

УДК 541.183

DOI 10.52928/2070-1624-2022-39-11-53-58

**ОПТИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕРТВЕННЫХ СЛОЕВ
НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК**

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

канд. физ.-мат. наук Д. И. БРИНКЕВИЧ,

канд. физ.-мат. наук, доц. В. С. ПРОСОЛОВИЧ

(Белорусский государственный университет, Минск);

канд. физ.-мат. наук В. В. КОЛОС, О. А. ЗУБОВА

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

Исследованы оптические и прочностные свойства пленок полиимидной композиции (полиимида PI-2610) для создания жертвенного слоя, нанесенной на поверхность пластин монокристаллического кремния марки КДБ-10 методом центрифугирования. Установлено, что они ведут себя как упругопластические материалы. Истинная микротвердость полиимида PI-2610, измеренная при нагрузке 2 г, составляла ~0,5 ГПа. Проведено сравнение спектров нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) полиимида PI-2610 со спектрами НПВО пиррола и полиимида марки каптон. В спектре НПВО полиимида PI-2610 присутствуют полосы колебаний 5-членного кольца и валентных колебаний групп C–N_{st} и CO–C_{st}. Наиболее интенсивной полосой в спектре НПВО (как и в пирроле) является полоса деформационных колебаний C–H с максимумом при 734 см⁻¹. Полоса при ~1700 см⁻¹, обусловленная валентными колебаниями двойной связи C=O, имеет два близкорасположенных максимума при 1706 и 1692 см⁻¹, что свидетельствует о двух вариантах силового поля вокруг связи C=O. Обнаружено присутствие в спектрах полиимида PI-2610 гидроксильных O–H-групп, обусловленных наличием остаточной воды в структуре полиимида.

Ключевые слова: *жертвенный слой, жидкие композиции, полиимид, микротвердость, нарушенное полное внутреннее отражение, адгезия.*

Введение. Полиимидная пленка используется в качестве жертвенного слоя при производстве изделий микроэлектроники. Полиимид химически стоек к большинству органических растворителей, снимается только в сильных кислотах и щелочах, а также в плазме кислорода. Он обладает термической стойкостью до 360 °C [1].

В полиимидной пленке на кремниевой пластине путем плазменного травления через жесткую маску вскрываются контакты к слоям, которые находятся под полиимидом. Затем на нее наносятся необходимые слои (например, диэлектрики, такие как нитрид или оксид кремния, металлы), создается топологический рисунок. Далее в кислородной плазме происходит удаление полиимида, и сформированная на нем многослойная структура как бы повисает в воздухе, держась за подложку только в местах контактов с нижележащими слоями. Такая подвесная конструкция необходима для ряда изделий микроэлектроники, например, для неохлаждаемых фотоприемных устройств (микроболометров), которые используются в тепловизионных системах.

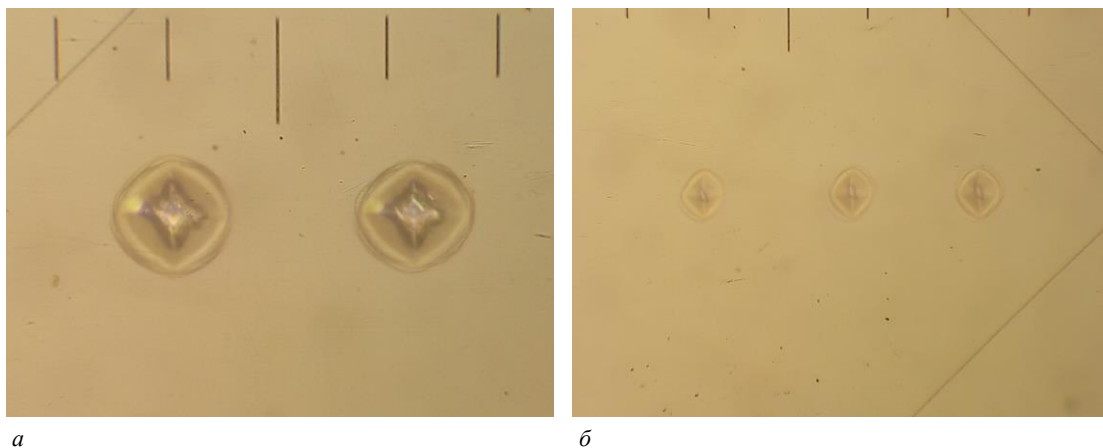
Целью настоящей работы являлось исследование оптических и прочностных свойств пленок на основе полиимида.

