

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ТОКА, ИНДУЦИРОВАННОГО РЭП

Ю.Ф. Бондарь, Г.П. Мхеидзе, А.А. Савин

Приведены результаты экспериментального исследования плазменного тока, индуцированного при инжекции сильноточного РЭП в нейтральный газ. Описана методика, с помощью которой удалось непосредственно измерить индуцированный ток и определить его распределение по сечению плазменного канала.

Важную роль в развитии процессов, сопровождающих инжекцию релятивистского электронного пучка (РЭП) в газ, играет индуцированный пучком ток плазменных (вторичных) электронов. Такие явления, как зарядовая и токовая компенсация пучка, крупномасштабные неустойчивости, свойства пучковой плазмы тесно связаны с плазменным током, его динамикой и пространственным распределением. Большой вклад вносит плазменный ток в нагрев газа и динамику газового канала [1]. Непосредственное измерение плазменного тока открывает новые перспективы в исследовании инжектируемых в газ сильноточных импульсных РЭП. Актуальность задачи инициировала экспериментальные исследования, первые результаты которых представлены ниже.

Пучок электронов с ускорителя "Терек-1Р" (энергия электронов $E \approx 1,2$ МэВ, ток пучка $I_b \approx 10$ кА, длительность импульса $\tau \approx 60$ нс, радиус пучка $r_b \approx 2$ см) через анодную фольгу (титан, 50 мкм) инжектировался в камеру дрейфа ($R = 9$ см, $L = 60$ см), заполненную воздухом.

В плазме, созданной РЭП, индуцировались токи, которые регистрировались приемником, изображенным на рис. 1. На лавсановую пленку 1 толщиной $20 \div 50$ мкм напылены проводящие слои 2 и 3 (алюминий или медь+хром) толщиной $2 \div 5$ мкм. Приемник прозрачен для пучковых электронов (суммарные потери энергии пучка с $E = 1$ МэВ составляют $\Delta E \approx 20$ кэВ, суммарный угол рассеяния $\theta \approx 7^\circ$), а металлизированное покрытие поглощает электроны плазменного тока с $E \leq 15$ кэВ. Конфигурация проводящих слоев (рис. 1б) позволяет определять радиальное и азимутальное распределения плазменного тока. Приемник

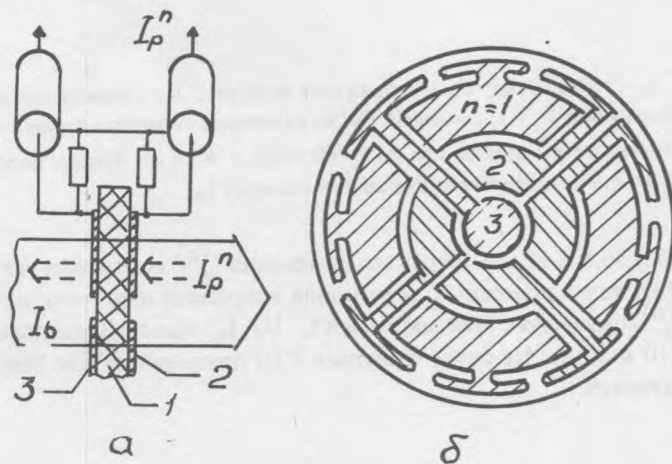


Рис. 1. Приемник плазменного тока.

мог перемещаться по длине камеры дрейфа. Зарегистрированы токи $I_p^{(1)} \div I_p^{(3)}$ с проводящих покрытий $n = 1-3$ (рис. 16)*. Также измерялись: ток пучка I_b и распределение плотности тока j_b при помощи секционированного вакуумного приемника; напряжение в диоде U_0 ; ток диода I_0 ; полные токи ($I = I_b - I_p$) в начале (I_1) и конце (I_2) камеры.

