———— ЛИТОГРАФИЯ ———

УДК 621.382

# ТРАНСФОРМАЦИЯ СПЕКТРОВ НАРУШЕННОГО ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ ДИАЗОХИНОН-НОВОЛАЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА

© 2021 г. Д. И. Бринкевич<sup>*a*</sup>, С. Д. Бринкевич<sup>*a*</sup>, \*, А. Н. Петлицкий<sup>*b*</sup>, \*\*, В. С. Просолович<sup>*a*</sup>

<sup>а</sup>Белорусский государственный университет, Минск, 220030 Беларусь

<sup>b</sup>ГЦ "Белмикроанализ" ОАО "ИНТЕГРАЛ" — управляющая компания холдинга "ИНТЕГРАЛ", Минск, Беларусь

\**E-mail: brinkevichsd@bsu.by* \*\**E-mail: petan@tut.by* Поступила в редакцию 30.11.2020 г. После доработки 16.12.2020 г. Принята к публикации 29.12.2020 г.

Методом ИК-Фурье спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (**HIBO**) исследованы растворы и пленки позитивного диазохинон-новолачного фоторезиста ФП9120. В спектрах НПВО раствора фоторезиста доминирующими являются полосы 966, 1110, 1240 и 1735 см<sup>-1</sup>, обусловленные поглощением растворителя – 1-метокси-2-пропилацетата. Полное удаление растворителя из пленок фоторезиста толщиной 1.0-5.0 мкм происходит в процессе сушки при температурах ~90°С продолжительностью 1 ч. Детектировать остаточный растворитель в твердых пленках фоторезиста предпочтительнее всего по полосе 966 см<sup>-1</sup>. Интенсивность колебаний, связанных с ароматическими кольцами (полосы в диапазоне 1510–1610 см<sup>-1</sup>), после сушки увеличивается. Полоса 1452 см<sup>-1</sup>, обусловленная валентными колебаниями, связанными с CH<sub>2</sub>-мостиком между ароматическими кольцами фенолформальдегидной смолы, после сушки расцепляется на 2 полосы.

*Ключевые слова:* спектр нарушенного полного внутреннего отражения, НПВО, диазохинон-новолачный фоторезист, кремний

DOI: 10.31857/S0544126921040037

#### введение

Диазохинон-новолачные (ДХН) резисты являются наиболее распространенными фоторезистами ( $\Phi P$ ) [1, 2]. В настоящее время они используются при производстве более 80% интегральных микросхем в мире. Как правило, ДХН-резисты состоят из 3 компонентов: органического растворителя (обычно ацетаты, простые эфиры гликолей или их смеси), новолачной смолы (связующее или матрица, отвечающая за пленкообразующие свойства) и производных нафтхинондиазида (светочувствительный компонент). Позитивный фоторезист марки ФП9120 представляет собой композит из фенол- и крезолоформальдегидных смол и светочувствительного о-нафтхинондиазида. В качестве растворителя обычно используется высокоочищенный 1-метокси-2-пропилацетат (МПА) [3].

Определяющим этапом формирования пленок фоторезиста на кремнии является сушка, качество которой существенно влияет на все последующие операции литографии. Сушка уменьшает внутренние напряжения в пленке фоторезиста и усиливает адгезию ФР к кремниевой подложке. Основным требованием к сушке является полное удаление растворителя, так как он снижает фоточувствительность ДХН-резиста [4].

Метод ИК-Фурье спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) не требует специальной подготовки образцов, является экспрессным исследованием и позволяет получать информацию о составе и структуре сложных органических соединений и их смесей в твердом и жидком агрегатном состоянии [5]. Отметим, что ранее метод НПВО применялся для исследования радиационно-индуцированных процессов при ионной имплантациии  $\gamma$ -облучении пленок ДХН-резистов, нанесенных на пластины монокристаллического кремния [6–9].

Цель настоящей работы — исследование методом НПВО процессов, протекающих при сушке диазохинон-новолачного фоторезиста марки ФП9120.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Спектры НПВО растворов и пленок фоторезиста (ФР), а также структур фоторезист/кремний, регистрировались в диапазоне волновых чисел v = 400-4000 см<sup>-1</sup> при комнатной температуре ИК-Фурье спектрофотометром *ALPHA* (*Bruker*- *OptikGmbH*). Разрешение было не хуже 2 см<sup>-1</sup>, количество сканов – 24. Коррекция фона проводилась перед каждым измерением.

