

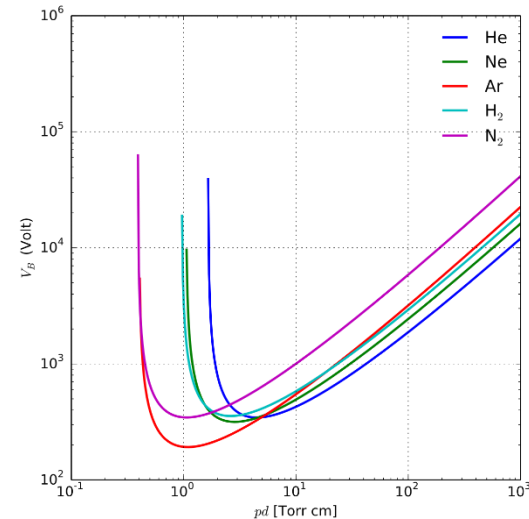
Q&A 길잡이 – 분류별 정의 및 설명

Plasma in General: 일반적인 플라스마 물리를 다룸.

Paschen Curve/Breakdown: 파셴 곡선은 DC 방전에서 플라스마 압력과 전극 간 거리에 따른 breakdown voltage의 관계를 나타낸 곡선이다. Breakdown voltage란 전기장이 부도체의 dielectric strength를 초과하여 부도체에 전기가 통하는 경로가 생기게 되는 절연파괴 (electrical breakdown)이 일어나는 전압이다.

https://en.wikipedia.org/wiki/Paschen%27s_law

Lieberman, M. A., & Lichtenberg, A. J. (2005). *Principles of plasma discharges and materials processing*. John Wiley & Sons. page 546-549.

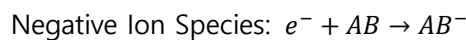
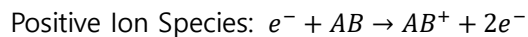


Power and Pressure correlation: DC glow 방전에서 압력 또는 전력과 관련된 문제를 위한 세부 분류.

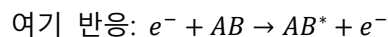
http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&page=14&document_srl=61292

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&page=11&document_srl=65326

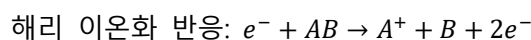
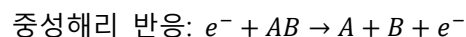
Ionization/Excitation/Dissociation: 플라스마에서 기체 원자/분자의 이온화, 여기, 또는 해리. 이온화(Ionization)란 중성기체 원자/분자가 전자를 잃거나 얻어 전하를 띠게 되는 현상을 의미한다.



여기(Excitation)란 기체 원자/분자가 에너지를 얻어 기준 상태보다 높은 에너지를 가지고 있는 상태를 말한다.



해리(Dissociation)이란 기체 분자가 보다 작은 분자, 이온 또는 라디칼로 분해되는 것을 말한다.



Cross section/Mean Free Path: 단면적(cross section)이란 어떤 충돌 과정이 일어날 확률을 나타내는 물리량으로, 넓이의 단위를 가진다. 평균자유행로(Mean free path, MFP)란 어떤 입자가 다른 입자와 충돌하고 나서 다음 입자와 충돌하기까지 평균적으로 이동하는 거리이다.

Lieberman, M. A., & Lichtenberg, A. J. (2005). *Principles of plasma discharges and materials processing*. John Wiley & Sons. page 44-46.

Pressure Issue: 입자 사이의 충돌에서 압력의 의미를 다루기 위한 세부 분류.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&page=27&document_srl=55144

DC sheath: 저온 플라즈마는 대부분 중성 기체 입자들로 구성되며, 매우 소수의 중성 기체 입자들만이 이온화되어 이온과 전자로 해리된다. 저온 플라즈마에서는 전자의 thermal velocity가 이온의 thermal velocity보다 매우 크기 때문에 (100배 이상) 플라즈마가 형성될 때 전자가 용기 벽면으로 더 빠르게 유실되어 용기 벽면 근처에서는 quasi-neutrality가 깨지고 양이온의 밀도가 전자 밀도보다 높아지게 된다. 이렇게 벽면 근처에서 양의 공간전하(space charge)를 가진 공간이 생기는데, 이 얇은 부분을 **sheath**라 부른다. 특히 DC 방전에서 생기는 **sheath**는 **DC sheath**라 부른다. Sheath의 potential gradient에 의해 전자는 플라즈마 쪽으로, 이온은 벽면 쪽으로 가속을 받으므로 sheath는 ion bombardment에 유용하게 쓰인다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55223

