

## 1.17. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ И ЛИТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

**Цель лекции:** изучение литографических процессов.

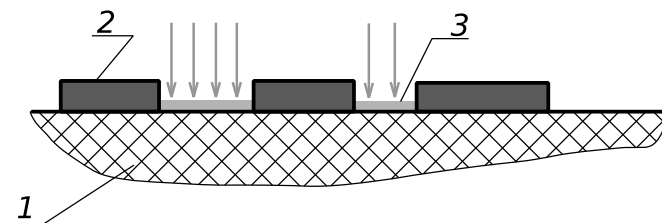
### 1.17.1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ

В данной лекции рассматривается формирование топологических рисунков печатных плат, микросборок, микросхем, наносхем

Литографические процессы позволяют:

- получать на поверхности окисленных полупроводниковых подложек свободные от слоя оксида области, задающие конфигурацию полупроводниковых приборов и элементов ИМС (для локальной диффузии примесей);
- формировать топологический рисунок межсоединений (проводников) элементов Печатных плат и ИМС;
- создавать технологические маски из резистов, обеспечивающие избирательное маскирование при ионном легировании.

Литография применяется, например, при химическом осаждении токопроводящего рисунка на основание печатной платы рис. 1.155.

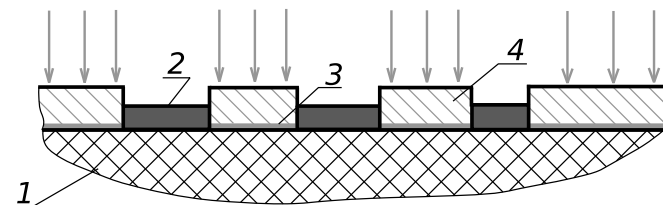


**Рис. 1.155.** Схема химического осаждения

1 – основание (стеклотекстолит); 2 – фоторезистивная маска; 3 – проводящий рисунок

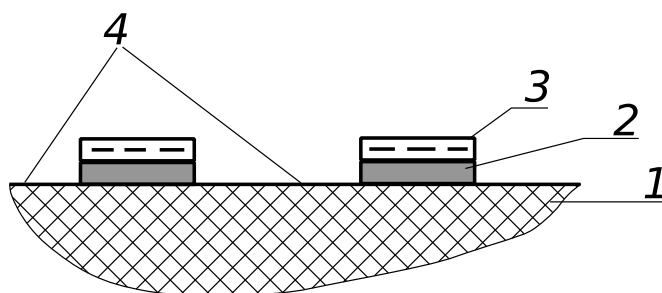
На стеклотекстолитовом основании 1 сначала формируется методом фотолитографии фоторезистивная маска 2, которая защищает те места, куда не надо осажда́ть токопроводящий слой и оставляет на печатной плате открытыми места, где надо осажда́ть токопроводящий слой 3.

После осаждения тонкого слоя токопроводящего рисунка, дальнейшее наращивание токопроводящего слоя может также осуществляться гальваническим способом рис. 1.156.



**Рис. 1.156.** Схема наращивания токопроводящего слоя гальваническим способом  
1 – основание (стеклотекстолит); 2 – фоторезистивная маска; 3 – проводящий рисунок (хим. медь); 4 – гальванически наращенная медь

Литография также применяется и при химическом травлении проводников печатной платы рис.1.157.



**Рис. 1.157.** Схема химического травления проводников печатной платы  
1 – основание (стеклотекстолит); 2 – фольга медная; 3 – фоторезистивная маска; 4 – вытравленные области

Фоторезистивная маска 3, нанесенная на фольгированную поверхность печатной платы, является стойкой к химическому травителю и закрывает те участки фольгированной поверхности печатной платы, которые не подлежат травлению. Таким образом, после травления и удаления фоторезиста, на печатной плате сформирован рисунок проводников.

### 1.17.2. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЛИТОГРАФИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ

Основная задача фотолитографии в микроэлектронике — формирование заданного изображения на полупроводниковой подложке для получения заданной топологии микросхемы.

С этой целью на полупроводниковую подложку наносят тонкий слой светочувствительного материала — фоторезист.

Подложка с фоторезистом подвергается облучению через фотошаблон (маску). Для этого используют специальную установку — фотолитограф. После последующей химической обработки фоторезиста на пластине остается заданный рисунок топологии.

Как известно из физики, чем меньше длина волны излучения, тем меньше можно получить размеры элементов топологии. При изготовлении микросхем операция фотолитографии на одной пластине повторяется многократно, и каждое новое изображение должно очень точно совмещаться с предыдущим.

В производстве микроэлектроники до недавнего времени использовалась, так называемая, проекционная фотолитография. Облучение фоторезиста в которой осуществлялось источником света в ближней ультрафиолетовой области спектра и при этом можно было получить топологические нормы порядка 200 нм.

Следующее поколение фотолитографов позволяет достичь проектных норм до 10 нм и ниже.

Разработку и производство самых современных фотолитографов следующего поколения, так называемых EUV-установок (extreme ultraviolet lithography — экстремальная ультрафиолетовая литография, рассчитанных на достижение проектных норм менее 10 нм, осуществляет в мире только одна компания — голландская ASMLithography.

