

ВЛИЯНИЕ НА ФОТОРЕЗИСТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ СВЧ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

* *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,*

ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220027, Республика Беларусь

** *Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси,*
пр. Ф. Скорины, 70, г. Минск, 220072, Республика Беларусь

*** *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,*
пр. Ф. Скорины, 70, г. Минск, 220072, Республика Беларусь

Одним из основных процессов при изготовлении интегральных схем (ИС) в настоящее время является фотолитография, базирующаяся на использовании фоторезистивных пленок в качестве маскирующих покрытий. Фоторезистивные пленки применяются как защитные маски в процессах плазменного и химического удаления материалов, ионного легирования поверхностных слоев с целью придания им специфических свойств и т.д.

После проведения определенной технологической операции требуется удаление масочного маскирующего фоторезистивного слоя, для чего широко используются процессы плазмохимической обработки в объеме и в послесвечении плазмы, возбуждаемой высокочастотным (ВЧ) либо сверхвысокочастотным (СВЧ) электромагнитными полями. Причем, как показывают результаты экспериментов [1, 2], СВЧ плазмохимическое удаление пленочных покрытий происходит с намного большими скоростями, чем обработка в ВЧ разряде, независимо от характера предшествующей технологической операции.

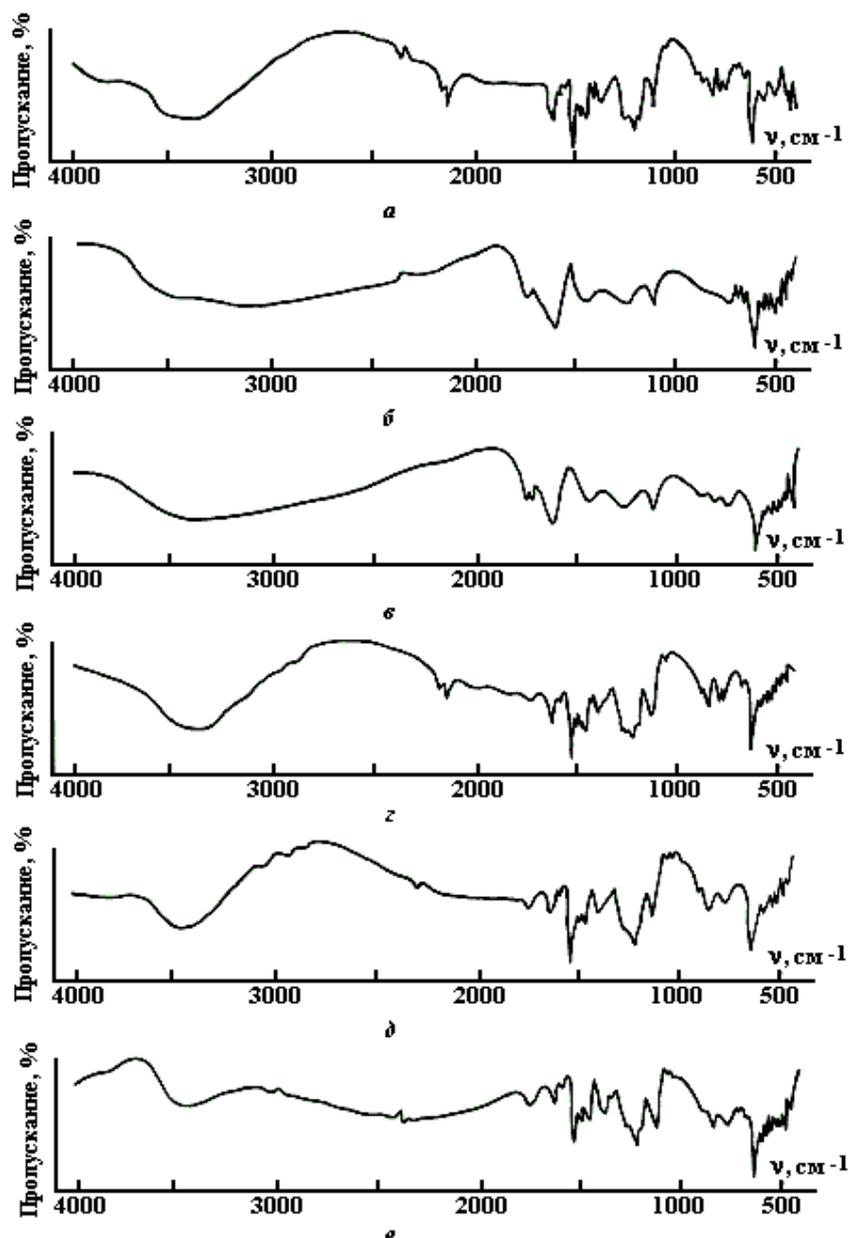
Однозначного объяснения этого эффекта в настоящее время нет, так как на протекание процесса влияет большое количество факторов, таких как концентрация и природа активных плазменных частиц [3,4], температура подложки [5], предположительно сами электромагнитные поля [6] и др. В связи с этим значительный интерес представляет выяснение возможных механизмов и стадий процессов деструкции органических защитных покрытий с целью выработки рекомендаций по применению и прогнозированию состояния этих материалов в конкретных технологических процессах плазменной обработки.

