

## ЭЛЕКТРОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 541.183

DOI 10.52928/2070-1624-2025-44-1-39-46

### ПЛЕНКИ НЕГАТИВНОГО ФОТОРЕЗИСТА AZ nLOF 5510, ОБЛУЧЕННЫЕ ЭЛЕКТРОНАМИ

*С. А. АБРАМОВ, канд. физ.-мат. наук Д. И. БРИНКЕВИЧ,  
канд. физ.-мат. наук, доц. В. С. ПРОСОЛОВИЧ  
(Белорусский государственный университет, Минск)*

*О. А. ЗУБОВА*

*(ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск)*

*канд. физ.-мат. наук, доц. С. А. ВАБИЩЕВИЧ, Н. В. ВАБИЩЕВИЧ  
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*д-р философии (PhD) по физ.-мат. наукам, доц. КЕНЖАЕВ Зоир Тохир ўгли  
(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова)*

*канд. физ.-мат. наук С. Б. ЛАСТОВСКИЙ  
(ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск)*

Методом ИК-Фурье-спектроскопии с использованием приставки для диффузного отражения исследованы пленки негативных фоторезистов (ФР) AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм, нанесенные на поверхность пластин кремния методом центрифугирования. Облучение электронами с энергией 3,5 МэВ дозой до  $\Phi = 7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  проводилось на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-4. Показано, что углерод-водородные связи основного компонента фоторезиста – фенолформальдегидной смолы – стабильны вплоть до доз  $\sim (1-3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . Связанные с растворителем полосы исчезают из спектра при дозах облучения  $< 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . При облучении в интервале волновых чисел 1620–1660  $\text{см}^{-1}$  возникают полосы, обусловленные формальдегидом, образующимся в результате реакции  $\beta$ -фрагментации кислород-центрированного радикала. Полосы, связанные с колебаниями ароматического кольца, достаточно стабильны. Их интенсивность заметно снижается только при дозе  $\Phi = 7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . В области валентных колебаний кратных связей C=O при облучении наблюдалась сложная перестройка спектра, обусловленная несколькими процессами, протекающими при взаимодействии компонентов фоторезиста во время облучения электронами. В частности, могут наблюдаться трансформация ближайших заместителей связей C=O, сшивка молекул, увеличение количества сопряженных кратных связей как результат формирования хиноидных структур.

**Ключевые слова:** негативный фоторезист, ИК-Фурье-спектроскопия, ионное травление, облучение электронами, растворитель.

**Введение.** Фоторезист AZ nLOF 5510, выпускающийся немецкой компанией MicroChemicals GmbH, относится к классу негативных фоторезистов и применяется в процессах обратной литографии. Он стабилен до температур  $\sim 250^\circ\text{C}$ <sup>1</sup>. Фоторезист AZ nLOF 5510 обладает достаточно высокой чувствительностью к электронному облучению, что позволяет использовать его не только в фотолитографии, но и в процессах электронно-лучевой литографии высокого разрешения. Это делает AZ nLOF 5510 подходящим для многокомпонентных процессов литографии, когда требуются различные технологии обработки материалов. Основу фоторезиста составляет фенолформальдегидная смола, а в качестве растворителя используется пропиленгликоль ацетат монометилового эфира (PGMEA) Фоторезист AZ nLOF 5510 разработан для получения пленок толщиной от 0,7 до 1,6 мкм. Так, при скорости вращения центрифуги 3000 об/мин с требуемой точностью и равномерностью нанесения достигается толщина пленки фоторезиста  $\sim 0,90$  мкм, что позволяет создавать структуры с высоким разрешением.

Эффективность фотохимических реакций, происходящих в фоторезисте во время экспонирования, определяется его структурой и химическим составом. Информацию о составе и структуре смесей сложных органических соединений в твердом агрегатном состоянии позволяет получить метод ИК-Фурье-спектроскопии [1; 2]. Перспективы использования пленок фоторезиста AZ nLOF 5510 в электронно-лучевой литографии определяют необходимость исследования трансформации их оптических свойств при облучении

<sup>1</sup> AZ NLOF 5510 Photoresist. URL: [www.microchemicals.com/AZ-nLOF-5510-Photoresist-3.785-l/1055100](http://www.microchemicals.com/AZ-nLOF-5510-Photoresist-3.785-l/1055100).

электронами. В настоящей работе представлены результаты исследования радиационно-индуцированных процессов при облучении электронами пленок фоторезиста AZ nLOF 5510 на кремнии.

