

04

Генерация высокоэнергетичных протонов при поверхностном разряде

© И.Л. Музюкин, Ю.Н. Вершинин, С.В. Барахвостов

Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург
E-mail: lfd@ier.uran.ru

Поступило в Редакцию 31 октября 2005 г.

Исследован совмещенный наносекундный разряд, объединяющий в себе разряд по поверхности диэлектрика и пробой вакуумного промежутка. Получен поток ускоренных протонов с максимальной энергией до 350 keV, превышающей потенциал источника. Выявлен эффект селективного ускорения ионов водорода. Установлено влияние полярности электродов на вероятность генерации ионов.

PACS: 52.90.+z

Проведенные ранее [1] исследования энергетического и масс-зарядового состава потока плазмы поверхностного наносекундного разряда показали наличие многозарядных ускоренных ионов. С другой стороны, исследования искрового разряда [2,3] показывают, что максимальные энергии в этом случае могут достигать от десятков keV до десятков MeV, превышая потенциал источника. Данное исследование представляет собой попытку совместить в одном разряде поверхностный разряд и пробой вакуумного промежутка.

Экспериментальная установка. Эксперименты проводились в вакууме 10^{-4} Pa. Для получения потока ускоренных протонов использовалась схема, совмещающая разряд по поверхности диэлектрика и пробой вакуумного промежутка. Схема расположения электродов показана на рис. 1. На центральный электрод *A* диаметром 2 mm крепился диэлектрический цилиндр *B* с отверстием диаметром 1 mm. Материал цилиндра — полиэтилен высокого давления. Расстояние от торца электрода *A* до торцевой поверхности цилиндра — 4 mm. Расстояние от торцевой поверхности диэлектрического цилиндра до сеточного заземленного электрода *C* менялось от 2 до 15 mm. На центральный электрод *A* подавался короткий высоковольтный импульс положительной или отрицательной полярности. Импульс напряжения регистрировался осциллографом с помощью емкостного делителя *U*.

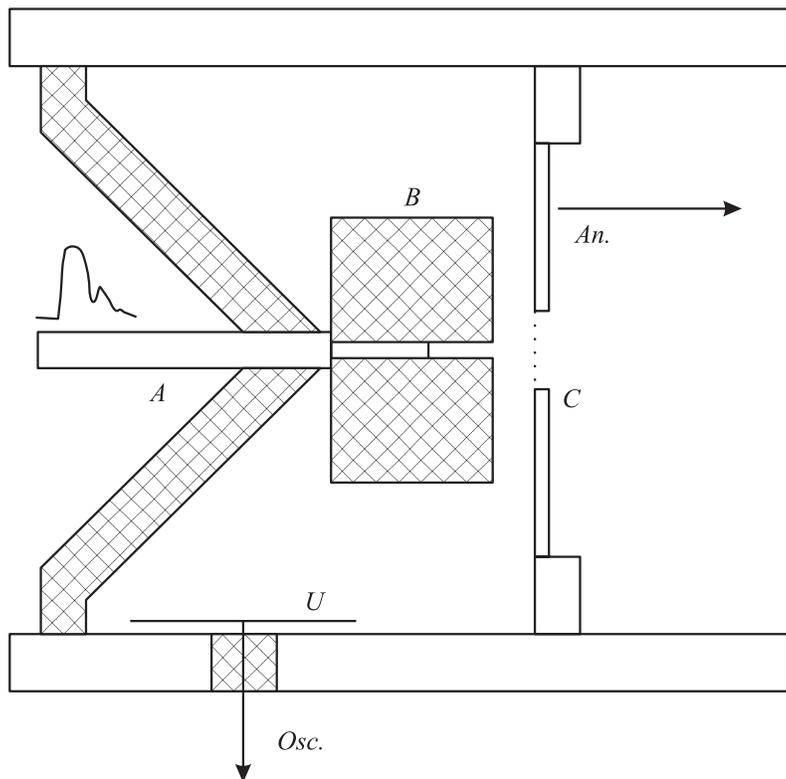


Рис. 1. Схема разрядной камеры.

Амплитуда импульса составляла 150 кВ, длительность 5 нс и фронт ≈ 200 пс. Представленная электродная схема является несогласованной нагрузкой для высоковольтного генератора, таким образом, реальный импульс напряжения содержит также и несколько отраженных импульсов с затухающей амплитудой. Плазма анализировалась ионным спектрометром Томсона с автоматической системой фотометрирования, описанной в [1,4].

Экспериментальные результаты. При подаче отрицательного импульса на электрод *A* сигнала ионного потока зарегистрировано не было, хотя в ранее проведенных [4] исследованиях искрового

разряда при использовании того же источника и сравнимого вакуумного зазора были зарегистрированы сигналы ионов материала катода. При подаче на электрод А положительного импульса регистрировался поток ионов водорода с энергиями до 350 keV, при этом ионов углерода в данной схеме зарегистрировано не было. Был проведен поиск ионного сигнала в диапазоне высоких и низких энергий, но сигнала ионов углерода выявлено не было. Это может быть объяснено тем, что, согласно измерениям угловой зависимости параметров потока ионов при разряде по диэлектрику [5], ионы углерода резко направлены по нормали к поверхности. В случае капиллярного разряда ионы углерода осаждаются на стенках и не выходят из капилляра. Протоны, которые имеют более широкий сектор разлета, могут вылететь в отверстие капилляра. Возможно также, что короткое время импульса не позволяет тяжелым ионам получить импульс, сравнимый с тем, что получают легкие ионы. Энергетические распределения потока ионов водорода для разных расстояний диэлектрик–катод представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что зависимость энергетического распределения от расстояния имеет максимум средней и максимальной энергии около значения 7 mm. Эта зависимость была проверена двумя проходами от меньших расстояний к большим и обратно. Подобная зависимость, имеющая максимум, может быть объяснена комбинацией двух факторов. Первый из них — замеченная в [6] зависимость максимальной энергии ионов вакуумной искры от расстояния анод–катод. Эта зависимость связывается с тем фактом, что ионы могут ускоряться на всем протяжении межэлектродного промежутка. В нашем случае переотраженный импульс напряжения генератора может доускорять плазму, по крайней мере в течение 20 ns. Другим фактором является уменьшение общей напряженности поля в межэлектродном промежутке с увеличением расстояния анод–катод. Уменьшение средней напряженности на промежутке снижает интенсивность процессов ускорения. Уменьшение влияния первого фактора на энергии протонов после некоторого расстояния может объясняться также затуханием отраженных импульсов, так что ионы перестают ускоряться, не доходя до катодной сетки.

