

ЛЕНТОЧНЫЙ РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК В РЕЖИМЕ САМОФОКУСИРОВКИ

Р. А. АКОПОВ, О. Г. АНТАБЛЯН, Е. К. ХАНИКЯНЦ

С целью получения плотной многозарядной плазмы сильноточным релятивистским электронным пучком проведены эксперименты по фокусировке ленточного пучка. Экспериментально достигнута приемлемая фокусировка ленточного пучка свободных электронов с плотностью в фокусе $\sim 0,4$ мА/см². Исследовано поведение инерциально распространяющегося за фокусной плоскостью пучка.

Наряду с такими приложениями как генерирование СВЧ излучения, накачка некоторых типов лазеров, импульсное рентгеновское излучение и т. д. сильноточные релятивистские электронные пучки (РЭП) применяются также для создания высокотемпературной плотной плазмы. Пучки с плотностью мощности $\geq 10^{13}$ Вт/см² предполагается использовать для инициирования реакций управляемого термоядерного синтеза импульсного действия [1]. При более умеренных значениях плотности мощности можно надеяться получить плазму, состоящую из гелио- и неоноподобных ионов.

При создании плотной плазмы сильноточными РЭП качество фокусировки пучка является одним из решающих факторов. В этом направлении достигнуты определенные результаты. В работе [2] сообщается о достижении плотности тока ~ 20 МА/см² за счет сжатия пучка собственным магнитным полем. На том же принципе основана фокусировка пучка в работах [3, 4], где предприняты также попытки для попадания фокуса в заданную точку.

В работах [5, 6] рассматриваются механизмы создания инверсной заселенности уровней многозарядных ионов плотной плазмы для генерирования стимулированного излучения в области длин волн 5—70 нм.

Для проведения экспериментов по стимулированному излучению многозарядных ионов целесообразно создать плазму вытянутой формы, которую можно достичь сфокусированным ленточным РЭП.

В целях создания плотной многозарядной плазмы на ускорителе электронов [7] с током пучка ~ 35 кА, энергией электронов $E_0 = 0,5$ МэВ проводились эксперименты по фокусировке ленточного РЭП.

Сформированный высоковольтный импульс отрицательной полярности подавался на катод 1 со взрывной эмиссией вакуумного диода 2, рис. 1. Катод имел прямоугольную форму с треугольной канавкой в вершине с

шириной 4 мм, угол при вершине канавки составлял 90° , рис. 2. Длина рабочей части катода — 20 мм.

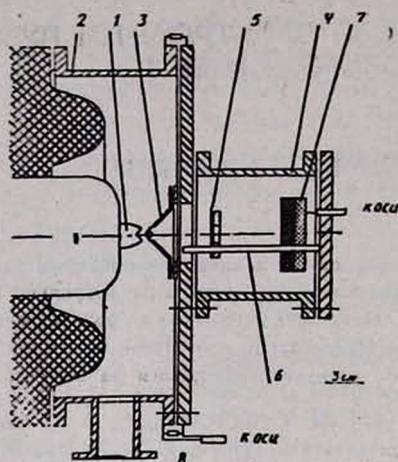


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

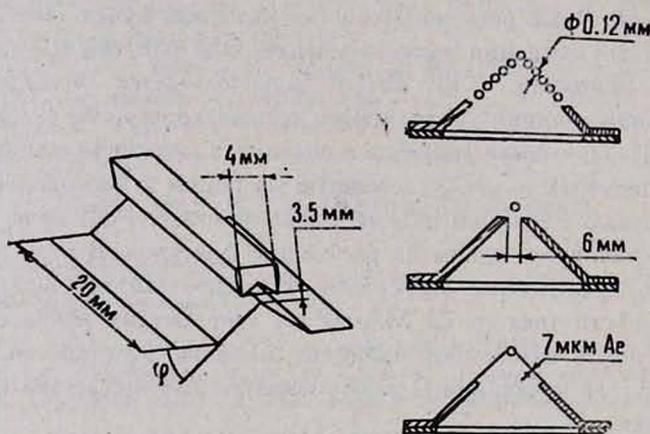


Рис. 2. Конфигурация ускоряющего зазора. Схемы трех типов анодов.

