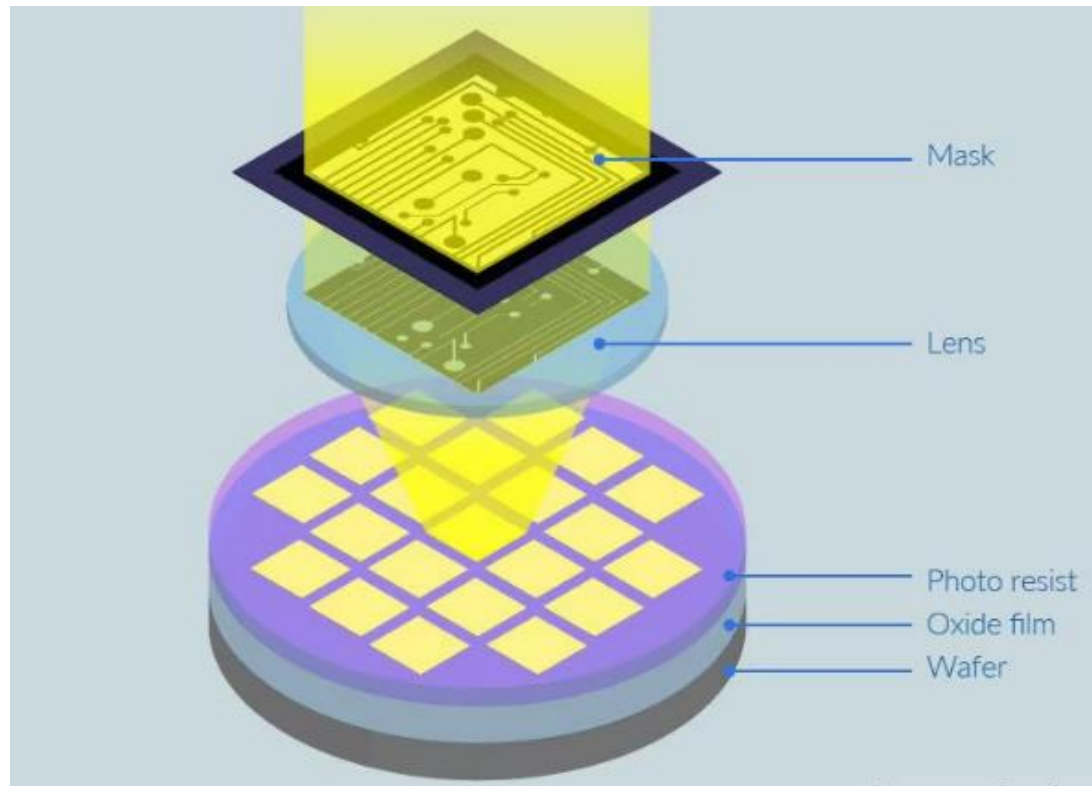




## 재료공학기초실험 수업 자료 (박막재료의 특성)

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei Univ  
Center for Nanomedicine, Institute for Basic Science (IBS), Yonsei-IBS Institute

# 포토 리소그래피 (Photo-lithography)



빛 + 기판 인쇄

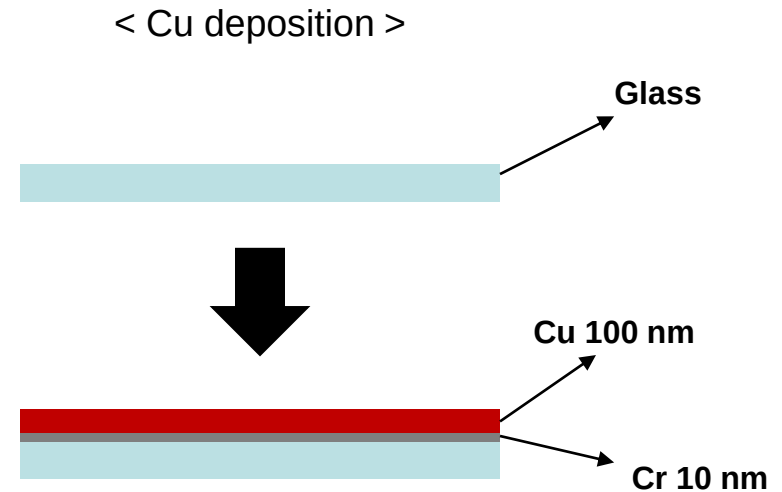
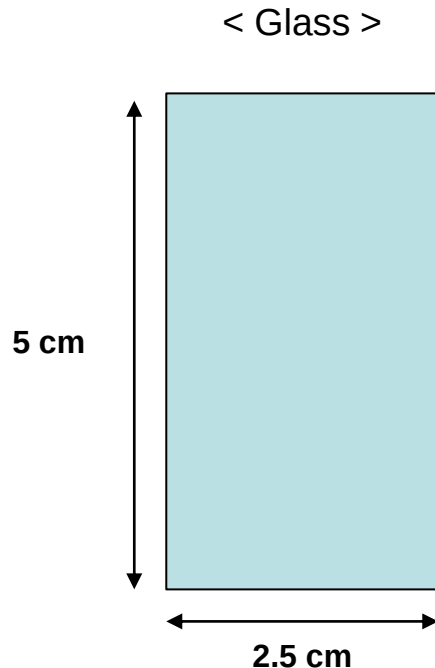
# Photo-lithography

: 빛을 사용해 기판 위에 사진을 찍듯이 패턴을 새기는 과정

# Photo-lithography process



# 1. 기판 (Substrate) 준비 & 2. Cu 증착 (Deposition)



- 유리기판을 크기에 맞게 잘라 준비함.
- 표면에 불순물을 제거하기 위해 Acetone, IPA, DI water 에 각각 5분씩 rinsing 함.
- Thermal evaporator 장비를 사용하여 유리기판 위에 Cr 10 nm, Cu 100nm 를 증착함.
- Cr 은 Cu 와 유리기판 사이의 증착력 (adhesion) 을 높여주기 위해 사용함.

