

3. Electromagnetic shock wave generator with a reflector: pat. RU 2122363, Y. V. Andrianov, O. N. Andrianova, K. G. Bagaudinov, B. A. Garilevich. – Publ. 11.27.98.

4. Shmagoy, V. L. The place of shock wave therapy in postoperative rehabilitation of patients with disorders of reparative osteogenesis after fractures of the shin bones / V. L. Shmagoy, R. G. Rodak, V. V. Karas // Medicine of transport in Ukraine. – 2014. – № 4. – P. 58–63.

5. Stimulation of peripheral nerve regeneration: current state, problems and prospects / I. N. Shchanitsyn [et al.] // Successes of physiological sciences. – 2017. – V. 48, № 3. – P. 92–112.

6. Shock wave therapy in the complex treatment and rehabilitation of patients with coronary artery disease with refractory angina pectoris / A. M. Shchegolkov [et al.] // Bulletin of Restorative Medicine. – 2014. – № 6. – P. 69–75.

УДК 621.382

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ФОТОРЕЗИСТА AZ nLOF 5510

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

¹Белорусский государственный университет

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

³Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

⁴Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
Новополоцк, Республика Беларусь

Аннотация. Методом индентирования исследованы пленки негативного фоторезиста AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм, нанесенные на поверхность пластин кремния методом центрифугирования. Пленки AZ nLOF 5510 ведут себя как упругопластичные материалы, в которых присутствуют растягивающие упругие напряжения. После дополнительной сушки и ионного травления поведение пленок AZ nLOF 5510 при индентировании схоже с поведением твердых непластичных материалов. Такая обработка приводила также увеличению микротвердости структур фоторезист/кремний, что обусловлено сшиванием молекул фоторезиста, приводящим к утрате упругопластических свойств пленки. Показано, что образование при ионном травлении на поверхности фоторезистивной пленки тонкого углеродоподобного слоя препятствует растяжению пленки после снятия нагрузки с индентора.

Ключевые слова: негативный фоторезист, микроиндентирование, микротвердость, ионное травление.

STRENGTH PROPERTIES OF AZ nLOF 5510PHOTORESIST FILMS

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

¹Belarusian State University,

²«INTEGRAL» Joint Stock Company

³Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

⁴Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk

Novo Polotsk, Republic of Belarus

Abstract. Films of AZ nLOF 5510 negative photoresist with a thickness of 0.99 microns deposited on the surface of silicon wafers by centrifugation were studied by the indentation method. AZ nLOF 5510 films behave like elastoplastic materials in which tensile elastic stresses are present. After additional drying and ion etching, the behavior of AZ nLOF 5510 films during indentation is similar to that of solid non-plastic materials. Such treatment also led to an increase in the microhardness of the photoresist/silicon structures, which is due to the crosslinking of photoresist molecules. It leads to a loss of the elastic-plastic properties of the film. It is shown that the formation of a thin carbon-like layer on the surface of a photoresistive film during ion etching prevents the film from stretching after the load is removed from the indenter.

Key words: negative photoresist, microindentation, microhardness, ion etching.

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

Фоторезист AZ nLOF 5510 (производитель MicroChemicals GmbH, Германия) широко используются в однослойных процессах обратной (lift-off) литографии микроэлектроники. Он предназначен для получения тонких пленок толщиной от 0,7 до 1,6 мкм. Так при скорости вращения цен-

трифуги 3000 об/мин толщина фоторезистивной пленки AZ nLOF 5510 составляет 0,90 мкм. Фоторезист AZ nLOF 5510 разработан под *i*-линию ($\lambda = 365$ нм) дуговой лампы и применяется в процессах RIE травления и ионной имплантации. Фоторезист (ФР) чувствителен к электронному

облучению, что позволяет комбинировать ультрафиолетовую и высокоразрешающую электронную литографию.

Цель настоящей работы – исследование методом микроиндентирования прочностных свойств пленок негативного фоторезиста AZ nLOF 5510 на монокристаллическом кремнии.

Материалы и методы измерений. Пленки негативных фоторезистов AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм наносились методом центрифугирования на поверхность пластин кремния с ориентацией (111). Перед формированием пленки ФР кремниевые пластины подвергали стандартному циклу обработки поверхности в органических и неорганических растворителях. После нанесения фоторезиста на рабочую сторону пластины проводилась сушка при температуре 90 °С длительностью 60 с. Часть образцов впоследствии подвергалась дополнительному усилению (облучение светом с $\lambda = 404$ нм в течение 106 с и последующей сушке при 115 °С длительностью 60 с) и ионному травлению в течение 20 мин в потоке ионов Ag^+ (скорость потока 6 см³/мин) с энергией 160 эВ. Измерение геометрической толщины пленок фоторезистов выполнялось на растровом электронном микроскопе.

