

## ФИЗИКА

УДК 546.28:621.315

### ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПЛЕНОК ДИАЗОХИНОН-НОВОЛАЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА НА ПЛАСТИНАХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

канд. физ.-мат. наук, доц. С.А. ВАБИЩЕВИЧ, Н.В. ВАБИЩЕВИЧ  
(Полоцкий государственный университет);

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

Методом микроиндентирования исследованы коэффициент вязкости разрушения  $K_{IC}$  и эффективная энергия разрушения  $\gamma$  пленок позитивного диазохинон-новолачного фоторезиста марки ФП9120 на кремнии. Показано, что оба параметра трещиностойкости увеличиваются с ростом нагрузки и существенно образом возрастают при снижении толщины фоторезистивной пленки. У нанесенных на пластины кремния с ориентацией (100) пленок ФП9120 оба параметра трещиностойкости выше на 50–80%, чем у пленок на кремнии с ориентацией (111). Ионная имплантация приводит к увеличению трещиностойкости фоторезистивной пленки, причем при имплантации фосфора эффект проявляется сильнее, чем при внедрении  $V^+$ . После гамма-облучения коэффициент вязкости разрушения  $K_{IC}$  снижается примерно в 2–3 раза для всех исследовавшихся пленок. Отмеченные выше особенности микропрочностных свойств пленок фоторезиста на кремнии обусловлены адгезионными процессами, протекающими у границы раздела фоторезист/кремний при облучении гамма-квантами  $^{60}Co$  и ионной имплантации.

**Ключевые слова:** диазохинон-новолачный резист, микроиндентирование, трещиностойкость, коэффициент вязкости разрушения, гамма-облучение, имплантация.

**Введение.** Одним из основных технологических процессов современной электроники является фотолитография (ФЛ) – метод получения определенного рисунка на поверхности полупроводниковой пластины [1]. Роль ее постоянно возрастает. Так, если при формировании элементной базы по  $n$ -МОП технологии применяется до 10 операций фотолитографии, из которых маскирование ионного легирования обеспечивают три, то в БИКМОП технологии применяется уже порядка 22 операций ФЛ, из которых маскирование обеспечивают более десяти [2]. Основными материалами для осуществления литографических процессов служат резисты – органические многокомпонентные полимерные композиции, чувствительные к воздействию какого-либо высокоэнергетического излучения (оптического, рентгеновского, потока ионов или электронов). Различают негативные и позитивные резисты. В позитивных фоторезистах проэкспонированные светом области изменяют свои свойства и становятся растворимыми в щелочах. Наиболее широкое применение в технологических процессах микроэлектроники получили позитивные двухкомпонентные фоторезисты на базе светочувствительного диазохинона и новолачной смолы, используемой в качестве основы. Одной из наиболее важных характеристик фоторезистивных пленок на подложке монокристаллического кремния является их устойчивость к механическим воздействиям. Ранее в [2–5] показано, что ионная имплантация и гамма-облучение могут существенно изменять спектральные характеристики фоторезистивных пленок и их адгезию к монокристаллическому кремнию. В настоящей работе методом индентирования исследованы физико-механические свойства (трещиностойкость и эффективная энергия разрушения) облученных и имплантированных ионами  $V^+$  и  $P^+$  пленок позитивного диазохинон-новолачного фоторезиста марки ФП9120.

**Методика измерений.** Пленки диазохинон-новолачного резиста марки ФП9120 толщиной от 1,0 до 5,0 мкм наносились на поверхность монокристаллических пластин (диаметр 100 мм) кремния различных марок (таблицы 1, 2) методом центрифугирования. Толщина пленки резиста  $h_{пл}$  определялась скоростью вращения и составляла 1,0 мкм при скорости вращения  $\nu = 8300$  об/мин;  $\sim 1,8$  мкм – при  $\nu = 2900$  об/мин;  $\sim 2,5$  мкм – при  $\nu = 1200$  об/мин. Пленки толщиной  $h = 5,0$  мкм формировались в две стадии при скорости вращения  $\nu = 1800$  об/мин на обеих стадиях. Толщина пленок контролировалась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 по пяти фиксированным точкам (центр, верх, низ, слева, справа) на каждой пластине, при этом отклонения от среднего значения для всех исследуемых образцов (независимо от ориентации и легирования пластины) не превышали 2%, что близко к погрешности измерений.

