

2.6 진공

반도체 디스플레이 공정에서는 진공 장비가 많이 사용되며 진공에 대한 기본 이해가 필요하다. 챔버 내부의 공기를 진공 펌프를 이용하여 뽑아내어 진공을 달성 하게 되며 이런 진공 하에서 막들의 증착이 이루어진다. 진공은 대기압 보다 낮은 압력의 상태를 말하며 분자수가 대기압 상태의 기체 분자수 보다 적은 공간이다. 압력의 단위는 진공을 최초로 만든 Torricelli 의 이름을 딴 Torr, MKS 단위인 N/m^2 , 프랑스 물리학자 Pascal 의 이름을 딴 Pa 등이 있다. 각 압력의 단위간의 환산표는 표 2.6-1 과 같다. 진공은 챔버 내의 압력으로 나타내게 되는데 대기압이 760 torr이고 각 압력별 주요 항목들을 아래 표 2.6-2 에 정리하였다.

표. 2.6.1 각 압력간의 환산표.

	Torr	Pa	Atm	Dyne/cm ²	kg/cm ²	lb/in ²
Torr	1	133.3	1.316×10^3	1.333×10^3	1.360×10^3	1.934×10^{-2}
Pa	0.75×10^{-2}	1	9.869×10^{-6}	10	1.020×10^{-5}	1.450×10^{-4}
Atm	760	1.0133×10^5	1	1.0133×10^6	1.033	14.70
Dyne/cm ²	7.501×10^{-4}	0.1	9.869×10^{-7}	1	1.020×10^{-6}	1.450×10^{-5}
kg/cm ²	735.6	9.807×10^4	9.678×10^{-1}	9.807×10^5	1	14.22
lb/in ²	51.72	6.895×10^{-3}	6.895×10^{-2}	6.895×10^4	7.031×10^{-2}	1

표 2.6-2. 주요 진공.

구분	압 력 (torr)	분 자 수 (/cm ³)	평균자유거리 (cm)	분자입사빈도 (s ⁻¹ cm ²)
대기압	760	2.5 X 10 ¹⁹	6.6 X 10 ⁻⁶	2.9 X 10 ²²
중진공	1	3.3 X 10 ¹⁶	5.0 X 10 ⁻³	3.8 X 10 ²⁰
고진공	10 ⁻⁶	3.3 X 10 ¹⁰	5.0 X 10 ²	3.8 X 10 ¹⁴
초고진공	10 ⁻¹⁰	3.3 X 10 ⁶	5.0 X 10 ⁷	3.8 X 10 ¹⁰

진공도가 증가 함에 따라 챔버 안의 단위 부피당의 분자 수가 줄어들며 각 분자들이 충돌 전 움직이는 평균 자유 거리 (mean free path) 도 증가하게 되며 대기압에서 평균 자유 거리가 6.6 마이크론에 불과하던 것이 고진공에서는 5 m 에 달하게 된다.

1 기압= 760 Torr = 1013 mb =101300 Pa 로서 진공도가 표시 되며 각 진공도별 분류는 다음과 같다.

저 진공 (LOW VACUUM): 1기압~10⁻³Torr:Roughvacuum이라고도 하고 기체 상태의 분자 수량이 진공용기 내부 표면에 부착되어 있는 분자 수량보다 많은 상태이다. 음식 건조, freeze drying, 증류 (distillation), 박막증착 (sputtering, LPCVD), 플라즈마 공정, 네온사인 등이 이 진공대 에서 사용된다. 저 진공의 10⁻³Torr영역이면 이미 기체가 99.99 %이상 빠져나간 상태이다.

고진공 (HIGH VACUUM, HV): $10^{-3} \sim 10^{-7}$ Torr 로 기체의 평균 자유 행로가 진공용기의 크기보다 긴 상태이기 때문에 분자간의 충돌보다는 진공 용기 내벽과의 충돌이 많다. 진공관, CRT, 이온주입 (ion implanting), 증착 (evaporation), 전자현미경 등이 이 진공대에서 운용되고 있다.

초고진공 (UHV): 10^{-8} Torr이하로 분자밀도가 상당히 떨어진 상태로 분자가 진공용기 내부 표면에 단일층 (mono-layer)을 형성하는데 시간이 충분히 오래 걸려 여러 가지 표면에 관한 실험을 할수 있는 상황이 된다.

