

2022 KAIST Tech Fair KAIST 기술이전 설명회

# 무기 반도체 나노입자를 이용한 EUV / BEUV 포토레지스트

신소재공학과 조힘찬 교수

KAIST



# Contents

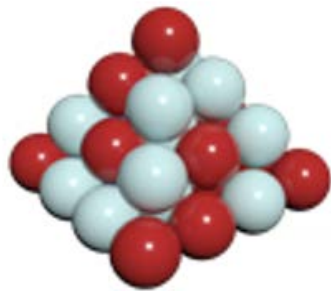
- 01 기술/아이템 개요
- 02 연구 개발 배경
- 03 시장 현황 및 규모
- 04 기술의 특징
- 05 기술의 기대 효과

# 01. 기술/아이템 개요 (요약 소개)

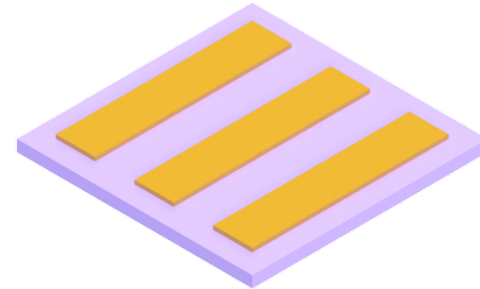
## ◆ 기술/아이템 개요

- 새로운 EUV/BEUV 용 포토레지스트 조성물 및 이를 이용한 포토레지스트 패턴 형성 방법
  - II-VI족 (또는 III-V족) 무기 화합물 반도체 나노입자를 함유하는 포토레지스트 조성물 제작 기술
  - EUV 흡수가 우수하고 균일한 초박막형 나노 포토레지스트 패턴 형성 기술

