

## ФОРМИРОВАНИЕ КОРОТКИХ ПЛАЗМЕННЫХ СГУСТКОВ

В. И. Баринов

Для изучения радиационного ускорения /1,2/ необходимы полностью ионизованные плазменные сгустки, размеры которых меньше длины волны. В десятисантиметровом диапазоне волн требуемая концентрация плазмы в таком сгустке оказывается равной  $n \sim 5 \cdot 10^9 + 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ .

Ранее /3,4/ было предложено формировать компактные плазменные сгустки путем укорочения плазменных потоков, создаваемых импульсными инжекторами искрового типа. Укорочение достигалось в результате отсечения задней части плазменного потока импульсными поперечными (по отношению к вектору скорости потока) магнитными полями ("магнитный затвор") или электрическими продольными полями.

Для уменьшения влияния нейтралов и для лучшей естественной группировки ионов плазменного потока по скоростям обычно необходимо размещать формирующее устройство на "пролетном" расстоянии  $l \geq 40 + 50 \text{ см}$  от инжектора. Однако из-за большого начального разброса скоростей ионов передний фронт плазменного потока (скорость движения  $v \sim 10^7 \text{ см/сек}$ ,  $n_{\text{макс}} \sim 10^{11} + 10^{12} \text{ см}^{-3}$ ) в этом случае достигает нескольких десятков сантиметров, что не позволяет вышеуказанным способом получать плазменные сгустки длиной в несколько сантиметров при концентрации  $n \sim n_{\text{макс}}$ .

Целью данной работы являлось создание устройства, которое позволило бы формировать короткие плаз-

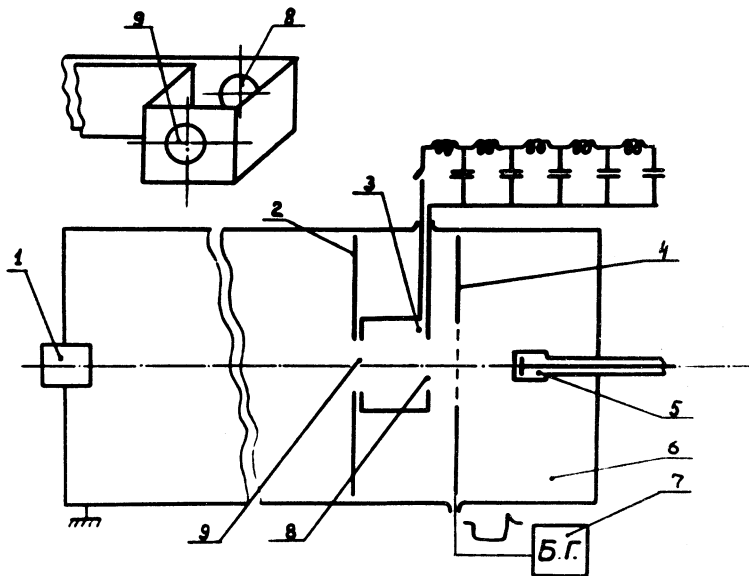
менные сгустки из любого участка потока в результате одновременного отсечения от него головной и задней частей. При этом максимальная концентрация плазмы в сгустке  $n_{\text{макс}} \sim 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ .

Прежде всего необходимо было решить проблему формирования круглого переднего фронта путем создания некоторого "барьера" для головной части потока. Использование для этого импульсного магнитного поля представляет собой сложную техническую задачу, связанную с получением одиночного импульса тока ( $\sim 10 \text{ ка}$ ) с крутым задним фронтом ( $\sim 0,1 \text{ мксек}$ ). Применение же электрического продольного поля до сих пор ограничивалось пробоями при величине концентрации плазмы  $n > 10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Причина этого, вероятно, заключалась в том, что разделение плазмы на компоненты с последующим ее разрушением /4/ достигалось созданием "потенциального барьера" для высокоэнергетичных ионов плазменного потока ( $W_1 \sim 100 + 200 \text{ эв}$ ), что требовало подачи импульса положительной полярности с большой амплитудой ( $U_{\text{макс}} \sim 400 \text{ в}$ ) на специальную "разрывающую" сетку.

