

УДК 541.183

DOI 10.52928/2070-1624-2026-46-1-27-33

**ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИЯ ПЛЕНОК НЕГАТИВНОГО ФОТОРЕЗИСТА КМР E3502  
НА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ**

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

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

*О. А. ЗУБОВА  
(ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск)*

*И. А. ВЛАСЕНКО  
(АО «Фармпроект», Санкт-Петербург, Россия)*

*Методом ИК-Фурье спектроскопии с использованием приставки для диффузного отражения исследованы пленки негативного фоторезиста КМР E3502 толщиной 2,62–5,9 мкм, нанесенные на поверхность пластин кремния методом центрифугирования. Наиболее интенсивные полосы поглощения в отражательно-абсорбционных спектрах фоторезистивных пленок КМР E3502 наблюдаются в диапазоне волновых чисел 1000–1800 см<sup>-1</sup> и характерны для фенолформальдегидной смолы. Анализ отражательно-абсорбционных спектров пленок КМР E3502 позволяет заключить, что их основным пленкообразующим компонентом является смесь фенолформальдегидных смол. В области волновых чисел 400–1000 см<sup>-1</sup> в тонких (2,62 мкм) пленках КМР E3502 наблюдалась широкая полоса с максимумом в области 650–700 см<sup>-1</sup>, которая обусловлена процессами на границе раздела фоторезист/кремний. Показано, что при увеличении толщины фоторезистивной пленки от 2,62 мкм до 5,9 мкм кромоный валик (утолщение у края пластины) увеличивается на порядок.*

**Ключевые слова:** *негативный фоторезист КМР E3502, кремний, ИК-Фурье спектроскопия, фенолформальдегидная смола.*

Негативные фоторезисты КМР E3502, изготавливаемые компанией Kempur Microelectronics Inc, Китай, предназначены для использования в процессах обратной (lift-off) литографии и широко используются в субмикронных процессах (проектные нормы 0,6 мкм при толщине пленки 2,4 мкм) производства интегральных микросхем и светодиодов<sup>1</sup>. Они разработаны под i-линию и рассчитаны для получения пленок толщиной 2,4–4 мкм. Фоторезисты КМР E3502 оптимизированы для нанесения пленок методом центрифугирования.

При экспонировании в фоторезистивной пленке протекают фотохимические реакции, скорость которых определяется компонентным составом фоторезиста (ФР). Это, в свою очередь, оказывает определяющее влияние на выбор оптимальных технологических режимов литографических процессов при изготовлении микросхем. Производитель обычно не указывает состав фоторезиста. Указанные обстоятельства определили актуальность настоящей работы.

Для исследования полимерных композитов обычно применяют метод ИК-Фурье спектроскопии, который позволяет получать количественную информацию о составе и структуре сложных органических композитов, поскольку колебания большинства молекулярных групп полимеров лежат в средней ИК-области [1; 2]. Оптические свойства пленок диазохинон-новолачных ФР на поверхности пластин монокристаллического кремния ранее исследовались методом нарушенного полного внутреннего отражения [3–6]. В работах [7; 8] показаны преимущества использования для этих целей отражательно-абсорбционной ИК-Фурье спектроскопии с использованием приставки для диффузного отражения. Наличие в этих спектрах широких интерференционных полос позволяет, кроме полос ИК-поглощения, дополнительно определять как толщину пленки, так и ее показатель преломления.

В настоящей работе приведены результаты исследования инфракрасных спектров пленок негативных фоторезистов КМР E3502 на кремнии методом отражательно-абсорбционной ИК-Фурье спектроскопии с использованием приставки для диффузного отражения и проведен их сравнительный анализ с другими ФР аналогичного назначения с целью оптимизации применения указанных ФР в литографических процессах производства интегральных микросхем.

**Методы исследования.** Пленки негативного фоторезиста КМР E3502 наносились на поверхность пластин кремния методом центрифугирования [9]. Перед нанесением ФР пластины кремния подвергались

<sup>1</sup> URL: [Kempur.com/en/cate-16395-14073.html](http://Kempur.com/en/cate-16395-14073.html) (дата обращения 20.02.2026).

