

АТМОСФЕРНАЯ ПЛАЗМА И МЕТОДЫ ЕЁ ГЕНЕРАЦИИ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Бачило В.В., Рыбаков С.А.

В данной работе рассматриваются основные методы генерации плазмы, в том числе атмосферной. Особое внимание уделяется мало изученному диэлектрическому барьерному разряду (DBD), а также различным конфигурациям его генератора.

Плазма – это ионизированный газ, который состоит из свободных электронов, ионов, а также молекул и атомов нейтрального газа. Для того, чтобы разделить молекулу газа (ионизировать), необходимо ей сообщить достаточно большую энергию, которая заставит её быстро и хаотично двигаться, сталкиваясь с другими молекулами и теряя электроны. Эта энергия называется кинетической энергией, и она напрямую зависит от температуры. Таким образом, для того, чтобы газ стал плазмой, его нужно нагреть, причём нагреть проще всего электроны из-за их очень маленького веса и размера. Теоретически возможно получение плазмы путём классического сильного нагревания, однако плазменная температура даже самых простых газов (таких, как водород или гелий) во много раз превышает температуры самых эффективных нагревательных установок. Поэтому на практике плазму как правило нагревают пропусканием электрического тока через газы.

На сегодняшний день наиболее распространены следующие группы методов получения плазмы:

- 1) Методы электрической ионизации;
- 2) Методы оптической ионизации, в том числе оптические разрядные методы.

Разделение этих методов на самом деле достаточно условное, потому что они все основаны на принципе передачи энергии от высокоэнергетического источника в различные газы. Практически всегда эта «транспортная» является разрядом.

Плазму делят на горячую (свыше миллиона градусов по кельвину – именно при такой температуре происходят термоядерные реакции) и холодную. При этом холодная плазма так же делится на термическую и нетермическую. Плазму можно получать при низком давлении в специальных вакуумных установках и при атмосферном давлении. До недавнего времени добиться стабильного существования плазмы удавалось только при использовании вакуумных установок.

Атмосферная плазма – эффективная альтернатива существующей вакуумной плазме, поскольку для её генерации не требуются дорогостоящие вакуумные системы.

Существует много способов генерировать плазму – и каждый находит своё применение в той или иной области:

- Тлеющий разряд – вакуумный нетермический разряд с очень малым током и высоким напряжением. Используется в осветительных конструкциях, неоновых лампах;
- Дуговой разряд – атмосферный термический разряд при сравнительно низких напряжениях и очень больших токах (не выгоден с энергетической точки зрения), электроды в результате термоэmissions сильно нагреваются и продукты этого процесса загрязняют плазму. Используется в плазменных горелках, резаках, плавильных станциях;
- ВЧ- и СЧВ-разряды – атмосферная или вакуумная термическая плазма, используется индукционная или емкостная ионизация, без использования электродов. Таким образом, генерируемая плазма образуется без примесей. Используется при плазменном нанесении термостойких покрытий и напылений.
- Коронный разряд – атмосферный нетермический разряд при очень высоких и неоднородных напряжениях и практически нулевых токах. Используется при производстве озона и очищении воздуха, применяется в принтерах, а также для диагностики целостности конструкций;
- Диэлектрический барьерный разряд (DBD) – атмосферный нетермический разряд с высокими напряжениями и низкими токами. Используется для обработки поверхностей, нанесения покрытий, озонирования, стерилизации;
- Оптический разряд – атмосферный термический разряд. Возможность достигать самых высоких температур, однако требуются очень большие лазеры с очень большим потреблением энергии. Возможность формирования плазмы сфокусированным лазером дистанционно без вспомогательных средств.

Среди методов генерации плазмы особый интерес вызывает диэлектрический барьерный разряд (DBD). В наше время существенный интерес вызывает создание технологий управления высокоскоростными воздушными потоками вблизи поверхности летательных аппаратов путем модификации пограничного слоя с помощью поверхностного диэлектрического барьерного разряда. В данный момент активно проверяются теории, согласно которым плазма может поглощать электромагнитное излучение. Это значит, что из плазмы можно сделать камуфляж, который будет укрывать летательные аппараты или наземные технические средства от радаров. Электрический разряд, в том числе, поверхностный барьерный разряд, также активно применяется в методах и технологиях синтеза наноматериалов. Кроме того, в настоящее время в качестве промышленных источников озона широко используются плазмохимические реакторы на основе барьерного разряда.

