

2. Schlote, J. SiO<sub>2</sub> films from tetraethoxylane-based LPCVD: An experimental investigation of the by-product-inhibited deposition mechanism / J. Schlote, E. Bugiel, J. Arndt, G. Wahl // J. Electrochem. Soc. – 1999. – Vol. 146. – P. 3415–3419.

3. Vallee, C. Inorganic to organic crossover in thin films deposited from O<sub>2</sub>/TEOS plasmas/ C. Vallee, A. Lee, J. Durand, C. Marlieve // J. of Non-Cryst. Solid. – 2000. – Vol. 272. – P. 163–173.

4. Meskinis, S. Dielectric properties of the ion beam deposited SiO<sub>x</sub> doped DLC films / S. Meskinis, R. Gudaitis, S. Tamulevicius, V. Kopustinskas, M. Andrulevicius // Material Sci. – 2009. – Vol. 15. – № 1. – P. 3–6.

5. Телеш, Е.В. Формирование оптических покрытий прямым осаждением из ионных пучков / Е.В. Телеш, Н.К. Касинский // Контенант. – 2014. – Т. 13. – № 2. – С. 27–30.

6. Телеш, Е.В. Оптические характеристики тонких пленок диоксида кремния, полученных прямым осаждением из ионных пучков / Е.В. Телеш, А.П. Достанко, А.Ю. Вашуров // Доклады БГУИР. – 2015. – № 8(94). – С. 81–85.

**О.И. Тихон, С.И. Мадвейко, С.В. Бордусов**

УО «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Повышение требований к качеству изготовления компонентов при производстве изделий электронной техники требует решения новых задач в области микро- и нанoeлектроники, в частности применения существующих и создания новых типов плазменных разрядов.

Ключевую роль в производстве полупроводниковых приборов уже долгое время играет плазма низкого давления. Ряд преимуществ, среди которых: возможность генерации высококонцентрированных реактивных частиц, способных травить и наносить тонкие плёнки на поверхность; получение равномерного свечения плазмы и низкая температура рабочего газа, позволяющая обрабатывать термочувствительные подложки, позволили плазме проникнуть практически на все этапы производства. Плазма низкого давления, однако, имеет ряд недостатков, к которым относится необходимость использования вакуумных систем, вы-

сокая стоимость технического обслуживания установки, а также ограничение размера объекта размером рабочей камеры [1].

В последнее время наметилась тенденция к расширению областей использования плазмы, что привело к началу разработки экономичных устройств, способных функционировать в пределах автоматических обрабатывающих линий. Перспективным направлением является применение установок на основе разряда атмосферного давления. Отсутствие вакуумной камеры и возможностью воздействия на фактически неограниченные размеры изделий позволяет плазменным системам атмосферного давления найти широкое применение в технологии обработки материалов для локальной обработки поверхностей и в смежных областях. Наиболее распространёнными являются устройства, использующие следующие методы генерации плазмы: формирование струи плазмы атмосферного давления (*APPJ*), «плазменная игла», плазменный «карандаш» и диэлектрический барьерный разряд (*DBD*) [2].