새로운 타입의  
EUV/BEUV용 포토레지스트



무기 반도체 나노입자 소재

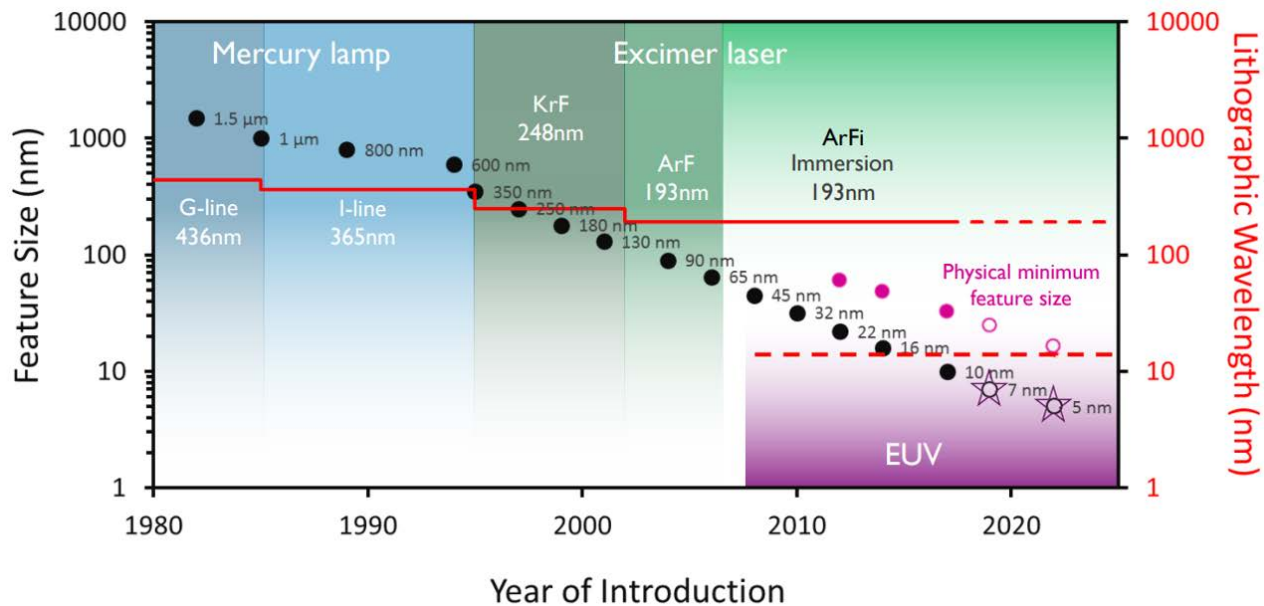


차세대 초미세 패터닝 기술

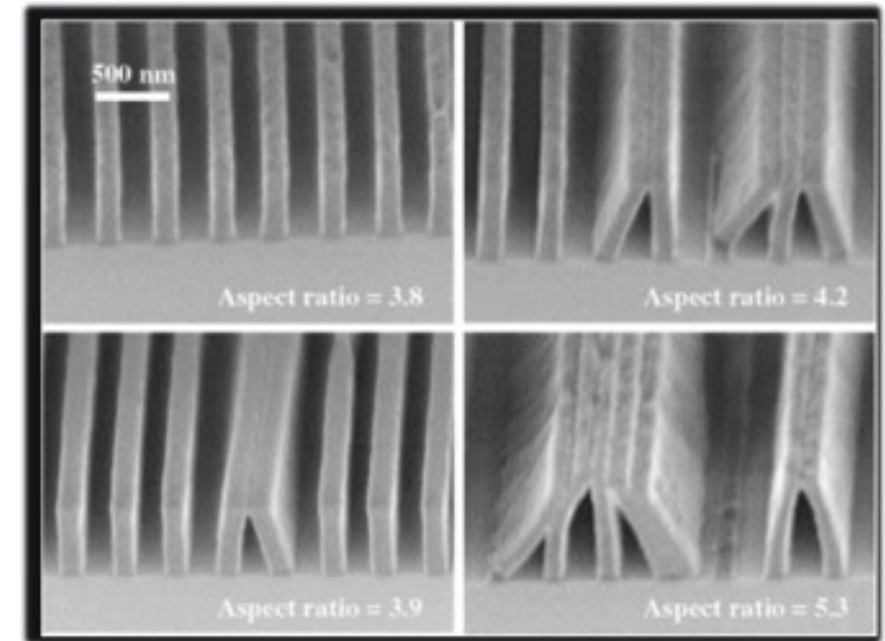
〈기술 개요〉

## 02. 연구개발 배경

- 반도체 초미세 공정: 반도체 성능과 집적도 향상을 위해 반드시 필요한 핵심기술.
- EUV 광원 ( $\lambda = 13.5 \text{ nm}$ ,  $\text{NA}=0.33$ )  $\rightarrow$  13 nm 이하의 resolution의 초미세 패턴 구현 가능
- 그러나 EUV 리소그래피에 있어서, **공정의 난이도가 대폭 증가함에 따라 구현 가능한 해상도에 제한이 생기고, 포토레지스트 패턴이 붕괴**하는 등 (그림 참조) 점점 기존 기술의 한계에 다다르고 있음.



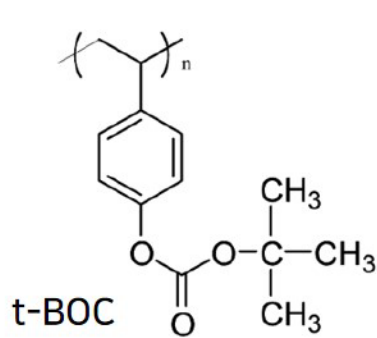
〈연도별 노광 기술과 패턴 feature size의 변화〉



〈붕괴된 고분자 포토레지스트 패턴〉



## 02. 연구개발 배경: 기존 포토레지스트들의 한계점



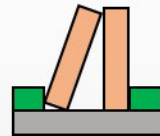
장점

높은 기술 성숙도 및  
생산 인프라

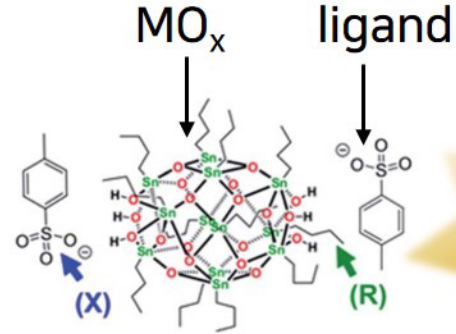
화학적 증폭 레지스트 (유기물)  
(chemically amplified resist, CAR)