Микроиндентирование проводилось на приборе ПМТ-3 по стандартной методике при комнатной температуре. В качестве индентора использовался алмазный наконечник в форме четырехгранной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине  $\alpha = 136^\circ$ . Нагрузка  $P$  на индентор варьировалась

в пределах от 1 до 100 г. Измерения микротвердости  $H$  проводились по восстановленному отпечатку с использованием стандартной методики согласно ГОСТ 9450-76. Для надлежащей визуализации отпечатка измерения выполнялись на микроскопе Axiovert-10 в поляризованном свете [6]. Параметры, определяющие трещиностойкость пленок диазохинон-новолачного резиста (коэффициент вязкости разрушения  $K_{1C}$  и эффективная энергия разрушения  $\gamma$ ), рассчитывались по средней длине радиальных трещин в углах отпечатков согласно следующим формулам [7]:

$$K_{1C} = 0,016 \left( \frac{E}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{P}{L^{\frac{3}{2}}};$$

$$\gamma = \frac{K_{1C}^2}{2E},$$

где  $E$  – модуль Юнга (для пленки фоторезиста принимался равным 8 ГПа);  
 $L$  – длина трещины,  
 $H$  – микротвердость пленки.

Длина трещины расслоения принималась равной расстоянию от центра отпечатка до границы разрушения сферической области. Для каждого отпечатка длина трещины расслоения определялась из среднего значения от двух диаметров  $d_{cp}$  сферы разрушения. Затем рассчитывалось среднее значение длины трещины расслоения для всей серии отпечатков данной нагрузки [8]. Значение микротвердости  $H$  полимера для расчетов  $K_{1C}$  выбиралось равным 0,35 ГПа, что соответствовало значениям  $H$  для нагрузок 2–5 г, при которых индентор не прокалывает слой полимера и не достигает границы полимер – подложка. Этот выбор обусловлен тем, что подложка оказывает существенное влияние на величину микротвердости твердотельных композиций пленка – подложка [9–11]. В случае «мягкой» пленки на «твердой» подложке пластическая деформация локализуется в пленке, и микротвердость композиции пленка – подложка существенно возрастает лишь при глубине проникновения индентора, равной толщине пленки.

При каждом измерении на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков. Поскольку ожидаемый эффект мог быть невелик, для обработки экспериментальных данных использовались стандартные методы математической статистики [12]. Было показано, что имеет место нормальный (гауссов) закон случайного распределения величин микротвердости и трещиностойкости. Во всех случаях вычислялась средняя квадратичная ошибка

$$s_n = \sqrt{\sigma_n^2/n}$$

среднего значения трещиностойкости, где  $\sigma_n$  – дисперсия измеренных значений  $K_{1C}$  при  $n = 50$ . Анализ полученных экспериментальных данных для резистивных пленок на пластинах монокристаллического кремния в соответствии с критерием Стьюдента показал, что погрешность измерения коэффициента вязкости разрушения  $K_{1C}$  и эффективной энергии разрушения  $\gamma$  составляла ~ 10% (с доверительной вероятностью 0,95).

