

УДК 533.924

О. И. ТИХОН, М. С. ЛУШАКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГРУППОВОЙ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ СВЧ РАЗРЯДА

Изучено влияние загруженности реакционно-разрядного объема установки СВЧ плазменной обработки кремниевыми пластинами на параметры интегрального оптического свечения разряда при непрерывном режиме плазмообразования. Установлено значительное снижение амплитуды оптического сигнала при минимальном оцениваемом уровне вводимой в разряд мощности с ростом количества кремниевых пластин в рабочей камере. При реализации процесса удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин подтверждено наличие «эффекта загрузки» при групповой обработке, связанного с поглощением объемом кремния части подводимой электромагнитной энергии.

С целью изучения стабильности поддержания плазмы СВЧ разряда, формируемой при непрерывном режиме работы СВЧ генератора [1], выполнена регистрация уровня интегрального оптического свечения с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-28. Оптический сигнал рассматривается в качестве индикатора величины вкладываемой в разряд мощности, и позволяет оценить режим работы СВЧ плазмохимической системы [2].

В объеме реакционно-разрядной камеры установки СВЧ плазменной обработки резонаторного типа располагались группы кремниевых пластин диаметром 100 мм [3]. 2, 4, 6, 8 и 12 пластин были установлены в камере вертикально параллельно потоку рабочего газа. Для формирования разряда были использованы кислород и воздух, в процессе экспериментальных исследований выполнялось варьирование величины мощности, подаваемой на работающий в непрерывном режиме СВЧ магнетрон.

В результате анализа полученных экспериментальных результатов установлено, что различная степень загрузки рабочей камеры полупроводниковыми пластинами при максимальном значении мощности питания СВЧ магнетрона (4020 Вт) не оказывает значительного влияния как на амплитудное значение регистрируемого оп-

тического сигнала, так и на усреднённое значение площади под его огибающей для двух вариантов плазмообразующих газов. Уменьшение подводимой к разряду мощности до минимальной оцениваемой величины (1880 Вт) демонстрирует снижение уровня амплитуды сигнала оптического свечения плазмы с ростом количества обрабатываемых пластин (рисунок 1). В случае загрузки в камеру до 12 пластин уровень сигнала при использовании воздуха может уменьшаться до 2 раз, кислорода – до 4 раз, по сравнению с одновременным расположением в камере двух пластин.

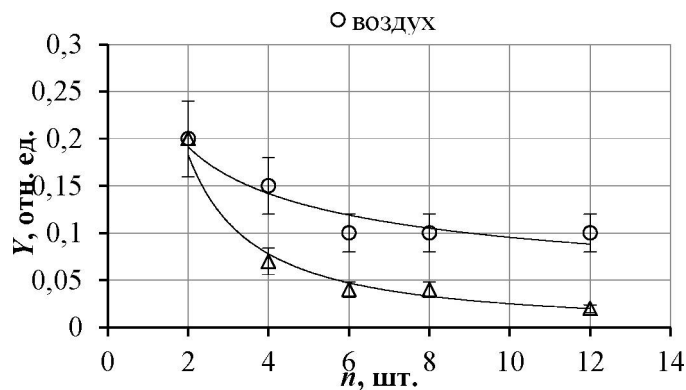


Рисунок 1 – Зависимость усреднённых амплитудных значений уровня сигнала интегрального оптического свечения плазмы от количества кремниевых пластин в реакционно-разрядной камере

При возбуждении СВЧ плазменного разряда эффективная мощность затрачивается как на ионизацию рабочего газа, так и на взаимодействие с кремниевыми подложками, приводящее к их нагреву. В случае уменьшения мощности от максимальной (4020 Вт) до минимальной (1880 Вт) снижение оцениваемого параметра свечения с ростом количества Si пластин в реакционно-разрядной камере, вероятно, связано с недостаточным уровнем подводимой к разряду эффективной мощности. Это обуславливается высокой степенью прямого поглощения части СВЧ энергии материалом кремниевых подложек, и проявляется в «эффекте загрузки».

Для изучения влияния характера плазмохимического взаимодействия при условии непрерывного режима плазмообразования был реализован процесс СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивного материала при различной загруженности образцами реакционно-разрядного объёма. Плёнка фоторезиста DSAM-3020 толщиной 1,2 мкм была сформирована на поверхности кремниевых пластин диаметром 100 мм. В качестве плазмообразующего газа использовался кислород, величина рабочего давления составляла 200 Па.

