Исследование времени формирования субнаносекундного искрового разряда в газах высокого и сверхвысокого давления

Иванов С.Н., Лисенков В.В.

Институт электрофизики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия,   
 [stivan@iep.uran.ru](mailto:stivan@iep.uran.ru)

Измерения времени формирования (*t*form) разряда позволяют получить информацию о характере процессов на его предпробойной стадии. Фактически *t*form определяется скоростью протекания ионизационных процессов в газовом промежутке и соответствующей скоростью увеличения его проводимости. Изменение практически любого внешнего параметра (напряжения, давления, конфигурации электродов, ширины разрядного промежутка и т.д.) неизбежно приводит к изменению и времени *t*form. На *t*form сильно влияет и характер инициирования начальных электронов в разрядном промежутке.

В настоящей работе проанализированы *t*form субнаносекундного искрового разряда в азоте (диапазон давлений 1 – 40 атм) и водороде (диапазон давлений 1 – 60 атм) с помощью лавинной модели. В эксперименте на разрядный промежуток с однородным распределением электрического поля (катод и анод имели радиус закругления вершины 1 см) и длиной d = 0,75 мм подавался субнаносекундный импульс напряжения амплитудой 102 ± 2 кВ. Фронт импульса (по уровням 0,1 – 0,9 от амплитуды) был около 250 пс, полная длительность фронта — 500 пс. Скорость нарастания напряжения на разрядном промежутке на предпробойной стадии составляла 7 × 1014 В/с. Пробой происходил на фронте импульса. В эксперименте изменялось только давление газа с шагом в 5 – 10 атм и измерялось *t*form. Таким образом, данные были получены в абсолютно одинаковых условиях.

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что в азоте в диапазоне давлений 10 – 40 атм и в водороде в диапазоне давлений 20 – 50 атм время запаздывания пробоя становится меньше, чем время роста электронной лавины до критического размера (*t*кр), и критическая длина лавины (*x*cr) лежит в пределах (2 – 4,5) × 10–2 мм, что на порядок меньше длины разрядного промежутка. Это говорит о неприменимости лавинно-стримерной модели в данной ситуации. Объяснить быстрое формирование искрового канала можно ионизацией газовой среды убегающими электронами. Наличие убегающих электронов в наших условиях наблюдалось в работе [1]. В результате проводящий канал возникает при одновременном развитии большого числа электронных лавин из объема газа. При этом коммутация разрядного промежутка может начаться раньше, чем эти лавины наберут критическое число носителей, поскольку их совокупный ток может быть достаточно большим.

Повышение давления водорода от 50 до 60 атм приводит к резкому, примерно на 100 пс, росту *t*form. В результате *t*кр становится существенно меньше *t*form. В этих условиях электроны перестают переходить в режим убегания, и инициирование разряда происходит с катода за счет автоэлектронной эмиссии с его микронеоднородностей.

Авторы благодарны д.ф.-м.н. Зубареву Н.М. за ряд полезных замечаний. Работа выполнена в рамках тем государственных заданий №0389-2014-0005 и -0027, 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)

Литература

1. Ivanov S.N., The Transition of Electrons to Continuous Acceleration Mode at Subnanosecond Pulsed Electric Breakdown in High-Pressure Gases, Journal of Physics D: Applied Physics, 2013, V. 46, № 28, 285201 (6 pp).