Имплантация ионами  $P^+$  (энергия 100 кэВ) и  $V^+$  (энергия 60 кэВ) в интервале доз  $\Phi = 5 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  в режиме постоянного ионного тока (плотность ионного тока  $j = 4 \text{ мкА/см}^2$ ) проводилась при комнатной температуре в остаточном вакууме не хуже  $10^{-5} \text{ Па}$  на ионно-лучевом ускорителе «Везувий-6». Облучение гамма-квантами  $^{60}\text{Co}$  осуществлялось при комнатной температуре и атмосферном давлении на установке МРХ- $\gamma$ -25М. Мощность поглощенной дозы составляла  $0,12 \pm 0,008 \text{ Гр/с}$ . Интервал поглощенных доз – от 1 до 300 кГр.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Трещиностойкость пленок позитивного диазохинон-новолачного фоторезиста ФП9120 (коэффициент вязкости разрушения  $K_{1C}$  и эффективная энергия разрушения  $\gamma$ ) повышалась с ростом нагрузки для всех исследовавшихся образцов (рисунки 1–3). Такая зависимость указанных параметров противоположна зависимости параметров трещиностойкости пластин монокристаллического кремния, в которых наблюдалось снижение  $K_{1C}$  и  $\gamma$  при увеличении нагрузки [13]. Отметим, что коэффициент вязкости разрушения  $K_{1C}$  и эффективная энергия разрушения  $\gamma$  исследовавшихся структур фоторезист – кремний были в 2–3 раза ниже, чем аналогичные параметры трещиностойкости пластин монокристаллического кремния [14]. Как и для микротвердости [8], снижение нагрузки приводило к существенному уширению кривых случайного распределения величин коэффициента вязкости разрушения  $\Delta K_{1C}/K_{1C}$ . Так, если при  $P = 10\text{--}20 \text{ г}$  значения  $\Delta K_{1C}/K_{1C}$  для разных образцов составляли ~ 10–15%, то для нагрузок 1–2 г разброс значений коэффициента вязкости разрушения увеличивался до 50–70%. С учетом этого в таблицах 1 и 2 приведены значения параметров  $K_{1C}$  и  $\gamma$  для нагрузки 10 г, когда разбросы измеренных значений невелики.

Из сравнения экспериментальных данных, приведенных в таблицах 1 и 2 для фоторезистивных пленок, нанесенных на пластины монокристаллического кремния марки КЭФ 4,5, видно, что оба параметра

трещиностойкости существенным образом возрастают при снижении толщины пленки. Отметим также, что параметры трещиностойкости  $K_{1c}$  и  $\gamma$  несколько выше (на 50–80%) у пленок фоторезиста, нанесенных на пластины кремния с ориентацией (100), по сравнению с пленками на поверхности кремния с ориентацией (111). Это характерно для фоторезистивных пленок разной толщины (см. таблицы 1, 2). Существенной зависимости коэффициента вязкости разрушения  $K_{1c}$  и эффективной энергии разрушения  $\gamma$  от типа легирующей примеси и ее концентрации в пленках разной толщины замечено не было (см. таблицы 1, 2).

Таблица 1. – Трещиностойкость пленок толщиной 1,8 мкм, нанесенных на различные подложки кремния. Нагрузка 10 г

Подложка	Ориентация	Тип примеси	Удельное сопротивление, Ом·см	$K_{1c} \cdot 10^{-5}$ , Па/м <sup>1/2</sup>	$\gamma$ , Па/м
КДБ-12	100	бор	12	0,66	0,28
КЭС 0,01	111	сурьма	0,01	0,48	0,12
КЭФ 4,5	100	фосфор	4,5	0,62	0,16

Таблица 2. – Трещиностойкость пленок толщиной 1,0 мкм, нанесенных на различные подложки кремния. Нагрузка 10 г

Подложка	Ориентация	Тип примеси	Удельное сопротивление, Ом·см	$K_{1c} \cdot 10^{-5}$ , Па/м <sup>1/2</sup>	$\gamma$ , Па/м
КДБ-10	111	бор	10	1,1	1,6
КДБ-12	100	бор	12	1,9	2,8
КЭФ 4,5	100	фосфор	4,5	2,0	3,6