стандартному циклу очистки поверхности в органических и неорганических растворителях. После формирования фоторезистивной пленки проводилась ее сушка при температуре 110 °С длительностью 60 с. Толщина фоторезистивных пленок варьировалась в пределах 2,62–5,90 мкм. Толщина пленки фоторезиста обратно пропорциональна корню квадратному от скорости вращения центрифуги и, таким образом, возможна ее регулировка в определенном диапазоне. Измерение геометрической толщины пленок ФР выполнялось на растровом электронном микроскопе HITACHI S-4800.

ИК-Фурье спектры структур ФР/Si регистрировались в диапазоне 400–3200 см<sup>-1</sup> при комнатной температуре спектрофотометром ALPHA (производитель Bruker Optik GmbH) [8]. Использовалась приставка для измерения диффузного отражения DRIFT. При этом спектры поглощения формировались в результате прохождения зондирующего ИК-излучения через слой фоторезиста в сторону кремниевой подложки, его зеркального отражения от подложки и обратного прохождения излучения через слой ФР. Разрешение было не хуже 4 см<sup>-1</sup>. Коррекция фона проводилась перед каждым измерением.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Характерные отражательно-абсорбционные ИК-Фурье спектры фоторезистивных пленок КМР E3502 на монокристаллическом кремнии представлены на рисунках 1–3. Для определения величины кромочного валика измерения проводились на образцах, вырезанных из разных участков (края и центра) пластин кремния.

Наиболее интенсивные линии поглощения в пленках наблюдались в области волновых чисел 600–1750 см<sup>-1</sup>. В пленках толщиной порядка 6 мкм (рисунок 1) они накладываются на первую (максимум при 880 см<sup>-1</sup>) и вторую (максимум при ~ 1560 см<sup>-1</sup>) интерференционные полосы. Это обстоятельство затрудняет достоверное определение интенсивности полос поглощения в указанном энергетическом диапазоне, а также оценку их изменений под влиянием внешних воздействий. При уменьшении толщины пленки интерференционные полосы уширяются и смещаются в область больших волновых чисел (рисунок 1, кривые 1 и 2). Для пленок толщиной 2,62 мкм первая интерференционная полоса имеет максимум при ~ 2000 см<sup>-1</sup> и находится за областью наиболее интенсивных линий поглощения фоторезистивной пленки КМР E3502 (рисунок 2), что позволяет достаточно уверенно определять положение и интенсивности полос поглощения и анализировать возможные их изменения при различных внешних (как радиационных, так и термических) воздействиях.

Наличие в отражательно-абсорбционных спектрах интерференционных полос позволяет при известном показателе преломления  $n$  фоторезистивной пленки определить ее толщину [8; 10]. Это дало возможность по сдвигу полос интерференции рассчитать величину кромочного валика (утолщения у края пластины) для пленок разной толщины (рисунки 2, 3). Оказалось, что при увеличении толщины пленки кромочный валик становится более заметным. Так, при толщине пленки 2,62 мкм он составлял ~ 0,03 мкм, или 1,1 % от толщины пленки. Увеличение толщины пленки до 5,7–5,9 мкм приводит к росту высоты кромочного валика на порядок – до 0,30–0,33 мкм, что составляет ~ 5,3–5,7 % от толщины пленки.

