

УДК 533.9.07

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПЛАЗМЕННЫХ РЕАКТОРОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Лях А.С.

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

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. Рассмотрены конструктивно-технические особенности построения объемных плазменных реакторов используемых при производстве изделий электронной техники. Проведен анализ реакторов для плазмохимической обработки материалов микро- и нанoeлектроники.

Ключевые слова. СВЧ плазма, плазматрон, плазмохимическое травление, плазменный реактор.

Введение. В настоящее время разработаны многочисленные СВЧ устройства для получения плазмы, свойства которой зависят от способа ее получения. Эти устройства характеризуются структурой электромагнитного поля, энергетической эффективностью устройства, широкополосностью, зависимостью свойств плазмы от частоты, уровнем минимальной и максимальной мощности. Поэтому при анализе такой плазмы более целесообразно рассматривать СВЧ-разряд, как многофакторную систему, представляющую плазму в конкретном газоразрядном устройстве. [1]

СВЧ-разряд (микроволновый разряд) создается с помощью электромагнитных волн с частотой, превышающей 300 МГц. Разрешенными для промышленных, медицинских и научных применений являются частоты 460, 915, 2450, 5800, 22125 МГц. В плазматронах технологического назначения наиболее часто используется частота 2,450 ГГц. [1]

Основным элементом плазматрона является устройство, позволяющее вводить электромагнитную энергию в разрядный объем. Все конструкции генераторов плазмы (плазматронов) СВЧ диапазона могут быть условно разделены на несколько групп: основанные на передающих СВЧ линиях, на основе СВЧ резонаторов, с использованием бегущей волны в плазме, с применением замедляющих структур, с распределенным в пространстве вводом энергии в плазму, генераторы плазмы в волновых пучках, с электродными СВЧ системами, с иницированными СВЧ-разрядами, с применением комбинаций полей СВЧ диапазона и других частот, генераторы плазмы в СВЧ системах с внешними магнитными полями. [1]

Типы применяемых плазматронов:

Электродуговые:

- С прямой дугой.
- С косвенной дугой.
- С электролитическим электродом (электродами).
- С вращающейся дугой.
- С вращающимися электродами.

Высокочастотные:

- Индукционные.
- Ёмкостные.

Комбинированные, которые работают при совместном действии токов высоких частот (ТВЧ) и при горении дугового разряда, в том числе с сжатием разряда магнитным полем [2].

Работа плазматронов основана на формировании сверхвысокочастотном разряде, как правило в резонаторе, сквозь который продувается плазмообразующий газ.

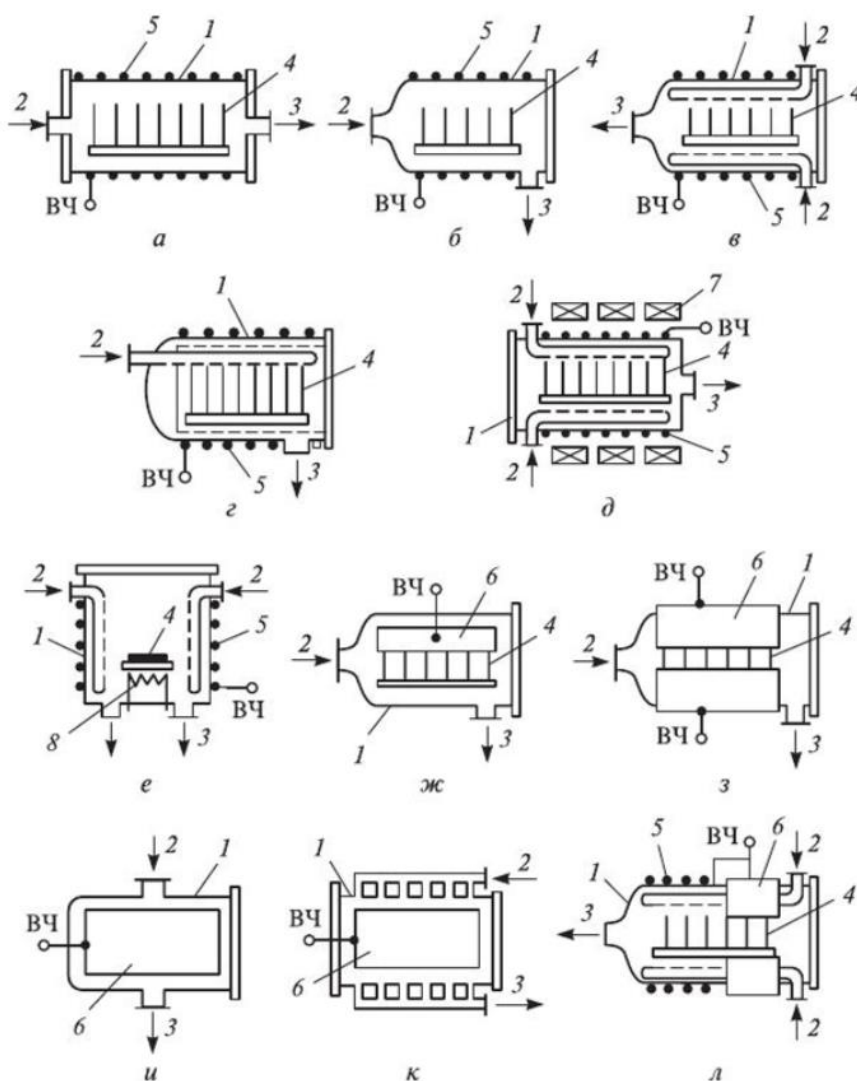
Генерацию энергетически и химически активных частиц для осуществления плазменного травления производят в реакторах, которые в зависимости от вида конкретного технологического процесса должны удовлетворять определенным требованиям. Для решения технологических задач постоянно модернизируются существующие и разрабатываются новые реакторы для плазмохимических технологий.