Полученные экспериментальные данные могут быть обусловлены следующими причинами. Как отмечалось выше, на прочностные свойства структур существенное влияние оказывает подложка [10; 11]. В случае «мягкой» пленки на «твердой» подложке, который наблюдался и в нашем исследовании, прочностные характеристики композиции пленка – подложка должны существенно возрастать, когда индентор достигает границы раздела пленка – подложка. В наших экспериментах глубина проникновения индентора в фоторезистивную пленку варьировалась от 0,9–1,0 мкм при нагрузке 1 г до 2,8–3,2 мкм при  $P = 50$  г. Т.о., для пленок фоторезиста толщиной 1 мкм практически во всем диапазоне использовавшихся нагрузок индентор проникает через границу раздела пленка – подложка, и кремниевая подложка оказывает существенное влияние на прочностные характеристики композиции пленка – подложка. Указанным обстоятельством обусловлено возрастание обоих параметров трещиностойкости при снижении толщины пленки и возрастании нагрузки. В пленках фоторезиста толщиной 2,5 мкм индентор пересекает границу раздела пленка – подложка только при максимальной использовавшейся нагрузке 50 г, что обуславливает более низкие значения величин трещиностойкости в указанных пленках по сравнению с пленками толщиной 1,0 мкм. Влияние ориентации кремниевой подложки на трещиностойкость фоторезистивной пленки обусловлено, вероятнее всего, лучшей адгезией фоторезиста к пластинам с ориентацией (100).

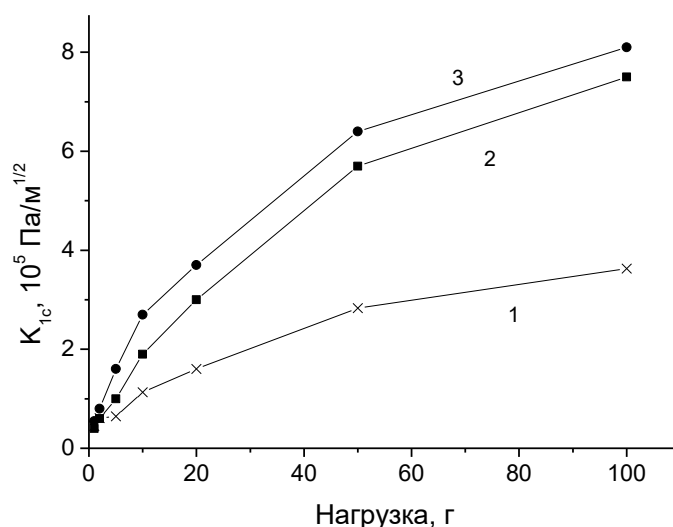
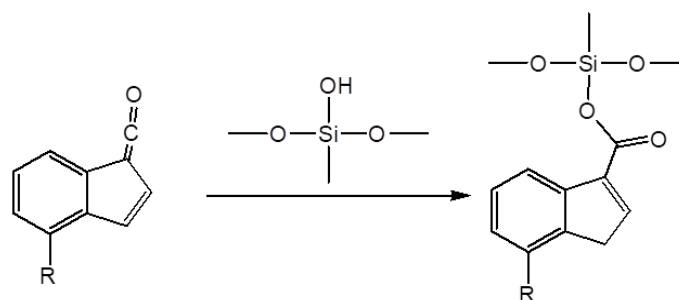


Рисунок 1. – Зависимость трещиностойкости от нагрузки для пленок ФП9120 на пластинах кремния марки КДБ 10(111) толщиной 1,0 мкм исходных (1) и имплантированных ионами P<sup>+</sup> (2) и B<sup>+</sup> (3) флюенсом  $1 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>

Ионная имплантация приводила к увеличению трещиностойкости фоторезистивной пленки. Особенно это заметно на примере тонких пленок фоторезиста – после имплантации как бора, так и фосфора коэффициент вязкости разрушения  $K_{1C}$  возрастал при всех использованных нагрузках (см. рисунок 1), причем при имплантации фосфора (кривая 3 на рисунке 1) эффект проявлялся сильнее, чем при имплантации бора (кривая 2 на рисунке 1). Заметной дозовой зависимостью эффекта увеличения трещиностойкости отмечено не было. Аналогично ведет себя и эффективная энергия разрушения  $\gamma$ .

Указанный экспериментальный результат обусловлен усилением в процессе ионной имплантации адгезии полимерной пленки к кремниевой подложке, наблюдавшимся ранее в работе [4]. Такое увеличение адгезии фоторезиста обусловлено, как показано в [15], образованием при имплантации ионов бора  $B^+$  и фосфора  $P^+$  сложноэфирных сшивок (новой связи  $Si-O-C$ ) между гидроксильными группами на поверхности оксидного слоя кремниевой пластины и карбоксильной группой 1-Н-инден-3-карбоновой кислоты, являющейся производной нафтохинондиазида – одного из основных компонентов фоторезиста ФП9120, по реакции



Кроме того, следует учитывать образование в процессе имплантации приповерхностного углеродистого слоя, снимающего упругие напряжения в резистивной пленке и препятствующего развитию трещин [16].