Методы исследования. Пленки полиимида PI-2610 толщиной 2,5 мкм наносились на поверхность Si методом центрифугирования. В качестве подложек использовались пластины диаметром 100 мм монокристаллического кремния марки КДБ-10 с ориентацией (111). Сушка пленки проводилась при температуре 150 °C в атмосфере N₂. Имидизация выполнялась при 300 °C.

Микроиндентирование проводилось на приборе ПМТ-3 по стандартной методике при комнатной температуре [2]. 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 1...50 г. Длительность нагружения составляла 2 с; выдержка под нагрузкой – 5 с. При измерении для каждой экспериментальной точки на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков. Обработка результатов измерений проводилась с использованием методов математической статистики [3]. Это обеспечивало погрешность измерений микротвердости H менее 2,5% (с доверительной вероятностью 0,95). Спектры нарушенного полного внутреннего отражения в диапазоне волновых чисел $\nu = 400 - 4000$ см⁻¹ регистрировались при комнатной температуре ИК-Фурье спектрофотометром ALPHA (Bruker Optik GmbH). Разрешение составляло 2 см⁻¹, количество сканов – 24. Коррекция фона проводилась перед каждым измерением [4].

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Отпечатки микроиндентора в пленке полиимида PI-2610 представлены на рисунке 1. Способ съемки обычный – светлое поле. При нагрузке 1 г до 60% отпечатков после снятия нагрузки частично или полностью восстанавливались, уменьшаясь в размерах или полностью исчезая. Однако при нагрузке 5 г эффект восстановления отпечатка не столь выражен: имело

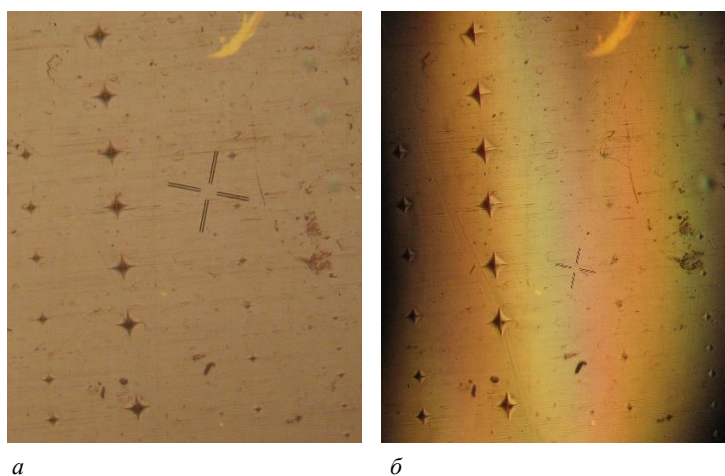
место только искажение формы отпечатка, все отпечатки сохранялись. Форма отпечатков индентора в полиимидной пленке на кремнии схожа с отпечатками, наблюдавшимися в других полимерных пленках на кремнии (полиметилметакрилат [5] и диазохинон-новолачные фоторезисты [6]). Для всех нагрузок после снятия нагрузки форма отпечатков бочковидная, что свидетельствует о наличии в пленке растягивающих напряжений, образующихся при сушке пленки. При нагрузках свыше 10 г имело место проникновение индентора в кремний (светлые квадраты в центре отпечатка на рисунке 1, *a*). Параллельно сторонам отпечатка наблюдались навалы сферической формы, обусловленные выносом (выдавливанием) материала из-под индентора (см. рисунок 1, *a*). На фоне навалов наблюдались темные замкнутые линии, по форме близкие к концентрическим окружностям. Предположительно, это складки на поверхности навалов. Трещин в углах отпечатков, где при индентировании имеют место максимальные напряжения, не наблюдалось. Полученные экспериментальные данные указывают на упругопластический характер деформации пленок полиимида PI-2610.



