

# 디스플레이 및 반도체 소재 교과목의 개요 및 관련산업동향

1차시

강좌 소개

대전대학교 에너지신소재공학과  
김경남 교수



# 학습 내용

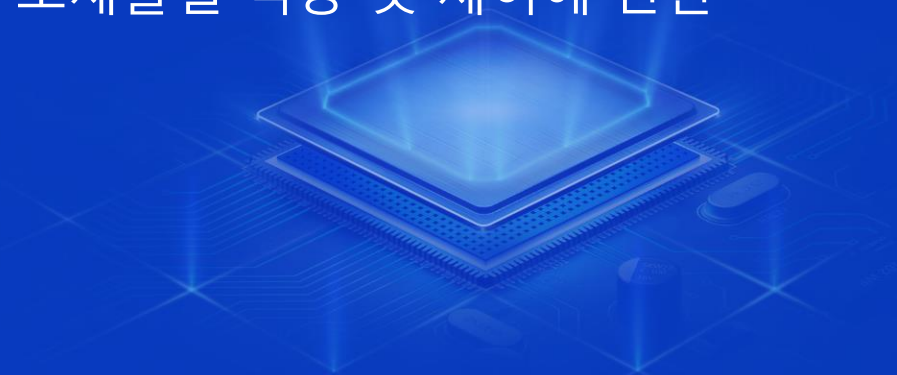
- ✓ 교과목의 개요
- ✓ 디스플레이 – 반도체 산업 동향
- ✓ 수업에 대한 Overview



## 학습 목표

- ✓ 소자는 현대 반도체 및 디스플레이 산업에 있어 매우 중요한 요소이며, 앞으로 다가올 여러 산업에 있어 근간이 되는 기초 분야라고 할 수 있음.
- ✓ 특히, 반도체와 디스플레이 분야에 사용되는 다양한 물질들은 디스플레이와 반도체의 성능을 결정하고, 원하는 물성을 갖으며 미세공정을 가능케 하는 등의 특징을 가지고 있으며, 이를 위해 다양한 물질들이 개발되고 있음.

이러한 소재 및 물질들을 구성하고 제어하는 것은 현대 반도체와 디스플레이로 대변되는 전자소자산업에서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있으며, 이를 위해 적용되는 다양한 소재물질 적용 및 제어에 관한 이론적 접근은 방법에 대해 학습.



# 01 | 주차 별 수업 제목

- » 출석 : 20%
- » Report : 10%
- » 중간고사 : 30%
- » 기말고사 : 40%

| 주별  | 수업 제목 및 내용                                    |
|-----|---|
| 1주  | 반도체 및 디스플레이 소재 (반디소재) 교과목의 개요 및 관련산업동향        |
| 2주  | 반디 소재 기초개념 : 가스의 유동 및 진공 시스템                  |
| 3주  | 반디 소재 기초개념 : Evaporator                       |
| 4주  | 반디 소재 기초개념 : 플라즈마 기초                          |
| 5주  | 반디 소재 기초개념 : 플라즈마 이론                          |
| 6주  | 반디 소재 제조 기술 : PVD (Physical Vapor Deposition) |
| 7주  | 반디 소재 기초 개념 및 관련 기술 Review                    |
| 8주  | 중간고사  |
| 9주  | 반디 소재 제조 기술 : PVD (Physical Vapor Deposition) |
| 10주 | 반디 소재 제조 기술 : CVD (Chemical Vapor Deposition) |
| 11주 | 반디소재 제어기술 I                                   |
| 12주 | 반디소재 제어기술 II                                  |
| 13주 | 반디소재 제어기술 III                                 |
| 14주 | 반디소재 기술의 미래 및 Review                          |
| 15주 | 기말고사  |



## 메모리 반도체(D램)의 제조 흐름도

메모리 반도체는 6대 공정을 수백회 이상 반복하는 과정에서 만들어짐. 웨이퍼(반도체의 원재료)가 D램으로 만들어지는 데 약 2개월, 필요 공정 수는 약 600여 단계 이상임

### 1 노광(露光·Photo)

- 웨이퍼에 반도체 회로의 기본 라인을 그리는 작업
- 웨이퍼 위에 얇게 감광액(포토레지스트)을 바르고, 그 위에 미세한 선(線)을 그릴 마스크를 씌움, 빛을 쏘면 회로를 제외한 나머지 감광액만 타서 없어짐