**Методика эксперимента.** Пленки фоторезиста AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм наносились на кремниевые пластины с ориентацией (100) методом центрифугирования [3]. Перед нанесением фоторезиста поверхность пластин Si повергалась стандартному циклу очистки. После нанесения пленки фоторезиста на рабочую сторону пластины проводилась сушка при 90 °С длительностью 60 с. Часть образцов впоследствии подвергалась дополнительному усилению (облучение светом с  $\lambda = 404$  нм в течение 106 с и последующая сушка при 115 °С длительностью 60 с), а затем ионному травлению в течение 20 мин в потоке ионов  $\text{Ar}^+$  (скорость потока 6 см<sup>3</sup>/мин) с энергией 160 эВ. Геометрическая толщина пленок измерялась с помощью растрового электронного микроскопа HITACHI S-4800.

ИК-Фурье-спектры фоторезиста AZ nLOF 5510 на кремниевых подложках регистрировались в диапазоне 400–3200 см<sup>-1</sup> при комнатной температуре спектрофотометром ALPHA (Bruker Optik GmbH) с модулем диффузного отражения DRIFT [4]. Спектры получались в результате прохождения ИК-излучения через слой фоторезиста, его отражения от подложки и вторичного прохождения через фоторезистивную пленку. Для каждого измерения выполнялось 24 сканирования, разрешение составляло около 2 см<sup>-1</sup>. Перед каждым измерением проводилась коррекция фона. Облучение электронами с энергией 3,5 МэВ дозой до  $\Phi = 7 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup> выполнялось на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-4. Плотность электронного потока составляла  $1 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> и контролировалась с помощью цилиндра Фарадея. Температура образцов в процессе облучения не превышала 310 К.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** ИК-спектры облученных электронами пленок фоторезистов AZ nLOF 5510 представлены на рисунках 1–4. Экспериментальные значения частот полос ИК-поглощения, их соответствие функциональным группам и поведение при облучении приведены в таблице. Структура спектра и, соответственно, структура фоторезиста сохраняется во всем диапазоне использованных доз облучения. Заметное снижение интенсивности основных полос поглощения ФР (валентных колебаний ароматического кольца и пульсационных колебаний углеродного скелета ароматического кольца) наблюдалось только при  $\Phi = 7 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup> (см. таблицу).

Таблица. – Энергетическое положение полос ИК-поглощения пленок AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм, их принадлежность к функциональным группам и поведение при облучении электронами

Волновое число, см <sup>-1</sup>	Функциональная группа, тип колебаний	Поведение при облучении
1	2	3
611 сдвоенный	Решеточное поглощение кремния [5]	Интенсивность растет при $\Phi \leq 1 \cdot 10^{15}$ см <sup>-2</sup> , затем стабилизируется
668	Нет данных	Интенсивность растет при увеличении дозы
734	Нет данных	С ростом дозы полоса уширяется и смещается в высокоэнергетическую область
817	Внеплоскостные колебания СН-паразамещенного кольца [6]	При $\Phi > 1 \cdot 10^{16}$ см <sup>-2</sup> интенсивность снижается, в ионно-травленных образцах полоса стабильна
970	С–О–С-связи растворителя [7]	При облучении исчезает. В ионно-травленных образцах отсутствует
1010 сл	Колебания С–С-связей	Практически не изменяется
1025 сл	Нет данных	В исходных образцах появляется после облучения, интенсивность растет с дозой. В ионно-травленных образцах присутствует изначально, при облучении стабильна
1100 сл	Валентные колебания С–О–С [8]	После облучения уширение полос и снижение интенсивности 1120 см <sup>-1</sup> по сравнению с 1100 см <sup>-1</sup>
1120 сл	Деформационные плоскостные колебания в растворителе [7]	
1170 1211	Валентные колебания С–О- в С–О–Н-группе [2]	Интенсивность снижается при увеличении дозы, в ионно-травленных образцах выражено слабее
1366	Деформационные плоскостные колебания ОН-связей [1]	Постепенное снижение интенсивности при увеличении дозы
1438	Валентные колебания ароматического кольца, связанные с СН <sub>2</sub> -мостиком [2; 9]	Интенсивность снижается при увеличении дозы и появляется полоса 1452 см <sup>-1</sup>
1507	Валентные колебания ароматического кольца [2; 6]	Уменьшение интенсивности заметно только при $\Phi > 5 \cdot 10^{16}$ см <sup>-2</sup>
1539 сл		Интенсивность растет после облучения $\Phi = 1 \cdot 10^{15}$ см <sup>-2</sup> , затем уменьшается, в ионно-травленных образцах интенсивность выше
1558 сл		

Окончание таблицы

1	2	3
1595 ± 2 1609	Пульсационные колебания углеродного скелета ароматического кольца [1]	Уменьшение интенсивности заметно только при $\Phi > 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$
1620 1652	Валентные колебания C=O в формальдегиде [8] и хиноидных структурах [1; 9]	Проявляются после облучения. В ионно-травленных образцах присутствуют до облучения
1700	C=O валентные колебания в сложных ароматических эфирах [1]	Сложная перестройка в процессе облучения
1750	C=O валентные колебания [1] в растворителе	Исчезает при облучении дозами $\Phi > 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$
2849 сл	Симметричные колебания CH <sub>2</sub> - и CH <sub>3</sub> -групп [1]	Анализ затруднен вследствие низкой интенсивности
2926	Асимметричные колебания CH <sub>2</sub> -группы [1]	Снижение интенсивности заметно лишь при $\Phi = 7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (до 30 %)
3024 сл	Валентные колебания CH-групп [1]	Снижение интенсивности заметно лишь при $\Phi = 7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (до 40 %)

Примечание: сл – полоса слабой интенсивности.