Сушка фоторезиста осуществлялась в сухожаровом шкафу при температуре 60°С длительностью 4 ч на стеклянной пластине. Затем отвердевшую пленку фоторезиста отделяли от стеклянной пластины для проведения измерений спектров НПВО. Структуры фоторезист/кремний формировались методом центрифугирования [10]. В качестве подложек использовались пластины кремния *n*-типа ( $\rho = 4.5 \text{ OM} \cdot \text{см}$ ). После формирования пленки ФР на рабочей стороне пластины проводилась ее сушка в течение 50–55 мин при температуре 88°С.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В спектрах НПВО растворов ФР доминирующими являются полосы 966, ~1110, ~1240 и 1735 см<sup>-1</sup> (рис. 1). Они соответствуют наиболее интенсивным полосам поглощения растворителя – 1-метокси-2-пропилацетата (рис. 2), составляющего около 70% от обшей массы раствора фоторезиста [3]. Энергетическое положение наиболее интенсивных полос растворителя и доминирующих полос растворов ФР полностью совпадают, что свидетельствует об отсутствии взаимодействия растворителя с полимерным композитом фоторезиста. После сушки интенсивность указанных полос существенным образом (от 2 до 10 раз) снижается. При этом растет фоновое поглощение во всем диапазоне волновых чисел (рис. 1), что может быть обусловлено ухудшением контакта и, соответственно, увеличением рассеяния на границе раздела фоторезист/призма спектрометра. Температура сушки не оказывает существенного влияния на фоновое поглощение пленок ФР в твердом агрегатном состоянии (рис. 3).

Наиболее существенно (в >10 раз) в процессе сушки при 60°С длительностью 4 ч снижается интенсивность полосы 966 см<sup>-1</sup> (рис. 1*в*). После термообработки при t = 88°С в течении 55 мин указанная полоса исчезает из спектра НПВО (рис. 2*b*). Она отнесена к колебаниям С–С–О группы [11, 12], присутствующей в метоксипропилацетате. В других компонентах ФР такой группы нет, поэтому при сушке эта полоса полностью исчезает из спектра НПВО и по ней можно судить о наличии остаточного растворителя в твердых пленках фоторезиста.

Наиболее интенсивные полосы раствора фоторезиста при ~1110 и ~1240 см<sup>-1</sup>, обусловлены симметричными и антисимметричными валентными колебаниями С–О связей в сложных эфирах [11]. После сушки при 60°С их интенсивность снижается примерно в ~2 раза (рис. 1*a*), полосы расщепляются, у них появляется по 2 дополни-

тельных максимума – 1097 и 1076 см<sup>-1</sup> у полосы 1110 см<sup>-1</sup>, а также 1230 и 1260 см<sup>-1</sup> – у полосы 1240 см<sup>-1</sup>. После повышения температуры до 88°С полосы 1110 и 1240 см<sup>-1</sup> исчезают из спектра НПВО (рис. 3а). В диапазоне волновых чисел 1150-1200 см<sup>-1</sup> после сушки 60°С проявляется новая полоса с максимумом 1175 см<sup>-1</sup> (рис. 1a), которая после термообработке при 88°С становится доминирующей в указанном диапазоне волновых чисел (рис. 3*a*). Полученные экспериментальные результаты могут быть обусловлены тем, что С-О связи имеются не только у растворителя, но и у других компонентов ФР, в частности, у фенол- и крезолоформальдегидных смол. Частоты колебаний С-О связи зависят от ближайшего окружения и в смолах они будут отличаться от  $V_{C-\Omega}$  в растворителе. При испарении растворителя в спектре НПВО в рассматриваемом диапазоне волновых чисел начинают доминировать колебания С-О связей в о-нафтхинондиазиде и в фенольной группе смолы.

Третья по интенсивности в растворе ФР полоса с максимумом 1735 см<sup>-1</sup> обусловлена колебаниями С=О связей в ацетатах [11]. После сушки при 60°С ее интенсивность снижается более чем в 3 раза и в этом диапазоне волновых чисел доминирующей становится полоса с максимумом 1705 см<sup>-1</sup>, связанная с колебаниями С=О связей в ароматических соединениях (рис. 1*a*). Полоса с максимумом 1735 см<sup>-1</sup> полностью исчезает из спектра НПВО после сушки при 88°С (рис. 3*a*), что свидетельствует о полном удалении растворителя при этой температуре.