**장비** 빛을 쏘는 장비(노광장비: 네덜란드 ASML, 일본 니콘·캐논)

**소재** 감광액(일본 신에쓰·JSR·스미모토화학 등) 불영크마스크(일본 호에) 등



**2 식각(蝕刻·Etch)**

- 앞 단계에서 그린 선만 남긴채 불필요한 부분을 모두 깎아냄
- 이때 기체 형태의 불화수소가 녹이는 역할

**장비** 식각 장비(일본 도쿄일렉트론, 미국 랠리서치, 어플라이드머티리얼즈)

**소재** 99.999%보다 높은 고순도 불화수소 (일본 스텔라케미파·모리타·쇼와덴코 등)



**3 확산(Diffusion)**

- 웨이퍼에 그려진 회로와 회로 사이에 전기가 통하는 물질 주입
- 회로는 이 단계에서 전기적 성질을 받. 주입 시 고온으로 열처리

**장비** 퍼니스(Furnace·용광로) 장비(일본 도쿄일렉트론, 한국 파에스티, 일본 히타치·고쿠사이 일렉트릭)



## 4 박막 증착(Thin Film)

- 산화막 위에 금속 물질을 입힘
- 회로와 회로 간 전기 간섭이 없도록 그 사이에 절연물질을 입힘

**장비** 증착 장비(미국 어플라이드머티리얼즈, 노벨러스)

**소재** 텅스텐·알루미늄·구리 등(금속물질), 산화규소·질화규소(절연물질)



**5 화학·기계적 연마(CMP, Chemical Mechanical Polishing)**

- 박막 증착 후 울퉁불퉁해진 웨이퍼를 평평하게 연마

**장비** 연마기(미국 어플라이드머티리얼즈, 일본 에바라, 한국 케이씨텍)

**소재** 슬러리용액(미국 케봇, 일본 후지필름, 후지미)



**6 세정 공정(Cleaning)**

- 반도체 회로가 그려진 웨이퍼를 씻는 작업, 불순물 제거
- 공정 사이 사이에 세정 작업

**장비** 세정 장비(일본 다이니폰스크린, 도쿄일렉트론, 한국 테스)

**소재** 99.99% 수준의 고순도 불화수소(일본 스텔라케미파·모리타·쇼와덴코 등), 한국 솔브레인·후성 등)



**01 Photo-resist**  
반도체를 만들때 쓰이는 Wafer 위에 회로를 인쇄할때 사용되는 감광제

**02 고순도 불화수소**  
Wafer표면의 산화막 제거

**03 폴리이미드** : 폴더블 폰등의 유기발광다이오드 (OLED) 디스플레이를 만드는데 사용되는 핵심 재료

## 일본이 수출 규제 강화한 소재와 공급처 현황

자료: 유진투자증권

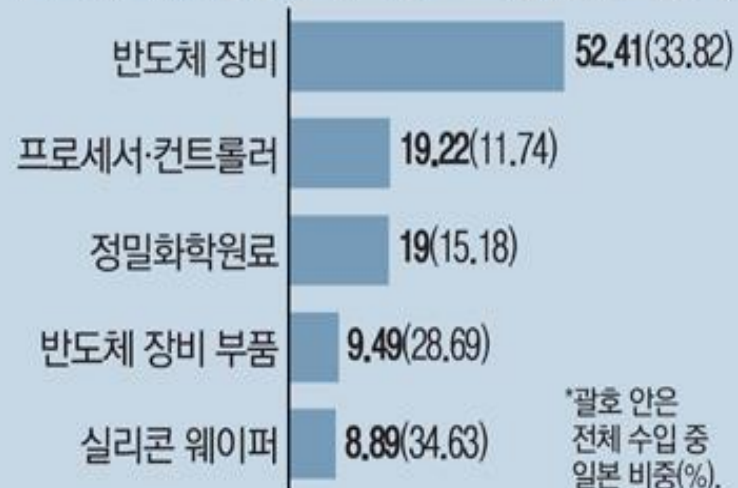
|                                | 국내 업체  | 일본 업체                        |
|--------------------------------|--|------------------------------|
| <b>반도체 소재</b>                  |  |                              |
| · <b>리지스트</b><br>(감광제)         | 금호석유화학,<br>동진세미켄, 동우화인켄                                | 스미토모, 신에쓰, JSR,<br>FFEM, TOK |
| · <b>에칭가스</b><br>(고순도<br>불화수소) | 솔브레인, 이엔에프테크놀로지<br>(스텔라, 모리타 등 일본 업체에서<br>원재료 수입 후 가공) |                              |
| <b>유기발광다이오드 소재</b>             |  |                              |
| · <b>플루오린<br/>폴리이미드</b>        | 없음   | 스미토모                         |

## 일본이 수출제한 검토하는 화학제품

| 구분                  | 용도                      |
|---------------------|-------------------------|
| 포토리지스트<br>(약 90%)   | 웨이퍼에 '회로 사진'<br>얹힐 때 활용 |
| 불화수소<br>에칭가스(약 90%) | 웨이퍼 세척 ·<br>회로 새길 때 이용  |
| 플루오린폴리이미드           | OLED 패널 제조에<br>활용되는 필름  |

\*괄호 안은 일본산 의존도.

## 일본에서 많이 수입하는 주요 제품(단위=억달러)



## 한국 수출 중 반도체 비중 (단위=%)



# 01 | 반도체 - 디스플레이 핵심소재 - 대외의존도

반도체 주요 공정별 장비의 국내 기술 수준 및 부품 국산화율

| (단위: %)      |                   |           |          |
|--------------|-------------------|-----------|----------|
| 공정단계         | 기능                | 국내기술 수준   | 부품 국산화율  |
| 세정           | 불순물 제거            | 85        | 65       |
| 열처리          | 열을 이용한 균질 및 증착    | 90        | 70       |
| <b>노광</b>    | <b>빛으로 회로를 그림</b> | <b>10</b> | <b>0</b> |
| 식각           | 그려진 모양대로 깎음       | 85        | 65       |
| 증착           | 특정막을 붙임           | 90        | 65       |
| <b>이온 주입</b> | <b>소자의 특성 부여</b>  | <b>20</b> | <b>0</b> |
| 평판화          | 표면 균일화            | 75        | 60       |

