

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА СЭП С ПОМОЩЬЮ p*n*-ДИОДНОЙ МАТРИЦЫ

С. В. Маричев, В. Д. Сажин

(Москва)

Методы диагностики параметров сильноточных электронных пучков (СЭП), основанные на использовании тормозного рентгеновского излучения, находят все большее применение. К задачам, решаемым с помощью рентгеновских методик, можно отнести контроль формы импульса тока, измерение энергетического спектра электронов и пространственных характеристик СЭП.

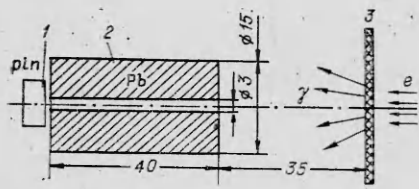
В настоящее время для измерения пространственных характеристик используют электронно-оптические преобразователи в комбинации с сцинтиллятором или камерой-обскуры [1], секционированный цилиндр Фарадея [2], p*n*-диодные матрицы [3,4]. Электронно-оптические преобразователи позволяют получать незначительное число временных точек за один выстрел, и их использование связано с известными техническими трудностями. Применение секционированного цилиндра Фарадея неэффективно, так как его расположение в вакуумной камере практически исключает возможность оперативной работы с этим устройством. Кроме того, образующаяся коллекторная плазма шунтирует приемные ламели цилиндра, что становится особенно заметным в пучках микросекундной длительности. Эти недостатки можно устранить, используя в качестве детекторов тормозного излучения заколлимированные p*n*-диоды. В [3] с помощью p*n*-диодной матрицы измерено угловое распределение рентгеновского излучения на коллекторе, а в [4] получено временное распределение плотности тока на мишени в нескольких точках по радиусу.

В данной работе описывается методика измерения пространственно-временных параметров электронного пучка с помощью p*n*-диодной матрицы. Получено радиальное распределение плотности тока трубчатого пучка во времени.

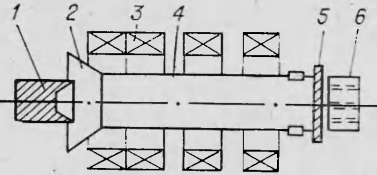
Устройство матрицы включает в себя каркас, в который помещаются коллиматоры с p*n*-диодами. Условная схема коллимации изображена на рис. 1, где 1 — детектор, 2 — коллиматор, 3 — коллектор. Заколлимированный детектор регистрирует излучение с небольшого участка мишени. Величина сигнала пропорциональна плотности тока электронов на данном участке мишени. Коллиматоры располагаются соосно вакуумной камере. Размеры коллиматоров и приемной мишени позволяют использовать до 10 детекторов в матрице. Для различных целей создано несколько разновидностей каркасов матрицы, p*n*-диоды в этих каркасах располагаются либо по диаметру коллектора для измерения радиальной структуры пучка, либо по окружности для исследования азимутальных неоднородностей СЭП. Конструкция матрицы позволяет производить линейные перемещения матрицы как целого вдоль плоскости коллектора, а также вращать матрицу относительно ее оси. Благодаря указанным перемещениям и высокой повторяемости результатов от импульса к импульсу стало возможным получение большого числа экспериментальных точек. Разброс в измерении формы импульсов напряжения, тока и γ -сигнала при одинаковом зарядном напряжении ГИНа не превышает 2%. В целях повышения эффективности проведения измерений радиальной структуры пучка можно варьировать размерами пучка на коллекторе путем введения разбаланса в значениях магнитных полей в области формирования пучка и в канале транспортировки.

Принципиальная трудность, которая обычно возникает при проведении измерений, заключается в получении хорошего отношения полезного сигнала на p*n*-диодах к уровню помех при обеспечении высокого пространственного разрешения коллиматора. Путем экспериментальной отработки методики определены оптимальные параметры коллиматоров, при которых величина сигнала составила 0,5—2,0 В при уровне помех ~0,03 В. Величина пространственного разрешения 3 мм. В эксперименте использовались p*n*-диоды типа ДКТ с характеристиками: рабочее напряжение питания 10—200 В, толщина чувствительной области ~120 мкм, диаметр чувствительной поверхности 12 мм, временное разрешение 5 нс.

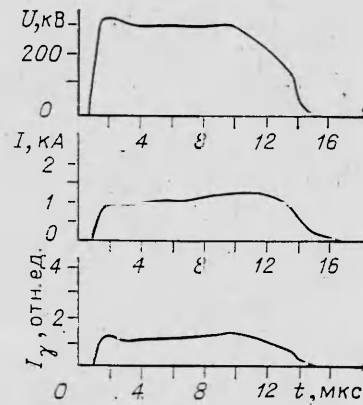
Экспериментальная отработка предложенной методики и измерение пространственно-временных характеристик СЭП проводились на уста-



