

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН НА
СВЧ РАЗРЯД В ПЛАЗМОТРОНЕ РЕЗОНАТОРНОГО ТИПА**
Мадвейко С.И., Тихон О.И., Годин П.А., Бордусов С.В., Достанко А.П.

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

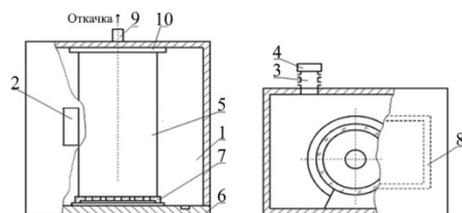
В настоящее время технология плазменной обработки полупроводниковых материалов является неотъемлемой частью технологического процесса изготовления современных устройств микро- и нанoeлектроники. В связи с ростом масштабов производства в промышленности осуществляется переход на обработку кремниевых подложек всё большего диаметра, что обуславливает необходимость разработки, применения и исследования характеристик плазменных источников, способных обеспечивать качественное выполнение технологических операций на поверхностях большой площади.

Одним из методов плазменной обработки является использование нестационарного сверхвысокочастотного (СВЧ) разряда. Выполнение современных требований, предъявляемых к новому СВЧ плазмохимическому технологическому оборудованию, осуществляется за счет применения в его конструкции объемных резонаторов. Конструктивные решения резонатора, являющегося системой формирования СВЧ поля, позволяют обеспечить формирование СВЧ разряда большого объема при использовании магнетронов средней мощности [1]. Конструкция разрядного узла и характеристические размеры разрядного объема в совокупности с прочими факторами (величина подводимой СВЧ мощности, тип волны, давление, тип рабочего газа и др.) оказывают влияние на пробойные условия газового разряда. Величина пробивной напряженности электрического поля в объемном резонаторе $E_0 = 110$ В/см для среднего вакуума может достигаться уже при мощностях свыше 50 Вт [2].

Целью проводимых исследований являлось изучение влияния площади кремниевых пластин, помещенных в объем крупногабаритной плазменной камеры СВЧ плазмотрона, на особенности формирования СВЧ разряда и его временные нестабильности.

Для проведения исследования использовалась экспериментальная СВЧ вакуумно-плазменная установка резонаторного типа. Схематическое изображение реакционно-разрядной системы установки представлено на рисунке 1 [1]. В центре объемного резонатора размером $40 \times 40 \times 30$ см располагается выполненная из кварцевой трубы разрядная камера длиной 34 см, в которую помещались Si пластины толщиной 0,5 мм. Для генерации вводимой в резонатор через прямоугольное отверстие связи электромагнитной энергии исполь-

зуется СВЧ магнетрон М-105 с рабочей частотой 2,45 ГГц и средней рабочей мощностью 650 Вт.



1 – резонатор; 2 – отверстие связи; 3 – волновод;
4 – магнетрон; 5 – реакционно-разрядная камера;
6 – передняя стенка резонатора; 7 – передняя крышка камеры; 8 – смотровое окно; 9 – патрубок для откачки;
10 – задняя крышка камеры

Рисунок 1 – Реакционно-разрядная система СВЧ плазменной установки

В качестве плазмообразующей среды использовался атмосферный воздух, давление в разрядной камере устанавливалось на уровне 240 Па. При проведении экспериментов регистрировались сигналы анодного напряжения и анодного тока СВЧ магнетрона. Также снимались представленные на рисунке 2 уровни СВЧ электромагнитного переизлучения из резонаторной камеры и оптического свечения плазмы СВЧ разряда при различной площади поверхности Si пластин, размещенных в реакционно-разрядном объеме плазмотрона. Для фиксации уровня переизлучения была использована рупорная антенна, оптический сигнал регистрировался с помощью фотоэлектронного умножителя.

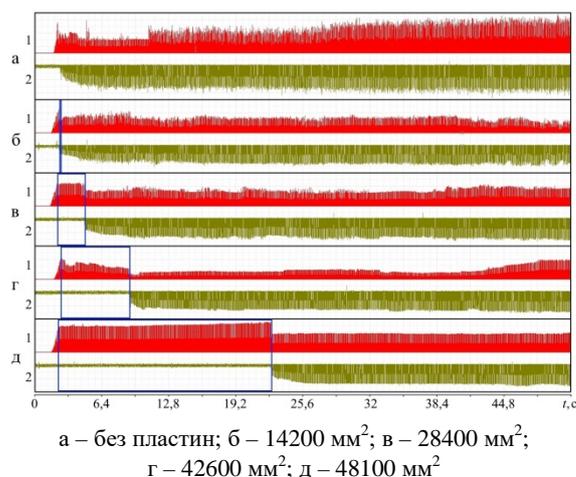


Рисунок 2 – Осциллограммы сигналов уровня электромагнитного переизлучения (1) и оптического свечения СВЧ плазмы (2) при различной площади поверхности обрабатываемых кремниевых пластин

Генерация плазмы СВЧ разряда происходит при достижении в объёме резонатора определенной величины напряжённости электрической составляющей электромагнитного поля. Однако при помещении в плазму объектов обработки необходимо учитывать «эффект загрузки» рабочей камеры. В частности, пластины монокристаллического кремния, расположенные в области СВЧ плазмообразования оказывают влияние на процесс формирования плазмы. Это связано с высоким тангенсом угла диэлектрических потерь Si пластин, что приводит к частичному поглощению ими СВЧ мощности как на стадии возбуждения плазмы СВЧ разряда, так и в процессе её поддержания [3]. Экспериментально установлено, что увеличение площади обрабатываемых кремниевых пластин при неизменных условиях электропитания СВЧ магнетрона приводит к увеличению времени задержки процесса плазмообразования (рисунок 3). Причиной этого может являться расходование СВЧ энергии на нагрев пластин, при котором происходит уменьшение их удельного сопротивления.