Измерение микротвердости проводилось на приборе ПМТ-3 по стандартной методике при комнатной температуре [1]. В качестве индентора использовался алмазный наконечник в форме пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине $\alpha = 136^\circ$. Нагрузка на индентор варьировалась в пределах 1–50 г. Длительность нагружения составляла 2 с; выдержка под нагрузкой 5 с. При измерении для каждой экспериментальной точки на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков. Обработка результатов измерений проводилась с использованием методов математической статистики, что обеспечивало погрешность измерений восстановленной микротвердости менее 2,5 % с доверительной вероятностью 0,95.

Эксперимент. Пленки фоторезиста AZ nLOF 5510 обладают хорошей адгезией к кремнию. При индентировании не было замечено даже единичных случаев растрескивания, появления радиальных трещин у углов отпечатков индентора или отслаивания пленок от кремниевой подложки. Это характерно как для исходных пленок, так и для пленок, подвергнутых дополнительному усилению и ионному травлению.

Анализ отпечатков индентора и «навалов» вокруг них, образованных вытесненным из-под индентора фоторезистом, показывает, что исходные пленки AZ nLOF 5510 ведут себя как упругопластичные материалы, в которых присутствуют растягивающие упругие напряжения. Эти упругие напряжения обуславливают релаксацию фоторезистивной пленки после снятия нагрузки, приво-

дящую к «рассасыванию» выдавленного в навалы материала. После дополнительного усиления и последующего ионного травления характер поведения пленок AZ nLOF 5510 при индентировании существенным образом изменяется. Они ведут себя как твердые непластичные материалы. Об этом свидетельствует отсутствие релаксации фоторезистивной пленки после снятия нагрузки, а также наличие трещин в области навалов у некоторых отпечатков при нагрузках 50 и 20 г.

Кроме того, после дополнительного усиления и последующего ионного травления имело место увеличение микротвердости структур фоторезист/кремний при всех использовавшихся в работе нагрузках (рисунок 1).

При минимальной нагрузке 1 г индентор локализован в фоторезистивной пленке. Поэтому значения восстановленной микротвердости, измеренные при этой нагрузке соответствуют истинной микротвердости фоторезистивной пленки. Дополнительное усиление с использованием ионного травления приводило к увеличению истинной микротвердости пленки на 50 % – с 0,14 до 0,21 ГПа. Отметим, что возрастание микротвердости фоторезистивных пленок при сушке и различных высокоэнергетических воздействиях наблюдалось ранее в работах [2–4] и связывалось со сшиванием молекул ФР. Сшивание молекул фоторезиста должно также приводить к утрате упругопластических свойств пленки.

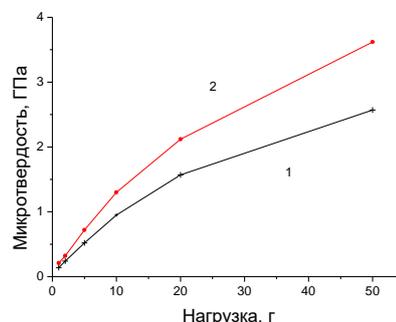


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости от нагрузки пленок фоторезиста AZ nLOF5510 на кремнии исходных (1) и после дополнительного усиления и ионного травления (2)

При повышении нагрузки ≥ 5 г индентор проникает в кремниевую подложку и микротвердость микротвердость структуры фоторезист/Si начинает расти, стремясь к значениям микротвердости ~ 9 ГПа, характерным для монокристаллического кремния. Увеличение микротвердости при этих нагрузках, вероятнее всего, обусловлено образованием при ионном травлении на поверхности фоторезистивной пленки тонкого углеродоподобного слоя, препятствующего растяжению пленки после снятия нагрузки.

Благодарности. Работа выполнена в рамках задания 2.16 Государственной программы науч-

ных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Наноструктурные материалы, нанотехнологии, нанотехника («Наноструктура»)).

Литература

1. Бринкевич, Д. И. Физико-механические свойства эпитаксиальных слоев GaP / Д. И. Бринкевич, Н. В. Вабищевич, С. А. Вабищевич // Вестник Полоцкого университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2010. – № 9. – С. 92–97.

