

УДК 537.533.79

DOI: 10.17223/00213411/62/6/68

*М.И. ЛОМАЕВ<sup>1,2</sup>, В.Ф. ТАРАСЕНКО<sup>1,2</sup>, А.В. ДЯТЛОВ<sup>2</sup>***КУМУЛЯЦИЯ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ВЫСОКОВОЛЬТНОМ РАЗРЯДЕ В ДИОДЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ\***

Приведены результаты экспериментального исследования эффекта кумуляции пучка убегающих электронов, формируемых в высоковольтном наносекундном разряде при пониженном давлении воздуха. Оптимальные условия эффекта в разрядном промежутке с геометрией трубчатый катод – заземленный плоский анод достигались при давлении воздуха  $\approx 5$  Па и межэлектродном расстоянии 2.75 мм. С высоким (примерно до 80 пс) временным разрешением зарегистрирован импульс тока пучка электронов за плоским анодом, выполненным из фольги. Установлено, что вследствие указанного эффекта в фольге из алюминия толщиной 20 мкм после 2–3 импульсов разряда формируется сквозное отверстие. Из полученных результатов следует, что энергия электронов второй части импульса тока пучка меньше энергии электронов первой части импульса.

**Ключевые слова:** эффект кумуляция пучка электронов, убегающие электроны, высоковольтный наносекундный разряд.

**Введение**

Явление кумуляции релятивистских электронных пучков (РЭП) известно давно [1]. Данный эффект наблюдался при токах, превышающих ток Альфвена:  $I_A = 17\beta\gamma$ , где  $\beta = v/c$ ;  $\gamma = 1/(1-\beta^2)^{1/2}$  – релятивистский фактор;  $v$  – скорость электронов пучка;  $c$  – скорость света. В экспериментах с РЭП токи пучка обычно составляли 100–200 кА и значительно превышали ток Альфвена ( $\sim 20$  кА). Было установлено, что пучок фокусируется собственным магнитным полем, при этом важную роль играет плазма, образующаяся в катод-анодном промежутке [1]. С другой стороны, известно, что неоднородности плотности тока в условиях вакуумного пробоя приводят к эрозии анода при токах менее 500 А [2, 3].

В последние годы возрос интерес к изучению филаментации и самофокусировки электронных пучков в вакуумных и газовых диодах при сравнительно малых токах ускорителей электронов ( $\sim 1$  кА) [4–9]. Особенностью таких экспериментов является то, что токи в ускорителях были значительно меньше тока Альфвена. Однако в ряде работ при длительности импульсов напряжения в десятки-сотни наносекунд наблюдалось появление отверстий в толстых фольгах [6, 9]. При длительности импульса напряжения в единицы наносекунд исследования самофокусировки электронных пучков проводились ранее только для газовых диодах с давлениями сотни-тысячи паскалей [4, 9]. В этих условиях существенного повреждения фольги не наблюдалось.

Цель данной работы – исследовать влияние давления воздуха на кумуляцию электронного пучка при длительности импульса напряжения единицы наносекунд и определить условия, при которых наблюдается максимальное повреждение фольги.

**Экспериментальная аппаратура и методики измерений**

При проведении экспериментов использовался высоковольтный импульсный генератор РАДАН-220 [10], к которому был подключен газовый диод. Конструкция газоразрядной камеры и схема регистрации электрических параметров разряда приведены на рис. 1. Генератор формировал импульсы напряжения отрицательной полярности амплитудой в падающей волне примерно до 120 кВ, длительностью на полувысоте на согласованной нагрузке и длительностью фронта импульса соответственно  $\approx 2$  и  $\approx 0.5$  нс. Энергозапас формирующей линии генератора составлял  $\approx 2$  Дж. Импульс напряжения подавался от генератора на электроды газоразрядной камеры посредством передающей линии 1. Разряд возбуждался в промежутке между потенциальным катодом 3, выполненным в виде полой трубки с внешним диаметром 4 мм, и заземленным плоским анодом 4. Трубка из нержавеющей стали была изготовлена из фольги толщиной 100 мкм. В качестве анода использовались медная или алюминиевая фольги толщиной от 20 до 100 мкм. Длина

\* Работа выполнена в рамках госзадания ИСЭ СО РАН по теме № 13.1.4.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>