a – при нагрузке 50 г, увеличение 700×; *b* – при нагрузке 10 г, увеличение 350×

Рисунок 1. – Отпечатки микроиндентора на пленке полиимида PI-2610

Поведение при индентировании полиимидной пленки PI-2610 существенным образом отличается от поведения полиимида марки каптон. При индентировании пленок каптона толщиной 50 мкм отпечатки индентора при обычной съемке (рисунок 2, *a*) плохо видны и представляют собой крестообразные отпечатки ребер пирамиды. Они мало пригодны для анализа и измерения микротвердости. При наблюдении в поляризованном свете (рисунок 2, *b*) выявляется специфика отпечатков: с вогнутыми сторонами, видны искривления поверхностей отпечатков в связи с упругим восстановлением их формы. Данный эффект наблюдается для нагрузок в интервале 5–10 г. Для меньших нагрузок 5–2 г отпечатки обычные – квадратной формы, без упругого восстановления. Таким образом, формы отпечатков в полиимиде PI-2610 и каптоновой полиимидной пленке отличаются существенным образом: в каптоне имеют место напряжения сжатия, т. е. восстановление отпечатка имеет противоположный знак по сравнению с полиимидной пленкой PI-2610.

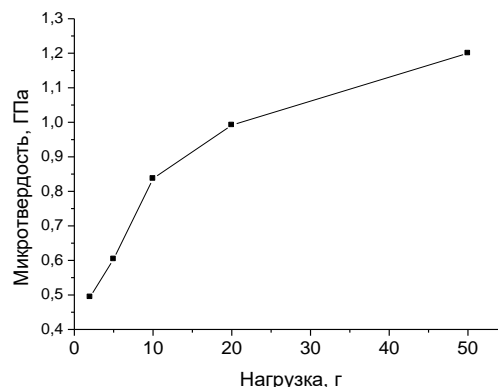


Способ съемки: *a* – светлое поле; *b* – метод дифференциально-интерференционного контраста

Рисунок 2. – Микрофотографии отпечатков после индентирования пленок полиимида марки каптон толщиной 50 мкм. Нагрузка на индентор варьировалась от 50 до 5 г

Зависимость восстановленной микротвердости от нагрузки для структур полиимид PI-2610 / кремний представлена на рисунке 3. Когда глубина проникновения индентора не превышает 0,5 толщины пленки (при нагрузке 2 г), значения микротвердости соответствуют истинной микротвердости полиимида PI-2610 ~0,5 ГПа. При увеличении нагрузки начинает сказываться влияние твердой подложки (микротвердость кремния ~9 ГПа) и значения измеренной микротвердости возрастают. Особенно резкий рост измеренных значений микротвердости наблюдается при приближении и пересечении индентором границы раздела полиимид / кремний. В исследованной пленке индентор достигал границы раздела полиимид / кремний при нагрузке 5 г, и при этой же нагрузке начинался существенный рост измеренной микротвердости.

Рисунок 3. – Зависимость микротвердости от нагрузки для пленок полиимида PI-2610 на кремнии



Отметим, что адгезия полиимидной пленки PI-2610 к кремнию низкая: пленка достаточно легко отделяется от поверхности кремниевой пластины. На рисунке 4 приведены спектры НПВО пленки полиимида PI-2610 на кремнии (PI/Si) и этой же пленки, отделенной от кремниевой пластины (пленка PI). Оба спектра в большинстве спектральных диапазонов совпадают. Исключение составляет только полоса в диапазоне волновых чисел 1240–1400 см⁻¹. Ее структура в пленках PI и PI/Si имеет заметные отличия. Так, в пленке PI имеется ярко выраженный максимум при 1349 см⁻¹, в то время как в PI/Si наблюдается два максимума одинаковой интенсивности. Кроме максимума при 1349 см⁻¹ в PI/Si присутствует также широкий максимум при ~1250 см⁻¹. Вероятнее всего, он обусловлен влиянием кремниевой подложки. Известно [7], что в спектрах НПВО кремния наблюдается полоса с максимумом при ~1240 см⁻¹, связанная с образованием комплексов Si_xO_y у поверхности кремния. Эффективная глубина проникновения $d_{эф}$ поля в исследуемом образце при НПВО составляет ~0,5 длины волны зондирующего излучения [4]. При волновых числах ~1200 см⁻¹ $d_{эф}$ составляет ~4,5 мкм, что превышает толщину пленки исследовавшегося полиимида PI-2610.