### 3. PR 도포 (Coating)

## Photoresist (PR)

: 빛에 반응(감광)해 특성이 변하는 화학물질

### PR 의 3가지 구성요소

#### 1. Solvent

: PR 을 안전하게 보관하고,  
고체인 Resin 과 PAC 를  
용해시켜 spin coating 을  
용이하게 도와주는 역할

#### 2. Resin

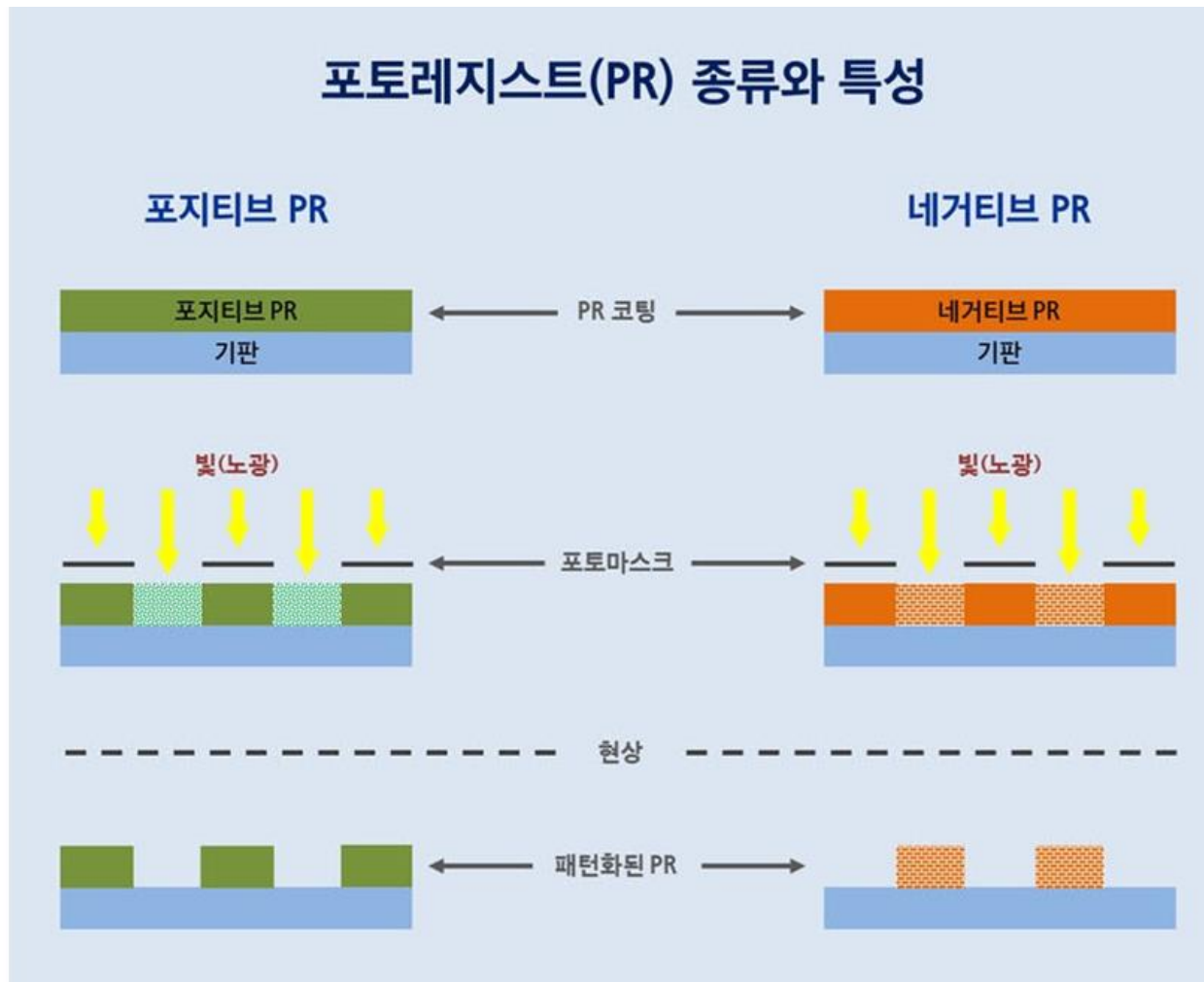
: Polymer 의 결합으로  
이루어진 물질

#### 3. PAC (Photoactive compound)

: 빛을 받아 Resin 과 반응하는  
역할을 함.

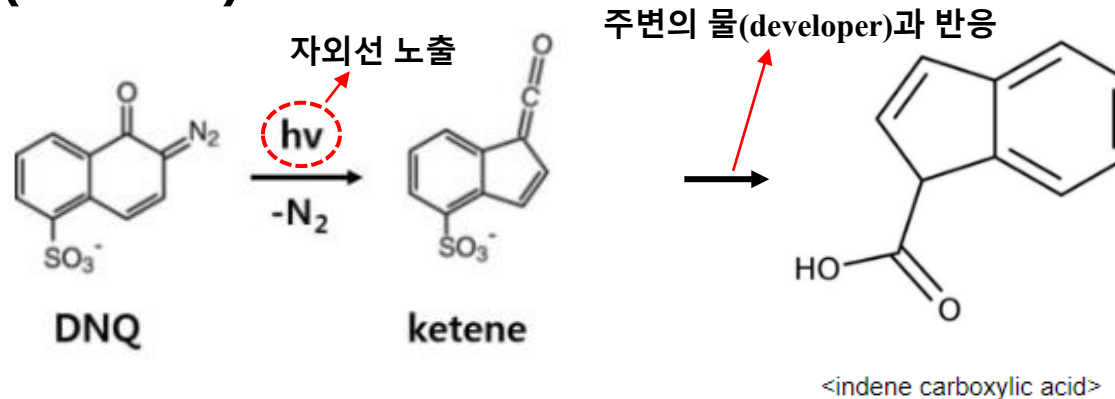


## 포토리지스트(PR) 종류와 특성



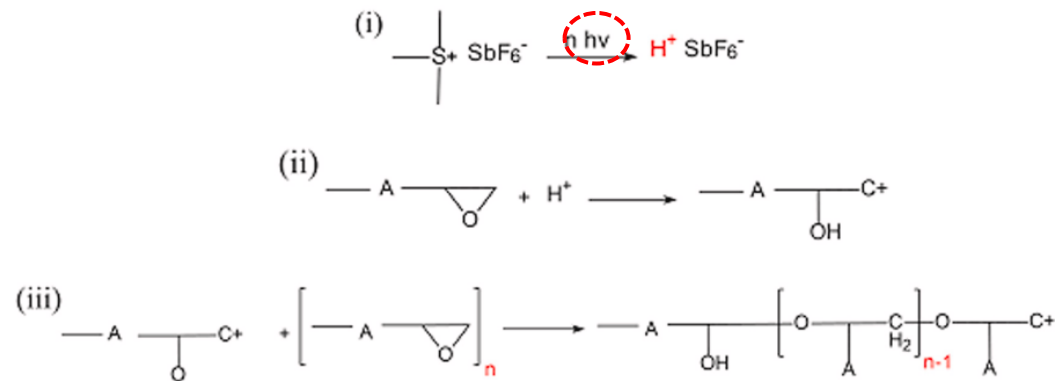
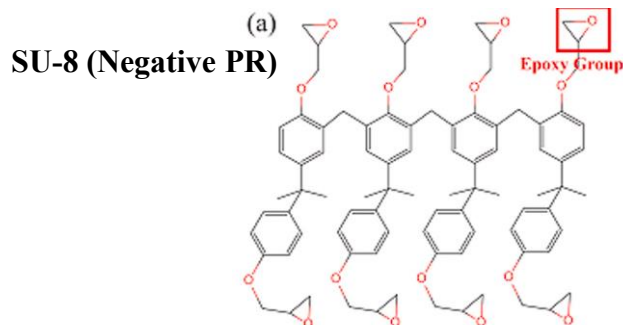
- 포지티브 (positive) PR 은 빛을 받은 부분이 현상액에 용해되며, 네거티브 (negative) PR 은 반대로 빛을 받지 않은 부분이 용해됨. -> 필요에 따라 선택적으로 사용됨.

## 1. 포지티브 (Positive) PR



- 최종적으로 염기 가용성인 인덴 카르복시산 (indene carboxylic acid) 이 형성됨.
- 따라서, 자외선에 노출된 영역은 염기성인 현상액 (developer) 에 용해됨.

## 2. 네거티브 (Negative) PR

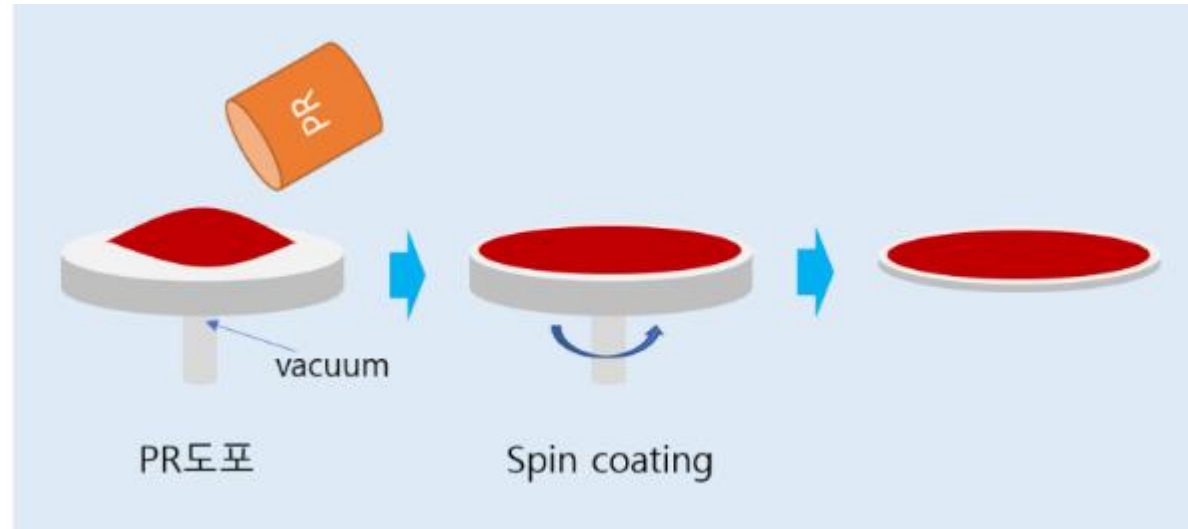


- 자외선을 받으면 긴 분자사슬이 교차로 가교 (crosslinking) 되어 중합체를 형성함.
- 따라서, 자외선에 노출된 영역이 결합력이 강해서 현상액에 용해되지 않음.

## < Spin coater >



## < Spin coating process >



- 필요한 두께로 일정하게 PR 을 coating 하기 위해 spin coater 를 사용함.
- Coating 되는 PR 의 두께는 PR 의 점도 (viscosity) 와 분당 회전수 (revolutions per minute, RPM) 에 따라 결정됨.
- 점도가 낮을수록, 분당 회전수가 높을수록 PR 의 두께는 얇아짐.