(자료: 한국산업기술평가관리원)

주요 장비별 시장점유율

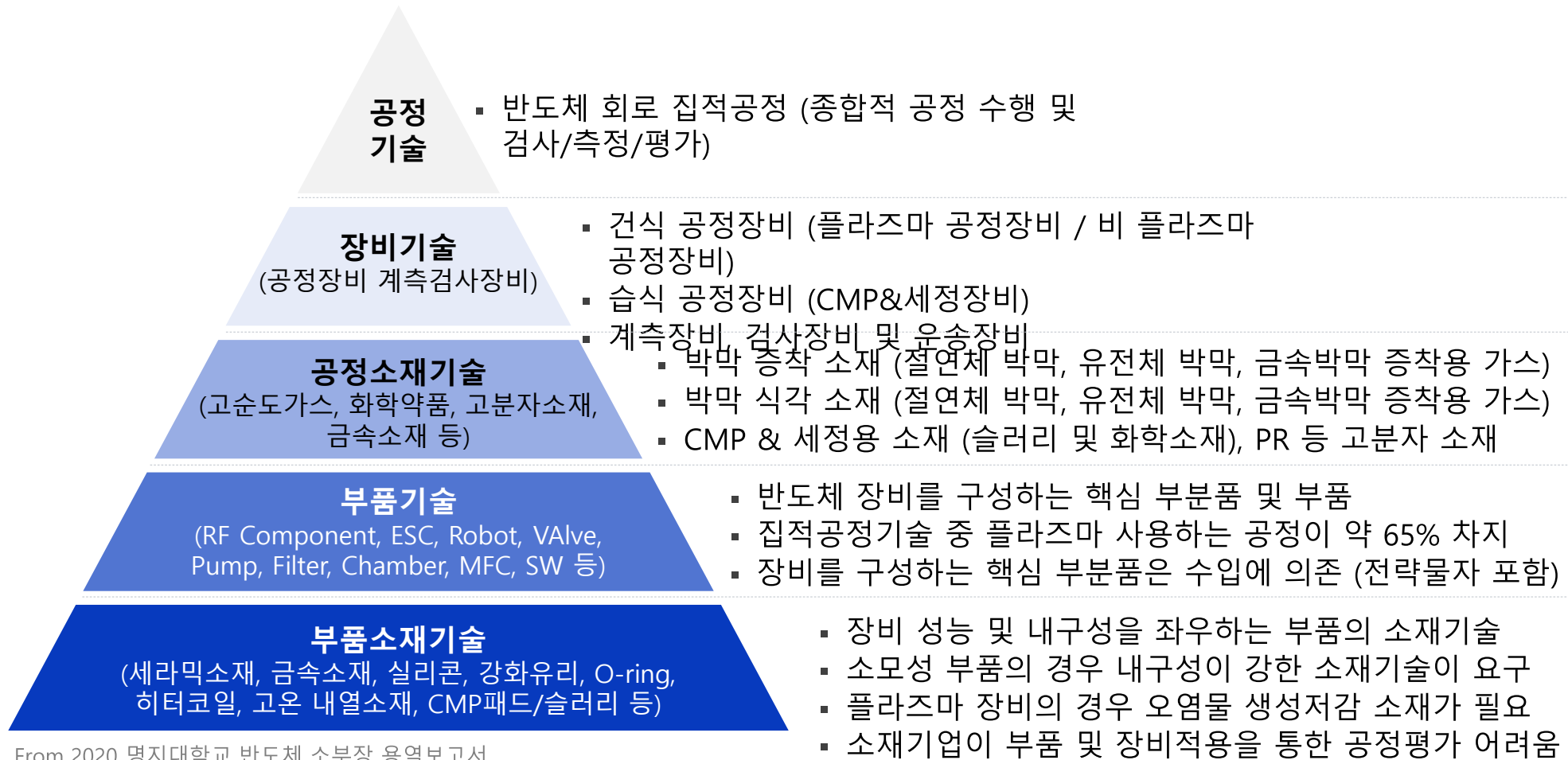
|   | 노광장비 |     | 증착장비              |     | 식각장비              |     |
|---|------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
|   | 기업   | 점유율 | 기업                | 점유율 | 기업                | 점유율 |
| 1 | ASML | 85% | Applied Materials | 41% | Lam Research      | 52% |
| 2 | 니콘   | 10% | Lam Research      | 16% | Tokyo Electron    | 20% |
| 3 | 캐논   | 4%  | Tokyo Electron    | 14% | Applied Materials | 18% |
|   | 합계   | 99% | 합계                | 71% | 합계                | 90% |

