

# ЛЕКЦИЯ 4

Основы литографических  
процессов.  
Фотолитография.



# ТИПЫ ЛИТОГРАФИИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ



Фотолитография (ФЛ) – это совокупность фотохимических процессов, в которых можно выделить **три основных этапа**:

- формирование на поверхности слоя резиста;
- передача изображения с шаблона на этот слой;
- формирование конфигурации элементов устройств с помощью маски из фоторезиста.

Фотолитография может быть *контактной* (шаблон при переносе изображения приводится в полный контакт с фоторезистом (ФР)) и *бесконтактной* ( на микрозазоре либо проекционная ФЛ).

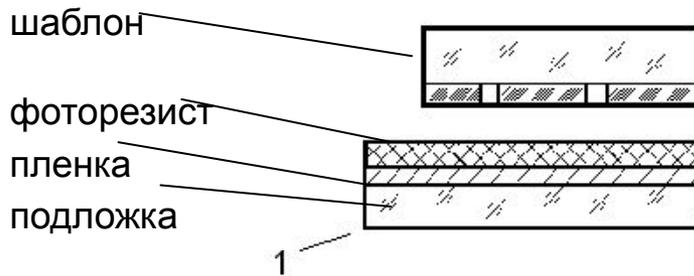
# ТИПЫ ЛИТОГРАФИИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ



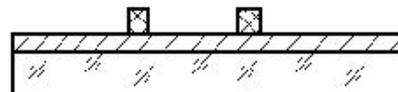
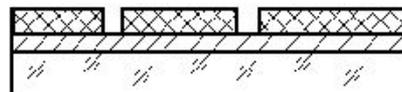
Тип литографии	Источник воздействия на резист	Пространственное разрешение
Фотолитография	Ультрафиолет	0,35 – 2 мкм
Электронолитография сканирующая	электроны $\lambda \approx 1$ нм ( $U_{\text{уск}} = 15$ кВ)	3 нм
Электронолитография проекционная	электроны $U_{\text{уск}} = 20$ кВ	0,1 мкм
Рентгенолитография	$\lambda \approx 0,4 - 1,3$ нм	0,5 – 1,0 мкм
Рентгенолитография синхротронная	$\lambda \approx 1,3 - 2,5$ нм	0,05 – 0,5 мкм
Ионная литография	Протоны $E = 150 - 250$ кэВ	0,04 – 0,1 мкм
Лазерная литография	УФ, оптика	0,35 – 2 мкм



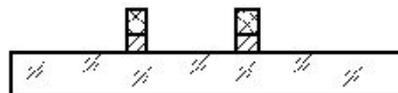
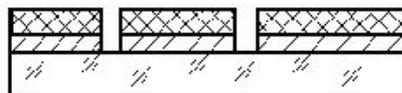
# ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ



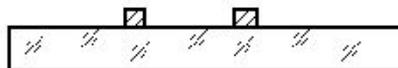
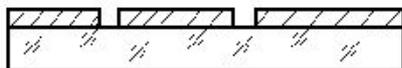
Травление  
резиста



Травление  
пленки



Удаление  
резиста

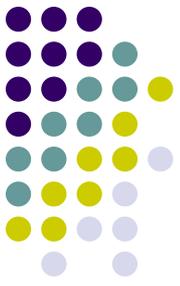


(после экспонирования  
растворимость резиста  
увеличивается)

(после экспонирования  
растворимость резиста  
уменьшается)

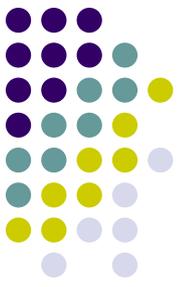
ПОЗИТИВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

НЕГАТИВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ



# ФОТОЛИТОГРАФИЯ

- 1) нанесение фоторезиста на металл, диэлектрик или полупроводник методами центрифугирования, напыления или возгонки;
- 2) сушка фоторезиста при 90-110 °С для улучшения его адгезии к подложке;
- 3) экспонирование фоторезиста видимым или УФ излучением через фотошаблон (стекло, кварц и др.) с заданным рисунком для формирования скрытого изображения; осуществляется с помощью ртутных ламп (при контактном способе экспонирования) или лазеров (гл. обр. при проекционном способе);
- 4) проявление (визуализацию) скрытого изображения Путем удаления фоторезиста с облученного (позитивное изображение) или необлученного (негативное) участка слоя вымыванием водно-щелочными и органическими растворителями либо возгонкой в плазме высокочастотного разряда;
- 5) термическая обработка (дублирование) полученного рельефного покрытия (маски) при 100-200 °С для увеличения его стойкости при травлении;
- 6) травление участков свободной поверхности травителями кислотного типа (напр., на основе HF, NH<sub>4</sub>F или CH<sub>3</sub>COOH) или сухими методами (напр., галогенсодержащей плазмой);
- 7) удаление маски растворителями или выжиганием кислородной плазмой. Масштаб передачи рисунка фотошаблона обычно 1:1 или 5:1 и 10:1 (при проекционном способе экспонирования).



