет заметного электронного тока на зонд, разряд стабилен, а через отверстие неподвижного катода идет ионный ток.

В разрядной ячейке диаметром d_2 при условии $1,5 < l_a/d_a < 4,5$ осуществляется неустойчивый режим, и она работает как электронный источник, а при $l_{отн} > 4,5$ отн. ед. осуществляется стационарный режим, и она работает как ионный источник.

Проведенный анализ экспериментальных зависимостей позволил выяснить, при каком полном ансамбле значений физических и геометрических параметров разряд с осциллирующими электронами горит стабильно. Отсюда следуют возможности применения ячейки Пеннинга в качестве электронного либо ионного источника заряженных частиц. Причем механизмы перехода разряда от стационарного к динамическому режиму при изменении U , p , B и l_a значительно различаются. Если воздействие изменения p изотропно по всей трубке и приводит к изменению частоты столкновений ν_e , то действие B — анизотропно, оно влияет на траекторию частиц (группировка, захват, дрейф). Изменение же приводит к непосредственному изменению распределения электрических полей по радиусу E_r и по оси E_z (и, следовательно E_r/E_z в каждой точке внутри ячейки), влияя на величину пространственного заряда, на его распределение и фокусировку частиц.

Таким образом, на основе проведенного впервые учета влияния геометрического параметра ячейки Пеннинга получена возможность более полной классификации разряда по его состояниям, что открывает новые пути для целевого применения разряда с осциллирующими электронами.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Стальмахов. Основы электроники СВЧ приборов со скрещенными полями. Сов. радио, М. 1963.
2. O. Buneman. In Crossed Field Microwave Devices. Acad. Press-Inc., New York, p. 367 (1961).
3. R. Gould. J. Appl. Phys., 28, 599 (1957).
4. O. Buneman. I. Electron Control, 3, 507 (1956).
5. J. Pierce. Trans. of Electron Devices, ED-3, 183 (1956).
6. O. Buneman, R. M. Levy, L. M. Linson. J. Appl. Phys., 37, 3203 (1966).
7. R. N. Levy. Phys. Fluids, 8, 1288 (1965).
8. L. D. Hall. Rev. Sci. Instr., 29, 367 (1958).
9. W. Knauer, A. Fafarman, R. Poeschel. Appl. Phys. Lett., 3, 111 (1963).
10. W. Knauer J. Appl. Phys., 37, 602 (1966).
11. Р. П. Баберцяна, Э. С. Бадалян, Г. А. Егназарян, Э. И. Тер-Геворкян. ЖТФ, 54, 2382 (1984).
12. Р. П. Баберцяна, Э. С. Бадалян, Г. А. Егназарян, Э. И. Тер-Геворкян. ЖТФ, 59, 43 (1989).

13. Г. В. Смирницкая, Э. М. Рейкрудель, Г. А. Егиазарян. ЖТФ, 43, 130 (1973).
14. Р. П. Баберцян, Э. С. Бадалян, Э. И. Тер-Геворкян, Г. А. Егиазарян. ЖТФ, 57, 2039 (1987).
15. Р. П. Баберцян, Э. С. Бадалян, Э. И. Тер-Геворкян. Ученые записки ЕГУ, №1, 60 (1983).
16. Р. П. Баберцян, Э. С. Бадалян, Э. И. Тер-Геворкян, В. Ю. Агасарян. ЖТФ, 45, 1059 (1975).

PENNING TUBE GEOMETRICAL PARAMETER INFLUENCE ON STABILITY OF THE DISCHARGE WITH OSCILLATING ELECTRONS

R. P. BABERTSIAN, G. A. EGIAZARIAN, E. I. TER-GEVORKIAN, V. KH. GARIBYAN

Influence of geometrical parameter (anode length ratio to cathode diameter) on the properties of discharge with oscillating electrons was investigated by means of the method of movable cathode which allows to change the discharge length in burning conditions. It is shown that the geometrical parameter has essential influence on the discharge formation. Regions of stability and instability were experimentally observed for the first time.

ՊԵՆՆԻՆԳԻ ԽՈՂՈՎԱԿԻ ԵՐԿՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՏԱՏԱՆՎՈՂ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐՈՎ ՊԱՐՊՄԱՆ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ռ. Պ. ԲԱԲԵՐՑՅԱՆ, Գ. Ա. ԵԴԻԱԶԱՐԻԱՆ, Է. Ի. ՏԵՐ-ԳԵՎՈՐԿՅԱՆ, Վ. Խ. ՂԱՐԻԲՅԱՆ

Շարժական կատոդի եղանակով, որը թույլ է տալիս սահուն կերպով փոփոխել պարպման տիրույթի երկարությունը պարպման ժամանակ, ուսումնասիրված է երկրաչափական պարամետրի (անոդի երկարության և տրամագծի հարաբերությունը) ազդեցությունը տատանվող էլեկտրոններով պարպման հատկությունների վրա: Ցույց է տրված, նաև, որ երկրաչափական պարամետրը էական ազդեցություն է թողնում պարպման ձևավորման վրա: Առաջին անգամ փորձնական ճանապարհով ստացված են կայունության և անկայունության տիրույթները: