

ГЕНЕРАЦИЯ ИОНОВ H^- В ДИОДЕ С МАГНИТНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ПРОБОЯ ДИЭЛЕКТРИКА ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ

В.А. Пападичев, С.А. Пикуз, Т.А. Шелковенко

В представленной работе предложена новая схема генерации импульсных килоамперных токов отрицательных ионов в диоде с магнитной изоляцией при иницировании пробоя поверхности диэлектрика лазерным излучением. Полученные результаты показали эффективность предложенного метода и его пригодность для создания ионных пушек.

Генерация интенсивных потоков отрицательных ионов представляет значительный интерес, так как они обладают определенными преимуществами перед положительными для использования в УТС: их можно перезарядить на тонкой мишени или с помощью лазера в нейтральные атомы без существенного ухудшения эмиттанса пучка и, следовательно, ухудшения качества фокусировки. Для таких пучков схема баллистической фокусировки позволит при достаточно малом эмиттансе пучка на входе получить острую фокусировку.

Эксперименты по получению отрицательных ионов водорода в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией проводились на ускорителе "Импульс" ($U_g = 500 - 800$ кВ, $I_g = 20 - 30$ кА, $T = 100 - 150$ нс) Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР. Создание достаточно плотной плазмы — одна из основных задач, которые пришлось решать в экспериментальных исследованиях.

В предыдущих экспериментах катодная плазма, содержащая отрицательные ионы, создавалась при электрическом пробое поверхности диэлектрика, помещенного в разрыв металлического катодного штока /2–6/. Необходимым условием равномерности пробоя диэлектрика являлось наличие предимпульса длительностью около 1 мкс, составляющего по амплитуде 10–15% от основного импульса напряжения. Предимпульс естественным образом образуется на выходе двойной формирующей линии при ее зарядке. Используемый способ иницирования пробоя диэлектрика оказался довольно эффективным, однако, несмотря на его очевидную простоту и достаточную надежность, он имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, параметры предимпульса прямо связаны с конструкцией установки и их регулирование представляет весьма непростую задачу, особенно при использовании одинарных формирующих линий. Во-вторых, для конфигураций катодной вставки с малым отношением продольного (в направлении пробоя) размера диэлектрика к поперечным получить равномерный пробой не удастся, а именно такая конфигурация катода требуется для катодной пушки.

В проведенных экспериментах, по-видимому, роль предимпульса сводится к созданию у поверхности диэлектрика слабоионизированной плазмы достаточной плотности, в которой при протекании тока основного импульса образуются отрицательные ионы /6/. Отрицательные ионы водорода наиболее эффективно образуются в реакциях диссоциации с присоединением электрона /1/. Для создания оптимальных условий образования ионов H^- требуется регулировка параметров плазмы, что затруднительно при использовании предимпульса.

Одним из способов иницирования пробоя диэлектрика без использования предимпульса может служить мощное лазерное излучение. В настоящей работе использовался лазер на неодимовом стекле с длительностью импульса 30 нс. Схема эксперимента изображена на рис. 1. В первых экспериментах лазер состоял из генератора с модулированной добротностью и однопроходного усилителя со стержнем длиной 300 мм и диаметром 15 мм. Модуляция добротности осуществлялась ячейкой Керра, управляемой кабельным генератором. Запуск разрядника кабельного генератора осуществлялся через резистивный делитель и трансформатор импульсом напряжения с ГИН ускорителя "Импульс". Задержка между лазерным импульсом и импульсом напряжения в диоде регулировалась изменением давления в разряднике или в небольших пределах зарядным напряжением кабельного генератора. Разброс времени срабатывания лазера не превышал 50 нс. Лазерное излучение заводилось в диод по его оси через стеклянное окно вакуум-

ной камеры и направлялось на катод, изготовленный в виде конуса из полиэтилена (рис. 1а). Диаметр конуса 20 мм, угол при вершине 30° . Отрицательные ионы регистрировались с помощью ядерной диагностики, применявшейся в предыдущих экспериментах [2].

В первых экспериментах энергия лазера не превышала 2–5 Дж и оказалась недостаточной для образования плазмы при облучении всей поверхности катода. Обостряющий разрядник ускорителя был разомкнут, предимпульс отсутствовал, диэлектрик не пробивался и отрицательные ионы не наблюдались. Зарегистрировать ионы удалось в случае фокусировки лазерного импульса длиннофокусной ($f = 40$ см) цилиндрической линзой по образующей конического наконечника катода. Ширина полоски фокуса составляла 0,5 – 1,0 мм, плотность потока лазерного излучения 10^9 Вт/см². Ионы регистрировались на пределе чувствительности методики (10^{13} частиц/импульс) и наблюдались при задержках импульса напряжения на диоде относительно импульса лазера 30 – 60 нс. Величина задержки измерялась по расстоянию между фронтами сигнала с коаксиального фотоэлемента и импульса с емкостного датчика напряжения на соответствующих осциллограммах с точностью 5 нс.

