

04;10;12

Получение сильноточных электронных пучков во взрывоэмиссионном диоде при давлении газа $\sim 10^{-2}$ – 10^{-1} Torr

© Э.Н. Абдуллин, Г.П. Баженов, Е.Ф. Балбоненко, С.Э. Кунц

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск
Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург

Поступило в Редакцию 18 апреля 1997 г.

Приводятся данные по получению электронных пучков с энергией электронов ~ 200 keV, током ~ 100 А и более в диоде со взрывоэмиссионным катодом в диапазоне давлений остаточного газа $\sim 10^{-2}$ – 10^{-1} Torr. Реализованы режимы разряда с длительностью высоковольтной стадии до 500–800 ns при давлении 10^{-2} Torr и 80 ns при 10^{-1} Torr. Длительность электронного пучка за титановой фольгой толщиной 50 μm составляла 200 и 40 ns соответственно и ограничивалась пропускной способностью фольги.

Интерес к получению сильноточных электронных пучков при давлении остаточного газа $p \sim 10^{-2}$ – 10^{-1} Torr обусловлен стремлением к расширению области рабочих давлений вакуумного диода, возможностями существенного упрощения вакуумной системы и конструкции электронного ускорителя.

Как правило, электронные пучки, получаемые в данном диапазоне давлений, имеют относительно малую длительность импульса тока $\sim 10^{-8}$ s [1]. Причиной ограничения длительности пучка являются пробой диода, приводящие к зажиганию в межэлектродном промежутке низковольтного дугового разряда. Формирование пробоев связывают с появлением плазмы в межэлектродном зазоре в результате ионизации остаточного газа электронным пучком, зажиганием в вакуумной камере ускорителя газового разряда [2–4]. Ограничение длительности электронных пучков затрудняет их использование, ведет к усложнению конструкции генератора импульсов.

В настоящей работе приведены результаты исследования возможности затягивания высоковольтной стадии разряда во взрывоэмиссионном диоде при давлении остаточного газа $p \sim 10^{-2}$ – 10^{-1} Torr и увеличения за счет этого длительности генерируемых электронных

пучков. Очевидно, что появление плазмы в межэлектродном зазоре не означает еще зажигания дугового разряда и прекращения генерации пучка. Оценки показывают, что после появления плазмы проводимость межэлектродного промежутка не возрастает слишком сильно, в связи с чем существует возможность удерживать напряжение на диоде на уровне, значительно превышающем напряжение горения дуги, и, таким образом, затруднить переход разряда в дуговую стадию. Увеличения длительности высоковольтной стадии разряда и соответственно длительности генерируемых электронных пучков предполагалось достичь в результате применения электродов из материалов, характеризующихся малой скоростью образования плазмы, принятия мер по уменьшению скорости спада напряжения на межэлектродном промежутке (ограничение площади эмиссионной поверхности и уменьшение потерь тока, обеспечение достаточной мощности и энергозапаса источника питания) [5,6].

Эксперименты были выполнены с использованием двух генераторов Аркадьева–Маркса с выходным напряжением до 300 кВ, емкостью в ударе $C = 17$ нФ и 330 пФ, волновым сопротивлением разрядного контура $\rho = 20$ и 140Ω соответственно. Использовались катоды с плоской эмитирующей поверхностью площадью $S_e = 0.2$ и 9.6 см^2 из карботекстима, латуни, залуженной свинцовым припоем, вольфрама. Для защиты неэмитирующих участков катода и катододержателя от зажигания газового разряда и уменьшения утечек тока использовались керамические трубки. Материал анода — графит, дюралюминий. Длина межэлектродного зазора d изменялась от 8 до 170 мм. О энергетическом спектре электронов в диоде судили по результатам измерения доли электронного тока, прошедшего на коллектор в вакууме через окно в аноде сечением $S_w = 350 \text{ см}^2$ с геометрической прозрачностью $k = 100\%$, закрытое титановой фольгой толщиной $50 \mu\text{м}$. В ряде экспериментов использовалось окно $S_w = 64 \text{ см}^2$ и $k = 38\%$, при этом электронный пучок выводили в атмосферу.

