

04;10
©1993

ИЗОБАРИЧЕСКИЙ ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ МОЩНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ РАЗРЯДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Н.В.Гаверилов, М.А.Завьялов, С.П.Никулин, А.В.Пономарев

Основная проблема, возникающая при разработке сильноточных электронных источников с газоразрядным плазменным катодом (ЭИГПК), заключается в создании таких газовых условий, при которых обеспечивается устойчивое зажигание разряда и эффективная генерация эмитирующей плазмы и исключается возникновение газового пробоя в ускоряющем промежутке. В большинстве ЭИГПК эта проблема решается за счет прокачки газа, посредством которой создается перепад давлений между областями генерации и ускорения заряженных частиц [1]. Очевидно, что такие системы не могут быть использованы в отпаянных электронных приборах, в частности, при разработке перспективных моделей широкополосных пучково-плазменных усилителей СВЧ колебаний, обладающих совокупностью параметров, не имеющей аналогов в традиционной вакуумной электронике СВЧ [2]. Надежность таких пучково-плазменных приборов (ППП) может быть существенно повышена при замене мощной вакуумной термокатодной пушки на ЭИГПК, работающей в изобарическом газовом режиме при том же давлении p , что и в области пучково-плазменного взаимодействия (0.09–0.13 Па), и обеспечивающий получение электронного пучка миллисекундной длительности диаметром 1 см с током до 3 А и энергией частиц до 20 КэВ.

Устойчивое горение разряда при низких давлениях достигается при использовании газоразрядных систем с осцилляцией электронов в катодной полости или в магнитном поле [3]. Существенным недостатком разряда с полым катодом является то, что для его зажигания при низких давлениях требуется применение систем инициирования, снижающих надежность устройства. В случае же разряда в магнитном поле напряжение зажигания незначительно превышает напряжение горения U .

Исходя из этих соображений, а также учитывая, что ППП находится в магнитном поле, в качестве объекта исследований была выбрана система типа "обращенный магнетрон", схематично представленная на рис. 1. Магнетрон-

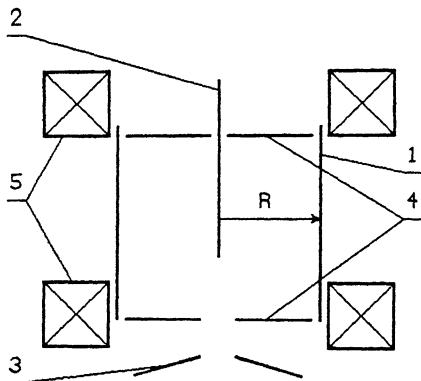


Рис. 1. Электродная система.

ная ячейка образуется цилиндрическим катодом 1 из нержавеющей стали и стержневым анодом 2, размеры которых оптимизировались в ходе экспериментов. Электроны из плазмы разряда извлекались полем ускоряющего электрод 3 или плоского коллектора, размещавшегося в осевом эмиссионном отверстии диаметром 12 мм в одном из торцевых электродов 4, имевших катодный потенциал. Магнитное поле создавалось катушками Гельмгольца 5.

Такая разрядная система, в которой уход быстрых электронов из разряда затруднен как вследствие малости отношения площадей анода и эмиссионного отверстия к площади катода S , так и вследствие влияния магнитного поля, сочетает достоинства обоих вышеназванных типов разряда. Благодаря этому устойчивое зажигание сильноточного (ток разряда $I_d = 1-10$ А) тлеющего разряда в аргоне наблюдалось до давления $p_1 = 0.04$ Па. Верхняя граница рабочего диапазона источника $p_2 = 0.18$ Па определялась возникновением пробоев в ускоряющем промежутке. Отметим, что стабильное горение разряда при низких p и $U \lesssim 600$ В оказалось возможным лишь в довольно узком диапазоне значений магнитной индукции B . Качественный анализ показал, что при $D \lesssim (mU/e)^{1/2}/R$, где e и m — заряд и масса электрона, горение разряда затрудняется вследствие возрастания потерь быстрых частиц, а при $B \gtrsim (\nu/R)^{1/2}(mMkT)^{1/4}/e$, где ν — эффективная частота упругих столкновений, k — постоянная Больцмана, T — температура электронов, M — масса иона, механизм классической диффузии недостаточен для транспортировки медленных максвеллизированных электронов к аноду, что приводит к резкому увеличению уровня шумов разрядного напряжения и токов на анод I_a и коллектор I_c . Оценки по приведенным выражениям при