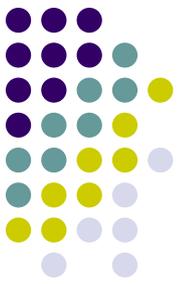
# ФОТОРЕЗИСТЫ

**ФОТОРЕЗИСТЫ**, светочувствительные материалы, применяемые в фотолитографии для формирования рельефного покрытия заданной конфигурации и защиты нижележащей поверхности от воздействия травителей.

Фоторезисты обычно представляют собой композиции из светочувствительных органических веществ, пленкообразователей (феноло-формальдегидные и др. смолы), органических растворителей и специальных добавок.

Характеризуют Ф. светочувствительностью, контрастностью, разрешающей способностью и теплоустойчивостью.

Область спектральной чувствительности Ф. определяется наличием в светочувствительных органических веществах хромофорных групп способных к фотохимическим превращениям, и областью пропускания пленкообразователя.



# ФОТОРЕЗИСТЫ

По спектральной чувствительности различают фоторезисты для видимой области спектра, ближнего (320-450 нм) и дальнего (180-320 нм) УФ излучения, по характеру взаимодействия с излучением делят на **позитивные и негативные**.

Фоторезисты могут быть жидкими, сухими и пленочными. Жидкие фоторезисты содержат 60-90% по массе органического растворителя, пленочные - менее 20%, сухие обычно состоят только из светочувствительного вещества. Жидкие фоторезисты наносят на подложку **центрифугированием, напылением или накаткой валиком**, сухие - **напылением и возгонкой**, пленочные - **накаткой**. Последние имеют вид пленки, защищенной с двух сторон тонким слоем светопроницаемого полимера, например, полиэтилена.

В зависимости от метода нанесения формируют слои толщиной 0,1-10 нм; наиб. тонкие слои (0,3-3,0 мкм) формируют из жидких фоторезистов методом центрифугирования или из сухих фоторезистов методом возгонки.

# ФОТОРЕЗИСТЫ



При экспонировании в слое фоторезиста образуется **скрытое изображение**.

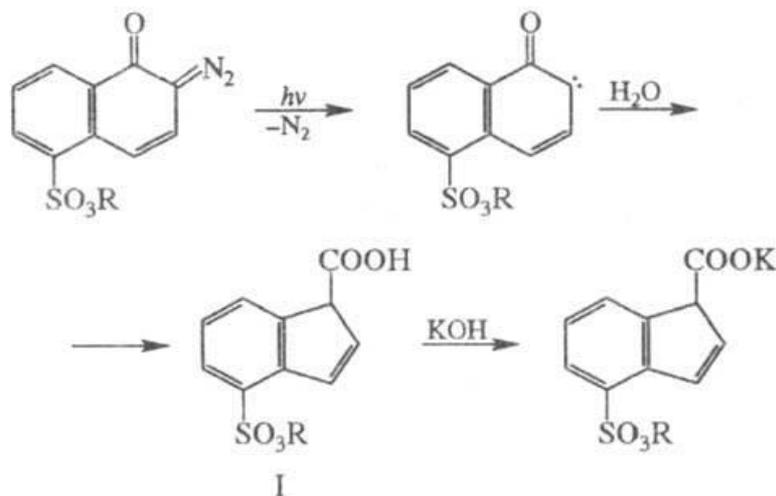
При этом светочувствительных компонент претерпевает ряд фотохимических превращений, например, подвергается фотополимеризации или структурированию либо разлагается с выделением газообразных продуктов;

в зависимости от этого светочувствительное вещество закрепляется (сшивается) на экспонированных участках и не удаляется при дальнейшем проявлении (визуализации) под действием органических или водно-щелочных растворителей или плазмы (**негативные фоторезисты**) либо переходит в растворимое состояние и легко удаляется с экспонированных участков при проявлении (**позитивные фоторезистыФ.**).