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55256

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55259

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55092

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55283

IEDF / EEDF / Reaction rate: 어떤 입자의 Energy Distribution Function $g(\xi)$ 는 에너지 ξ 의 미소변화량 $d\xi$ 와 곱해졌을 때 $(g(\xi)d\xi)$ 단위 부피당 ξ 와 $d\xi$ 사이의 에너지를 가지고 있는 입자들의 수를 나타내는 함수이다. 이 입자가 이온일 때는 **Ion Energy Distribution Function(IEDF)**가, 이 입자가 전자일 때는 **Electron Energy Distribution Function(EEDF)**가 된다. 이러한 IEDF와 EEDF는 각각 이온충돌반응과 전자충돌반응의 reaction rate를 구하는데 필수적이다.

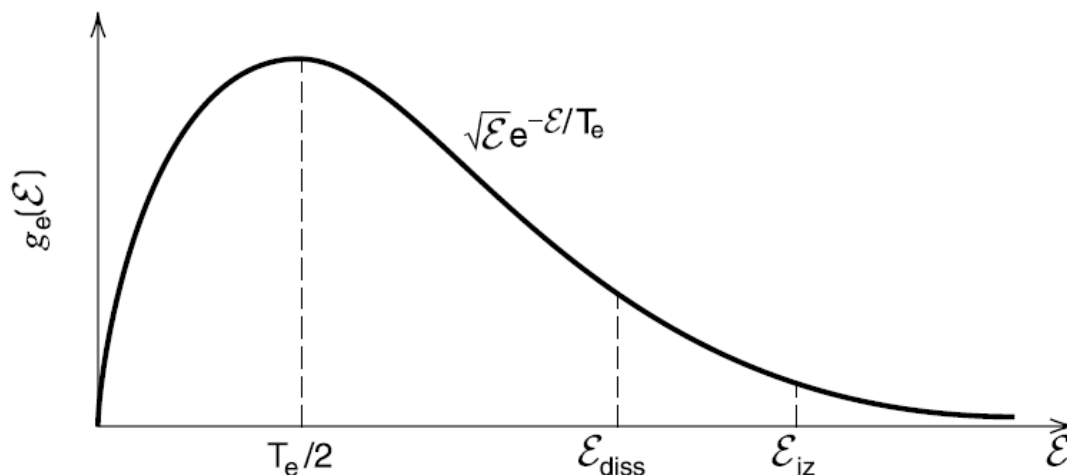


FIGURE 1.9. Electron distribution function in a weakly ionized discharge.

<https://www.comsol.com/blogs/electron-energy-distribution-function/>

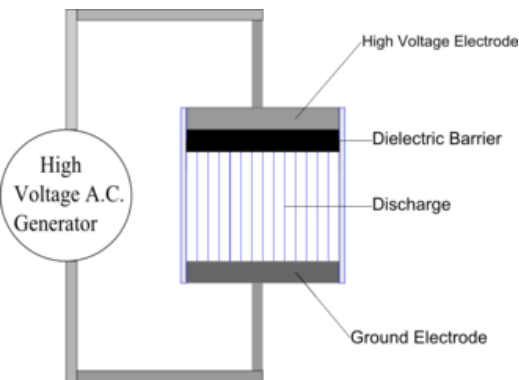
Lieberman, M. A., & Lichtenberg, A. J. (2005). *Principles of plasma discharges and materials processing*. John Wiley & Sons. page 47.

Global Models: Global modeling은 particle balance equation과 energy balance equation에 기초하여 유체 방정식을 통해 플라즈마를 수치적으로 해석하는 방식을 말한다. 이 방식은 유체 방정식에서 spatial derivative를 무시하는 대신에 플라즈마의 전력과 압력에 따른 밀도와 온도를 빠르게 계산할 수 있다는 장점을 가진다.

