УДК 621.382

Разработка модели для ОПТИМИЗАЦИИ АМПЛИТУДЫ НЕРОВНОСТИ КРАЯ ЛИНИИ В ПРОЦЕССЕ ДВОЙНОЙ ЛИТОГРАФИИ

*Тихонова Елена Дмитриевна, аспирант1, научный сотрудник 2,* [*etikhonova@niime.ru*](mailto:etikhonova@niime.ru)*, +7 (910) 447-02-96*

*Горнев Евгений Сергеевич, член-корреспондент РАН, д.т.н, профессор1, начальник управления РПТН 2,* [*egornev@niime.ru*](mailto:egornev@niime.ru)*, +7 (903) 969-60-97*

*1МФТИ (НИУ), г. Долгопрудный*

*2АО «НИИМЭ», г. Москва*

Аннотация: В настоящей работе мы проанализировали степень влияния различных параметров на неровность края линии для процесса двойной литографии и исследовали зависимость температуры постэкспозиционной обработки (ПЭО – Post exposure baking, PEB) от критических размеров (КР) линий и от амплитуды неровности края линии (АНКЛ – Line edge roughness, LER).

Ключевые слова: фотолитография; разрешающая способность; множественная литография; двойная литография; двойное экспонирование; моделирование, амплитуда неровности края линии; ошибка смещения положения края.

Введение

При производстве высокотехнологичных микроэлектронных устройств разрешающая способность литографического процесса [1] становится ключевым показателем, ограничивающим точность воспроизведения топологической структуры на пластине. Улучшение разрешения требует внедрения передовых методик, таких как множественная литография (МЛ – Multiple patterning, MP) [2].

Данный метод позволяет в два и более раз улучшить разрешающую способность литографического процесса за счёт разбиения топологии фотошаблона на две и более составляющих. Однако использование двух фотошаблонов приводит к увеличению значения ошибки совмещения [2] и к усложнению процесса, из-за чего актуальным становится использование метода двойного экспонирования [3].

Данный подход потенциально ухудшает амплитуду неровности края линии (АНКЛ – Line edge roughness, LER) [3], что в свою очередь ведёт к увеличению значения ошибки смещения положения края (ОСПК – Edge placement error, EPE). В связи с этим анализ ключевых параметров, влияющих на ОСПК, таких как диффузионная длина фотокислоты, концентрация гасителя и постэкспозиционная обработка (ПЭО – Post exposure baking, PEB), в процессе двойного экспонирования становится ключевой задачей.

Исследование и разработка модели для оптимизации АНКЛ

В работе используется химически усиленная модель фоторезиста с высоким контрастом и разрешением. Структура стека включает нижнее антиотражающее покрытие (НАОП, Bottom antireflective coating – BARC), за которым следует слой SiON. Расчеты моделирования проводились по изменениям АНКЛ, профиля и КР линий после проявления фоторезиста. В качестве исследуемого параметра, влияющего на АНКЛ, был выбран параметр температуры ПЭО.

Этап ПЭО необходим для активации фотогенератора кислоты (ФГК, photoacid generator, PAG) и катализации реакции снятия защиты с полимерных цепей фоторезиста. Скорость снятия защиты сильно зависит от температуры ПЭО: более высокие температуры ускоряют реакцию [4]. Во время протекания реакции изменяется химическая структура полимера, что в конечном итоге приводит к повышению его растворимости.

Помимо этого, температура ПЭО также влияет на диффузионную длину фотокислоты в фоторезисте. Более высокие температуры увеличивают подвижность молекул фотокислоты, что приводит к большей длине диффузии [4].

