Субнаносекундный искровой разряд в газах высокого и сверхвысокого давления

Иванов С.Н.

Институт электрофизики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия, stivan@iep.uran.ru

В работе показаны физические закономерности развития субнаносекундного искрового разряда в газах высокого (1 – 10 атм) и сверхвысокого (10 – 60 атм) давления при высоких (более 2-х) перенапряжениях разрядного промежутка.

Приведен обзор проведенных автором экспериментов по регистрации свечения сопровождающего субнаносекундный искровой разряд методом высокоскоростной электронно-оптической съемки и экспериментов по измерению коммутационных характеристик (импульсного напряжения коммутации, времени формирования разряда, времени и скорости коммутации) газового промежутка. В этих экспериментах на разрядный газовый промежуток подавался импульс напряжения амплитудой 70 – 150 кВ с фронтом 0,3 – 1 нс. В зависимости от давления рабочего газа достигнутые перенапряжения разрядного промежутка лежали в диапазоне 2 – 30.

Показано, что в инициировании искрового разряда в интервале давлений 1 атм – pверх (где pверх — верхняя граница по давлению, ниже которой действуют оба указанных ниже механизма инициирования) одновременно действуют два механизма инициирования: инициирование разряда с катода за счет автоэлектронной эмиссии с микровыступов поверхности и многоэлектронное инициирование разряда в объеме газа пучком убегающих электронов. При этом в диапазоне давлений 20 атм – pверх многоэлектронное инициирование искрового разряда пучком убегающих электронов становится доминирующим. Это коренным образом определяет пространственную структуру разряда и динамику его формирования. Убегающие электроны обгоняют распространяющуюся с катода волну ионизации и создают предионизацию газа перед формирующимся искровым каналом. Дальнейшее развитие искрового канала идет за счет развития электронных лавин из вторичных электронов, возникших при этой предионизации. Такой механизм инициирования искрового разряда в газах высокого и сверхвысокого давления ранее не наблюдался.

При давлениях выше pверх инициирование искрового разряда убегающими электронами перестает действовать и разряд инициируется за счет автоэлектронной эмиссии с микровыступов поверхности катода. Для каждого газа верхняя граница по давлению pверх своя. Смена механизма инициирования ведет к резкому росту времени формирования разряда и импульсного напряжения пробоя.

Получены законы подобия для субнаносекундного искрового разряда в газе. Показано, что смена механизмов инициирования разряда приводит к нарушениям в законах подобия.

По результатам проведенных исследований приведены рекомендации по выбору рабочего давления в газовых коммутаторах субнаносекундного диапазона.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания №0389-2014-0005, при частичной финансовой поддержке ФАНО (программа фундаментальных исследований УрО РАН “Вещество в экстремальных состояниях”, проект №15-1-2-8) и РФФИ (проекты №16-08-00466-а и №16-08-00894-а)