Барьерный диэлектрический разряд представляет собой разряд через диэлектрический материал.

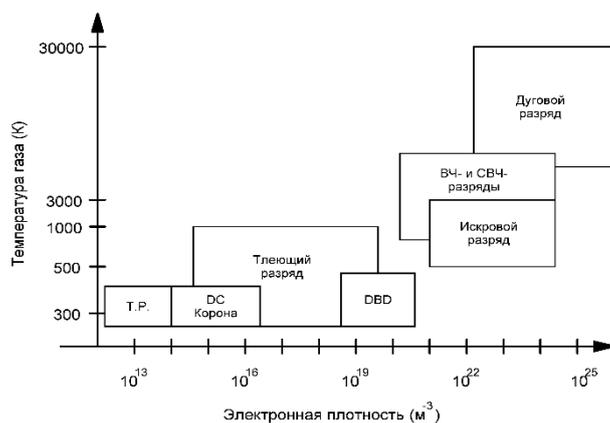


Рис. 1 – Различные типы газовых разрядов и их температуры

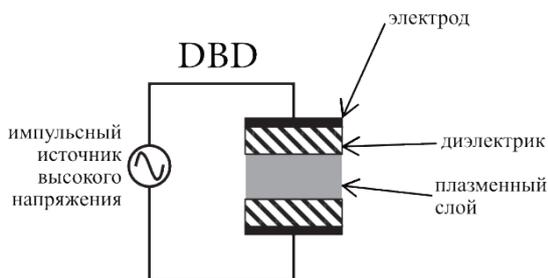


Рис. 2 – Генератор DBD

DBD является источником плазмы с электродами и изолирующим слоем между ними. Электроды подключены к импульсной системе (рис. 2).

DBD – это самостоятельный электрический разряд в электродной конфигурации, содержащей на пути разряда изоляционный материал. Этот, так называемый, диэлектрический барьер позволяет производить нетермическую плазму при атмосферном давлении. Конфигурация параметров и принципов диэлектрического барьерного разряда характеризуется наличием изолирующего материала (диэлектрика) в области разряда. Обычно используются такие материалы как стекло, кварц, керамика, эмаль, слюда, пластик, резина и кремний.

Среди самых простых конфигураций можно выделить следующие:

1) Объемные DBD – один или оба электрода покрыты диэлектриком, защищающим их от реактивных веществ, которые могут образовываться в плазме, пространство между диэлектриками заполнено газом (схематично изображено на (а)). Для варианта, когда диэлектриком покрыт только один электрод требуется значительно меньше напряжение пробоя, однако возникает риск эрозии или коррозии второго электрода. На самом деле на этом и заканчивается разница между расположением диэлектрика, этот параметр можно изменять для различных способов обработки газов;

2) При поверхностном DBD оба электрода находятся в непосредственном контакте с барьером. Здесь, плазма образуется в газе на открытой поверхности электрода и распространяется на поверхности диэлектрика, в то время как другой электрод встраивается внутрь диэлектрика. Такая конфигурация может быть получена с использованием сети электродов с одной стороны диэлектрика и плоской пластины – с другой;

3) В копланарных конфигурациях оба электрода встраиваются в диэлектрик, а вокруг него в воздухе образуется плазма.

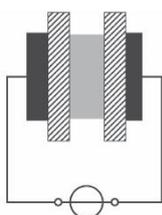


Рис. 3 – Объемный DBD с двумя диэлектриками

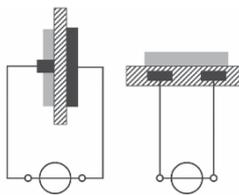


Рис. 4 – Поверхностные DBD

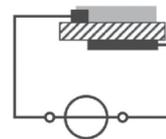


Рис. 5 – Копланарные DBD

Список использованных источников:

1. Dielectric barrier discharges: progress on plasma sources and on the understanding of regimes and single filaments : Topical Review / Ronny Brandenburg – Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, Greifswald, 2017.
2. Foundations of atmospheric pressure nonequilibrium plasmas : Topical Review / Peter J Bruggeman – Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, Greifswald, 2017.