

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН В ОБЪЕМЕ ПЛАЗМЫ СВЧ РАЗРЯДА

С.В.Бордусов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Беларусь, 220027, Минск, П. Бровки, 6,

Тел.: (8017) 2398088; e-mail: bordusov@gw.bsuir.unibel.by

Представлены результаты анализа динамики процесса удаления фоторезистивных плёночных защитных покрытий в объёме плазмы СВЧ разряда в кислороде и характера изменения интенсивности свечения спектральной линии ОI ($\lambda=844,6$ нм), используемой для контроля за удалением фоторезиста в случае обработки большого количества кремниевых пластин.

Введение

Обработка материалов и изделий электронной техники с использованием плазмы СВЧ разряда получает в последнее время всё более широкое распространение [1].

Наиболее перспективным процессом для СВЧ плазмохимической обработки в условиях низкого вакуума является удаление фоторезистивных защитных покрытий с поверхности подложек интегральных схем (ИС).

Эта операция является наиболее часто повторяющейся в условиях производства ИС и БИС, поэтому снижение длительности СВЧ плазменного воздействия на сформированные структуры ИС за счёт более высоких скоростей процесса способствует улучшению функциональных характеристик готовых изделий.

Данная работа посвящена изучению характера процесса удаления фоторезистивных покрытий в объёме плазмы СВЧ разряда в атмосфере кислорода в плазматроне на базе волноводно-щелевого аппликатора.

Основная часть

Исследования проводились с использованием СВЧ плазматрона резонаторного типа на базе согнутого в кольцо прямоугольного волновода, имеющего на внутренней поверхности отверстия для поступления СВЧ энергии в резонирующую область.

По оси волновода располагалась кварцевая реакционно-разрядная камера (реактор), в которой в условиях вакуума возбуждался газовый разряд и проводилась плазменная обработка. Подача плазмообразующего газа и загрузка подложек осуществлялась через съёмную вакуумноплотную крышку, закрывающую реактор с одного торца. Вакуумирование и откачка продуктов плазменных реакций проводилось через вакуумноплотное фланцевое соединение, закрывающее противоположный торец реактора.

Оперативный контроль за процессом осуществлялся с использованием метода оптической эмиссионной спектроскопии с помощью монохроматора ЗМР-3, у которого фотоприёмником служил ФЭУ-79.

Наличие и величина площади остатков фоторезиста на поверхности пластины оценивалась визуально в рассеянном свете.

Вес плёнки фоторезиста и его изменение в результате обработки определялся взвешиванием на аналитических весах типа WA-21 с точностью измерения $\pm 0,0001$ г.

В качестве плазмообразующей среды использовался технически чистый кислород.

Исследования проводились с кремниевыми пластинами $\varnothing 100$ мм с нанесёнными на их поверхность фоторезистами ФП-РН-7, ФП-383, AZ-1350J прошедшими процесс стандартной обработки.

Изучение кинетики удаления защитных фоторезистивных покрытий с поверхности кремниевых пластин выполнялась с использованием регистрации временного изменения интенсивности линий кислорода $\lambda=777,7$ нм и $\lambda=844,6$ нм и полосы СО с $\lambda=519,82$ нм. На рис. 1, а представлена типичная форма изменения интенсивности свечения линии ОI ($\lambda=844,6$ нм) в процессе удаления фоторезистивного слоя.

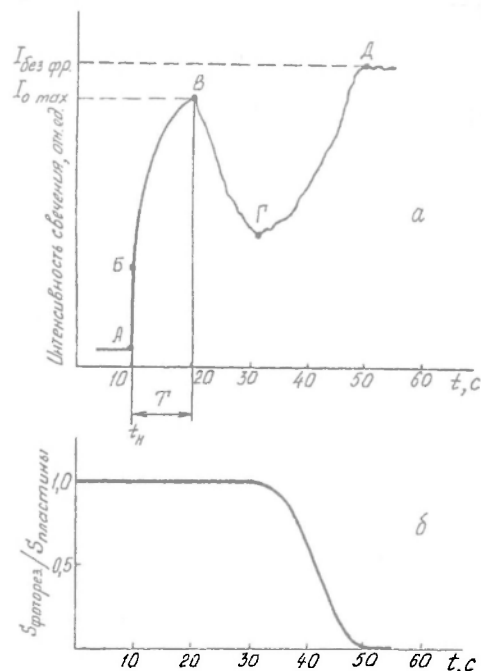


Рис.1. Интенсивность свечения линии ОI ($\lambda=844,6$ нм) (а) и изменение площади фоторезистивного покрытия (б) в процессе обработки кремниевой пластины в кислородном разряде

Можно выделить следующие фазы изменения сигнала:

точка А – включение разряда;

участок АВ – начальный уровень сигнала, определяемый СВЧ мощностью, подводимой к разряду, и разрядными условиями (давление, расход газа и т.д.);

участок ВВ – соответствует стабилизации разрядных условий и процессу установления энергетического баланса в разрядном объеме и в системе "разряд - внешняя среда";

точка В – начало интенсивного удаления фоторезистивного слоя, сопровождаемое активным расходом атомарного кислорода;

участок ВГ – удаление фоторезистивного слоя по толщине с сохранением занимаемой им площади поверхности и увеличением массы удаляемого материала;

участок ГД – удаление фоторезиста происходит с уменьшением, занимаемой им на поверхности пластины площади;

точка Д – полное удаление фоторезиста с поверхности пластины. Интенсивность свечения линии ОI ($\lambda=844,6$ нм) в этой точке соответствует свечению в присутствии чистых (без органики) пластин.