< Hot plate 1 >



< Hot plate 2 >

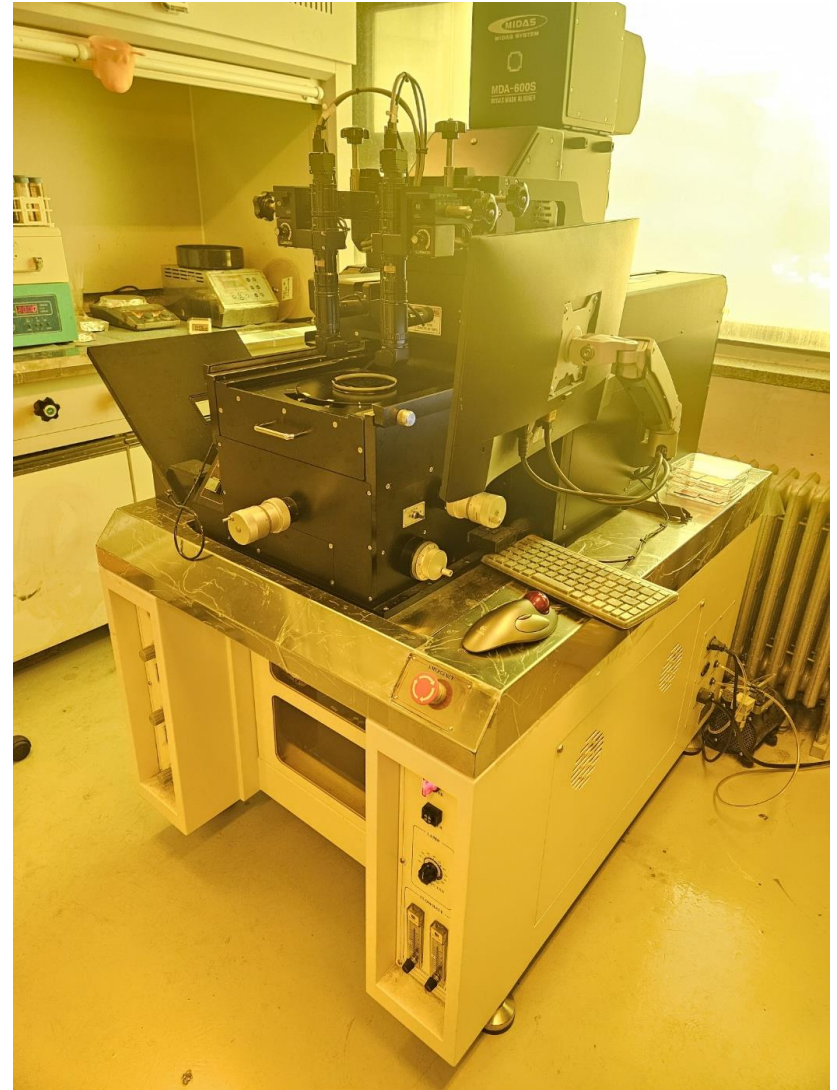
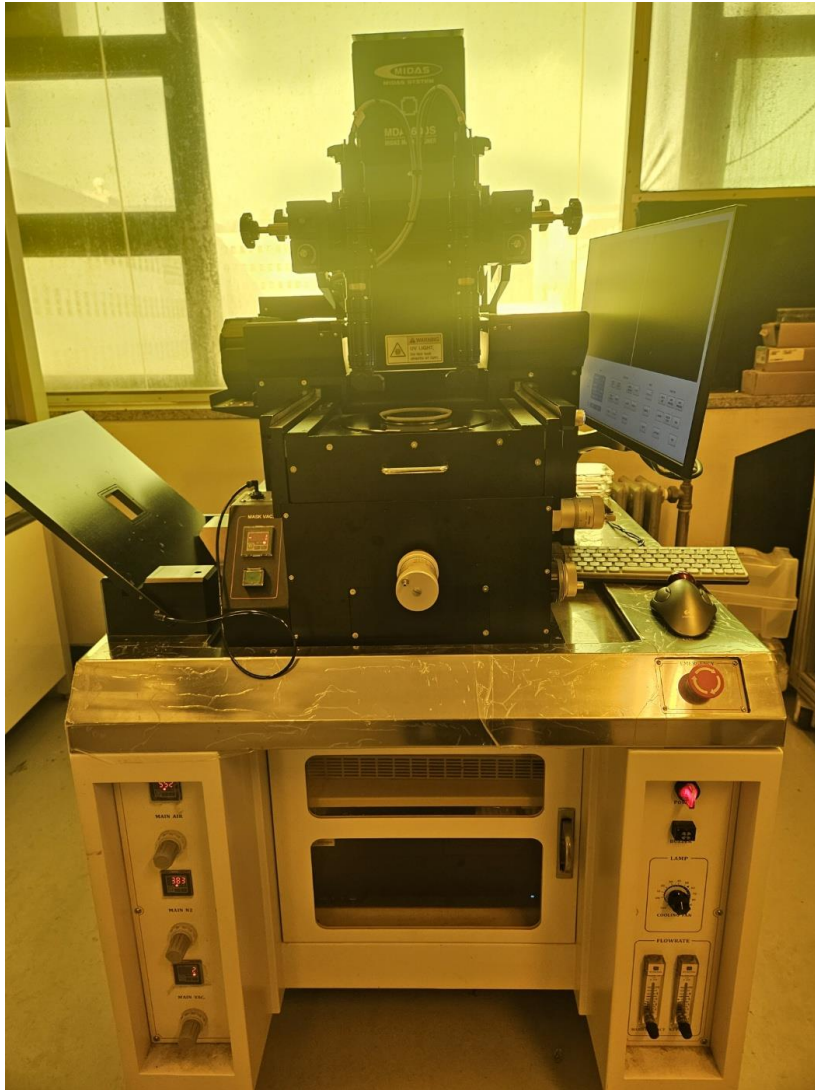


- PR coating 후 hot plate 로 특정 온도를 설정하여 soft baking 을 진행함.
- Soft baking 은 PR 의 잔여 solvent 를 제거하고, 기판과의 결합력 (adhesion) 을 향상시켜줌.

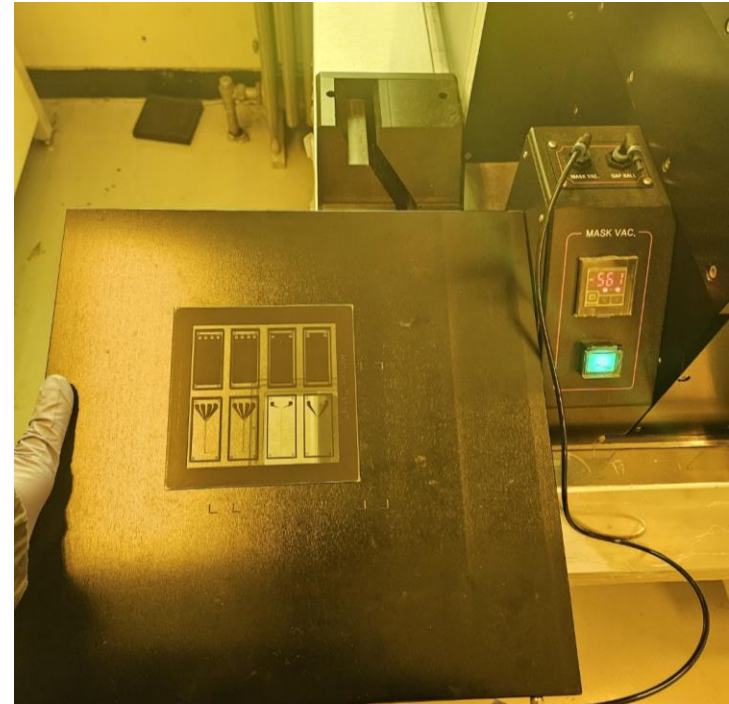


## 4. 노광 (Exposure)

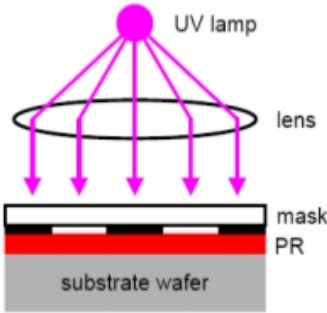
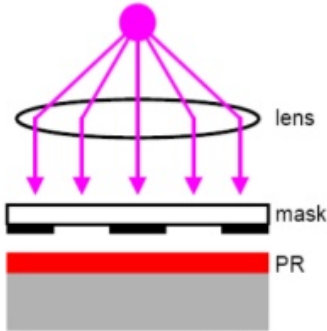
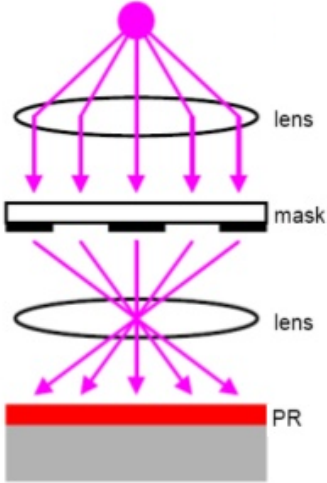




## < Align mask >



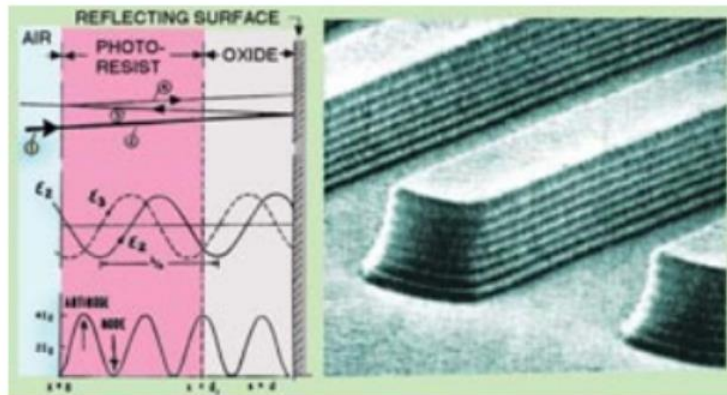
- Align mask 로 설계된 패턴에만 자외선에 노출시켜 patterning 을 진행함.
- 노광 (Exposure) 을 해주기 전에 설계된 패턴을 정확한 위치에 형성하기 위해 정렬 (Align) 해줌.
- Align mask 의 align mark 를 사용하여 정확하게 정렬할 수 있음.

| Contact Aligner                                                                                                                                                                  | Proximity Aligner                                                                                                                             | Projection Aligner                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>CONTACT ALIGNER</p>  <p>UV lamp</p> <p>lens</p> <p>mask</p> <p>PR</p> <p>substrate wafer</p> | <p>PROXIMITY ALIGNER</p>  <p>lens</p> <p>mask</p> <p>PR</p> | <p>PROJECTION ALIGNER</p>  <p>lens</p> <p>mask</p> <p>lens</p> <p>PR</p> |
| PR과 마스크를 붙인 후 노광을 하는 방법                                                                                                                                                          | PR과 마스크를 살짝 뗀 후 노광을 하는 방법                                                                                                                     | PR과 마스크 사이에 다른 렌즈를 넣어 회절된 빛을 모은 후 노광하는 방법                                                                                                                   |
| PR과 마스크가 붙어있기 때문에 회절이 적어 작은 패턴을 구성할 수 있다                                                                                                                                         | PR과 마스크가 닿지 않기 때문에 오래 사용할 수 있다                                                                                                                | 빛을 모아 노광을 하기 때문에 작은 패턴을 구현할 수 있다                                                                                                                            |
| PR과 마스크가 붙었다 떨어졌다는 반복하기 때문에 마스크 교체를 자주 해야 하며 Defect가 발생할 수 있다.                                                                                                                   | PR과 마스크가 살짝 떨어져 있기 때문에 회절이 발생하여 정확한 패턴 구성이 힘들다                                                                                                |                                                                                                                                                             |



