

04;12

Эрозионный радиально-щелевой разряд

© С.Е. Емелин, А.П. Ковшик, Е.И. Рюмцев, В.С. Семенов

Научно-исследовательский институт физики,
Научно-исследовательский институт радиофизики
С.-Петербургского государственного университета

Поступило в Редакцию 10 марта 1999 г.

Представлен новый вид эрозионного разряда, отличающийся стабильностью получения и легкостью наблюдения его неравновесных форм в виде радиально распространяющихся уединенных волн.

Среди электрических разрядов в потоке газа [1] существуют варианты, создающие в некоторых режимах сильно неравновесную плазму [2]. Такие режимы отличает пониженная газовая температура, неустойчивость тока разряда, склонность к появлению распространяющихся форм. Возникновение этих отличий сопровождается повышением роли метастабильных состояний и механизма ступенчатой ионизации.

Плазма электрического разряда в потоке конденсированной дисперсной фазы [3], эрозионного капиллярного разряда [4] обладает рядом структурных особенностей [5], низкой температурой и повышенной электронной концентрацией, высокой напряженностью электрического поля, а также увеличенным временем существования после отключения тока. В [6,7] наличие этих особенностей связывается с метастабильностью энергетических состояний плазмы на основе деструктурированных полимера и металла и эффектами их переноса по метастабильному веществу. Выявленные особенности согласуются с общей картиной динамического структурного перехода [8].

Можно предположить, что неравновесность плазмы [2] удастся значительно усилить путем дополнения условий распространения волн ионизации условиями, характерными для эрозионного разряда [4]. Эта идея может быть реализована в эрозионном радиально-щелевом разряде, создаваемом при установке около ножевых расходящихся электродов [2] двух стенок из легко испаряемого диэлектрика, например полимера [7].

Конструкция щелевого разрядника (рис. 1), использовавшаяся для создания поперечного разряда, представляла собой сборку двух дисков I

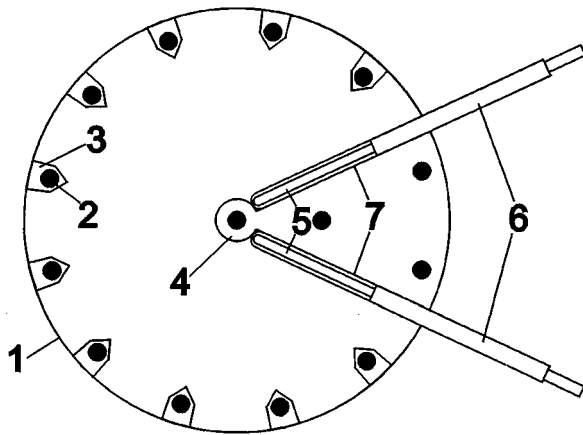


Рис. 1. Конструкция щелевого разрядника: 1 — диск, 2 — шпильки, 3 — ограничительные прокладки, 4 — межэлектродная прокладка, 5 — электроды, 6 — изолирующие трубки, 7 — пазы.

диаметром 100 mm и толщиной 25 mm из полиметиметакрилата, расположенных параллельно и прижатых друг к другу с помощью стальных шпилек 2 через тонкие (~ 1 mm) прокладки 3 и 4 из полиэтилена. Угол между расходящимися электродами 5 увеличен по сравнению с [2] до 300° . Стальные электроды 5 диаметром 2 mm частично изолированы полиэтиленовой трубкой 6 и расположены в пазах 7 ниже поверхности одного из дисков 1. Для задания начальной формы фронта распространения разряда межэлектродная изолирующая прокладка 4 имеет круглую головку диаметром ~ 10 mm, а ее центр совпадает с центром щели. Десять ограничительных прокладок 3 расположены на раскрытие щели через 30° по азимуту. Для повышения устойчивости функционирования разрядника в области больших токов необходимо выдерживать неточность по высоте щели не более 5%.

Электрическая схема подобна применявшейся в [4] и содержит накопитель емкостью $C = 0.8$ mF на 10 kV, ограничивающий ток резистор $R = 1 - 500 \Omega$ и поджигающий импульсный трансформатор на 30 kV.

