УДК 621.384.6

DOI: 10.17223/00213411/62/7/147

*В.В. РОСТОВ, В.В. БАРМИН, В.Ф. ЛАНДЛЬ, П.В. ВЫХОДЦЕВ, К.П. АРТЁМОВ, А.С. СТЕПЧЕНКО***СИЛЬНОТОЧНЫЙ ИМУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ «SINUS-320»: ФОРМИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ПУЧКА**

Описывается источник широкоапертурного (16×27 см) пучка электронов с энергией 450 кэВ, током 9 кА, длительностью импульсов 12 нс и частотой повторения до 100 Гц, разработанный для стерилизации пластиковых пакетов. Формирование пучка электронов обеспечивается с помощью металлodieлектрического катода, на котором в течение фронта напряжения за несколько наносекунд формируется взрывозмиссионная плазма. За счёт большого числа (~ 800) тройных точек металл – диэлектрик – вакуум, а также в результате рассеяния электронов при прохождении анодной фольги и слоя воздуха достигается высокая равномерность электронного потока на расстоянии 3 см от фольги при характерном пробеге электронов в воздухе до 0.5 м.

Ключевые слова: *сильноточный электронный ускоритель, металлodieлектрический катод.*

Введение

Наносекундные сильноточные ускорители серии «SINUS» [1–3] и их вариации (например, «RADAN» [4]), имеют ту отличительную черту, что в них совмещается трансформатор Тесла с коаксиальной формирующей линией. Благодаря близкому к единице коэффициенту магнитной связи между первичным витком и вторичной катушкой трансформатора, характерный КПД всей электрической схемы высоковольтного генератора составляет около 50 % [5]. Вместе с компактностью и эффективностью, другое достоинство – возможность формирования квазипрямоугольной формы импульса напряжения – предопределило важное место таких ускорителей в разработке мощных релятивистских микроволновых генераторов [6], включая создание макета наносекундного радара [7], наращивание ресурса до 10^8 имп. [8] и эффективности СВЧ-генераторов до 40 % [9]. По ряду причин, сильноточные ускорители «SINUS» не были востребованы в технологических приложениях. Однако оптимистично оценивая потенциал, были проведены несколько демонстрационных тестов по стерилизации материалов для фармацевтики и медицины, а именно – несколько типов порошков для изготовления лекарств [10], а также перевязочных средств в упаковках [11]. Возникающий в последние годы спрос на компактные ускорители связан с появлением нетрадиционных задач, где не требуется крупнотоннажная обработка материалов и инструментов для их модификации или стерилизации. В последнем случае применяются крупные ускорители электронов (ЭЛВ, ИЛУ и др.) с высокой энергией электронов и мощностью в электронном пучке от 20 кВт и выше. Сильноточные ускорители типа «SINUS-320» (средняя мощность выводимого пучка 2.2 кВт и вес 0.8 т) вполне могут отвечать задачам мелкосерийной обработки материалов. Основная цель описываемых исследований сводилась к выбору катода и параметров вакуумного диода, а также надёжной диагностики электронного пучка и поглощённой дозы в полимерных пакетах относительно малой толщины.

Катод вакуумного диода в электронном ускорителе является ключевым элементом, как правило, обладающим ограниченным временем жизни. В ускорителе прямого действия с наносекундной длительностью высоковольтных импульсов должны применяться катоды, для которых время задержки взрывной электронной эмиссии минимально, а число центров на единицу площади максимально [1, 5]. Высокая однородность эмиссии (и большое число центров) при напряженности поля $E_d \approx 10^5$ В/см присуща катодам в виде набора тонких проводящих проволочек или графитовых волокон с характерным расстоянием между ними $\delta \ll d$ (d – зазор между катодом и анодом) [1, 3, 12, 13]. Однако ресурс таких катодов не превышает 10^3 – 10^5 имп. в силу эрозии материала и снижения коэффициентов усиления поля. При этом нарастает задержка в появлении тока, который максимален к концу импульса напряжения, с последующим снижением амплитуды тока [8, 13–15]. Закругление кончиков микроэмиттеров может несущественно сказываться на величине полного тока, если макронапряженность поля в диоде исходно выше: $E_d \approx (3\text{--}4) \cdot 10^5$ В/см [14, 15]. В этом случае, для катодов в виде набора эпоксидно-графитовых капилляров или тонких стержней (0.7 мм диаметром и 4 мм высотой) наблюдается стабилизация тока до 10^6 имп. и, возможно, бо-

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>