한계점

- 낮은 광 민감도
- 매우 높은 표면/라인 거칠기 (패턴 대비)
- 낮은 기계적/화학적 신뢰성
- Develop시 패턴 붕괴 현상



(일본) JSR, 신에츠화학, 도쿄오카공업,  
스미토모화학, 후지필름 5개社 시장 94% 점유



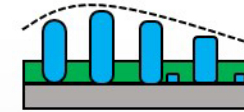
장점

작고 균일한 단위체  
높은 EUV 흡수

금속 산화물 레지스트  
(Non-CAR 방식)

한계점

- 광 분산 이슈
  - 높은 표면/라인 거칠기
- : Scumming 현상 (나노패턴 형성 시 패턴 오염)



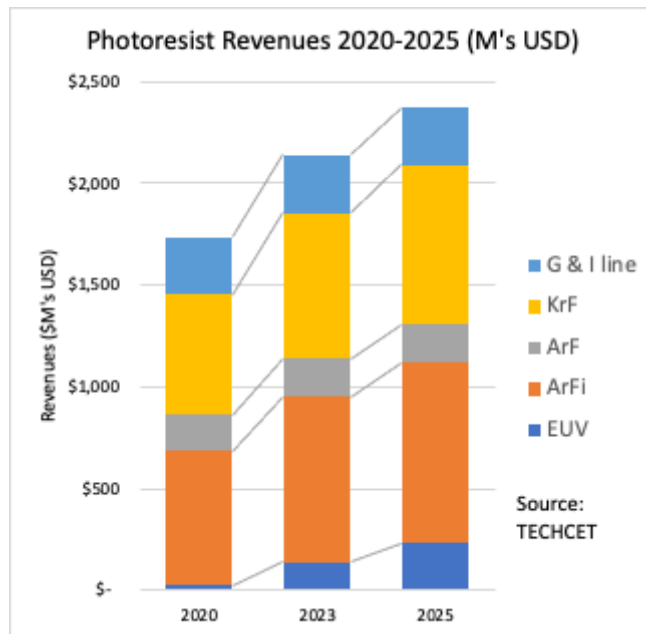
(미국) 인프리아(Inpria)社  
원천특허 확보 및 시장 장악 중

JSR 인수(2021)  
: 기업 가치 약 6000억 원

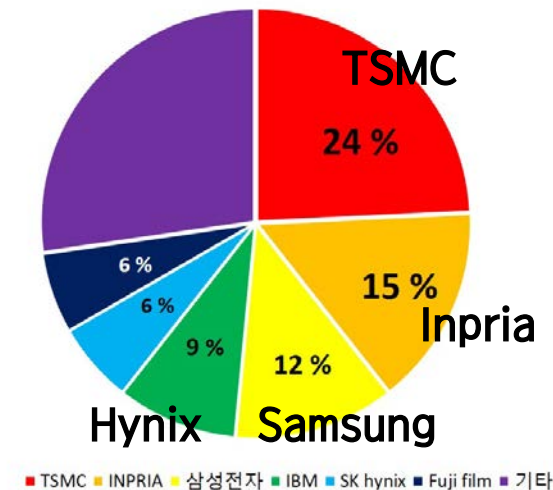
