

Сравнительные характеристики резистивно-барьерного разряда (РБР) в атмосфере

Ю.В. Маношкин, А.А. Плотников

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Введение

Давно известно, что КР не реализуется при малых межэлектродных зазорах (менее 3 мм), т.к. он переходит сразу в искру. До настоящего времени природа такого перехода не получила однозначного объяснения. Возможными причинами являются как неустойчивость монополярного токового шнура, так и усиление неоднородности электрического поля вблизи коронирующего электрода, обусловленная приближением к поверхности заряда-изображения в некоронирующем электроде. При этом существенную роль играет время релаксации электронов в металле. Для устранения этого явления используется ДБР, в котором электроды разделены слоем диэлектрика. Соответствующая постоянная времени релаксации электронов в хорошем диэлектрике составляет $10^3 - 10^4$ с. При этом для создания разряда можно использовать только переменное напряжение. Это обстоятельство существенно усложняет анализ и описание происходящих в ДБР процессов. Другим вариантом, позволяющим работать на постоянном напряжении различной полярности, является использование плохопроводящего материала в качестве барьера. При этом возникает необходимость выбора определенной проводимости материала барьера. Основой для выбора является характерное время пролета межэлектродного зазора более медленным носителем заряда (ионом). При атмосферном давлении характерная скорость ионов в воздухе составляет примерно 200 м/с, и соответствующее время пролета зазора g порядка 2 мм равняется 10^{-5} с. Соответствующее удельное сопротивление материала барьера должно быть порядка больше 10^6 Ом*м.

Материалы с таким удельным сопротивлением используются в задачах борьбы со статическим электричеством. Они относятся к классу специальной керамики. Некоторые типы магнитных керамических материалов (ферритов) имеют такое удельное сопротивление, однако этот параметр не является жестко нормированным и имеет большой технологический разброс. По этой причине при подборе материала резистивного барьера необходимо производить дополнительные измерения удельного сопротивления.

В данной работе для предварительного анализа физических процессов в РБР выбрана наиболее простая конфигурация электродов – «игла – плоскость», которая исследовалась при положительном и отрицательном напряжениях, при атмосферном давлении с разрядными промежутками менее 3 мм.

