

Оптимизация процесса экспонирования фоторезиста

Экспонирование фоторезистов (ФР) — первое звено в общей последовательности операций литографической обработки подложек, которая завершается созданием вытравленной структуры. Исходя из этого оптимизация процесса экспонирования — одна из наиболее сложных проблем в технологии ИМС.

Максим Шмаков

mhm-shmakov@yandex.ru

Валерий Паршин, к.т.н.

Для решения проблемы оптимизации процесса экспонирования необходимо строго классифицировать его параметры по степени их влияния на точность получения рисунка. Оптимизация должна обеспечить наилучший выбор следующих характеристик:

- экспозиции, при которой достигаются высокие качество и воспроизводимость результатов ФЛ;
- толщины ФР для каждого вида поверхности;
- режимов сушки с учетом ограничений, налагаемых этим процессом на другие параметры;
- требований, предъявляемых к ширине линий топологии, и допусков на размеры с учетом используемых фотомасок и системы совмещения и экспонирования;
- параметров всего ТП согласно режимам задубливания ФР;
- концентраций, способов перемешивания и температуры проявителя с учетом параметров всего ТП;
- режимов травления.

Подбор оптимального времени экспонирования осуществляется экспериментально с помощью подложек-спутников при разработке нового технологического процесса, использовании нового комплекта ФШ или новой партии ФР, смене источника излучения, изменении толщины фотослоя. Правильно выбрать время экспонирования можно только при учете взаимосвязи режимов экспонирования и проявления. Это объясняется тем, что при одинаковой экспозиции $H = E \cdot t$, но при различных соотношениях освещенности E и времени t фотохимические процессы протекают по-разному и скорость проявления различна.

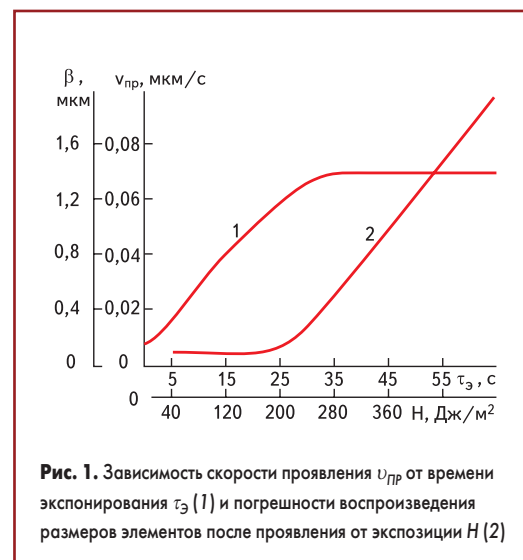
Для каждой подложки-спутника экспонирование проводят в течение разного времени. Затем, после проявления, контролируя каждый спутник, определяют время экспонирования, соответствующее лучшему качеству передачи изображения. Затем проделывают то же самое, но за фиксированный параметр берут полученное время экспонирования, а за переменный — время проявления.

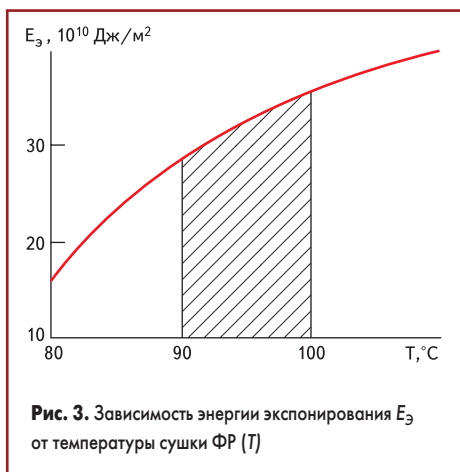
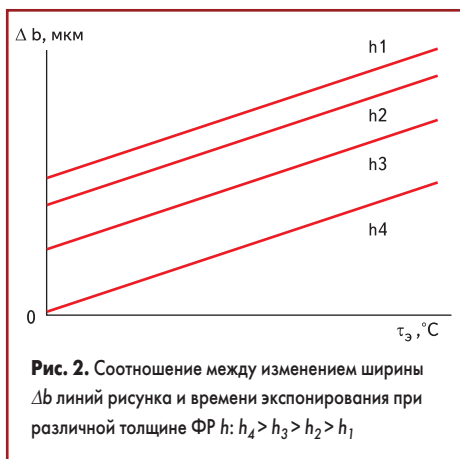
По результатам этих испытаний строится характеристическая кривая зависимости оптической плотности светочувствительного слоя и выбирается оп-