На рис. 1, б показано полученное экспериментально изменение площади фоторезистивного покрытия, сопоставленное с интенсивностью свечения ОI ($\lambda=844,6$ нм) в процессе обработки.

Сравнительные эксперименты по изучению поведения интенсивности свечения линии ОI ($\lambda=844,6$ нм) в процессе удаления фоторезиста в ВЧ разряде ($f=13,56$ МГц) на установке О8 ПХО 100Т-001 и в кислородном СВЧ разряде показали следующее. Длительность периода времени T , соответствующего процессу стабилизации разрядных условий и началу установления энергетического (теплового) равновесия в разрядном объеме, с увеличением количества обрабатываемых кремниевых пластин при обработке в ВЧ разряде увеличивается, а для СВЧ разряда такого увеличения не наблюдается (рис. 2).

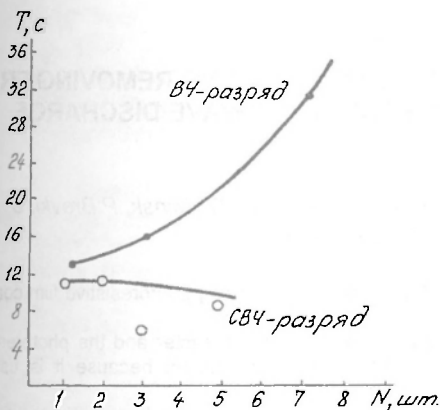


Рис.2. Время T выхода интенсивности свечения ОI ($\lambda=844,6$ нм) на максимум в процессе удаления фоторезиста в ВЧ и СВЧ разрядах в зависимости от количества кремниевых пластин

Эти зависимости можно объяснить тем, что по данным технологических экспериментов скорость удаления фоторезистивных покрытий в кислородной плазме ВЧ разрядов в большой степени зависит от температурного фактора, в частности, от предварительного нагрева пластин [2]. Увеличение времени T с ростом количества одновременно обрабатываемых в ВЧ разряде пластин связано с ростом периода установления теплового баланса в системе "ионизированный газ - образцы" и увеличением времени нагрева пластин до определенной температуры, с которой начинается интенсивное протекание процесса удаления фоторезиста [3]. Для СВЧ разряда явно выраженная тенденция к сокращению времени T при увеличении количества кремниевых пластин может быть объяснена увеличением воздействия на пластины побочного энергетического фактора, которым является поглощаемая пластинами энергия СВЧ поля.

На рис. 3 показана зависимость отношения $K = I_{O \max} / I_{\text{без фр.}}$ от количества одновременно обрабатываемых пластин для обработки в ВЧ и СВЧ кислородных разрядах.

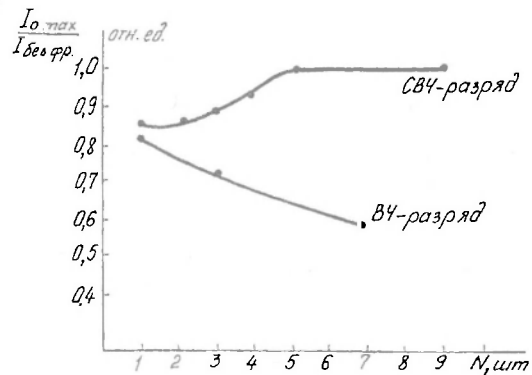


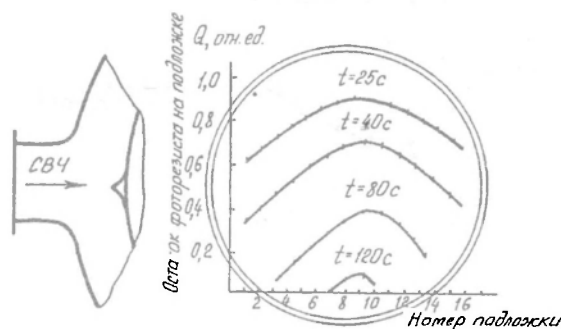
Рис.3. Соотношение $I_{O \max} / I_{\text{без фр.}}$ в процессе удаления фоторезиста в кислородном СВЧ и ВЧ разрядах в зависимости от количества кремниевых пластин

