

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ  
ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ  
В ОГРАНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ

*К.В.Суладзе, Б.А.Цхадая, А.А. Плютто*

В работах [1-3] по получению сильноточных пучков электронов при отборе с поверхности плазмы токи не превышают  $1 + 2 \cdot 10^3$  а. Новые пути и возможности значительного повышения токов открываются при формировании пучков в плазме, предварительно заполняющей ограниченный промежуток, через который пропускается ток  $10^4 - 10^5$  а.

Принципиальная схема экспериментов приведена на рис. 1. Из искрового источника 1 плазма втекает в ускоряющий промежуток  $2 \sim 1-2$  см. Ускоряющее поле прикладывается к заполненному плазмой ( $n \sim 10^{12} - 10^{13}$  см<sup>-3</sup>) промежутку с задержкой  $\tau \sim 1-2$  мксек и поддерживается емкостью  $C_2 = 0,4$  мкф. Отличительной особенностью формирования электронных пучков методом предварительного заполнения ускоряющего промежутка плазмой является то, что в начальной стадии развития тока промежуток

закорочен плазмой и падение напряжения на нем мало. При достижении током в промежутке некоторого критического значения омическое сопротивление промежутка возрастает, что приводит к срыву электронного тока (рис. 2, а) и резкому увеличению разности потенциалов на промежутке до величины, превосходящей начальное напряжение источника питания.

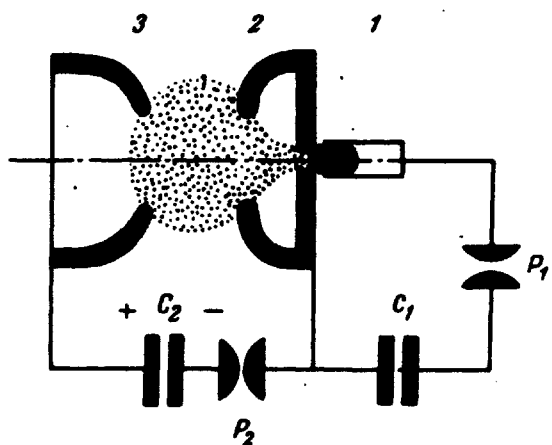


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента: 1 – искровой источник, 2 – ускоряющий промежуток, 3 – ускоряющий электрод,  $P_1$ ,  $P_2$  – разрядники

В стадии срыва общего тока в плазме формируется электронный пучок, значительная часть которого ( $1/2 - 1/3$ , рис. 2, б) проходит сквозь сетку в аноде и измеряется цилиндром Фарадея. Величина критического тока возрастает с повышением концентрации плазмы в промежутке и в наших экспериментах достигала  $2 \cdot 10^4$  а. Ток пучка при этом достигал  $10^4$  а с длительностью импульса  $3 \cdot 10^{-7}$  сек. Характерной особенностью исследуемых нами режимов являются, как показали зондовые измерения, сосредоточение разности потенциалов вблизи катода. Такое распределение потенциала устанавливается в момент достижения критического тока и сохраняется в стадии срыва общего тока. В результате этого плазма в промежутке испытывает разрыв на прикатодную и прианодную. Последняя имеет потенциал анода и является как бы продолжением анода. Толщина оболочки объемного заряда вблизи катода может быть приближенно определена по закону "трех вторых"

$$d = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} V^{3/4}}{i^{1/2}}$$

при  $V = 30$  кв,  $i = 2 \cdot 10^4$  а/см<sup>2</sup>,  $d = 3 \cdot 10^{-2}$  см и средняя напряженность поля достигает  $\geq 10^6$  в/см. Электронный пучок, ускоренный вблизи като-

да, проходит через плазму, локализованную в промежутке. Расходимость пучка устраняется вследствие компенсации объемного заряда пучка ионами плазмы и наблюдается сильная фокусировка пучка. Это подтверждается исследованиями распределения рентгеновского излучения на аноде, проведенные рентгеновской камерой обскурой. Плотность тока пучка на оси системы достигает значений  $\geq 2 \cdot 10^4 \text{ а/см}^2$ . Точка фокусировки пучка собственным магнитным полем находится на расстоянии [4, 5].