тимальная экспозиция, исходя из соответствующих требований к данному фотолитографическому процессу, например максимальным контрастности, четкости и т. д. При построении характеристической кривой в качестве критерия оценки фотохимического эффекта может быть взята скорость проявления облученного позитивного ФР (рис. 1, кривая 1), в той же плоскости координат изображена зависимость погрешности воспроизведения размеров элементов рельефа после проявления (рис. 1, кривая 2) от экспозиции. С помощью обеих кривых можно определить оптимальные экспозиции и время экспонирования для ФР различной толщины.

Для негативных ФР характеристическая кривая — зависимость толщины структурированного на определенную глубину слоя от экспозиции, а для позитивных на основе нафтохинондиазидов (НХД) — зависимость скорости проявления и точности воспроизведения рисунка от экспозиции.

Из рис. 1 видно, что в данном случае оптимальное время экспонирования лежит в диапазоне 5–25 с, а оптимальная экспозиция — в диапазоне 40–200 Дж/м². Эти диапазоны соответствуют области, в которой скорость проявления пропорциональна росту экспози-





ции, а погрешность воспроизведения размеров защитного рельефа минимальна.

Установление зависимости времени экспонирования (экспозиции) от толщины ФР является первым шагом в оптимизации процесса экспонирования. Толщина ФР должна быть постоянной, так как режимы сушки, экспонирования, проявления, задубливания и травления рассчитаны для определенной толщины ФР.

Более серьезная задача — обеспечение постоянства ширины линий рисунка. Изменение ширины линий связано со временем экспонирования (рис. 2).

Исследуя все параметры процесса, связанные с экспонированием, можно добиться минимального значения суммарного изменения линейных размеров рисунка, т. е. минимальной погрешности процесса.

Взаимосвязь дозы экспонирования и температуры сушки является важным технологическим параметром обработки ФР, который необходимо оптимизировать.

На параметры экспонирования непосредственно влияют степень удаления растворителя, а также температура и время сушки. На чувствительность ФР температура сушки оказывает более непосредственное влияние, чем ее длительность. Поэтому при использовании новых партий ФР необходимо построить зависимость энергии экспонирования от температуры сушки для заданного времени сушки и определенной длительности цикла проявления. Время сушки обычно составляет 20–30 мин в конвекционной печи, 2–3 мин — в ИК-печи и 1–2 мин — в СВЧ-печи. Типичное значение длительности цикла проявления равно 60 с для метода погружения и 15–30 с для метода распыления. На рис. 3 приведена кривая зависимости энергии экспонирования (E) от температуры сушки ФР (T).

Примечание. При температуре сушки 100 °С заметно ухудшается чувствительность большинства ФР.

Процесс обработки ФР можно оптимизировать по производительности и разрешающей способности или по различному числу комбинаций этих ключевых параметров. При определении оптимальной производительности процесс обработки ФР проводится при оптимальных режимах сушки и экспонирования, а проявление — при стандартном режиме. Оптимизация разрешающей способности требует более тщательного регулирования процессов сушки и экспонирования, а также проявления в сильно разбавленных растворах.

Литература

1. ОСТ 107.750878.001-87 Технология изготовления тонкопленочных плат.
2. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь. 1987.
3. Энциклопедия машиностроения. Том III-8. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении / Под ред. Ю. В. Панфилова. М.: Машиностроение. 2000.