

УДК 621.382

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРАНЗИСТОРА МЕТОДАМИ ФОТОЛИТОГРАФИИ

Людмила Андреевна Куликова

Магистр 1 года,

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.М. Базиненков,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение

Технология воздушных мостов достаточно распространена в микроэлектронике. Воздушные мосты необходимы для соединения истоков с контактными площадками. Тем не менее, эта технология требует специальных методов литографии, а в некоторых случаях и специального технологического оборудования. Из-за сложного процесса увеличивается цикл производства микросхем, а также затраты на производство.

Применение технологии фотолитографии при получении воздушных мостов

Известно, что фотолитография – это метод получения определённого рисунка на поверхности материала, топологии, широко используемый в микроэлектронике, в частности для производства интегральных микросхем и печатных плат. Это один из основных и самых дорогостоящих приёмов планарной технологии, используемой в производстве полупроводниковых приборов.

Суть процесса фотолитографии сводится к тому, что на обрабатываемую поверхность наносится фоторезист, который экспонируется светом определенной длины волны через фотошаблон с заданным рисунком. Далее проэкспонированные участки фоторезиста удаляются в проявителе. Получившийся на фоторезисте рисунок используется для таких технологических этапов планарной технологии, как травление, электроосаждение, вакуумное напыление, струйно-абразивная обработка и др. После проведения одного из этих процессов, остатки резиста удаляются специальным раствором.

Принципиальное отличие фотолитографии от других видов литографии заключается в том, что экспонирование производится видимым или ультрафиолетовым излучением, тогда как в других видах литографии для этого используется рентгеновское излучение, поток электронов, поток ионов и др.

Фотолитографические процессы включают в себя множество операций, начиная от изготовления фотошаблонов и заканчивая формированием элементов схем на подложке.

Различают проекционную и контактную фотолитографии.

Метод проекционной фотолитографии заключается в проецировании фотошаблона на пластину кремния, покрытую фоторезистом. При этом между пластиной кремния и фотошаблоном имеется определенный воздушный зазор (рис. 1).

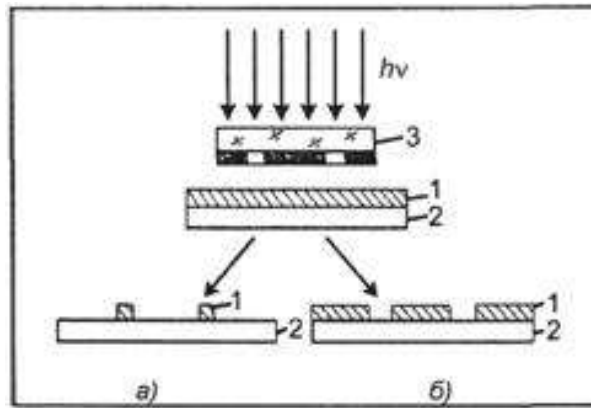


Рис. 1. Схема воспроизведения изображения методом проекционной фотолитографии [3]: а – с негативным фоторезистом; б – с позитивным фоторезистом; 1 – фоторезист; 2 – подложка; 3 – фотошаблон

Метод проекционной литографии с сохранением масштаба позволяет обрабатывать пластины диаметром до 150 мм

Метод контактной литографии имеет две основные операции: совмещение изображений и экспонирование фоторезиста (рис. 2). При этом методе фотошаблон и пластина кремния с нанесенным фоторезистом плотно прижаты друг к другу. В методе контактной фотолитографии также используется излучение оптического диапазона. Этот метод применяют для получения рисунков с топологической нормой 2...3 мкм.

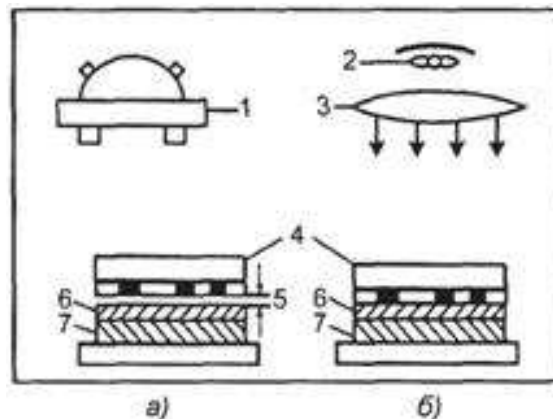


Рис. 2. Схема операции совмещения (а) и экспонирования (б) [3]:

1 – микроскоп; 2 – источник света; 3 – объектив; 4 – фотошаблон; 5 – зазор; 6 – фоторезист; 7 – экспонируемая пластина; 8 – фигуры совмещения на пластине; 9 – фигуры совмещения на фотошаблоне

Для получения точной передачи размеров изображения фотошаблона необходимо одновременно и взаимосвязано изменять как время экспонирования, так и время проявления рисунка [3].