# 03. 시장 현황 및 규모

## 1) 시장 현황 및 규모

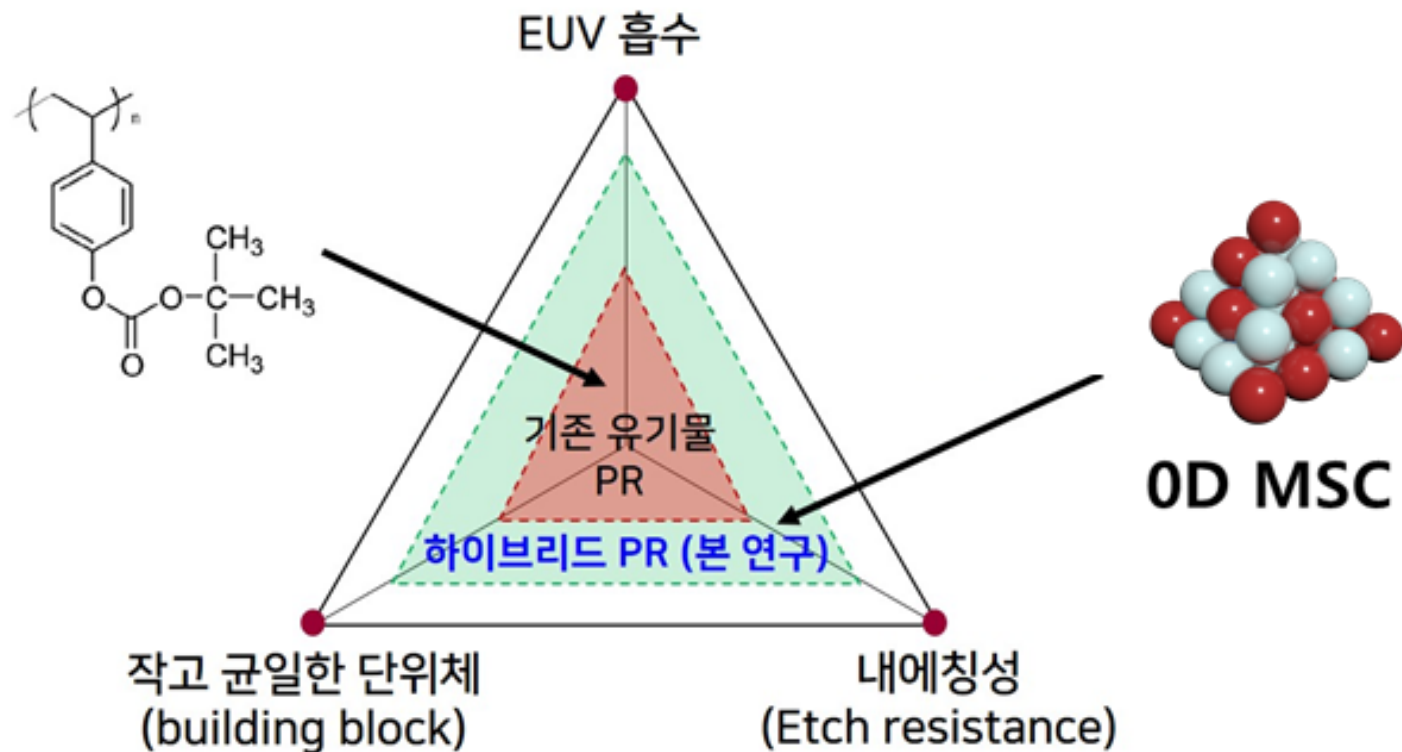
- ◆ 세계 포토레지스트 시장은 21년도 기준 \$1,980M(약 2조 7천억원)에서 25년도에는 \$2,370M(약 3조 3천억원)으로 성장 예정.
- ◆ 특히 차세대 포토레지스트인 EUV시장이 21년도 \$51M(약 700억원)에서 25년도에는 \$280M(약 3,900억원)으로 연평균 약 53% 성장률로 다른 KrF, ArF, ArFi, G & I line 포토레지스트보다 성장률이 크게 성장 예정 (Source: TECHCET).
- ◆ EUV용 포토레지스트는 대표적인 일본 수출 규제 품목으로 일본의 JSR, 신에츠화학, 도쿄오카공업, 스미토모화학, 후지필름 5개 社は 94%의 점유율을 보여 대일 의존도가 매우 높아 향후 안정적인 수급을 위해서 기술의 국산화가 필수적임.