Очень серьезная проблема при создании установок для EUV-литографии заключается в том, что на такой длине волны невозможно использовать традиционную оптику из-за интенсивного поглощения такого излучения всеми известными оптическими материалами. Поэтому в подобных оптических системах используют отражающую многослойную оптику, то есть зеркала с соответствующим интерференционным покрытием, изготовление которых представляет собой очень сложную технологическую задачу.

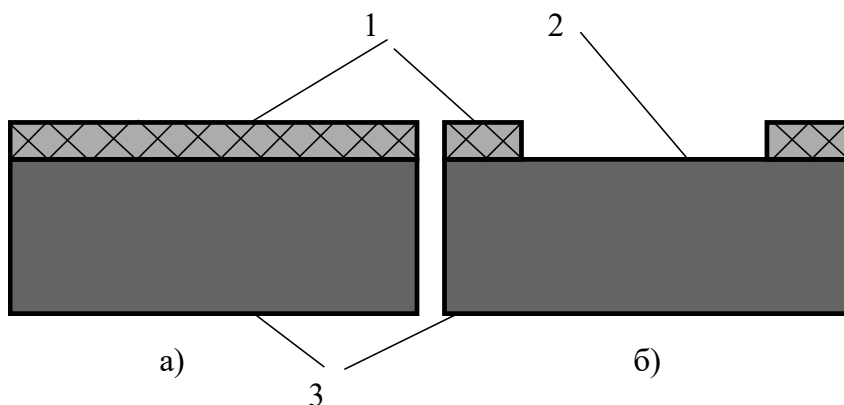
Вторая важная проблема состоит в том, что с уменьшением проектных норм существенно повышаются требования к точности системы позиционирования.

Суммарная стоимость набора фотошаблонов (масок) для производства одного типа микросхем, которые являются важнейшим элементом технологии фотолитографии, может достигать нескольких миллионов долларов, и они требуют периодической замены из-за износа. Общая их стоимость за время

производства данного типа микросхем может достигать многих десятков миллионов долларов.

В России в 2010-е годы была начата разработка такого EUV-фотолитографа. Разработкой его оптической системы, ее элементов и интерференционных покрытий, работающих на длине волны 13,5 нм, и прототипа самой установки занимался Институт физики микроструктур (ИМФ) РАН (теперь это филиал Института прикладной физики РАН — ИПФ) в Нижнем Новгороде. К сожалению, эта разработка отечественного EUV-фотолитографа закончилась на стадии макета.

В производстве полупроводниковых микросхем фотолитографию применяют, например, для формирования окон в защитном слое двуокиси кремния для загонки легирующих примесей рис. 1.158.



**Рис. 1.158.** Схема формирования окон в защитном слое SiO<sub>2</sub>  
а) – до литографии; б) – после литографии  
1 – SiO<sub>2</sub>; 2 – окно; 3 – подложка Si

Процесс фотолитографии состоит из двух основных стадий:

- **формирования необходимого рисунка** элементов в слое актиночувствительного вещества (фоторезиста) его экспонированием и проявлением;
- **травления нижележащего технологического слоя** (диэлектрика, металла) через сформированную топологическую маску или непосредственного использования слоя фоторезиста в качестве топологической маски при ионном легировании.

В зависимости от длины волны используемого излучения применяют следующие методы литографии:

- фотолитографию (длина волны актиничного ультрафиолетового излучения  $\lambda = 250 - 440$  нм);
- рентгенолитографию (длина волны рентгеновского излучения  $\lambda = 0,5 - 2$  нм);

- электролитографию (поток электронов, имеющих энергию 10 - 100 КэВ или длину волны  $\lambda = 0,05$  нм);
- ионолитографию (длина волны излучения ионов  $\lambda = 0,05 - 0,1$  нм).

В зависимости от способа переноса изображения методы литографии могут быть контактными, бесконтактными, проекционными, мультипликации единичного изображения, непосредственной генерации всего изображения

### Схема совмещения и экспонирования

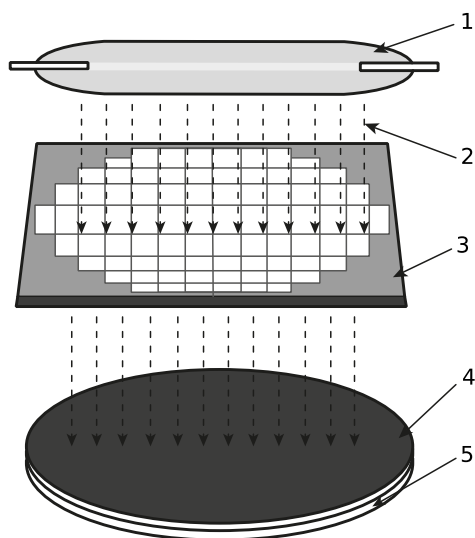
Операции совмещения и экспонирования производятся на одной установке, которая состоит из следующих основных блоков:

- устройства для совмещения, оборудованного микроскопом;
- шаблона;
- устройства для экспонирования.

