

ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОЕКЦИОННОЙ ЛИТОГРАФИИ

П.С. Костомаров
Факультет Электроники

Планарная технология представляет собой совокупность технологических операций, которая используется при изготовлении полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Одним из ключевых процессов планарной технологии является литография, которая заключается в формировании рельефа в диэлектрических и металлических пленках, нанесенных на поверхность полупроводниковой пластины. Ее применяют для нанесения и селективного удаления пленки двуокиси кремния над теми участками пластин, где должны быть созданы диффузионные структуры.

Требования к быстродействию вычислительных мощностей, а следовательно, к повышению степени интеграции постоянно заставляют совершенствовать планарную технологию и методы литографии: использовать новые источники излучения, уменьшая при этом длину волны, новые резисты, материалы и конструкционные параметры основных узлов литографических установок. Сохраняющиеся тенденции последних 20 лет к уменьшению размеров элементов СБИС требуют решения задач повышения разрешения, ужесточения допусков на размеры и их воспроизводимость, а также точность совмещения топологических слоев [1].

Литография состоит из ряда операций, сущность, назначение и последовательность которых являются, за редким исключением, общими для любого литографического процесса [2].

Иммерсионная литография (*Immersion lithography*) – в фотолитографии для микроэлектроники – способ повышения разрешающей способности за счет заполнения воздушного промежутка между последней линзой и пленкой фоторезиста жидкостью с показателем преломления $n > 1$ (метод иммерсии). Угловое разрешение увеличивается пропорционально показателю преломления. Современные литографические установки используют в качестве жидкости высокоочищенную воду, позволяя работать с техпроцессом менее 45 нм [3]. Системы с использованием иммерсионной литографии выпускаются лишь ASML, Nikon и Canon. Улучшением данной технологии можно считать методику HydroLith, в которой измерения и позиционирование производится на сухой пластине, а экспонирование – на «мокрой» [4].

В иммерсионной литографии свет проходит сверху вниз через систему линз, затем попадает в воду (или другую иммерсионную жидкость), находящуюся между нижней линзой и резистом на поверхности пластины (рис. 1).

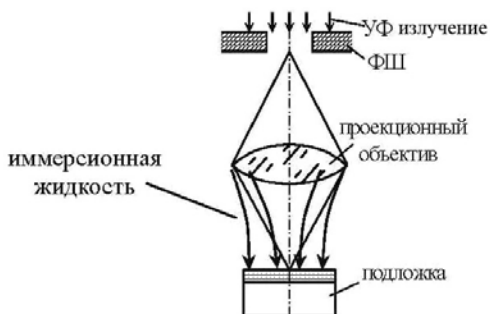


Рис. 1. Принципиальная схема метода иммерсионной литографии

Суть иммерсионной литографии состоит во введении жидкости (воды или другой жидкости с высоким показателем преломления) между проекционным оптическим объективом и пластиной для достижения большей глубины фокуса (при числовой апертуре объектива ниже 1.0) или для получения проекционной системы с эффективной числовой апертурой более 1.0, что в конечном результате улучшает разрешающую способность.

С самого начала было ясно, что ключевая проблема иммерсионной литографии состоит в устранении дефектов, вызываемых несовместимостью фоторезиста и воды. Прогнозировали, что если проблема дефектов будет устранена, то не остается сомнений в том, что 193 нм иммерсионная литография будет основной для формирования рисунков с критическими размерами 45 нм и 32 нм и, надо сказать, прогнозы подтвердились.

Продолжаются исследования по поиску новых иммерсионных жидкостей с более высоким показателем преломления, которые позволят повысить разрешающую способность литографии для проектных норм выше 32 нм [3].

На рис. 2 представлена схема иммерсионного литографического процесса.