Описание установки

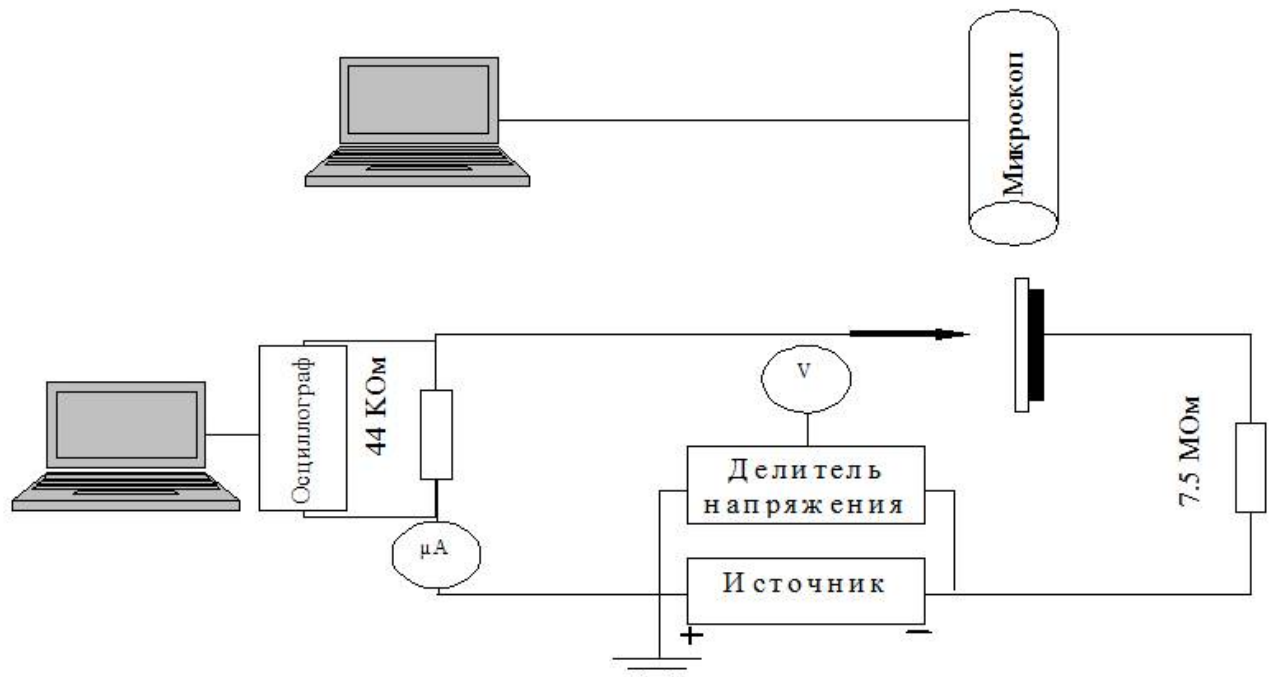


Рис.1. Схема экспериментальной установки

На рис.1. представлена схема экспериментальной установки. В качестве источника высокого напряжения использовался высоковольтный источник ВС-23 с максимальным напряжением 10 КВ, максимальным током 5 мА и стабильностью напряжения 0,1%. Делитель напряжения имеет коэффициент 1000:1. Микроамперметр типа М244 многопредельный, осциллограф в виде приставки к ПК Picoscope, с полосой пропускания 10 МГц на измерительном сопротивлении 44 КОм. Пространственные характеристики разряда исследуются с помощью

цифровой насадки на микроскоп DCM35. Фокусное расстояние объектива микроскопа – 15мм. Длина разрядного промежутка регулируется за счет перемещения иглы, установленной на линейный координатник с ценой деления 10 мкм. В схему подключено балластное сопротивление 7.5 МОм.

Для получения устойчивого одношнурового режима необходимо ограничивать диаметр острия кончика иглы величиной около 100мкм, примерно соответствующей энергетической длине пробега электронов, и выдерживать этот размер с точностью 1-2%. В противном случае на острие возможно возникновение нескольких шнуров, появляющихся в разных местах и в разное время. Взаимодействие шнуров между собой приводит к процессу, нестационарному в пространстве и во времени.

Использованы иглы из нержавеющей стали с диаметром закругления 80 мкм.

Экспериментальные результаты

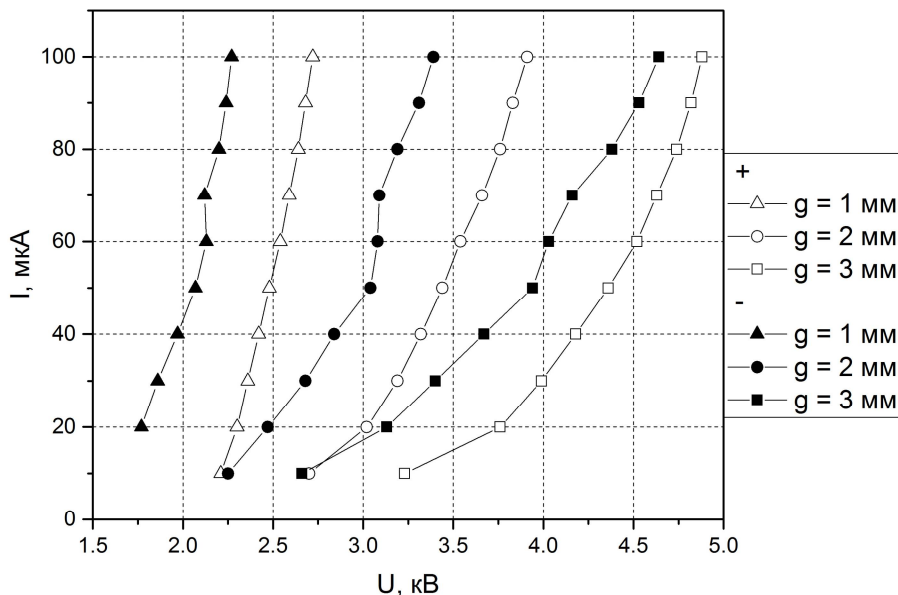


Рис. 2. ВАХ устойчивого режима РБР при различных значениях разрядного промежутка (g)

Типичная ВАХ РБР приведена на рис. 2. При коронирующем аноде (положительный РБР) вольт-амперная характеристика смещена в сторону большего питающего напряжения, чем при отрицательном РБР, что обусловлено различиями в процессе ионизации и другим поведением носителей заряда. Закономерности аналогичны таковым в коронном разряде – процессы, происходящие около коронирующего электрода, практически идентичны. Напряжение пробоя в отрицательном РБР заметно меньше, чем в положительном. Точно также проявляется и рост питающего напряжения при увеличении разрядного промежутка.

