

## **Оптимизация процесса электронной литографии для периодических структур методом комбинированной модификации формы и дозы элементов структуры.**

Е.В. Кузнецова, А.В. Шишлянников.

АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»  
Московский физико-технический институт (государственный университет).

В современном микроэлектронном производстве формирование структур на поверхности кристалла производится, как правило, с использованием метода оптической литографии. Этот метод отличается прежде всего высокой производительностью и позволяет сегодня достигать латерального разрешения до 20 нм и менее. Однако, резкий рост стоимости оборудования для оптической литографии и процесса в целом, с разрешением 45 и менее нанометров существенно усложняет переоснащение уже существующих производств и создание новых производств с проектными нормами разрешения 45 нм и менее.

Альтернативой оптической литографии для малых и опытных производств выступает электронная литография. В противовес традиционной оптической литографии, оборудование и сопутствующее оснащение для изготовления структур с разрешением до десятков нанометров для электронной литографии хоть и не относится к классу дешевого, однако доступно для применения под задачи небольшого производства.

Однако, получение структур с высоким разрешением с использованием электронного литографа сталкивается с рядом ограничений, важнейшим из которых является так называемый эффект близости, проявляющийся для структур с высокой плотностью заполнения поверхности кристалла. Возникновение эффекта близости связано с тем, что при проникновении первичного пучка электронов с высокой энергией в материал подложки происходит образование большого количества вторичных электронов с энергиями существенно меньше энергии в первичном пучке. При этом, если для первичных электронов при точечной засветке резиста малой толщины (до 50-100 нм) участок засвеченного резиста остается в пределах поперечного размера электронного пучка, то вторичные и отраженные электроны могут вызывать засветку резиста на расстоянии до 10-15 мкм от точки падения первичного пучка.

Для компенсации эффекта близости применяются различные модификации шаблонов литографии (в электронной литографии по пластине под шаблоном понимается файл-карта поверхности образца с указанием координат пикселей и времени засветки в них (дозы пикселя)). Условно модификации шаблонов можно разбить на две основные группы: модификация формы литографируемых структур и модификация дозы различных структур, либо участков одной структуры. При этом, чистая модификация дозы в случае литографии протяженных периодических структур оказывается недостаточно эффективной. Чистая модификация формы структур, проведенная таким образом, чтобы итоговое распределение дозы в резисте соответствовало требуемому виду рисунка может сработать, но не всегда позволяет добиться желаемого качества границ элементов. Последний параметр находится в прямой зависимости от функции контраста резиста, т.е. от скорости растворения засвеченного резиста в проявителе в зависимости от дозы засветки резиста.

Для компенсации влияния эффекта близости нами был предложен модифицированный шаблон, в котором используется комбинированный метод, включающий как изменение формы литографируемых структур, так и модификацию дозы структур. Схема шаблона представлена на рисунке 1. Показаны две линии (для наглядности) из периодической структуры, период выбирался равным 50 нм, полупериод соответствовал требуемому разрешению, 25 нм. Каждая отдельная линия

состоит из трех участков: центральный участок с повышенной дозой и боковые участки, дозы которых меньше центрального и равны между собой.

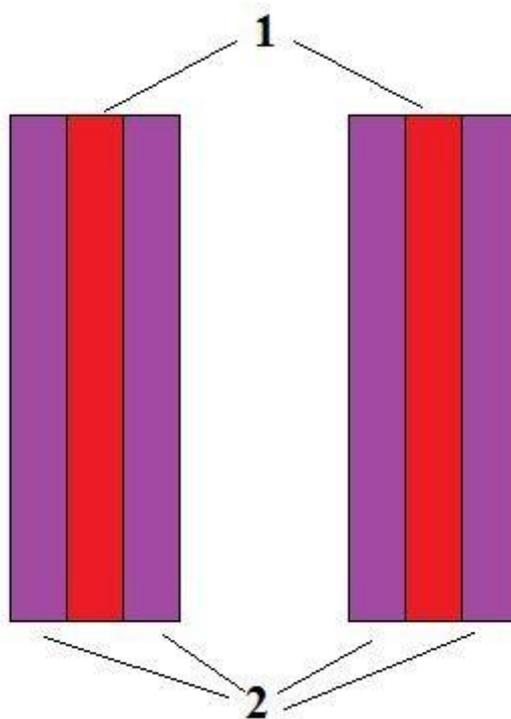


Рис. 1. Структуры линии в шаблоне: 1 – центральный участок линии, 2 – боковые участки линии

В данной работе исследовался процесс электронной литографии с использованием резиста ZEP520A. Этот резист широко распространен, удобен при проведении исследований, позволяет добиваться высокого разрешения при литографии и потенциально может обеспечивать высокую устойчивость по отношению к реактивному ионному травлению (RIE) [1]. Надо отметить, что [2] использование не модифицированных шаблонов для ZEP520A позволяет добиваться в периодических структурах разрешения до 35 нм, однако такие данные были получены с использованием проявления при пониженных температурах (-10 °С).

#### Литература

1. *D.A. Czuplewski, et al.* Journal of Vacuum Science & Technology B 27, 581 (2009).
2. *T. Okada, et al.*, Journal of Vacuum Science & Technology B 29, 021604 (2011)