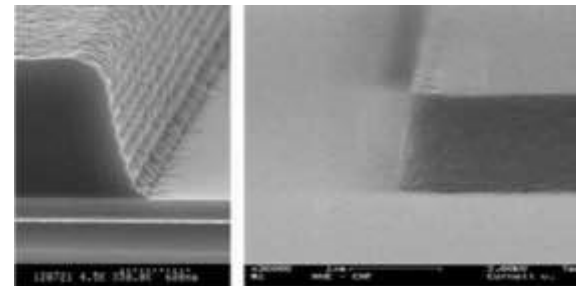


## 5. 현상 (Development)

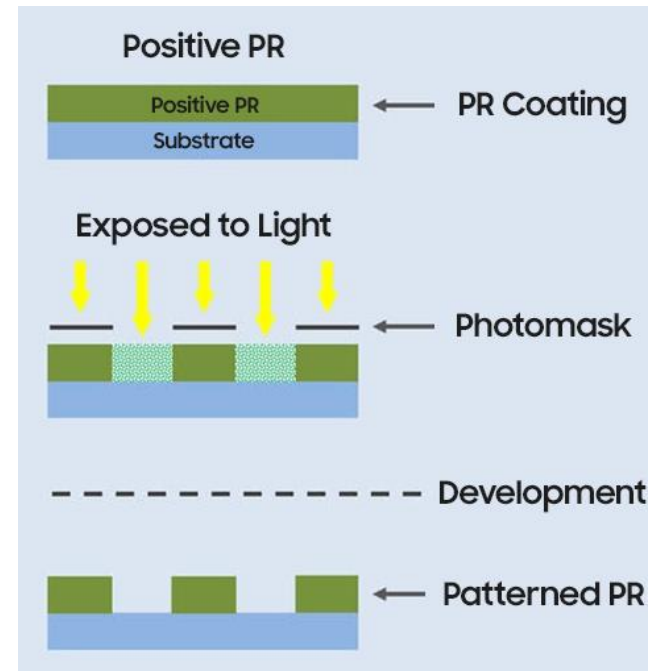
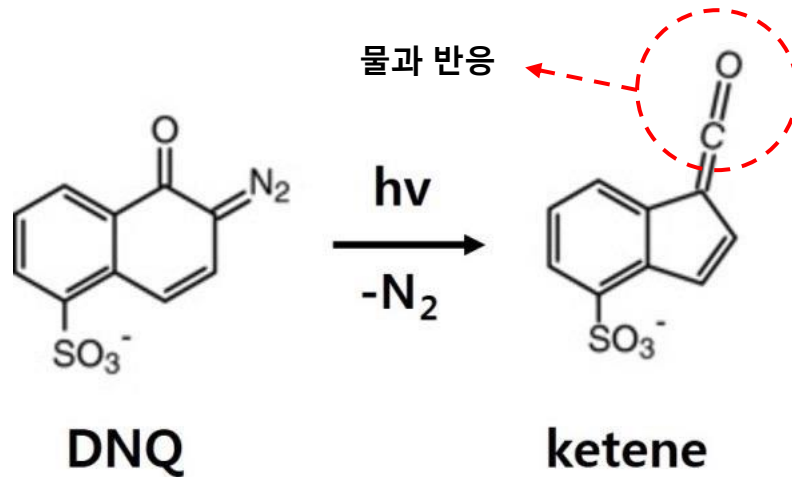


**Standing-Waves in PR-film caused by Light-Interference Effects**

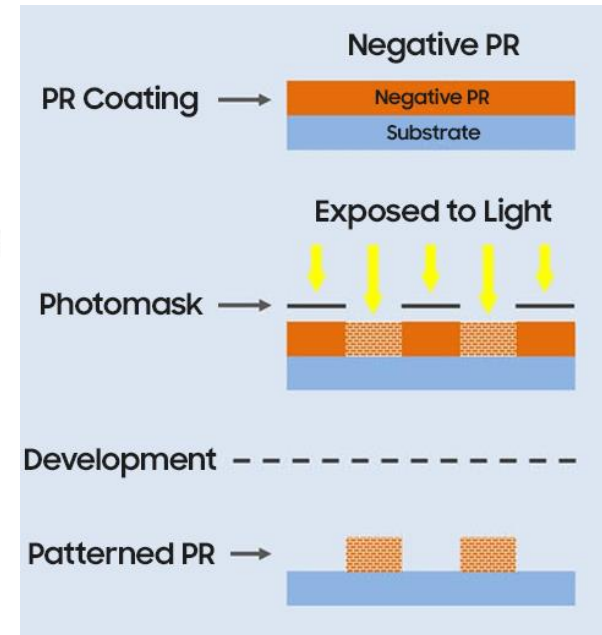
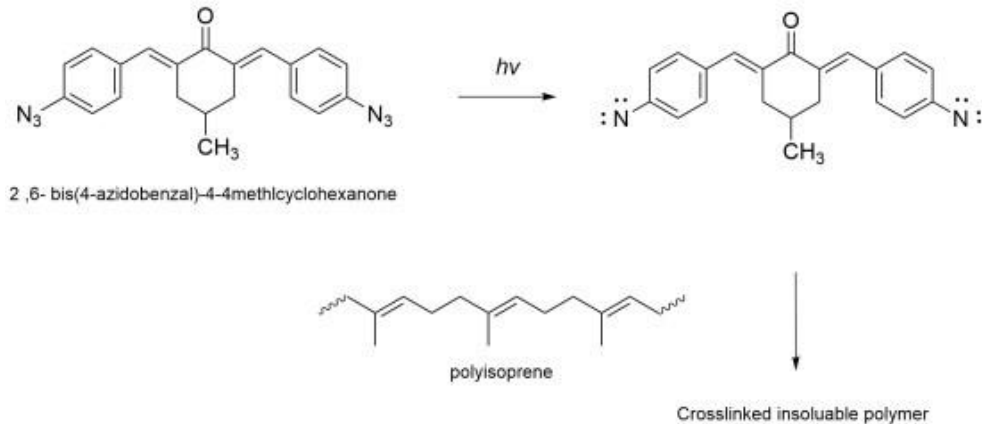
**Before & After PEB**



- 노광시 입사광과 반사광이 서로 결합하여 정상파를 형성, 이로 인해 PR 에 도달하는 빛의 양이 불균일하게 됨. 때문에 PR 성분에서 PAC (Photo Active Compound) 또는 PAG (Photo Acid Generator) 에서 발생한 acid 농도의 불균일이 발생하고, 불균일한 감광 profile 이 형성됨.
- 이를 개선하기 위해 Post Exposure Bake (PEB) 를 진행하여 profile 을 평탄화함.
- Soft bake 가 PR 의 휘발성 물질을 제거해주기 위함이라면, Post Exposure Bake (PEB) 는 빛을 받은 부분과 받지 않은 부분의 selectivity 를 향상시키기 위해서 진행함.