Генерируемый в ускоряющем зазоре пучок электронов выводился через прозрачный анод 3 и инжектировался в дрейфовую камеру 4. Металлическая фольга 5 служила для снятия профиля пучка за анодом и могла с установленным шагом перемещаться по заземленной штанге 6. Общий ток и профиль электронного пучка измерялись секционированным цилиндром Фарадея. 50 секций цилиндров, каждая в виде графитового бруска с размерами $1,5 \times 1,5 \times 5$ мм³, равномерно располагались на поверхности круглого держателя с диаметром 80 мм. Бруски заземлялись сопротивлениями в 5 Ом. Дiodный ток измерялся токовым шунтом 8. Сигналы с цилиндра Фарадея и токового шунта анализировались на осциллографе И2—7.

Исследования по самофокусировке пучка в диоде обычно проводятся при толстом аноде [3, 4], и степень фокусировки контролируется либо по обскуротграммам, снятым в рентгеновских лучах, либо по анализу геометрии откола вещества анода. Однако для экспериментов с многозарядными ионами требуется свободный пучок электронов, сфокусированный на некотором удалении за анодом. Поэтому были проведены предварительные измерения по выбору анода. Были опробованы три типа анодов: 1) проволочный (пропускание 80%); 2) толстый, с выходной щелью; 3) из алюминиевой фольги, рис. 2. В экспериментах по выбору оптимального типа анода измерялись общий ток и контур пучка за анодом. Обработка данных этих измерений показала следующее: проволочный анод является одноразовым, оказывает слабое дефокусирующее воздействие, пропускание по току максимальное; толстый анод пропускает минимальный общий ток, обеспечивает высокое качество фокусировки; фольговый анод является одноразовым с общим током, почти равным току при проволочном аноде (~ 35 кА), не влияет на фокусирующее электрическое поле. Для дальнейших экспериментов был выбран фольговый анод из Al толщиной 7 мкм.

Степень фокусировки пучка оценивалась отношением полного тока к поперечному сечению пучка в данной точке. Сечение пучка определялось зазорами контура прожига алюминиевых фольг, установленных перпендикулярно к направлению распространения пучка. В зависимости от степени фокусировки толщина фольги оптимизировалась таким образом, чтобы фольга прожигалась при плотностях $\geq 0,1 j_{max}$. Поэтому в зависимости от расположения фольги по отношению к фокусной плотности толщина фольги менялась в диапазоне 50—200 мкм. По сравнению с другими теневыми методами анализа РЭП метод прожигания фольг довольно прост и удобен при работе в большом диапазоне плотностей пучков.

Из-за плохой повторяемости параметров пучка конфигурация прожига не была стабильной. Для уменьшения ошибок измерений каждое экспериментальное значение снималось в результате усреднения пяти выстрелов.

В целях выявления влияния металлических фольг на профиль инерциально распространяющегося пучка были проведены контрольные измерения. При этом сравнивались контуры прожигов на заземленной алюминиевой фольге и лавсановой пленке толщиной 100 мкм. Данные этих измерений показали, что в пределах экспериментальных ошибок измерений металлическая фольга не влияет на процесс фокусировки пучка.

В зависимости от угла φ у основания анода (рис. 2) измерялись плотность пучка в фокусе и расстояние от анода. При изменении угла φ расстояние между анодом и катодом всегда поддерживалось равным 3,5 мм. На рис. 3 приведены данные этих измерений. Указанные на графиках ошибки представляют собой среднеквадратичные отклонения пяти измерений для данной точки.

Экспериментальные данные при углах $\geq 70^\circ$ из-за сложности измерений недостаточно точны и поэтому на графиках не приведены. Из графиков видно, что при угле анода $\varphi = 45^\circ$ достигается максимальная плот-

ность пучка $\sim 0,4 \text{ MA/cm}^2$ при почти одновременном максимальном удалении фокусной плоскости от анода, равном 4,5 мм.