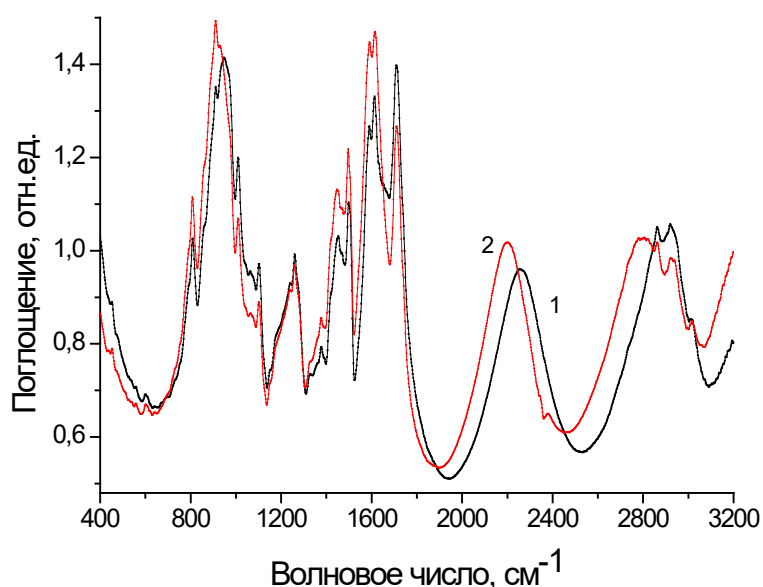
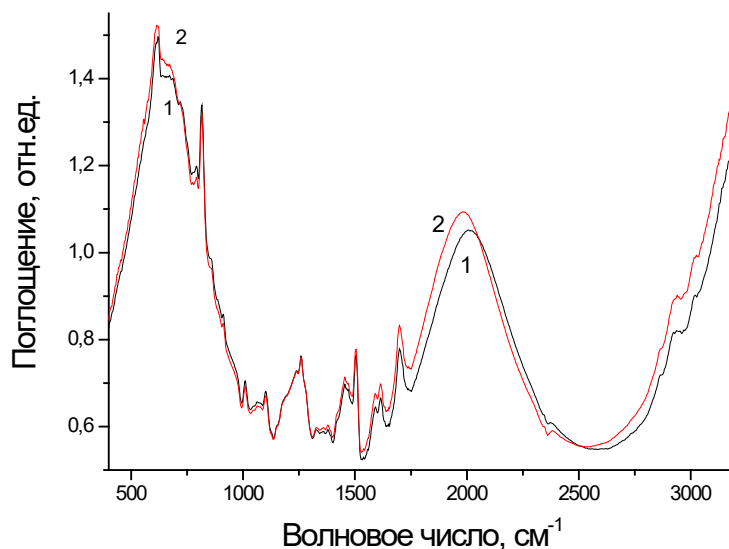
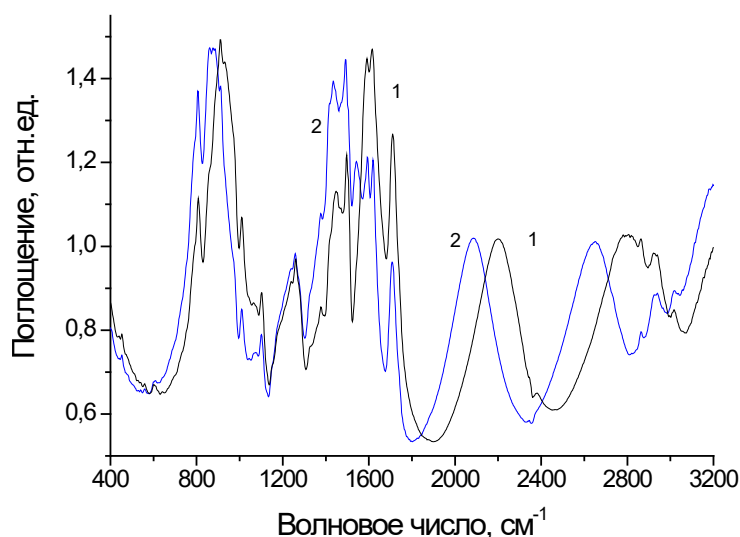


Рисунок 1. – Отражательно-абсорбционные ИК-Фурье спектры пленок негативного фоторезиста КМР E3502 толщиной 5,73 (1) и 5,91 (2) мкм, вырезанных из центра пластины



**Рисунок 2. – Отражательно-абсорбционные ИК-Фурье спектры пленок негативного фоторезиста КМР E3502 толщиной 2,62 мкм. Образцы вырезались из центра (1) и края (2) пластины**



**Рисунок 3. – Отражательно-абсорбционные ИК-Фурье спектры пленок негативного фоторезиста КМР E3502 толщиной 5,91 мкм. Образцы вырезались из центра (1) и края (2) пластины**

Экспериментальные значения частот линий ИК-поглощения фоторезистивных пленок КМР E3502 и их соответствие различным функциональным группам приведены в таблице. Наиболее интенсивные полосы поглощения в спектрах фоторезистивных пленок КМР E3502 наблюдаются в диапазоне волновых чисел 1000–1800  $\text{см}^{-1}$  и характерны для фенолформальдегидной смолы [12]. Эти полосы обусловлены валентными колебаниями ароматического кольца (максимум при 1510  $\text{см}^{-1}$ ), пульсационными колебаниями его углеродного скелета (сдвоенный максимум при 1595 и 1610  $\text{см}^{-1}$ ), а также колебаниями бензольного кольца (максимум при 1430  $\text{см}^{-1}$ ), связанного с  $\text{CH}_2$ -мостиком [6; 10]. Это обстоятельство указывает на то, что основным пленкообразующим компонентом фоторезистивных пленок КМР E3502 является смесь фенолформальдегидных смол. Ранее аналогичные полосы наблюдались в других фоторезистивных пленках на основе фенолформальдегидных смол: диазохинон-новолачных позитивных ФП9150 и AZ-1350 J [4; 6] и негативных фенолформальдегидных NFR 016D4 и AZ nLOF 20XX [8; 13; 14].