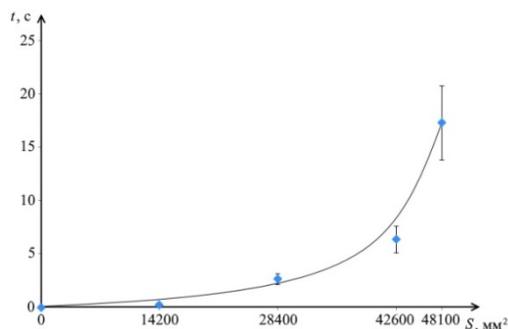


Рисунок 3 – Зависимость временной задержки возбуждения СВЧ разряда от площади поверхности Si пластин, размещенных в реакционной камере

Было проведено поимпульсное изучение величины и формы сигналов интегрального оптического свечения плазмы СВЧ разряда в различные моменты времени процесса плазмообразования в зависимости от площади поверхности кремниевых пластин в зоне обработки. Полученные результаты представлены в виде диаграмм распределения на рисунке 4. Также был выполнен анализ разброса амплитуды импульсов осциллограмм интегрального оптического свечения плазмы СВЧ на участке 2 (рисунок 4, а). Характер изменения временных нестабильностей оптического свечения приведен на рисунке 5.

Из представленной на рисунке 5 зависимости следует, что при увеличении площади находящихся в области разряда кремниевых пластин наблюдается повышение стабильности (до 4 раз) амплитуды импульсов интегрального оптического свечения плазмы. Рост повторяемости импульсов указывает на повышение стабильности

вклада генерируемой магнетроном СВЧ энергии в газовый разряд.

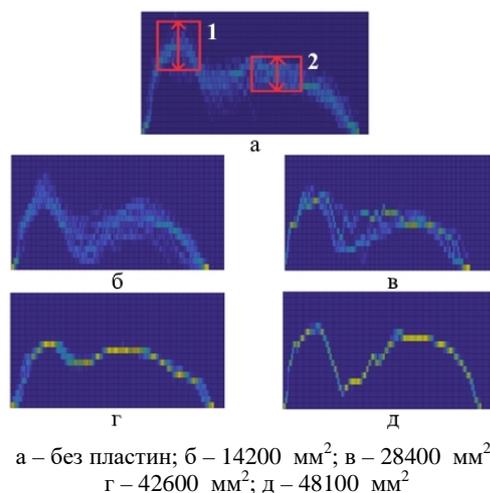


Рисунок 4 – Диаграммы распределения амплитуды импульсов оптического свечения при различной площади поверхности Si пластин, размещенных в реакционном объёме

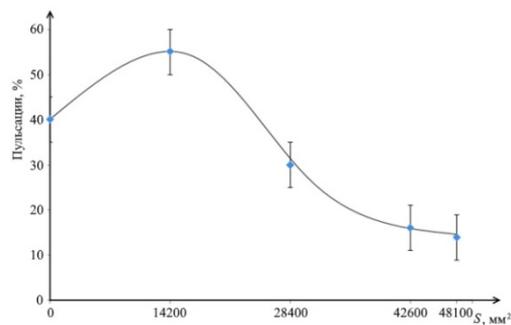


Рисунок 5 – Характер изменения временных нестабильностей оптического свечения плазмы пульсирующего СВЧ разряда от площади поверхности Si пластин, размещенных в реакционной камере

Таким образом, СВЧ плазменный разряд большого объёма, формируемый в плазматроне резонаторного типа, характеризуется достаточно высоким уровнем стабильности и способен обеспечить обработку кремниевых пластин диаметром до 200-300 мм, которые широко используются в настоящее время в полупроводниковом производстве.

Литература

1. Бордусов, С.В. Плазменные СВЧ-технологии в производстве изделий электронной техники / С.В. Бордусов; под ред. А.П. Достанко. – Минск: Бестпринт, 2002. – 452 с.
2. Madveika, S. I. Theoretical analysis of low vacuum microwave discharge exciting and maintaining conditions in resonator type plasmatron / S.I. Madveika, S.V. Bordusau // Plasma Physics and Technology. – 2015. – V. 2, № 2. – P. 155–158.
3. Investigation of silicon wafers' influence on the local microwave power values in a resonator-type plasmatron/ S. Madveika [etal.] // Plasma Physics and Technology. – 2019. – V. 6, № 3. – P. 239–242.