

## ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОТНЫХ САМОСЖАТЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ

А. И. Павловский, В. С. Босамкин, В. С. Никольский

УДК 621.384.637

Исследовалось ускорение электронов в плазме импульсного вакуумного разряда при напряжении до 70 кв. Сформирован пучок быстрых электронов с плотностью тока  $\sim 10^5$  а/см<sup>2</sup>, развивающийся в плазменный шнур с плотностью тока  $\sim 10^6$  а/см<sup>2</sup>.

Для ряда задач, таких как получение плотной плазмы в термоядерных исследованиях, повышение качества рентгенографирования и т.п., необходимо формирование высокоплотных электронных потоков<sup>\*)</sup>. Из теории следует, что эффективность самосжатия зависит, главным образом, от первеанса пучка /1,2/.

Условия, в которых электроны проходят через плазму высокой плотности, осуществляется в процессе пробоя вакуумных или газовых промежутков, причем первеанс пучка в течение одного импульса изменяется от весьма малой величины, соответствующей предпробойным токам, до значения, определяемого внутренним сопротивлением источника питания. Так как при ускорении в плазме электроны, по-видимому, получают практически всю энергию в прикатодном слое /3/, для экспериментального изучения самосжатых пучков выбрана схема разрядного промежутка с прикатодным изолятором /4/.

Установка представляет собой коаксиальный разрядный контур, состоящий из конденсаторов ИМУ-100-0,1, газонаполненного коммутатора и диэлектрической вакуумной камеры (диаметр 160 мм, высо-

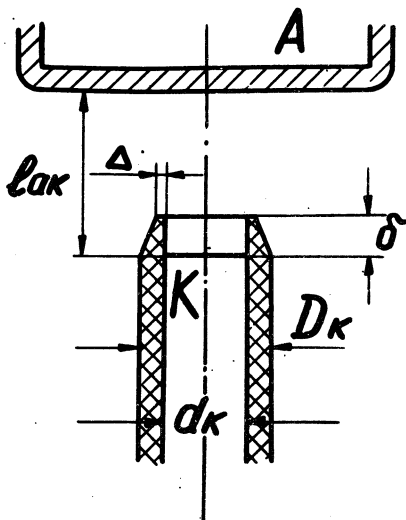
---

\*) Сообщение о результатах настоящей работы сделано на Всесоюзной конференции "Разработка и практическое применение электронных ускорителей", г. Томск, 5-7 сентября 1972 г.

та 90 мм). Емкость батареи  $10^{-7} + 2 \cdot 10^{-6}$  ф, индуктивность контура  $10^{-7} + 3 \cdot 10^{-7}$  гн, зарядное напряжение  $U_0 < 70$  кв. Капролоновый изолятор камеры имеет конусообразную, либо цилиндрическую прикатодную область. Вольфрамовый катод диаметром  $3 + 10$  мм вводился по осевому отверстию в изоляторе, анод — алюминиевая фольга. Межаэлектродное расстояние варьировалось в пределах  $5 + 30$  мм. В опытах измерялись распределения тока и напряжения в камере и разрядной цепи. Импульс рентгеновского излучения регистрировался фотомножителем ФЭУ-30 с пластмассовым спцинтилятором. Для относительного измерения дозы использовался дозиметр "Обь". Сведения о размерах и поведении пучка быстрых электронов позволяли получить снимки с помощью рентгеновской камеры — обскури, а также наблюдения посредством электронно-оптической лупы времени. Абсолютное значение дозы и спектр рентгеновского излучения определялись методом поглощения.

Напряжение на вакуумной камере возрастает за  $\sim 10^{-8}$  сек до амплитудного значения, в течение некоторого времени остается постоянным, затем, по истечении аperiodического режима разряда, в контуре развиваются периодические колебания. В переходной аperiodической фазе разряда вместе с ростом тока наблюдается рентгеновское излучение, заметная доля которого обнаруживается также в пределах первой четверти периода колебаний напряжения. Через некоторое время (вслед за первым максимумом тока при давлении  $\sim 10^{-3}$  тор) по изолятору камеры развивается поверхностный разряд, в который ответвляется основной ток контура. Импульс анодного тока остается однополярным в течение нескольких полупериодов колебаний в цепи. Опережающее развитие поверхностного разряда в области давлений  $> 10^{-3}$  тор ведет к сокращению длительности аperiodической фазы (до нескольких десятков наносекунд) и резкому уменьшению выхода рентгеновского излучения. Часть тока (до 40% при давлении  $2 \cdot 10^{-2}$  тор) в этих условиях протекает по объему камеры вне разрядного промежутка. При давлениях  $< 10^{-3}$  тор остаточный газ не влияет на интенсивность излучения. Для зарядного напряжения  $U_0 = 50$  кв доза излучения максимальна в интервале межэлектродных расстояний  $l_{ак} = 10 + 20$  мм. Измеренная граничная энергия спектра электронов соответствует зарядному напряжению. Средняя энергия рентгеновского спектра  $\sim 35$  кэв, его нижняя граница 15 кэв, доза на рас-

стоянии 0,5 м от анода с напыленным висмутом 2 мк -  $5 \cdot 10^{-2}$  р. Выход излучения не изменяется с уменьшением емкости батареи от  $2 \cdot 10^{-6}$  ф до  $4 \cdot 10^{-7}$  ф (индуктивность возрастает с  $8,6 \cdot 10^{-8}$  гн до  $1,5 \cdot 10^{-7}$  гн).