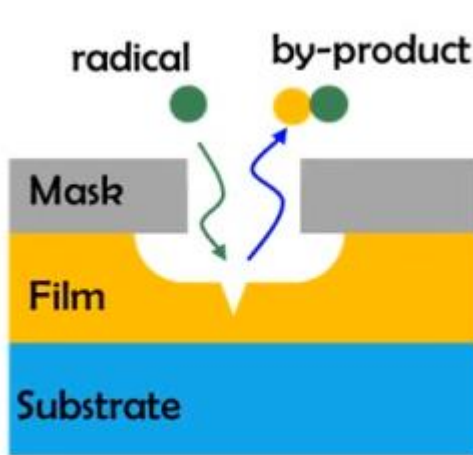


- Positive PR 의 경우, PAC 물질로 Diazonaphthaquinone Compound (DNQ) 를 사용함. DNQ 는 자외선을 받지 않은 영역의 polymer 를 염기성 현상액에 녹지 않게 함. 반면 자외선에 노출된 DNQ 는 ketene 을 형성하여 극성인 환경을 만듦.
- Ketene 은 주변의 물과 반응해 carboxylic acid 로 변환되어 염기성 현상액에 잘 용해되어, 자외선에 노출된 영역이 용해되게 됨.

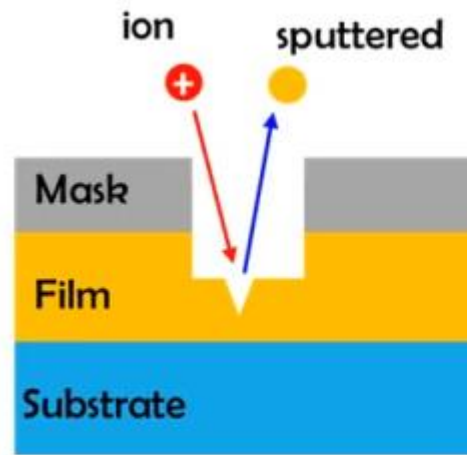


- Negative PR 의 경우, PAC 물질로 빛을 받으면 crosslinking 이되는 bis-aryl azide 를 사용함. Bis-aryl azide 는 자외선을 받은 영역의 polymer 와 crosslinking 하여 분자량이 커지고 무거워져 용해가 되지 않음.
- Negative PR 의 polymer 는 주로 잘 녹는 합성 고무 물질을 사용함. 이는 crosslinking 의 효과를 극명하게 나타내기 위함.

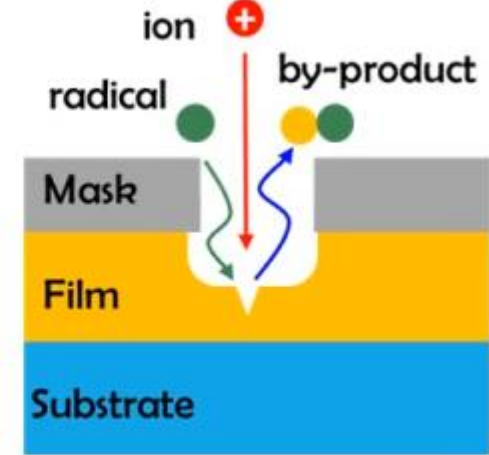
## 6. 식각 (Etching)



Pure chemical



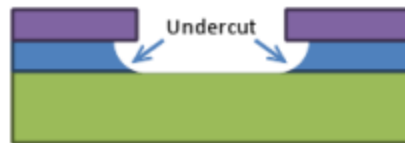
Pure physical



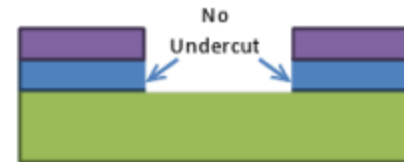
RIE

|              | 습식 식각(wet etching)                               | 건식 식각(dry etching)                          |
|--------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Etching 방법   | 화학적 반응(용액)                                       | 물리적, 화학적 반응(gas)                            |
| 장비/생산율       | Bath type/High                                   | Chamber/Low                                 |
| 장점           | -우수한 selectivity<br>-빠른 속도<br>-저렴한 가격            | -미세 pattern 형성 가능<br>-높은 정확도                |
| 단점           | -낮은 정확도<br>-Residue 에 의한 오염 가능성<br>-Over-etch 위험 | -복잡한 공정, 높은 가격<br>-낮은 속도<br>-낮은 selectivity |
| Etch profile | Isotropic : 등방성                                  | Anisotropic : 이방성                           |