К полосам, связанным с растворителем, можно также отнести полосу ~1020 см<sup>-1</sup>, обусловленную деформационными колебаниями С–С–Н групп [12]. Ее интенсивность в процессе сушки снижается (рис. 1*a*), а максимум смещается к 1015 см<sup>-1</sup>. Однако указанная полоса полностью не исчезает из спектра при сушке. Это обусловлено тем, что указанную группу можно выделить также в составе крезоло- и фенолформальдегидных смол.

Приведенные экспериментальные данные позволяют утверждать, что для полного удаления растворителя из ФР необходима сушка при 88°С длительностью до 1 ч. При 60°С даже длительная (до 4 ч) термообработка в сухожаровом шкафу не приводит к полному удалению растворителя — исчезновению полос 966 и 1736 см<sup>-1</sup> из спектра НПВО. Детектировать остаточный растворитель в твердом ФР лучше всего по полосе 966 см<sup>-1</sup>. Она не имеет близкорасположенных полос от других компонентов ДХН-резиста.

Интенсивность полос, связанных с ароматическими кольцами после сушки увеличивается. Это справедливо как для пульсационных колебаний углеродного скелета (полосы в диапазоне 1540—1610 см<sup>-1</sup>), так и валентных колебаний аро-



**Рис. 1.** Спектры НПВО жидкого (1) и высушенного при 60°С (2) фоторезиста в диапазонах волновых чисел от 1000 до 2000 см<sup>-1</sup> (*a*), от 2550 до 4000 см<sup>-1</sup> (*б*), от 400 до 1000 см<sup>-1</sup> (*в*).

матического кольца (полоса 1506 см<sup>-1</sup>) [13]. Полоса 1452 см<sup>-1</sup>, обусловленная валентными колебаниями, связанными с  $CH_2$ -мостиком между аромати-

ческими кольцами фенолформальдегидной смолы [14], после сушки расщепляется на 2 полосы, причем интенсивность новой полосы 1435 см<sup>-1</sup> су-



Рис. 2. Спектр НПВО 1-метокси-2-пропилацетата.

щественно превышает интенсивность полосы  $1452 \text{ см}^{-1}$  (рис. 1*a*). Отметим, что в спектре растворителя МПА наблюдается относительно слабая полоса с максимумом  $1454 \text{ см}^{-1}$  (рис. 2). Поэтому интенсивность полосы  $1452 \text{ см}^{-1}$  после сушки раствора ФР едва видна на фоне полосы  $1435 \text{ см}^{-1}$ .

Причина наблюдавшегося расщепления полосы 1452 см<sup>-1</sup> в процессе формирования пленки ФР до конца не ясна и может быть связана с принципиально разными процессами. Во-первых, уменьшение частоты колебаний на 17 см<sup>-1</sup> может быть обусловлено изменением угла мостиковой С-СН<sub>2</sub>-С связи между фенольными фрагментами. С учетом sp<sup>3</sup>-гибридизации атома углерода валентный угол С-СН<sub>2</sub>-С связи должен составлять 109°28'. При этом все атомы углерода в составе фенольных колец обладают sp<sup>2</sup>-гибридизацией и расположены в плоскости. В процессе формирования пленки образуется более плотная упаковка полимерного композита. Возникающая при этом деформация может приводить к изменению угла связи в мостиковых С-СН2-С фрагментах, что обуславливает снижение частоты колебаний этого фрагмента. Во-вторых, атомы водорода в C-CH<sub>2</sub>-С мостиковых группах обладают слабой С-Н кислотностью и потенциально могут участвовать в образовании межмолекулярных водородных связей с электроно-донорными атомами. Изменение частоты колебаний С-СН2-С мостиковой группы может быть обусловлено и химической модификацией ее структуры. Например, в работе [15] авторы отмечали возможность присо-

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА том 50 № 4 2021

единения нафтохинондиазида по –СН<sub>2</sub>– фрагментам фенолформальдегидной смолы.