С эффектом проникновения зондирующего поля в кремниевую подложку связан также эффект подъема фона спектра НПВО структуры PI/Si при волновых числах ниже 800 см⁻¹. Более низкая интенсивность спектра структуры PI/Si по сравнению со спектром пленки PI обусловлена условиями измерений – более слабым прижимом структуры PI/Si к источнику излучения. Это приводит к возникновению воздушного зазора между образцом и источником излучения и, соответственно, к увеличению рассеяния в этом зазоре.

Спектр НПВО полиимидной пленки PI-2610 близок к спектру пиррола, однако отличается от спектра полиимида марки каптон (рисунок 5). Как и в пирроле, в спектре полиимида PI-2610 присутствуют полосы колебаний 5-членного кольца (1511, 1474 и 1419 см⁻¹) и валентных колебаний группы CO–C_{st} (1014, 1048 и 1074 см⁻¹) [8; 9]. Наиболее интенсивной полосой в спектре НПВО (как и в пирроле) является полоса деформационных колебаний C–H с максимумом при 734 см⁻¹. Полосы в диапазоне волновых чисел 1200–1350 см⁻¹ (1266, 1319 и 1349 см⁻¹) связаны с валентными колебаниями связи C–N_{st} [9; 10]. Валентными асимметричными колебаниями двойной связи C=O в имидном цикле обусловлена полоса при ~1700 см⁻¹ [8; 11]. Она имеет два близкорасположенных максимума – 1706 и 1692 см⁻¹ (см. рисунок 4), что свидетельствует о двух вариантах силового поля вокруг связи C=O. Не исключено, что это обусловлено двумя разными (несимметричными) положениями этой связи в имидном кольце. Полос с максимумами при ~3400 см⁻¹, присущих валентным колебаниям N–H-связей в пирроле и лактамах, в спектрах НПВО не наблюдалось.

В спектре НПВО присутствует полоса с максимумом при 3077 см⁻¹, обусловленная валентными колебаниями C–H-связей имидного кольца. Отметим, что аналогичная полоса, наблюдавшаяся в спектрах каптона (см. рисунок 5), обладала 3 максимумами, что указывает на 3 разных несимметричных положения этой связи в структуре каптона [12]. Наблюдался также ряд слабых полос с максимумами при 2916, 2851, 2792 и 2720 см⁻¹, обусловленных асимметричными и симметричными валентными колебаниями CH₂- и CH₃-групп. Авторы [10] связывают первые две полосы этой группы с колебаниями C–H-связей в метоксигруппе. Следует также отметить наличие в спектре НПВО полос, обусловленных валентными колебаниями свободных (3630 см⁻¹) и связанных водородной связью (3490 см⁻¹) гидроксильных O–H-групп (см. рисунок 5). Соотношение интенсивностей этих полос указывает на преобладание связанных гидроксильных групп в структуре полиимида. Аналогичные полосы в полиимиде марки каптон наблюдались в работе [12] и были обусловлены присутствием остаточной воды в структуре полиимида.

