

04;09;10;12

## Металлодиэлектрический катод в высокочастотной электронной пушке

© Н.И. Айзацкий, Е.З. Биллер, В.А. Кушнир,  
В.В. Митроченко, И.В. Ходак, В.Ф. Жигло

Национальный научный центр  
"Харьковский физико-технический институт"

Поступило в Редакцию 6 мая 1998 г.

Впервые экспериментально исследована возможность использования металлодиэлектрических катодов в высокочастотных пушках линейных резонансных ускорителей электронов десятисантиметрового диапазона. Описаны результаты расчетов и разработки опытного образца катода. Приведены результаты экспериментального исследования режимов работы высокочастотной пушки. На выходе пушки получен пучок с энергией частиц более 300 keV, с длительностью импульса тока 40–50 ns и импульсным током 3.5–4.5 А.

В высокочастотных (ВЧ) электронных пушках катод располагается в объемном резонаторе и эмиссия электронов происходит под действием высокочастотного электрического поля [1]. Эти устройства нашли широкое применение в линейных резонансных ускорителях электронов с высокой яркостью пучка. Традиционно применяемые термо- и фотоэмиссионные катоды позволяют получать пучки длительностью от  $10^{-6}$  до  $10^{-12}$  s. Получение на выходе ВЧ пушек с фотоэмиссионным катодом электронных пучков нано- и пикосекундной длительности требует использования сложных лазерных систем с соответствующей длительностью лазерного излучения [2,3]. В связи с этим изучение возможности использования в ВЧ пушках альтернативных типов катодов для получения интенсивных пучков с длительностью импульса  $10^{-9}$ – $10^{-8}$  s представляет несомненный интерес. Одним из возможных типов катодов для решения этой задачи является металлодиэлектрический катод [4–7], исследование которого в сверхвысокочастотных (с.в.ч.) полях значительной напряженности и является предметом настоящей работы.

Исследуемый катод 1 (рис. 1) представляет собой систему из диэлектрического и металлического цилиндров. В качестве материала диэлектрика 4 использовался фторопласт. Металлическая часть катода 5

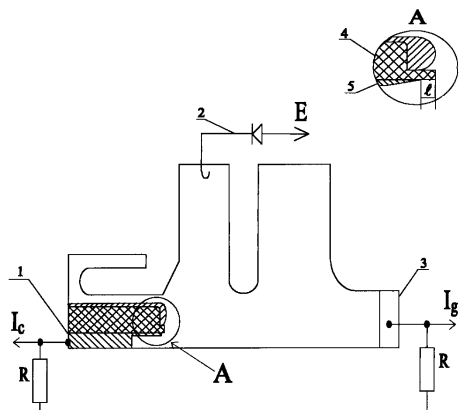


Рис. 1.

представляет собой медный цилиндр с внешним диаметром 4 mm, имеющий коническое заострение с толщиной цилиндра на торце  $\sim 20 \mu\text{m}$ . В экспериментах нами использовалась резонансная система высокочастотной электронной пушки исследовательского линейного ускорителя ЛИК [3], которая состоит из двух связанных через центральное отверстие  $E_{010}$  резонаторов. Рабочая частота пушки — 2797.15 MHz. Полное описание пушки приведено в [8].

На первом этапе подготовки эксперимента был проведен комплекс расчетов с целью определения влияния металлодиэлектрического катода на добротность  $Q$ , собственную частоту  $f_0$  и распределение продольного электрического поля в резонансной системе ВЧ пушки. Расчеты проводились с использованием программы SUPERFISH [9]. Показано, что при  $l = 0.5 \dots 1.5 \text{ mm}$  и диаметрах диэлектрического цилиндра 3 и 4 mm внесение диэлектрика с  $\text{tg } \delta = 10^{-4} \dots 10^{-2}$  и  $\varepsilon = 1 \dots 12$  не оказывает существенного влияния на добротность ( $\Delta Q/Q = 10^{-2}$ ) и собственную частоту ( $\Delta f_0/f_0 = 10^{-5}$ ) резонатора пушки. Длина разрядного промежутка была принята равной 1 mm, что соответствует напряженности поля в плоскости катода  $\cong 6.0 \text{ MV/m}$  при максимальной напряженности поля на оси резонатора 30 MV/m.

В экспериментах измерялся ток с металлического цилиндра  $I_c$  и ток на выходе пушки  $I_g$  (рис. 1). Последняя величина определялась с помощью индукционного измерителя тока 3. Для наблюдения сигнала  $E$ , пропорционального напряженности поля, использовался индуктивный зонд и с.в.ч. детектор 2. Регулировка амплитуды поля в резонаторе

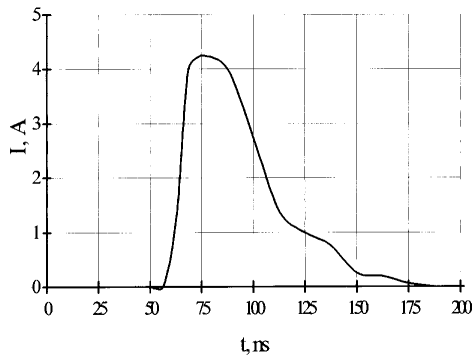


Рис. 2.