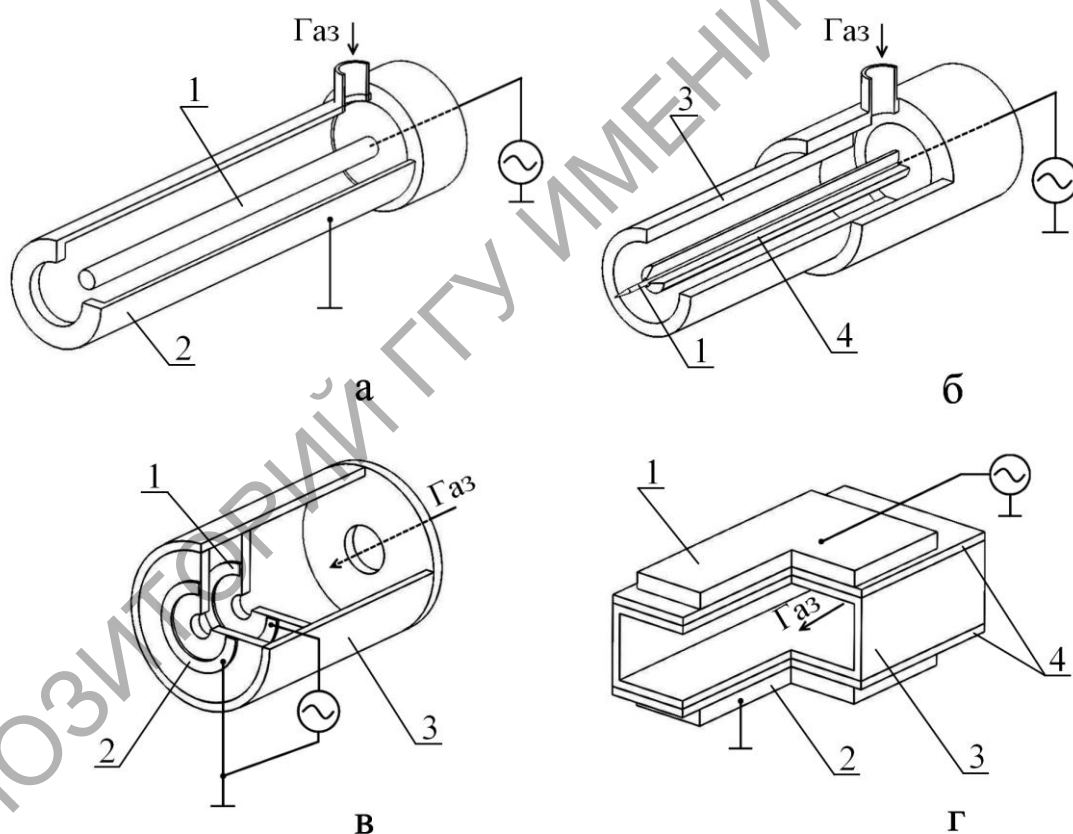


Рисунок 1 – Устройства генерации плазмы атмосферного давления:

- 1 – потенциальный электрод; 2 – заземлённый электрод;  
3 – диэлектрический канал; 4 – изоляция

Устройство типа *APPJ* обычно состоит из двух коаксиальных электродов, между которыми подаётся рабочий газ (смеси гелия, кислорода и другие газы)

(рисунок 1,а). Катод, изготовленный из вольфрама, нержавеющей стали или иного материала, подключён к источнику ВЧ напряжения (13,56 МГц), анод заземлён. При подаче напряжения на центральный электрод, молекулы рабочего газа, протекающего через зону разряда, возбуждаются и переходят в состояние плазмы. Полученные активные частицы на высокой скорости выходят из сопла и поступают в зону обработки. Модификацией системы является уменьшенное устройство, состоящее из тонкой нити, помещённой в трубку из плексигласа, и называемое «плазменной иглой» (рисунок 1,б). Часть нити выступает за пределы изоляции. В качестве рабочего газа обычно применяется гелий, имеющий высокую теплопроводность, который смешивается с воздухом на наконечнике иглы, где создаётся микроразряд за счёт подачи на иглу ВЧ напряжения частотой 13,56 МГц мощностью от 10 мВт до нескольких Вт.

Плазменный «карандаш» представляет собой диэлектрическую трубку с помещёнными внутри электродами, выполненными в виде диэлектрического диска с отверстием по центру, вокруг которого закреплено тонкое медное кольцо (рисунок 1,в). Для создания плазмы между двумя электродами, на которые подаются микросекундные высоковольтные импульсы, прокачивается рабочий газ. Струя плазмы выходит через отверстие во внешнем электроде.

Разрядная система атмосферного давления на основе диэлектрического барьерного разряда, в простейшем случае, состоит из двух плоских металлических электродов, покрытых диэлектрическим материалом (рисунок 1,г). Газ-носитель движется между электродами и ионизируется для создания плазмы. Для функционирования устройства необходимы высокие напряжения. Потенциальный электрод подключён к источнику переменного тока и работает при частотах 100 Гц – 200 кГц. Энергопотребление при этом лежит в диапазоне 10–100 Вт.

Присутствия центрального электрода в области генерации плазмы препятствует подаче газа прекурсора в направлении, соосном с потоком транспортного газа, а перегрев и эрозия электрода может привести к эмиссии материала в выходящую плазму. Более того, диэлектрическое экранирование электродов для возбуждения плазмы в атмосфере кислорода требует высоких разрядных напряжений [3].

Решение данных проблем возможно путём применения двухсекционного метода создания плазменного пучка. В этом случае для зажигания плазмы используются электроды, располагаемые на наружной поверхности канала из диэлектрического материала, через который прокачивается рабочий газ (рисунок 2,а). Первая секция, состоящая из пары электродов, подключённых к высокочастотному генератору, используется для зажигания первичной нитевидной плазмы. Поддержание разряда осуществляется при протекании плазмы через

вторую пару электродов, подключённых к радиочастотному генератору. Контролирующее устройство, подключённое к двум генераторам, управляет активацией радиочастотного генератора (1–100 кГц) во время череды импульсов, генерируемых ВЧ-генератором (1–30 МГц). Иным вариантом является применение вместо второй пары электродов медной катушки, на которую подаётся переменное напряжение с частотой 100–200 МГц (рисунок 2,б). При этом во второй секции плазма имеет большую плотность, чем возбуждённая в первой секции парой электродов [4].