В области волновых чисел  $\nu = 400\text{--}900 \text{ см}^{-1}$  (рисунок 1), наиболее сильной является полоса деформационных колебаний C–H-связей с максимумом при  $817 \text{ см}^{-1}$ , обусловленная внеплоскостными колебаниями C–H-связей ароматического кольца. Наблюдается также интенсивная полоса со сдвоенным максимумом при  $\sim 610 \text{ см}^{-1}$  и ряд полос средней и малой интенсивности. Полоса при  $610 \text{ см}^{-1}$  обусловлена, предположительно, решеточным поглощением кремниевой подложки [5]. При облучении ее интенсивность возрастает при дозах до  $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ , а при дальнейшем повышении  $\Phi$  стабилизируется. Такое поведение в процессе облучения обусловлено, вероятнее всего, релаксацией упругих напряжений на границе раздела фоторезист/кремний. Для полосы с максимумом при  $817 \text{ см}^{-1}$  характерно другое поведение – ее интенсивность начинает снижаться только при дозах  $\Phi > 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . Отметим, что аналогичным образом ведут себя полосы с максимумами при  $\sim 2926$  и  $3024 \text{ см}^{-1}$ , обусловленные валентными колебаниями CH- и CH<sub>2</sub>-групп (рисунок 2; см. таблицу). Это обстоятельство позволяет утверждать, что углерод-водородные связи основного компонента фоторезиста – фенолформальдегидной смолы – стабильны вплоть до доз  $\sim (1\text{--}3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ .

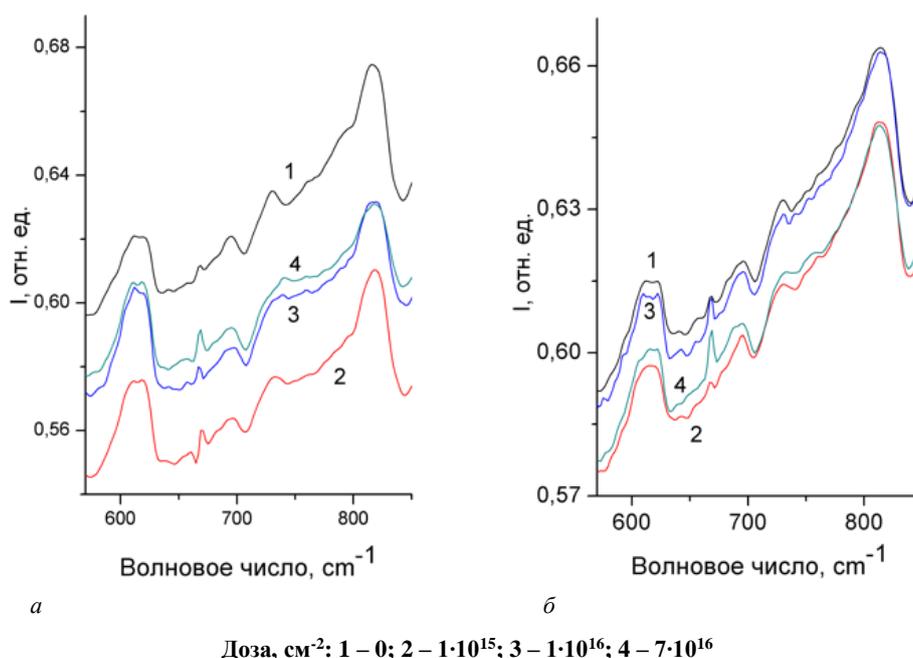
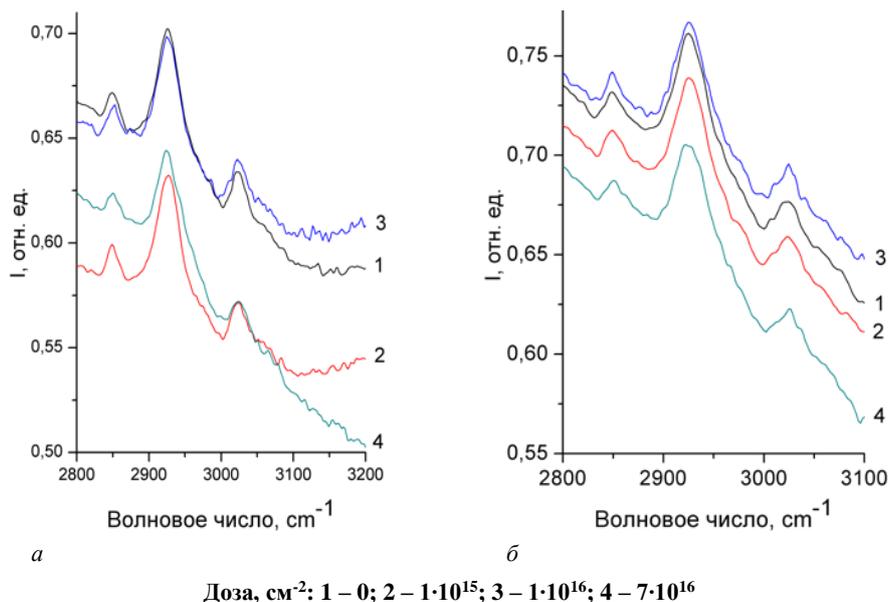
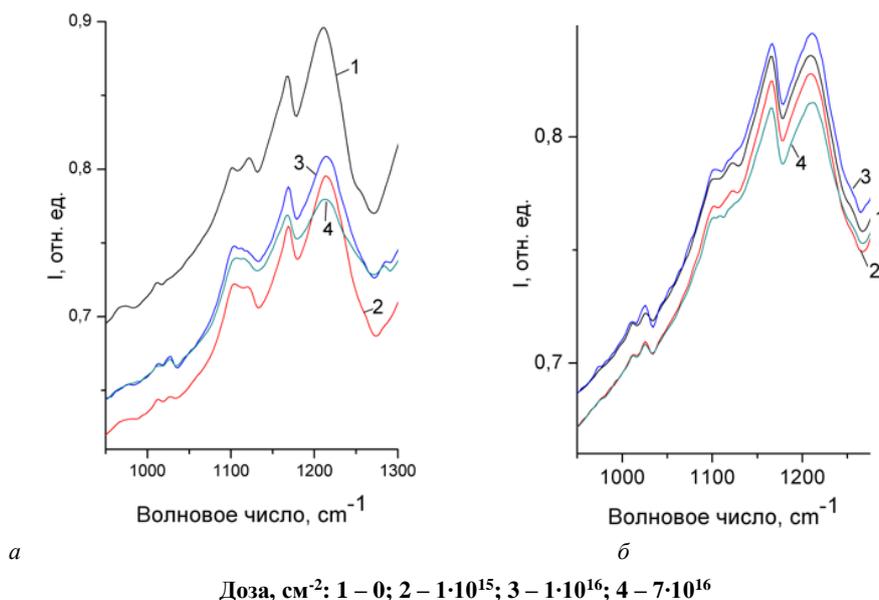


