

УДК 621.3.049.774

Сравнительный анализ качества топологического рельефа кристалла микросхемы методами контактной и проекционной фотолитографии

Перевозчикова Дарья Сергеевна perevozcikovadara10888@gmail.com

Андреев Владимир Викторович vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Проанализированы особенности проведения фотолитографических процессов методами контактной и проекционной фотолитографии. Исследован процесс создания топологического рельефа методами контактной и проекционной фотолитографии, выявлены преимущества и недостатки. Проведено сравнение методов контактной и проекционной фотолитографии в условиях производства интегральных микросхем.

Ключевые слова: фотолитография, проекционная фотолитография, контактная фотолитография

Качество воспроизведения топологического рельефа на поверхности полупроводниковых пластинах во многом зависит от особенностей проведения фотолитографических процессов. Для сложных изделий, предполагающих многократное повторение фотолитографических операций, качество их проведения может существенно сказываться на получении годной продукции [1]. Конечный результат фотолитографии во многом определяется формированием пленки фоторезиста, адгезией его к подложке, конфигурацией элементов, клином травления и привнесенными дефектами, такими как царапины, проколы пленки фоторезиста, загрязнение, уход элементов и т. д. [2].

Основным параметром, характеризующим фотолитографический процесс, является его разрешающая способность [3]. Контактная и проекционная фотолитография относятся к методам оптической фотолитографии. Предельные возможности оптической фотолитографии определяются качеством объектива, осветителем, формирующим плоскопараллельный пучок света, качеством фотошаблонов и фоторезиста, условиями производства и т. п. [4].

Контактная фотолитография наиболее распространенный метод получения элементов на поверхности полупроводниковой пластины, имеющий как ряд преимуществ, так и недостатков. Методами контактной фотолитографии можно реализовывать топологические элементы интегральных схем с размерами до 1,5–2,0 мкм. Контактная фотолитография основана на прямом контакте маски с поверхностью подложки. Перенос рисунка с фотошаблона на пластину происходит в масштабе 1:1 по всей поверхности пластины, что значительно увеличивает скорость операции, при этом повышая дефектность слоя, поскольку дефекты фотошаблона, в том числе и привнесенные переносятся на поверхность пластины также в масштабе 1:1. Контактная фотолито-

графия более проста в исполнении и менее затратна, чем проекционная фотолитография, однако она имеет ряд недостатков, в большей мере связанных с контактом подложки и фотошаблона, что может приводить как к повреждению маски, так и шаблона, из-за чего срок службы фотошаблона значительно сокращается [1]. Дефекты, привнесенные вследствие контакта на фотошаблон, переносятся при дальнейшем экспонировании на поверхность пластины, что повышает дефектность слоя. Также следует учитывать, что качество совмещения ключевым образом зависит от человеческого фактора, который может оказать существенное влияние на качество проведения фотолитографического процесса [2].

Существенным преимуществом проекционной фотолитографии является отсутствие прямого контакта фотошаблона с поверхностью пластины, что значительно уменьшает количество дефектов при проведении процесса экспонирования, при этом также увеличивается срок службы фотошаблона. При сравнении в статье будет рассматриваться метод пошагового экспонирования, который заключается в последовательном пропечатаывании модулей, содержащих один или несколько кристаллов в зависимости от размера кристаллов и мощности засветки установки. Фотошаблоны для такого метода экспонирования увеличивают в масштабах 5:1 или 10:1 от реальной величины пропечатаываемого модуля, позволяя уменьшить влияния дефектов шаблона до несущественных значений и упростить нахождение дефекта на шаблоне. Однако такой метод требует более высокого уровня качества фотошаблонов, поскольку дефект шаблона будет пропечатаываться на каждый модуль, содержащийся на поверхности полупроводниковой пластины, также такой метод экспонирования увеличивает время проведения процесса, а при необходимости пропечатаывания отличных друг от друга модулей время увеличивается значительно. В некоторых случаях для уменьшения количества привнесенных дефектов (накопленных на поверхности фотошаблона частиц пыли) используется тонкая пленка полимера — пелликул, которая дефокусирует изображение пылевидных частиц. Фотошаблоны с пелликулами имеют большой срок службы, однако они существенно дороже и срок их изготовления значительно дольше, что в случаях необходимости делает их замену проблематичной. Проекционная фотолитография имеет более высокую разрешающую способность по сравнению с контактной, что позволяет создавать микросхемы с более высокой плотностью интеграции. Совмещение выполняется установкой по знакам совмещения, точность совмещения составляет $\pm 0,1$ мкм, при длине волны излучения около 400 нм (ртутная лампа). Работа с установкой требует более высокого уровня подготовки оператора, чем при контактной фотолитографии, также установка сложна в ремонте и обслуживании [5].

Заключение. Оба метода имеют ряд преимуществ и недостатков, выбор метода будет зависеть от требований к конкретному технологическому процессу [2]. Проекционная фотолитография обеспечивает меньшую дефектность процесса, более высокое разрешение и точность, однако она требует

дорогостоящего оборудования и технологической оснастки, высокой подготовки операторов, более жестких производственных условий, а также значительно большего времени, чем контактная фотолитография, что увеличивает стоимость производства. Проекционную фотолитографию целесообразно использовать для производства сложных схем высокого уровня интеграции, схем, требующих точного совмещения топологических слоев, дорогостоящих микросхем с высоким уровнем требований. Контактная фотолитография более проста и экономически эффективна, что делает ее предпочтительным методом для производства массовых партий устройств. Однако она имеет более низкое разрешение и может не подходить для создания более сложных структур.

Литература

- [1] Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. Москва, Радио и связь, 2007, 464 с.
- [2] Андреев В.В., Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А. Метод многоуровневой токовой нагрузки для исследования генерации и релаксации положительного заряда в МДП-структурах. Микроэлектроника, 2003, т. 32, № 2, с. 152–158.
- [3] Андреев Д.В., Курносенко А.Е., Макачук В.В., Соловьев В.А. Технологические процессы изготовления электронной компонентной базы приборостроения. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, 467 с.
- [4] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. Phys. Status Solidi A., 2022, vol. 219, is. 9, art. no. 2100400(1–5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>
- [5] Трапашко Г. Контроль микроразмеров в производстве ИС задачи и особенности. Электроника, наука, технология, бизнес, 2011, № 3, с. 96–103.

Comparative analysis of the quality of the topological relief of the crystal of the microcircuit with the methods of contact and projection photolithography

Perevozchikova D.S. perevozchikovadara10888@gmail.com

Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The features of photolithographic processes by contact and projection photolithography methods are analyzed. The process of creating a topological relief by contact and projection photolithography methods is studied, advantages and disadvantages are identified. A comparison of contact and projection photolithography methods was carried out under the conditions of integrated circuit production.

Keywords: photolithography, projection photolithography, contact photolithography