Технология контактной фотолитографии применялась в работе для получения тестовых структур воздушных мостов. Фотолитография осуществлялась на установке.

На рис. 3 изображены этапы процесса контактной фотолитографии в технологии воздушных мостов.

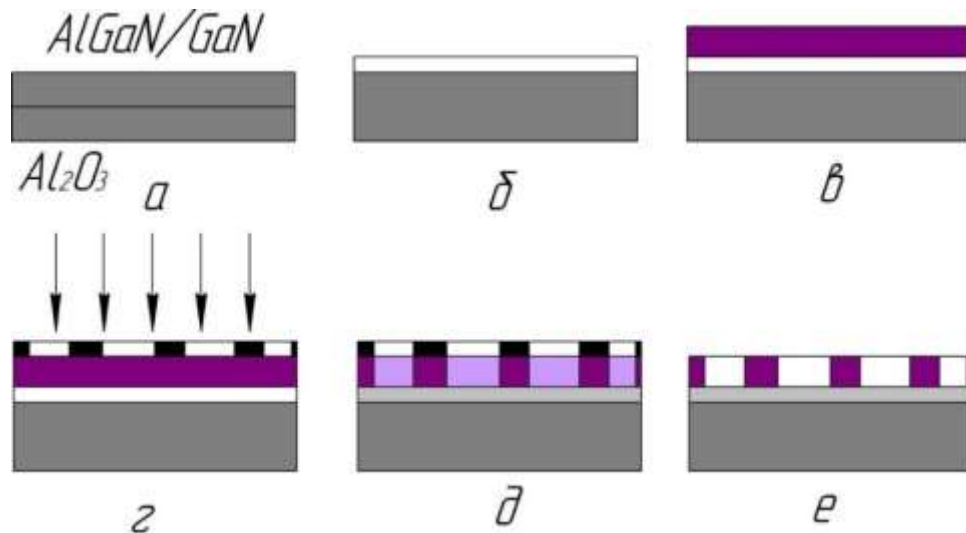


Рис. 3. Этапы фотолитографии

Процесс фотолитографии включает в себя следующие этапы:

1. Очистка поверхности (рис. 3,а) требуется для удаления загрязнений с пластины. Пластина отмывается в ходе двухступенчатого процесса: протирка подложки ОП10 (мыльная жидкость) для удаления пылинок и очистка пластины диметилформалидом для удаления органических загрязнений и остатков воды.
2. Обезжиривание подложки в парах трихлорэтилена для удаления остатков диметилформалида.
3. Нанесение на пластину адгезива (рис. 3,б) на основе гексамитилдисилазана для создания хорошей адгезии с последующей сушкой (образец выдерживается в течение 2 минут на печи при температуре 120°C).
4. Нанесение фоторезиста (рис. 3,в) на основе нафтохинондиазидов. Наиболее широко распространённый метод нанесения фоторезистов на поверхность — это центрифугирование. Этот метод позволяет создавать однородную плёнку фоторезиста и контролировать её толщину скоростью вращения пластины (порядка нескольких тысяч оборотов в минуту).
5. После нанесения резиста необходимо провести его предварительную сушку (задубливание). Для этого образец выдерживается несколько минут в печи, при температуре 100...120 °C. Этот этап необходим для испарения растворителя содержащегося в фоторезисте, что способствует улучшению адгезии, исключению прилипания к фотошаблону, возможности нанесения второго слоя фоторезиста и имеет положительное влияние в некоторых других аспектах.
6. Процесс экспонирования (рис. 3,д) заключается засветке фоторезиста через фотошаблон, содержащий желаемый рисунок, светом ультрафиолетового диапазона (длина волны 300 нм), что и отличает процесс фотолитографии от других видов литографии.
7. В процессе проявления (рис. 3,е), части фоторезиста удаляются специальной жидкостью — проявителем на основе КОН формируя окна в плёнке фоторезиста. В случае использования позитивного фоторезиста, удаляется проэкспонированная область, а в случае негативного, не проэкспонированная область.
8. Определённые фоторезисты проявляются определённым проявителем и не проявляются другими. Как правило, проявитель разбавляется водой (1:2, 1:4), при этом степень разбавления контролирует скорость проявления, которая так же зависит от полученной фоторезистом дозы при экспонировании.
9. Подчистка в плазме выполняется после каждой фотолитографии для удаления непроявленных остатков фоторезиста.

10. Финальное задубливание проводится, чтобы избежать деформирования резиста при проведении второй фотолитографии и для защиты при гальваническом осаждении.

Этапы технологии воздушных мостов

При создании воздушных мостов проходит несколько фотолитографий. На рис. 4 изображены этапы создания «воздушных мостов».

