

10;12

Регистрация и измерение тока ленточных пучков электронов на фиксированном участке сходящейся эмиттерной системы

© В.П. Нархинов

Отдел физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра
Сибирского отделения Российской Академии наук
670047 Улан-Удэ, Россия
e-mail: burne@bsc.buryatia.ru

(Поступило в Редакцию 22 августа 2001 г.)

Рассмотрен прямой метод измерения распределения тока двадцати восьми радиально сходящихся электронных пучков. Приводится принцип действия разработанного устройства, легко устанавливаемого в коаксиальную систему газоразрядного источника электронов. Установлено, что короткофокусные радиальные пучки имеют относительно высокую токовую однородность.

Введение

Газоразрядные инжекторы электронов имеют ряд конструктивных решений для формирования пучков, движущихся в направлении некоторой выделенной оси. Коаксиальное расположение элементов источника электронов позволяет генерировать как расходящиеся [1], так и радиально сходящиеся [2] потоки заряженных частиц. Плазменные эмиттеры кольцевого типа с радиально сходящимся пучком применяют для накачки лазеров, при этом коэффициент полезного действия генерации и мощность лазера в значительной степени повышаются за счет равномерного вклада энергии электронного пучка в газовую смесь [2].

Радиально сходящиеся пучки также используются в электронно-ионной технологии термообработки материалов, отверждения лаков и смол на поверхности проводов и кабелей. Для обеспечения высокоэффективного воздействия на объект радиально сходящегося пучка электронов с равномерной удельной мощностью необходимо, чтобы азимутальная неоднородность распределения тока сводилась к минимальному значению.

Электронные пучки являются сложными объектами исследования, и поэтому не существует универсального метода, пригодного для исследования всех свойств любых пучков, несмотря на большое разнообразие отработанных систем диагностики [3].

В настоящей работе предлагается способ определения степени азимутальной однородности токов радиально сходящихся пучков электронов на заданной длине транспортировки вдоль линий, совпадающих с направлением движения.

Техника эксперимента

На рис. 1 представлены газоразрядный источник электронов 1, генерирующий двадцать восемь (28) ленточных радиально сходящихся пучков электронов (со снятой обзорной крышкой 2) (а), и разработанное устройство для осуществления экспериментальной задачи (б). Элек-

троны из газоразрядной плазмы, локализованной в 28 элементарных ячейках типа Пеннинга 3, через регулирующую эмиссионную щель 4 извлекаются приложением электрического напряжения от высоковольтного выпрямителя между анодными кольцами 5 и коллекторным электродом 6, перфорированным 28 отверстиями 7 диаметром 1.2 mm. Коллекторный электрод 6 установлен таким образом, чтобы центры отверстий совпадали по центрам 28 ячеек 3.

Конструктивное исполнение разработанного устройства поясняется с помощью рис. 2. Цилиндр Фарадея 1 длиной 60 и диаметром 5 mm в защитном кожухе 2 закреплен в держателе 3 шпилькой с гайкой. Между диэлектрическими держателем 3 и переходным валом 4 установлена токопроводящая медная втулка 5, образующая с плоской прижимной клеммой 6 скользящий контакт при вращении цилиндра Фарадея 1. Переходная втулка — вал 4 — посажена на ось синхронного двигателя 7. Держатель 8 прижимной клеммы 6, синхронный двигатель СД-54 монтируются на столике 9 (алюминиевый диск), который устанавливается в проточку опорного изолятора 11. При включении в электрическую сеть через провода 10 и вакуумные электрические разъемы цилиндр Фарадея вращается ($n = 2.24 \text{ rev./min}$) внутри коллекторного электрода 6 (рис. 1).

Часть электронов, проникающих сквозь малые отверстия, поглощается в цилиндре Фарадея и выдает электрические сигналы на измерительный прибор.

Результаты измерений и их обсуждение

Токи выделенных частей 28 электронных пучков пропорциональны плотностям токов в месте расположения отверстий

$$J(r) = \frac{I(r)}{S},$$

где $I(r)$ — ток, проходящий сквозь отверстие; S — площадь поперечного сечения отверстия.

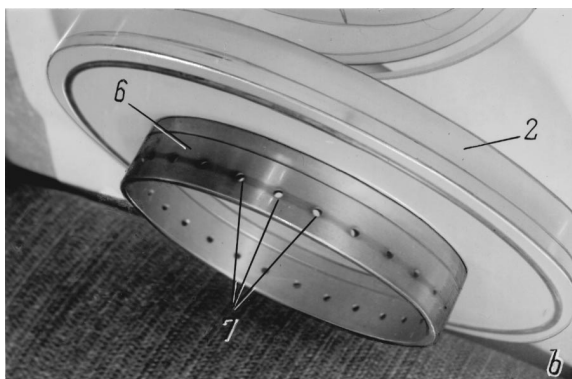


Рис. 1. Плазменный источник электронов с встроенным экспериментальным устройством для диагностики токовой однородности пучков: 1 — плазменный источник электронов, 2 — технологическая крышка, 3 — газоразрядные ячейки типа Пеннинга, 4 — эмиссионная щель, 5 — анодные кольца, 6 — коллекторный электрод, 7 — отверстия.

