

УДК 621.382.002

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

Мирослава Александровна Гладуш, Жамшид Абдуваситович Ташпулатов

Студенты 4 курса

*Российская Федерация, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра
«Электронные технологии в машиностроении»*

Научный руководитель: Ю.Б. Цветков,

*доктор технических наук, профессор кафедры МТ-11 «Электронные
технологии в машиностроении»*

Разрешение контактной фотолитографии исходно определяется процессом экспонирования фоторезиста через фотошаблон. Подсветка излучения под края маскирующих участков фотошаблона приводит к размыванию изображения, потере разрешения процесса. Для оценки возможностей процесса и выявления путей повышения его качества необходимо представлять вид распределения излучения после прохождения прозрачных участков фотошаблона различной ширины.

В данной работе апробирован метод оценки профиля распределения интенсивности излучения при контактной фотолитографии. В качестве аналога использован метод оценки качества оптических систем в производственных условиях на основе самотестирования. Основная идея метода - использование фоторезиста в качестве предельно чувствительного фотоприемника при получении микроизображений элементов тестового шаблона с различными дозами экспозиции. Метод основан на том, что оптический объектив при проекционном экспонировании создает характерное колоколообразное распределение интенсивности $I(x)$, экспонирующее фоторезист (рис. 1).

Контраст такого распределения оценивается по формуле (1), которую можно записать в виде

$$M = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (1)$$

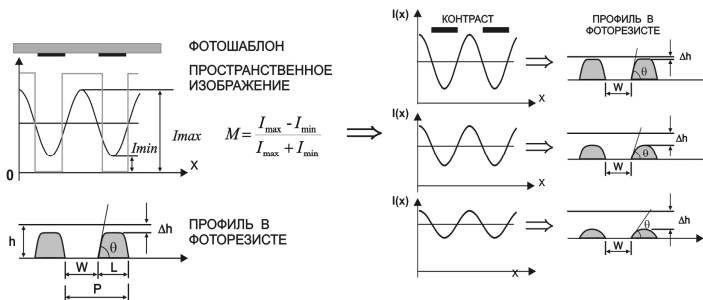


Рис.1. Влияние контраста изображения на качество микро рельефа

При минимальном времени экспонирования t_{min} доза полного проявления фоторезиста E_0 будет набрана только в центральных зонах микроизображения, которые экспонируются максимальной интенсивностью I_{max} (рис. 2):

$$E_0 = I_{max} \cdot t_{min} \quad (2)$$

В зоне с i -ой координатой текущее значение интенсивности I_i , меньше, чем I_{max} . Поэтому для набора дозы E_0 необходимо время t_i , большее чем t_{min} :

$$E_0 = I_i \cdot t_i \quad (3)$$

Выражение для оценки относительной интенсивности имеет вид

$$\frac{I_i}{I_{max}} = \frac{t_{min}}{t_i} \quad (4)$$

Изменяя время экспонирования, можно определять ширину профиля при различных относительных интенсивностях. Это позволяет воссоздать истинное изображение, которое создается в плоскости изображения.

На рис. 3 показан пример экспериментально полученных распределений интенсивности для различных по ширине решеток. При построении кривых принято условие о том, что распределение интенсивности освещения симметрично относительно центра полос.

Получаемые данным методом фактические данные позволяют оценить контраст микроизображений различных размеров, расположенных в разных зонах рабочего поля при изменении параметров оптических систем.

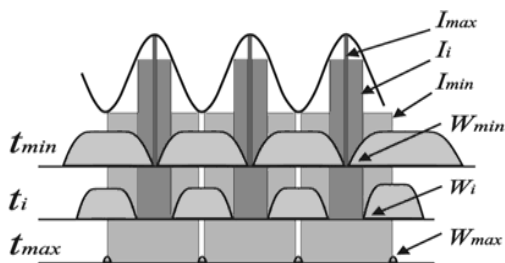


Рис.2 Зависимость ширины линии от времени

Для получения профиля распределения интенсивности в контактной фотолитографии проведен ряд экспериментов, который позволяет оценить этот профиль, и разработана методика получения данного профиля в производственных условиях.