На рис. 1, а приведены осциллограммы напряжения на диоде U , тока коллектора электронного пучка I_c , тока I_w , поступившего на окно $S_w = 350 \text{ см}^2$, полученные при подаче импульса от генератора $C = 17$ нФ при давлении $p = 10^{-2}$ Торр. Видно, что длительность высоковольтной стадии разряда τ значительно превышает 10^{-7} с, при этом генерация электронного пучка не прекращается и на нарастающем токе в диоде. Максимальная длительность высоковольтной стадии составляет 500–800 нс при $p = 10^{-2}$ Торр и ~ 80 нс при $p = 10^{-1}$ Торр

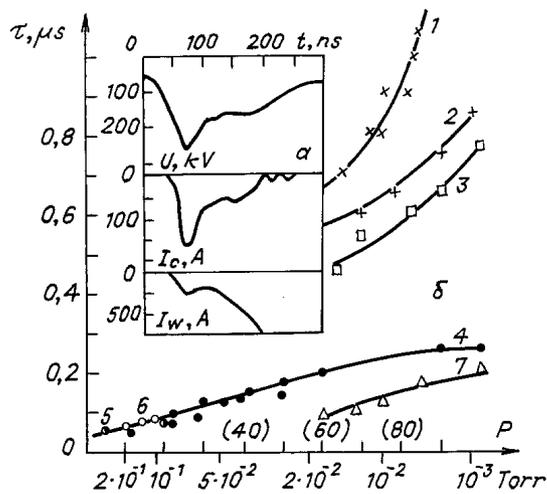


Рис. 1. Осциллограммы U , I_c , I_w при $S_e = 0.2 \text{ cm}^2$ и $d = 125 \text{ mm}$ (а) и зависимости (б) длительности высоковольтной стадии τ от давления p (значения в скобках соответствуют делениям шкалы термометрического вакуумметра); $C = 17 \text{ nF}$ (1–3) и 330 pF в частотном (4–6) и однократном (7) режимах; $S_e = 9.6 \text{ cm}^2$ (3) и 0.2 cm^2 в остальных случаях; $d = 170$ (1, 5, 6), 15 (4), 12 (2, 7) и 8 (3) mm; материал катода латунь (1, 5), карботекстим (2–4, 7), вольфрам (6).

(рис. 1, б). При давлениях $p \sim 10^{-2} \text{ Torr}$ и более τ слабо зависит от межэлектродного расстояния и площади эмиссионной поверхности катода, материала электродов. Имеет место тренировка разрядного промежутка: после подачи на диод ~ 50 – 100 импульсов от генератора $C = 17 \text{ nF}$ длительность высоковольтной стадии увеличивается на 10–20%. Включение генератора $C = 330 \text{ pF}$ в импульсно-периодическом режиме с частотой 240 Hz приводит к увеличению τ примерно вдвое.

Установлено, что генерация электронного пучка в диоде имеет место во всем диапазоне давлений от $5 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-1} \text{ Torr}$. При $p = 10^{-2} \text{ Torr}$ длительность импульса тока пучка I_c на коллектор достигала 200 ns , при $p = 10^{-1} \text{ Torr}$ — 40 ns , при $p = 5 \cdot 10^{-1} \text{ Torr}$ — 20 ns . Отсечка тока коллектора наблюдается при напряжении на промежутке катод–анод ~ 130 – 140 kV , когда прохождение электронов сквозь фольгу становится невозможным.

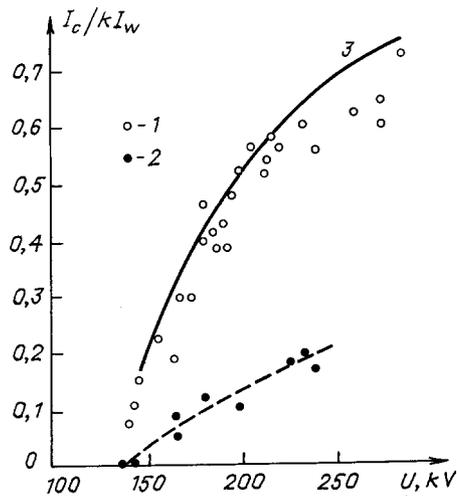


Рис. 2. Значения I_c/kI_w , полученные при использовании окна сечением 350 cm^2 (1) и 65 cm^2 (2), и зависимость коэффициента пропускания титановой фольги толщиной $50 \mu\text{m}$ по числу частиц (3) от напряжения на диоде по данным [7].

