

Технология холодной атмосферной плазмы и ее применение для обработки поверхности и нанесения покрытий

Б.З. Хамаде, Д.А. Котов

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

В сообщении приводятся результаты аналитических исследований применения плазмы генерируемой при атмосферном давлении и ее видах разрядов для использования в микроэлектронике и нанотехнологиях.

Ключевые слова. Атмосферная плазма, Коронный разряд, диэлектрический барьерный разряд (DBD), плазменная струя при атмосферном давлении (APPJ), Факельный разряд, источник копланарной конфигурации.

Область применения плазмы. Плазма широко используется для обработки материалов в течении последних 60 лет. Вакуумная плазма как правило используется для селективного травления пленочных структур, обработки поверхности для того, чтобы увеличить смачиваемость или улучшить адгезию (прилипание), а также в производстве тонких пленок, включая алмазоподобного углерода (DLC), и тонких пленок, имеющих необходимые проводящие, диэлектрические или полупроводниковые свойства. Но существуют определённые ограничения как по технологии обработки, так и по откачке материалов в вакуумной камере, а также материальные затраты на создание такой установки.

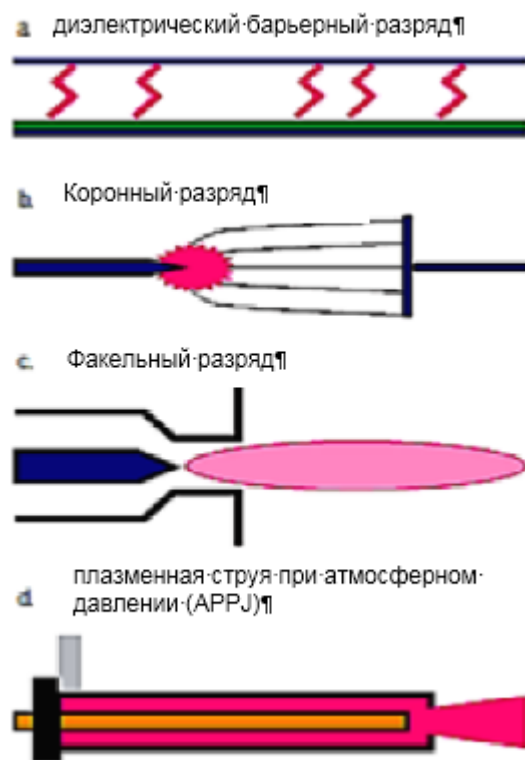
Обработка материалов при атмосферном давлении обеспечивает явные преимущества перед традиционной (вакуумной) обработкой, основанной на плазменных разрядах при пониженном давлении. В дополнении к уменьшению капитальных расходов на оборудование и устранению ограничений, установленными вакуумной совместимостью, плазменная обработка при высоком давлении и низкой температуре может быть использована во многих отраслях промышленности. Внедрение таких систем позволит создать новые виды текстильных материалов или различных упаковочных материалов по большей части для скоропортящихся продуктов, также возможно использование в медицинских целях, и это только маленькая часть того где это можно использовать, в некоторых случаях такой метод может полностью заменить методы вакуумной плазменной обработки.

На рисунке приведены несколько видов разрядов, которые формируются при атмосферном давлении.

На рисунке (а) диэлектрический барьерный разряд в котором используется диэлектрическое покрытие на одном или обоих электродах, к одному из которых обычно подводится переменный сигнал в диапазоне радиочастот, тогда как другой заземлен. Разряд состоит из множества быстро образующихся и также быстро завершающихся стримеров (низкотемпературных дуг), которые заполняют объем между электродами. Обработку материалов можно проводить, используя эффект генерации озона (в случае подачи воздуха или кислорода) или даже пропуская подложку материала – предполагая, что он диэлектрик – через область между электродами.

Коронный разряд, рисунок (б), является не дуговой, неоднородной плазмой, которая загорается за счет сильного электрического поля на острых концах электродов. Для того, чтобы предотвратить искрение, ни одна заземленная поверхность не может располагаться около этих острых концов, поэтому такой разряд от природы неоднородный: плотность плазмы быстро падает с увеличением расстояния от электродов.

Факельный разряд, рисунок (с), часто путают с плазменной струёй при атмосферном давлении, которая будет описана ниже. В отличие от других источников плазмы, показанных на этом рисунке, факельный разряд – это термическая плазма, которая характеризуется высокой температурой ионов примерно равной температуре электронов. Этот источник предоставляет возможность использования его очень высоких температур газа в процессах обработки материалов, в основном для переработки химических отходов, осаждения керамических покрытий и спекания (обжига).



Рисунок

Четвертый источник на рисунке (d) – плазменная струя при атмосферном давлении (APPJ- atmospheric pressure plasma jet). Фактически это плазма одного электрода, так как ВЧ напряжение поступает только на электрод внутри трубки из диэлектрического материала. Тогда как в факельном разряде второй заземлённый электрод находится сразу после высоковольтного. APPJ действует без диэлектрического покрытия электрода, также еще не имеет нити накала. Газовая температура разряда обычно между 50 и 300°C, поэтому можно избежать термического разрушения материалов.

Большое количество больших исследований [1-5] было посвящено повышению эффективности преобразования кислорода в озон за счет оптимизации параметров разряда, соответствующего выбора конфигураций электродов, пространственных материалов для его конструкции, различных катализаторов, изменения рабочих частот или даже работы в импульсном режиме.

Группе авторов [6] удалось реализовать диэлектрический барьерный разряд в воздухе при атмосферном давлении, что считалось невозможным до них, на частоте 50 Гц в режиме тлеющего разряда. Именно до этого времени считалось, что тлеющий разряд не может быть стабилизирован и устойчив при атмосферном давлении. Необходимо избегать перехода в режим сильноточного разряда, который, как следствие, приводит к дуговому разряду, губительному для электродов.

Применение диэлектрического барьерного разряда обеспечивает обработку поверхности материалов и осаждение покрытий из газообразного прекурсора пригодные для микроэлектроники, оптики и оптоэлектроники. С учетом низких затрат на оборудование и электроэнергию такие технологии однозначно представляют интерес со стороны производства.

Список использованных источников:

- [1] V. J. Tu, J. Y. Jeong, A. Schutze, et al., “Tantalum Etching with a Nonthermal Atmospheric Pressure Plasma,” *Journal of Vacuum Science and Techn.*
- [2] J. Park, I. Henins, H. W. Herrmann, et al., “An Atmospheric Pressure Plasma Source,” *Applied Physics Letters* 76, 288–290 (2000).
- [3] M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*, (Wiley-Interscien)
- [4] J. Park, I. Henins, H. W. Herrmann, et al., “Discharge Phenomena of an Atmospheric Pressure Radio-Frequency Capacitive Plasma Source,” *Journal of A.*
- [5] C. J. Mogab in, *VLSI Technology*, S. M. Sze Ed., (McGraw Hill, New York, 1983), pp 303–346.
- [6] J. Park, I. Henins, H. W. Herrmann, et al., “Gas Breakdown in an Atmospheric Pressure Radio-Frequency Capacitive Plasma Source,” *Journal of A.*