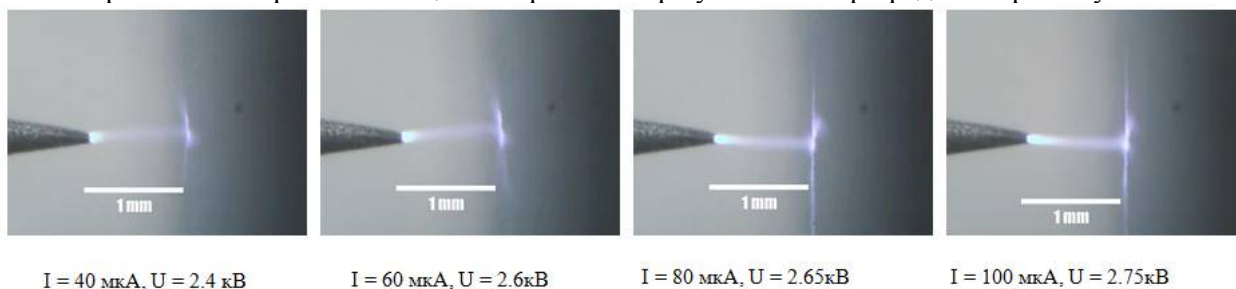


Рис. 3. Фотографии положительного РБР

На рис. 3. приведены фотографии разрядов с соответствующими временными характеристиками при положительном РБР. Замечен сильно нестационарный по времени характер разряда. Появление задержек импульсов связано с большим временем релаксации заряда в электроде. Севший на поверхность заряд «запирает» ток, снижая разность потенциалов в разрядном промежутке. Ток восстанавливается только после прилета следующей порции заряженных частиц. При увеличении напряжения частота импульсов увеличивается – большее напряжение снижает время пролета промежутка. При увеличении длины разрядного промежутка частота импульсов возрастает не так быстро, однако, значительно возрастает амплитуда импульсов при тех же значениях тока на амперметре.

Отрицательный разряд

На рис. 4 приведены фотографии разрядов с соответствующими временными характеристиками при отрицательном РБР. Частота следования импульсов при коронирующем катоде заметно выше – это вызвано

большой подвижностью электроном, и, следовательно, меньшим временем пролета разрядного промежутка. Уже при сравнительно небольших значениях тока скачки тока в разряде становятся практически незаметными.

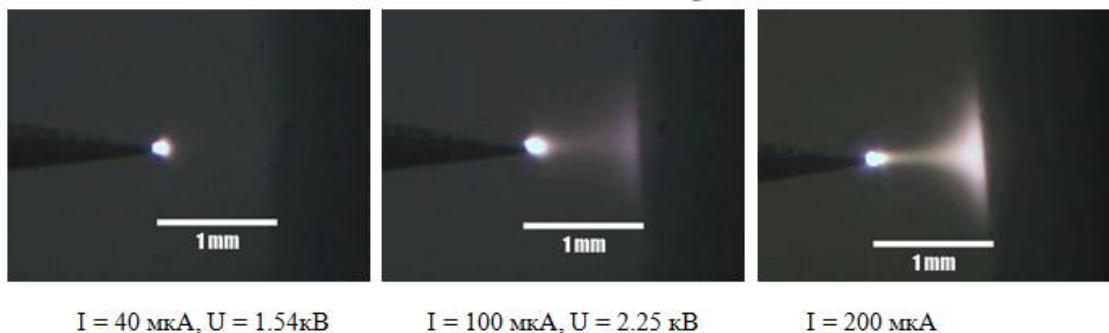


Рис. 4. Фотографии отрицательного РБР

Стоит отметить, что при пролете расстояния порядка нескольких мм электроны начинают прилипать к нейтральным частицам воздуха с образованием отрицательных ионов – электронная проводимость сменяется ионной. В нашем случае этот эффект и вызываемые им явления незначительны в виду малости разрядного промежутка.

Пространственные характеристики

Исследование пространственных характеристик заряда проводилось оптическими методами с использованием цифрового микроскопа. Свечение в разряде вызывают частицы азота, возбужденные столкновениями с разогнанными полем носителями тока. Таким образом, по интенсивности свечения можно оценивать концентрацию и энергию носителей тока в различных местах.

При сравнении фотографий положительного и отрицательного разрядов заметна различная форма свечения. В положительном случае частицы движутся узким «шнуром», тогда как в отрицательном они разлетаются на значительно большие углы. Это вызвано тем, что подвижность электронов значительно больше подвижности ионов, и при том же потенциале отталкивания они получают значительно большую поперечную скорость. Также объясняется и большая интенсивность свечения токового шнура в положительном разряде – концентрация заряженных частиц в нем выше, чем в отрицательном случае.

Другим влиянием полярности является изменение размеров области яркого свечения при росте напряжения в положительном РБР. В отрицательном РБР эта область практически не меняет своих размеров, в положительном же – вытягивается в сторону контактного электрода.

В отрицательном РБР при дальнейшем увеличении напряжения возникает свечение около катода. Разряд при этом не теряет своей стабильности, однако возникает обратная зависимость ВАХ.

Выводы

В работе были проведены исследования характеристик резистивного барьерного разряда, показана его стабильность в разрядных промежутках от 1 до 3 мм. ВАХ ведут себя похожим образом с коронным разрядом, с уменьшением требуемого напряжения ввиду меньшей длины разрядного промежутка.

Временные характеристики нестационарные и регулярные, определяются в основном временем пролета между электродами носителей заряда. Из-за высоких частот процесса применение амперметра не может дать полностью адекватного параметра для сравнения.