

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.<sup>1</sup>, Бринкевич Д. И.<sup>1</sup>, Просолович В. С.<sup>1</sup>, Колос В. В.<sup>2</sup>, Зубова О. А.<sup>2</sup>, Черный В. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

<sup>3</sup>Белорусский 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 ( $\sim 1500$  см<sup>-1</sup>), пульсационных колебаний углеродного скелета ароматического кольца (двойный максимум  $\sim 1595$  и  $1610$  см<sup>-1</sup>), широкая структурированная полоса с несколькими максимумами в диапазоне  $1050$ – $1270$  см<sup>-1</sup> и полоса, связанная с СН<sub>2</sub>-мостиком. Показано, что полоса колебаний СН<sub>3</sub> групп при  $2945$  см<sup>-1</sup> 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.<sup>1</sup>, Brinkevich D.<sup>1</sup>, Prosolovich V.<sup>1</sup>, Kolos V.<sup>2</sup>, Zubova O.<sup>2</sup>, Chorniy V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State University

<sup>2</sup>“INTEGRAL” Joint Stock Company

<sup>3</sup>Belarusian 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 ( $\sim 1500$  cm<sup>-1</sup>), pulsation vibrations of the carbon skeleton of the aromatic ring (double maximum  $\sim 1595$  and  $1610$  cm<sup>-1</sup>), a wide structured band with several maxima in the range of  $1050$ – $1270$  cm<sup>-1</sup> and a band associated with the CH<sub>2</sub> bridge. It is shown that the oscillation band of the CH<sub>3</sub> groups at  $2945$  cm<sup>-1</sup> 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

nLOF 2070 толщиной 5.9 мкм наносились методом центрифугирования на поверхность пластин кремния с ориентацией (100). Перед формированием пленки фоторезиста (ФР) кремниевые пластины подвергали стандартному циклу обработки поверхности в органических и неорганических растворителях. После нанесения фоторезиста на рабочую сторону пластины проводилась сушка при температуре 110 °С длительностью 60 с. Измерение геометрической толщины пленок фоторезистов выполнялось на растровом электронном микроскопе.

ИК-Фурье спектры структур фоторезист/Si регистрировались в диапазоне 400–4000 см<sup>-1</sup> при комнатной температуре спектрофотометром ALPNA (Bruker Optik GmbH) с приставкой для измерения диффузного отражения. Количество сканов 24. Разрешение было не хуже 4 см<sup>-1</sup>. Коррекция фона проводилась перед каждым измерением.

**Эксперимент.** В спектре диффузного отражения структур фоторезист/Si полосы поглощения наблюдаются на фоне первой и второй интерференционных полос в области волновых чисел 700–1700 см<sup>-1</sup> (рисунок 1), что осложняет анализ трансформации полос поглощения при различных внешних воздействиях.

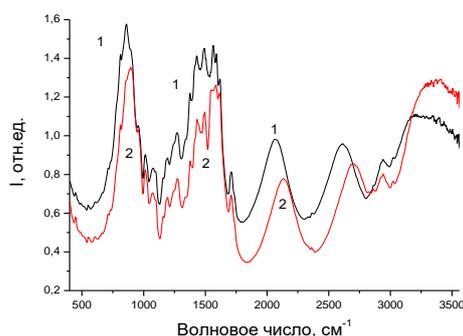


Рисунок 1 – Спектры диффузного отражения пленок фоторезистов AZ nLOF2020 (1) и AZ nLOF2070 (2)

Наиболее интенсивными в спектре диффузного отражения фоторезистивных пленок являются полосы валентных колебаний ароматического кольца (~1500 см<sup>-1</sup>), пульсационных колебаний углеродного скелета ароматического кольца (сдвоенный максимум ~1595 и 1610 см<sup>-1</sup>) и полоса с максимумом ~1430 см<sup>-1</sup>, обусловленная колебаниями бензольного кольца, связанного с СН<sub>2</sub>-мостиком [1, 2]. Эти полосы характерны для фенолформальдегидной смолы [1] и наблюдались ранее в различных позитивных [3, 4] и негативных [5] фоторезистах на основе фенолформальдегидных смол. Это обстоятельство позволяет утверждать, что основным компонентом фоторезистов серии AZ nLOF20XX является фенолформальдегидная смола.

Во всех спектрах фоторезистивных пленок также наблюдалась широкая структурированная по-

лоса с несколькими максимумами в диапазоне 1050–1270 см<sup>-1</sup>. В этом интервале волновых чисел наблюдаются колебания С-О и С-С-связей в растворителе и плоскостные деформационные колебания С-О связей фенольной группы фенолформальдегидной смолы [5]. Кроме того, в диапазоне волновых чисел 1700–1720 см<sup>-1</sup> наблюдалась полоса, обусловленная валентными колебаниями двойных связей С = О<sub>ср</sub> в сложных ароматических эфирах.

Наблюдался также ряд полос средней и малой интенсивности в области волновых чисел 400–900 см<sup>-1</sup>, энергетическое положение и принадлежность которых к функциональным группам были подробно рассмотрены в [5, 6]. Наиболее сильной из них была полоса деформационных колебаний С-Н связей с максимумом при 810 см<sup>-1</sup>, обусловленная внеплоскостными колебаниями С-Н-связей ароматического кольца.

В области валентных колебаний С-Н связей в спектрах диффузного отражения ФР пленок наблюдались полосы с максимумами при ~2870 и 2925 см<sup>-1</sup>, обусловленные ассиметричными и симметричными валентными колебаниями С-Н<sub>2</sub> связей, и полоса с максимумом при 3010 см<sup>-1</sup>, связанная с валентными колебаниями С-Н связи. Отметим, что интенсивность полос колебаний С-Н<sub>2</sub> связей была существенно выше интенсивности полосы колебаний С-Н связей. В спектрах всех ФР пленок также присутствовала широкая слабая полоса с максимумом в области ~3300 см<sup>-1</sup>, обусловленная валентными колебаниями О-Н связи.