Рисунок 1. Отражательно-абсорбционные спектры пленок фоторезиста AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм, исходных (а) и подвергнутых дополнительному усилению (б), в области внеплоскостных колебаний C–H-связей



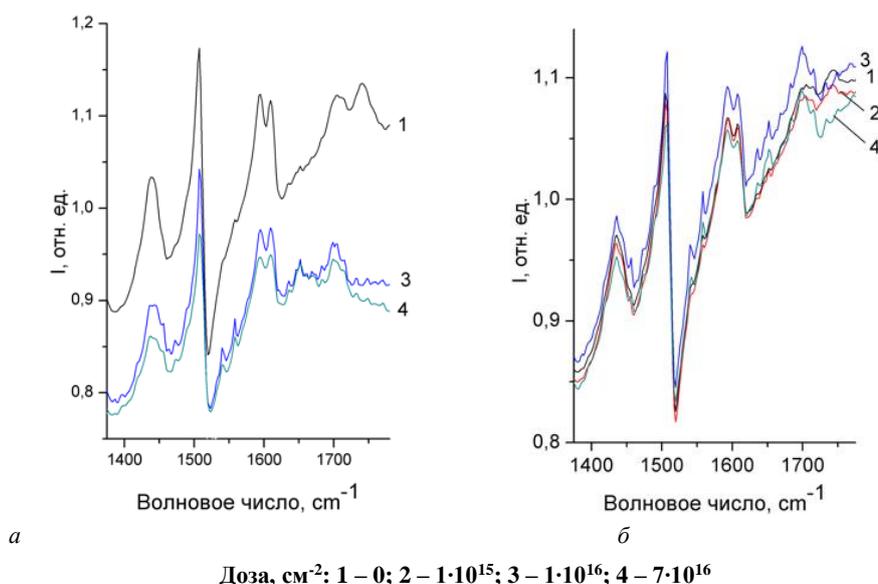
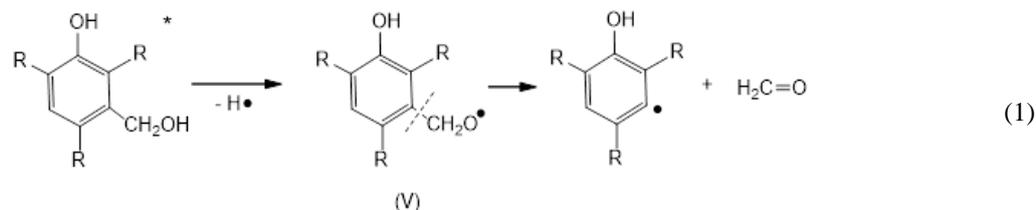
**Рисунок 2.** – Отражательно-абсорбционные спектры пленок фоторезиста AZ nLOF5510 толщиной 0,99 мкм, исходных (а) и подвергнутых дополнительному усилению (б), в области симметричных и асимметричных валентных колебаний СН<sub>2</sub>- и СН<sub>3</sub>-групп и валентных колебаний СН-группы