## < EUV 관련 특허 현황 >



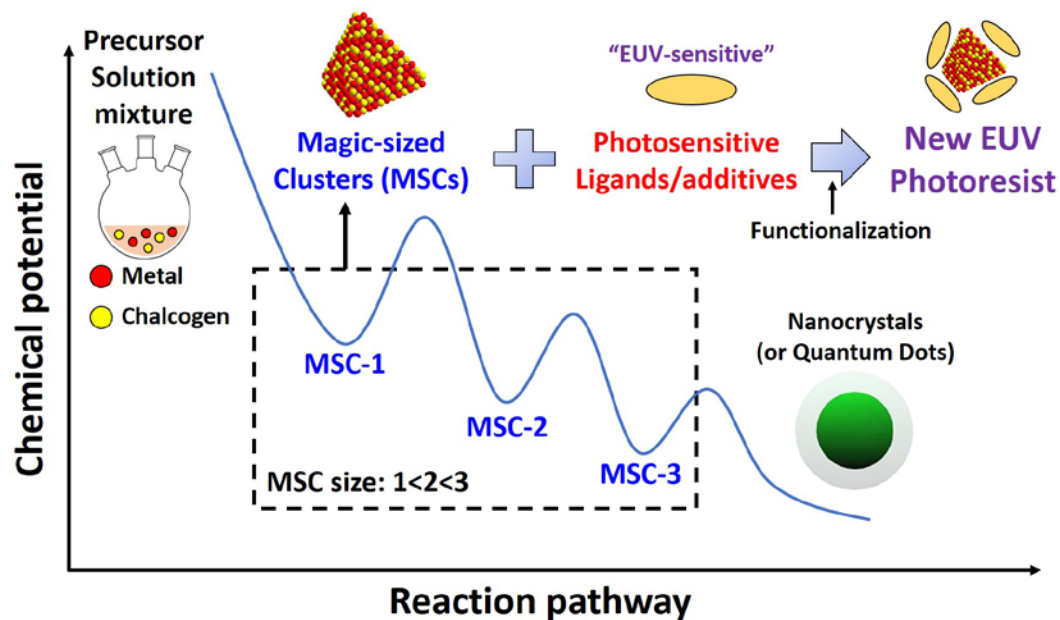
## 0차원 금속 칼코제나이드 매직-사이즈 클러스터 (magic-sized cluster, MSC)



기존 고분자 포토레지스트의 한계를 극복하는  
무기 화합물 반도체 나노입자 기반의 새로운 EUV 포토레지스트 기술 개발

## ◆ 매직 사이즈 클러스터 (magic-sized cluster, MSC)

- 금속 칼코제나이드 화합물은 대표적인 공유결합성 무기 반도체 물질로서, direct bandgap을 가져서 광흡수 능력이 뛰어나고, 조성 및 크기 조절을 통한 광학적 특성 제어가 쉬우며, 유기소재 대비 광, 용매 등에 대한 소재 안정성이 뛰어나
- 매직 사이즈 클러스터 (magic-sized cluster, MSC)는 나노결정 합성에서 안정한 단계의 크기 (>5 nm)를 가지는 나노결정이 형성되기 이전에 생성되는 수 nm 이하의 준안정(metastable) precursor compound를 말하며, chemical potential이 local minimum를 가지는 지점에 해당함.

