

СЕКЦИЯ 4. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 621.382

ИОННОЕ ТРАВЛЕНИЕ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ФОТОРЕЗИСТОВ ДЛЯ ОБРАТНОЙ ЛИТОГРАФИИ

Абрамов С. А.¹, Бринкевич Д. И.¹, Просолович В. С.¹,
Зубова О. А.², Черныи В. В.³, Вабищевич С. А.⁴

¹Белорусский государственный университет

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

³Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

⁴Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
Новополоцк, Беларусь

Аннотация. Методами отражательно-абсорбционной ИК-Фурье-спектроскопии, рентгеноспектрального микронализа и индентирования исследованы пленки негативных фоторезистов (ФР) KMP E3502, AZ nLOF 2020, 2070 и 5510 толщиной 0,9–6,0 мкм, нанесенные на поверхность пластин кремния методом центрифугирования. Ионное травление приводило к увеличению микротвердости структур ФР/кремний, обусловленному сшиванием молекул фоторезиста. Существенной трансформации отражательно-абсорбционных спектров не наблюдалось. Имело место только смещение максимума первой интерференционной полосы в высокоэнергетическую область, обусловленное уменьшением толщины пленки. Экспериментальные данные объяснены с учетом сшивания молекул и конформационных изменений в структуре основного компонента ФР при ионном травлении; ориентацией молекул вблизи границы раздела ФР/Si и наличием в пленках остаточного растворителя.

Ключевые слова: негативный фоторезист, элементный состав, ИК спектроскопия, микроиндентирование, ионное травление.

ION ETCHING OF PHENOL-FORMALDEHYDE PHOTORESISTS FOR LIFT-OFF LITHOGRAPHY

Abramov S. A.¹, Brinkevich D. I.¹, Prosolovich V. S.¹, Zubova O. A.², Chernyi V. V.³, Vabishchvich S. A.⁴

¹Belarusian State University

²“INTEGRAL” Joint Stock Company

³Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

⁴Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk
Novo Polotsk, Belarus

Abstract. Films of negative photoresists (PR) KMP E3502, AZ nLOF 2020, 2070 and 5510 with a thickness of 0,9–6,0 microns deposited on the surface of silicon wafers by centrifugation have been studied using IR-Fourier spectroscopy of diffuse reflection, X-ray spectral microanalysis and indentation. Ion etching led to an increase in the microhardness of photoresist/silicon structures due to crosslinking of photoresist molecules. No significant transformation of the diffuse reflection spectra was observed. There was only a shift of the maximum of the first interference band to the high-energy region due to a decrease in the film thickness. The experimental data are explained by taking into account the crosslinking of molecules and conformational changes in the structure of the main component of PR during ion etching; the orientation of molecules near the PR/Si interface and the presence of residual solvent in the films.

Keywords: negative photoresist, elemental composition, IR spectroscopy, microindentation, ion etching.

Адрес для переписки: Просолович В. С., пр. Независимости, 4, г. Минск 220030, Республика Беларусь
e-mail: prosolovich@bsu.by

Введение. Негативные фоторезисты (ФР) KMP E3502 (производитель Kempur Microelectronics Inc, Китай) и AZ nLOF 2020, AZ nLOF 2070, AZ nLOF 5510 (MicroChemicals GmbH, Германия) предназначены для использования в технологии формирования контактной металлизации полупроводниковых пластин методом обратной (lift-off) литографии, что требует высокой температурной стойкости (более 250 °C) фоторезиста. Кроме того, в состав фоторезистов для lift-off литографии входят сшивывающие соединения. В качестве пленкообразующего полимера

в этих фоторезистах используются олигомеры фенолформальдегидных смол. Фоторезисты серии AZ nLOF 20XX работают на принципе «химического усиления» и в своем составе дополнительно содержат компонент, способствующий формированию отрицательного угла наклона маски фоторезиста [1]. Цель настоящей работы – исследование влияния ионного трапления на элементный состав, оптические и прочностные свойства пленок негативного фоторезистов KMP E3502, AZ nLOF 2020, 2070 и 5510 на кремни.

Материалы и методы измерений. Пленки фоторезистов AZ nLOF 2020, AZ nLOF 2070, AZn LOF 5510 (MicroChemicas GmbH, Германия) и KMP E3502 (Kempur Microelectronics, Китай) толщиной 0,9–6,0 мкм наносились на поверхность пластин кремния с ориентацией (100) методом центрифугирования [2]. Перед нанесением ФР пластины кремния подвергались стандартному циклу очистки поверхности в органических и неорганических растворителях. После формирования фоторезистивной пленки проводилась ее сушка при 110 °C длительностью 60 с. Часть образцов впоследствии подвергалась ионному травлению в течение 20 мин в потоке ионов Ar⁺ (скорость потока 6 см³/мин) с энергией 160 эВ.