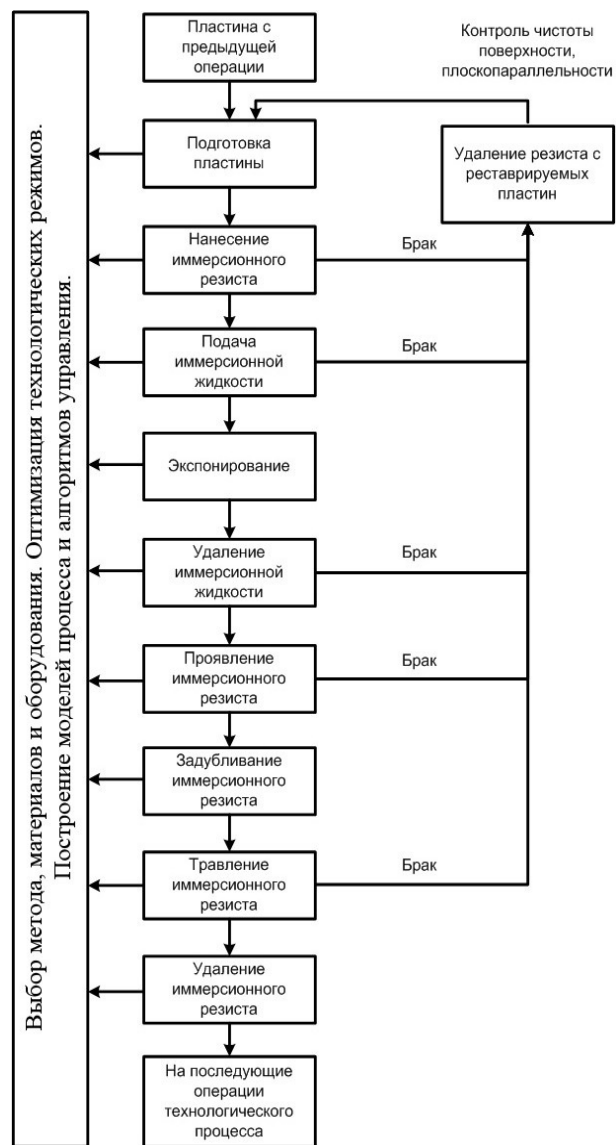


Рис. 2. Основные операции иммерсионного литографического процесса

Рассмотрим устройство для формирования нанодорожек [5]. В основу данного технического решения положена задача обеспечить возможность формирования дорожек нанометрового диапазона.

Согласно предложенному техническому решению источник лазерного излучения выполнен щелевым, с размером щели $\delta = (2 \div 3) \lambda$ и расстоянием между щелями $\gamma = (4 \div 6) \lambda$ длин волн излучения. Отражатель состоит из двух зеркал, поставленных друг к другу под углом близким к 180° . Подложка закреплена на подложкодержателе, выполненным в виде кюветы с жидкостью и установленном на шестикоординатном пьезоприводе, закреплённом на неподвижном основании.

Введение в устройство для формирования нанодорожек лазерного излучения выполнен щелевым с размером щели $\delta = (2 \div 3) \lambda$ и расстоянием между щелями $\gamma = (4 \div 6) \lambda$ длин волн излучения, отражателя, состоящего из двух зеркал, поставленных друг к другу под углом близким к 180° , подложки закреплённой на подложкодержателе, выполненным в виде кюветы с жидкостью и установленном на шестикоординатном пьезоприводе, закреплённом на неподвижном основании обеспечивает возможность формирования дорожек нанометрового диапазона.

Сущность технического решения поясняется на рис. 3 где показано устройство для формирования нанодорожек [6].

Устройство для формирования нанодорожек содержит подложку 1, источник лазерного излучения 2 и отражатель 3 причём источник лазерного излучения выполнен щелевым с размером щели 4, $\delta = (2 \div 3) \lambda$ и расстоянием между щелями $\gamma = (4 \div 6) \lambda$ длин волн излучения, отражатель 3 состоит из двух зеркал 5,6, поставленных друг к другу под углом близким к 180° , подложка 1, закреплена на подложкодержателе 7, выполненным в виде кюветы 8 с жидкостью 9 и установленном на шестикоординатном пьезоприводе 10, закреплённом на неподвижном основании 11.

Устройство для формирования нанодорожек работает следующим образом.