**Isotropic:** etches equally in all directions



**Anisotropic:** etches at different rates in different directions

**Anisotropy**

**Selectivity**

$$A = 1 - \frac{ER_L}{ER_V} \quad S = \frac{ER_1}{ER_2}$$

$ER_L$  : Lateral etch rate

$ER_V$  : Vertical etch rate

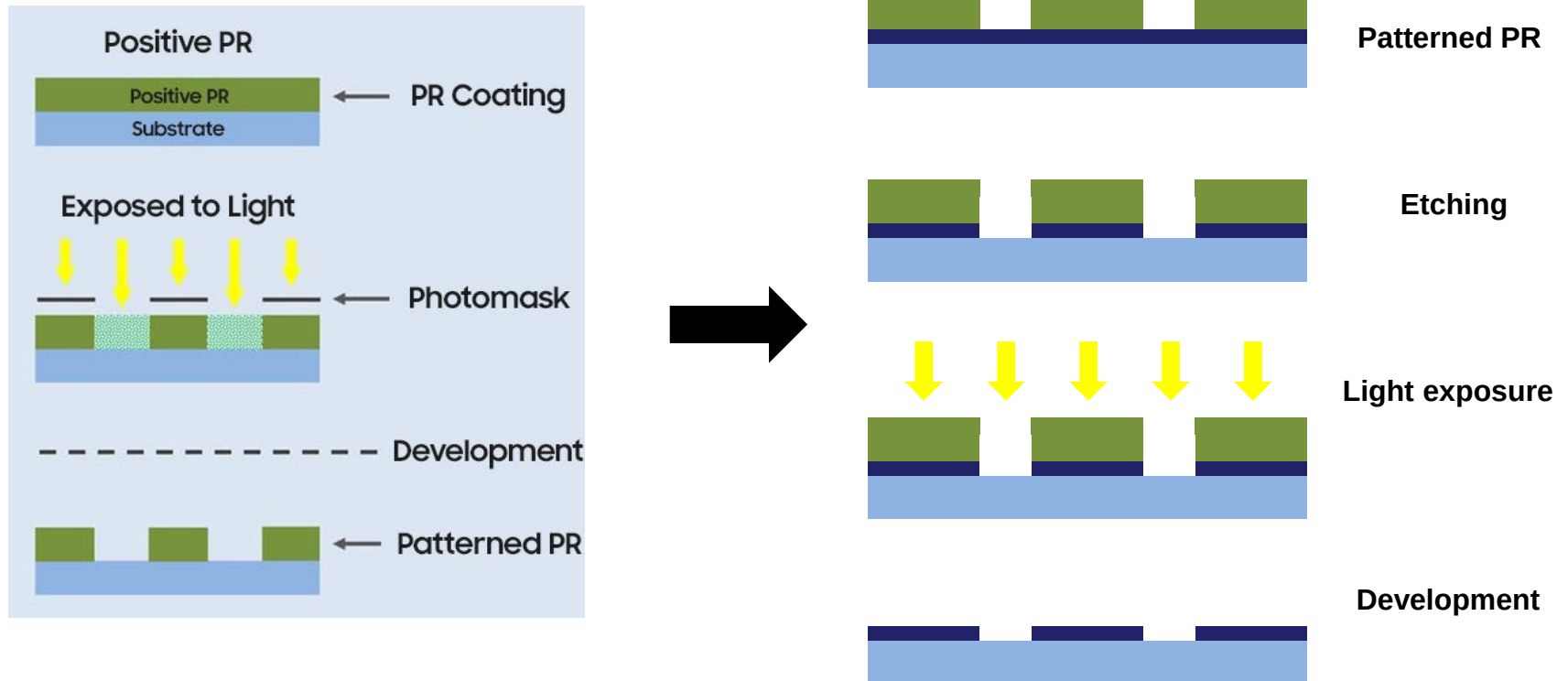
$ER_1$  : Etch rate of material 1

$ER_2$  : Etch rate of material 2

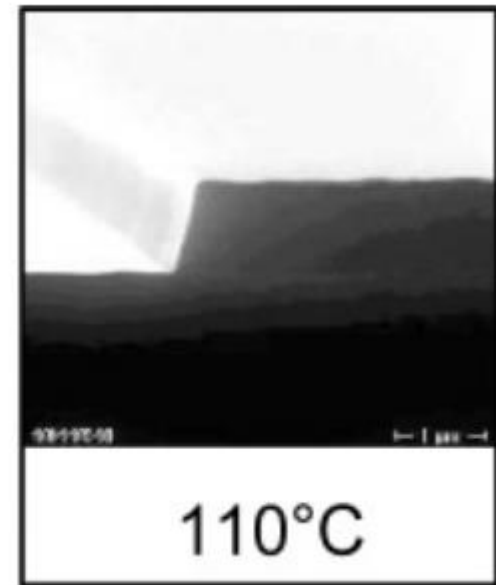
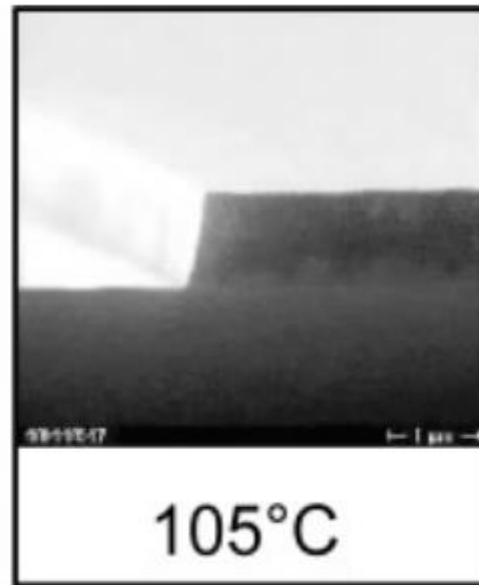
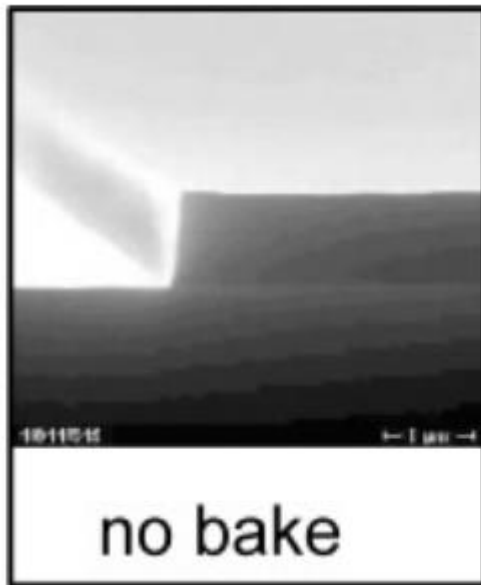
- 미세 pattern 형성을 위해서 anisotropic etch 가 가능한 Reactive Ion Etch (RIE) 방식을 채택함.
- Dry etch 가 안되는 물질이나 미세 pattern 이 불필요한 경우, wet etch 를 채택함.



## 7. PR 제거



- 실험에 사용된 Positive PR 의 경우, etching 공정이 완료된 이후 photo 공정과 develop 공정을 진행하여 PR 을 완전히 제거함.



- Developing 및 etching 과정까지 끝냈다면, 최종 열처리 (Hard Bake) 를 통해 PR 의 경도를 개선 시켜 기판과 PR 간 접착을 강화하고 PR 의 경도를 개선 시켜 추후 공정에서 안정성을 확보함.
- Soft bake 보다 높은 온도에서 진행하는 hard bake 를 통해서 PR 상 존재하는 pin-hole defect 도 해결할 수 있음.