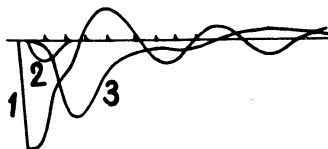


Р и с. I. Конфигурация ускоряющего промежутка.

A - анод, K - катод

Для стабилизации электронного потока важна конфигурация прикатодного изолятора, так как пучок обнаруживает сильную поперечную неустойчивость при большой площади торца прикатодного изолятора. Окончательно выбранная конфигурация показана на рис. I. Пучок стабилизирует свое положение в центре анода, диаметр рентгеновского изображения 2 мм. Степень фокусировки критична к величине углубления катода в диэлектрик. При диаметре катода  $d_k = 7$  мм выступающая кромка изолятора  $\delta > 4$  мм. Разброс показаний дозиметра не превышает  $\pm 15\%$ . Самоскатный пучок оказывает на анод механическое воздействие, которое использовалось для индикации потока быстрых электронов. На стабильность положения пучка оказывает влияние эрозия электродов (в основном, анода). Ток в конце аперодической фазы,

где активная составляющая напряжения  $U_R \approx 7$  кв, составляет  $\sim 3 \cdot 10^4$  а (отношение к альфеновскому  $\sim 10$ ) при  $C = 4 \cdot 10^{-7}$  ф,  $L = 1,5 \cdot 10^{-7}$  гн,  $U_0 = 60$  кв. Плотность тока электронов, вносящих основной вклад в интенсивность рентгеновского излучения,  $\sim 10^5$  а/см<sup>2</sup>. Типичная картина развития разряда показана на рис. 2. В апериодической фазе вакуумный зазор заполняется плазмой, которая формиру-



Р и с. 2. Оциллограммы напряжения на камере (1), рентгеновского излучения (2) и анодного тока (3). Интервал между временными метками лупы времени  $3 \cdot 10^{-7}$  сек.  $C = 4 \cdot 10^{-7}$  ф,  $U_0 = 60$  кв,  $I_{\max} = 80$  ка, давление  $10^{-3}$  тор,  $l_{\text{ак}} = 15$  мм, вакуумный зазор 10 мм,  $d_k = 5$  мм,  $\Delta = 1,5$  мм  $D_k = 11$  мм

ет плотный шнур, существующий в самосжатом состоянии в течение всего характерного времени протекания анодного тока  $\sim 10^{-6}$  сек.

С уменьшением тока наблюдается интенсивный разлет плазмы. В максимуме анодного тока  $I = 8 \cdot 10^4$  а видимый диаметр шнура составляет  $\sim 3$  мм, плотность тока  $\sim 10^6$  а/см<sup>2</sup>, магнитное поле  $\sim 10$  тл, магнитное давление  $\sim 500$  ат.

Формированию самосжатых пучков способствует образование затравочной плазмы по кольцевой границе катода с изолятором, фокусировка электронов на начальном этапе разряда полем поверхностных зарядов прикатодного изолятора и ограничение количества материала, поступающего с анода, малыми размерами фокусного пятна. Предельное сжатие электронного потока определяется противодействием давления плазмы давлению магнитного поля пучка. Ускоряющее поле в межэлектродном зазоре соответствует активной составляющей напряжения  $U_R = IR(t)$ . С ростом первичная свойства компенсированного пучка все меньше отличаются от свойств плазменного шнура с током. В частности, в результате экспериментов по выводу пучка установлено, что высокоперевансный пучок, замыкаясь на стенки трубки

дрейфа, распространяется вдоль нее под действием давления магнитного поля. Описанный метод перспективен для формирования сверхплотных релятивистских пучков.

Поступила в редакцию  
I сентября 1973 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. J. D. Lawson. J. El. and Contr., 5, 146 (1958).
2. В. С. Босамыкин. ЖТФ, 40, 1173 (1970) ЖТФ, 41, 535 (1971).
3. В. С. Босамыкин, А. И. Павловский. ЖТФ, 9, 2002 (1971).
4. H. M. Epstein et al. 8 Int. Conf. Phen. in Ion. Gases, Vienna, August 27-Sept. 2, 1967, p.372.