주 : 시장점유율 노광장비는 2017년 기준, 증착장비 및 식각장비는 2016년 기준  
자료: 디인포메이션네트워크





## ■ Semiconductor Manufacturing Industry Tier Model



From 2020 명지대학교 반도체 소부장 융역보고서

# 01 | 반도체 – 디스플레이 핵심소재 - 대외의존도

## I 전공정 재료별 시장 현황

| 소재                                   | 제품군                                   | 주요 기업  |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| 실리콘웨이퍼                               | 실리콘 웨이퍼                               | 신에츠(일), Sumoc(일), 글로벌웨이퍼(대), 실트로닉(독), SK실트론(한)                 |
| 포토마스크                                | 포토마스크, Blank Maks                     | Toppan(일), Photronic(미), DNP(일), Hoya(일), S&S Tech(한), 신에츠(일)  |
| 포토 소재                                | PR, SOC, SOD, 공정 부자재                  | JSR(일), Dow(미), Fuji(일) 등 7개 기업 주도                             |
| Wet Chemicals (습식 케미칼) <sup>1)</sup> | 식각액, 세정액                              | 각 제품별 전문기업이 주도   |
| 가스                                   | 공정용 특수가스류                             | 글로벌 산업용 가스기업이 주도 (에어리퀴드(프), 린데(독일), 플렉스에어(영) 등)                |
| 스퍼터링 타겟 <sup>2)</sup>                | 알루미늄, 티타늄, 구리 등                       | 글로벌 4개사 과점(Tosoh(일) 등)   |
| CMP 슬러리와 패드                          | CMP 공정 소재                             | 슬러리 : Cabot(미) 40%<br>패드 : Dow Electronic Materials(미) 과점(80%) |
| 기타/신규 소재                             | 유전체, Cu-solvent, 프리커서류                | 각 제품별 전문기업이 주도   |
| Ceramic Parts                        | 실리콘(Si), 탄화규소(SiC), 알루미늄(Al), Quartz류 | 글로벌 장비업체 부품류 → OEM 공급  |

주: 1) 반도체 제조공정에서 사용되는 세정, 식각 등에 사용되는 화학제품

2) Sputtering target은 박막증착의 원료로 사용

자료 : IHS, SKC(2017)

## 전공정 재료별 시장 현황

| 공정단계 |         | 해외기업  | 국내기업                     | 국내<br>기술수준 | 부품<br>국산화 |
|------|---------|---|--------------------------|------------|-----------|
| 전공정  | 노광      | ASML, 니콘, 캐논  | 세메스                      | 10%        | 0%        |
|      | 식각      | Lam Research,<br>Tokyo Electron,<br>Applied Materials | APTC, 세메스                | 85%        | 50%       |
|      | 세정      | TEL, DNS  | 세메스, PSK,<br>케이씨텍        | 85%        | 65%       |
|      | 평판(CMP) | Applied Materials                                     | 케이씨텍                     | 75%        | 60%       |
|      | 이온주입    | Applied Materials,<br>Axcelis                         | -                        | 20%        | 0%        |
|      | 증착      | Applied Materials,<br>Tokyo Electron                  | 주성, 원익IPS,<br>유진테크, 테스   | 90%        | 65%       |
|      | 열처리     | Applied Materials,<br>Tokyo Electron                  | 원익IPS, AP시스템             | 90%        | 70%       |
|      | 측정·분석   | KLA-Tencor,<br>Applied Materials                      | 오로스테크놀로지,<br>에스에프에이      | 35%        | 30%       |
| 후공정  | 패키징     | 테스코,<br>히타치하이텍,<br>ASM PAcific                        | 세메스,<br>한미반도체,<br>이오테크닉스 | 90%        | 60%       |
|      | 테스트     | Advantest,<br>Teradyne                                | 엑시콘, 유니테스트               | 80%        | 60%       |

All Companies Revenue from Shipments of Total Wafer Fab Equipment - Worldwide (Millions of \$US)

| Total Market |      | 37,407.3 | 51,125.6 | 36.7%      | 100.0%    |
|--------------|------|----------|----------|------------|-----------|
| Rank         | Rank | Revenue  | Revenue  | Change (%) | Share (%) |
| 2016         | 2017 | 2016     | 2017     | 2017       | 2017      |
| 1            | 1    | 6.9      | 10,695.8 | 38.2%      | 20.9%     |
| 2            | 2    | 3.0      | 8,140.2  | 56.2%      | 15.9%     |
| 4            | 3    | 1.0      | 7,203.1  | 48.2%      | 14.1%     |
| 3            | 4    | 0.6      | 7,186.2  | 41.2%      | 14.1%     |
| 5            | 5    | 6.0      | 2,816.6  | 17.1%      | 5.5%      |
| 6            | 6    | 1,374.8  | 1,389.5  | 1.1%       | 2.7%      |
| 14           | 7    | 434.0    | 1,049.4  | 141.8%     | 2.1%      |
| 7            | 8    | 980.2    | 1,031.0  | 5.2%       | 2.0%      |
| 9            | 9    | 528.4    | 972.1    | 84.0%      | 1.9%      |
| 12           | 10   | 472.3    | 690.0    | 46.1%      | 1.3%      |
| 10           | 11   |          |          |            |           |
| 8            | 12   |          |          |            |           |
| 15           | 13   |          |          |            |           |
| 13           | 14   |          |          |            |           |
| 11           | 15   |          |          |            |           |
| 26           | 16   | 137.2    | 372.0    | 171.1%     | 0.7%      |
| 16           | 17   | 304.6    | 319.8    | 5.0%       | 0.6%      |
| 17           | 18   | 264.8    | 296.1    | 11.8%      | 0.6%      |
| 25           | 19   | 154.6    | 280.0    | 81.1%      | 0.5%      |
| 32           | 20   | 113.3    | 270.9    | 139.2%     | 0.5%      |
| 21           | 21   |          |          |            |           |
| 28           | 22   |          |          |            |           |
| 23           | 23   |          |          |            |           |
| 19           | 24   |          |          |            |           |
| 20           | 25   |          |          |            |           |
| 22           | 26   |          |          |            |           |
| 33           | 27   |          |          |            |           |
| 18           | 28   |          |          |            |           |
| 30           | 29   |          |          |            |           |
| 31           | 30   |          |          |            |           |
| 34           | 31   | 110.6    | 163.5    | 47.8%      | 0.3%      |
| 29           | 32   | 122.8    | 145.2    | 18.2%      | 0.3%      |