В области волновых чисел  $\nu = 900\text{--}1400\text{ см}^{-1}$  (рисунок 3) наблюдается ряд полос, связанных с побочными продуктами синтеза (в том числе с продуктами неполного замещения) фенолформальдегидной смолы и остаточным растворителем. Наиболее интенсивной полосой, обусловленной растворителем является полоса с максимумом при  $970\text{ см}^{-1}$ , причем она не имеет близко расположенных полос поглощения, обусловленных другими компонентами фоторезиста [7]. При облучении она исчезает на начальных дозах облучения  $\sim 1 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-2}$ . Отметим, что она отсутствует в ионно-травленных образцах (см. рисунок 3, а). С растворителем также, вероятнее всего, связана полоса с максимумом при  $1750\text{ см}^{-1}$ . Ее поведение полностью идентично поведению полосы с максимумом при  $970\text{ см}^{-1}$ . Еще одна полоса, связанная с растворителем, имеет максимум при  $1120\text{ см}^{-1}$ . Ее поведение схоже с поведением полос с максимумами при  $970$  и  $1750\text{ см}^{-1}$ . Однако на нее накладывается полоса валентных колебаний С–О–С-группы (см. таблицу), что затрудняет детальный анализ ее поведения при облучении. Таким образом, можно констатировать, что остаточный растворитель легко удаляется/разлагается при ионном травлении или облучении фоторезистивной пленки.



**Рисунок 3.** – Отражательно-абсорбционные спектры пленок фоторезиста AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм, исходных (а) и подвергнутых дополнительному усилению (б), в области валентных колебаний одиночных С–С-, С–О- и Si–О-связей

С формальдегидом, используемым при синтезе фенолформальдегидной смолы, связаны полосы в интервале волновых чисел 1620–1660 см<sup>-1</sup> (рисунок 4). В исходных пленках они появляются при облучении. В ионно-травленных образцах в малых количествах они присутствовали до облучения. По нашему мнению, наиболее вероятным механизмом образования формальдегида в ходе облучения электронами пленки фоторезиста может быть β-фрагментация кислород-центрированного радикала по реакции (1):



**Рисунок 4. – Отражательно-абсорбционные спектры пленок фоторезиста AZ nLOF 5510 толщиной 0,99 мкм, исходных (а) и подвергнутых дополнительному усилению (б), в области валентных колебаний ароматического кольца, пульсационных колебаний углеродного скелета ароматического кольца и валентных асимметричных колебаний С=О-связей**

Полосы, связанные с колебаниями ароматического кольца достаточно стабильны. Интенсивность скелетных (полоса со двоянным максимумом при 1595 и 1609 см<sup>-1</sup>) и валентных колебаний ароматического кольца (полоса при 1507 см<sup>-1</sup>) заметно снижается только при дозе  $\Phi = 7 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup> (см. рисунок 4). Это может быть обусловлено отщеплением от ароматического кольца заместителей или их значительной модификацией при облучении полимера электронами. Несколько более сильно снижалась интенсивность полосы с максимумом ~ 1438 см<sup>-1</sup>, обусловленной колебаниями бензольного кольца, связанного с СН<sub>2</sub>-мостиком. При этом появляется полоса с максимумом при 1452 см<sup>-1</sup>, которая обусловлена образованием межмолекулярных водородных связей по СН<sub>2</sub>-мостику [6]. Сшивание молекул фенолформальдегидной смолы при γ-облучении наблюдалось ранее [9].