# ПОЗИТИВНЫЕ ФОТОРЕЗИСТЫ

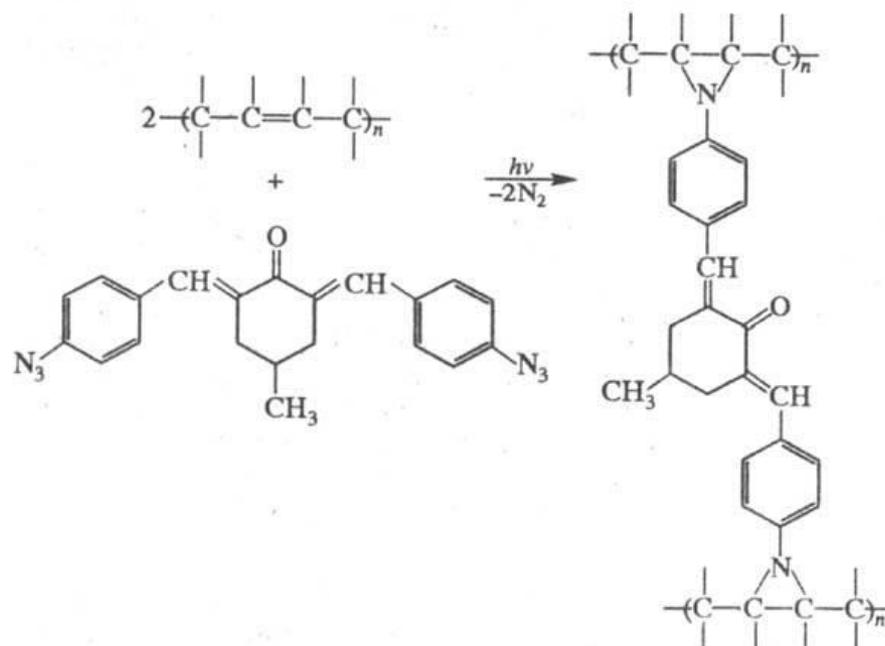
Из позитивных фоторезистов наиболее распространены композиции, содержащие в качестве светочувствительного компонента сульфо-эфиры о-нафгохинондиазида (5-40% по массе), а в качестве пленкообразователя – нолачные смолы (до 50%). При экспонировании сульфоэфир переходит в сульфопроизводное инденкарбоновой кислоты и при проявлении под действием водно-щелочного растворителя удаляется с экспонированных участков поверхности вместе со смолой:

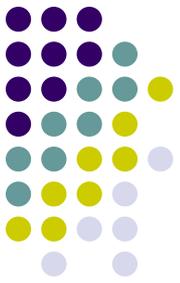




# НЕГАТИВНЫЕ ФОТОРЕЗИСТЫ

Среди негативных фоторезистов наиб. распространены композиции на основе циклолефиновых каучуков с диазидами в качестве сшивающих агентов, а также сенсibilизированные поливиниловый спирт, поливинилциннамат и др. Схема превращения негативного фоторезиста основе каучука и диазида представлена реакцией





# ФОТОРЕЗИСТЫ

**Позитивные фоторезисты** чувствительны к экспозиции 10-250 мДж/см<sup>2</sup>, имеют разрешающую способность 0,1-2,0 мкм, контрастность 1,5-5, теплостойкость 120-140 °С;

**Негативные фоторезисты**, как правило, более чувствительны, но имеют худшую разрешающую способность.

# РЕЗИСТЫ ДЛЯ ДРУГИХ ТИПОВ ВОЗДЕЙСТВИЙ



Для получения защитных покрытий заданной конфигурации помимо Ф. используют материалы, чувствительные к воздействию

- пучка электронов с энергией 5-50 кэВ (электронорезисты)
- рентгеновского излучения с 0,2-0,5 нм (рентгенорезисты)
- ионов легких элементов (напр., Н<sup>+</sup>, Не<sup>+</sup>, О<sup>+</sup>, Аг<sup>+</sup>) с энергией более 50 кэВ (ионорезисты).

В качестве наиболее важных позитивных электроно-, рентгено- и ионорезистов применяют композиции на основе производных полиметакрилатов (например, галоген-, циано- и амидозамещенных), поли-алкиленкетонов и полиолефинсульфононов, в качестве негативных - гомо- и сополимеры производных метакрилата, бутадиена, изопрена, стирола, кремнийорганических соединений и др.