На рис. 2а представлены характерные осциллограммы $U_0, I_0, I_1, I_2, I_p^{(1)} - I_p^{(3)}$. Давление воздуха $p_0 = 750$ торр, приемник плазменного тока находился на расстоянии $l = 20$ см. На всех осциллограммах за точку отсчета принят момент времени, соответствующий максимуму тока диода I_0 . Средние радиусы сегмен-

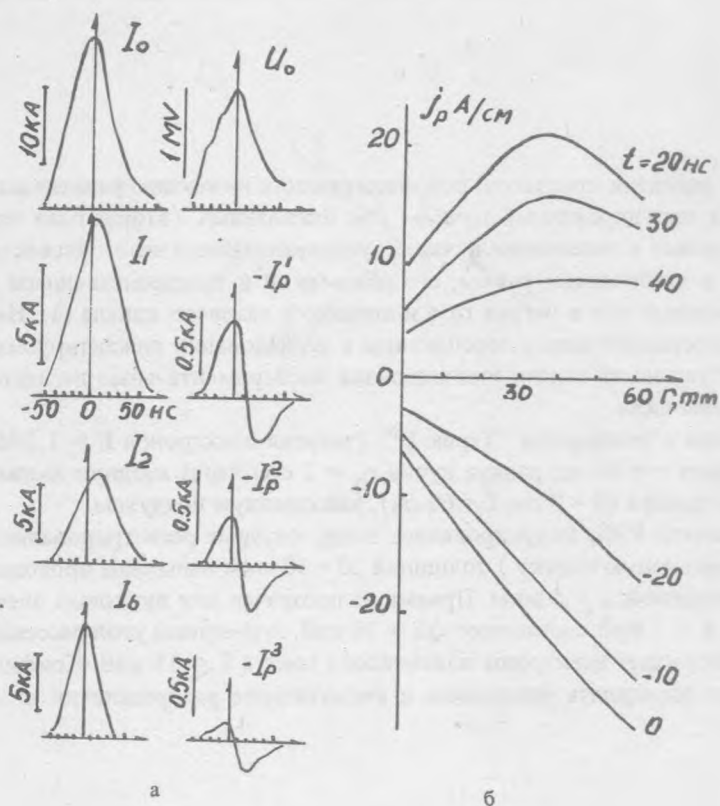


Рис. 2 а) Осциллограммы регистрируемых сигналов: I_0 – ток в диоде; U_0 – напряжение на диоде; I_1 – полный ток в начале камеры; I_2 – полный ток в конце камеры; I_b – ток пучка; I_p – плазменный ток на различных сегментах приемника. б) Распределение плотности плазменного тока по сечению камеры дрейфа при $p_0 = 760$ торр; $l = 20$ см. Цифры рядом с кривыми – время в наносекундах. За $t = 0$ принят момент времени, соответствующий максимуму I_0 .

тов $n = 1 \div 3$ (рис. 16) соответственно равны 62, 36,5 и 11 мм. Характер изменения $I_p^{(n)}$ соответствует общепринятым представлениям [2]. На фронте РЭП ток плазменных электронов направлен навстречу пучку (отрицательная полярность I_p). Максимумы $I_p^{(n)}$ совпадают с максимумами I_0, U_0, I_b . Максимумы полных токов I_1 и I_2 смещены соответственно на $t = 10$ и 20 нс. На спаде импульса РЭП плазменный ток быстро уменьшается и при $t \approx 10$ нс направление его меняется.

* В эксперименте $R_2 = 0$.

На рис. 2б приведены зависимости плотности плазменного тока $j_p \cong I_p^{(n)} / S_n$ (S_n — площадь n-го сегмента приемника плазменного тока) от радиуса. Как видно из приведенных кривых, при $p_0 = 750$ торр плотность "обратного" плазменного тока растет с радиусом, т.е. ток течет преимущественно по периферии плазменного канала, в то время как плотность "прямого" плазменного тока имеет максимум при $r = 30 \div 40$ мм. Амплитудное значение суммарного плазменного тока $\sum I_p^{(n)}$ для описанного случая в режиме "обратного" ("прямого") тока составляло соответственно 4,9 (3,6) кА.

Полученные результаты показывают, что динамика плазменных токов, индуцированных при инжекции РЭП в газ, является сложным процессом самосогласованного взаимодействия пучка, индуцированных полей, проводимости плазменного канала и т.д. При наличии соответствующей модели, исследования плазменного тока позволяют сделать выводы о распределении проводимости по плазменному каналу, о нелокальности ионизации газа пучком и др.

Авторы благодарны А.А. Рухадзе за интерес к работе и полезные обсуждения и А.И. Кузьмину за большую помощь в проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарь Ю. Ф. Препринт ИОФАН № 57, М., 1986.
2. Кингсеп С. С. ЖЭТФ, 63, № 6, 2132 (1972).

Институт общей физики
АН СССР

Поступила в редакцию 3 июня 1986 г.