Р и с. 1



Р и с. 2



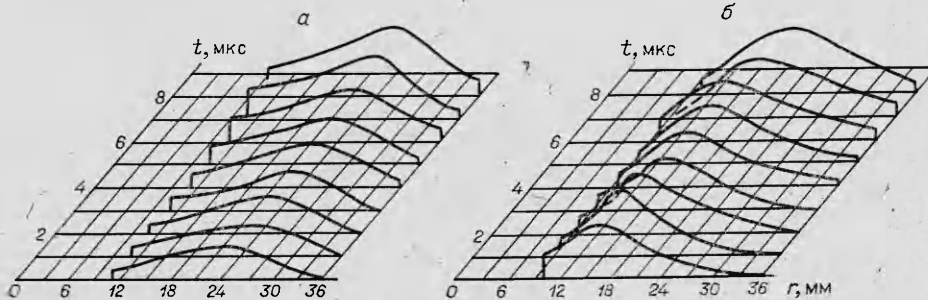
Р и с. 3

новке со следующими параметрами пучка: энергия электронов 200—350 кэВ, ток 0,6—1,2 кА, длительность импульса 10—12 мкс. Схема установки изображена на рис. 2, где 1 — катод, 2 — анод, 3 — катушки магнитной системы, 4 — лайнер, 5 — коллектор, 6 — диодная матрица. Пучок формируется в вакуумном канале длиной 1 м с помощью взрывоэмиссионного диода с магнитной изоляцией. Диаметр лайнера 70 мм, ведущее магнитное поле 0,3—1,5 Т. Катод выполнен в виде трубки из нержавеющей стали диаметром 66 мм. Нижеприведенные экспериментальные результаты относятся к варианту инжекции пучка в магнитную пробку, когда катод удален от анодного конуса на 70 мм, а его степень замагниченности составляет 0,32 [5]. Импульсы напряжения U , тока I и тормозного излучения I_γ представлены на рис. 3.

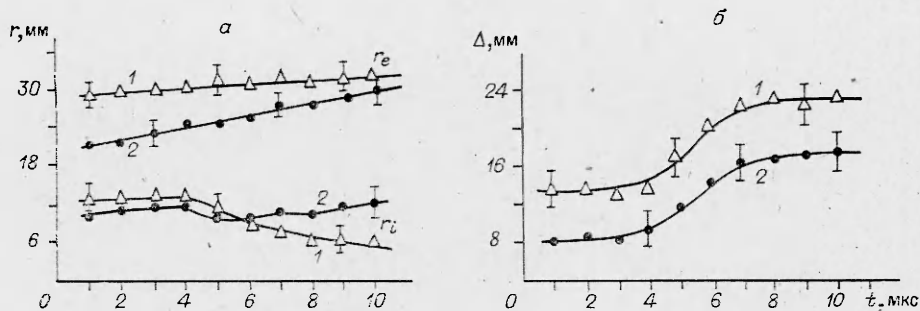
Цель экспериментов заключалась в измерении радиального распределения плотности тока во времени. Эти измерения проводились для магнитного поля $B = 0,3$ и 1,0 Т при постоянном напряжении на диоде 300 кВ. Ток пучка при этом 1,0 кА. Для измерения плотности тока сигналы с γ -датчиков нормировались на величину напряжения в каждой временной точке. Полученное распределение плотности тока в трубке пучка представлено на рис. 4, а, б для $B = 0,3$ и 1,0 Т соответственно (значения плотности тока даны в относительных единицах).

На рис. 5 (1 — $B = 0,3$; 2 — 1,0 Т) изображены зависимости внутреннего r_i , внешнего r_e радиусов, а также толщины Δ трубки пучка от времени (значения этих параметров вычислялись на уровне 0,5 от максимума в распределении плотности тока).

Результаты экспериментов показали существование довольно интенсивного ореола пучка на коллекторе. Ранее предполагалось (по измерениям с помощью камеры-обскура), что трубчатый пучок имеет небольшую толщину и резкие границы. Измерения показали, что в условиях инжекции пучка в магнитную пробку с удаленным катодом форма радиального распределения профиля пучка слабо меняется во времени. Структура



Р и с. 4



Р и с. 5

пучка поддерживается практически неизменной на протяжении 10 мкс. Изменения в радиальном распределении связаны с уплотнением ореольной части пучка и вызваны движением катодной плазмы поперек магнитного поля. По нашим оценкам, поперечная скорость катодной плазмы не превышает 10^5 см/с. Из кривых, изображенных на рис. 5, б, видно, что основное уширение пучка происходит на 4–6-й микросекунде. Скорее всего, это связано с тем, что именно в этот момент времени плазменный катодный факел входит в анодный конус. Резкое изменение взаимной ориентации векторов напряженности магнитного и электрического полей на эмиттирующей границе приводит к расширению размеров пучка.

Проведенные измерения не исчерпывают всех возможностей использования рп-диодной матрицы. Перспективы представленной методики связаны с улучшением пространственного разрешения коллекторных измерений. Помимо измерения радиальной структуры пучка необходимо исследование азимутального распределения плотности тока. Такие эксперименты позволят изучить неустойчивости пучка, неоднородность эмиссии на катоде. Важная задача — измерение сигналов на рп-диодах с высоким временным разрешением. Для решения этой проблемы требуется улучшение частотных характеристик схемы включения рп-диодов и использование быстродействующей регистрирующей аппаратуры высокой чувствительности. Ввиду сложности построения радиального распределения плотности тока во времени по осциллограмме предполагается автоматизация процесса обработки данных эксперимента.

Авторы выражают благодарность И. И. Буслаеву и П. В. Миронову за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аранчук Л. Е., Баранчиков Е. И., Волков Г. С. Методика электронно-оптической диагностики РЭП на установке МС.— В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 1981, вып. 2(8).
2. Глейзер И. З., Усов Ю. П. и др. Секционированный цилиндр Фарадея для замагниченных пучков.— ПТЭ, 1980, № 2.
3. Davis H. A. Electron transverse velocity measurements in an intense relativistic electron beam diode.— J. Appl. Phys., 1982, v. 53, N 11.
4. Miyamoto S., Imasaki K. et al. Anomalous energy dissipation of intense focused electron beam in low atomic-number target.— Appl. Phys. Lett., 1979, v. 35, N 10.
5. Крылов С. Ю., Маркеев А. М. и др. Установка для исследований коллективного ускорения ионов в прямых сильноточных электронных пучках.— В кн.: Коллективные методы ускорения и пучково-плазменные взаимодействия. М.: РТИ АН СССР, 1982.

Поступила 12/VIII 1985 г.