Энергетическое положение полос в обоих марках ФР было идентично. Спектры пленок AZ nLOF2070 и AZ nLOF2020 различаются только интенсивностью отдельных полос, связанных с наличием остаточного растворителя – полос с максимумами в диапазоне волновых чисел 1050–1270 см<sup>-1</sup> и 1700–1720 см<sup>-1</sup>, а также полосы с максимумом при 2945 см<sup>-1</sup>, обусловленной ассиметричными валентными колебаниями СН<sub>3</sub> групп. Полученные экспериментальные результаты, а также наличие трех СН<sub>3</sub> групп в составе PGMEA – растворителя фоторезистов серии AZ nLOF20XX, указывают на, что полоса колебаний СН<sub>3</sub> групп при 2945 см<sup>-1</sup> обусловлена растворителем. Этот вывод подтверждается также тем, что интенсивность указанной полосы снижалась после дополнительной сушки фоторезистивных пленок в течение 60 с при 115 °С.

**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. Poljansek, I. Characterization of phenol-urea-formaldehyde resin by inline FTIR spectroscopy / I. Poljansek,

U. Sebenik, M. Krajnc // Journal of Applied Polymer Science. – 2006. – V. 99, № 5. – P. 2016–2028.

2. Frustrated total internal reflection spectra of diazoquinone–novolac photoresist films / S. D. Brinkevich [et al.] // Journal of Applied Spectroscopy. – 2021. – V. 87, № 6. – P. 1072–1078.

3. Modification of Diazoquinone–Novolac Photoresist Films beyond the Region of Implantation of B<sup>+</sup> Ions / S. D. Brinkevich [et al.] // High energy chemistry. – 2020. – V. 54, № 5. – P. 342–351.

4. 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.

5. Fourier-IR spectroscopy of photoresist/silicon structures for explosive lithography / D. I. Brinkevich [et al.] // Journal of Applied Spectroscopy. – 2024. – V. 90, № 6. – P. 1223–1228.

6. Бринкевич, Д. И. Модификация пленок диазохиноноволачного фоторезиста имплантацией ионов бора / Д. И. Бринкевич, В. С. Просолович, Ю. Н. Янковский // Журнал Белорусского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 62–69.

УДК.621.923.9

## ОБРАБОТКА САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ НА ГАЛТОВОЧНОМ БАРАБАНЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Амонов С. Т.<sup>1</sup>, Холов Ф. Б.<sup>1</sup>, Эмомов Н. Б.<sup>1</sup>, Луговой В. П.<sup>2</sup>, Мирзоалиев И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таджикский технический университет им. М. С. Осими  
Душанбе, Республика Таджикистан

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен вопрос повышения производительности обработки на галтовочном барабане с горизонтальной осью вращения. Исследования показали, что основной причиной низкой производительности обработки с использованием данных барабанов является малая скорость вращения, которая не обеспечивает необходимую частоту перемешивания и скорость относительного скольжения заготовок с абразивной суспензией. В свою очередь повышенная частота вращения галтовочного барабана также приводит к снижению производительности шлифования из-за действия центробежных сил, действие которых приводит к прижиму заготовок к стенке барабана. В связи с этим предложена модернизированная конструкция барабана, работающего при высоких скоростях относительного скольжения абразивных частиц и заготовок, обеспечивающего эффективную работу при повышенных скоростях.

**Ключевые слова:** галтовочный барабан, абразивная галтовка, центробежная сила, частота вращения, загрузочная масса.

## PROCESSING OF GEM STONES ON A TURNING DRUM OF AN IMPROVED DESIGN

Amonov S.<sup>1</sup>, Kholov F.<sup>1</sup>, Emomov N.<sup>1</sup>, Lugovoy V.<sup>2</sup>, Mirzoaliev I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tajik Technical University named after. M. S. Oshimi Dushanbe  
Republic of Tajikistan Dushanbe, Republic of Tajikistan

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** This article discusses the issue of increasing processing productivity on a tumbling drum with a horizontal axis of rotation. Research has shown that the main reason for low processing productivity using these drums is the low rotation speed, which does not provide the necessary mixing frequency and relative sliding speed of workpieces with an abrasive suspension. In this regard, a modernized drum design has been proposed, operating at high speeds of relative sliding of abrasive particles and workpieces, ensuring efficient operation at higher speeds.

**Key words:** tumbling drum, abrasive tumbling, centrifugal force, rotation speed, loading mass.

Адрес для переписки: Амонов С. Т., пр. академиков Раджабовых, 10, г. Душанбе 734042, Республика Таджикистан, e-mail: ttu@ttu.tj

**Обзорная часть.** Известно, что интенсивность съема материала при обработке в галтовочных барабанах с горизонтальной осью вращения недостаточно высокая. При этом процесс обработки происходит неравномерно по всему объему рабочей зоны и сопровождается большим разбросом обрабатываемых заготовок. Абразивная обработка в результате относительного скольжения и перемешивания заготовок и абразивной массы. При малых оборотах барабана частота перемеши-

вания заготовок и интенсивность обработки невысокая, а при повышенных оборотах от действия центробежных сил происходит прижатие заготовок к стенке барабана, в результате чего их обработка практически прекращается [1, 2]. В связи с этим при обработке в галтовочном барабане важно установить оптимальные частоты вращения, которые позволят достигнуть интенсивного пере, перемешивание загрузки в барабане, а результате – наибольшую производительность об-