상위 5개 기업이 세계 시장 점유율의 70.5%를 차지함

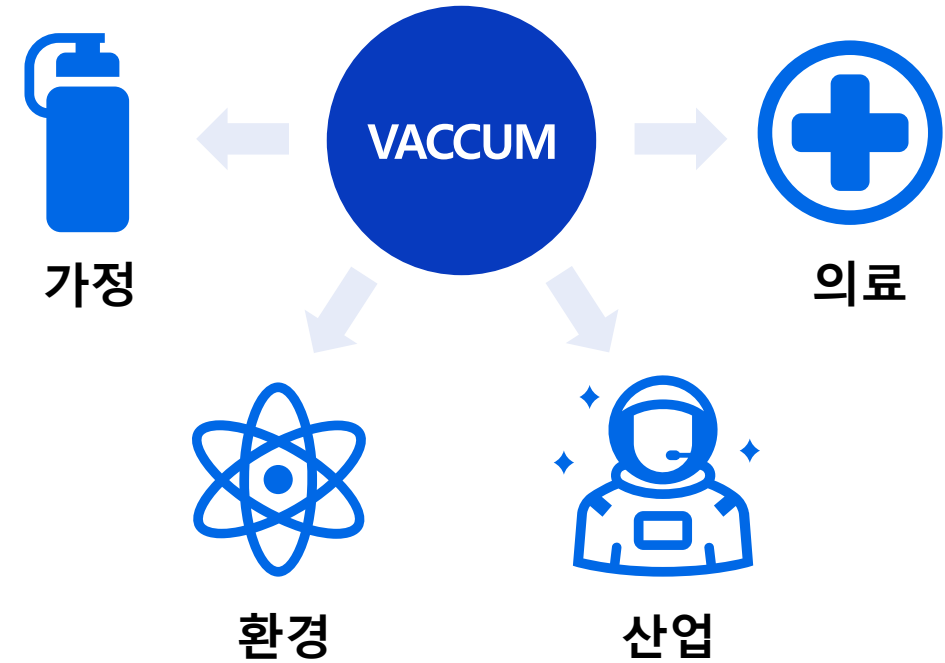
세계 시장 상위 30위 이내 국내 반도체 장비 기업은 단 4개 뿐임

해외 기업 중심의 반도체 장비기술로 국내 반도체장비 소재·부품 기술 발전의 한계가 나타남

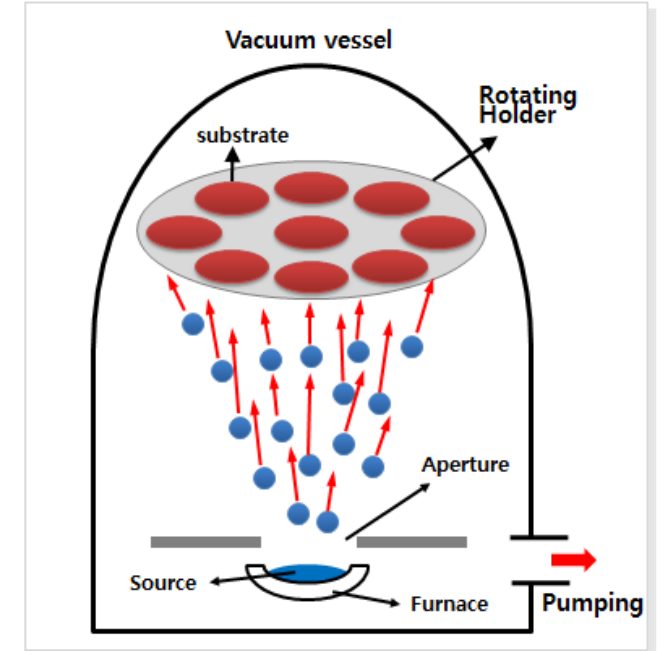
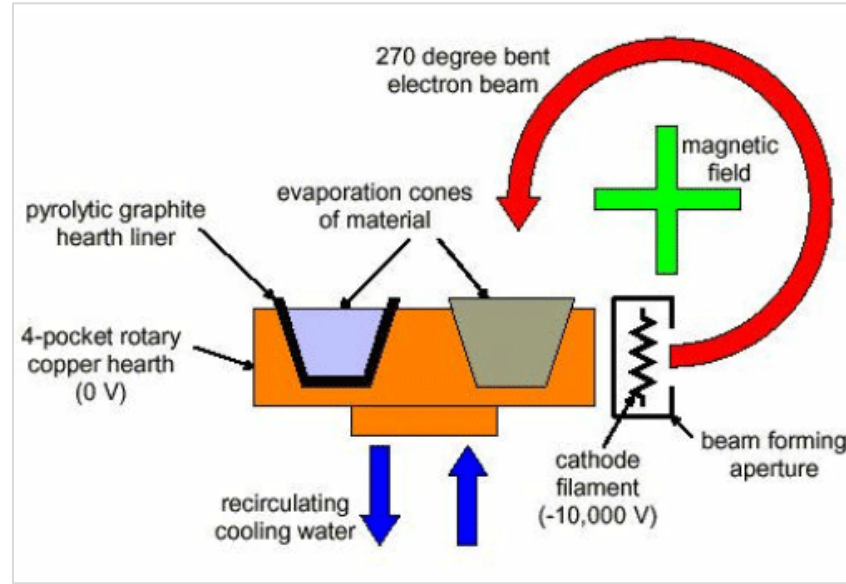
자료 : 한국산업기술평가관리원, '반도체 미세화를 위한 반도체 공정장비 기술', 2017

