

10

ФОРМИРОВАНИЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ТРУБЧАТОГО РЭП МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ КОНИЧЕСКОГО ВЗРЫВОЭМИССИОННОГО КАТОДА

А.Ф. Александров, В.Л. Веснин,
С.Ю. Галузо

Для построения мощных сильноточных устройств релятивистской СВЧ электроники требуются, как правило, тонкостенные трубчатые электронные пучки со стабильными пространственно-временными характеристиками [1]. Для их формирования обычно используются коаксиальные магнитоизолированные диоды со взрывоэмиссионными катодами. Как известно, нестабильность характеристик РЭП в этом случае может быть вызвана развитием диокотронной неустойчивости. Так как инкремент развития этой неустойчивости пропорционален плотности электронов пучка, то стабилизировать ее можно, несколько увеличив начальную толщину стенки РЭП. Для управления толщиной стенки трубчатого пучка используются катоды с конической эмиттирующей поверхностью [2, 3]. Этот метод позволил авторам работы [3] в режиме коротких импульсов ($\tau \approx 40$ нс) получить достаточно однородное распределение плотности тока трубчатого пучка по толщине стенки ($d = 4$ мм) и наблюдать устойчивую транспортировку РЭП в длинном вакуумном канале.

Следует отметить, что при коротких импульсах РЭП ($\tau \sim 10$ нс) геометрия эмиттирующей поверхности взрывоэмиссионного катода однозначно определяется его формой. Для РЭП микросекундного диапазона длительностей может оказаться существенным искажением начальной формы эмиттирующей поверхности взрывоэмиссионного катода за счет разлета катодной плазмы [4, 5]. В связи с этим в настоящей работе ставилась задача выяснения особенностей формирования микросекундных сильноточных трубчатых РЭП с увеличенной толщиной стенки с помощью взрывоэмиссионных катодов с конической эмиттирующей поверхностью.

Эксперименты проводились на СЭУ „Тандем-1” [6] при ускоряющем напряжении 400 кВ, токе пучка 1.8 кА, длительности импульса РЭП до 5 мкс. Использовался графитовый катод с конической эмиттирующей поверхностью (рис. 1,а) с толщиной стенки $d_0 = 3$ мм и наружным диаметром $D = 48$ мм. Угол α между осью системы и образующей конической поверхности подбирался экспериментально. В канале транспортировки пучка (труба диаметром 9.1 см) создавалось однородное продольное магнитное поле $B_0 = 5 \dots 22$ кГс. Неоднородность магнитного поля в катодной области в пределах 14 см от кромки катода в сторону дрейфовой трубы не превышала 10%. Величина магнитного поля на катоде B_k состав-