Во всех ИК-Фурье спектрах пленок КМР E3502 наблюдалась интенсивная широкая структурированная полоса с несколькими максимумами в диапазоне 1150–1270  $\text{см}^{-1}$ , профиль которой отличался от аналогичной полосы в других ФР на основе фенолформальдегидных смол (рисунок 4). Обусловлено это тем,

что в указанном спектральном диапазоне наблюдаются как колебания С–О- и С–С-связей растворителя, так и плоскостные деформационные колебания С–О-связей фенольной группы фенолформальдегидной смолы [6]. Здесь же наблюдаются полосы с максимумами при 1100 и 1170  $\text{см}^{-1}$ , обусловленные поглощением в кремниевой подложке, интенсивность которых резко возрастает в тонких (2,62 мкм) пленках (рисунок 2). Так, полоса 1170  $\text{см}^{-1}$  может быть вызвана естественным оксидом на поверхности кремния [11]. Вклад в полосу при 1100  $\text{см}^{-1}$  могут также вносить колебания междуузельного кислорода в кремниевой подложке [11].

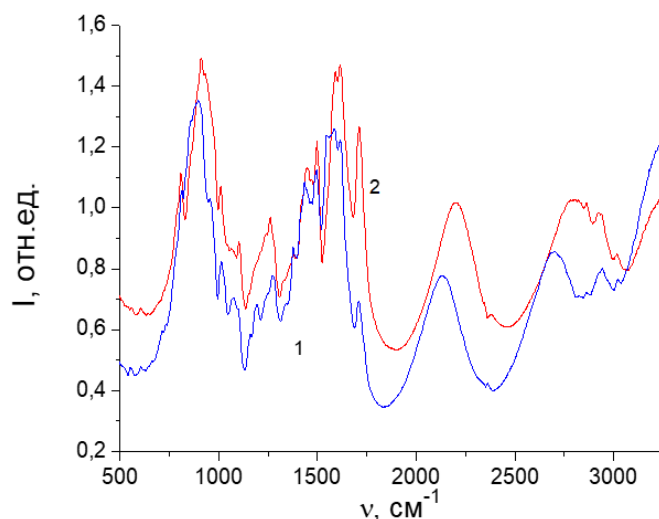


Рисунок 4. – Отражательно-абсорбционные спектры пленок толщиной 5,8 мкм негативных фоторезистов AZ nLOF2070 (1) и КМР E3502 (2)

В диапазоне волновых чисел 1700–1720  $\text{см}^{-1}$  наблюдалась полоса, обусловленная валентными колебаниями  $\text{C}=\text{O}_{\text{str}}$  в сложных ароматических эфирах. Ее интенсивность снижалась при сушке фоторезистивной пленки. Двойные С=О-связи в структуре фенолформальдегидной смолы отсутствуют, поэтому, вероятнее всего, указанная полоса связана с остаточным растворителем. Кроме того, в ИК спектрах пленок КМР E3502 наблюдался также ряд полос средней и малой интенсивности в области волновых чисел 400–900  $\text{см}^{-1}$  (таблица), энергетическое положение и принадлежность которых к функциональным группам были подробно рассмотрены ранее в [4; 6]. Наиболее интенсивной из них (как и в других фенолформальдегидных резистах) была обусловленная внеплоскостными деформационными колебаниями С–Н-связей ароматического кольца полоса с максимумом при 810  $\text{см}^{-1}$ .