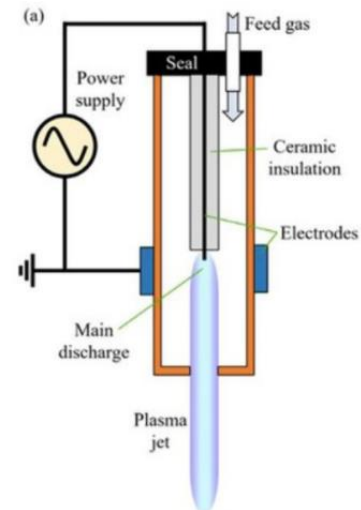
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ppap.201600138>

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=63604

Plasma Source: 플라스마를 발생시키는 소스를 다름.



DBD/APPJ: ATM Plasma란 대기압에서 발생시키는 플라스마를 말한다. DBD 플라스마와 APPJ 플라스마는 대기압 플라스마의 종류이다. **Dielectric Barrier Discharge(DBD)**란 두 전극 사이에 절연체가 삽입된 장치에서 발생하는 플라스마를 일컫는다. **Atmospheric Pressure Plasma Jet(APPJ)**은 대기압에서 발생한 플라스마가 다른 기체의 흐름에 의해 바깥으로 분출되는 형태의 플라스마를 일컫는다.



http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55143

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55148

Bio-Plasma relative: 사람의 생체 또는 동식물, 농산물 처리에 응용되는 대기압 플라스마를 위한 세부 분류.

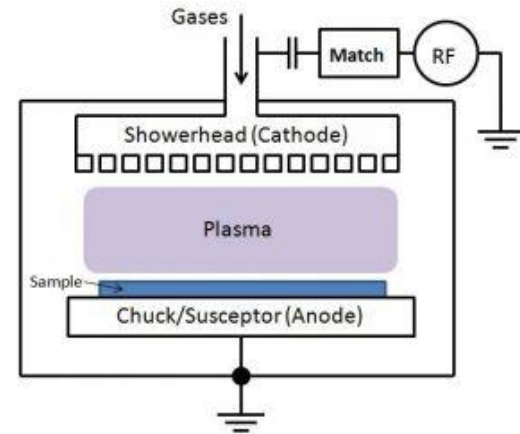
CCP(Capacitively Coupled Plasma): 두 전극에 교류 파워를 인가했을 때, 전극 사이에 형성되는 전기장에 의해 전자가 가속되어 중성 기체를 이온화시켜 발생하는 플라스마를 말한다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55105

Stochastic Heating: Ohmic heating은 전기장에 의해 가속된 전자들이 다른 입자에 충돌하면서 발생하는 가열이며, 모든 종류의 플라스마 방전에 존재한다. **Stochastic heating**은 **capacitive RF 방전에서 나타나며, ohmic heating과 대조적으로 입자간의 충돌을 요구하지 않는다.** Capacitive RF 방전에서 진동하는 sheath에 입사하는 전자들은 sheath의 potential에 의해 반사되는데, 이 때 sheath와 가졌던 상대속도만큼의 속도를 가지고 bulk plasma로 되돌아가게 된다. 이러한 sheath의 진동에 의해 평균적으로 전자들은 에너지를 얻게 되어 bulk plasma를 가열하게 된다.

Lieberman, M. A., & Lichtenberg, A. J. (2005). *Principles of plasma discharges and materials processing*. John Wiley & Sons. page 329.

Showerhead: Showerhead란 극판 사이에 가스를 최대한 균일하게 분포시켜 plasma를 최대한 균일하게 (가스 유동에 의한 효과를 최소화시켜) 만들기 위해 넓은 면적에 가스를 방출하는 구멍이 균일하게 뚫려있는 부품을 말한다. 이 때 Showerhead라는 이름은 이 부품의 모양이 샤워기와 비슷한 데서 온다. 이 세부 항목에서는 **CCP(Capacitively Coupled Plasma)**에서의 showerhead와 관련된 문제를 다룬다.