Изучение термохимических изменений состава и структуры фоторезистов, протекающих под воздействием на них химически активной плазмы СВЧ разряда, проводилось путем сопоставления ИК спектров поглощения твердых пленок фоторезистов, подвергаемых различным видам энергетического воздействия, в том числе СВЧ плазмохимической обработке материала.

В качестве факторов энергетического воздействия на фоторезистивные пленки использовались: термическая обработка в сушильном шкафу; электромагнитные поля сверхвысокого ($f = 2,45$ ГГц) и высокого ($f = 13,56$ МГц) диапазонов частот; плазменная обработка в разрядах разных газов; совместное воздействие излучением из плазмы и электромагнитным полем.

Исследования проводились на пленках фоторезиста ФП-383. В качестве подложек для нанесения органических пленок применялись электрохимически полированные пластины монокристаллического кремния марки КЭФ-20 с ориентацией [111], которые предварительно испытывались на оптическое пропускание в ИК диапазоне. Пленки фоторезиста толщиной около 1,2 мкм формировались по стандартной методике, используемой в процессах фотолитографии при серийном изготовлении ИС. Основным методом исследования являлось изучение ИК спектров поглощения материала пленок до и после энергетического воздействия. Спектры регистрировались на спектрофотометре Sperecord 757R в области $400-4000$ см⁻¹. Положение максимумов полос поглощения определялось с точностью $\pm 1,5$ см⁻¹.

На рисунке в качестве примеров приведены несколько ИК спектров поглощения пленок фоторезиста ФП-383, подвергнутых разным видам энергетического воздействия. Сравнение и анализ полученных данных позволил установить следующее.



ИК спектры поглощения фоторезиста ФП-383 после различных видов обработки: а – исходная пленка; б – нагрев в термошкафу, $T=710\text{ К}$, $t=180\text{ с}$; в – СВЧ-поле ($f=2,45\text{ ГГц}$), мощность $W = 650\text{ Вт}$, $t=180\text{ с}$; г – ВЧ-поле ($f = 13,56\text{ МГц}$), мощность $W = 600\text{ Вт}$, $t=180\text{ с}$; д – кислородный ВЧ-разряд, давление $p=140\text{ Па}$, $t=80\text{ с}$; е – кислородный СВЧ-разряд, давление $p=140\text{ Па}$, $t=80\text{ с}$.

В процессе воздействия СВЧ поля с частотой 2,45 ГГц наблюдались структурные изменения материалов, которые, судя по ИК спектрам соответствуют структурным изменениям термического характера [7].

Обработка образцов в ВЧ поле ($f = 13,56\text{ МГц}$) приводила за то же время воздействия (2–3 мин) лишь к незначительным изменениям их спектральных характеристик по сравнению с исходными.

Наиболее значительные изменения ИК спектров за 80'' воздействия имели место в случае обработки образцов плазмой СВЧ разряда в среде O_2 , CF_4 , C_3F_8 , SF_6 и менее заметные – в среде Ar , N_2 .

Обработка образцов в кислородной плазме СВЧ разряда в течение 30'' приводит к изменениям в ИК спектре пленки, соответствующим воздействию плазмы ВЧ разряда в течение 60''.