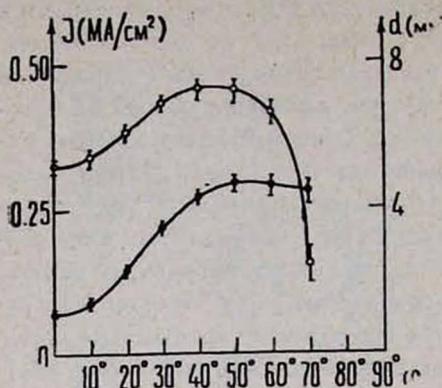


Рис. 3. Зависимости расстояния фокуса анода (d — ●) и плотности тока в фокусе (J — ○) от угла φ .

Вторая серия экспериментов проводилась для исследования деформации инерциально распространяющегося пучка. Измерения проводились с анодом $\varphi = 45^\circ$. Дрейфовая камера диаметром 10 см, установленная сразу за анодом, откачивалась до давлений $\sim 10^{-5}$ Тор. Длина дрейфовой камеры составляла 10 см. Обработка результатов измерений этой серии экспериментов показала, что пучок, сфокусированный на малом расстоянии от анода, в дальнейшем быстро сужается в направлении большого размера и сравнительно медленно расширяется в направлении малого размера. После прохождения некоторого расстояния пучок вновь фокусируется, но уже с меньшей степенью фокусировки, в направлении, перпендикулярном первоначальному. Такой характер поведения пучка, по-видимому, можно объяснить так называемым временем реакции пучка на собственное магнитное поле. Существование такой задержки реакции косвенно зарегистрировано, например, в [5].

Для сравнения эффективности фокусировки выбранной конфигурации ускоряющего зазора с данными других работ были проведены контрольные измерения с катодом в виде полого конуса с основанием 4 мм и коническим анодом с углом $\varphi = 45^\circ$ у основания. Данные этих измерений выявили хорошую степень фокусировки пучка на расстоянии 4,5 мм от вершины анода. При этом плотность тока достигала 8 MA/cm^2 , что означает 200-кратное увеличение плотности пучка. Сравнением этого параметра с данными работ [3, 4] можно констатировать достижение удовлетворительной фокусировки свободного пучка электронов за анодом при выбранной конфигурации ускоряющего зазора, как круглого, так и ленточного пучка электронов.

НИИ физики конденсированных
сред ЕГУ

Поступила 9. I. 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Рудаков, А. А. Самарский. Материалы VI Европейской конференции по управляемому термоядерному синтезу, М., 1973.

2. P. Glad et al. Appl. Phys. Lett., 34, 731 (1979).
3. Б. А. Демидов и др. ЖТФ, 48, 2528 (1978).
4. P. A. Miller et al. Phys. Rev. Lett., 35, 940 (1975).
5. V. A. Bagavatula. J. Appl. Phys., 47, 4535 (1976).
6. A. V. Vinogradov et al. J. de Physique, 39, 61 (1978).
7. О. Г. Антаблян, Е. К. Ханикянц. Тезисы докладов II конференции молодых ученых района 26 Комиссаров г. Еревана, 1980.

ԺԱՊԱՎԵՆԱՅԻՆ ՌԷՓ-Ը ԻՆՔՆԱՅՈՒՆՈՒՍԱՑՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ

Ռ. Ա. ՀԱԿՈՐՈՎ, Օ. Գ. ԱՆԹԱՐԼՅԱՆ, Ե. Կ. ԽԱՆԻԿՅԱՆՑ

Քննարկվում է ֆոկուսացված ՌԷՓ-երի օգտագործման հնարավորությունը 5—70 նմ ալիքի նրկարությունների տիրույթում բազմալիցք իոնների մակարդակների ինվերս բնակեցվածություն ստեղծելու համար: Փորձնականորեն ստացված է ազատ էլեկտրոնների ժապավենային փնչի բավարար ֆոկուսացում: Փնչի խտությունը կիզակետում $\sim 0,4$ ՄԱ/սմ² է: Ուսումնասիրված է կիզակետային հարթություններից հետո իներցիայով տարածվող փնչի վարքագիծը:

TAPE REB IN THE SELF-FOCUSING REGIME

R. A. AKOPOV, O. G. ANTABLIAN, E. K. KHANKIANTS

The possibility of using the focused REB for the formation of inverse populations of multicharged ion levels in the region of wavelengths 5—70 nm is discussed. The focusing of tape beam of free electrons with density at the focus 0,4 MA/cm² is achieved experimentally. The propagation of the beam behind the focal plane is investigated.