2. Garcia, I. T. S. The effects of nuclear and electronic stopping powers on ion irradiated novolac-diazoquinone films / I. T. S. Garcia, F. C. Zawislak, D. Samios // Applied Surface Science. – 2004. – V. 228, № 1–4. – P. 63–76.

3. Brinkevich, D. I. Ion Implantation in Diazoquinone-Novolac Photoresist / D. I. Brinkevich, S. D. Brinkevich, V. S. Prosolovich // High Energy Chemistry. – 2022. – V. 56, № 4. – P. 270–276.

4. Ion implantation of positive photoresists // D. I. Brinkevich [et al.] // Russian Federation Microelectronics. – 2014. – V. 43, № 3. – P. 194–200.

УДК 621.382

СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТОВ ДЛЯ ОБРАТНОЙ ЛИТОГРАФИИ

Абрамов С. А.¹, Бринкевич Д. И.¹, Просолович В. С.¹, Колос В. В.², Зубова О. А.², Черный В. В.³

¹Белорусский государственный университет

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

³Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Методом ИК-Фурье-спектроскопии диффузного отражения исследованы пленки негативных фоторезистов AZ nLOF 2020 и AZ nLOF 2070 толщиной 5,9 мкм, нанесенные на поверхность пластин кремния методом центрифугирования. Наиболее интенсивными являются полосы валентных колебаний ароматического кольца (~ 1500 см⁻¹), пульсационных колебаний углеродного скелета ароматического кольца (двойной максимум ~ 1595 и 1610 см⁻¹), широкая структурированная полоса с несколькими максимумами в диапазоне 1050 – 1270 см⁻¹ и полоса, связанная с СН₂-мостиком. Показано, что полоса колебаний СН₃ групп при 2945 см⁻¹ обусловлена растворителем. Различия в спектрах диффузного отражения фоторезистов AZ nLOF 2020 и AZ nLOF 2070 связаны с наличием в пленках остаточного растворителя.

Ключевые слова: негативный фоторезист, ИК-спектроскопия, диффузное отражение, растворитель.

ABSORPTION SPECTRA OF PHOTORESISTS FOR REVERSE LITHOGRAPHY

Abramov S.¹, Brinkevich D.¹, Prosolovich V.¹, Kolos V.², Zubova O.², Chorniy V.³

¹Belarusian State University

²“INTEGRAL” Joint Stock Company

³Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Films of AZ nLOF 2020 and AZ nLOF 2070 negative photoresists with a thickness of 5.9 microns deposited on the surface of silicon wafers by centrifugation were studied by the method of diffuse reflection IR-Fourier spectroscopy. The most intense are the bands of valence vibrations of the aromatic ring (~ 1500 cm⁻¹), pulsation vibrations of the carbon skeleton of the aromatic ring (double maximum ~ 1595 and 1610 cm⁻¹), a wide structured band with several maxima in the range of 1050 – 1270 cm⁻¹ and a band associated with the CH₂ bridge. It is shown that the oscillation band of the CH₃ groups at 2945 cm⁻¹ is due to a solvent. Differences in the diffuse reflection spectra of AZ nLOF2020 and AZ nLOF2070 photoresists are associated with the presence of residual solvent in the films.

Key words: negative photoresist, IR spectroscopy, diffuse reflection, solvent.

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

Фоторезисты серии AZ nLOF 20XX (производитель MicroChemicals GmbH, Германия) широко используются в процессах обратной (lift-off) литографии современной микроэлектроники и обладают высокой термической стабильностью. Они предназначены для получения пленок толщиной 2 мкм (для AZ nLOF 2020) и 7 мкм (для AZ nLOF 2070) при скорости вращения центрифуги 3000 об/мин и разработаны под i-линию ($\lambda = 365$ нм) дуговой лампы. При этом они не чувствительны к g-

и h-линиям с $\lambda = 435$ и 404 нм, соответственно. Они чувствительны к электронному облучению, что позволяет комбинировать ультрафиолетовую и высококоразрешающую электронную литографию.

Цель настоящей работы – исследование методом диффузного отражения оптических характеристик пленок негативных фоторезистов AZ nLOF 2020 и AZ nLOF 2070 на кремнии.

Материалы и методы измерений. Пленки негативных фоторезистов AZ nLOF 2020 и AZ