Для совмещения на шаблоне и пластине формируется система меток, которые и надо совместить. Для этого служит специальное устройство, позволяющее поворачивать друг относительно друга пластину и шаблон и перемещать их в горизонтальной плоскости, в результате чего происходит совмещение меток. Все операции производят под микроскопом.

После совмещения производится экспонирование (облучение).

Экспонирование пленки фоторезиста рис.1.159. является одним из ответственных процессов качественного изготовления фотошаблонов.

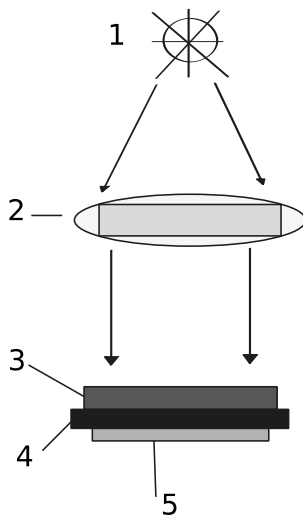


**Рис. 1.159.** Схема экспонирования

1- Источник излучения; 2 – излучение ; 3 – фотошаблон 4 - фоторезист; 5 пластина.

### Контактная фотолитография

При контактной фотолитографии рис. 1.160. достигаются очень высокие значения разрешения. Проблемы, возникающие при контактной фотолитографии, связаны с наличием загрязнений на поверхности полупроводниковой пластины. Малейшая пылинка на пластине может привести к повреждению поверхности шаблона в момент его соприкосновения с пластиной.

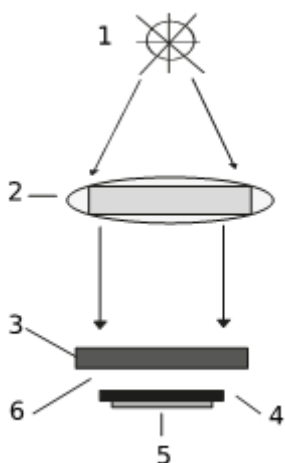


**Рис. 1.160.** Схема контактной фотолитографии

1- источник света; 2- оптическая система; 3- шаблон; 4- фоторезист;  
5- полупроводниковая пластина

### Бесконтактная фотолитография

При бесконтактной фотолитографии рис. 1.161. фотошаблон 3 расположен над фоторезистом 4 с некоторым небольшим зазором 6, благодаря чему исключается возможность царапания или повреждения поверхности фоторезиста.

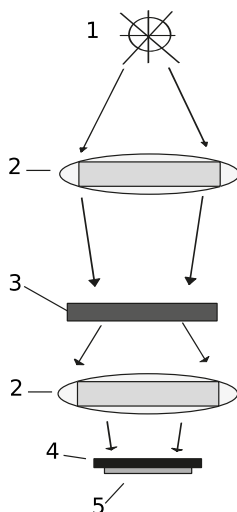


**Рис. 1.161.** Схема бесконтактной фотолитографии

1- источник света; 2- оптическая система; 3- шаблон; 4- фоторезист; 5- кремниевая пластина; 6- зазор

### Проекционная фотолитография

Шаблон содержит топологию одного кристалла большого размера или нескольких кристаллов малых размеров рис.1.162.

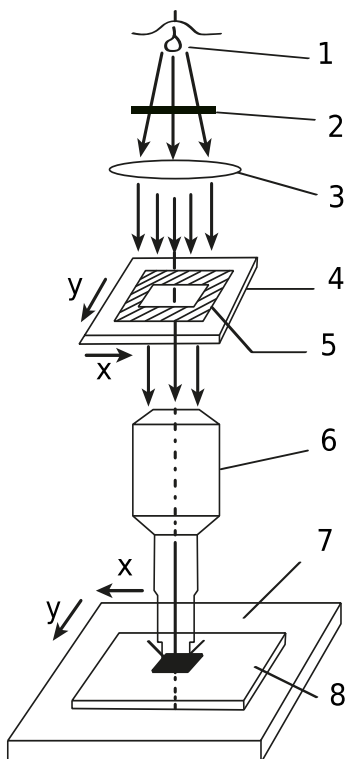


**Рис. 1.162.** Схема проекционной фотолитографии

1- источник света; 2- оптическая система; 3- шаблон, фоторезист; 5- полупроводниковая пластина

### Метод генерации изображений (метод фотонабора)

Метод основан на разделении топологической структуры фотошаблона на элементарные прямоугольники различной величины и последовательной фотопечати этих прямоугольных элементов на фотопластинку рис. 1.163. Работа на фотонаборных установках осуществляется с помощью электронно-вычислительной машины.