При поджиге пробой происходит между ближайшими концами электродов по поверхности вокруг головки межэлектродной прокладки

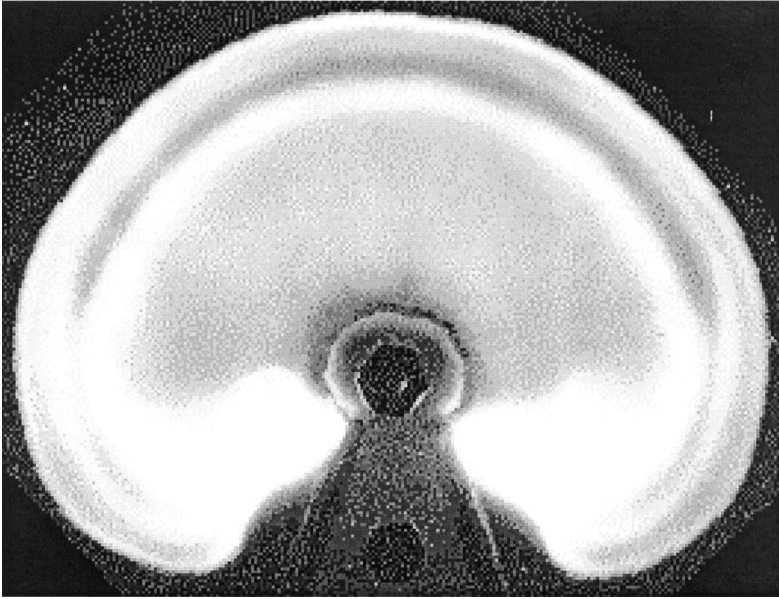


Рис. 2. Интегральное изображение эрозийного радиально-щелевого разряда.

и в радиальной щели устанавливается разряд в виде незамкнутой окружности. В дальнейшем, если величина тока через разрядник и активное сопротивление превышает некоторое критическое значение, зависящее от напряжения накопителя, то разряд устанавливается на радиусе тем меньшем, чем больше величина тока. Если же критическое значение тока не превышено, то после накопления в щели достаточного количества испаренного полимера разряд быстро перемещается по радиусу (рис. 2). В результате этого падение напряжения на нем постепенно растет до полного, а ток уменьшается до нуля, что сопровождается окончательным выключением тока. При достаточном повышении напряжения накопителя разряд в процессе распространения достигает ограничительных прокладок и фиксируется на них, а задний фронт импульса тока имеет наибольшую крутизну. В диапазоне токов от единиц килоампер до десятков ампер характерная длительность импульса самовыключения 0.1–1 ms. Выключение тока сопровождается

звук, похожим на выстрел. Цвет свечения покоящегося разряда для глаза красный, движущегося — голубой.

Существование разряда в тонкой щели тесно сопряжено со взаимодействием его с легко испаряемым веществом стенки, которое присутствует в двух основных формах: в виде поверхности стенки, а также в виде аэрозоля, получаемого при испарении стенки и деструкции полимера разрядом. В режиме с низкой температурой основным механизмом потерь энергии и нагружения разряда является уход зарядов за счет их прилипания к поверхности стенки и частиц аэрозоля. Метастабильность связанных состояний зарядов приводит к снижению темпа их рекомбинации. Это вызывает, во-первых, задержку и продление процесса испарения стенки, так что оно происходит в основном за движущимся разрядом, создавая область повышенной плотности аэрозоля и давления со стороны меньшего радиуса. Во-вторых, энергия, сохраняющаяся в аэрозоле, прошедшем через разряд, облегчает ионизацию и этим способствует ее распространению в сторону меньших давлений, т.е. в сторону большего радиуса.

Таким образом, сочетание неравновесности плазмы, метастабильности ее энергетических состояний и распространения разряда вплоть до выключения тока является атрибутом нестационарного режима эрозионного радиально-щелевого разряда. Оно может иметь ряд научных и технических применений, в качестве примеров которых можно указать получение неравновесной плотной плазмы в поперечном разряде и исследование взаимодействия ее с веществом, создание ударных волн, разработка электрического мощного коммутатора и др.

Список литературы

- [1] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992. 536 с.
- [2] Русанов В.Д. и др. // ДАН. 1993. Т. 332. № 3. С. 306.
- [3] Кудинов В.В. и др. Нанесение покрытий плазмой. М.: Наука, 1990. 408 с.
- [4] Авраменко Р.Ф. и др. // ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 12. С. 57–64.
- [5] Леонов С.Б., Панков М.Б. // Хим. физика. 1997. Т. 16. С. 144–153.
- [6] Емелин С.Е. и др. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. № 19. С. 54–59.
- [7] Емелин С.Е., Ковшик А.П. и др. // Докл. 5-й Межд. конф.: Совр. пробл. электрофизики и электрогидродинамики жидкостей. СПб., 1998. С. 103–106.
- [8] Скворцов Г.Е. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 1. С. 81–86.