Основная часть. При плазмохимическом травлении [3] обрабатываемый образец помещается непосредственно в область химически активной плазмы, располагаясь на специальном подложкодержателе. Частицами, участвующими в процессе плазменного травления и влияющими на него, являются свободные атомы, радикалы, ионы и электроны. Вклад этих частиц в плазменное травление различен: химически активные частицы, т. е. свободные атомы и радикалы, вступают в химическую реакцию с поверхностными атомами материалов и удаляют поверхностные слои в результате образования летучих продуктов реакции, а электроны и ионы активируют эту реакцию, увеличивая скорость травления. Активирующее воздействие ионов и электронов определяется энергией, с которой они бомбардируют обрабатываемую поверхность. Значение этой энергии зависит от потенциала обрабатываемой поверхности относительно плазмы. Вследствие различия в подвижности электронов и ионов на поверхности подложки, находящейся в плазме (если она не заземлена и на нее не подается напряжение), возникает отрицательный плавающий потенциал, который зависит от мощности, вкладываемой в разряд, давления и вида газа и при плазменном травлении обычно не превышает нескольких десятков вольт. Таким образом, величина разности потенциалов между плазмой и обрабатываемой поверхностью не может обеспечить заряженным частицам энергию, достаточную для эффективного физического распыления. Но в то же время энергия ионов и электронов достаточна для разрушения химической связи между поверхностными атомами материала, активации химической реакции и стимулирования процессов десорбции образующихся продуктов. В результате скорость травления возрастает. Кроме этого, положительные ионы сами обладают химической активностью и могут вступать в реакцию. В большинстве случаев вклад химической реакции между ионами и материалом в плазменном травлении незначителен по сравнению с вкладом химической реакции с участием нейтральных активных частиц. Это объясняется тем, что концентрация ионов в плазме ($10^9 - 10^{11} \text{ см}^{-3}$) значительно ниже концентрации нейтральных активных частиц ($10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$) [3].

Плазмотроны должны обеспечивать заданную скорость и равномерность процесса при приемлемых мощности разряда и расходе рабочего газа. Таким требованиям удовлетворяют реакторы с объемным расположением подложек в плазме и реакторы диодного типа, в которых подложки размещают на плоских электродах.

Для плазмохимического травления применяют реакторы с объемным расположением подложек, которые чаще всего имеют цилиндрическую форму и выполняются из кварца. Основные конструктивные решения реакторов схематично изображены на рисунке 1 [4,5]. Плазма в таких реакторах возбуждается либо индуктором (рисунок 1, а - е), либо с помощью обкладок конденсатора (рисунок 1, ж - к), либо совместно индуктором и обкладками конденсатора (рисунок 1, л). Во всех случаях возбуждающие элементы вынесены за пределы реакционно-разрядной камеры, что обеспечивает отсутствие взаимодействия плазмы с материалом электродов и, следовательно, чистоту процессов плазмохимического травления.