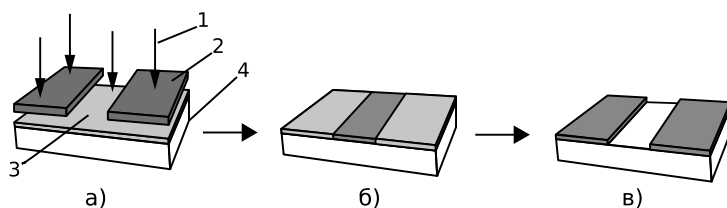
**Рис. 1.163.** Схема метода генерации изображений

1- источник света; 2- затвор; 3- конденсор; 4- блок шторок; 5- неподвижные и подвижные пластины; 6- объектив; 7- подвижный координатный стол; 8- фотопластинка

В зависимости от типа используемого фоторезиста (негативный или позитивный) методы фотолитографии по характеру переноса изображения делятся на Негативные и Позитивные.

Негативные обладают более высокой адгезией по сравнению с позитивными, и более устойчивы к травлению. Позитивные обладают более высоким разрешением нежели негативные, но стоят дороже. При использовании позитивных фоторезистов проэкспонированные области становятся растворимыми и после проявления разрушаются рис. 1.164.



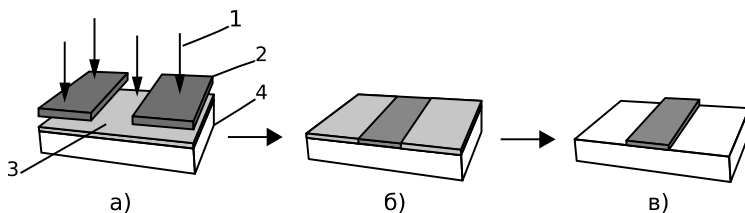


**Рис. 1.164.** Схема использования позитивных фоторезистов

1- излучение, засвечивающее фоторезист; 2 - фотошаблон; 3 - фоторезист; 4 – печатная плата

а) экспонирование; б) фоторезист после экспонирования; в) фоторезист после проявки

При использовании негативных фоторезистов проэкспонированные области полимеризуются и становятся нерастворимыми рис. 1.165.



**Рис. 1.165.** Схема использования негативных фоторезистов


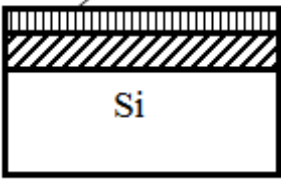
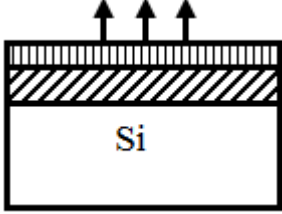
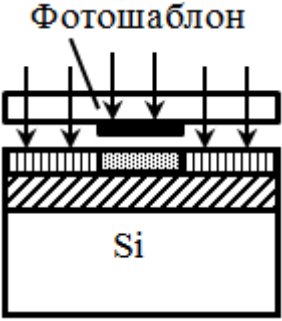
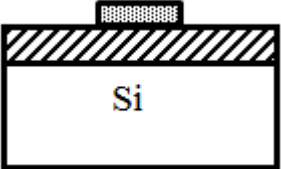
1- излучение, засвечивающее фоторезист; 2 - фотошаблон; 3 - фоторезист; 4 – печатная плата

а) экспонирование; б) фоторезист после экспонирования; в) фоторезист после проявки

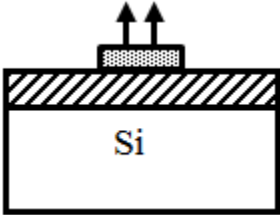
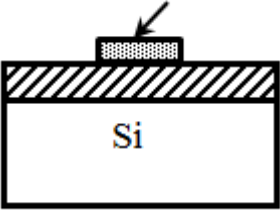
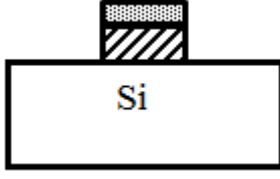
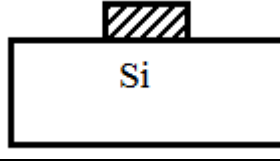
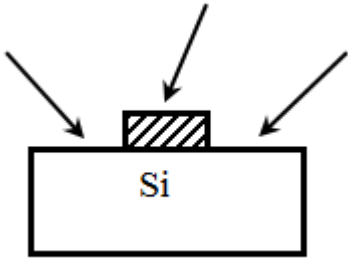
Технологический процесс фотолитографии для кремниевых пластин условно можно разделить на 10 основных шагов таблица 1.21.

Таблица 1.22.

## Основные шаги фотолитографии на кремниевой пластине

№	Наименование	Эскиз
1	2	3
1	Подготовка поверхности (промывка и сушка)	 <p>SiO<sub>2</sub></p> <p>Si</p>
2	Нанесение фоторезиста	 <p>Фоторезист</p> <p>Si</p>
3	Сушка	 <p>Si</p>
4	Совмещение фотошаблона и экспонирование	 <p>Фотошаблон</p> <p>Si</p>
5	Проявление	 <p>Si</p>

Продолжение Таблицы 1.22

1	2	3
6	Стабилизирующий отжиг	
7	Контроль и исправление дефектов	
8	Травление защитного слоя на пластине ( $\text{SiO}_2$ )	
9	Удаление фоторезиста	
10	Заключительный контроль	

### Фоторезисты и их виды

Фоторезисты бывают жидкие (фоторезисты на основе фторированных полимеров и силиконов) – это раствор полимера и светочувствительного соединения в органическом растворителе. Такие фоторезисты имеют разрешение 0,35 - 0,16 мкм. Фоторезисты бывают сухие пленочные – это "сэндвич" из трех слоев полимеров, в середине которого находится светочувствительный

слой. Разрешение таких фоторезистов: 125-250 мкм.