Для всех расстояний поток протонов имеет несколько максимумов в энергетическом распределении. Эти максимумы могут быть связаны с появлением отраженных импульсов напряжения. Максимальные энергии протонов существенно превышают приложенное напряжение. В таблице приведены значения средних энергий протонов для разных расстояний катод–диэлектрик.

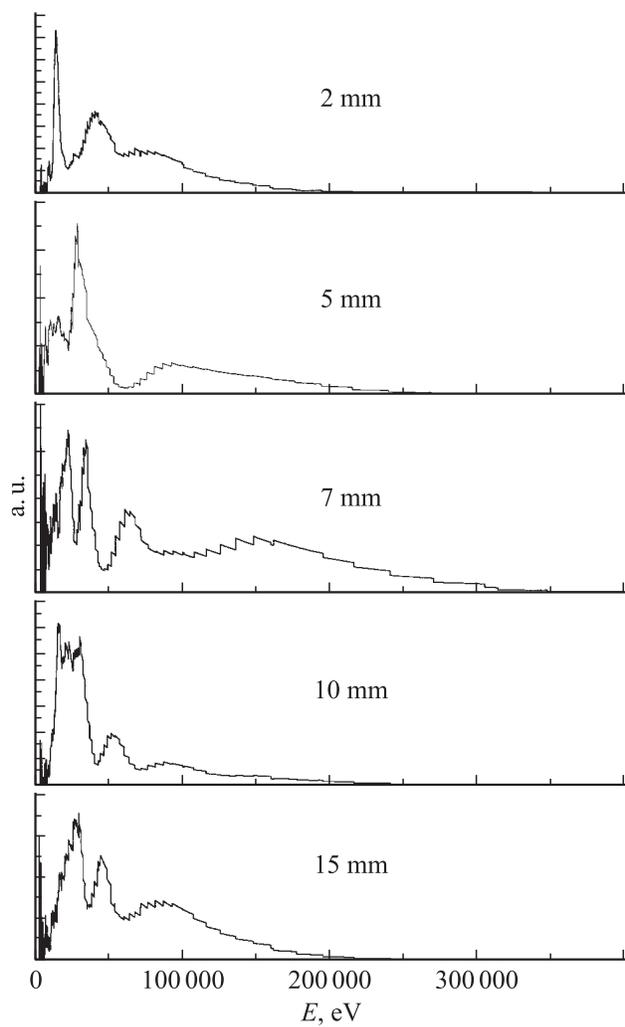


Рис. 2. Энергетические спектры протонов для различных вакуумных промежутков.

Средние и максимальные энергии протонов для различных расстояний катод–диэлектрик

Расстояние, mm	Средняя энергия, keV	Максимальная энергия, keV
2	64	190
5	76	270
7	122	350
10	56	230
15	70	230

Выводы. Схема, совмещающая разряд по диэлектрику и пробой вакуумного промежутка, может стать основой для эффективного источника легких ионов, объединяя высокую интенсивность потока, высокие энергии и сепарацию ионов по массам. Обнаружено существование нескольких групп протонов, отличающихся значениями средней энергии и, возможно, механизмом ускорения. Выявлено существование для данной схемы оптимального расстояния катод–диэлектрик, которое дает максимальные значения энергии протонов. Установлено, что при разряде наносекундной длительности, в отличие от микро- и миллисекундных разрядов полярность электродов существенно влияет на вероятность генерации ионов. Так, поток ионов регистрировался при подаче на электрод А положительного импульса и отсутствовал при отрицательном импульсе. Последнее свидетельствует о том, что в условиях эксперимента процесс образования ионов не связан с „термическим“ механизмом, характерным для дуговых разрядов большой длительности [7].

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований президиума РАН „Теплофизика и механика интенсивных энергетических воздействий“ и при поддержке гранта РФФИ № 05-02-17650.

Список литературы

- [1] *Барахвостов С.В., Музюкин И.Л.* // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 21. С. 27–31.
- [2] *Плотто А.А., Кервалидзе К.Н., Кварцхава И.Ф.* // Атомн. энерг. 1957. Т. 3. С. 153.

- [3] *Корол Е.Д., Плютто А.А.* // ЖТФ. 1970. Т. 40. В. 12. С. 2534–2537.
- [4] *Музюкин И.Л.* Физика экстремальных состояний вещества. Черногловка, 2005. С. 210–212.
- [5] *Барахвостов С.В., Музюкин И.Л.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 10. С. 30–34.
- [6] *Горбунов С.П., Красов В.И., Паперный В.Л.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 4. С. 66–70.
- [7] *Барахвостов С.В., Вершинин Ю.Н., Ефремов В.П.* и др. Физика экстремальных состояний вещества. Черногловка, 2005. С. 208–210.