ICP(Inductively Coupled Plasma): 안테나에 흐르는 전류에 의해 유도된 자기장에 의해 유도되는 전기장에 의해 전자가 가속되어 중성 기체를 이온화시켜 발생하는 플라즈마를 말한다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55105

Skin Depth: 플라즈마에서 skin depth란 전기장, 자기장, 전자기파가 플라즈마 속으로 침투할 수 있는 깊이를 말한다. 플라즈마의 전기 전도도가 높거나 전자기파의 주파수가 높을수록 skin depth는 이들의 제곱근에 반비례하여 감소하게 되는데, 이 때 플라즈마의 전기 전도도는 플라즈마 밀도에 비례하므로 skin depth는 플라즈마의 밀도와 전자기파의 주파수의 곱의 제곱근에 반비례하게 된다. CCP에서는 stochastic heating이 특징적으로 발생한다면, **ICP(Inductively Coupled Plasma)**에서는 skin depth에서 유실되는 RF power로 인한 가열이 특징적으로 발생한다.

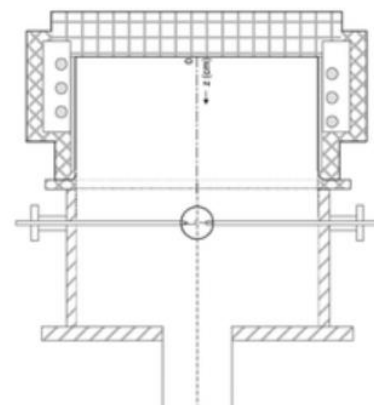
http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55147

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55437

Antenna: 안테나는 플라즈마로 침투할 RF(Radio Frequency) 전파를 만들기 위해 사용되는 부품이다. 이 세부 항목에서는 **ICP(Capacitively Coupled Plasma)**에 사용되는 antenna와 관련된 문제를 다룬다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55092

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55105



Remote Plasma: Remote plasma는 plasma source가 처리 시편에서 멀리 떨어져 있도록 한 상황에서 유도부를 통해 시편이 있는 곳까지 확산된 플라즈마를 의미한다. Remote plasma는 시편을 이온이나 전자의 충돌로부터 자유롭게 하면서 플라즈마에서 생성된 radical만을 시편 처리에 사용할 수 있다는 장점을 가진다. 예시로는 ICP plasma를 자기장으로 가둬 확산시키는 것과 APPJ (Atmospheric Pressure Plasma Jet) 등이 있다

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55431

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=78041

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=78421

Power Coupling: RF source를 사용하는 경우 회로상의 RLC 성분에 의해 power loss가 생기기 쉬우므로, 이를 상쇄하기 위해 (Impedance) Matching이라는 기술을 사용한다. 일반적으로 회로 전체 (방전구간까지)의 impedance를 50 Ω 으로 맞춰주며, 이를 **power coupling**이라고 부른다.
(Chamber Impedance 세부 분류 참고)

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=65843

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55180

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=65861

Chamber Component: 플라즈마 용기 및 관련된 부품을 다룸.

Matcher: 일반적으로 전원공급기는 고유의 임피던스(일반적으로 50 Ohm)를 가지며, 플라즈마도 임피던스(Impedance)를 가지기 때문에 전원공급기에서 공급하는 전력이 플라즈마에 모두 전달되지 못하고 일부가 반사되어 돌아온다. 이렇게 반사되는 전력을 최소화하기 위해서는 전원공급기 이후의 회로의 총 임피던스의 리액턴스(Reactance) 성분은 0, 저항성분은 50 Ohm로 맞춰야 한다. 이러한 impedance matching을 수행하기 위해 플라즈마와 전원공급기 사이에 **matcher(정합회로)**를 설치한다. (**Chamber Impedance** 세부 분류 참고)

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55398

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55214

ESC (Electrostatic Chuck): ESC는 반도체 공정 중 플라즈마 식각 공정에서 실리콘 웨이퍼를 정전기력을 이용해 고정시키는 장치를 말한다. 이 때 ESC와 실리콘 웨이퍼 사이에 가둔 얇은 헬륨 층에 의해 실리콘 웨이퍼를 냉각하게 된다.

https://www.sandia.gov/LabNews/LN03-27-98/chuck_story.html

Pulse operation: Power를 인가하는 방식으로는 크게 DC, RF, pulse의 세 가지가 있다. **Pulse operation**는 Power를 인가하는 구간과 인가하지 않는 구간이 번갈아 가며 나타나도록 운전하는 것을 말한다. (참고: RF operation에서 power는 sine 함수 형태로 연속적으로 변화한다.)