Фоторезист наносят на предварительно подготовленную поверхность подложки.

Слой фоторезиста должен быть однородным по толщине на всей площади подложки, не иметь проколов, царапин, микровключений и обладать хорошей адгезией.

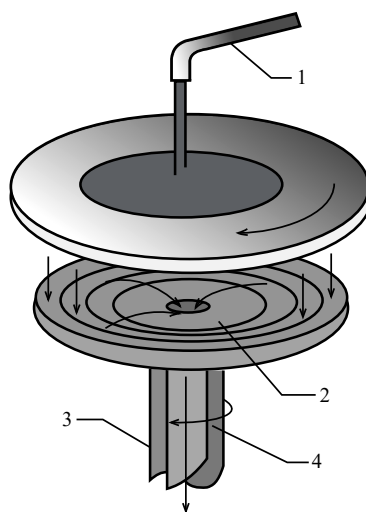
Наносят слой фоторезиста на подложки в обеспыленной комнате, соблюдая технологические режимы

Способы нанесения фоторезиста:

- центрифугированием;
- пульверизацией;
- электростатический;
- окунания;
- полива;
- накатка сухой пленки.

### Метод нанесения центрифугированием

Данный метод широко применяется для нанесения фоторезиста на полупроводниковые пластины рис. 1.166.



**Рис. 1.166.** Схема метода нанесения фоторезиста методом центрифугирования

1- дозатор фоторезиста; 2 – вакуумный столик; 3 – трубка к вакуумному насосу; 4 – вал.

Полупроводниковая подложка фиксируется на вакуумном столике за счет откачки воздуха через трубку 3 рис.1.166. Фоторезист через дозатор 1 дозиру-

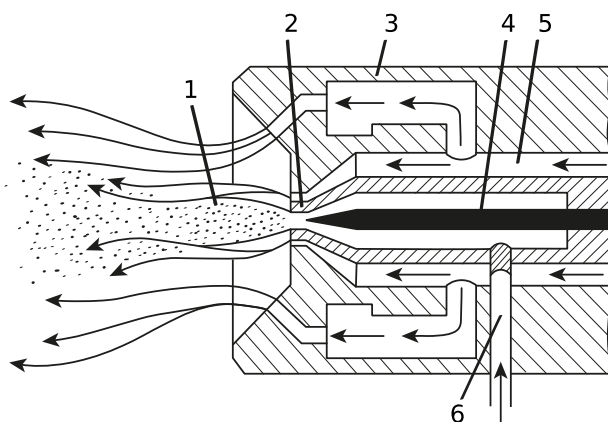
ванно наливается в центр поверхности подложки, закрепленной на центрифуге. Центрифуга приводится во вращение с числом оборотов 2-6 тысяч в минуту. За счет центробежной силы фоторезист растекается по поверхности подложки. Через 10-30 секунд на подложке формируется пленка резиста. Центрифугирование обеспечивает высокую однородность толщины пленки. Поэтому центрифугирование является наиболее распространенной техникой в микроэлектронике.

К недостаткам центрифугирования относятся:

- подложка должна быть симметрична относительно оси вращения, так как несимметричность подложки приводит к возникновению на краях подложки бортиков - утолщений пленки фоторезиста;
- поверхность подложки должна иметь высокую степень гладкости, если подложка имеет развитую текстуру, то подъемы на текстуре могут оказаться непокрытыми фоторезистом.
- большие потери фоторезиста. Для формирования пленки используется всего несколько процентов фоторезиста, остальное количество фоторезиста отбрасывается центрифугой на боковые стенки.

### Метод нанесения пульверизацией

Фоторезист может наноситься на подложку путем распыления тончайших капель через форсунку под давлением азота рис. 1.167. Преимуществом аэрозольного распыления фоторезиста является возможность покрытия поверхности произвольного размера и формы. Аэрозольное распыление позволяет покрыть поверхность практически с любой текстурой.



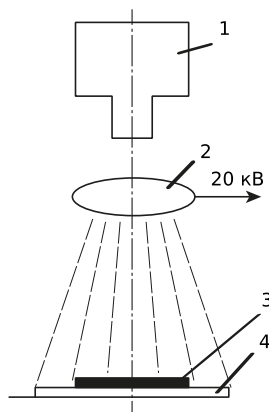
**Рис. 1.167.** Схема форсунки для нанесения фоторезиста

1 – область разрежения; 2 – сопло; 3 – форсунка; 4 – регулирующая игла; 5 – распыляющий газ; 6 – подача фоторезиста

Главным недостатком аэрозольного распыления является относительно высокая неоднородность пленки резиста по толщине слоя. Если при центрифугировании разнотолщинность пленки не превышает 10 нм, то при распылении разнотолщинность слоя достигает 1 мкм. Однако для многих процессов этого достаточно. Например, для изготовления печатных плат вполне достаточна разнотолщинность на уровне 1 мкм. Методом распыления можно нанести фоторезист ФП-РН-7Сэ.