С целью уменьшения вероятности пробоя и одновременно увеличения предельной концентрации плазмы в данной работе было решено создавать "потенциальный барьер" для электронов ( $T_e \sim 5 \text{ эв}$ ) путем подачи на разрывающую сетку прямоугольного импульса напряжения отрицательной полярности. В соответствии с теорией сильно отрицательного зонда, помещенного в движущуюся плазму /5/, можно было ожидать, что необходимая для наших условий величина амплитуды разрывающего импульса не будет превышать нескольких десятков вольт, если размер ячейки сетки  $\sim 30 \text{ микрон}$ .

Последующие исследования показали, что этим методом действительно можно успешно отсекают головную часть потока (длительность переднего фронта  $\leq 0,3 \text{ мксек}$ , концентрация  $n \sim 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ , амплитуда разрывающего импульса  $< 80 \text{ вольт}$ ), однако отсечение

задней части потока хотя и возможно, но неэффективно, так как задний фронт получался очень пологим (длительность  $1,5 + 2$  мксек). Поэтому в дальнейшем формирование кругого заднего фронта осуществлялось "магнитным затвором" /3/.

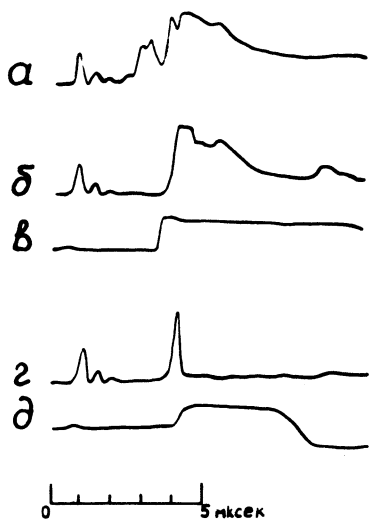


Р и с. 1. Схема экспериментальной установки.

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки для изучения "двухстороннего укорочения" плазменного потока. Здесь 1 - плазменный инжектор искрового типа с разрядом по поверхности плексигласа, 2 - диэлектрическая диафрагма с отверстием  $\phi = 2$  см, 3 - "магнитный затвор", 4 - медная диафрагма с отверстием  $\phi = 3$  см, затянутым металлической сеткой с размером ячейки  $\sim 0,03$  мм ("разрывающая" сетка), 5 - экранированный одноэлектродный зонд, 6 - вакуумная камера  $\phi = 10$  см из нержавеющей стали. Вакуум в камере  $\sim 10^{-6}$  тор. Расстояние между инжекто-

ром 1 и диафрагмой 4 могло меняться от 30 до 60 см, расстояние между зондом 5 и диафрагмой 4  $\sim 2$  см.

Поскольку прозрачность разрывающей сетки не превышала 60 + 70%, то можно было ожидать на нее больших ионных токов ( $\sim 1$  а). Поэтому отрицательный



Р и с. 2. Осциллограммы, иллюстрирующие формирование короткого сгустка из плазменного потока.

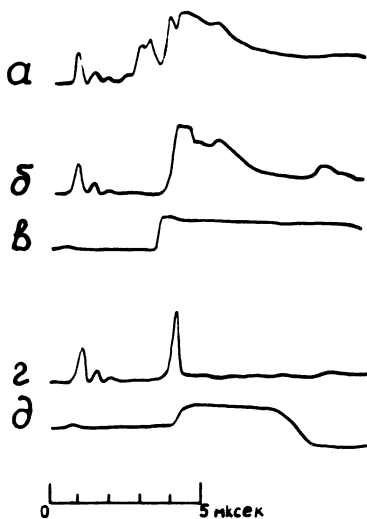
импульс на сетку подавался с мощного блокинг-генератора 7, собранного на двоянном тетраде ГИ-30 ( $U_A \sim 2,5$  кв). Выходное напряжение могло меняться от 10 до 100 вольт, длительность импульса была  $\sim 6$  мксек.

