ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ВАКУУМНОМ УЛЬТРАФИОЛЕТЕ

© 2010 г. Е.Н. ИВАШОВ, М.Ю. КОРПАЧЁВ, П.С.КОСТОМАРОВ, П.А. ЛУЧНИКОВ

Московский государственный институт электроники и математики
(технический университет)

e-mail: mkorpachev@gmail.com

Решающим фактором обеспечивающим в течение последних 40 лет беспрецедентные темпы развития микроэлектроники, явилась возможность непрерывного уменьшения минимального характеристического размера элементов интегральных схем, фотолитографическим методом. Притом, важнейшим преимуществом технологий фотолитографического формирования микрорисунка является возможность одновременного и параллельного переноса изображения, состоящего из многих миллионов элементарных фрагментов, обеспечиваемая волновым характером оптических процессов. Однако возможности оптических систем ограничены дифракционным пределом и разрешаемая полоса не может быть существенно меньше длины волны света. Анализ тенденций дальнейшего уменьшения минимального размера элементов показывает неизбежность выхода в ближайшее время в нанометровый диапазон от нескольких десятков до единиц нанометров, что невозможно без перехода в вакуумно-ультрафиолетовый и мягкий рентгеновский диапазоны формирующего излучения. Рассматриваемый спектральный диапазон оказывается существенно коротковолновее фундаментальной полосы поглощения, формируемой переходами электронов из валентной зоны в зону проводимости, и всецело принадлежит переходам из внутренних атомных оболочек. Это значит, что спектральное поведение оптического поглощения (отражения) никак не зависит от кристаллической структуры вещества, и полностью определяется – для многоатомного вещества – стехиометрией и соответствующей суммой парциальных коэффициентов поглощения, что резко ограничивает возможности построения оптических элементов. Трудности также связаны с тем, что в этой области спектра отсутствуют оптически прозрачные материалы, а это делает невозможным использование в оптической схеме фокусирующих линз.

В основу технического решения положена задача обеспечить возможность формирования уменьшенного изображения шаблона в оптической системе работающей вакуумно-ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазонах.

Согласно предложенному техническому решению источник света выполнен в виде лазерного источника, собирающее асферическое коллекторное зеркало и плоское отклоняющее коллекторное зеркало выполнены в виде чередующихся четвертьволновых слоёв двух пар материалов – молибдена и кремния (Mo-Si), проекционный объектив выполнен двухзеркальным, состоящий из большого вогнутого зеркала с центральным отверстием и малого вогнутого, причём поверхность зеркал также выполнена многослойной в виде чередующихся четвертьволновых слоёв двух пар материалов – молибдена и кремния(Mo-Si).

Устройство дополнительно снабжено вакуумной камерой и средством откачки.

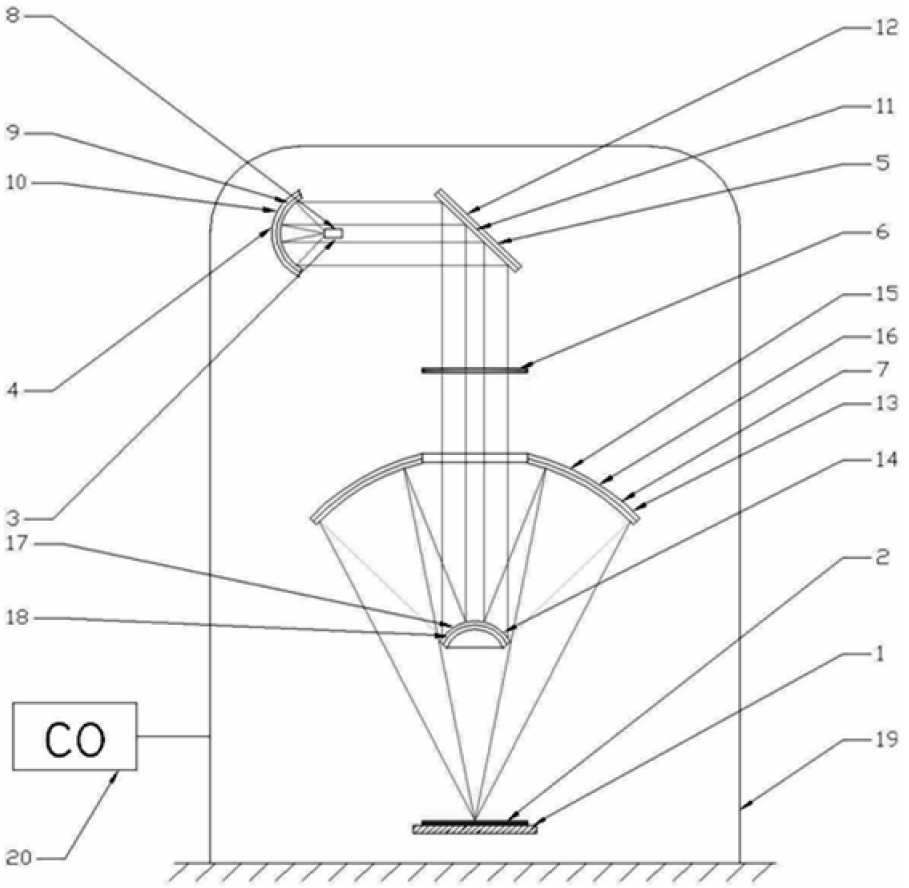

Рис. 1.