Эффект, противоположный ионной имплантации, на трещиностойкость фоторезистивных пленок оказывает облучение гамма-квантами  $^{60}Co$ . После гамма-облучения коэффициент вязкости разрушения  $K_{1C}$  фоторезистивной пленки снижался примерно в 2 раза вне зависимости от толщины фоторезистивной пленки (сравн. кривые 1 и 2 на рисунках 2, 3). Снижение трещиностойкости наблюдалось и при облучении пленок, имплантированных ионами  $P^+$  и  $B^+$  (кривые 3 и 4 на рисунках 2, 3). Причем это снижение было более выражено, чем при облучении неимплантированных пленок. Так для имплантированных  $P^+$  образцов толщиной 1,0 мкм коэффициент вязкости разрушения  $K_{1C}$  при нагрузке 50 г после гамма-облучения снижался более чем в 2 раза – с  $6,2 \cdot 10^5 \text{ Па/м}^{1/2}$  (кривая 3 на рисунке 1) до  $2,3 \cdot 10^5 \text{ Па/м}^{1/2}$  (кривая 4 на рисунке 2). Аналогичное снижение  $K_{1C}$  наблюдалось также после облучения имплантированных  $B^+$  пленок. Существенного влияния типа подложки (марки кремния) на трещиностойкость гамма-облученных структур фоторезист – кремний не обнаружено.

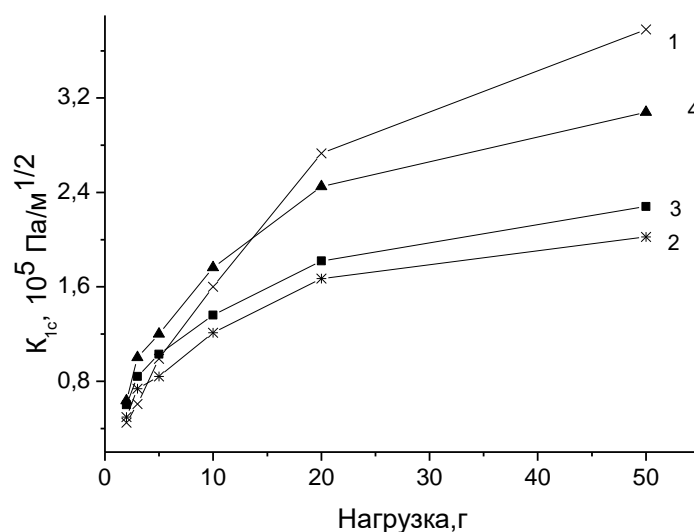


Рисунок 2. – Зависимость трещиностойкости от нагрузки для исходных (1) и гамма-облученных (2–4) пленок ФП9120 на пластинах КДБ 10(111). Толщина пленок 1,0 мкм. Часть образцов перед облучением была имплантирована ионами  $P^+$  (кривая 4) и  $B^+$  (кривая 3) флюенсом  $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

Приведенные выше экспериментальные результаты могут быть обусловлены двумя причинами. Во-первых, сшивание молекул резиста в процессе гамма-облучения, наблюдавшееся ранее в работе [17], может приводить к снижению пластичности полимерной пленки и, соответственно, к снижению ее трещиностойкости. Кроме того, сшивка молекул может приводить к возникновению упругих напряжений, которые также способствуют снижению трещиностойкости пленки. Во-вторых, гамма-облучение приводит к разрушению нестабильной 1-Н-инден-3-карбоновой кислоты и, соответственно, разрыву связей в Si-O-C группе на границе раздела фоторезист – кремний [18]. Указанный процесс приводит к снижению при гамма-облучении адгезии фоторезистивной пленки к кремниевой подложке и снижению трещиностойкости композита фоторезист – кремний. В имплантированных пленках адгезия и, соответственно, трещиностойкость выше, поэтому влияние гамма-облучения на такие пленки выше, что полностью соответствует полученным экспериментальным результатам.