В области валентных колебаний кратных связей ( $\nu = 1620\text{--}1800$  см<sup>-1</sup>) при облучении наблюдалась сложная перестройка спектра (см. рисунок 4). В исходных образцах в этом диапазоне присутствовали полоса с максимумом при ~ 1700 см<sup>-1</sup>, обусловленная валентными колебаниями С=О-связей в ароматических соединениях [9; 10], и полоса с максимумом при ~ 1750 см<sup>-1</sup>, связанная с валентными колебаниями С=О-связей в растворителе. Как отмечалось выше, полоса при ~ 1750 см<sup>-1</sup> исчезает при облучении дозой  $\Phi > 1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>. Полоса с максимумом при ~ 1700 см<sup>-1</sup> претерпевает сложные трансформации при облучении. Ее интенсивность при дозах  $\leq 1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup> снижается, а при повышении дозы начинает расти (см. рисунок 4, б). Кроме того, в этом диапазоне волновых чисел после облучения появляется ряд слабоинтенсивных полос переменной интенсивности. Это может быть связано с формированием/разложением различных сложных ароматических эфиров при облучении электронами, что является, вероятно, основной причиной перестройки спектра в этой области.

Как известно, в этой области (1620–1760 см<sup>-1</sup>) наблюдаются асимметричные колебания С=О-связей<sup>2</sup> [11] и валентные колебания двойных С=C-связей [1]. На положение полос двойных связей С=C

<sup>2</sup> Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений: справ. материалы. – М.: МГУ, 2012. – 55 с.

и С=О влияет ряд факторов, среди которых основными являются: электронные эффекты ближайших заместителей; сопряжение с кратными связями и ароматическими кольцами; наличие меж- и внутримолекулярных связей<sup>3</sup> [10; 11]. Так, при сопряжении с С=C-связями максимум полос асимметричных колебаний С=О смещается в низкоэнергетическую область [12]. Наблюдавшаяся в эксперименте сложная перестройка спектра в области валентных колебаний кратных связей может быть обусловлена несколькими процессами, протекающими при взаимодействии компонентов фоторезиста во время облучения электронами. В частности, могут наблюдаться трансформация (изменение состава) ближайших заместителей связей С=О, сшивка молекул [13], увеличение количества сопряженных кратных связей как результат формирования хиноидных структур [14].

**Заключение.** При исследовании облученных электронами пленок фоторезиста AZ nLOF 5510 на кремнии экспериментально установлено, что углерод-водородные связи основного компонента фоторезиста – фенолформальдегидной смолы – стабильны вплоть до доз  $\sim (1-3) \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>. Связанные с растворителем полосы исчезают из спектра при дозах облучения  $< 1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>. При облучении в интервале волновых чисел 1620–1660 см<sup>-1</sup> возникают полосы, обусловленные формальдегидом, образующимся в результате реакции β-фрагментации кислород-центрированного радикала. Полосы, связанные с колебаниями ароматического кольца достаточно стабильны. Их интенсивность заметно снижается только при дозе  $\Phi = 7 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>. В области валентных колебаний кратных связей С=О при облучении наблюдалась сложная перестройка спектра, которая обусловлена несколькими радиационно-индуцированными процессами, протекающими при взаимодействии компонентов фоторезиста. В частности, могут наблюдаться трансформация (изменение состава) ближайших заместителей связей С=О, сшивка молекул, увеличение количества сопряженных кратных связей в результате формирования хиноидных структур.