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/47/30/303001>

Showerhead: Showerhead란 극판 사이에 가스를 최대한 균일하게 분포시켜 plasma를 최대한 균일하게 (가스 유동에 의한 효과를 최소화시켜) 만들기 위해 넓은 면적에 가스를 방출하는 구멍이 균일하게 뚫려있는 부품을 말한다. Showerhead라는 이름은 이 부품의 모양이 샤워기와 비슷한 데서 온다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55227

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=65271

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=66064

Chamber Impedance: Chamber가 가지는 impedance를 말한다. 일반적으로 전원공급기는 고유의 임피던스(일반적으로 50 Ohm)를 가지며, 플라즈마도 임피던스(Impedance)를 가지기 때문에 전원 공급기에서 공급하는 전력이 플라즈마에 모두 전달되지 못하고 일부가 반사되어 돌아온다. 이렇게 반사되는 전력을 최소화하기 위해서는 전원공급기 이후의 회로의 총 임피던스의 리액턴스 (Reactance) 성분은 0, 저항성분은 50 Ohm로 맞춰야 한다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55369

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55398

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55214

이상원박사, " 전기적 특성을 고려한 ICP Source 설계", 한국진공학회지 제18권 제3호 2009.5, pp. 176~185(10pages)

Monitoring Method: 온도나 밀도 등 플라즈마의 여러 물리량을 측정하기 위한 플라즈마 진단법을 다룸.

OES (Optical Emission Spectroscopy): OES는 플라즈마에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 분석하여 플라즈마 속 중성종과 이온의 조성을 측정할 수 있는 방법과 그 장비를 말한다. 플라즈마 내 원소의 전자는 여기된 상태에서 기저 상태로 떨어지면서 빛을 방출하게 되는데, 이때 방출되는 빛은 원소에 따라 고유의 파장 혹은 파장 범위를 가지게 되므로 측정한 스펙트럼의 모양과 크기를 컴퓨터에 미리 저장되어 있는 원소별 스펙트럼과 비교함으로써 원소의 종류와 양을 유추할 수 있다.

http://www.kvs.or.kr/file/story/2015_12_05.pdf

http://pal.snu.ac.kr/index.php?document_srl=69890&mid=board_qna_new

Langmuir Probe: 플라즈마 내에 도체(probe)를 삽입하고 인가하는 전위의 변화에 따라 도체에 흐르는 전류를 얻어 전위-전류 곡선으로부터 플라즈마의 특성을 진단하는 방법을 정전 탐침법 (Langmuir probe)이라 한다. 이상적으로 전자들이 맥스웰 분포를 하고 있다는 가정 하에 전위-전류 곡선으로부터 전자 온도, 이온/전자 밀도, 플라즈마 전위, 부유 전위 등을 관찰할 수 있다.

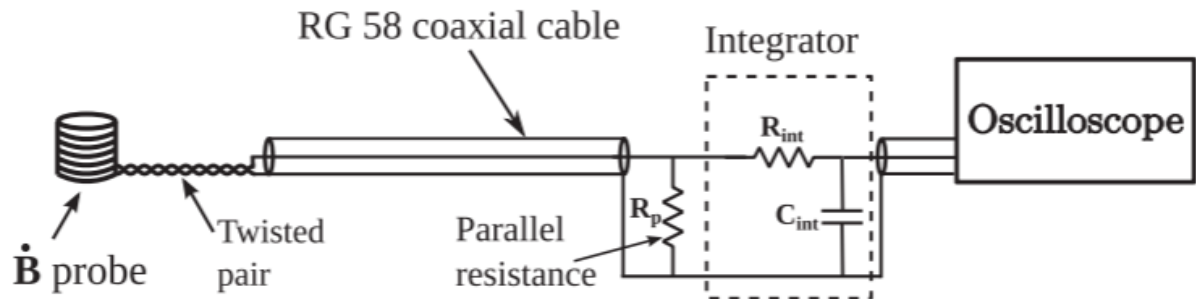
http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=55106

VI(Impedance) Sensor: VI sensor는 RF 신호의 voltage, current, phase, harmonics, impedance 등을 측정할 수 있는 RF(Radio Frequency) 전압-전류 센서이다. 이런 VI sensor는 RF tool matching, fault detection, RF fingerprinting과 classification 등에 사용된다.