## » 가스의 유동 및 진공 시스템

- 진공 (Vacuum)
  - 라틴어로 "vacua " 에서 유래
  - 물질이 전혀 존재하지 않는 공간  
→ 실제로는 불가능한 의미
- 우리주변에서의 진공의 예
  - 진공청소기, 진공팩, 보온병, 흡착판 등



## » Evaporator



일반적인 Evaporator system의  
챔버 개략도



## » 플라스마 기초

### • Various kinds of plasmas

- Natural plasma  
: most of solar space/ outer space, sun spot, aurora at the pole, thunder, lighting, solar wind, ionosphere etc.
- Thermal plasma  
: by highly heated atom/ or molecule of gas is generated by chemical reaction through combustion
- Discharge plasma  
: ionized gas by electrical discharge  
: glow discharge/ arc discharge/ corona discharge/ high frequency discharge plasma, etc.



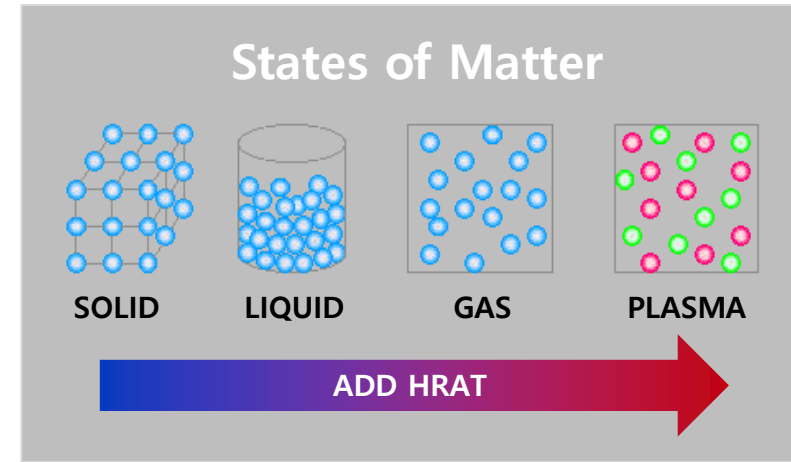
Natural Plasma



Thermal Plasma

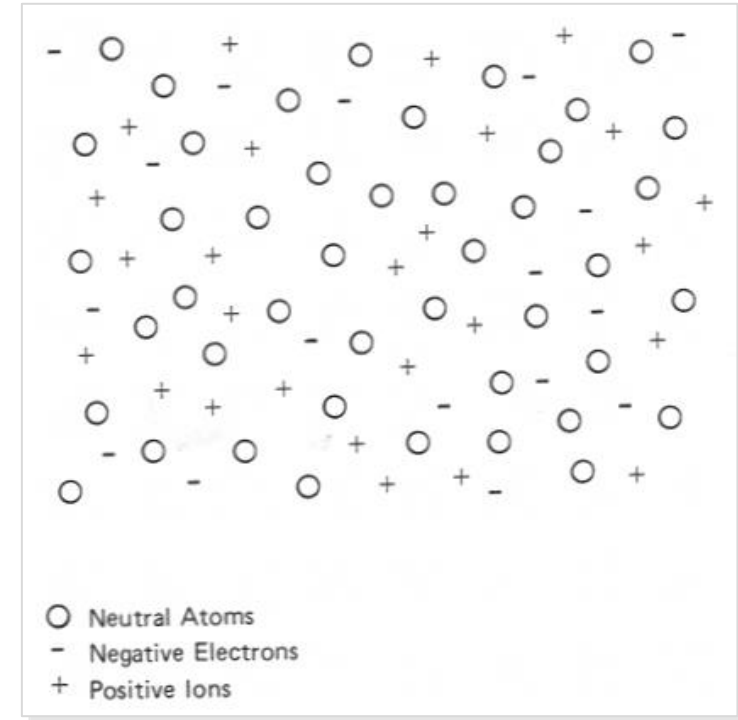


Discharge Plasma

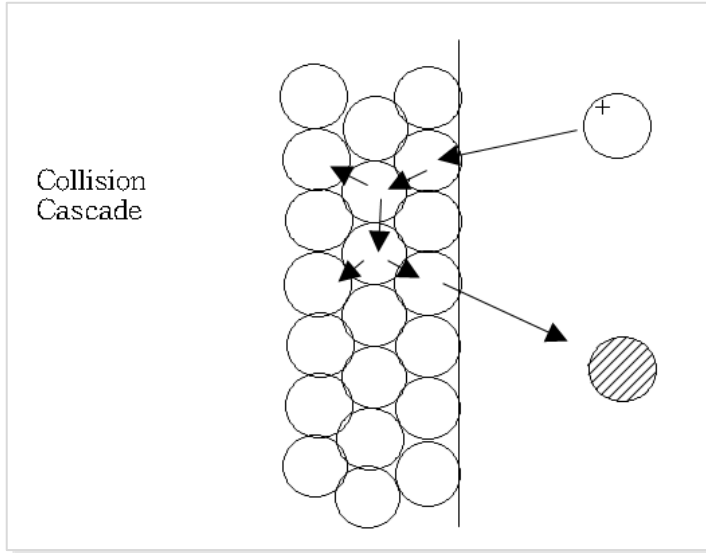


## » 플라즈마 이론

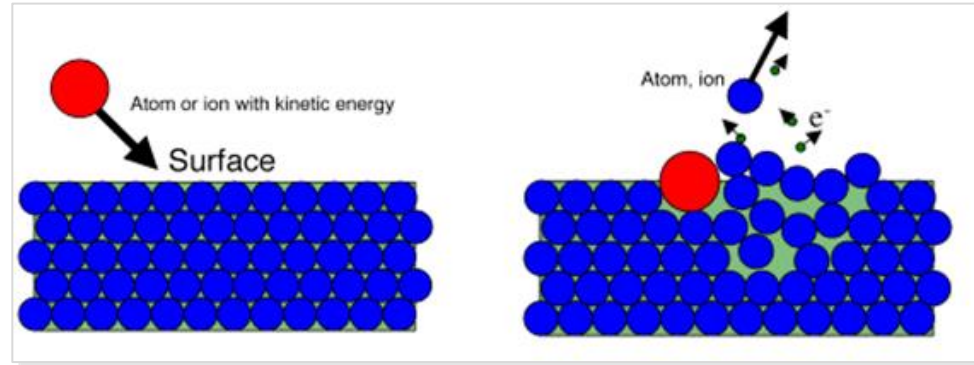
- 전체적으로 중성인 부분적으로 이온화된 기체