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Преч Э., Бюльманн Ф., Афвольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. – М.: Мир: БИНОМ. Лаб. знаний, 2006. – 439 с.
2. Модификация пленок диазохинон-новолачного фоторезиста за областью внедрения ионов В<sup>+</sup> / С. Д. Бринкевич, Е. В. Гринюк, Д. И. Бринкевич и др. // Химия высоких энергий. – 2020. – Т. 54, № 5. – С. 377–386. – DOI: [10.31857/S0023119320050046](https://doi.org/10.31857/S0023119320050046).
3. Модификация спектров отражения пленок диазохинон-новолачного фоторезиста при имплантации ионами бора и фосфора / Д. И. Бринкевич, А. А. Харченко, В. С. Просолович и др. // Микроэлектроника. – 2019. – Т. 48, № 3. – С. 235–239. – DOI: [10.1134/S0544126919020029](https://doi.org/10.1134/S0544126919020029).
4. Отражательно-абсорбционная ИК Фурье-спектроскопия фоторезистивных пленок на кремнии / Д. И. Бринкевич, Е. В. Гринюк, В. С. Просолович и др. // Приборы и методы измерений. – 2025. – Т. 16, № 1. – С. 242–250.
5. Спектры нарушенного полного внутреннего отражения азотированных структур SiO<sub>2</sub>/Si / В. Б. Оджаев, А. Н. Петлицкий, В. С. Просолович и др. // Журнал прикладной спектроскопии. – 2022. – Т. 89, № 4. – С. 498–504. – DOI: [10.47612/0514-7506-2022-89-4-498-504](https://doi.org/10.47612/0514-7506-2022-89-4-498-504).
6. Poljansek I., Sebenik U., Krajnc M. Characterization of phenol–urea–formaldehyde resin by inline FTIR spectroscopy // Journal of Applied Polymer Science. – 2006. – Vol. 99, iss. 5. – P. 2016–2028. – DOI: [10.1002/app.22161](https://doi.org/10.1002/app.22161).
7. Трансформация спектров нарушенного полного внутреннего отражения в процессе сушки диазохинон-новолачного фоторезиста / Д. И. Бринкевич, С. Д. Бринкевич, А. Н. Петлицкий и др. // Микроэлектроника. – 2021. – Т. 50, № 4. – С. 274–280. – DOI: [10.31857/S0544126921040037](https://doi.org/10.31857/S0544126921040037).
8. Бринкевич С. Д., Бринкевич Д. И., Просолович В. С. Модификация пленок диазохинон-новолачного фоторезиста имплантацией ионов сурьмы // Микроэлектроника. – 2021. – Т. 50, № 1. – С. 36–42. – DOI: [10.31857/S0544126920060022](https://doi.org/10.31857/S0544126920060022).
9. Спектры нарушенного полного внутреннего отражения пленок диазохинон-новолачного резистов / С. Д. Бринкевич, Д. И. Бринкевич, В. С. Просолович и др. // Журнал прикладной спектроскопии. – 2020. – Т. 87, № 6. – С. 941–948.
10. Инфракрасные спектры бензальдегида и его производных в разных агрегатных состояниях / Г. Б. Толсторожев, И. В. Скорняков, М. В. Бельков и др. // Оптика и спектроскопия. – 2012. – Т. 113, № 2. – С. 202–207.
11. Инфракрасные спектры и структура молекулярных комплексов ароматических кислот / М. В. Бельков, С. Д. Бринкевич, С. Н. Самович и др. // Журн. прикладной спектроскопии. – 2011. – Т. 78, № 6. – С. 851–858.
12. Беккер Ю. Спектроскопия. – М.: Техносфера, 2009. – 527 с.
13. Ионная имплантация позитивных фоторезистов / Бринкевич Д. И., Бринкевич С. Д., Вабищевич Н. В. и др. // Микроэлектроника. – 2014. – Т. 43, № 3. – С. 193–199. – DOI: [10.7868/S0544126914010037](https://doi.org/10.7868/S0544126914010037).
14. Электронная проводимость в имплантированном ионами Р<sup>+</sup> позитивном фоторезисте / А. Н. Олешкевич, Н. М. Лапчук, В. Б. Оджаев и др. // Микроэлектроника. – 2020. – Т. 49, № 1. – С. 58–65. – DOI: [10.31857/S0544126919060073](https://doi.org/10.31857/S0544126919060073).