Таблица. – Экспериментальные значения частот ИК-поглощения функциональных групп в пленках негативного фоторезиста КМР E3502 на кремнии

Энергетическое положение	Интенсивность	Функциональная группа, тип колебаний	Примечание
1	2	3	4
610 $\text{см}^{-1}$	Переменная интенсивность	Решеточное поглощение кремния [11]	Усиливается при уменьшении толщины
790 $\text{см}^{-1}$	слабая	Внеплоскостные колебания С–Н-связей орто- и паразамещенного кольца [12]	
815 $\text{см}^{-1}$	сильная		
960 $\text{см}^{-1}$	слабая	С–О–С-связи [1; 2]	
1010 $\text{см}^{-1}$	средняя	Колебания С–С-связей [6]	
1100 $\text{см}^{-1}$	слабая	С–О–С-связи эфиров [1; 2], колебания междуузельного кислорода в кремниевой подложке [11]	
1170 $\text{см}^{-1}$ 1180 $\text{см}^{-1}$ 1240 $\text{см}^{-1}$ 1256 $\text{см}^{-1}$	Сильная, основной максимум 1256 $\text{см}^{-1}$	Валентные колебания С–О- и Si–О-связей в кислородных преципитатах в кремнии [1; 11]	Широкая полоса с двумя максимумами 1256 и 1240 $\text{см}^{-1}$ , перегибы при 1170 и 1180 $\text{см}^{-1}$
1380 $\text{см}^{-1}$	слабая	Деформационные плоскостные колебания ОН-связей [1; 2]	
1450 $\text{см}^{-1}$	средняя	Валентные колебания ароматического кольца, связанные с $\text{CH}_2$ -мостиком [12]	При 1420 $\text{см}^{-1}$ перегиб

Окончание таблицы

1	2	3	4
1500 см <sup>-1</sup>	сильная	Валентные колебания ароматического кольца [1; 12]	
1595 см <sup>-1</sup>	сильная	Пулсационные колебания углеродного скелета ароматического кольца [1; 2]	Сдвоенный максимум, доминирует 1610 см <sup>-1</sup>
1610 см <sup>-1</sup>	сильная		
1710 см <sup>-1</sup>	сильная	С=О валентные колебания в сложных ароматических эфирах [1; 2]	
~ 2860 см <sup>-1</sup>	слабая	Симметричные валентные колебания СН <sub>2</sub> - и СН <sub>3</sub> -групп [2]	
2925 см <sup>-1</sup>	слабая	Асимметричные валентные колебания СН <sub>2</sub> -групп [2]	
2940 см <sup>-1</sup>	слабая	Асимметричные валентные колебания СН <sub>3</sub> -групп [1; 2]	Переменная интенсивность
3010 см <sup>-1</sup>	слабая	Валентные колебания СН-групп [2]	В части образцов рядом пик 3020 см <sup>-1</sup> переменной интенсивности
~ 3350 см <sup>-1</sup>	средняя	О–Н валентные колебания, водородная связь [1; 2]	Широкая

В области валентных колебаний С–Н-связей в спектрах толстых (5,0–6,0 мкм) пленок КМР Е3502 на фоне четвертой интерференционной полосы наблюдались относительно низкоинтенсивные полосы поглощения, обусловленные асимметричными (максимум при 2925 см<sup>-1</sup>) и симметричными (максимум при ~ 2870 см<sup>-1</sup>) валентными колебаниями С–Н<sub>2</sub>-связей (см. рисунки 1, 3). Наблюдались также валентные колебания С–Н-связей (слабоинтенсивная полоса с максимумом при ~ 3010 см<sup>-1</sup>). В тонких пленках интенсивность указанных полос падала (см. рисунок 2). Отметим, что присущих позитивным фенолформальдегидным резистам полос поглощения, обусловленных колебаниями С–Н<sub>3</sub>-связей, в спектрах пленок КМР Е3502 обнаружено не было.

В области волновых чисел 400–1000 см<sup>-1</sup> в тонких пленках наблюдалась широкая полоса с максимумом в области 650–700 см<sup>-1</sup> (см. рисунок 2), которая отсутствовала в толстых пленках, что подтверждается сопоставлением рисунков 2 и 3. По своему энергетическому положению и форме она не является интерференционной. Она несимметрична: ее высокоэнергетическое плечо уширено по сравнению с низкоэнергетическим. Интенсивность этой полосы слабо зависит от местоположения в слитке. Ионное травление не изменяет ее энергетическое положение и интенсивность. Природа указанной полосы однозначно не определена. Вероятнее всего, ее наличие обусловлено процессами рассеяния/поглощения на границе раздела фоторезист/кремний. В отражательно-абсорбционных ИК-Фурье спектрах тонких (1–3 мкм) пленок негативных фенолформальдегидных фоторезистов других производителей (NFR 016D, JSR, Япония; AZ nLOF 5510, MicroChemicals GmbH, Германия) аналогичная полоса не наблюдалась [8]. Не было ее и в ИК-спектрах нарушенного полного внутреннего отражения позитивных диазохинон-новолачных фоторезистов [4; 15; 16].