<https://impedans.com/octiv-poly-vi-probe>

https://impedans.com/sites/default/files/pdf_downloads/oc03_octiv_vi_probe_-_theory_of_operation.pdf

B dot probe: B dot probe는 도선 코일로 구성된 탐침이다. 코일을 통과하는 자기선속이 시간에 따라 변할 때 Faraday's law에 의해 도선 코일에 유도되는 기전력이 생기므로, 코일의 전압을 측정함으로써 플라즈마 내부에 존재하는, 시간에 따라 변하는 자기장을 측정할 수 있다.



<https://ppmtest.com/product-category/magnetic-field-sensors/>

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/aeee31>

FTIR (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy): FTIR는 적외선을 이용하여 플라즈마의 화학조성을 분석하는 분광법이다. 화학 물질마다 가지고 있는 화학 결합이 서로 다르고, 각 화학 결합마다 흡수할 수 있는 에너지의 크기가 다르기 때문에 여러 에너지의 IR(infrared) 빛을 조사했을 때 물질마다 특징적인 IR 흡수 스펙트럼을 가지게 된다. 이 스펙트럼을 얻는데 Fourier transform이 필요하기 때문에 이름에 FT(Fourier transform)이 들어가게 된다.

https://www.iitk.ac.in/dordold/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=221&Itemid=240

<https://www.thermofisher.com/kr/ko/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-basics.html>

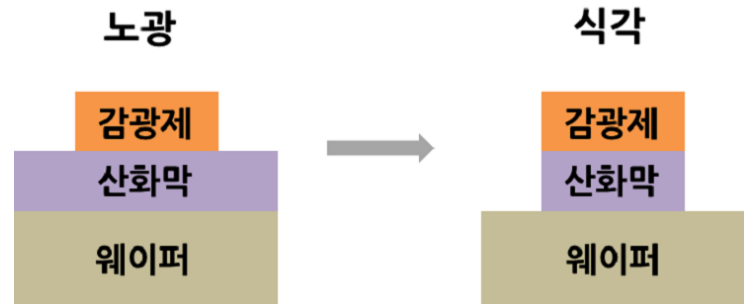
Ellipsometry: Ellipsometry는 박막의 dielectric property(complex refractive index or dielectric function)를 조사하기 위한 측정 방법이다. Ellipsometry는 빛이 박막에 반사 또는 굴절되었을 때 겪는 편광의 변화를 측정하여 기준 모델과 비교함으로써 이루어진다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_srl=80432

Process: 플라즈마 공정을 다름.

Etch: 플라즈마를 이용하여 물리적/화학적으로 물질을 식각하는 공정. 보통 반도체 제작 과정에서 산화막을 식각하는데 사용된다.

<https://www.skcareersjournal.com/959>



Deposition: Chemical Vapor Deposition(CVD)이란 형성하고자 하는 박막을 구성하는 원소를 포함한 물질을 기화한 다음, substrate 표면에서 화학반응을 통해 증착시켜 박막을 만드는 공정을 일컫는다. 이런 공정 중 플라즈마를 이용하는 것을 **Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)**라고 부른다.

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_url=55240

<https://m.blog.naver.com/youngdisplay/220490827926>

Sputtering: Sputtering이란 질량이 큰 이온을 타겟(증착시키고자 하는 물질)에 충돌시켜 타겟으로부터 원자들이 떨어져 나오게 하고, 이렇게 튀어나온 원자들의 경로에 substrate를 두어 substrate 표면 위에 타겟의 원자들을 물리적으로 증착시켜 박막을 만드는 공정을 말한다. 이 공정에서 플라즈마는 sheath 전위로 이온들을 타겟 표면으로 가속시키는 역할을 한다.

<https://m.blog.naver.com/youngdisplay/220490827926>

http://pal.snu.ac.kr/index.php?mid=board_qna_new&document_url=55125

Ashing: 반도체 공정에서 ashing이란 식각(etching)이 끝난 웨이퍼에서 photoresist를 제거하는 공정을 말한다. 이 공정에서는 플라즈마를 이용하여 한 종류의 활성종(reactive species)을 만들고, 해당 활성종을 photoresist와 반응시켜 ash로 만든 다음, 진공 펌프를 이용하여 웨이퍼로부터 떨어져 나온 ash를 제거한다.

https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_ashing