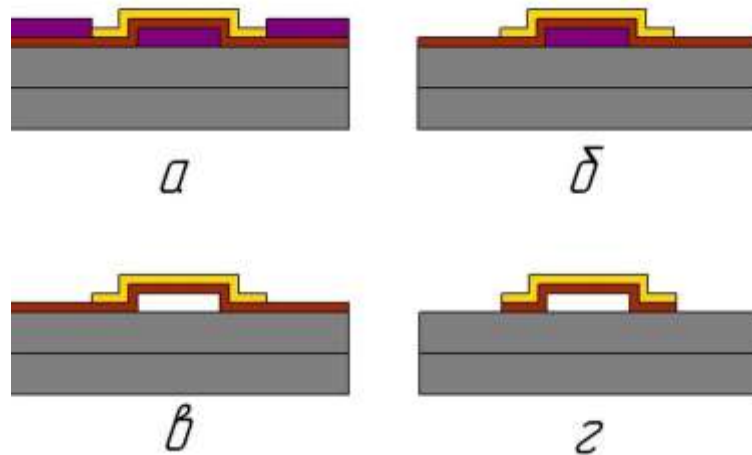


Рис. 4. Этапы создания воздушных мостов

Рассмотрим подробно каждый из этапов:

1. Проведение первой фотолитографии с использованием резиста ФП3515Э на основе нафтохинондиазидов с последующей сушкой на плите.
2. Обработка в кислородно-азотной плазме для удаления остатков резиста после операции фотолитографии.
3. Напыление слоя Ni, Au, Ti.
4. Проведение второй фотолитографии с использованием американского резиста с последующей сушкой в печи 100 °C и 120 °C последовательно.
5. Реактивное ионно-лучевое травление (РИЛТ), при проведении которого материал помещают в вакуумную зону обработки. На поверхность воздействуют только молекулярные или атомные ионы, способные образовывать химически активные частицы при ударной диссоциации или нейтрализации. РИЛТ проводится для подтравливания верхнего слоя Ti.
6. Химическое травление Ti. Травление используется для селективной (химической) прорисовки диффузионных масок, формирования изолирующих или проводящих областей, в процессе которого вещество в области, подвергаемой травлению, химически преобразуется в растворимое или летучее соединение. В литографии травление применяется в основном для формирования диффузионных масок в слое термически окисленного кремния или для удаления материала через окна в диэлектрике при изготовлении металлических контактов. Металлическая разводка формируется путем селективного удаления промежутков (обращения изображения); фотошаблоны также изготавливаются травлением металлических пленок [4].
7. Гальваническое осаждение золота с использованием золотого электролита на основе диацианоаурата калия. Гальваника - процесс получения на поверхности изделия или основы (формы) слоев металлов из растворов их солей под действием постоянного электрического тока.

Суть процесса электроосаждения состоит в том, что изделие, обладающее электрической проводимостью, помещают в токопроводящий раствор, содержащий материал будущего покрытия в виде ионов, а также, возможно в виде незаряженных частиц. Для получения такого раствора, который называют «электролит» или «ванна», в воде растворяют какое-либо химическое соединение данного металла. Покрываемое изделие подключают в качестве катода,

т.е. к отрицательному полюсу источника постоянного тока и включают ток. Изделие обычно подвешивают с помощью специальной подвески на медную штангу, к которой подведен ток. После этого ионы осаждаемого металла, находящиеся в непосредственной близости к поверхности катода, получают с него электроны и превращаются в атомы металла, которые кристаллизуются, образуя покрытие на поверхности [1].

Получаемая новая поверхности остается металлической, т. е. проводящей, и процесс продолжается до тех пор, пока мы не выключим ток или пока в растворе есть ионы никеля. По окончании процесса изделие с покрытием извлекают из раствора, промывают водой и сушат.

Золотые гальванопокрытия относятся к довольно распространенным, что связано как непосредственно с тем, что это драгоценный металл, так и с его важными техническими характеристиками.

8. Удаление резиста в плазме в течение 30 минут.
9. РИЛТ 2 минуты.
10. Химическое травление Ti.
11. РИЛТ золота в течение.
12. Химическое травление Ni азотной кислотой.
13. Удаление резиста в плазме.

Отработка технологии создания воздушных мостов

Отработка технологии производилась на установке совмещения и экспонирования ЭМ-5026 [2].

В основе работы установки лежит принцип совмещения изображений на фотошаблоне и полупроводниковой пластине и переноса изображений с фотошаблона на пластину методами контактного экспонирования без зазора и экспонированием с зазором.

На фотошаблоне имеются прозрачные и непрозрачные элементы, которые по специальным знакам совмещаются с соответствующими элементами на полупроводниковой пластине.

На пластине нанесен слой фоторезиста, который при экспонировании через фотошаблон меняет свои химические свойства под прозрачными и непрозрачными элементами фотошаблона и благодаря этому обеспечивает проведение дальнейших технологических операций.