На рис. 2 приведены значения отношения тока коллектора I_c к току kI_w , поступающему на фольгу окна сечением $S_w = 350 \text{ cm}^2$ (1) и 65 cm^2 (2), рассчитанные из осциллограмм, зарегистрированных при различных давлениях остаточного газа. В случае окна $S_w = 350 \text{ cm}^2$ использовались осциллограммы, полученные при давлениях $p = 5 \cdot 10^{-5} - 10^{-2} \text{ Torr}$, во втором случае $p = 5 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-2} \text{ Torr}$. Для оценки изменений энергетического спектра в течение импульса при использовании окна $S_w = 350 \text{ cm}^2$ значения I_c/kI_w рассчитывались для различных моментов времени протекания тока коллектора, в случае окна $S_w = 65 \text{ cm}^2$ — только для момента, соответствующего максимуму напряжения на диоде. Видно, что в обоих случаях доля тока пучка, прошедшего через фольгу на коллектор, определяется только напряжением на диоде. Изменения давления остаточного газа, а также времени протекания тока, не влияют на величину доли тока пучка, прошедшего на коллектор. Это позволяет считать, что электронный ток в высоковольтной стадии разряда при увеличении давления газа

по крайней мере до $p = 3 \cdot 10^{-2}$ Торр, как и в вакуумном диоде при $p \sim 10^{-4}$ – 10^{-5} Торр, переносится пучком электронов с энергией, соответствующей приложенному к диоду напряжению. Полученные значения I_c/kI_w (I) хорошо соответствуют теоретической кривой (3) коэффициента пропускания фольги по числу частиц [7]. Наблюдаемые отклонения I_c/kI_w от теоретических значений при использовании окна $S_w = 65 \text{ cm}^2$ обусловлены его в действительности меньшей прозрачностью по сравнению с геометрической, рассеянием электронов пучка при движении в газе, отражением части пучка и вторичной эмиссией с поверхности коллектора.

Таким образом, продемонстрирована возможность затягивания высоковольтной стадии разряда во взрывоэмиссионном диоде при давлении газа $\sim 10^{-2}$ – 10^{-1} Торр. Показано, что электронный ток в высоковольтной стадии переносится электронным пучком. Энергия электронов пучка определяется напряжением на диоде, как и при давлении остаточного газа $\sim 10^{-4}$ – 10^{-5} Торр.

Список литературы

- [1] Kotov Y.A., Mesyats G.A., Korzhenevskii S.R., Motovilov V.A., Rukin S.N., Scotnikov V.A., Filatov A.L. // Abstract book 10th IEEE Intern. Pulsed Power Conf. Albuquerque, New Mexico, 1995. P. 2–70.
- [2] Иванова Н.С., Ульянов К.Н. // Радиотехника и электроника. 1972. № 9. С. 1920–1926.
- [3] Шевцова И.Н., Крейндель Ю.Е. // Изв. вузов. Физика. 1976. № 11. С. 65–68.
- [4] Завьялов М.А. // Электронная обработка материалов. 1972. № 4 (46). С. 56–61.
- [5] Abdullin E.N., Bazhenov G.P., Chesnokov S.M. et al. // Proc. 16th Intern. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. Moscow; St. Petersburg, 1994. P. 239–242.
- [6] Абдуллин Э.Н., Баженов Г.П., Ерохин Г.П. и др. // Изв. вузов. Физика. 1994. № 3. С. 83–99.
- [7] Николаев В.Б. // ЖТФ. 1976. Т. 46. В. 7. С. 1555–1556.