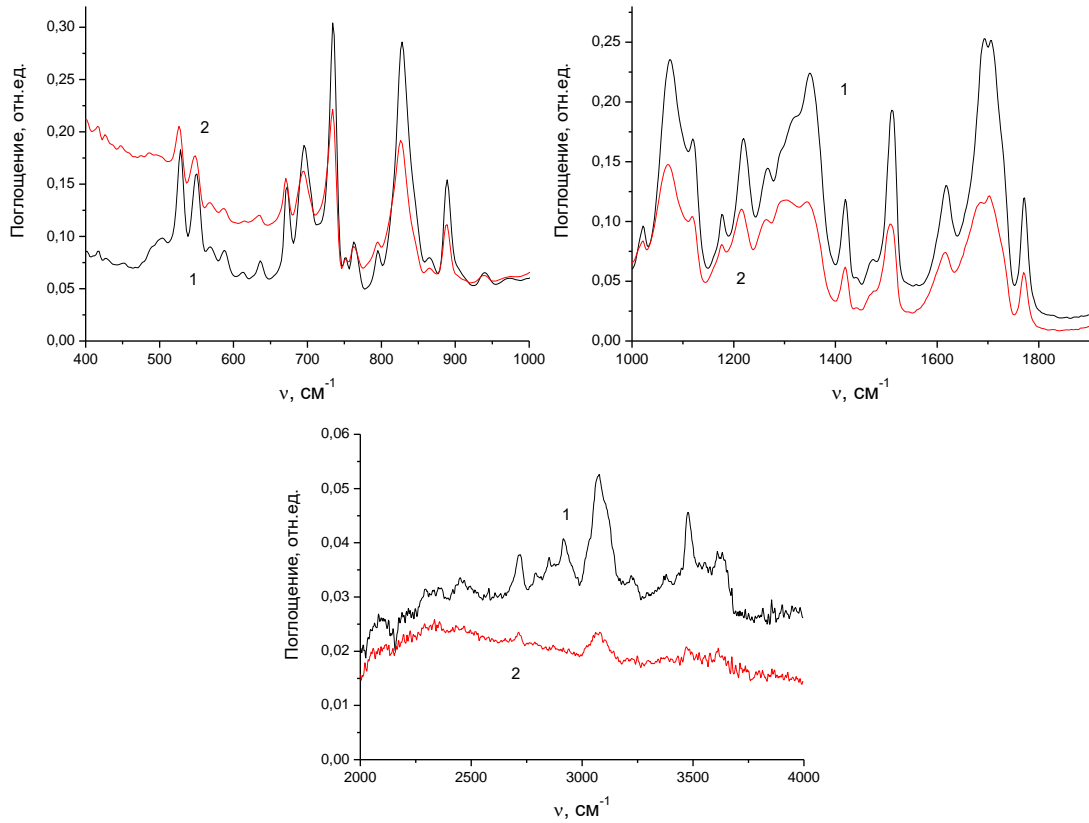


Рисунок 4. – Спектры НПВО пленок полиимида PI-2610 (1) и структур PI/Si (2)