<sup>3</sup> Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений: справ. материалы. – М.: МГУ, 2012. – 55 с.

## REFERENCES

1. Pretsch E., Bühlmann, P., & Affolter C. (2000). *Structure Determination of Organic Compounds. Tables of Spectral Data*. Berlin – Heidelberg: Springer – Verlag.
2. Brinkevich, S. D., Grinyuk, E. V., Brinkevich, D. I., & Prosolovich V. S. (2020). Modification of Diazoquinone–Novolac Photoresist Films beyond the Region of Implantation of B<sup>+</sup> Ions. *High energy chemistry*, 54(5), 342–351. DOI: [10.31857/S0023119320050046](https://doi.org/10.31857/S0023119320050046).
3. Brinkevich, D. I., Kharchenko, A. A., Prosolovich, V. S., Odzhaev, V. B., Brinkevich, S. D., & Yankovski, Yu. N. (2019). Reflection spectra modification of diazoquinone-novolac photoresist implanted with B and P ions. *Russian Microelectronics*, 48(3), 197–201. DOI: [10.1134/S1063739719020021](https://doi.org/10.1134/S1063739719020021).
4. Brinkevich, D. I., Grinyuk, E. V., Prosolovich, V. S., Brinkevich, S. D., Kolos, V. V., & Zubova, O. A. (2025). Otrazhatel'no-absorbtsionnaya IK Fur'e-spektroskopiya fotorezistivnykh plenok na kremnii [Reflective Absorption IR Fourier-Spectroscopy of Photoresistive Films on Silicon]. *Pribory i metody izmerenii [Devices and methods of measurements]*, 16(1), 242–250. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Odzhaev, V. B., Pyatlitski, A. N., Prosolovich, V. S., Kovalchuk, N. S., Soloviev, Ya. A., Zhygulin, D. V., ... Brinkevich, D. I. (2022). Attenuated Total Reflection Spectra of Nitrided SiO<sub>2</sub>/Si Structures. *Journal of Applied Spectroscopy*, 89(4), 665–670. DOI: [10.1007/s10812-022-01408-3](https://doi.org/10.1007/s10812-022-01408-3).
6. Poljansek, I., Sebenik, U., Krajnc, M. (2006). Characterization of phenol–urea–formaldehyde resin by inline FTIR spectroscopy. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(5), 2016–2028. DOI: [10.1002/app.22161](https://doi.org/10.1002/app.22161).
7. Brinkevich, D. I., Brinkevich, S. D., Petlitsky, A. N., & Prosolovich, V. S. (2021). Transformation of the Spectra of a Attenuated Total Reflection when Drying a Diazoquinone–Novolac Photoresist. *Russian Microelectronics*, 50(4), 239–245. DOI: [10.1134/S106373972104003X](https://doi.org/10.1134/S106373972104003X).
8. Brinkevich, S. D., Brinkevich, D. I., & Prosolovich, V. S. (2021). Modification of Diazoquinone–Novolac Photoresist Films by the Implantation of Antimony Ions. *Russian Microelectronics*, 50(1), 33–38. DOI: [10.1134/S1063739720060025](https://doi.org/10.1134/S1063739720060025).
9. Brinkevich, S. D., Brinkevich, D. I., Prosolovich, V. S., Lastovskii, S. B., & Pyatlitski, A. N. (2021). Frustrated total internal reflection spectra of diazoquinone–novolac photoresist films. *Journal of Applied Spectroscopy*, 87(6), 1072–1078. DOI: [10.1007/s10812-021-01111-9](https://doi.org/10.1007/s10812-021-01111-9).
10. Tolstorozhev, G. B., Skorniyakov, I. V., Bel'kov, M. V., Shadyro, O. I., Brinkevich, S. D., & Samovich, S. N. (2012). IR spectra of benzaldehyde and its derivatives in different aggregate states. *Opt. Spektrosk.*, 113(2), 179–183.
11. Belkov, M. V., Brinkevich, S. D., Samovich, S. N., Skorniyakov, I. V., Tolstorozhev, G. B., & Shadyro, O. I. (2011). Infrared spectra and structure of molecular complexes of aromatic acids. *J. Appl. Spectrosc.*, 78(6), 794–801.
12. Böcker, J. (1997). *Spektroskopie*. Wurzburg (Germany): Vogel Industrie Medien GmbH & Co KG.
13. Brinkevich, D. I., Brinkevich, S. D., Vabishchevich, N. V., Odzhaev, V. B., & Prosolovich, V. S. (2014). Ion implantation of positive photoresists. *Russian Microelectronics*, 43(3), 194–200. DOI: [10.1134/S106373971401003X](https://doi.org/10.1134/S106373971401003X).
14. Oleshkevich, A. N., Lapchuk, N. M., Odzhaev, V. B., Karpovich, I. A., Prosolovich, V. S., Brinkevich, D. I., & Brinkevich, S. D. (2020). Electronic Conductivity in a P<sup>+</sup>-Ion Implanted Positive Photoresist. *Russian Microelectronics*, 49(1), 55–61. DOI: [10.1134/S1063739719060076](https://doi.org/10.1134/S1063739719060076).

Поступила 05.03.2025

**FILMS OF THE NEGATIVE PHOTORESIST AZ nLOF 5510,  
IRRADIATED BY ELECTRONS**

**S. ABRAMOV, D. BRINKEVICH, V. PROSOLOVICH**  
(Belarusian State University, Minsk)

**O. ZUBOVA**

(“INTEGRAL” Joint Stock Company, Minsk)

**S. VABISHCHEVICH, N. VABISHCHEVICH**  
(Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk)

**ZOIR T. KENZHAEV**

(Tashkent State Technical University Named after Islam Karimov)

**S. LASTOVSKII**

(Scientifi-Practical Materials Research Centre, National Academy of Sciences of Belarus)

The method of IR-spectroscopy using a module for diffuse reflection, the films of negative photoresists AZ nLOF 5510 thick of 0,99 μm, applied to the surface of the silicon plates by centrifugation, were studied. Electron irradiation with an energy of 3,5 MeV dose to 7·10<sup>16</sup> cm<sup>-2</sup> was carried out on ELU-4 linear accelerator of electrons. It is shown that the carbon-hydrogen bonds of the main component of the photoresist – phenol-formaldehyde resin - are stable up to doses ~ (1–3)·10<sup>16</sup> cm<sup>-2</sup>. The bands associated with the solvent disappear from the spectrum at doses of irradiation < 1·10<sup>15</sup> cm<sup>-2</sup>. In the interval of wave numbers 1620–1660 cm<sup>-1</sup> during irradiation bands arise due to formaldehyde formed as a result of the β-fragmentation of oxygen-centered radical. Bands associated

with the vibrations of the aromatic ring are quite stable. Their intensity is significantly reduced only at the dose of  $F = 7 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ . In the area of valence fluctuations of multiple C=O bonds, overlapping, a complex restructuring of the spectrum was observed, due to several processes that occur due to the interaction of the components of the photoresist during radiation with electrons. In particular, the transformation of the nearest deputies of C=O bonds may be observed, the cross-linking of molecules, an increase in the number of conjugated multiple bonds as a result of the formation of chinoid structures.

**Keywords:** negative photoresist, IR-Fourier spectroscopy, ionic etching, electron radiation, solvent.