**ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА КАК ИСТОЧНИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Соколова М.В., Первеев А.И., Митин А.Н.

*НИУ «Московский энергетический институт»*

*Россия, 111250 Москва, Красноказарменная 14,* [*mvsokolova@mail.ru*](mailto:mvsokolova@mail.ru)

Поверхностный барьерный разряд в воздухе является в последние годы объектом ряда исследований, что связано с возможностью его использования для получения заряженных и химически активных частиц. Одним из возможных способов получения заряженных частиц с использованием поверхностного разряда может быть поверхностный разряд в трехэлектродной системе плазмо-химического реактора. Ранее в работах авторов [1-,3] было показано, что эффективность работы поверхностного разряда (ПР) существенно зависит от свойств поверхности диэлектрического барьера, при этом наибольшую роль играет химический состав и поверхностная структура барьера. Наложение дополнительного постоянного электрического поля, создаваемого потенциалом третьего электрода, позволяет усилить выход в объем газа заряженных частиц, создаваемых поверхностным разрядом.

Цель данной работы – исследование круга условий, влияющих на электрические характеристики поверхностного разряда, и оценка влияния этих условий на интенсивность образования продуктов плазмохимических реакций.

В качестве объекта исследования рассматривается ПР в трёхэлектродной системе (рис. 1). Разряд возникает с краев полос многополосного электрода, расположенного на одной стороне диэлектрической пластины (барьера), а на обратной стороне пластины располагается высоковольтный электрод, Третий электрод, на который подаётся постоянный потенциал положительной или отрицательной полярности, находится на расстоянии 10 мм от коронирующего электрода. Электродная система помещается в ячейку с прозрачными стенками, через которую пропускается слабый поток осушенного воздуха с влажностью менее 1% . Основная масса измерений проведена при расходе воздуха 0,5 л/мин.

Схема измерений характеристик ПР приведена на рис. 1а. Схема включает источник переменного напряжения повышенной частоты (13,7 кГц) до 3-х кВ, источники постоянного напряжения до 10 кВ положительной и отрицательной полярности и измерительную часть, в которую входят осциллограф Tektronix DPO7354 с полосой пропускания 3,5 ГГц, малоиндуктивный омический шунт (7,9 Ом) и микрамперметр М592 с пределом измерения до 200 мкА.

В работе использовались диэлектрические барьеры из керамики 22ХС на основе Al2O3 без дополнительного покрытия и пленкой диоксида кремния – SiO2. Пленка наносилась на поверхность барьера методом ионно-плазменного распыления. Характеристики барьера приведены в табл. 1.

Известно, что ПР в воздухе при нормальных условиях представляет собой микроразряды, возникающие с края электрода. В работе для каждого круга условий определялось начальное напряжение возникновения разряда U0, амплитуды импульсов тока микроразрядов Im, их число за полупериод nср.

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |
| в) |

Рис. 1. Принципиальная схема для измерения электрических характеристик ПР (а), геометрия электродной системы (б) и внешний вид коронирующего электрода (в). R1 = 5,1кОм, R2 = 20 кОм.

Таблица 1. Параметры использованных в работе барьеров

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ε | Толщина пленки, нм | U0, кВ |
| Без покрытия | 9,3 | ‑ | 1,82 |
| SiO2 | 4 | 300 | 1,94 |

На осциллограммах (рис.2) приведен ток смещения и импульсы тока, соответствующие ПР. Анализ осциллограмм тока для всех условий показал, что токи отрицательных импульсов очень малы (рис.2), и анализ проводится только для положительных импульсов.