### Нанесение фоторезиста в электростатическом поле

При электростатическом методе рис. 1.168. слой фоторезиста наносят на подложки в электрическом поле напряженностью 1--5 кВ/см. Для создания такого поля между подложкой 3 и специальным кольцевым электродом 2 подают постоянное напряжение 20 кВ. При впрыскивании фоторезиста форсункой 1 в пространство между электродом и подложкой капельки фоторезиста диаметром в несколько микрометров заряжаются и летят под действием электрического поля к подложке.



**Рис. 1.168.** Схема нанесения фоторезиста в электростатическом поле  
1 – форсунка; 2 – кольцевой электрод; 3 – подложка; 4 – столик

Этот метод имеет высокую производительность и позволяет наносить слой фоторезиста на подложки большой площади. Его недостаток - трудность стабилизации процесса и сложность оборудования.

### Нанесение окунанием

Подложка вытягивается с определенной скоростью из резервуара, напол-

ненного фоторезистом. Чем ниже скорость вытягивания, тем меньше толщина пленки. Этот метод является основным в производстве офсетных пластин для полиграфии.

Очевидным преимуществом метода окунания является возможность покрытия фоторезистом поверхностей произвольного размера. Образующаяся пленка является очень гладкой, хотя толщина пленки может меняться существенно по поверхности подложки. Потери резиста являются минимальными (если не учитывать 50% расхода резиста, идущего на покрытие задней стороны подложки).

К недостаткам метода окунания следует отнести необходимость заполнения фоторезистом изначально резервуара достаточно большого объема.

Методом окунания может наноситься фоторезист ФП-ПЛ5и фоторезист ФН-11 С-ФД.

### **Нанесение методом полива**

Полив применяют для нанесения слоя фоторезиста на подложки больших размеров, а также для получения толстых слоев фоторезиста (до 20 мкм) на обеих сторонах подложек. Недостаток этого метода - неоднородность слоя фоторезиста по толщине.

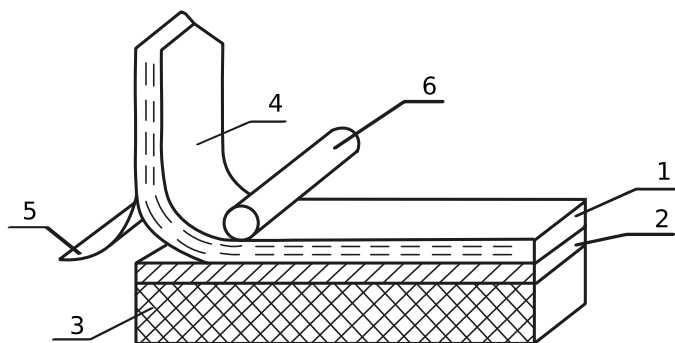
### **Нанесение сухого пленочного фоторезиста**

Сухие пленочные фоторезисты (СПФ) представляют собой трехслойную композицию, в которой первый и третий слои - защитные, а средний слой представляет собой, собственно, фоторезист весьма сложного состава. Основу фоторезиста составляют мономеры с двойными связями, способные к полимеризации под действием света, и полимерные связующие. В состав фоторезиста вводятся также сенсибилизаторы, ингибиторы, адгезивы, красители и пластификаторы. Импортные сорта фоторезиста типа "Ристок" выпускаются в четырех модификациях и имеют толщину 12,5; 25; 37,5 и 62,5 мкм.

Отечественные пленочные фоторезисты марок СПФ-1, СПФ-2, выпускаемые по ТУ6-17-359-77, имеют толщину пленки 20, 40 и 60 мкм. Некоторые свойства СПФ-2 описаны в ГОСТ 23727-79.

Пленочные фоторезисты значительно технологичнее жидких, обеспечивают возможность нанесения рисунка схемы на заготовки с отверстиями, обладают высокой стойкостью к действию травильных растворов и к электролитам гальванических ванн. Их разрешающая способность обеспечивает получение минимальной ширины проводников и зазоров 0,15 мм. Сухие пленочные фоторезисты наносятся на печатные платы посредством прокатывания их горячий валиком через защитную лавсановую пленку в установках-ламинаторах. Температура валиков 100-120 °С. Защитная полиэтиленовая пленка перед этим отделяется, наматывается на вспомогательную бобину.

Схематически операция нанесения фоторезиста марок СПФ представлена на рис.1.169. В том случае, когда СПФ наносится с целью защиты от вытравливания, используют фоторезист толщиной 20 мкм; для гальванических операций применяют пленку толщиной 40-60 мкм.