Полоса с максимумом ~1372 см<sup>-1</sup> при сушке уширяется, ее максимум смещается в низкоэнергетичную область на 6 см<sup>-1</sup>, а интенсивность слабо снижается (рис. 1а). Узкая полоса средней интенсивности с максимумом 1372 см<sup>-1</sup> присутствует в спектре растворителя (рис. 2). Она соответствует колебаниям С-О-С группы в ацетатах [11]. С другой стороны, в этой же области в пленках ДХН-резистов ранее [16] отмечалось 2 вида колебаний – полоса с максимумом ~1373 см<sup>-1</sup>, которая соответствует деформационным плоскостным колебаниям О-Н-связей в фенольной группе [14] и полоса с максимумом ~1360 см $^{-1}$ , отнесенная к колебаниям С-О-С в фуране [11, 13] и, вероятно, связанная с кислородными мостиками между ароматическими фрагментами ФР. В твердом агрегатном состоянии в фенолформальдегидном компоненте ФР наблюдается образование межмолекулярных связей, осуществляемых через фенольную гидроксильную группу [17]. При определенных условиях синтеза полимерного композита ФР может наблюдаться сшивка молекул смолы через атом кислорода фенольной группы с образованием С–О–С фрагментов, что приводит к появлению полосы с максимумом ~1360 см<sup>-1</sup>.

После сушки существенно снижается интенсивность полос в диапазоне волновых чисел v = 2800-3000 см<sup>-1</sup>, обусловленных валентными асимметричными и симметричными колебаниями С–Н связей (рис. 16). Наиболее интенсивная полоса с максимумом 2882 см<sup>-1</sup> исчезает из спек-



**Рис. 3.** Спектры НПВО высушенного при 60°С (1) и 88°С (2) фоторезиста в диапазонах волновых чисел от 1000 до 1800 см<sup>-1</sup> (*a*) и от 400 до 1000 см<sup>-1</sup> (*б*).

тра НПВО. В спектре остаются только полосы, обусловленные метиленовой  $CH_2$  (~2925 см<sup>-1</sup>) и метильной  $CH_3$  (~2960 см<sup>-1</sup>) группами. Отметим, что при сушке максимум полосы метильной группы смещается в низкоэнергетичную область на 14–18 см<sup>-1</sup> (рис. 1*б*). Для метиленовой группы смещение менее выражено – до 6 см<sup>-1</sup>. При этом, энергетическое положение полос колебаний С–Н связей в спектрах 1-метокси-2-пропилацетата (рис. 2) и раствора  $\Phi$ P (рис. 1*б*) совпадает, слабо изменяется только соотношение их интенсивностей. Это может служить дополнительным подтверждением отсутствия межмолекулярного вза-

имодействия растворителя и полимерного композита ФР. В высушенном ФР наблюдаются только полосы связанных с ароматическим кольцом метиленовых и метильных групп крезолоформальдегидных смол.

Деформационные внеплоскостные колебания С–Н связей наблюдаются в диапазоне волновых чисел 650-900 см<sup>-1</sup> [13]. В растворе ФР в этом диапазоне присутствует ряд полос средней и слабой интенсивности, которые при сушке ведут себя по-разному (рис. 1*в*). Интенсивность полос 820 и 750 см<sup>-1</sup>, обусловленных внеплоскостными деформационными колебаниями пара- и ортоза-



**Рис. 4.** Полоса валентных колебаний двойных куммулятивных C=C=O связей в свежеприготовленном фоторезисте (1), после выдержки при комнатном освещении в 1 ч (2) и сушки в сухожаровом шкафу при  $60^{\circ}$ C на протяжении 4 ч (3).

мещенного фенольного кольца [15], в процессе сушки практически не изменяется. У полос слабой интенсивности с максимумами 450, 510, 690, 847 и 920 см<sup>-1</sup> при сушке интенсивность снижается и после термообработки при температуре 88°С они исчезают из спектра НПВО. Отмеченные выше полосы наблюдаются и в спектре НПВО растворителя (рис. 2) и, вероятнее всего, их исчезновение из спектра после сушки обусловлено удалением растворителя. Интенсивность полос 708 и 885 см<sup>-1</sup> наоборот увеличивается при сушке. Полоса 708 см<sup>-1</sup> отнесена к деформационным колебаниям С-Н связей мостиковой метиленовой группы фенолформальдегидной смолы [14]. Полосы 550, 650 и 783 см<sup>-1</sup> велут себя при сушке нестабильно – при 60°С их интенсивность растет (рис. 1*в*), а при 88°С снижается (рис. 26). Природа этих полос НПВО окончательно не установлена, что затрудняет анализ механизмов их трансформации в процессе термообработки. Отметим, что полосы 708, 750 и 820 см<sup>-1</sup> наблюдаются в спектрах всех образцов, в том числе в пленках  $\Phi P$  на кремнии. Остальные полосы в спектрах НПВО появляются эпизодически.