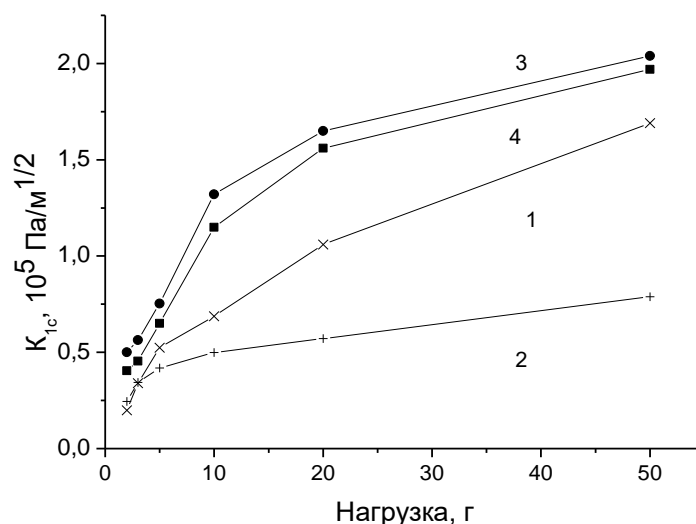


Рисунок 3. – Зависимость трещиностойкости от нагрузки для исходных (1) и гамма-облученных (2–4) пленок ФП9120 на пластинах КДБ 10(111). Толщина пленок 2,5 мкм. Часть образцов перед облучением была имплантирована ионами  $\text{P}^+$  (кривая 3) и  $\text{V}^+$  (кривая 4) флюенсом  $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

**Заключение.** В настоящей работе методом индентирования экспериментально показано, что трещиностойкость (коэффициент вязкости разрушения  $K_{1c}$  и эффективная энергия разрушения  $\gamma$ ) пленок позитивного диазохинон-новолачного фоторезиста марки ФП9120 на кремнии увеличивается с ростом нагрузки. Трещиностойкость существенным образом возрастает при снижении толщины фоторезистивной пленки. У нанесенных на пластины кремния с ориентацией (100) пленок ФП9120 оба параметра трещиностойкости выше на 50–80%, чем у пленок на кремнии с ориентацией (111). Ионная имплантация приводит к увеличению трещиностойкости фоторезистивной пленки, причем при имплантации  $\text{P}^+$  эффект проявляется сильнее, чем при внедрении  $\text{V}^+$ . После гамма-облучения коэффициент вязкости разрушения  $K_{1c}$  снижается примерно в 2–3 раза для всех исследовавшихся пленок. Отмеченные выше особенности микропрочностных свойств пленок фоторезиста на кремнии обусловлены адгезионными процессами, протекающими у границы раздела фоторезист – кремний при гамма-облучении и ионной имплантации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моро, У. Микролитография. Принципы, методы, материалы : в 2-х ч. / У. Моро. – М. : Мир, 1990. – 632 с. – Ч. 2.
2. Ионная имплантация позитивных фоторезистов / Д.И. Бринкевич [и др.] // Микроэлектроника. – 2014. – Т. 43, № 3. – С. 193–199.
3. Radiation-Stimulated Transformation of the Reflectance Spectra of Diazoquinone–Novolac Photoresist Films Implanted with Antimony Ions / A.A. Kharchenko [et al.] // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2020. – V. 14, №. 3. – P. 558–561.
4. Adhesion of diazoquinon-novolac photoresist films with implanted boron and phosphorus ions to single-crystal silicon / S.A. Vabishchevich [et al.] // High energy chemistry. – 2020. – V. 54, № 1. – P. 46–50.
5. Radiation-Induced Processes in Diazoquinone–Novolac Resist Films under Irradiation with  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -Rays / S.D. Brinkevich [et al.] // High Energy Chemistry. – 2021. – V. 55, N. 1 – P. 65–74.
6. Микротвердость пленок полиимида и полиэтилентерефталата, облученных гамма-квантами  $^{60}\text{Co}$  / Д.И. Бринкевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2017. – № 12. – С. 30–34.
7. Колесников, Ю.В. Механика контактного разрушения / Ю.В. Колесников, Е.М. Морозов. – М. : Наука, 1989. – 220 с.

