

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 $\sim 1700\text{ см}^{-1}$, 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 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 $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ [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 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ в атмосфере N_2 . Имидизация выполнялась при $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $1 \dots 50$ 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 $\nu = 400 - 4000\text{ см}^{-1}$ 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