В области валентных колебаний ОН групп в растворах ФР наблюдалась только широкая полоса v = 3600-3100 см<sup>-1</sup> с максимумом ~3380 см<sup>-1</sup>, обусловленная колебаниями ОН групп, участвующих в образовании водородных связей (рис. 1*б*). Полос колебаний свободных ОН групп не обнаружено. После сушки максимум этой полосы смещается в низкоэнергетическую область до значений 3310–3320 см<sup>-1</sup>.

В этот же диапазон волновых чисел попадают валентные симметричные ( $v_{sv} = 3756 \text{ см}^{-1}$ ) и асси-

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА том 50 № 4 2021

метричные ( $v_{as} = 3656 \text{ см}^{-1}$ ) колебания молекул воды [11]. Из рис. 16 видно, что в диапазоне волновых чисел 3700–3800 см<sup>-1</sup> полос поглощения не наблюдается. Это говорит о том, что как в растворах, так и в пленках ФР молекулы H<sub>2</sub>O в свободном состоянии отсутствуют. Однако не исключено наличие воды в связанном состоянии. В этом случае значения  $v_{sy}$  будут попадать в полосу связанных O–H колебаний  $v = 3600-3100 \text{ см}^{-1}$ .

279

Следует отдельно остановиться на поведении полосы с максимумом ~2115 см<sup>-1</sup> (рис. 3). В свежеприготовленном фоторезисте она обычно не наблюдается. При хранении/облучении видимым светом ее интенсивность возрастает с течением времени. Так после выдержки при комнатном освещении в течение 1-3 ч она хорошо видна в спектре НПВО (кривые 1, 2 рис. 4). После сушки в сухожаровом шкафу при 60°С в течение 4 ч ее интенсивность существенно возрастает (кривая 3 рис. 4). В свежеприготовленных структурах фоторезист/кремний (после сушки при 88°С) эта полоса отсутствует. Отметим, что при хранении на свету структур фоторезист/кремний ее интенсивность растет в 2-4 раза медленнее, чем в жидком ФР. Термообработка при температурах 90-125°С и у-облучение дозой свыше 10 кГр приводили к снижению интенсивности указанной полосы вплоть до исчезновения из спектра НПВО. Эта полоса была отнесена [9] к валентным колебаниям двойных кумулятивных С=С=О связей в кетене, который образуется при освещении светочувствительного компонента ФР – о-нафтохинондиазида [1, 2]. Она может быть использована для анализа качества (сохранности) ФР и структур фоторезист/кремний.

Синхронно с полосой 2115 см<sup>-1</sup> изменяется интенсивность полосы с максимумом 1403 см<sup>-1</sup> (рис. 1*a*), что позволило также связать ее с образованием кетена [9, 18]. Однако она менее пригодна для анализа качества ФР, поскольку в этом диапазоне возможно наложение других более интенсивных полос с близким энергетическим положением.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В спектрах НПВО раствора фоторезиста доминирующими являются полосы 966, 1110, 1240 и 1735 см<sup>-1</sup>. Они обусловлены растворителем – 1-метокси-2-пропилацетатом, составляющим около 70% от общей массы раствора фоторезиста. После сушки их интенсивность существенным образом (от 2 до 10 раз) снижается. Наиболее существенно при сушке снижается интенсивность полосы 966 см<sup>-1</sup>. После термообработки 88°С длительностью 55 мин указанная полоса исчезает из спектра НПВО. Анализ полученных экспериментальных данных указывает на то, что сушка при 60°С длительностью 4 ч не полностью удаляет растворитель из фоторезиста. Это происходит только в процессе термообработки при температурах ~90°С длительностью ~1 ч. Детектировать остаточный растворитель в твердом фоторезисте предпочтительнее по полосе 966 см<sup>-1</sup>. Она не имеет близкорасположенных полос НПВО, обусловленных другими компонентами фоторезиста. Интенсивность полос, связанных с ароматическими кольцами после сушки увеличивается. Это справедливо как для пульсационных колебаний углеродного скелета (полосы в диапазоне 1540-1610 см<sup>-1</sup>), так и валентных колебаний ароматического кольца (полоса 1510 см<sup>-1</sup>). Полоса 1452 см<sup>-1</sup>, обусловленная валентными колебаниями связанного с CH<sub>2</sub>-мостиком ароматического кольца фенолформальдегидной смолы, после сушки расщепляется на 2 полосы, что может быть связано с изменением угла С-СН<sub>2</sub>-С связи между ароматическими кольцами, межмолекулярными взаимодействиями с участием -СН<sub>2</sub>- мостика или взаимодействием с нафтхинондиазидом.