Микроиндицирование проводилось на приборе ПМТ-3 при комнатной температуре. Измерения микротвердости выполнялись по стандартной методике [4]. Нагрузка на индентор варьировалась в пределах 1...50 г. Длительность нагружения составляла 2 с; выдержка под нагрузкой – 5 с.

ИК-Фурье спектры структур ФР/Si регистрировались в диапазоне 400–4000 см⁻¹ при комнатной температуре спектрофотометром ALPHA (Bruker Optik GmbH). Использовалась приставка для измерения диффузного отражения. Для исследования отражательно-абсорбционных ИК спектров использовалась приставка для диффузного отражения. В данном случае спектры поглощения слоями ФР формировались в результате прохождения зондирующего ИК излучения через слой в сторону кремниевой подложки, его зеркального отражения от подложки и обратного прохождения излучения через слой ФР. Разрешение было не хуже 4 см⁻¹. Коррекция фона проводилась перед каждым измерением. Измерение геометрической толщины пленок ФР выполнялось на растровом электронном микроскопе HITACHI S-4800 (таблица).

Таблица 1 – Толщина (в мкм) ФР пленок

Фоторезист	Исходный	Ионное травление
AZn LOF 2020	5,95–6,05	5,67–5,75
AZn LOF 2070	5,83	5,56
AZn LOF 5510	0,985–0,992	0,890–0,926
KMPE 3502	5,88–5,95	5,71–5,83

Эксперимент. Ионное травление приводило к смещению максимумов интерференционных полос в отражательно-абсорбционных ИК спектрах ФР пленок в высокоэнергетическую область (рисунок 1). Оно обусловлено уменьшением толщины пленки и зависело от вида фоторезиста. Так в пленках серии AZ nLOF 20XX уменьшение толщины пленки составляло 0,25–0,30 мкм или ~ 5 %, в AZ nLOF 5510 – 0,08 мкм (9 %), а в KMP E3502 – около 0,10 мкм (~2 %). Отметим, что наличие в ФР пленке остаточного растворителя в заметных количествах приводило к разбуханию пленки, увеличению ее толщины и исчезновению из ее

отражательно-абсорбционного спектра интерференционных полос, что свидетельствовало об ухудшении однородности ФР пленки. Разбухание пленки усиливалось при увеличении содержания остаточного растворителя. Существенного изменения энергетического положения и интенсивности полос поглощения в отражательно-абсорбционных спектрах после ионного травления ФР пленок не наблюдалось.

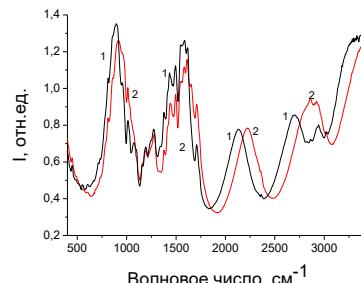


Рисунок 1 – Отражательно-абсорбционные ИК спектры исходной (1) и ионнотравленной (2) пленок AZ nLOF 2070 толщиной 5,83 мкм

Ионное травление приводило к охрупчиванию и увеличению микротвердости всех исследовавшихся ФР пленок, особенно сильно это проявлялось при малых нагрузках, влияние кремниевой подложки было не существенно. Это обусловлено формированием ковалентных связей между полимерными цепями по всей толщине пленки, в том числе за областью пробега ионов.

Ионное травление ФР пленок приводило к разложению приповерхностного слоя фоторезиста и формированию на поверхности углеродистого слоя, кардинальным образом изменяющего процессы растворения фоторезистивной пленки в спиртовых растворах. После ионного травления растворение пленок идет по трещинам в сформированном углеродистом слое.

Благодарности. Работа выполнена в рамках задания 2.16 Государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Наноструктурные материалы, нанотехнологии, нанотехника («Наноструктура»)».

Литература

1. Кузнецова, Н. А. Отечественный фоторезист для взрывной фотолитографии / Н. А. Кузнецова, Р. Д. Эрлих, В. В. Соловьев // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника. – 2017. – Вып. 1(165). – С. 44–46.
2. Reflection spectra modification of diazoquinone-novolak photoresist implanted with B and P ions / D. I. Brinkevich [et al.] // Russian Microelectronics. – 2019. – Vol. 48, № 3. – P. 197–201.
3. Effect of Ion Implantation on the Adhesion of Positive Diazo-quinone-Novolak Photoresist Films to Single-Crystal Silicon / S. A. Vabishchevich [et al.] // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2020. – Vol. 14, № 6. – P. 1352–1357.