

## ВОЗМОЖНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ЛИТОГРАФИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ХАРАКТЕРНЫМИ РАЗМЕРАМИ, МЕНЬШИМИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ АКТИНИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© *Н.А.Калитеевская, Р.П.Сейсян, Д.В.Смирнов*

В большинстве работ, посвященных формированию теневого изображения на поверхности фоторезиста [1,2], рассматриваются условия перенесения на фоторезист структур, состоящих из отдельных элементов. В этих условиях качество передачи изображения принято характеризовать числом Френеля  $\nu$ :

$$\nu = \frac{b^2}{\delta \cdot \lambda}, \quad (1)$$

где  $b$  — характерный размер элемента структуры,  $\delta$  — расстояние между фотошаблоном и поверхностью резиста,  $\lambda$  — длина волны актиничного излучения. Считается [3-5], что для качественного перенесения изображения на фоторезист соотношение между размером элемента рисунка, длиной волны и величиной зазора должны быть таковы, что число Френеля должно быть не меньше 2. В противном случае распределение интенсивности на поверхности резиста имеет малый контраст  $K$ , который определим как

$$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}; \quad (2)$$

при  $\nu < 2$  он оказывается явно недостаточным для формирования качественного изображения в слое резиста.

Ниже будет показано, что получение периодического рисунка высокого качества возможно при числах Френеля, значительно меньших единицы.

Периодические планарные структуры являются частью некоторых приборов электроники и оптоэлектроники (например, полупроводниковых лазеров с распределенной обратной связью [6]), поэтому представляют интерес возможность и особенности перенесения таких структур с фотошаблона на поверхность фоточувствительного слоя.

На рис. 1 изображена рассматриваемая система: монохроматический свет нормально падает на фотошаблон,

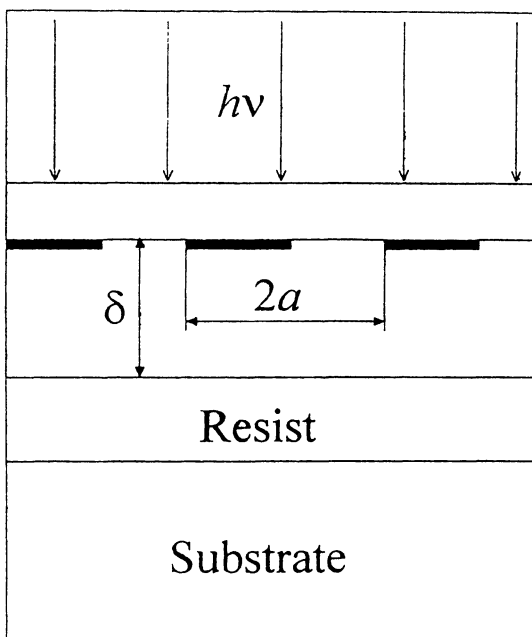
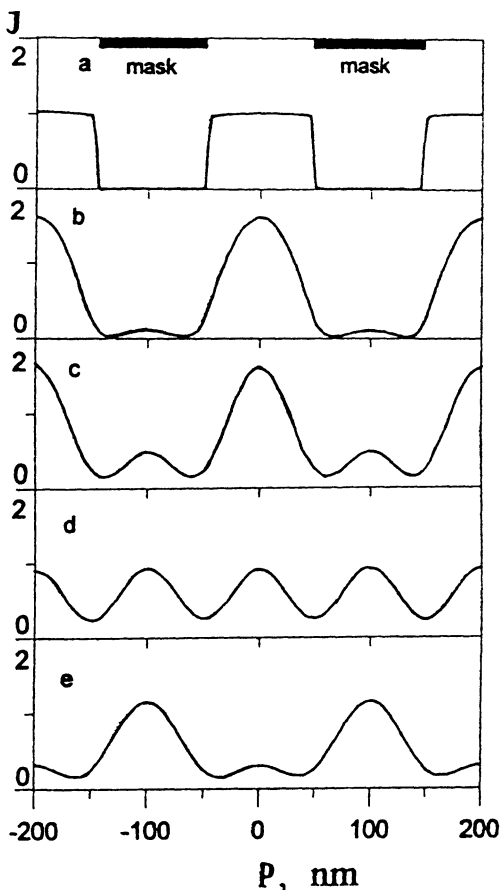


Рис. 1. Схема рассматриваемой системы.

представляющий собой решетку с равной шириной полос и промежутков между ними с периодом  $2a$ . Полосы считаются непрозрачными, а промежутки абсолютно прозрачными. Маскирующее покрытие на фотошаблоне считается бесконечно тонким. Фотошаблон расположен на расстоянии  $\delta$  от слоя фоторезиста ( $R$ ), нанесенного на подложку ( $S$ ), на поверхности которого формируется изображение. Свяжем с плоскостью фоторезиста систему координат  $(x, y)$ , а с плоскостью фотошаблона — систему  $(x', y')$  таким образом, что оси  $x$  и  $x'$  совпадают с направлением полос решетки. Будем считать фотошаблон бесконечно большим, что позволяет свести задачу к отысканию распределения освещенности вдоль одной координаты  $y$ , а также не учитывать влияние краев фотошаблона.

