

ФОТОЛИТОГРАФИЯ В ГЛУБОКОМ УЛЬТРАФИОЛЕТЕ

Снопков П.А.

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
филиал «Минский радиотехнический колледж»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Кусенок Е.Н. – преподаватель высшей категории дисциплин общепрофессионального и специального циклов, председатель ЦК «Микро- и нанoeлектроника»

Аннотация. Рассмотрен новейший метод фотолитографии с применением излучения в глубоком ультрафиолетовом спектре, технология и средства его обеспечения. Рассмотрены преимущества и недостатки в сравнении с другими методами.

Ключевые слова: фотолитография, ультрафиолетовое излучение, фотошаблон, фоторезист.

Фотолитография – это процесс формирования в чувствительном к определенному излучению слое, нанесенном на поверхность подложки, рельефного рисунка, повторяющего строение полупроводниковых приборов или ИМС, и последующего переноса этого рисунка на подложку. Сформированный фотолитографией рисунок позволяет также наносить через окна в слое фоторезиста необходимые металлические и/или диэлектрические покрытия. При изготовлении полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС) применяются различные методы фотолитографии.

Основным недостатком классической фотолитографии, излучением при которой является свет с длиной волн ~ 400 нм, является ее низкое разрешение: минимальный размер элементов составляет 2 мкм [2]. В результате увеличиваются габариты и масса конечного изделия. В наши дни требуется возможность изготавливать элементы с размерами в несколько десятков нанометров.

Более высокого разрешения позволяет добиться метод фотолитографии в глубоком ультрафиолете (англ. EUVL – Extreme Ultraviolet Lithography). При EUV-литографии используется излучение на длине волны около 13,5 нм (граница ультрафиолетового спектра).

Излучения с малой длиной волны легко рассеиваются. Чтобы снизить этот негативный эффект, процесс EUV-литографии должен осуществляться в вакууме и с использованием специальных средств в оптической системе, генераторе излучения и подложке.

Устройство источника излучения представлено на рисунке 1. Для генерации мощного излучения на длине волны 13,5 нм при фотолитографии в глубоком ультрафиолете применяют высокотемпературную плазму, получаемую из топливного материала. Генерация плазмы осуществляется посредством электрического импульса или интенсивного лазерного облучения. В качестве «топлива» используют такие материалы, как ксенон, олово и литий. Олово на сегодняшний день является ведущим «топливом» для высокопроизводительных источников из-за более эффективного преобразования энергии лазерного излучения по сравнению с ксеноном и литием.

Для фокусировки излучения применяют специальную оптическую систему. Точку, в которой свет фокусируется, называется промежуточным фокусом и соединяет модульный источник-коллектор с системой проекционных зеркал EUVL-сканера. Из-за геометрических ограничений в конструкции коллектора, эффективности отражающей системы коллектора и поглощения остаточными газами испаряющегося олова, только часть излучения от источника передается на пластину

Оптическая система EUVL включает отражающую поверхность, используемую для эффективной передачи света на фотошаблон, и отражающую проекционную оптику для воспроизведения топологии на фоторезисте.

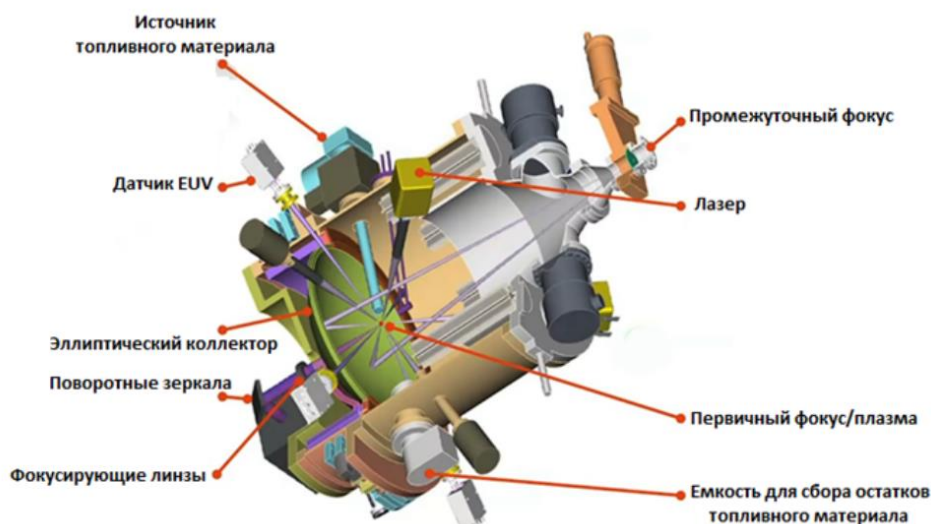


Рисунок 1 – Устройство источника излучения

Светоотражающая оптика состоит из повторяющихся пар из металла (с высоким атомным числом) и спейсера, материала с низким атомным числом. Наиболее часто используют системы Mo/W и Mo/Si, поскольку они демонстрируют лучшие показатели отражающей способности. Типичное количество слоев для системы Mo/Si равно 40.

Качество многослойного покрытия зависит в первую очередь от метода осаждения и определяет отражательную способность зеркал. Самым распространенным методом формирования данного рода покрытий является магнетронное распыление.

Большое влияние на качество покрытия оказывают загрязнения, в частности, углеводороды и вода, которые, окисляясь при попадании на них фотонов, вызывают потерю отражающей способности. Способами для сокращения загрязнений является использование защитных покрытий, которые устойчивы к окислению, таких как рутений, а также улучшение условий вакуума и использование методов очистки от углеродных и кислородных образований.