Авторы выражают благодарность Е.В. Гринюку за помощь при проведении измерений спектров НПВО.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Morshed M.M., Daniels S.M.* Effect of positive photoresist on silicon etching by reactive ion etching process // IEEET rans. on Plasma Science. 2010. V. 38. № 6. P. 1512–1516.
- 2. Бринкевич Д.И., Бринкевич С.Д., Вабищевич Н.В., Оджаев В.Б., Просолович В.С. Ионная имплантация позитивных фоторезистов // Микроэлектроника. 2014. Т. 43. № 3. С. 193–199.
- 3. https://frast.ru/tu9120.pdf.
- 4. Лапшинов Б.А. Технология литографических процессов. Учебное пособие. М., 2011. 95 с.

- Беккер Ю. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009. (Bocker J. Spektroskopie. Vogel Industrie Medien GmbH& CoKG. Wurzburg (Germany). 1997.)
- 6. Бринкевич С.Д., Бринкевич Д.И., Просолович В.С. Модификация пленок диазохинон-новолачного фоторезиста имплантацией ионов сурьмы // Микроэлектроника. 2021. Т. 50. № 1. С. 32–37.
- Brinkevich S.D., Grinyuk E.V., Brinkevich D.I., Sverdlov R.L., Prosolovich V.S., Pyatlitski A.N. Mechanism of the Adhesive Interaction of Diazoquinone-Novolac Photoresist Films with Monocrystalline Silicon // J. Applied Spectroscopy. 2020. V. 87. № 4. P. 647–651.
- Вабищевич С.А., Вабищевич Н.В., Эспиноза Де Лос Монтеро Г.А., Бринкевич Д.И., Просолович В.С. Радиационно-индуцированные процессы в пленках диазохинон-новолачного резиста на кремнии при имплантации ионов Ag<sup>+</sup> // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. Физика 2020. № 4. С. 43–47.
- Бринкевич С.Д., Гринюк Е.В., Бринкевич Д.И., Просолович В.С. Модификация пленок диазохинонноволачного фоторезиста за областью внедрения ионов В<sup>+</sup> // Химия высоких энергий. 2020. Т. 54. № 5. С. 377–386.
- Бринкевич Д.И., Харченко А.А., Просолович В.С., Оджаев В.Б., Бринкевич С.Д., Янковский Ю.Н. Модификация спектров отражения пленок диазохинонноволачного фоторезиста при имплантации ионами бора и фосфора // Микроэлектроника. 2019. Т. 48. № 3. С. 235–239.
- Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ, 2012.
- 12. Бобкова Е.Ю., Васильева В.С., Ксенофонтов М.А., Умрейко Д.С. Влияние агрегатного состояния на спектральные характеристики фенола // Вестник БГУ. Сер. 1. 2008. № 1. С. 12–18.
- 13. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. М.: Мир, Бином; 2006.
- Poljansek I., Sebenik U., Krajnc M. Characterization of Phenol–Urea–Formaldehyde Resin by Inline FTIR Spectroscopy // J. Applied Polymer Science. 2006. V. 99. P. 2016–2028.
- Debmalya Roy, Basu P.K., Raghunathan P., Eswaran S.V. DNQ-novolac photoresist revisited: <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR evidence for a novel photoreaction mechanism // Magnetic resonance in chemistry. 2003. V. 41. P. 84–90.
- 16. Бринкевич С.Д., Бринкевич Д.И., Просолович В.С., Ластовский С.Б., Петлицкий А.Н. Спектры нарушенного полного внутреннего отражения пленок диазохинон-новолачных резистов, облученных электронами // Журн. прикладной спектроскопии. 2020. Т. 87. № 6. С. 941–948.
- 17. Лебедев В.И., Котомина В.Е., Зеленцов С.В., Леонов Е.С., Сидоренко К.В. Влияние межмолекулярных водородных связей на качество фоторезистивных масок // Вестник Нижегородского университета. Химия. 2014. № 4(1). С. 178–182.
- Бринкевич Д.И., Просолович В.С., Янковский Ю.Н. Модификация пленок диазохинонноволачного фоторезиста имплантацией ионов бора // Журн. Белорусского государственного университета. 2020. № 2. С. 62–69.

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА том 50 № 4 2021