При наложении постоянного напряжения на промежуток с ПР между третьим электродом и коронирующим электродом возникает ток Iпост, создаваемый зарядами, «вытягиваемыми» постоянным полем в область над плазменным слоем, создаваемым микроразрядами. Увеличение постоянного напряжения ведет к существенному увеличению Iпост. При положительном потенциале токи в 1,2 – 1,5 раз выше, чем при отрицательном потенциале третьего электрода. Значения Iпост усреднялись по 2—3 измерениям и приведены на рис. 3 в зависимости от положительного потенциала третьего электрода для барьера без покрытия и с пленкой SiO2. Измерения подтверждают полученный

ранее [2] вывод о том, что ток Iпост, определяется как значениями переменного и постоянного напряжений, так и свойствами поверхности барьера (рис.3,4).

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рис. 2. Примеры осциллограмм импульсов тока ПР: а) за период воздействующего напряжения; б) импульсы тока отдельных микроразрядов

При этом в отличие от результатов, полученных ранее [2], установлено, что наличие пленки ведет к снижению Iпост по сравнению с ее отсутствием. Это может быть связано с резким изменением состояния пленок после имевшей место ранее длительной (более 10 часов) работы барьера с разрядом. Измерения под микроскопом показали, что воздействие разряда ведет к сглаживанию поверхности, что делает микроразряды менее мощными [3].

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 3. Зависимость «вытягиваемого»  тока от положительного потенциала  третьего электрода | Было выявлено, что для каждого сочетания значений переменного и постоянного напряжений уже через несколько минут горения разряда число импульсов за полупериод воздействующего напряжения увеличивается (с ~10 до ~50), в то время как амплитуда этих импульсов заметно уменьшается, что можно связать с влиянием заряда, оседающего на поверхность барьера при разряде. Влияние оседающего заряда проявляется и в форме импульсов тока микроразрядов, имеющих как колебательный, так и апериодический характер (рис.2б). |

Измерения показывают, что увеличение переменного напряжения и постоянного напряжения до + 6 кВ ведет к росту средних амплитуд импульсов тока микроразрядов и снижению их числа (рис.4). При постоянном напряжении выше 6 кВ начинается уменьшение амплитуд импульсов и рост их числа, что свидетельствует об изменении характера ПР.

Отрицательный потенциал третьего электрода, как показали измерения, в большинстве случаев ведёт к уменьшению амплитуд импульсов ПР и числа этих импульсов.

|  |  |
| --- | --- |
| **А** | **Б** |

Рис. 4. Средние амплитуды импульсов тока (А) и среднее число импульсов за полупериод (Б). Сплошные линии – барьер без покрытия, пунктир – пленка SiO2

Выводы:

1. Поток заряженных частиц, «вытягиваемых» постоянным полем из области ПР, определяется как приложенным переменным напряжением, увеличение которого ведет к увеличению интенсивности ПР (увеличению амплитуд импульсов тока микроразрядов), так и постоянным напряжением, увеличивающим подвижность заряженных частиц и их число, дрейфующее к третьему электроду.

2. Наблюдается изменение характеристик ПР при увеличении постоянного напряжения, при этом характер влияния постоянного напряжения зависит, в свою очередь, как от значения переменного напряжения, т.е. от интенсивности ПР, так и от состояния поверхности барьера, включая наличие пленки.

3. Для условий проведенных измерений наблюдается определенное сочетание значений переменного и постоянного напряжений, при котором характер влияния постоянного напряжения на ПР меняется, что может быть связано с образованием в промежутке объемного заряда движущихся заряженных частиц и влиянием поля этого заряда на характеристики микроразрядов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Marina Vladimirovna Sokolova, Kirill Kozlov, Alexey Mitin, and Pavel Tatarenko. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* **61**(2013) 24312*.*

2. M. V. Sokolova, K. V. Kozlov, A. N. Mitin. *Dielectric barrier surface discharge in three electrode system as a source of charged species. 5-th CESPS. 25‑29 August 2013, Balatonalmadi, Hungary.* P. 88.

3. Sokolova, M.V., Krivov, S.A. *Journal of Advanced Oxidation Technologies.* **9 (2)**(2006) PP. 164 - 169*.*