**Рис. 1.169.**Схема нанесения сухого пленочного фоторезиста на печатную плату  
1 – пленочный фоторезист; 2 – медное покрытие; 3 – диэлектрическое основание;  
4 – лавсановая пленка; 5 – защитная полиэтиленовая пленка; 6 – накатывающий валик

После накатки СПФ платы выдерживают в течение 30 мин при комнатной температуре в помещении с желтым светом для снятия внутренних напряжений в пленке. Экспонирование производят через прозрачную лавсановую пленку так же, как и для жидких фоторезистов, применяя ультрафиолетовый источник света в виде ртутно-кварцевых ламп с диапазоном спектра 300-400 мм. Продолжительность экспонирования определяется опытным путем. Перегрев платы недопустим, так как при этом происходит прилипание защитной лавсановой пленки к фоторезисту. После экспонирования заготовка плат выдерживается в течение 20-30 мин в затемненном месте для того, чтобы завершился процесс полимеризации тех участков фоторезиста, на которые воздействовал свет. Проявление изображения рисунка производится в установках струйного типа действием растворителя метилхлороформа в течение 1-2 мин.

Удаление фоторезиста по окончании операции травления или гальванического покрытия сплавом олово-свинец производят также распылением растворителя хлористого метилена под более сильным давлением (0,3-0,4 МПа). С целью более полного удаления остатков фоторезиста и пленок органических материалов платы дополнительно подвергают струйной промывке водой под давлением 0,2-0,3 МПа.

При обработке СПФ следует иметь в виду, что растворители - метилхлороформ и хлористый метилен - негорючи, но чрезвычайно токсичны. Поэтому все операции, связанные с их применением, должны производиться в хорошо загерметизированных установках, оснащенных вытяжными устройствами.



### 1.17.3. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЛИТОГРАФИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Фотошаблон печатной платы - это графическое позитивное или негативное изображение рисунка печатного монтажа, выполненного в натуральную величину на светопрозрачном основании рис. 1.170.

Фотошаблоны необходимы для создания рисунка проводников, контактных площадок и прочих элементов на печатной плате в соответствии с электрической принципиальной схемой.

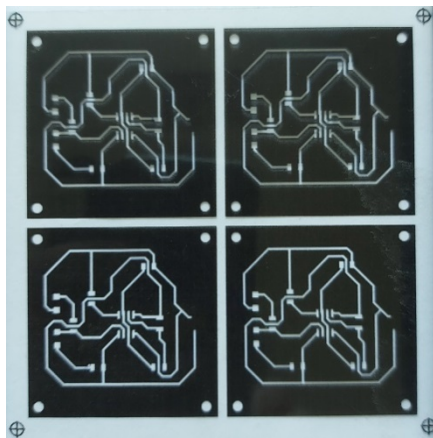


Рис. 1.170. Фотошаблон печатной платы

По назначению они разделяются на контрольные, которые хранятся в специальном помещении как эталоны и рабочие, которые изготавливаются с контрольных методом контактной печати и служат для перенесения имеющегося на них рисунка на плату.

#### Создание фотошаблона

Изготовление печатной платы начинается с изготовления комплекта фотошаблонов от качества и точности которых зависит результат всего производственного цикла, на каждом этапе которого может происходить потеря точности исходного рисунка.

Сначала создается оригинал рисунка всех необходимых элементов печатной платы, выполненный с необходимой точностью в увеличенном заданном масштабе (2:1; 4:1 и др.). Оригиналу рисунка может создаваться вручную на ватмане, картоне, стекле или синтетической пленке или с применением соответствующего программного обеспечения на компьютере с последующим автоматическим переносом на прозрачный носитель.

Оригиналу рисунка печатной платы содержит все проводники и контактные площадки, выполненные в заданном масштабе с соблюдением размеров, расстояний между ними и координат расположения их на печатной плате, а так-

же контур готовой печатной платы, тестовые отверстия, маркировочные знаки и другие элементы, т.е. все элементы печатного монтажа, которые должны быть воспроизведены в виде рисунка из меди или алюминия при изготовлении печатной платы. После изготовления увеличенного в масштабе оригинала рисунка печатной платы его уменьшают до истинных размеров путем фотографирования, за счет чего снижается погрешность оригинала, и эти уменьшенные копии используются в качестве фотошаблона.

Фотошаблон рисунка печатной платы - фотографическое воспроизведение оригинала в масштабе 1:1 на высокостабильной основе - пленке или стекле.

Фотошаблон устанавливают на поверхность печатной платы, на которую предварительно нанесена светочувствительная пленка - фоторезист. Изображение с фотошаблона на печатную плату переносится способом контактной печати экспонированием при помощи ультрафиолетового излучения. На фотошаблоне имеются рабочая зона, технологическое поле и контрольные знаки.

### **Промывка и сушка**

Поверхность, на которую наносится фоторезист, должна быть тщательно очищена от грязи, масел, пыли. Хорошо приспособлены к автоматизации массовые процессы - проявление, промывка, сушка. В последнее время созданы автоматические установки проявления, промывки и сушки, рассчитанные на одновременную обработку 10 и более пластин с фоторезистом.

Экспонированные пластины укладываются оператором рабочей поверхностью вверх в дискообразный держатель. После того как оператор загрузил держатель с пластинами в установку, он включает пусковую кнопку, и дальнейшие операции выполняются автоматически.