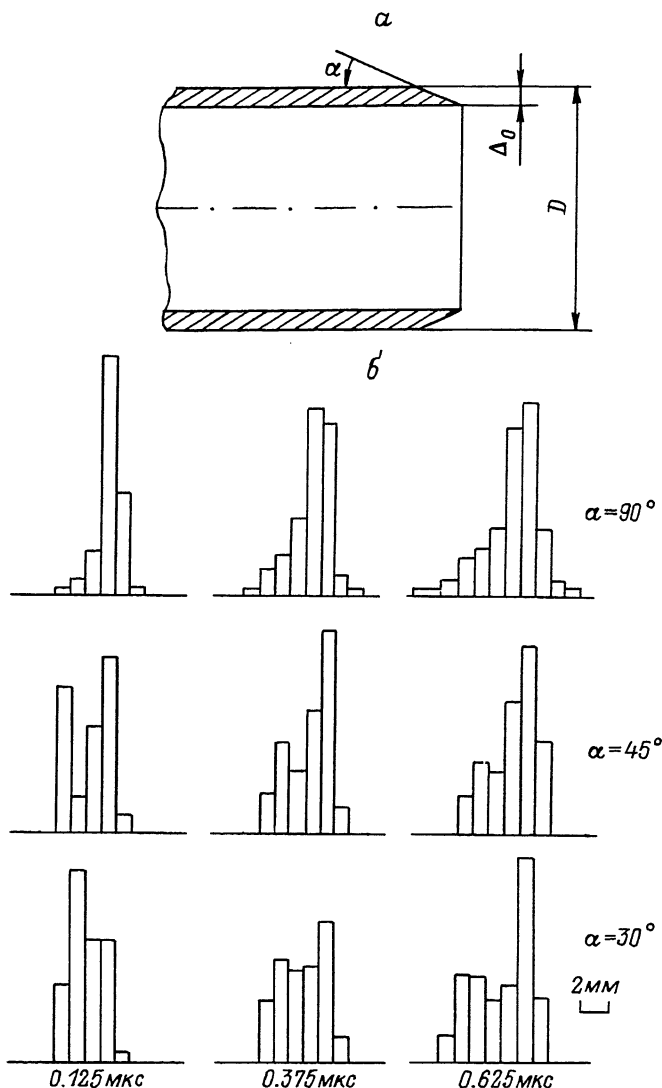


Рис. 1. Результаты экспериментов с графитовым катодом: а) графитовый катод с конической эмиттирующей поверхностью; б) гистограммы распределения плотности тока по радиусу в различные моменты времени для катодов с $\alpha = 90^\circ$, 45° , 30° при $\mathcal{E}_k = 13.4$ кГс и расстоянии катод-коллектор $L = 40$ см.

ляла 0.6 В₀. Давление в канале транспортировки не превышало $(3...5) \cdot 10^{-5}$ Тор.

Для регистрации распределения плотности тока использовался секционированный коллектор, аналогичный описанному в работе [7], который представлял собой систему из двенадцати графитовых ламелей, расположенных со сдвигом по радиусу 1 мм за графитовой диафрагмой с радиальной щелью шириной ≈ 2 мм. Ток с каждой графитовой ламели регистрировался. Эти сигналы усреднялись по пяти импульсам. При азимутально симметричных системах формирования и транспортировки пучка и возможной азимутальной неоднородности РЭП указанное усреднение по различным импульсам эквивалентно усреднению пространственного распределения плотности тока РЭП по азимуту. По усредненным осциллограммам строились гистограммы радиального распределения плотности тока РЭП в различные моменты времени. Момент $t = 0$ соответствовал достижению импульсом ускоряющего напряжения значения $1/2$ от максимального.

На рис. 1,б приведены гистограммы радиального распределения плотности тока РЭП для катодов с углом $\alpha = 90^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ при магнитном поле в канале транспортировки 21.4 кГс и расстоянии катод-коллектор $L = 40$ см. Видно, что у катода с углом $\alpha = 90^\circ$ в основном эмиттирует наружная кромка. У катода с $\alpha = 45^\circ$ плотность тока с внутренней кромки несколько выше, но преобладает эмиссия с наружной. Распределение плотности тока для катода с $\alpha = 30^\circ$ оказалось наиболее однородным.

Анализ изменения распределения плотности тока с течением времени (для катода с $\alpha = 30^\circ$) показывает, что непосредственно после подачи импульса ускоряющего напряжения начинает эмиттировать острая внутренняя кромка катода, где наиболее велика напряженность электрического поля. Примерно через 0.1...0.15 мкс, по мере образования новых эмиссионных центров и распространения плазмы на всю коническую поверхность катода, распределение плотности тока становится относительно равномерным и остается таким в течение приблизительно 0.5 мкс. При этом формируется пучок с толщиной стенки $\Delta = 4$ мм. Через 0.6...0.7 мкс после начала импульса РЭП разлет катодной плазмы приводит к тому, что эмиттирующая поверхность существенно искажается, максимум плотности тока смещается в сторону наружной кромки катода и эмиттируемый на следующих стадиях пучок мало отличается от пучков, эмиттируемых тонкостенным ($\Delta_0 = 0.5$ мм) катодом и катодом с $\alpha = 90^\circ$ с наружными диаметрами 48 мм на ранних стадиях формирования.

В отличие от тонкостенного РЭП (для катода с $\alpha = 90^\circ$), когда изменение магнитного поля на катоде B_k от 14 кГс до 7 кГс практически не влияет на радиальное распределение плотности тока вблизи катода ($L = 40$ см), для пучка, эмиттируемого катодом с конической ($\alpha = 30^\circ$) поверхностью, такое изменение магнитного поля в катодной области оказывается существенным. Как видно из гистограмм, приведенных на рис. 2, с уменьшением магнитного поля формирование равномерного распределения плотности тока происходит в более поздние моменты времени и, кроме того, оно существует в течение более короткого временного интервала.