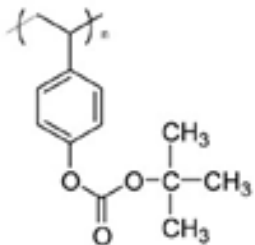


〈금속 칼코제나이드 매직 사이즈 클러스터의 생성 원리〉

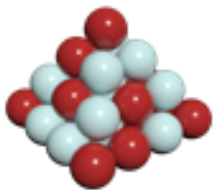


# 04. 기술의 특징

## 기존 고분자 포토레지스트



## 신규 하이브리드 포토레지스트



0D MSC  
초박막형

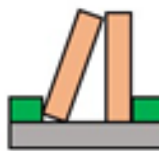
### EUV 흡수

Light element 기반:  
낮은 EUV 흡광도

Heavy element 기반:  
높은 EUV 흡광도

### 작고 균일한 단위체 (building block)

높은 한계 두께:  
50 nm 이하  
패턴에서  
패턴붕괴현상 발생



### 0D 고밀도 나노박막

- 패턴 붕괴현상 방지
- 깊이방향 노광 편차 감소

### 내에칭성 (Etch resistance)

유기물의 낮은 기계적 성질  
→ 얇은 박막이 필요한  
5 nm 노드 이하 공정에서  
근본적 한계로 작용

금속-무기물의  
우수한 기계적 성질  
→ 얇은 박막에서도  
내에칭성 우수

기존 포토레지스트의 한계를 뛰어넘는 새로운 EUV/BEUV 용 포토레지스트 원천기술 개발

## 04. 기술의 특징: 실시 예

### ◆ 금속 칼코제나이드 MSC 용액 합성



금속 칼코제나이드  
전구체 용액



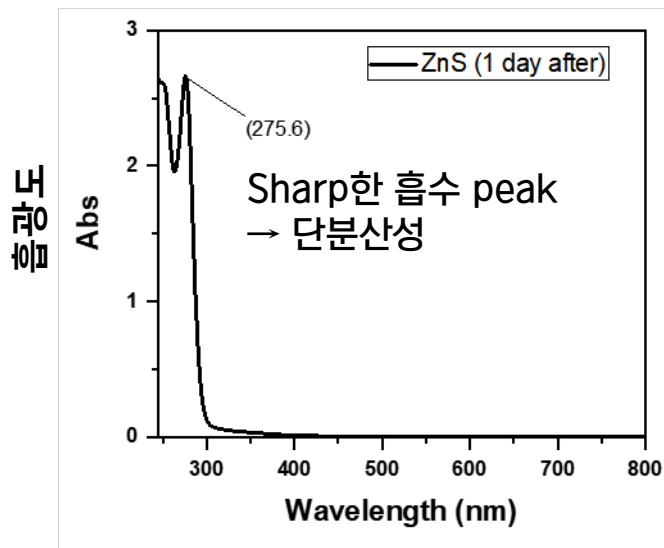
매직 사이즈 클러스터  
합성



합성된 매직 사이즈  
클러스터 용액



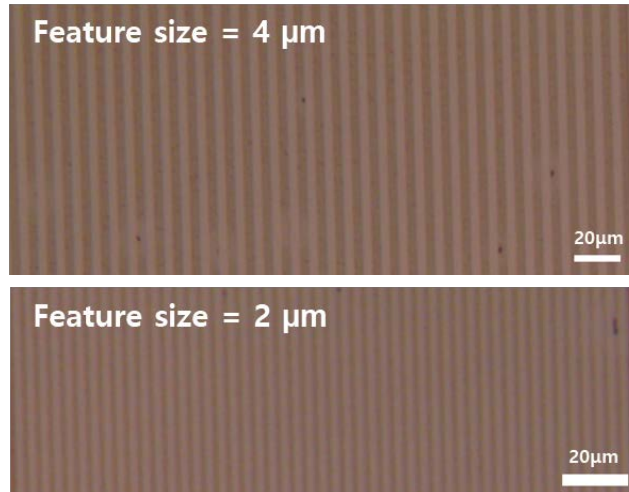
### 고안정성, 단분산 ZnS-257 MSC



- 공기에 민감하지 않으며, 친환경적인 ZnS MSC를 ~2.5nm 정도의 크기로 합성.
- 높은 크기 균일도
- 최적화된 purification method를 통해 특정 wavelength의 MSC만 선택적으로 추출.
- 높은 농도에서도 MSC 특유의 metastable한 성질로 인해 약 600 시간 후에도 높은 단분산성을 유지 가능.