На фоне указанной широкой полосы в диапазоне волновых чисел 400–1000 см<sup>-1</sup> наблюдались узкие полосы поглощения, наиболее интенсивные из которых имели максимумы при ~ 610 и 815 см<sup>-1</sup>. Как отмечалось выше, полоса поглощения с максимумом при 815 см<sup>-1</sup> обусловлена внеплоскостными колебаниями С–Н-связей орто- и паразамененного бензольного кольца фенолформальдегидных смол [12]. Ее интенсивность слабо зависела от толщины фоторезистивной пленки. Интенсивность полосы с максимумом при 610 см<sup>-1</sup> возрастает при уменьшении толщины пленки, что подтверждается сопоставлением рисунков 1 и 2, а ее энергетическое положение соответствует решеточному поглощению монокристаллического кремния. Вышесказанное позволяет заключить, что данная полоса обусловлена решеточным поглощением кремниевой подложки.

Отражательно-абсорбционные ИК-Фурье спектры пленок КМР Е3502 близки к спектрам других негативных фоторезистов со схожими характеристиками (например, производимых компанией MicroChemicals GmbH, Германия), пленкообразующую основу которых составляют фенолформальдегидные смолы (рисунок 4). ИК-Фурье спектры поглощения этих ФР различаются в деталях. Это подтверждает предположение, сделанное в работе [8], о том, что основным компонентом КМР Е3502 является смесь фенолформальдегидных смол. Так, с одной стороны, интенсивность полос поглощения, связанных с валентными колебаниями СН- и СН<sub>2</sub>-групп, выше в пленках КМР Е3502 по сравнению с другими фенолформальдегидными негативными ФР. В то же время в спектрах фоторезистов компании MicroChemicals GmbH доминируют колебания СН<sub>3</sub>-группы, отсутствующие в пленках КМР Е3502. Интенсивность полос, обусловленных растворителем (полоса с максимумом при 1710 см<sup>-1</sup>, характерная для валентных колебаний двойных С=О-связей в сложных алифатических эфирах [1; 2], и полосы при 1375, 1240 и 1180 см<sup>-1</sup>, соответствующие колебаниям С–О-связей в эфирной группе [1; 2]) существенно выше в пленках КМР Е3502, чем в близких по характеристикам пленках

негативных фоторезистов NFR 016D4 и серии AZ nLOF 20XX. На их принадлежность к растворителю указывает снижение интенсивности этих полос при термообработке вплоть до исчезновения из спектра.

Отметим, что, несмотря на одинаковую толщину пленок негативных фоторезистов AZnLOF2070 и КМР E3502, положения максимумов их интерференционных полос в спектрах (рисунок 4) смещены на  $\approx 7\%$ . Поскольку энергетическое положение максимумов интерференционных полос определяется выражением  $m\lambda = 2nd$  (где  $m$  – номер максимума;  $\lambda$  – длина волны максимума;  $n$  – показатель преломления пленки;  $d$  – геометрическая толщина пленки), это указывает на различие в коэффициентах преломления данных фоторезистов. Наблюдаемое различие объясняется тем, что коэффициент преломления фенолформальдегидных смол может варьироваться в диапазоне  $n = 1,56 - 1,65$  вследствие различной степени замещения ароматических колец фенола в полимере [17] и зависит от технологических особенностей их получения. Кроме того, значение  $n$  может изменяться при наличии других компонентов (в частности, остаточного растворителя) в пленках фоторезистов.