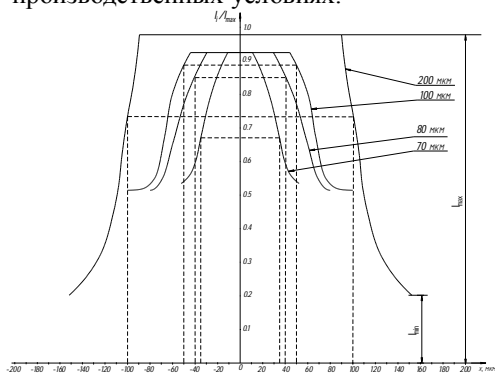


Рис. 3. Профили распределения интенсивности

Однако оценить его можно лишь приблизительно. Такой подход построения профиля имеет ряд существенных недостатков: численная оценка разрешения зависит от режимов процесса, времени их прохождения, требуемых размеров, параметров анализатора (глаза наблюдателя, фотоприемника, фоторезиста, измерительного прибора), не учитывается качество формируемого изображения, его контраст. Профиль всегда будет разным, т.к. невозможно создать единые условия и режимы для разных заказов. Условия проведения экспериментов (оборудования, материал, квалификация персонала) и режимы экспонирования (время экспонирования, проявления) меняются так же, как и толщины получаемых проводников. К сожалению, получить

единый профиль распределения интенсивности невозможно, но характерный вид его мы уже знаем.

Согласно методике, представленной ранее определяем пределы времени экспонирования:

$$t_{\min} = t_{\text{опт}}/n \pm 1 \dots 5 \text{сек}$$

$$t_{\max} = t_{\text{опт}} \cdot n \pm 1 \dots 5 \text{сек},$$

$$t_{\text{опт}} = 15 \text{ сек.}$$

Номинальный размер тестовой полосы 200 мкм.

Изменяя время экспонирования можно определять ширину профиля при различных относительных интенсивностях. Это позволяет воссоздать истинное изображение, которое создается в плоскости изображения.

Заметим, что при минимальном значении времени экспонирования t_{\min} в фоторезисте появляются узкие проявленные полосы, а при некотором максимальном значении времени t_{\max} их ширина не просто увеличивается – они сливаются между собой. Это означает, что доза полного проявления фоторезиста E_0 набрана в зоне тени, где значение интенсивности I_{\min} минимально. Таким образом,

$$E_0 = I_{\min} \cdot t_{\max}$$

Разрешающая способность негативных сшивающихся фоторезистов ограничена дифракцией излучения, рассеянием падающего и отраженного экспонирующих излучений. Это ведет к паразитной засветке края неэкспонированных участков и вызывает частичную полимеризацию слоя, что приводит к увеличению действительного размера изображения.

Поэтому в целом ширина проводника растет с увеличением времени экспонирования. Время экспонирования должно быть достаточным для полной фотополимеризации экспонированных участков и, вместе с тем, минимально возможным для уменьшения потери разрешения.

При завышенном времени экспонирования экспозиция может оказаться настолько большой, что фоторезист сохранится в области тени, где требуется удалить маскирующую пленку. При заниженном времени экспонирования экспозиция может оказаться недостаточной и в освещенной области изображения при проявлении фоторезист удалится.

Вывод

В ходе эксперимента апробирован метод оценки профиля распределения интенсивности излучения при контактной фотолитографии. В качестве аналога использован метод оценки качества оптических систем в производственных условиях на основе самотестирования.

Построенный профиль распределения интенсивности для полученных экспериментальных данных соответствует ее предполагаемому виду.

Литература

1. Цветков Ю.Б. – Управление топологической точностью фотолитографии, Москва, 2005.