1 – образец; 2 – фоторезист; 3 – источник света; 4 – собирающее асферическое коллекторное зеркало; 5 – плоское отражающее зеркало; 6 – маска – фотошаблон; 7 – проекционный объектив; 8 – лазерный источник; 9,10,11,12 – чередующиеся четвертьволновые слои двух пар материалов – молибдена и кремния (Mo-Si); 13 – большое вогнутое зеркало с центральным отверстием; 14 – малое выпуклое зеркало; 15,16,17,18 – чередующиеся четвертьволновые слои двух пар материалов – молибдена и кремния (Mo-Si); 19 – вакуумная камера; 20 – средство откачки.

Устройство для формирования изображения (Рис. 1) работает следующим образом.

Лазерный источник 8, обеспечивает генерацию электромагнитного излучения, которое отражается от чередующихся четвертьволновых слоёв собирающего асферического коллектороного зеркала 4 а затем плоского отражающего зеркала 5, сфокусированным пучком, попадает на маску фотошаблон 6, проходя которую, переносит изображение содержащее структуру топологии на малое выпуклое зеркало 14, проекционного объектива 7. Малое выпуклое зеркало 14 отражает падающее излучение таким образом, что оно, попадая на большое вогнутое зеркало с центральным отверстием 13 проекционного объектива 7, фокусируется на подложке 1, экспонируя фоторезист 2. Отражение от многослойных зеркал 4,5,13,14 возможно благодаря тому, что малая часть падающего излучения отражается от каждой пары слоёв молибдена и кремния (Mo-Si), причём толщина слоя в четверть волны подобрана так, чтобы отражённые волны при интерференции складывались. Процесс проходит в вакуумной камере 19 с поддержанием необходимого разряжения средством откачки 20.

Источником вакуумного-ультрафиолета может быть также высокотемпературная плазма, генерируемая импульсным излучением мощного высокочастотного лазера, сфокусированного на некоторую мишень, или же мощным электрическим разрядом.

Для нахождения оптимального количества отражающих слоев (Mo-Si), представлена зависимость (Рис. 2) отражающей способности ***k*** многослойных интерференционных зеркал от числа двойных слоёв ***2N*** при длине волны падающего излучения λ =13,5 нм.

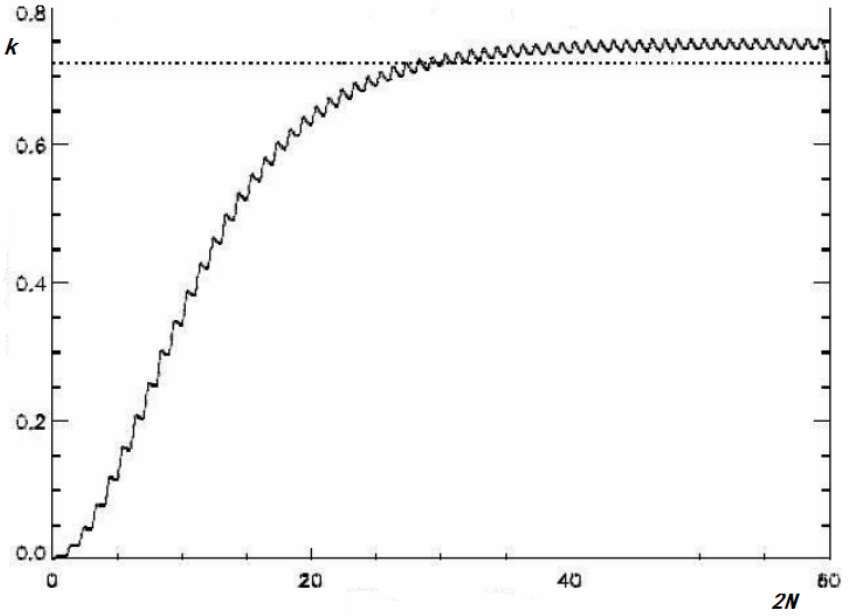

Рис. 2.

Так как потери на неполное отражение вакуумного ультрафиолета для «брегговских зеркал» весьма существенны, естественно обходится минимальным количеством зеркал. Чтобы проэкспонировать весь топологический слой кристалла СБИС, необходимо сканировать в пределах чипа по поверхности пластины, так что нанолитограф должен будет представлять собой «сканнер-степпер». Качество зеркал, в частности, максимальный коэффициент отражения, полученный на многослойной «брегговской» системе, находится в прямой зависимости от шероховатости поверхности заготовки на которую наносятся слои. Близкие результаты получены на кварцевом стекле и монокристалле кремния. Они демонстрируют наличие технологии, обеспечивающей 0,1-0,33 нм среднеквадратичной шероховатости. При этом необходимо с высочайшей точностью следовать расчётной кривизне профиля зеркальной поверхности, существенно отклоняющейся от сферы для подавления аберраций. Согласно критерию Машерля точность должна соблюдаться на уровне <0,05 λ (при λ = 13,4 нм). Такую точность асферических поверхностей изображающих зеркал удаётся осуществить на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *O'Sullivan G., Dunne P.* // Proc. EUVL Source Workshop. Dallas, 2002.
2. *Калитеевская Н. А., Сейсян Р. П.* // ФТП. 2000. Т. 34. Вып. 7. С. 578-860.
3. *Сейсян Р. П.* Нанолитография СБИС в экстремально дальнем вакуумном ультрафиолете (Обзор). Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021 Санкт-Петербург, Россия 2004.