

Адгезионные и прочностные свойства фоторезистов для взрывной литографии

В.С. Просолович¹, Д.И. Бринкевич¹, В.В. Колос², О.А. Зубова², С.А. Вабищевич³, Н.В. Вабищевич³

¹ Белорусский государственный университет, Минск, 220030, пр. Независимости, 4

² ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,

Минск, 220108, ул. Казинца, 121А

³ Полоцкий государственный университет, Новополоцк, 211440, ул. Блохина, 29

тел: +375 17 209-50-51, эл. почта: prosolovich@bsu.by

DOI 10.34077/SILICON2022-124

Взрывная или обратная литография (процесс “lift-off”) – процесс, при котором пленка материала (чаще всего металла) наносится на уже проэкспонированный и протравленный слой фоторезиста (ФР) на подложке. Структура на подложке формируется при удалении неэкспонированных участков ФР вместе с находящейся на них пленкой металла. Этот вид литографии применяется для создания на подложке структур, формирование которых обычными методами литографии проблематично. В частности, взрывная литография применяется при создании металлизации из драгоценных металлов, травление которых обычно является сложной задачей. К прочностным и адгезионным свойствам резистов для взрывной литографии применяются повышенные требования.

Пленки негативного фоторезиста NFR 016D4 толщиной 3,5 и 5,2 мкм наносились на поверхность Si методом центрифугирования. В качестве подложек использовались пластины (диаметром 100 мм) монокристаллического кремния марки КДБ-10 с ориентацией (111). После формирования пленки ФР на рабочей стороне пластины проводилась её сушка при температуре 90 °С. 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 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). Значения коэффициента вязкости разрушения K_{IC} , эффективной энергии разрушения γ и удельной энергии отслаивания пленок (G) рассчитывались по средней длине радиальных трещин в углах отпечатков согласно [1].

Установлено, что пленки фоторезиста для взрывной литографии NFR 016D4 ведут себя как хрупкие материалы. Микротвердость ФР, измеренная при малых нагрузках, составляла ~0,3 ГПа, слабо снижаясь при увеличении толщины пленки. Параметры трещиностойкости (коэффициент вязкости разрушения K_{IC} и эффективная энергия разрушения γ) при малых нагрузках не зависят от толщины пленки. При увеличении нагрузки трещиностойкость тонкой пленки возрастала быстрее, чем толстой. Удельная энергия отслаивания G при нормальной нагрузке составляла ~1,2 Дж/м² для толстых и ~0,7 Дж/м² для тонких пленок. Более высокие значения G для толстых пленок обусловлены, вероятнее всего, компенсацией полей упругих напряжения, возникающих на границе раздела фоторезист/кремний. Средний диаметр области деформации/разрушения фоторезистивной пленки вокруг отпечатка индентора возрастал при увеличении нагрузки. Кривые зависимости от нагрузки среднего диаметра разрушения d_p имеют тенденцию к насыщению, более выраженную у тонких пленок.

Поведение негативного ФР для взрывной литографии NFR 016D4 при индентировании существенно отличается от поведения диазохинонноволачных и полиимидных ФР. В этих ФР отпечатки индентора имели бочковидную форму, что указывает на наличие растягивающих напряжений. У негативного фоторезиста NFR 016D4 таких растягивающих напряжений не наблюдалось – отпечатки имели квадратную форму, совпадающую с формой индентора. Следует отметить, что после облучения γ -квантами ⁶⁰Со пленки позитивного диазохинонноволачного фоторезиста ФП9120 при индентировании начинают вести подобно негативному фоторезисту NFR 016D4.

Литература

1. С.А. Вабищевич и др. // Вестник ПГУ. 2022. № 4. С.49-55.