"Магнитный затвор", расположенный на расстоянии 1,5 см от диафрагмы 4, имел форму прямоугольной петли, согнутой из медной ленты шириной 4 см. В двух противоположных стенках петли имелись два отверстия 8 и 9 диаметром  $\phi = 2$  см для пролета плазмы. Магнитное поле ( $\sim 1$  кгс) создавалось током разряда искусственной длинной линии ( $U_L \sim 2$  кв,  $J_L \sim 5$  ка). Импульс магнитного поля имел форму, близкую к прямоугольной (передний фронт  $\sim 0,3$  мксек, длительность  $\sim 5$  мксек).

На рис. 2 приведены осциллограммы, иллюстрирующие "двухстороннее укорочение" плазменного потока.

ром 1 и диафрагмой 4 могло меняться от 30 до 60 см, расстояние между зондом 5 и диафрагмой 4  $\sim 2$  см.

Поскольку прозрачность разрывающей сетки не превышала  $60 + 70\%$ , то можно было ожидать на нее больших ионных токов ( $\sim 1$  а). Поэтому отрицательный



Р и с. 2. Осциллограммы, иллюстрирующие формирование короткого сгустка из плазменного потока.

импульс на сетку подавался с мощного блокинг-генератора 7, собранного на сдвоенном тетроде ГИ-30 ( $U_A \sim 2,5$  кв). Выходное напряжение могло меняться от 10 до 100 вольт, длительность импульса была  $\sim 6$  мксек.

"Магнитный затвор", расположенный на расстоянии 1,5 см от диафрагмы 4, имел форму прямоугольной петли, согнутой из медной ленты шириной 4 см. В двух противоположных стенках петли имелись два отверстия 8 и 9 диаметром  $\phi = 2$  см для пролета плазмы. Магнитное поле ( $\sim 1$  кгс) создавалось током разряда искусственной длинной линии ( $U_D \sim 2$  кв,  $I_D \sim 5$  ка). Импульс магнитного поля имел форму, близкую к прямоугольной (передний фронт  $\sim 0,3$  мксек, длительность  $\sim 5$  мксек).

На рис. 2 приведены осциллограммы, иллюстрирующие "двухстороннее укорочение" плазменного потока.

Здесь "а" — сигнал с коллектора экранированного зонда Б при отсутствии отсекающих импульсов ( $n_{\text{макс}} \sim 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ ), "б" — сигнал с коллектора при подаче отрицательного импульса на разрывающую сетку, "в" — отрицательный импульс с блокинг-генератора (передний фронт не виден на развертке), "г" — сигнал с коллектора зонда при "двухстороннем укорочении", "д" — импульс магнитного поля. Зонд регистрировал ионную компоненту плазмы и работал в режиме насыщения ( $U_3 = -100$  вольт). На осциллограммах плазменных сигналов слева видны импульсы фотоэлектронного тока с коллектора зонда, вызванные свечением инжектора при протекании разрядного тока.

На основании этих и других подобных осциллограмм можно сделать вывод, что разработанная система действительно позволяет формировать плазменные сгустки из любого участка плазменного потока, причем полученная минимальная длительность плазменного сигнала  $\sim 0,3$  мксек по поперечности соответствует длине сгустка  $\sim 3$  см при поперечном размере  $\sim 3$  см. Максимальная концентрация плазменных сгустков  $\sim 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$  при максимальной использовавшейся концентрации плазменного потока на входе "магнитного затвора"  $\sim 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ .

В заключение автор выражает признательность Геккеру И. Р. и Гольцу Э. Я. за стимулирующее внимание и содействие в постановке работы.

Поступила в редакцию  
4 марта 1971 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. В. И. Векслер. Атомная энергия, **2**, 427 (1957).
2. В. И. Векслер, И. Р. Геккер и др. Труды ФИАН, "Физика плазмы", **32**, 60 (1966).
3. Э. Я. Гольц, А. З. Ходжаев. ЖТФ, **38**, 1960 (1968).
4. Э. Я. Гольц. ПМТФ, № 5, 113 (1966).
5. О. В. Козлов. Электрический зонд в плазме. М., Атомиздат, 1969 г.