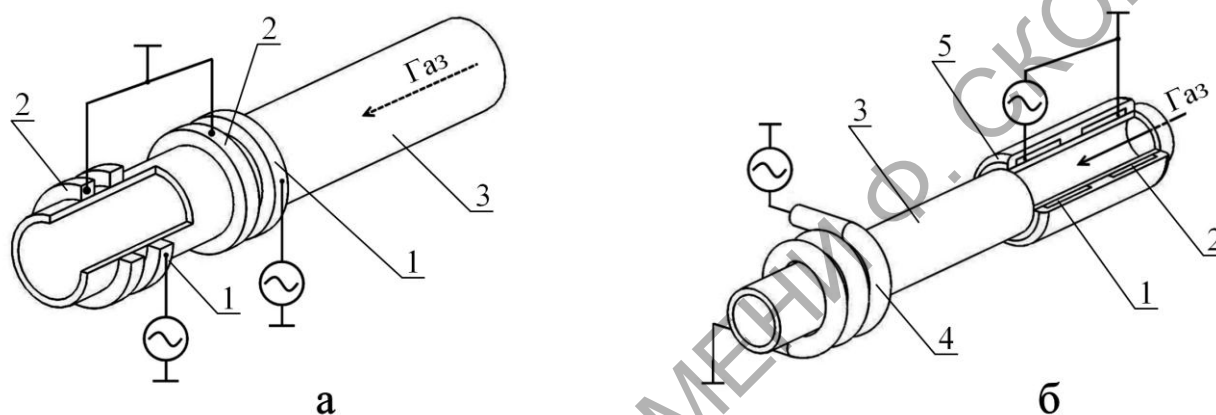


Рисунок 2 – Двухсекционные устройства генерации плазмы атмосферного давления:

1 – потенциальный электрод; 2 – заземлённый электрод;  
3 – диэлектрический канал; 4 – медная катушка; 5 – изоляция

Недостатками приведённых конструкций разрядных систем являются малый объём плазмы и использование двух различных по частоте генераторов.

Анализ литературных источников указывает на возрастающий интерес к разработке и практическому использованию компактных и экономичных газоразрядных устройств атмосферного давления не только в технологических целях, таких как, очистка и модификация поверхностей, нанесение тонких плёнок, стерилизация полимерных волокон, но и в других областях деятельности, например, в биомедицинской сфере холодная плазма атмосферного давления рассматривается в качестве стерилизатора, ускорителя заживления ран и инструмента для решения иных медицинских задач.

## Литература

1. Бордусов, С.В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники: монография / С.В. Бордусов; под ред. А.П. Достанко. – Минск : Бестпринт, 2002. – 452 с.

2. Hoffmann, C. Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology / C. Hoffmann, C. Berganza, J. Zhang // Medical Gas Research. – 2013. – P. 21.

3. Пат. WO 2015/071746 A1, МПК H05H 1/24, H05H 1/30. Method of generating an atmospheric plasma jet and atmospheric plasma minitorch device / Patelli, A., Verga Falzacappa, E., Scopece, P., Pierobon, R., Vezzu, S. Оpubл. 21.05.2015. – 45 с.

4. Пат. US 2011/0298376 A1, МПК H05H 1/30. Apparatus and method for producing plasma / Kanegae, M., Kato K., Onoe K., Fukuoka D. Оpubл. 08.12.2011. – 36 с.

**А.А. Хмыль<sup>1</sup>, Н.Н. Федосенко<sup>2</sup>, А.Н. Купо<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

<sup>2</sup>УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

## **ВЛИЯНИЕ АКТИВИРУЮЩЕГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ СЕРЕБРА**

### **Введение**

Среди различных методов формирования функциональных элементов и поверхностных структур электронной техники одним из перспективных и непрерывно развивающихся является метод электрохимической обработки. В последние годы научный интерес вызывает электрохимическая обработка (как осаждение, так и травление) с применением активирующего лазерного излучения. Использование лазерного излучения в электрохимических реакциях обеспечивает существенное локальное увеличение (в 5–10 раз) скорости процесса, позволяет снизить механические напряжения и концентрацию микродефектов в получаемых покрытиях. В зоне воздействия ЛИ и её ближайшей окрестности формируются локальные осадки металлов, при этом их свойства принципиально отличаются от свойств электрохимического покрытия, осаждаемого вне зоны термического влияния лазерного излучения [1, 2].

Локальное безмасочное лазерное электрохимическое осаждение (ЛЭО) применяется при изготовлении контактных площадок, формировании объёмных выводов на рамках микросхем, закреплённых на ленточных носителях, деталях электромеханических микрореле и т. д. Метод лазерной электрохимии обеспечивает развитие новых технологий изготовления непланарных сеток, филь-