осуществлялась путем изменения подаваемой в резонатор с.в.ч. мощности  $P_c$  в пределах  $0.1 \div 1.5$  MW. Напряженность электрического поля определялась из выражения  $E_c(\text{V/m}) = 342\sqrt{P_c(\text{W})Q_0}$  [8]. Длительность с.в.ч. импульса составляла  $2 \mu\text{s}$ .

Результаты экспериментов, проведенных с двумя катодами, сводятся к следующему. По мере накопления с.в.ч. мощности в резонаторе пушки наблюдалось увеличение импульсного сигнала  $I_c$  положительной полярности. Его амплитуда экспоненциально зависит от величины напряженности поля. Последнее свидетельствует о том, что в предразрядной стадии с заостренного металлического цилиндра происходит автоэмиссия. При достижении напряженности поля в резонаторе  $25\text{--}30$  MV/m амплитуда тока  $I_c$  скачкообразно увеличивалась примерно в 20 раз и достигала 18 А. На выходе пушки амплитуда и длительность импульса тока составляла  $6\text{--}8$  А и  $30\text{--}50$  ns соответственно.

С течением времени ( $\approx 8 \cdot 10^4$  импульсов) режим работы катода переходил в качественно иную фазу. При том же значении напряженности поля в ВЧ пушке сигнал  $I_c$  оставался положительным только до момента начала разряда, причем амплитуда этого предпробойного тока не превышала 1 А. После начала разряда полярность этого сигнала становилась отрицательной до окончания высокочастотного импульса. На выходе пушки (рис. 2) импульсный ток имел амплитуду  $3.5\text{--}4.5$  А и длительность  $40\text{--}60$  ns. По-видимому, в этом режиме автоэмиссионный ток с заостренной металлической части катода не является основным источником электронов. Оценка энергии электронов (более 300 keV) на выходе ВЧ пушки была проведена из анализа степени захвата частиц в

процесс ускорения в основной части ускорителя (см. [3]). В описанном режиме пушка работала более 5 h при частоте следования импульсов 12.5 Hz без видимых изменений характеристик тока на ее выходе.

В обоих случаях, описанных выше, нестабильность амплитуды тока и временная нестабильность не превышали 15% и  $\pm 5$  ns соответственно. В течение разряда происходит практически полное поглощение запасенной с.в.ч. мощности, при этом амплитуда поля спадала к нулю и оставалась таковой до окончания с.в.ч. импульса. Последнее свидетельствует о расстройке резонатора в течение времени  $2 \mu\text{s}$ , существенно превышающем время разряда  $\sim 50$  ns. Очевидно, что пушка работает в режиме запасенной энергии, поскольку длительность импульса тока  $\tau \ll Q/\pi f_0$ . При этом длительность импульса тока на выходе определяется скоростью нарастания разряда и величиной запасенной в резонаторе энергии.

Таким образом, экспериментально показана принципиальная возможность использования металлодиэлектрического катода в высокочастотной электронной пушке для получения интенсивного пучка наносекундной длительности. Вместе с тем следует заметить, что работа над выяснением механизма эмиссии электронов с металлодиэлектрического катода в высокочастотных полях значительной напряженности далеко не завершена. Этот вопрос требует всестороннего изучения и является предметом дальнейших исследований.

## Список литературы

- [1] *Travier C.* // RF-guns: review, SERA/90-219/RFG, RFG Note 07. LAL, 1990.
- [2] *Travier C.* // Proceedings of the Fourth European Particle Accelerator Conference. World Scientific Published Co. Pte. Ltd., 1994. V. 1. P. 317–321.
- [3] *Айзацкий Н.И., Биллер Е.З., Борискин В.Н.* и др. // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 7, 8. С. 671–673.
- [4] *Бугаев С.П., Искольдский А.М., Месяц Г.А.* // ЖТФ. 1967. Т. 37. В. 10. С. 1855–1860.
- [5] *Месяц Г.А., Фурсей Г.Н.* Ненакаливаемые катоды. М.: Сов. радио, 1974. С. 287–292.
- [6] *Высоцкий С.А., Павлычев Ю.Ф., Першин В.И.* // Труды XII Всесоюз. совещания по ускорителям заряженных частиц. 1990. Т. 2. С. 11–15.
- [7] *Балагура В.С., Сафронов Б.Г., Черенчиков С.А.* // ВАНТ. Сер.: Ядерно-физические исследования (теория и эксперимент). 1992. В. 4(25). С. 48–51.
- [8] *Айзацкий Н.И., Биллер Е.З., Довбня А.Н.* и др. // ПТЭ. 1997. № 1. С. 34–38.
- [9] *Billen J.H., Young L.M.* // Proceedings of the 1993 Particle Accelerator Conference. 1993. V. 2. of 5. P. 790–792.