2.6.1 진공 펌프

진공을 만들기 위해 진공 펌프를 사용하게 되며 각 단계별 여러 가지 종류의 진공 펌프가 사용이 된다. 값이 싸고 단순한 저진공용 펌프는 아디어프램 펌프이다. 다양한 종류의 펌프들이 있으며 소음 및 소비 전력이 작고 수리 및 유지 보수가 간단하다. 오일을 사용하지 않기 때문에 오염도가 적으나 도달 진공도가 1 mbar 정도로 낮다. 피스톤의 왕복 운동과 밸브의 작용으로 물펌프와 같이 공기를 뽑아내게 된다.

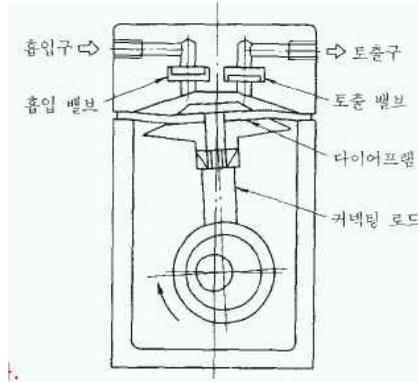


그림 2.6.1-1. 다이어프램펌프.

다양한 종류의 펌프들이 있으며 소음 및 소비 전력이 작고 수리 및 유지 보수가 간단하다. 오일을 사용하지 않기 때문에 오염도가 적으나 도달 진공도가 1 mbar 정도로 낮다. 피스톤의 왕복 운동과 밸브의 작용으로 물펌프와 같이 공기를 뽑아내게 된다.

로타리 펌프

저 진공에는 아래 그림 2.6.1-2 와 같은 로타리 펌프 등이 많이 사용이 되고 있으며 10^{-3} mbar 정도까지의 영역에 사용이 된다. 흡입, 압축, 배기의 과정을 거쳐 챔버내 개스를 밖으로 배출 하게 된다. 사용이 되는 오일은 회전에 의한 마찰열의 감소와 압축 효율을 높여 준다. 사용하는 오일의 증기압이 높아야 좀 더 낮은 압력을 얻을 수 있고 역류에 의한

오염을 방지할 수 있다. 실온에서는 증기압이 비교적 낮으나 마찰 등으로 온도가 올라가면 증기압은 쉽게 수백 배 또는 그 이상 증가한다. 표면을 냉각 시켜 주거나 또는 반대로 뜨겁게 하여 증발시킴으로서 오염을 방지할 수 있다. 또한 진공챔버와 펌프 사이에 트랩이나 역류 방지관등을 사용하여 상당히 줄일 수 있다.

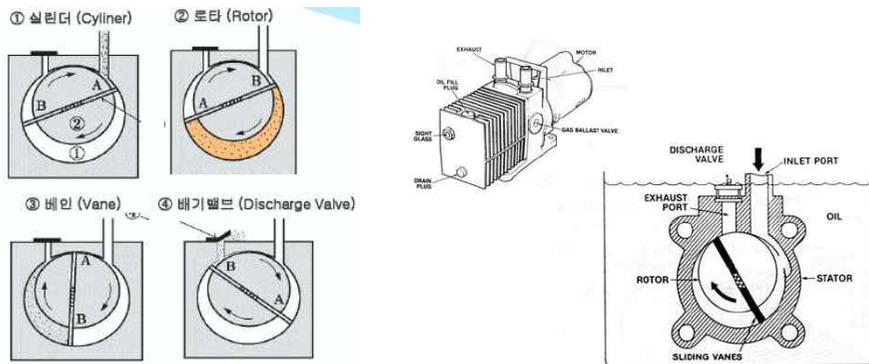


그림 2.6.1-2. 오일 로타리 펌프

오일을 사용하는 펌프의 경우에는 오일에 의한 오염 등의 우려로 오일을 사용하지 않는 아래 그림 2.6.1-3 과 같은 드라이 펌프 등이 사용이 된다.



드라이펌프

드라이펌프는 오일을 사용하지 않으므로 오일에 의한 오염의 염려가 없다. 고진공용 펌프로는 가격이 저렴한 확산 펌프 (diffusion pump) 가 사용이 되는데 아래 그림 2.6.1-3 과 같다.