8. Физико-механические свойства облученных пленок диазохинон-новолачного фоторезиста на кремнии / С.А. Вабищевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2020. – № 12. – С. 60–64.
9. Шугуров, А.Р. Особенности определения механических характеристик тонких пленок методом нано-индентирования / А.Р. Шугуров, А.В. Панин, К.В. Осколков // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50, № 6. – С. 1007–1012.
10. Наноиндентирование и деформационные характеристики наноструктурных боридонитридных пленок / Р.А. Андриевский [и др.] // Физика твердого тела. – 2000. – Т. 42, № 9. – С. 1624–1627.
11. Панин, А.В. Исследование механических свойств тонких пленок Ag на кремниевой подложке методом наноиндентирования / А.В. Панин, А.Р. Шугуров, К.В. Осколков // Физика твердого тела. – 2005. – Т. 47, № 11. – С. 1973–1977.
12. Бринкевич, Д.И. Физико-механические свойства эпитаксиальных слоев GaP / Д.И. Бринкевич, Н.В. Вабищевич, С.А. Вабищевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2010. – № 9. – С. 92–97.
13. Бринкевич, Д.И. Микропрочностные свойства монокристаллического кремния, выращенного при наложении на расплав сложных электромагнитных полей / Д.И. Бринкевич, Н.В. Вабищевич, С.А. Вабищевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2012. – № 4. – С. 77–82.
14. Микропрочностные свойства приповерхностных слоев имплантированных монокристаллов кремния / С.А. Вабищевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2012. – № 12. – С. 79–88.
15. Mechanism of the Adhesive Interaction of Diazoquinone-Novolac Photoresist Films with Monocrystalline Silicon / S.D. Brinkevich [et al.] // J. of Appl. Spectrosc. – 2020. – V. 87, № 4. – P. 647–651.
16. Грасси, Н. Деструкция и стабилизация полимеров. / Н. Грасси, Дж. Скотт. – М. : Мир, 1988. – 246 с.
17. Модификация спектров нарушенного полного внутреннего отражения пленок диазохинон-новолачного резиста при облучении  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$  / С.Д. Бринкевич [и др.] // Химия высоких энергий. – 2021. – Т. 55, № 1. – С. 66–75.
18. Прочностные свойства структур фоторезист-кремний,  $\gamma$ -облученных и имплантированных ионами  $\text{B}^+$  и  $\text{P}^+$  / С.А. Вабищевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2016. – № 12. – С. 30–36.

Поступила 07.05.2021

## CRACK RESISTANCE OF DIAZOQUINONE-NOVOLACH PHOTORESIST FILMS ON MONOCRYSTALLINE SILICON PLATES

S. VABISHCHEVICH, N. VABISHCHEVICH, D. BRINKEVICH, V. PROSOLOVICH

*The fracture toughness coefficient  $K_{1C}$  and the effective fracture energy  $\gamma$  of films of FP9120 positive diazoquinone-novolach photoresist on silicon have been investigated by the microindentation method. It is shown that both parameters of crack resistance increase with increasing load and significantly increase with decreasing thickness of the photoresist film. For FP9120 films deposited on silicon wafers with orientation (100), both parameters of crack resistance are higher by 50–80% than films on silicon with (111) orientation. Ion implantation leads to an increase in the crack resistance of the photoresist film, and the effect is more pronounced upon the implantation of phosphorus than upon the introduction of  $\text{B}^+$ . After gamma irradiation, the fracture toughness coefficient  $K_{1C}$  decreases by ~ 2–3 times for all studied films. The aforementioned features of the microstrength properties of photoresist films on silicon are due to adhesion processes occurring at the photoresist/silicon interface during irradiation with  $^{60}\text{Co}$  gamma quanta and ion implantation.*

**Keywords:** diazoquinone-novolac resist, microindentation, crack resistance, fracture toughness coefficient, gamma-irradiation, implantation.