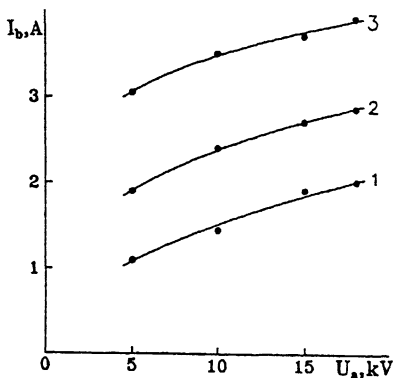


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики источника, аргон, $p = 0.13$ Па, I_d (А): 1 — 4; 2 — 6; 3 — 10.

$R \sim 3$ см и $p \sim 0.1$ Па дают величину B порядка нескольких миллитесла, что согласуется с результатами экспериментов.

Отношение плотности электронного тока насыщения на коллектор к средней плотности ионного тока на катоде было в несколько раз меньше величины $(M/m)^{1/2}$, что подтверждает использованное при оценках допущение о наличии значительного радиального градиента концентрации плазмы n . Поскольку n на оси системы мало, то большое внимание в ходе экспериментов было уделено проблеме повышения эффективности извлечения электронов из плазмы. Было установлено, что увеличению I_c способствуют уменьшение B и S , создание неоднородного магнитного поля с повышенной напряженностью в области эмиссионного отверстия, а также выбор оптимальной длины анода L , поскольку зависимость $I_c(L)$ оказалась немонотонной. Эта немонотонность может быть объяснена тем, что при больших L коллектор частично экранируется анодом, а при малых L уменьшение I_c происходит вследствие того, что разряд становится неоднородным в продольном направлении и преимущественно горит в области расположения анода. Как и в [4], при подаче на коллектор положительного потенциала относительно катода ток в катодной цепи возрастал на величину I_c , а значение I_a практически не менялось.

ВАХ источника, снятые в импульсно-периодическом режиме при частоте следования 5 Гц и длительности импульса 2 мс для нескольких значений I_d , приведены на рис. 2. С увеличением I_d ток пучка I_b возрастает, что связано с действием двух факторов: увеличением n и уменьшением протяженности прикатодного ионного слоя. Длина слоя умень-

шается, поскольку с повышением I_d растет плотность ионного тока на катоде, а падение потенциала на слое, которое практически равно U , изменяется незначительно, так как ВАХ разряда близка к горизонтальной в широком диапазоне I_d . Эффективность извлечения $\alpha = I_b/I_d$ растет с увеличением ускоряющего напряжения U_a , причем скорость роста и максимальная величина α выше для малых I_d . Это объясняется увеличением кривизны и площади плазменного мениска при уменьшении n , что подтверждено результатами компьютерного моделирования динамики электронов в системе формирования пучка.

Полученные в настоящей работе результаты показали возможность создания квазистационарных источников нерелятивистских электронных пучков с плазменным эмиттером, устойчиво работающих в изобарическом газовом режиме при низких давлениях и обеспечивающих плотность эмиссионного тока на уровне эффективных термокатодов, что существенно расширяет область возможных применений ЭИГПК. Рабочий диапазон давлений разработанного ЭИГПК перекрывает интервал, в котором наиболее эффективно работают пучково-плазменные усилители СВЧ, а достигнутые параметры пучка являются достаточными для обеспечения импульсно-периодического режима работы ППП в миллисекундном диапазоне длительности импульса.

Список литературы

- [1] Бугаев С.П., Крейнделъ Ю.Е., Шанин П.М. Электронные пучки большого сечения. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
- [2] *Perevodchikov V.I., Zavjalov M.A., Martynov V.F. et al.* Proc. IX Int. Conf. on High-Power Particle BEAMS. USA. 1992. P. 183.
- [3] Метель А.С. // ЖТФ. 1985. Т. 58. В. 10. С. 1928-1934.
- [4] Окс Е.М., Чагин А.А., Шанин П.М. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 10. С. 188-190.

Поступило в Редакцию
30 марта 1993 г.
