

УДК 681

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК ФОТОРЕЗИСТА НА КРЕМНИИ МЕТОДОМ СКЛЕРОМЕТРИИ

Вабищевич С.А.¹, Вабищевич Н.В.¹, Бринкевич Д.И.², Просолович В.С.²,
Янковский Ю.Н.², Черный В.В.³

¹Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В качестве масок в современных процессах субмикронной литографии важную роль играют диазохинон-новолачные (ДХН) резисты [1]. Наиболее распространенным из них является позитивный фоторезист ФП9120, представляющий собой композит из светочувствительного О-нафтохинондиазида и фенол-формальдегидной смолы. Целью настоящей работы являлось изучение возможности применения метода склерометрии для исследования прочностных свойств пленок ФП9120, нанесенных на пластины монокристаллического кремния различных марок.

Пленка фоторезиста толщиной от 1,0 до 5,0 мкм наносилась на поверхность пластин (диаметр 100 см) кремния различных марок (табл.1) методом центрифугирования на оборудовании ОАО «Интеграл». Толщина (h) пленки фоторезиста ФП9120 определялась скоростью вращения и составляла: 1,0 мкм при скорости вращения $v = 8300$ об/мин; ~ 1,8 мкм – при $v = 2900$ об/мин; ~ 2,5 мкм – при $v = 1200$ об/мин. Пленки толщиной $h = 5,0$ мкм формировались в две стадии с $v = 1800$ об/мин на обеих стадиях. Толщина пленок фоторезиста контролировалась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 по 5 фиксированным точкам (центр, верх, низ, слева, справа) на каждой пластине, при этом отклонения от среднего значения по пластине для всех исследовавшихся образцов (независимо от ориентации и легирования пластины) не превышали 2 %, что близко к погрешности измерений.

Таблица 1 – Использувавшиеся пластины кремния

Марка	Ориентация	Удельное сопротивление, Ом·см	Легирующая примесь
КДБ 10	(111)	10	Бор
КДБ 0,005	(111)	0,005	Бор
КЭС 0,01	(111)	0,01	Сурьма
КДБ 12	(100)	12	Бор
КДБ 4,5	(100)	4,5	Бор
КЭФ 4,5	(100)	4,5	Фосфор

Исследование прочностных свойств структур фоторезист-кремний проводилось при комнатной

температуре на приборе ПМТ-3 методом склерометрии – царапанием ребром четырехгранной алмазной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине $\alpha = 136^\circ$. Нагрузка (P) на индентор варьировалась в пределах 1-20 г. Наносилось не менее 7 канавок при каждой нагрузке и измерялась их ширина. Значения склерометрической микротвердости $H_{\square}^{\text{скл}}$ вычислялись по средней ширине канавок согласно формуле [2]

$$H_{\square}^{\text{скл}} = \frac{3,708P}{b^2}$$

где b – средняя ширина канавки.

Для сравнения на этом же приборе ПМТ-3 и этой же пирамидой проводились измерения микротвердости методом микроиндентирования по восстановленному отпечатку с использованием стандартной методики [3]. При каждом измерении на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков и проводилась обработка результатов измерений с использованием методов математической статистики по методике, изложенной в [4]. Величина микротвердости $H^{\text{н}}$ рассчитывалась по средней величине диагонали отпечатка (d) согласно выражению [4]

$$H^{\text{н}} = \frac{1,854P}{d^2}$$

На рисунке 1 представлены типичные микрофотографии царапин поверхности пленки фоторезиста. Царапины имеют ровные края и пригодны для измерения ширины. У края царапины наблюдаются трещины в пленке фоторезиста, величина которых возрастает при увеличении нагрузки. Значения склерометрической микротвердости, измеренные при нагрузках от 1 до 5 г для одного и того же образца совпадали или были близки друг к другу. Таким образом, материал подложки не оказывает влияния на результат измерений, и согласно ГОСТ 21318-75 царапание алмазными наконечниками при указанных нагрузках пригодно для измерения склерометрической микротвердости пленок фоторезиста толщиной 1,8 мкм [2]. При увеличении нагрузки до 10 г и выше индентор проникает в кремниевую подложку и значения склерометри-

ческой микротвердости начинают возрастать с ростом нагрузки вследствие влияния подложки на процесс измерения.