Чтобы избежать поглощения волны света при EUV-литографии, фотошаблон должен обладать высоко отражающими свойствами. Для изготовления заготовки для шаблона необходима плоская, жесткая и бездефектная подложка с низким коэффициентом теплового расширения материала и с минимальными искажениями. На такой подложке происходит осаждение отражающей многослойной структуры, состоящей из чередующихся слоев Mo/Si, и покрывается специальным слоем для предотвращения окисления. Расположение слоев фотошаблона показано на рисунке 2.

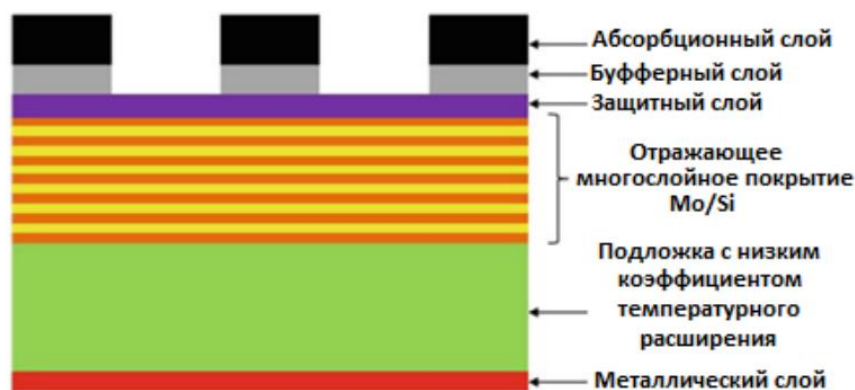


Рисунок 2 – Строение фотошаблона

Абсорбционный слой эффективно поглощает падающее на него излучение. Для таких целей обычно используют нитрид тантала (TaN). Процесс изготовления EUVL-шаблона ана-

логичен процессу для оптического шаблона классической фотолитографии, но с более жесткими ограничениями на технические характеристики. Материал буферного слоя, например, SiO₂ или рутений, применяют для защиты многослойной структуры во время травления или восстановления абсорбирующего слоя. Воспроизведение на поверхности топологии осуществляется посредством ионно-лучевой литографии и плазменного травления.

Чтобы избежать дефектов на рабочей пластине, шаблон EUVL должен проходить без дефектов в процессе производства и оставаться таким в процессе работы. Необходима надежная и точная проверка шаблона для оценки дефектности на всех этапах его производства.

Высокая энергия фотонов ультрафиолетового излучения ионизирует компоненты фоторезиста, генерируя вторичные электроны, которые способствуют нежелательным химическим реакциям в процессе экспонирования. Таким образом, без подготовки фоторезисты не могут использоваться в данном методе, поскольку имеют высокую чувствительность и будут разрушаться. Необходимо крайне точно отрегулировать концентрацию фотокислот и достичь оптимального коэффициента поглощения [1].

Значительной проблемой метода являются неравномерные границы печати, продемонстрированные на рисунке 3. Использование волн с длиной в 13,5 нм приводит к повышению энергии фотонов в 14 раз по сравнению с 400 нм волнами классической литографии. В свою очередь, управлять такими фотонами становится намного сложнее, поэтому только 40 % фотонов в точности придерживаются заданной траектории, а 60 % отклоняются в стороны и формируют шумы. Это не оказывает критического влияния на работоспособность устройства, но снижает его энергоэффективность. Проблема связана даже с распознаванием подобных дефектов, поскольку они имеют размеры около 0,3 нм.

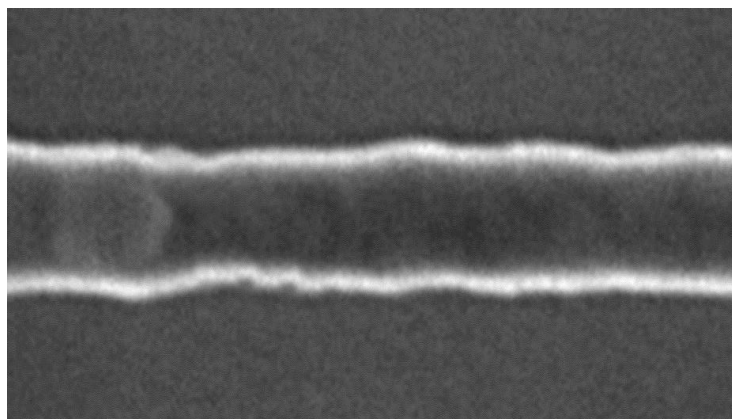


Рисунок 3 – Неравномерная граница EUV-литографии

Метод фотолитографии в глубоком ультрафиолете является одним из самых перспективных благодаря высокой разрешающей способности и позволяет осуществлять производство 7 нм и даже 5 нм топологических норм. Однако массовое использование данного метода ограничено ввиду высокой стоимости оборудования и возникновения специфических физических явлений, которые возникают при столь малых размерах.

Список литературы

1. Баклыков Д.А. Особенности фотолитографии в глубоком ультрафиолете / Баклыков Д.А., Громов М.И., Тацев Р.А // Политехнический молодежный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2019. – №10. – С.1–9
2. Технология полупроводников приборов и изделий микроэлектроники. Кн. 8. Литографические процессы / В.В. Мартынов, Т.Е. Базарова. – М.:Высш.шк., 1990. – 128 с.