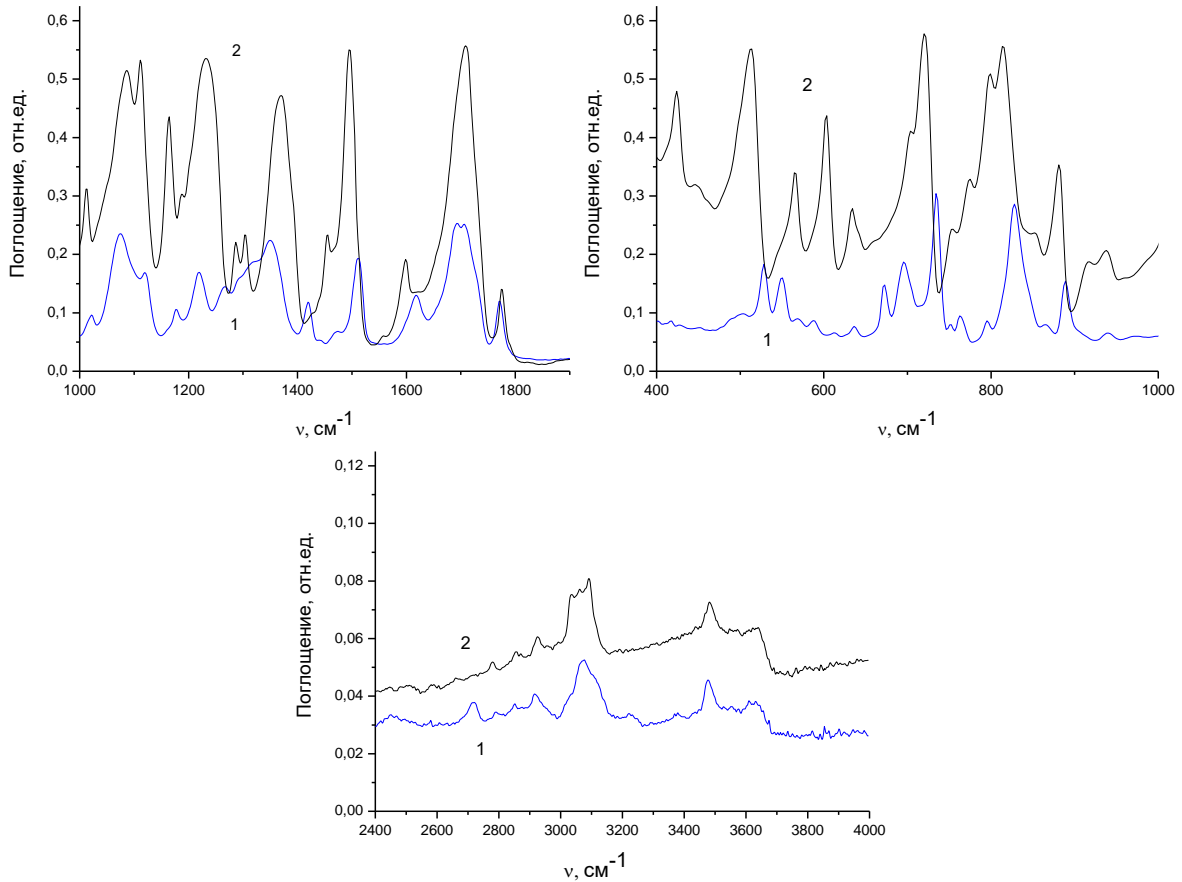


Рисунок 5. – Спектры НПВО пленок полиимида PI-2610 (1) и полиимида марки каптон (2)

Заключение. Показано, что пленки полиимидной композиции (полиимида PI-2610) ведут себя как упругопластические материалы. Истинная микротвердость полиимида PI-2610, измеренная при нагрузке 2 г, составила $\sim 0,5$ ГПа. Проведено сравнение спектров нарушенного полного внутреннего отражения полиимида PI-2610 со спектрами НПВО пиррола и полиимида марки каптон. В спектре НПВО полиимида PI-2610 присутствуют полосы колебаний 5-членного кольца и валентных колебаний групп $C-N_{st}$ и $CO-C_{st}$. Наиболее интенсивной полосой в спектре НПВО (как и в пирроле) является полоса деформационных колебаний $C-H$ с максимумом при 734 см^{-1} . Полоса при $\sim 1700\text{ см}^{-1}$, обусловленная валентными колебаниями двойной связи $C=O$, имеет два близкорасположенных максимума при 1706 и 1692 см^{-1} , что свидетельствует о двух вариантах силового поля вокруг связи $C=O$. Обнаружено присутствие в спектрах полиимида PI-2610 гидроксильных $O-H$ -групп, обусловленных присутствием остаточной воды в структуре полиимида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микротвердость пленок полиимида и полиэтилентерефталата, облученных гамма-квантами ^{60}Co / Д. И. Бринкевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2017. – № 12. – С. 30–34.
2. Бринкевич, Д. И. Прочностные свойства термообработанного кремния, выращенного в магнитном поле / Д. И. Бринкевич, Н. В. Вабищевич, С. А. Вабищевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2009. – № 3. – С. 152–157.
3. Бринкевич, Д. И. Физико-механические свойства эпитаксиальных слоев фосфида галлия / Д. И. Бринкевич, Н. В. Вабищевич, С. А. Вабищевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2010. – № 9. – С. 92–97.
4. Модификация пленок диазохинон-новолачного фоторезиста за областью внедрения ионов B^+ / С. Д. Бринкевич [и др.] // Химия высоких энергий. – 2020. – Т. 54, № 5. – С. 377–386. – DOI: [10.31857/S0023119320050046](https://doi.org/10.31857/S0023119320050046). (Modification of Diazoquinone–Novolac Photoresist Films beyond the Region of Implantation of B^+ Ions / S. D. Brinkevich [et al.] // High energy chemistry. – 2020. – Vol. 54, iss. 5. – P. 342–351. – DOI: [10.1134/S0018143920050045](https://doi.org/10.1134/S0018143920050045)).
5. Микротвердость структур полимер – кремний / Н. В. Вабищевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2009. – № 9. – С. 97–102.
6. Прочностные свойства структур фоторезист-кремний, γ -облученных и имплантированных ионами B^+ и P^+ / С. А. Вабищевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2016. – № 12. – С. 30–36.
7. Ростовые кислородсодержащие дефекты в кремнии, выращенном в слабом вертикальном магнитном поле / Д. И. Бринкевич [и др.] // Микроэлектроника. – 2011. – Т. 40, № 4. – С. 309–312. (Growth oxygen-containing defects in silicon grown in a weak vertical magnetic field / D. I. Brinkevich [et al.] // Russian Microelectronics – 2011. – Vol. 40, iss. 4. – P. 289–292. – DOI: [10.1134/S1063739711040044](https://doi.org/10.1134/S1063739711040044)).
8. Тарасевич, Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы / Б. Н. Тарасевич. – М. : МГУ, 2012. – 54 с.
9. Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффольгер. – М. : Мир : Бином, 2006. – 438 с.
10. Оптические спектры термостойких полимерных пленок сетчатой структуры / В. Т. Аванесян [и др.] // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения : междунар. науч.-техн. конф. (INTERMATIC–2015), Москва, 1–5 дек. 2015 г. : ч. 2 / Моск. гос. ун-т информ. технологий, радиотехники и электроники. – М., 2015. – С. 112–114.
11. Исследование молекулярной ориентации в поверхностных слоях полиимидных пленок методом спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения в области основных колебательных полос / И. В. Хейнонен [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1998. – Т. 40, № 9. – С. 1526–1530.
12. Радиационно-индуцированные процессы в структурах DLC/полиимид при облучении γ -квантами ^{60}Co / А. А. Харченко [и др.] // Химия высоких энергий. – 2022. – Т. 56, № 5. – С. 378–387. – DOI: [10.31857/S0023119322050059](https://doi.org/10.31857/S0023119322050059).