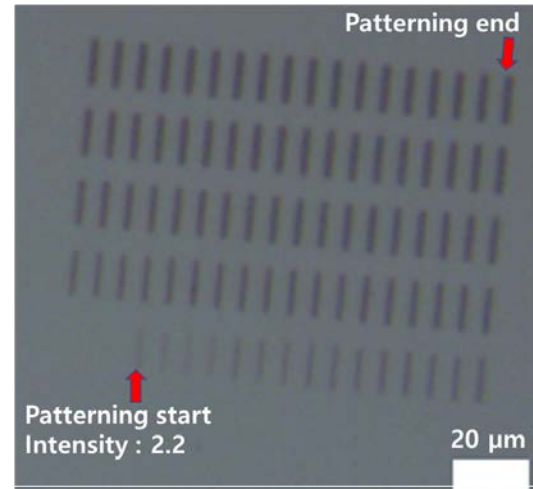
## 04. 기술의 특징: 실시 예

광학 패터닝 (365 nm)



Feature size down to 1 μm

E-beam 패터닝

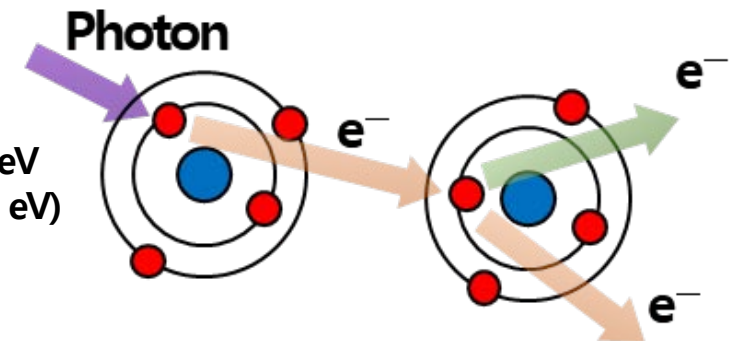


Feature size down to 2~300 nm

EUV 패터닝에  
활용

화학증폭형 PR (PAG + 고분자) 패터닝 메커니즘:  
포톤 흡수 → 분자 들뜸 → 산 생성  
→ 고분자 연쇄 반응

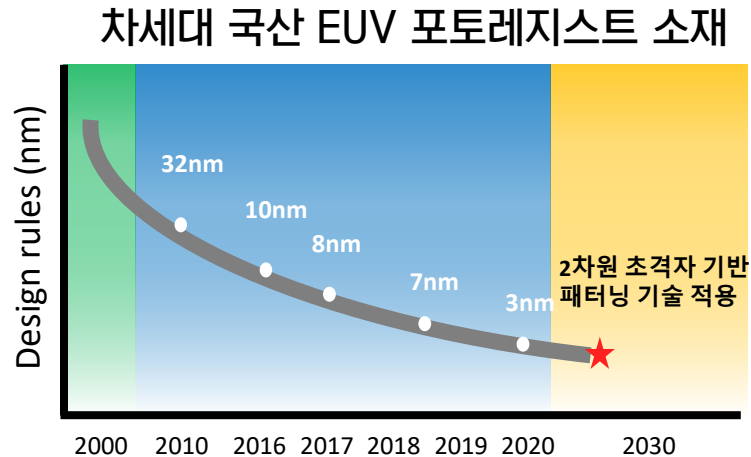
이온화 포텐셜 = ~ 10 eV  
(cf., ArF: 6.4 eV, EUV: 92 eV)



EUV PR 패터닝 메커니즘: 포톤 흡수 → 2차 전자 생성 → 산 생성 → 연쇄 반응

## 05. 기술의 기대 효과

- ◆ 종합적으로, 본 연구진의 차세대 무기 나노입자 기반 EUV/BEUV 포토레지스트 기술은 기존 유기물 EUV포토 레지스트 기반의 한계를 극복하고, 궁극적으로 반도체 산업의 패러다임을 바꿀 수 있을 것이며, 이를 통해 미래의 초저전력 메모리 소재 및 소자 구현에 기여할 수 있을 것으로 기대됨.
- ◆ 현재 거의 전적으로 일본 및 미국에서의 수입에 의존하고 있는 EUV 포토레지스트 소재를 국산화함으로써, 일본의 수출 규제 등 외교적 이슈에 효과적으로 대응할 수 있으며 대한민국 반도체 산업의 경쟁력을 크게 향상시켜 반도체 강국의 자존심을 세울 수 있음.



초저전력 차세대 메모리 반도체