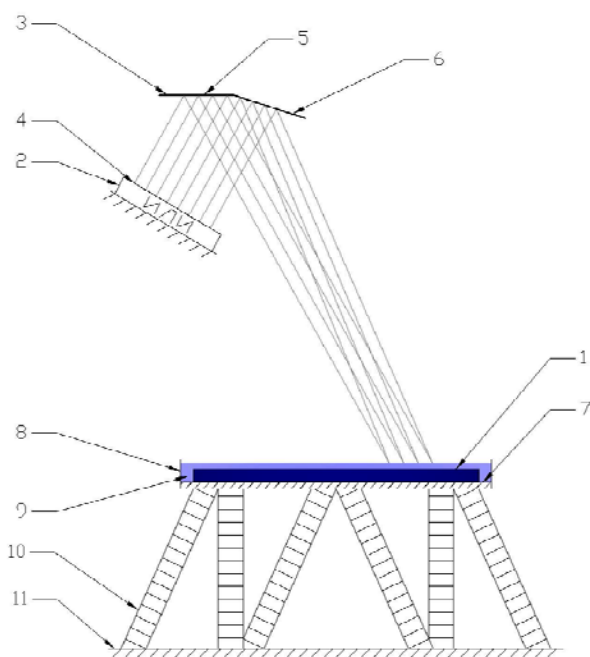


Рис. 3. Принципиальная схема устройство для формирования нанодорожек (без изображения элементов оптической системы)

Источник лазерного излучения 2 формирует когерентный волновой пучок, который выходя из источника 2 разделяется щелями 4 на систему лучей, распространяющихся вдоль параллельных прямых, причём расстояние между соседними лучами составляет $\gamma = (4 \div 6) \lambda$ длин волн. Далее излучение, отражаясь от зеркал 5,6 проходит слой жидкости 9, уменьшая длину волны пропорционально показателю преломления этой жидкости и попадает на подложку 1. Угол между зеркалами 5,6 подобран так, что достигая подложки 1, когерентные лучи интерferируют, образуя череду равноудалённых максимумов интенсивности излучения, в местах которых происходит интенсивный выброс материала подложки 1, что при необходимом перемещении шестикоординатного пьезоприводе 10 обеспечивает формирование нанодорожек на подложке 1. Шаговое перемещение шестикоординатного пьезоприводе 10 на величину $-(2 \div 3) \lambda$ длины волны, в направлении перпендикулярном сформированным дорожкам и повторение вышестоящих операций формирования нанодорожек позволит участить количество дорожек на площади подложки 1.

Применение предлагаемого устройства для формирования нанодорожек позволяет обеспечить возможность формирования дорожек нанометрового диапазона (при использовании методов повышения разрешающей способности проекционной литографии предполагается получать элементы с проектными нормами не более 32 нм).

Повышение качества процесса экспонирования за счет формирования когерентного волнового пучка обеспечивается уменьшением диаметра пятна размытия, что позволяет существенно снизить технологическую дефектность процесса.

Список литературы

1. **Макушин М.В.** Техника и экономика современной литографии / М.Макушин, В.Мартынов - "Фотоника" 2010, №4
2. **Валиев К.А.** Физика субмикронной литографии / Валиев К.А. М.: Наука, 1990. 517 с.
3. DailyTech IDF09 Intel Demonstrates First 22nm Chips Discusses Die Shrink Roadmap URL <http://www.dailytech.com/IDF09+Intel+Demonstrates+First+22nm+Chips+Discusses+Die+Shrink+Roadmap/article16312.htm>
4. **Hand A.** Double Patterning Wrings More From Immersion Lithography // Semiconductor International. 2007. January. 17 p.
5. **Костомаров П.С.** Формирование нанообъектов литографическим методом [Текст] / Е.Н. Ивашов, М.Ю. Корпачев, П.С.Костомаров // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения (INTERMATIC – 2010) : матер. VII Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 23 - 27 ноября 2010 г. – М. : МИРЭА, 2010. – Ч. 2, – С. 332-333.
6. **Патент на полезную модель 104509 Российская федерация, МПК⁷ 7Н01J 37/28.** Устройство для формирования нанодорожек [Текст] / Костомаров П.С., Ивашов Е.Н., Корпачев М.Ю.; заявитель и патентообладатель МИЭМ. – № 2010146415/07; заявл. 15.11.2010; опублик. 20.05.2011, Бюл. № 14.