Для анализа влияния степени загруженности камеры обрабатываемыми образцами на продолжительность процесса полного удаления фоторезиста с поверхности пластин мощность трёхфазного источника питания непрерывного режима работы СВЧ магнетрона была установлена на уровне 4020 Вт. 1, 3, 6 и 9 кремниевых пластин располагались в центре рабочего объёма камеры установки СВЧ плазменной обработки вертикально и параллельно потоку плазмообразующего газа. При обработке 3 и 6 пластин образцы располагались в один ряд на расстоянии 20 мм между ними, при обработке 9 пластин образцы размещались в два ряда. На рисунке 2 представлена полученная экспериментальная зависимость.

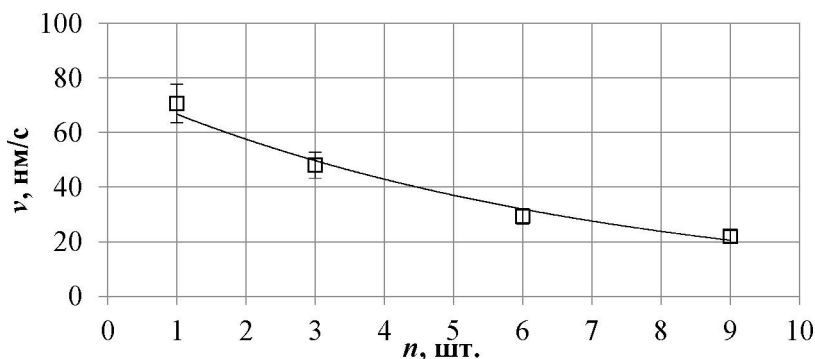


Рисунок 2 – Зависимость скорости СВЧ плазмохимического удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластины от их количества в реакционно-разрядной камере

При выполнении операций плазмохимического удаления плёнки фоторезиста с кремниевых пластин в непрерывном режиме плазмообразования на максимальном исследуемом уровне мощности наблюдается уменьшение оцениваемого параметра скорости полной очистки образцов с 70 нм/с до 21 нм/с. «Эффект загрузки», аналогичный представленным выше экспериментальным результатам, сохраняется. В данном случае с ростом одновременно обрабатываемых образцов из-за интенсивного взаимодействия активных частиц с материалом фоторезиста значительная часть вводимой в реакционный объём электромагнитной энергии необходима для ионизации и поддержания процесса плазмообразования.

Список литературы

1. Полезная модель ВУ 13119, МПК Н 05Н 1/46 (2006.01). Регулируемый трехфазный источник питания работающего на плазменную нагрузку СВЧ магнетрона : № 20220142 : заявлено 10.06.2022 : опубл. 28.02.2023 / О. И. Тихон, С. И. Мадвейко, С. В. Бордусов. ; заявитель – Белорус. гос. ун-т информ. и радиоэлектрон. – 4 с.
2. Намитоков, К. К. Излучение газоразрядной плазмы / К. К. Намитоков, П. Л. Пахомов, С. Н. Харин. – Алма-Ата : Наука, 1984. – 302 с.
3. Tsikhan, O. I. Study of pulsed and continuous modes of microwave discharge plasma generation in a resonator-type plasma-tron / O. I. Tsikhan, S. I. Madveika, S. V. Bordusau // High Temperature Material Processes. – 2021. – Vol. 25, № 2. – P. 65–75.

The study examined the effect of silicon wafer packing density of the reaction-discharge chamber of a microwave plasma treatment system on the parameters of integral optical discharge luminescence during continuous plasma formation. A significant decrease in the amplitude of the optical signal was observed at the minimum evaluated level of power input into the discharge with an increase in the number of silicon wafers in the processing chamber. In the process of photoresist stripping from the silicon wafers the presence of a batch processing ‘loading effect’ was confirmed. It is associated with the absorption of part of the supplied electromagnetic energy by the volume of silicon material.

Тихон Олег Игоревич, молодой ученый, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь, kriticar@bsuir.by.

Лушакова Мария Сергеевна, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь, lushakova@bsuir.by.

Научный руководитель – *Мадвейко Сергей Игоревич*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь, madveyko@bsuir.by.