### **Проявление и сушка**

В результате проявления происходит удаление ненужных участков слоя фоторезиста, в результате на поверхности подложки остается защитный рельеф требуемой конфигурации.

У негативных фоторезистов проявление является простым удалением неполимеризованных областей (иногда в том же растворителе, какой использовался для приготовления резиста).

У позитивных проявление связано с химической реакцией превращения инден-карбоновых кислот в растворимые соли.

Проявление позитивных слоев - критичный процесс, зависящий от ряда факторов:

- а) тип проявителя (щелочное соединение, добавки и др.) и его концентрация;
- б) время и температура проявления;
- в) дополнительное механическое удаление растворенных участков.

Для проявления позитивных фоторезистов на основе хинондиазидов обычно используют сильно разбавленные водные растворы едкого натра или три-

натрийфосфата. Некоторые фирмы прилагают к фоторезистам специализированные проявители.

Сушка проявленного рельефа отличается от сушки слоя тем, что при ней можно не опасаться теплового сшивания (или разрушения) фоторезиста. Соответственно температура второй сушки задается более высокой - это повышает защитные свойства рельефа.

### Травление печатных плат

В настоящее время травление печатных плат рис. 1.171. в большинстве случаев выполняется с использованием хлорида железа или аммоний персульфата.

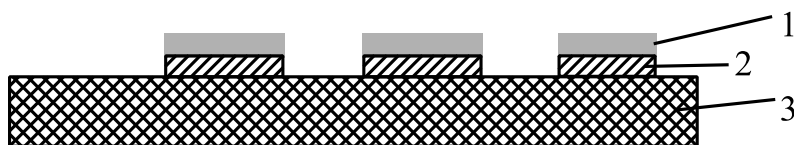


Рис. 1.171. Схема травления печатных плат  
1 – фоторезист; 2 – медь; 3 - стеклотекстолит

### Процесс с хлоридом железа ( $\text{Fe}_3\text{Cl}$ )

Процесс травления в этом растворе продолжается от 30 до 60 минут.

Недостатки процесса: образование отходов, низкая скорость травления, существенное изменение скорости травления от изменения концентрации травителя.

Процесс с аммоний персульфатом ( $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ):

Время травления около 10 мин

Недостаток: раствор должен быть нагрет и перемешиваться.

Современная методика (200мл соляной кислоты ( $\text{HCl}$  35%), 30мл перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$  30%), 770мл воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

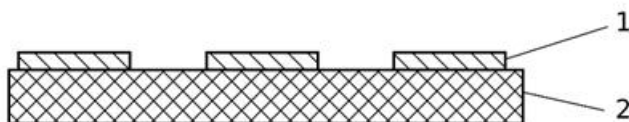
Преимущества

высокая скорость травления, сравнительная химическая безопасность

### Удаление фоторезиста

Остатки фоторезиста должны быть удалены после процесса травления рис. 1.172.

Это может быть выполнено органическими растворителями, например, ацетоном.



**Рис. 1.172.** Печатная плата после удаления фоторезиста

1 – медь; 2 - стеклотекстолит

После изготовления высококлассного рельефного, литографического изображения, в особенности печатной платы, ее необходимо защитить от влияния окружающей среды. Безотказность печатной платы во многом определяется защитой платы от процессов окисления.

### ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ

Вопрос 1	Что такое фоторезист?
Ответы:	
1	Это тонкий слой светочувствительного материала
2	Это фотография топологии микросхемы
3	Это фотография резисторов
Вопрос 2	Какой фоторезист называется позитивным?
Ответы:	
1	Фоторезист, у которого проэкспонированные области становятся растворимыми и после проявления разрушаются
2	Это положительный фоторезист
3	Это фоторезист, у которого проэкспонированные области становятся нерастворимыми после проявления
Вопрос 3	Какой фоторезист называется негативным?
Ответы:	
1	Фоторезист, у которого проэкспонированные области образуют защищенные участки и не разрушаются при проявлении
2	Это отрицательный фоторезист
3	Фоторезист, у которого проэкспонированные области после проявления разрушаются
Вопрос 4	Выберите правильный вариант нанесения фоторезиста на полупроводниковую пластину
Ответы:	
1	Нанесение центрифугированием
2	Нанесение кистью
3	Нанесение валиком

Вопрос 5	Что из себя представляет фотошаблон печатной платы?
Ответы:	
1	Фотошаблон печатной платы - это графическое позитивное или негативное изображение рисунка печатного монтажа, выполненного в натуральную величину на светопропускаемом основании
2	Фотошаблон печатной платы – это изображение рисунка печатного монтажа, выполненного на бумажном или другом непрозрачном носителе в натуральную величину
3	Фотошаблон печатной платы – это изображение рисунка печатного монтажа, выполненного на компьютере с использованием соответствующего программного обеспечения
Вопрос 6	Какие травители применяют для травления печатных плат?
Ответы:	
1	Хлорид железа или персульфат аммония
2	Серная или соляная кислота
3	Хлорид натрия или хлорид калия