Рис. 6. Установка совмещения и экспонирования ЭМ-5026

На плите шаблондержателя закреплены две рамки. В правую рамку укладывается фотошаблон, в левую калибрующая пластина толщиной 10 мм. Поворотом рамок вводят в

рабочую зону калибрующую пластину или фотошаблон, которые фиксируются на плите шаблонодержателя вакуумом.

Полупроводниковая пластина устанавливается на рабочий столик, закрепленный на сферической поверхности, и фиксируется вакуумом. Рабочий столик вместе с полупроводниковой пластиной поднимается вверх механизмом вертикальных перемещений до упора в калибрующую пластину, в результате чего происходит выравнивание верхней плоскости полупроводниковой пластины относительно поверхности калибрующей пластины. Затем рабочий столик опускается на установленный зазор. Рамка с калибрующей пластиной на плите шаблонодержателя отводится в сторону, на ее место устанавливается рамка с рабочим фотошаблоном.

Совмещение рисунком фотошаблона и полупроводниковой пластины производится манипулятором совмещения, наблюдение за процессом совмещения производится при помощи микроскопа.

По окончании совмещения микроскоп поворачивают, устанавливая на его место отклоняющее зеркало с конденсором, и производят экспонирование от осветителя лампой ДРКс-500.

Контроль за временем экспонирования осуществляется дозатором световой энергии.

Внешнее управление работой установки и информация о ее состоянии осуществляется с помощью пульта управления.

Для переналадки установки для работы с полупроводниковыми пластинами диаметром 16, 20, 25, 40, 50, 60, 100 мм используют сменные части из компонента ЗИП.

Отработка технологии изготовления воздушных мостов проводилась на подложках диаметром 50 и 100 мм. Основной решаемой в работе задачей была повышение адгезии металлических покрытий к поверхности подложки.

В результате работы разработаны рекомендации по корректировке технологии создания воздушных мостов.

Выводы

1. Оработка технологии воздушных мостов позволила выявить недостаточную адгезию металлической пленки к поверхности подложки.
2. Применение предварительной плазменной очистки позволяет существенно улучшить адгезию металлической пленки к подложке.
3. В результате введенных корректировок в технологию создания “воздушных мостов” удалось получить годную структуру на подложке (рис. 7).

Заключение

В работе проведен анализ технологии контактной и бесконтактной литографии. Для создания воздушных мостов подходит контактная фотолитография, которая может быть проведена на установке совмещения и экспонирования ЭМ-5026.

В работе приведены этапы получения воздушных мостов и подробно рассмотрены этапы фотолитографии.

В ходе отработки технологии был получен ряд годных образцов воздушных мостов с заданными характеристиками (см. рис. 7)

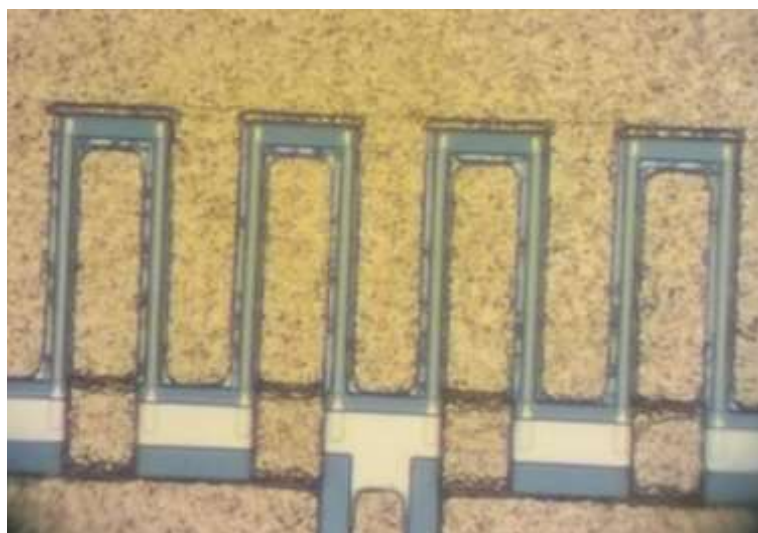


Рис. 7. Воздушный мост, выполненный на пластине диаметром 100 мм из кремния.

Литература

1. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению М.: Техносфера, 2006. - 220 с.
2. Ю. В. Панфилов, В. Т. Рябов, Ю. Б. Цветков Оборудование производства интегральных микросхем и промышленные роботы: учебник для средних специальных заведений по специальности. М.: Радио и связь, 1988 . – 320 с. - ISBN 5-256-00062-4.
3. Б.А. Лапишинов Технология литографических процессов. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. М., 2011.–95 с
4. Жидкостное химическое травление. Информационный ресурс “newreferat” [Электронный ресурс] URL: <http://www.newreferat.com/ref-4949-1.html>