  - :  $n_e \sim n_i$
- 이온화비율  $\sim 10^{-2} \sim 6$
- 중성원소, 분해된 가스, 전자, 이온이 존재
  - 전자와 이온은 ionization process 에 의해 생기고 recombination process 에 의해 소멸됨.
- Excited species (metastable 들이 존재)
- 분자가스의 경우 dissociated species인 radical이 존재
- Excitation과 relaxation에 의해 photon이 방출되어 빛을 발함
- 전자와 이온이 free particle과 같이 거동
  - Ion과 electron들 간에 Coulombic interaction이 존재하나 각 방향에서의 interaction이 서로 상쇄되어 이들 electron과 ion각각이 free particle과 같이 거동함



## » PVD (Physical Vapor Deposition)



- Most of incident ion energy are consumed by lattice vibration, that is, by heat.
  - Only 1% of ion energy is transferred to sputtered atom.



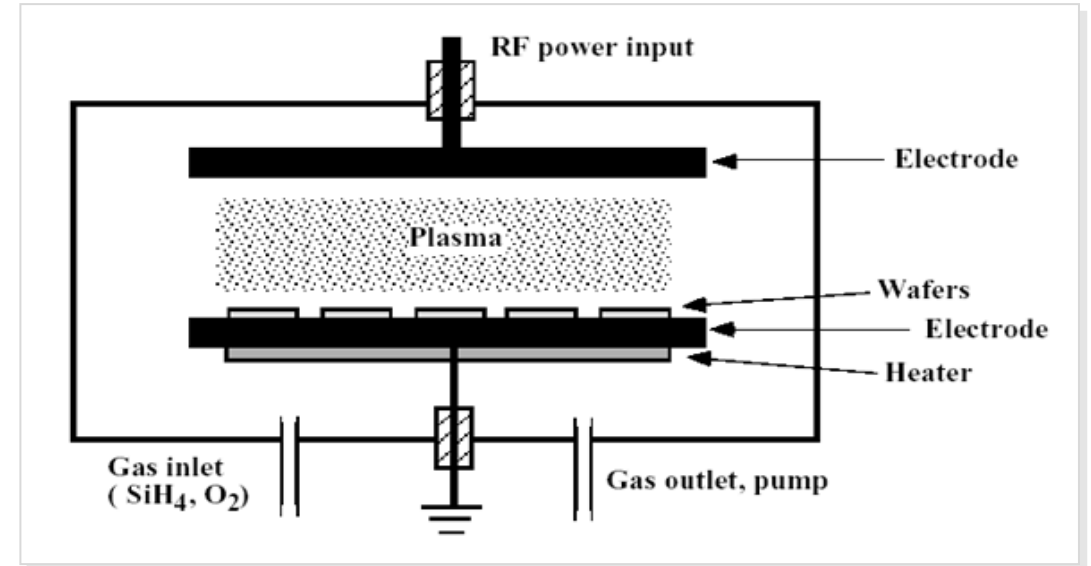
### • Sputtering Yield(S)

- Number of target atoms(molecule) emitted by each incident ion
- Varies with variables such as;
  - sputter ion energy
  - sputter ion species
  - target material
  - ion incident angle, etc.