Видно, что с увеличением числа пластин при обработке в ВЧ разряде K уменьшается, что можно объяснить ухудшением условий стабилизации разряда, возрастанием времени установления баланса вследствие необходимости нагрева большого количества пластин, затруднением поддержания разряда из-за гибели плазменных частиц на поверхности пластин. Соответственно снижается и интенсивность свечения разряда в период установления баланса в газоразрядной системе. Величина $I_{\text{без фр.}}$ при этом практически не изменяется. В СВЧ разряде общая интенсивность свечения кислорода как для $I_{O \max}$, так и для $I_{\text{без фр.}}$ снижается [4], и, начиная с некоторого количества пластин, становится одинаковой. Это может происходить потому, что из-за инерционности процесса с увеличением количества пластин начало интенсивного удаления фоторезиста затягивается, и $I_{O \max}$ определяется уже не только процессом удаления фоторезиста, в ходе которого должен расходоваться атомарный

кислород и, соответственно, снижаться интенсивность свечения полосы ОI ($\lambda=844,6$ нм), но и уменьшением величины СВЧ энергии, идущей на поддержание разряда в результате ее частичного поглощения кремниевыми пластинами. Проведенные эксперименты позволяют также сделать вывод о том, что процесс удаления фоторезиста в кислородной плазме СВЧ разряда начинает протекать даже без достаточно сильного прогрева пластин за счет высокой химической активности разряда.

На характер удаления фоторезиста влияет расположение пластин относительно газового потока.

При продольном расположении удаление фоторезиста с пластин, расположенных ближе к стенке плазменной камеры, происходит быстрее, чем с центральных. На рис. 4 показано распределение в весовом измерении остатков фоторезистивных покрытий на пластинах, установленных в ряд в области щелевой антенны, в различные моменты времени обработки.



за 1 принят вес фоторезиста на пластине до обработки

Рис.4. Характер удаления фоторезиста с партии кремниевых пластин, установленных в ряд в зоне антенны

Из этих зависимостей видно, что фоторезист более интенсивно удаляется с крайних в ряду пластин.

На скорость деструкции и удаление фоторезиста оказывает влияние и подвод СВЧ энергии. Как видно из рис. 4 процесс обработки более интенсивно протекает со стороны максимального поступления СВЧ энергии. Полученные результаты могут быть объяснены меньшей диссоциацией молекул кислорода в центре разрядной камеры вследствие большего поглощения СВЧ энергии в поверхностном слое плазмы, затруднением доставки диссоциированных химически активных частиц к центру разряда обусловленными газодинамическими условиями и большей плотностью плазмы вблизи ввода СВЧ энергии в волноводно-щелевую антенну.

Заключение

В результате проведенного сравнительного анализа установлены корреляционные соотношения между характером изменения интенсивности свечения линий атомарного кислорода плазмы СВЧ разряда и динамикой процесса удаления фоторезистивной защитной пленки с поверхности кремниевых пластин.

Полученные результаты позволяют дополнить феноменологическую модель процесса плазмохимической деструкции фоторезистивных пленок в объеме кислородной плазмы СВЧ разряда.

Приведенные в работе данные могут быть полезны при разработке технологических процессов СВЧ плазмохимического удаления пленочных органических покрытий с поверхности изделий электронной техники.

Список литературы

1. Гуляев Ю.В., Яфаров В.К. // Зарубежная электронная техника. – 1997. – № 1. с.77-120.
2. Spencer J.E., Borel R.A., Hoff A. // J.Electrochem Soc. – 1986. – № 9. – P.1923.
3. Есин В.И. // Электротехнич. промышл. Сер. Преобразоват. техн. – 1983. – № 3. – С.16.
4. Бордин С.В. // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: Материалы 10-й Международной Крымской микроволновой конференции. – Севастополь. – 2000. – С.437.

THE KINETICS PROCESS INVESTIGATION OF PHOTORESISTIVE COATING REMOVING FROM SEMICONDUCTOR PLATES IN PLASMA VOLUME OF THE MICROWAVE DISCHARGE

S.V.Bordusov

Belorussian State University of Informatics and Radioelectronics, Belarus, 220027, Minsk, P.Brovki, 6
phone: (8017) 2398088; e-mail: bordusov@gw.bsuir.unibel.by

The method of optical emission spectroscopy was used to investigate the process of removing photoresistive film coatings from the surface of semiconductor plates in plasma volume of the microwave discharge in oxygen.

The correlation dependence between the alteration of the line OI($\lambda=844,6$ nm) intensity character and the photoresistive coating state during microwave processing was found out. The line OI($\lambda=844,6$ nm) was chosen because it is used in photoresist removing process control during ashing in the volume of microwave discharge.

The received results show that the processes in the volume of microwave discharge has a specific features in comparison with the same processes in the high frequency discharge.

This differences are caused by the high chemical activity of microwave plasma, considerable absorbing of microwave energy by material of semiconductor plates, the higher degree of skinning microwave electromagnetic field in plasma etc.

The submitted results will be useful in the development of technological processes of plasmachemical photoresist coating removing in microwave discharge devices of various types.