Задача состоит в нахождении освещенности в произвольной точке на поверхности фоторезиста. Она может быть решена на основе дифракционной формулы Кирхгофа [5]:

$$E(y) = A \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(ik\sqrt{\delta^2 + (y - y')^2})}{\sqrt{\delta^2 + (y - y')^2}} \left( 1 + \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + (y - y')^2}} \right) \varepsilon(y') dy', \quad (3)$$



**Рис. 2.** Распределение интенсивности засветки фоторезиста при различных величинах зазора  $\delta$ : *a* — при нулевом зазоре; *b* —  $\delta = 10$  нм; *в* —  $\delta = 500$  нм; *г* —  $\delta = 9877$  нм; *д* —  $\delta = 15000$  нм. В верхней части рисунка показано расположение маски.

где  $E(y)$  — электрическое поле в точке  $y$  на поверхности фоторезиста;  $k = 2\pi/\lambda$  — волновой вектор активничного излучения;  $\delta$  — расстояние между фотошаблоном и поверхностью фоторезиста,  $\varepsilon(y')$  — функция, характеризующая фотошаблон и описывающая распределение прозрачности:  $\varepsilon(y') = 1$  на прозрачных участках шаблона,  $\varepsilon(y') = 0$  на непрозрачных,  $A$  — некоторая константа. Интенсивность света в произвольной точке  $y$  можно записать:

$$I(y) = |E(y)|^2. \quad (4)$$

Понятно, что при отсутствии маски ( $\varepsilon(y') = 1$  в любой точке фотошаблона) формула должна описывать интенсивность поля в плоской волне, которая постоянна в любой точке:  $I(y) = 1$  для любого  $\delta$ . Тогда легко получить

$$\frac{1}{A} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(ik\sqrt{\delta^2 + (y - y')^2})}{\sqrt{\delta^2 + (y - y')^2}} \left( 1 + \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + (y - y')^2}} \right) dy'. \quad (5)$$

На рис. 2 показано распределение интенсивности на поверхности фоторезиста при засветке излучением с длиной волны  $\lambda = 193$  нм, соответствующей длине волны излучения эксимерного лазера на AgF, через фотошаблон с периодом 200 нм (рис. 1) для различных величин зазора. Кривая *a* показывает распределение интенсивности для случая бесконечно малого зазора. Можно видеть, что в этом случае распределение интенсивности точно повторяет прозрачность фотошаблона, рисунок переносится идеально. При увеличении зазора распределение интенсивности размывается, появляются дополнительные максимумы. Кривые *a* – *e* соответствуют различным ненулевым зазорам. Можно заметить, что, хотя величины зазоров и числа Френеля различаются на порядки (для кривой *b*  $\nu = 5.2$ , а для кривых *c, d, e*  $\nu = 0.01, 0.005, 0.003$  соответственно), качество передачи изображения примерно одинаково, причем характеризуется достаточно высоким контрастом.

При определенных величинах зазора (кривая *d*) амплитуды основных и дополнительных максимумов сравниваются и распределение интенсивности засветки представляет собой периодическую функцию с периодом, вдвое меньшим периода рисунка фотошаблона.

Таким образом, показана возможность перенесения периодических рисунков методом контактной литографии в условиях, характеризующихся числами Френеля, много меньшими единицы. При определенных соотношениях длины волны актиничного излучения, периода структуры и зазора возможно получение изображения с периодом, в два раза меньшим периода рисунка фотошаблона.

### Список литературы

- [1] Moreau W.M. Semiconductor Lithography: Principles, Practices, and Materials. Plenum Press. New York and London, 1988.
- [2] McGillis D.A., Fehrs D.L. IEEE Transactions on electron devices. ED-22. N 7. July 1975.
- [3] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: наука, 1973. 720 с.

- [4] *Калишевский Н.И.* Волновая оптика. М., 1995.
- [5] *Березич Г.Н., Никитин А.В., Сурис Р.А.* Оптические основы контактной фотолитографии. М.: Радио и связь. 1982.
- [6] *Алферов Ж.И., Гуревич С.А., Казаринев Р.Ф., Мизеров М.Н., Портной Е.Л., Сейсян Р.П., Сурис Р.А.* // ФТП. 1974. Т. 8. В. 4. С. 832. (Sov. Phys. Semicond. V. 8. N 4. P. 541-542).

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе РАН  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
11 июня 1996 г.