## » CVD (Chemical Vapor Deposition)

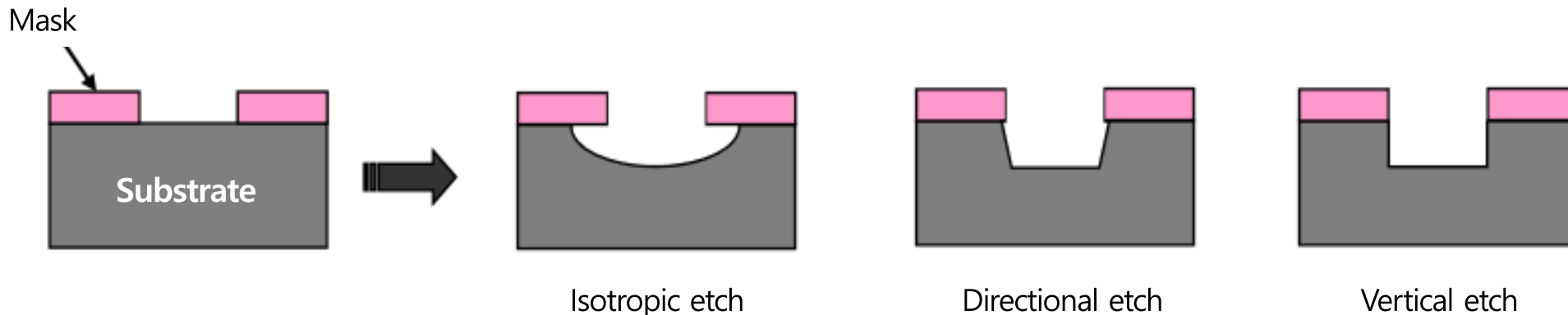
- 200°C~300°C의 낮은 온도에서도 증착이 가능함
- 반응기에 도입되는 기체의 양에 따라  
활성화물(radical)이 만들어지기 때문에 도입되는  
반응기체의 유량비 따라 박막의 조성비  
(stoichiometry)가 변함
- 수소 결합을 가진 활성화물이 생성되고 박막을  
형성하기 때문에 Si-H, N-H 결합을 한  
불순물(수소)이 다량 존재함
- 결론적으로 PECVD에 의한 박막을 낮은 온도에서  
쉽게 박막을 얻을 수 있는 반면에 조성의 조정과  
불순물의 함유 등의 단점을 가지고 있음





## » Dry Etching Type

- In the lithography process, the importance of plasma etching increases with the decrease in the lateral dimension.
  - Clean process
  - Compatible with automation
  - Anisotropic etching
  - Precise pattern transfer especially for Nano-scale features

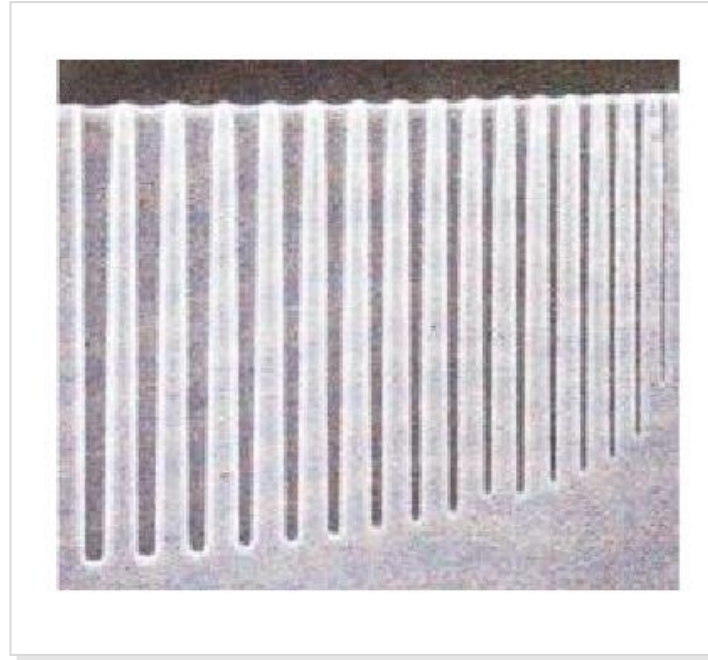


## » Classical-ARDE

- Higher aspect ratio features generally etch slower than smaller aspect ratio features

## » Four primary mechanisms used to explain ARDE

1. Neutral shadowing
2. Ion shadowing
3. Differential charging
4. Knudsen transport



그래도 시험은 처야한다  
교수님을 칠 순 없으니까