$$\lambda = \pi b (\gamma / 2\nu)^{1/2},$$

где  $\nu = Nr_0$  ( $N$  – общее число электронов на единицу длины пучка  $r_0$  – классический радиус электрона)

$\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ ,  $\beta = v_0 / c$  ( $v_0$  – скорость пучка,  $b$  – начальный радиус пучка). При  $N = 10^{13}$ ,  $\gamma \sim 1$ ,  $b = 1 \text{ см}$ ,  $\lambda \approx 1,5 \text{ см}$ . Можно ожидать, что, пока не упала концентрация плазмы, электронный пучок будет первоначально фокусироваться в пределах длины ускоряющего промежутка (1–2 см).

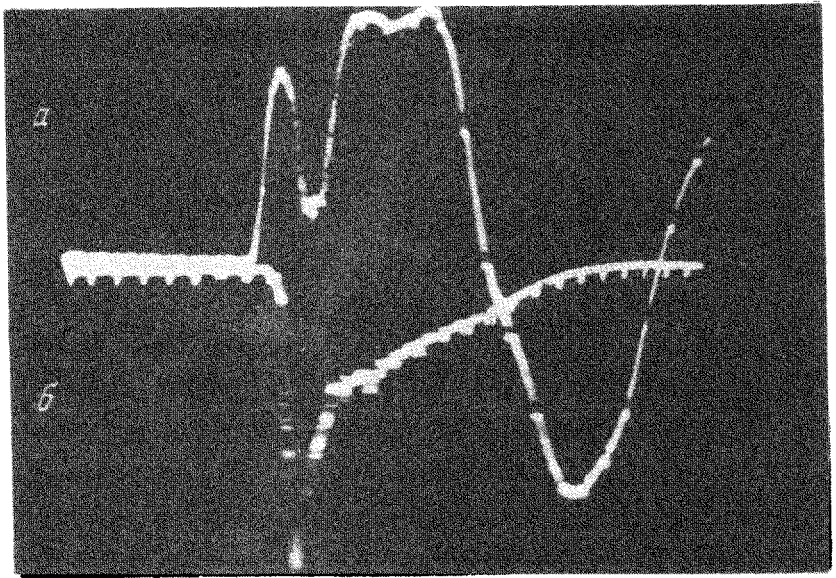


Рис. 2. Оциллограммы тока: 1 – общий ток, 2 – ток на цилиндре Фарадея

Следует отметить, что движение пучков высокой плотности тока возможно лишь при компенсации объемного заряда пучка. В наших условиях компенсация пучка осуществляется ионами плазмы, увлекаемыми пучком в направлении своего движения [6]. При прохождении пучка электронов через прианодную плазму в случае малой длительности ускоряющего промежутка (1–2 см) пучковые неустойчивости не развиваются. При длине промежутка  $\sim 10 \text{ см}$  коллективные взаимодействия приводят к большим

потерям энергии пучка в плазме и резкому сокращению тока на цилиндр Фарадея.

В заключение можно полагать, что с увеличением ускоряющего напряжения до  $10^5 - 10^6$  в и концентрации плазмы до  $10^{14} - 10^{15}$  см<sup>-3</sup> описанным методом возможно будет сформировать пучки с током  $10^5 - 10^6$  а.

Авторы благодарят Р.А.Демирханова за постоянное внимание к работе, а Г.П.Мхеидзе и Е.Д.Коропа за участие в экспериментах на начальной стадии работы.

Поступила в редакцию

Физико-технический институт

30 июля 1969 г.

### Литература

- [1] К.В.Суладзе, А.А.Плютто. ЖТФ, 37, 63, 1967.
- [2] А.В.Бойм, Э.М.Рейхрудель. ЖТФ, 33, 997, 1963.
- [3] С.П.Бугаев и др. изв. высш.уч.зав. №1, 145, 1968.
- [4] J.D.Lawson. J.Elec. and Cont., 3, 587, 1957.
- [5] W.H.Bennett. Phys., Rev. 90, №6, 1955.
- [6] А.А.Плютто, К.В.Суладзе и др. Письма в ЖЭТФ, 6, 3, 1967.