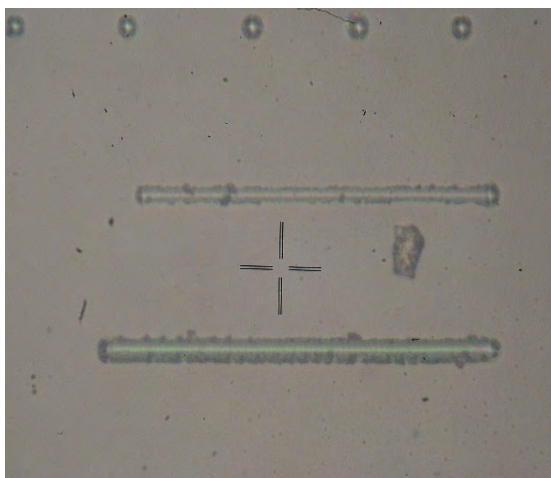


Рисунок 1 – Микрофотографии царапин поверхности пленки фоторезиста толщиной 1,8 мкм при нагрузках 1 (верхняя полоса) и 2 г (нижняя)

Выбор допустимых нагрузок при измерении склерометрической микротвердости зависит от толщины пленки. Для пленок толщиной 1 мкм допустимо использовать нагрузки 1 – 2 г, а для толстых пленок с $h = 5$ мкм нагрузки могут быть увеличены до 10 г. Выбор нагрузки в каждом конкретном случае обусловлен тем, что индентор не должен достигать границы раздела фоторезист-кремний.

Рекомендуется использовать минимальные нагрузки, дающие царапины с шириной, пригодной для измерения. В нашем случае достаточна нагрузка 1 или 2 г для всех исследовавшихся пленок.

Установлено, что микротвердость, определенная методом склерометрии, на 20-40 % больше микротвердости, полученной методами микроиндентирования H^n . Причем, H^n зависела от приложенной нагрузки – она возрастала при увеличении нагрузки даже при минимальных значениях P (1 – 2 г), когда влияние подложки не сказывается. Это говорит о том, что метод индентирования мало пригоден для измерений тонких ($h = 1,0$ – 2,5 мкм) пленок фоторезиста. Вероятнее всего, это может быть обусловлено влиянием полей упругих напряжений вблизи поверхности фоторезистивной пленки. Эти упругие напряжения возникают при сушке нанесенных на кремний фоторезистивных пленок и растягивают отпечаток, сформировавшийся при индентировании, что приводит к увеличению его диагонали и, соответственно, к заниженным значениям мик-

ротвердости при измерении методом индентирования с использованием малых нагрузок. При использовании нагрузки $P = 1-2$ г более точные значения микротвердости дает метод склерометрии. Увеличение нагрузки до 10 и более грамм приводит к нивелированию указанного различия – значения микротвердости, полученные обоими методами совпадают.

Имплантация ионов бора и фосфора, а также облучение γ -квантами, приводила к увеличению как склерометрической микротвердости $H_{\square}^{\text{скл}}$, так и микротвердости H^n , измеренной методом индентирования, и исчезновению различий между ними. При этом возрастала дисперсия микротвердости при измерениях при малых нагрузках, появлялись растрескивания вокруг отпечатков и склерометрических полос. Это свидетельствует о существенном возрастании неоднородности фоторезистивной пленки и развитии в ней полей упругих напряжений после ионной имплантации. Увеличение дозы имплантации привело к уменьшению зоны разрушения вокруг склерометрических полос, ареолы (предположительно, навалы) пропадают, возникают трещины в пределах отпечатка индентора и склерометрических полос.

Таким образом, показано, что метод царапания ребром четырехгранной алмазной пирамиды (метод склерометрии) пригоден для измерения микротвердости фоторезистивных пленок толщиной от 1,0 мкм. При этом рекомендуемые нагрузки составляют 1-2 г. Метод индентирования имеет ограниченные возможности при исследовании указанных пленок вследствие влияния полей упругих напряжений вблизи поверхности пленки, которые растягивают отпечаток, что приводит к увеличению его диагонали и, соответственно, к заниженным значениям микротвердости при измерении методом индентирования.

1. Моро У. МикролитогRAFия. Принципы, методы, материалы. В 2-х ч. – Ч.2. – М.: Мир. – 1990. – 632 с.
2. ГОСТ 21318-75 Измерение микротвердости царапанием алмазными наконечниками.
3. Бринкевич Д.И. Микромеханические свойства эпитаксиальных слоев GaP, легированных редкоземельным элементом диспрозием // Д.И.Бринкевич, Н.В.Вабищевич, В.С.Прохолович / Неорганические материалы. – 2012. – Т.48. – № 8. – С.878-883.
4. ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.