REFERENCES

1. Brinkevich, D. I., Lukashevich, M. G., Prosolovich, V. S., Harchenko, A. A., Vabishchevich, S. A., & Vabishchevich, N. V. (2017). Mikrotverdost' plenok poliimida i polietilentereftalata, obluchennyh gamma-kvantami ^{60}Co [Microhardness of polyimide and polyethylene terephthalate films irradiated with ^{60}Co gamma quanta]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya C. Fundamental'nye nauki [Herald of Polotsk State University. Series C. Fundamental sciences]*, (12), 30–34. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Brinkevich, D. I., Vabishchevich, N. V., & Vabishchevich, S. A. (2009). Prochnostnye svojstva termoobrabotannogo kremniya, vyrashchennogo v magnitnom pole. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya C. Fundamental'nye nauki [Herald of Polotsk State University. Series C. Fundamental sciences]*, (3), 152–157. (In Russ.).
3. Brinkevich, D. I., Vabishchevich, N. V., & Vabishchevich, S. A. (2010). Fiziko-mekhanicheskie svojstva epitaksial'nyh sloev fosfida galliya [Physicomechanical properties of epitaxial layers gallium phosphide] // *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya C. Fundamental'nye nauki [Herald of Polotsk State University. Series C. Fundamental sciences]*, (9), 92–97. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Brinkevich, S. D., Grinyuk, E. V., Brinkevich, D. I., & Prosolovich, V. S. (2020). Modifikaciya plenok diazohinon-novolachnogo fotorezista za oblast'yu vnedreniya ionov B^+ . *Himiya vysokih energij*, 54(5), 377–386. (In Russ.). DOI: [10.31857/S0023119320050046](https://doi.org/10.31857/S0023119320050046). (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^+ Ions. *High energy chemistry*, 54(5), 342–351). DOI: [10.1134/S0018143920050045](https://doi.org/10.1134/S0018143920050045).