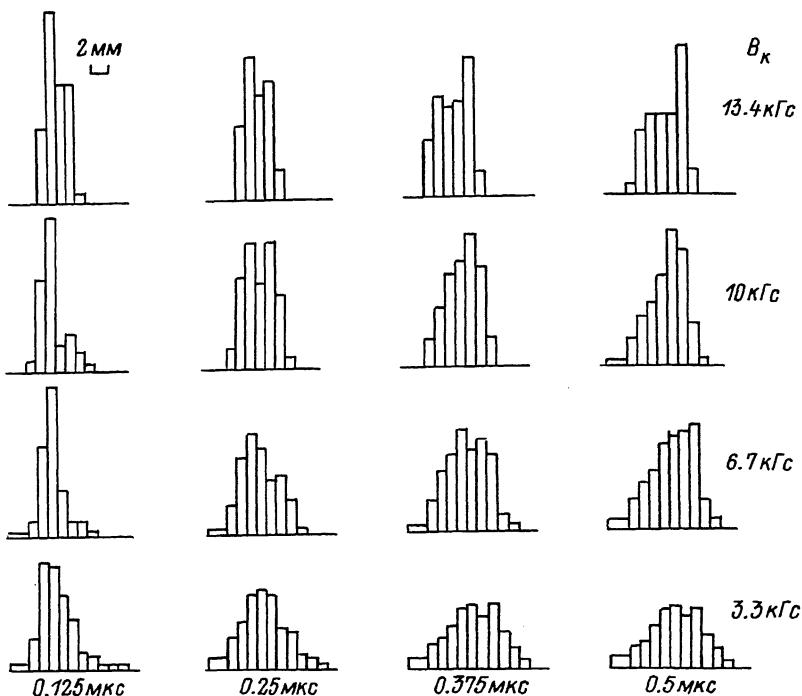


Рис. 2. Изменение радиального профиля РЭП в различные моменты времени в зависимости от величины продольного магнитного поля на катоде B_k при расстоянии катод-коллектор $L = 40$ см.

Необходимо отметить, что „автографы“ пучка с начальной толщиной около 1.5 мм, формируемого графитовым катодом с $\alpha = 90^\circ$, при увеличении расстояния катод-коллектор до 95 см и снижении магнитного поля до 10.7 кГс показывают значительный рост средней толщины стенки РЭП и характерное для диокотронной неустойчивости разбиение пучка на струи. Эксперименты на РЭП с увеличенной начальной толщиной ($\Delta = 4$ мм), транспортирующемся в тех же условиях, показали, что он практически не изменяется при увеличении длины дрейфового канала с 40 до 95 см в диапазоне магнитных полей 10...20 кГс.

Таким образом, взрывоэмиссионный катод с конической эмиттирующей поверхностью пригоден для формирования РЭП с увеличенной начальной толщиной стенки ($\Delta = 4$ мм) и близким к однородному распределением плотности тока по радиусу при длительнос-

ти импульса по крайней мере до 0.5 мкс. При больших временах разлет катодной плазмы приводит к перераспределению тока в поперечном сечении РЭП и формированию тонкостенного трубчатого пучка с толщиной стенки около 1.5 мм, диаметр которого определяется диаметром внешней границы плотной катодной плазмы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Александров А.Ф., Галузо С.Ю., Зайцев Н.И., Кошелев В.И., Стрелков П.С., Федотов А.В., Шкварунец А.Г., Шмелев М.Ю., Энгелько В.И. // В сб.: Релятивистская высокочастотная электроника. Горький, ИПФ АН СССР, 1988. В. 5. С. 163-182.
- [2] Гром Д.Ю., Нечаев В.Е., Офицеров М.М., Сергеев А.С., Фукс М.И. // Тез. докл. 1У Всесоюз. симп. по сильноточной электронике. Томск, ИСЭ АН СССР, 1982. Ч. 1. С. 163-166.
- [3] Стрелков П.С., Федотов А.В., Шкварунец А.Г. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 2. С. 375-377.
- [4] Александров А.Ф., Галузо С.Ю., Михеев В.В., Плетюшкин В.А., Суходольский В.Н. // ЖТФ. 1982. Т. 52. Вып. 1. С. 110-111.
- [5] Александров А.Ф., Воронков С.Н., Галузо С.Ю., Михеев В.В., Стрелков П.С., Шкварунец А.Г. // Физика плазмы. 1988. Т. 14. В. 11. С. 1388-1392.
- [6] Александров А.Ф., Галузо С.Ю., Канавец В.И., Плетюшкин В.А., Слепков А.И. // ЖТФ. 1980. Т. 50. Вып. 11. С. 2381-2389.
- [7] Воронков С.Н., Лоза О.Т., Раваев А.А., Стрелков П.С., Хоменко А.И. // Физика плазмы. 1988. Т. 14. Вып. 10. С. 1259-1262.

Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
26 июля 1989 г.