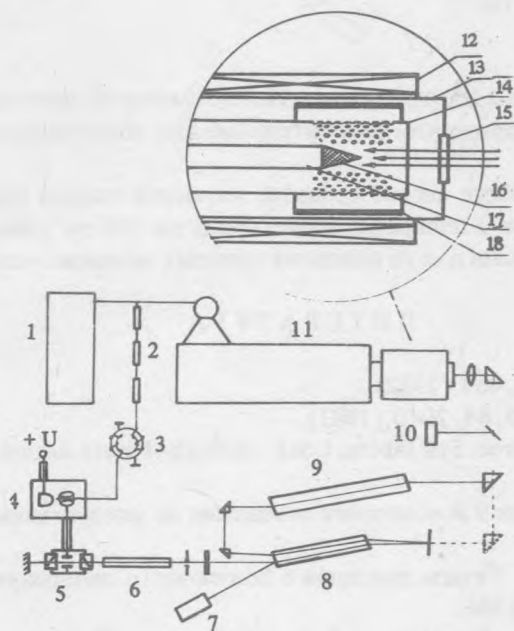


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – ГИН, 2 – резистивный делитель, 3 – импульсный трансформатор, 4 – разрядник кабельного генератора, 5 – затвор Керра, 6 – активный элемент лазерного генератора, 7 – коаксиальный фотоэлемент, 8–9 – активные элементы усилителей, 10 – графитовый калориметр, 11 – ЭСУ "Импульс", 12 – соленоид, 13 – вакуумная камера, 14 – анод, 15 – стеклянное окно, 16 – катод из полиэтилена, 17 – катодный штук, 18 – графитовая мишень.

Для дальнейших экспериментов лазерная установка была модернизирована, добавлен еще один усилитель со стержнем длиной 680 мм и диаметром 30 мм, а первый усилитель стал работать в двухпроходном режиме. Благодаря этому выходную энергию лазера удалось увеличить до 30 Дж и провести эксперименты при облучении всей поверхности катода несфокусированным пучком. В этом случае удалось значительно увеличить выход отрицательных ионов за импульс; его величина $(3 - 10) \cdot 10^{13}$ приближалась к среднему числу ионов 10^{14} за импульс (около 1000 А) в экспериментах с предимпульсом. Ионы H^- зарегистрированы при интервалах между лазерным импульсом и импульсом напряжения в диоде в диапазоне 50 – 250 нс, причем максимум активности, равный 10^{14} частиц, соответствует интервалу 150 – 200 нс (рис. 2). Значительная величина этого интервала объясняется, по-видимому, тем, что при облучении диэлектрического катода лазерным импульсом требуется время для установления параметров плазмы, при которых процессы образования отрицательных ионов преобладают над процессами их распада.

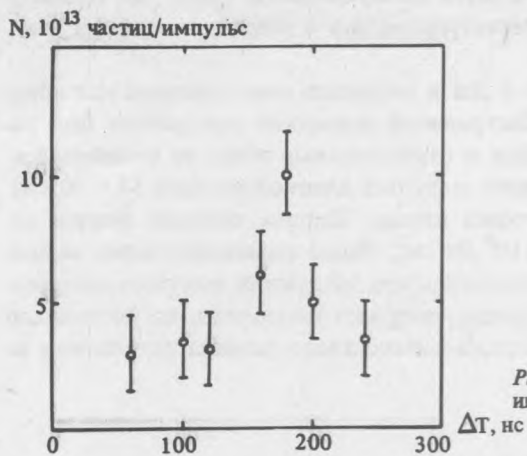


Рис. 2. Зависимость выхода ионов H^- от интервала ΔT между лазерным импульсом и импульсом напряжения.

Очевидно, что коническая форма катода не является оптимальной, поэтому в дальнейшем планируется провести эксперименты с цилиндрическим диэлектриком, для облучения которого будет использована специальная оптическая система.

Рассмотренный в настоящей работе способ создания катодной плазмы будет, по-видимому, пригоден и для других конфигураций диодов с площадью диэлектрика до 100 см^2 , так как уровни энергии 100 – 150 Дж являются вполне достижимыми для не слишком сложных лазерных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. В а с а л М. Physica Scripta, 2/2, 467 (1982).
2. А г а ф о н о в А. В. и др. ЖЭТФ, 84, 2040 (1983).
3. К о л о м е н с к у А. А. et al. Proc. 5th Intern. Conf. on High-Power Beams, p. 533, San Francisco, USA, 1983.
4. А г а ф о н о в А. В. и др. Труды 9 Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1985, т. 2, с. 168.
5. К о л о м е н с к и й А. А. и др. Тезисы докладов 6 Всесоюзного симпозиума по сильноточной электронике, т. 1, стр. 20, Новосибирск, 1986.
6. К о л о м е н с к у А. А. et al. Proceeding of the 2th European Workshop on Production and Application of Light Negative Ions, Palaiseau, France, 1986, p. 87.

Поступила в редакцию 31 августа 1987 г.