5. Vabishchevich, N. V., Vabishchevich, S. A., Brinkevich, D. I., & Brinkevich, S. D. (2009). Mikrotverdost' struktur polimer – kremnij. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya C. Fundamental'nye nauki [Herald of Polotsk State University. Series C. Fundamental sciences]*, (9), 97–102. (In Russ.).
6. Vabishchevich, S. A., Vabishchevich, N. V., Brinkevich, D. I., Prosolovich, V. S., Yankovskij, Yu. N., & Brinkevich, S. D. (2016). Prochnostnye svojstva struktur fotorezist-kremnij, γ -obluchennyh i implantirovannyh ionami B⁺ i P⁺ [Strength properties of photoresist-silicon structures, γ -irradiated and implanted by B⁺ and P⁺ ions]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya C. Fundamental'nye nauki [Herald of Polotsk State University. Series C. Fundamental sciences]*, (12), 30–36. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Brinkevich, D. I., Odzhaev, V. B., Petlickij, A. N., & Prosolovich, V. S. (2011). Rostovye kislorodsoderzhashchie defekty v kremnii, vyrashchennom v slabom vertikal'nom magnitnom pole. *Mikroelektronika*, 40(4), 309–312. (In Russ.). (Brinkevich, D. I., Odzhaev, V. B., Petliskii, A. N., & Prosolovich, V. S. (2011). Growth oxygen-containing defects in silicon grown in a weak vertical magnetic field. *Russian Microelectronics*, 40(4), 290–293).
8. Tarasevich, B. N. (2012). *IK spektry osnovnyh klassov organicheskikh soedinenij. Spravochnye materialy [IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials]*. Moscow: MGU. (In Russ.).
9. Prech, E., Byul'mann, F., & Affol'ter, K. (2006). *Opreделение stroeniya organicheskikh soedinenij. Tablicy spektral'nyh dannyh [Determination of the structure of organic compounds. Spectral data tables]*. Moscow: Mir, Binom. (In Russ.).
10. Avanesyan, V. T., Vaganov, G. V., Rakina, A. V., & Platko, A. P. (2015). Opticheskie spektry termostojkih polimernyh plenok setchatoj struktury. In *Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroeniya (INTERMATIC-2015), ch. 2* (112–114). Moscow: MIREA. (In Russ.).
11. Hejnonen, I. V., Mamedov, R. K., Bobasheva, A. S., Lajus, L. A., & Zolotarev, V. M. (1998). Issledovanie molekulyarnoj orientacii v poverhnostnyh sloyah poliimidnyh plenok metodom spektroskopii nareshennogo polnogo vnutrennegootrazheniya v oblasti osnovnyh kolebatel'nyh polos [Study of Molecular Orientation in Surface Layers of Polyimide Films by Attenuated Total Internal Reflection Spectroscopy in the Region of Main Vibrational Bands]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya [Polymer Science]*, 40(9), 1526–1530.
12. Harchenko, A. A., Fedotova, Yu. A., Zur, I. A., Brinkevich, D. I., Brinkevich, S. D., Grinyuk, E. V., ... Lastovskij, S. B. (2022). Radiacionno-inducirovannye processy v strukturah DLC/poliimid pri obluchenii γ -kvantami ⁶⁰So. [Processes Induced in DLC/Polyimide Structures with Irradiation with 60Co γ -Rays]. *Himiya vysokih energij [High energy chemistry]*, 56(5), 378–387. DOI: 10.31857/S0023119322050059.

Поступила 07.09.2022

OPTICAL AND STRENGTH PROPERTIES OF SACRIFICIAL LAYERS BASED ON POLYIMIDE FILMS

S. VABISHCHEVICH, N. VABISHCHEVICH
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*);
D. BRINKEVICH, V. PROSOLOVICH
(*Belarusian State University, Minsk*);
V. KOLOS, O. ZUBOVA
(*“INTEGRAL” Joint Stock Company, Minsk*)

Optical and strength properties of films of a polyimide composition (polyimide PI-2610) for creating a sacrificial layer deposited on the surface of single-crystal silicon plates of the KDB-10 brand by centrifugation are investigated. It has been established that they behave like elastoplastic materials. The true microhardness of polyimide PI-2610, measured at a load of 2 g, was ~0,5 GPa. The spectra of the disturbed total internal reflection (NPVO) of polyimide PI-2610 were compared with the spectra of the NPVO of pyrrole and kapton polyimide. In the spectrum of the polyimide PI-2610, there are bands of vibrations of the 5-membered ring and valence vibrations of the C–N_{st} and CO–C_{st} groups. The most intense band in the spectrum of NPVO (as in pyrrole) is the band of deformation vibrations C–H with a maximum at 734 cm⁻¹. The band at ~1700 cm⁻¹, caused by valence vibrations of the C=O double bond, has two closely spaced maxima at 1706 and 1692 cm⁻¹, which indicates two variants of the force field around the C=O bond. The presence of hydroxyl O–H groups in the spectra of polyimide PI-2610 was detected due to the presence of residual water in the polyimide structure.

Keywords: sacrificial layer, liquid compositions, polyimide, microhardness, attenuated total reflection, adhesion.