Различия в спектрах фоторезиста КМР E3502 и его аналогов наблюдались также и в области пульсационных колебаний углеродного скелета ароматического кольца (сдвоенный максимум при  $1595\text{ см}^{-1}$  и  $1610\text{ см}^{-1}$ ). Так, в ИК-спектрах пленок AZ nLOF2070 толщиной  $5,9\text{ мкм}$  в этом диапазоне доминирует полоса при  $1595\text{ см}^{-1}$ , а в пленках КМР E3502 той же толщины интенсивности обоих пиков пульсационных колебаний сравнимы. О наличии в пленках фоторезиста AZ nLOF2070 взаимодействий, изменяющих силовые поля вблизи ароматических колец, свидетельствует смещение в низкоэнергетическую область полосы, обусловленной колебаниями бензольного кольца, связанного с  $\text{CH}_2$ -мостиком [12]. Ее максимум в КМР E3502 наблюдался при  $\sim 1450\text{ см}^{-1}$ , а в AZ nLOF2070 смещался к  $\sim 1435\text{ см}^{-1}$ , что может указывать на наличие сильной водородной связи по  $\text{CH}_2$ -мостику в этом фоторезисте. Интенсивности и энергетическое положение остальных полос ИК-поглощения в пленках КМР E3502 и его аналогов были близки.

**Заключение.** Экспериментально установлено, что в ИК-Фурье спектрах пленок КМР E3502 наиболее интенсивными являются полосы валентных колебаний ароматического кольца, пульсационных колебаний углеродного скелета ароматического кольца, широкая структурированная полоса с несколькими максимумами в диапазоне  $1150 - 1270\text{ см}^{-1}$  и полоса, связанная с  $\text{CH}_2$ -мостиком. В области волновых чисел  $400 - 1000\text{ см}^{-1}$  в тонких пленках наблюдалась широкая полоса с максимумом в области  $650 - 700\text{ см}^{-1}$ , которая обусловлена процессами на границе раздела фоторезист/кремний. Наличие в отражательно-абсорбционных спектрах пленок КМР E3502 интерференционных полос позволяет определить их толщину, что было использовано для оценки однородности пленки по диаметру пластины. Показано, что при увеличении толщины фоторезистивной пленки кромочный валик (утолщение у края пластины) увеличивается от  $\sim 0,03\text{ мкм}$  ( $1,1\%$  от толщины пленки) при толщине пленки  $2,62\text{ мкм}$  до  $0,30 - 0,33\text{ мкм}$ , ( $\sim 5,3 - 5,7\%$  от толщины пленки) при толщине пленки  $5,7 - 5,9\text{ мкм}$ . Анализ отражательно-абсорбционных спектров пленок КМР E3502 позволяет однозначно утверждать, что основным пленкообразующим компонентом фоторезиста является смесь фенолформальдегидных смол.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Современное материаловедение, перспективные материалы и новые технологии», подпрограмма 7.2 «Наноматериалы, наноструктуры и технологии».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. – М.: Мир: БИНОМ. Лаб. знаний, 2006. – 439 с.
2. Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений: справ. материалы. – М.: МГУ, 2012. – 55 с.
3. Трансформация спектров нарушенного полного внутреннего отражения в процессе сушки диазохинон-новолачного фоторезиста / Д. И. Бринкевич, С. Д. Бринкевич, А. Н. Петлицкий, В. С. Просолович // Микроэлектроника. – 2021. – Т. 50, № 4. – С. 274–280. – DOI: [10.31857/S0544126921040037](https://doi.org/10.31857/S0544126921040037).
4. Garcia I. T. S., Zawislak F. C., Samios D. The effects of nuclear and electronic stopping powers on ion irradiated novolac-diazoquinone films // Applied Surface Science. – 2004. – Vol. 228, iss. 1–4. – P. 63–76. – DOI: [10.1016/j.apsusc.2003.12.027](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2003.12.027).
5. Brinkevich D. I., Brinkevich S. D., Prosolovich V. S. Ion Implantation in Diazoquinone–Novolac Photoresist // High Energy Chemistry. – 2022. – Vol. 56, iss. 4. – P. 270–276. – DOI: [10.1134/s0018143922040051](https://doi.org/10.1134/s0018143922040051).
6. Modification of Diazoquinone–Novolac Photoresist Films beyond the Region of Implantation of  $\text{B}^+$  Ions / S. D. Brinkevich, E. V. Grinyuk, D. I. Brinkevich, V. S. Prosolovich // High energy chemistry. – 2020. – Vol. 54, iss. 5. – P. 342–351. – DOI: [10.1134/S0018143920050045](https://doi.org/10.1134/S0018143920050045).
7. Инфракрасная Фурье-спектроскопия диффузного отражения пленок негативных фоторезистов серии AZ nLOF на монокристаллическом кремнии / Д. И. Бринкевич, В. С. Просолович, В. В. Колос и др. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2024. – № 2(43). – С. 34–40. – DOI: [10.52928/2070-1624-2024-43-2-34-40](https://doi.org/10.52928/2070-1624-2024-43-2-34-40).
8. 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. 69–76. – DOI: [10.21122/2220-9506-2025-16-1-69-76](https://doi.org/10.21122/2220-9506-2025-16-1-69-76).