Погрешность измерений, обусловленная ошибкой δ в измерении токов, определяется из выражения

$$\Delta J = \frac{\delta}{S},$$

т.е. ошибка в определении плотности тока зависит от абсолютной ошибки δ в измерении тока электронов, проходящих сквозь отверстие площадью поперечного сечения S .

Численная оценка токов показала относительно небольшой разброс по амплитудам, не превышающий 5% с учетом погрешности измерений. Средняя плотность азимутального электронного тока 28 радиально сходящихся пучков составила 10^{-5} А/см².

Серия дальнейших экспериментов с последовательно изменяющимся поперечным сечением ленточных пучков от 15 до 40 мм² за счет изменения высоты выходного окна регулируемой эмиссионной щели в каждом случае с шагом 0.5 мм при постоянной ширине пучка 10 мм показала, что изменение сечения пучка не влияет на их токовую однородность. Расчетные значения плотности

тока для каждого из шести опытов оставались одинаковыми до десятых долей.

Экспериментальные результаты могут считаться вполне достоверными, поскольку они получены при стабильной эмиссии электронов, а регистрация и измерение токов проводились с многократным повторением вращающимся цилиндром Фарадея — одним из самых точных приборов.

Известные методы подвижной щели, дырочной камеры, вибрирующего зонда [3], вращающегося зонда [4] для решения проблемы, обозначенной в данном случае, неприемлемы из-за ограниченности по количественному признаку — числу исследуемых пучков одновременно. Разработанный и реализованный метод регистрации и измерения распределения тока по фиксированным се-

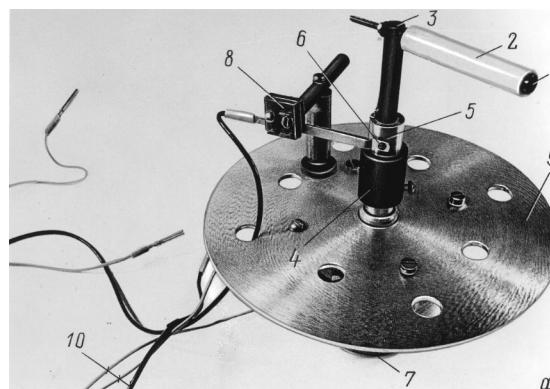


Рис. 2. Конструктивное исполнение устройства с одним цилиндром Фарадея (а), установленное устройство (б): 1 — цилиндр Фарадея, 2 — защитно-изоляционный кожух, 3 — держатель диэлектрический, 4 — переходная втулка-вал, 5 — токопроводящая втулка, 6 — прижимная клемма, 7 — электродвигатель, 8 — держатель прижимной клеммы, 9 — столик, 10 — провода, 11 — опорный изолятор.

чениям 28 ленточных радиально сходящихся пучков электронов дает возможность устанавливать истинные значения токов по периметру (длине окружности) обрабатываемого изделия цилиндрической формы диаметром 140 мм.

Применение одного вращающегося цилиндра Фарадея снижает трудоемкость процесса измерений в многопучковой радиально сходящейся системе. Простота конструкции устройства в изготовлении и обслуживании дает основание для рекомендаций на дальнейшее развитие метода в диагностике пучков заряженных частиц.

Изменяя диаметры коллекторного электрода и соответственно радиально перемещая цилиндр Фарадея, при этом сохраняя остальные конструктивные элементы устройства, в зависимости от условий эксперимента возможно проводить измерения распределения тока в произвольном выбранном сечении пучков электронов. При зазоре между анодом и коллекторным электродом более 10 мм следует вводить в схему источника ускоряющий электрод, а рассеечение пучков проводить по вышеописанной методике, устанавливая перфорированный малыми отверстиями коллектор коаксиально ускоряющему электроду.

Смещая последовательно центры отверстий в коллекторе относительно выделенных осей транспортировки пучков, возможно измерять распределения плотности тока по поперечному сечению пучков, т. е. его структуры. Таким образом, имеются широкие возможности дальнейшего совершенствования метода, а также создания ряда модификаций разработанного устройства.

Список литературы

- [1] Ефремов А.М., Ковальчук Б.М., Крейндель Ю.Е. и др. // ПТЭ. 1987. № 1. С. 167–169.
- [2] Бугаев С.П., Винтизенко Л.Г., Гушенец В.И. и др. // Тез. докл. VII Всесоюз. симпозиума по сильноточной электронике. Томск, 1988. Ч. II. С. 174–176.
- [3] Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. М.: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
- [4] Назаренко О.К., Локшин В.Е., Акопянц К.С. // Электрон. обраб. материалов. 1979. № 1. С. 87–90.