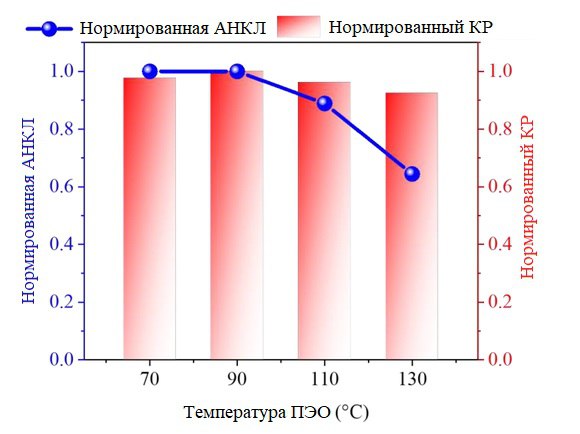


Рис. 1. Зависимость нормированных АНКЛ и КР при изменении температуры ПЭО

Рассмотрим степень влияния температуры ПЭО на характеристики значений АНКЛ и КР. Для облегчения сравнения пронормируем выходные данные. Как показано на рисунке 1, при повышении температуры с 70°C до 90°C нормированные значения АНКЛ остаются равными 1, что указывает на то, что данный диапазон температур не достаточен для изменения значений неровности края. Дальнейшее повышение температуры до 110°C и 130°C соответственно приводит к значительному снижению нормированной АНКЛ до 0,89 и 0,64 соответственно.

В этом же диапазоне температур значения нормированного КР изменяются в более сниженном темпе. Это явление объясняется тем, что высокая температура ПЭО вызывает реакцию снятия защиты фоторезиста в неэкспонированной области. После этапа проявления эта часть фоторезиста удаляется, что впоследствии и приводит к изменениям КР и профиля фоторезиста. Таким образом, в нашем исследовании оптимально работать именно в диапазоне от 110°C до 130°C.

Исходя из полученных данных, увеличивая температуру ПЭО, можно улучшить неравномерность скорости снятия защиты. Однако в слишком высоком диапазоне температур появляется риск размытия краёв рисунка, что влечёт за собой увеличение значения АНКЛ. Таким образом, для достижения минимальной АНКЛ, желаемого КР и профиля, а также контролируемой кинетики реакции, температура ПЭО должна быть тщательно оптимизирована и откалибрована под определённый тип фоторезиста в соответствии с требованиями к фотолитографическому процессу.

Выводы

По итогам проделанной работывыяснили, что повышение температуры ПЭО способствует более усиленной активации фотокислоты, что приводит к химическим реакциям, необходимым для формирования массива заданных структур, а также помогает снижению АНКЛ.

Список использованных источников

1. Красников Г. Я. Возможности микроэлектронных технологий с топологическими размерами менее 5 нм // Наноиндустрия. 2020. Т. 13. № S5-1(102). С. 13-19.
2. Тихонова Е. Д. Моделирование профиля фоторезиста в процессе самосовмещенного двойного паттернирования с учетом коррекции проблемы горячих точек / Е. Д. Тихонова // Наноиндустрия. – 2021. – Т. 14, № S7(107). – С. 786-787.

3. Тихонова Е. Д. Контроль однородности критических размеров линий металлизации, полученных методом двойного паттернирования / Е. Д. Тихонова // Кремний-2024: Тезисы докладов XV Конференции по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе, Иркутск, 15–20 июля 2024 года. – Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2024. – С. 90.

4. Gogolides E. A review of line edge roughness and surface nanotexture resulting from patterning processes / E. Gogolides, V. Constantoudis, G. P. Patsis, A. Tserepi // Microelectronic Engineering. – 2006. – Vol. 83, No. 4-9 SPEC. ISS.. – P. 1067-1072.

THE MODEL DEVELOPMENT FOR OPTIMIZING THE LINE EDGE ROUGHNESS IN DOUBLE PATTERNING PROCESS

E.D. Tikhonova, Y.S. Gornev

Abstract: In this paper, we analyzed the influence of various parameters on the line edge roughness (LER) for double patterning process and investigated the dependence of the post exposure baking (PEB) temperature on the critical dimension (CD) of lines and on the LER.

Key words: photolithography; resolution; multiple patterning; double patterning; double exposure; simulation; line edge roughness; edge placement error.