9. 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).
10. Stabilizing Treatment of Negative Photoresist Films of the AZ nLOF20XX Series on Silicon / V. S. Prosolovich, D. I. Brinkevich, E. V. Grinyuk et al. // Russian Microelectronics. – 2025. – Vol. 54, iss. 6. – P. 589–594. – DOI: [10.1134/S106373972560089X](https://doi.org/10.1134/S106373972560089X).
11. Attenuated Total Reflection Spectra of Nitrided SiO<sub>2</sub>/Si Structures / V. B. Odzhaev, A. N. Pyatlitski, V. S. Prosolovich et al. // Journal of Applied Spectroscopy. – 2022. – Vol. 89, iss. 4. – P. 665–670. – DOI: [10.1007/s10812-022-01408-3](https://doi.org/10.1007/s10812-022-01408-3).
12. 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).
13. Инфракрасная Фурье-спектроскопия структур фоторезист/кремний, используемых для обратной литографии / Д. И. Бринкевич, Е. В. Гринюк, С. Д. Бринкевич и др. // Журнал прикладной спектроскопии. – 2023. – Т. 90, № 6. – С. 863–869.
14. Пленки фоторезистов серии AZ nLOF на монокристаллическом кремнии / Д. И. Бринкевич, Е. В. Гринюк, В. С. Просолович и др. // Микроэлектроника. – 2025. – Т. 54, № 1. – С. 55–63. – DOI: [10.31857/S0544126925010068](https://doi.org/10.31857/S0544126925010068).
15. Brinkevich D. I., Brinkevich S. D., Prosolovich V. S. Ion Implantation in Diazoquinone–Novolac Photoresist // High Energy Chemistry. – 2022. – Vol. 56, iss. 4. – P. 270–276. – DOI: [10.1134/s0018143922040051](https://doi.org/10.1134/s0018143922040051).
16. Frustrated total internal reflection spectra of diazoquinone-novolac photoresist films / S. D. Brinkevich, D. I. Brinkevich, V. S. Prosolovich et al. // Journal of Applied Spectroscopy. – 2021. – Vol. 87, iss. 6 – P. 1072–1078. – DOI: [10.1007/s10812-021-01111-9](https://doi.org/10.1007/s10812-021-01111-9).
17. Аскадский А. А., Кондрашенко В. И. Компьютерное материаловедение полимеров: в 2 т. – М.: Научный мир, 1999. – Т. 1: Атомно-молекулярный уровень. – 544 с.

Поступила 06.03.2026

## FTIR SPECTROSCOPY OF KMP E3502 NEGATIVE PHOTORESIST FILMS ON MONOCRYSTALLINE SILICON

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

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

**O. ZUBOVA**  
(«INTEGRAL» Joint Stock Company, Minsk)

**I. VLASENKO**  
(«Pharmproject», Saint-Petersburg)

*Films of negative photoresist (FR) KMP E3502 with a thickness of 2.62–5.9 microns deposited on the surface of silicon wafers by centrifugation have been studied by IR-Fourier spectroscopy using a diffuse reflection attachment. The most intense absorption bands in the reflective absorption spectra of KMP E3502 photoresistive films are observed in the wavelength range of 1000–1800 cm<sup>-1</sup> and are characteristic of phenol-formaldehyde resin. Analysis of the reflection and absorption spectra of KMP E3502 films suggests that the main film-forming component of KMP E3502 photoresistive films is a mixture of phenol-formaldehyde resins. In the region of wave numbers 400–1000 cm<sup>-1</sup>, a wide band with a maximum in the region of 650–700 cm<sup>-1</sup> was observed in thin (2.62 μm) KMP E3502 films, which is caused by processes at the photoresist/silicon interface. It is shown that with an increase in the thickness of the photoresistive film from 2.62 microns to 5.9 microns, the edge roller (thickening at the edge of the plate) increases by an order of magnitude.*

**Keywords:** negative photoresist KMP E3502, silicon, IR-Fourier spectroscopy, phenol-formaldehyde resin.