Анализ кинетики спектральных изменений в пленках, обрабатываемых в плазме СВЧ разряда в кислороде, позволяет сделать вывод, что в первую очередь разлагается функциональная группа $\text{C}=\text{N}=\text{N}^+$ светочувствительного компонента, о чем свидетельствует уменьшение интенсивности «дублета» полос с максимумами 2160, 2115–2118 см^{-1} . При дальнейшем воздействии

физических и химических факторов наблюдается уменьшение интенсивности (до исчезновения) низкочастотной сложной полосы в области ν_{OH} с максимумом около 3380 см^{-1} , обусловленное в основном валентными колебаниями OH-групп фенола, включенных в водородные связи димерного и полимерного типов [8], а также полос на частотах 1565 см^{-1} ($\nu_{C=N}$), 1405 см^{-1} (O-SO₂). Одновременно видны появление и рост полос на частотах $1700\text{--}1730\text{ см}^{-1}$, принадлежащих $\nu_{C=O}$ кислотной сложноэфирной группировке. Интенсивное поглощение в интервале частот $1800\text{--}1665\text{ см}^{-1}$ подтверждает наличие сильных полимерных Н-связей в структуре продукта.

Следует отметить, что практическая неизменность интенсивности полос, обусловленных плоскостными деформационными колебаниями углерод-углеродного угла $C-C-C$ на частоте $1105\text{--}1110\text{ см}^{-1}$ и внеплоскостных деформационных колебаний замещенного бензольного кольца с частотой $610\pm 5\text{ см}^{-1}$ в термических реакциях и после СВЧ-воздействий указывает на отсутствие изменения типа и характера замещения бензольного кольца в макромолекуле фенолформальдегидной смолы.

Данные спектров свидетельствуют о полном удалении светочувствительного компонента и сохранении полимерного скелета смолы при термо- и СВЧ электромагнитном воздействии.

Таким образом, результаты изучения спектров поглощения обработанных пленок указывают на то, что СВЧ плазмохимической обработке свойственны более значительные структурные изменения в материале фоторезистивной пленки по сравнению с обработкой в кислородном ВЧ разряде либо термовоздействием. Эти изменения могут быть обусловлены совокупностью факторов физического и химического характера, оказывающих деструктивное воздействие на компонентный состав пленки. К таким факторам могут быть отнесены воздействие СВЧ полем как на материал пленки, так и подложки; тепловое воздействие плазмой разряда; действие потока химически активных плазменных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Достанко А.П., Бордусов С.В., Босяков М.Н., Грушецкий С.В.* Физико-химические особенности процессов плазмохимической обработки материалов микроэлектроники в СВЧ-разряде // Материалы семинара «Плазменные методы обработки в технологии изделий микроэлектроники». Москва, 1987. М., 1988. С. 11–13.
2. *Бордусов С.В.* СВЧ плазменное удаление фоторезистивных покрытий с полупроводниковых пластин // Журн. прикл. спектр. 2001. Т. 68. № 6. С. 779–781.
3. *Достанко А.П., Кундас С.П., Бордусов С.В. и др.* Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники. В 3-х т. Том 1 / Под общ. ред. А.П. Достанко. Минск, 2000.
4. Плазменная технология в производстве СБИС / Под ред. Н. Айнспрука, Д. Брауна. М., 1987.
5. *Pasierb F., Ghanbari A., Ameen M.S., Heinrich R.S.* Characterization of a novel microwave stripper // J.Vac. Sci. Technol. A. 1992. V.10. № 4. P. 1096–1099.
6. *Бордусов С.В., Босяков М.Н., Грушецкий С.В.* Исследование стойкости фоторезистивных покрытий в плазме СВЧ-разряда // Состояние и перспективы развития микроэлектронной техники: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. Ч.2. Минск, 1985. С.72.
7. *Макаревич Н.И., Сушко Н.И., Иванов А.И. и др.* Исследование процессов термолиты некоторых типов промышленных фенолформальдегидных связующих // Журн. прикл. спектр. 1977. Т. 26. № 4. С. 735–741.
8. *Макаревич Н.И., Сушко Н.И., Иванов А.И. и др.* ИК спектры и структурные особенности некоторых типов промышленных фенолформальдегидных смол // Журн. прикл. спектр. 1973. Т. 18. № 4. С. 671–675.

Поступила 27.05.2002

Summary

As a result of study an infrared absorption spectrums of photoresist films, subjected to processing by different types of energy actions, it was established that microwave plasmachemical processing is characterized by more considerable structural changes in the material of a photoresist films in comparison with processing in high frequency oxygen discharge or thermic action. These changes can be stipulated by a plurality of physical and chemical factors rendering destructive action on a component composition of a film. These factors can be: action of a ultra high frequency field on the film and substrate; thermal action by plasma of the discharge; action with a flow of active plasma particles.