Наиболее простая конструкция реактора представлена на рисунке 1, а, но в такой системе по пути газового потока наблюдается изменение концентрации активных частиц, выражающееся в неравномерности скорости травления по длине реактора. Кроме того, из-за расположения подложек перпендикулярно потоку происходит их взаимное экранирование. В данном реакторе газ подается и откачивается через фланцы, что усложняет операции загрузки и выгрузки пластин. Конструкция реактора с измененной подачей газа и одним съёмным фланцем (рисунок 1, б) облегчает загрузку и выгрузку пластин, однако газовый поток в ней организован неоптимальным образом.



1 — вакуумная камера; 2 — коллектор; 3 — откачное отверстие; 4 — подложки; 5 — индуктор; 6 — конденсаторные обкладки; 7 — магнит; 8 — нагреватель

Рисунок 1 – Схемы реакторов для плазмохимического травления [4]

Для улучшения равномерности подачи газового реагента используют коллекторы в виде трубок, расположенных симметрично вдоль цилиндрических стенок реактора. В наиболее совершенной конструкции реактора с распределенным напуском и откачкой газа (рисунок 1, г) предусмотрена съемная внутренняя камера с прорезями для откачки и штырьками для точной установки кассеты с пластинами, составляющая единое целое с фланцем. Эта камера обеспечивает равномерное травление и позволяет ускорить и упростить операции загрузки и выгрузки подложек [4,5].

Приведенные конструкции реакторов дают разброс скоростей обработки по подложке и в партии порядка 10 — 15 %. Для улучшения равномерности обработки в реакторе (рисунок 1, д) может быть использовано магнитное поле, вектор которого направлен параллельно оси реактора.

Реакторы с емкостным способом возбуждения плазмы (рисунок 1, ж – к), различаются формой обкладок конденсатора и способом подачи газа. В реакторе, представленном на ри-

сунке 1, ж, электроды выполнены в виде пластин, наложенных на внешнюю стенку кварцевого реактора в верхней его части. Такая конструкция не обеспечивает хорошей равномерности плазмы в реакторе, поэтому чаще используется электродная система в виде двух полуцилиндров, охватывающих реактор (рисунок 1, з). Чтобы устранить взаимную экранировку пластин, можно пользоваться реактором с подачей газа и откачкой через отверстия в цилиндрической стенке реактора (рисунок 1, и). Более совершенная конструкция с распределенной подачей и откачкой газа представлена на рисунке 1, к. Совмещение индуктивного и емкостного способов возбуждения плазмы позволяет получить хорошую однородность распределения плотности плазмы (рисунок 1, л) [4,5].

Заключение. Как показал анализ научно-технической литературы развитие газоразрядных устройств технологического назначения идет в направлении разработки плазмотронов с большим плазменным объемом. Интерес к изучению плазмы СВЧ разряда с большим поперечным сечением обусловлен необходимостью обработки полупроводниковых пластин диаметром 200 и 300 мм, а также групповой обработки пластин с меньшим диаметром на операциях плазменной очистки, активирования поверхности подложек, радикального и плазменного травления, плазмохимического осаждения тонких пленок и др. которая может проводиться в диапазоне давлений 50–400 Па. Конструктивное совмещение индуктивного и емкостного способов возбуждения плазмы позволяет получить хорошую однородность распределения плотности плазмы. Однако, распространенная кассетная загрузка подложек затрудняет создание установок непрерывного действия. Также для такого способа обработки необходима высокая точность поддержания рабочих параметров установки, что является сложной технической задачей.

Список литературы

1. Лебедев, А.Ю. Химия неравновесных СВЧ-разрядов // Низкотемпературная плазма. Т.3. Химия плазмы. Новосибирск: Наука.Сиб.отд-ние.1991.
2. Типы плазмотронов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Плазмотрон>.
3. Плазмохимическое травление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bars-barinov.narod.ru/plazm/glava4/04.htm>.
4. Оборудование плазмохимического травления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ozlib.com/819775/tehnika/oborudovanie_plazmohimicheskogo_travleniya.
5. Данилин, Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов / Б.С.Данилин, В.Ю.Киреев – М.: Энергоиздат, 1987.

UDC 533.9.07

ANALYSIS OF CONSTRUCTION SOLUTIONS OF PLASMA REACTORS USED IN PRODUCTION OF ELECTRONIC TECHNIQUE

Liakh A.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – PhD of Engineering Sciences, associate professor

Annotation. The design and technical features of the construction of plasma reactors used in the manufacture of electronic technique are considered. The analysis of reactors for plasma-chemical processing of micro and nanoelectronic materials has been carried out.

Keywords. Microwave plasma, plasmatron, plasma chemical etching, plasma reactor.