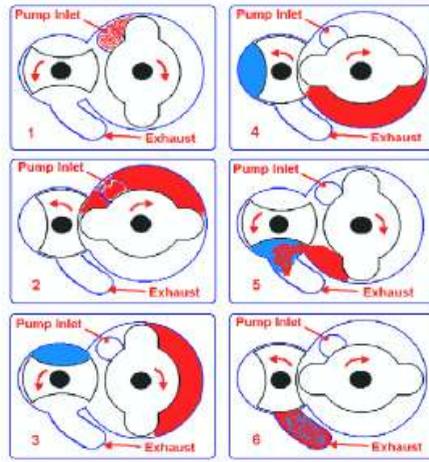


그림 2.6.1-3. Dry pump.



확산펌프

열에 의해 오일을 끓이고 분사되는 오일에 의해 고진공을 달성하도록 되어 있으며 그림 2.6.1-4와 같이 펌프의 외벽은 냉각을 시켜서 분사된 오일이 다시 응축이 되도록 되어 있다. 히터에서 끓은 오일은 증기탑을 따라 상승하다가 아래쪽을 향한 노즐에서 약 300 m/s 의 빠른 속도로 분출이 된다. 이 때 기체 분자가 같이 아래로 향하게 되어 배기가 된다.

오일 확산 펌프는 오일의 산화 등을 방지하고 배기 효율을 높이기 위하여 로터리 펌프를 이용하여 보조 배기를 하면서 사용하게 된다.

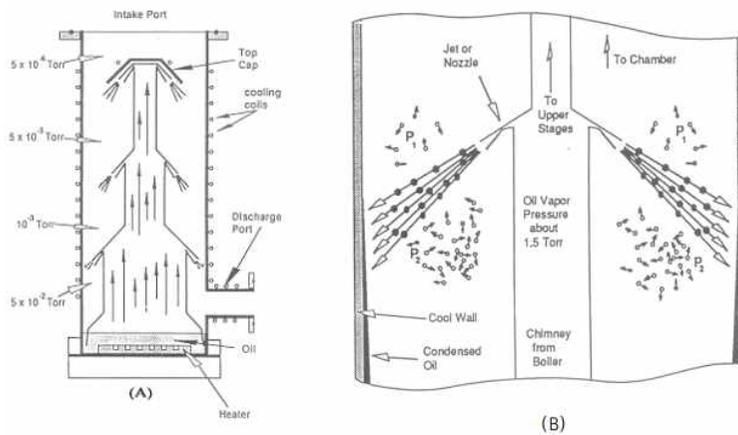


그림 2.6.1-4. 확산 펌프.



TMP (turbo molecular pump)

고속으로 회전하는 날개에 의해 공기 분자를 뽑아내는 구조이다. 그림 2.6.1-5 과 같이 고속으로 회전하는 블레이드에 의해 분자가 튀어나감으로서 배기가 이루어진다. 고속으로 회전 하는 날을 사용하므로 작은 입

자나 부스러기에 의해 쉽게 손상을 입을 수 있고 고속 회전시 각속도가 크게 걸려 작은 충격에도 망가질 수 있으므로 사용에 주의 해야 한다.

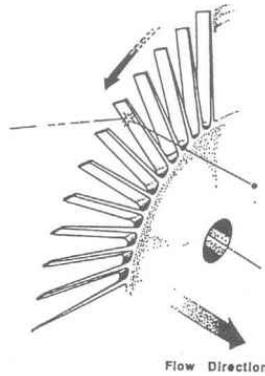


그림 2.6.1-5. TMP 원리.



크라이오펌프 (Cryo Pump)

저온을 이용하는 것으로 차가운 표면에 기체 분자들이 응축 또는 흡착이 되도록 하여 제거하며 냉매로는 액체질소나 압축 헬륨등을 이용한다. 냉온 응축은 온도를 낮게 하여 기체를 액화 및 얼리는 방법이다. 수소, 헬륨, 네온 과 같은 증기압이 높은 기체는 20 K 또는 응축에 의해 배기하는 것이 불가능하므로 20 K 이하로 냉각된 흡착제 (활성탄) 에 의해 배기된다.

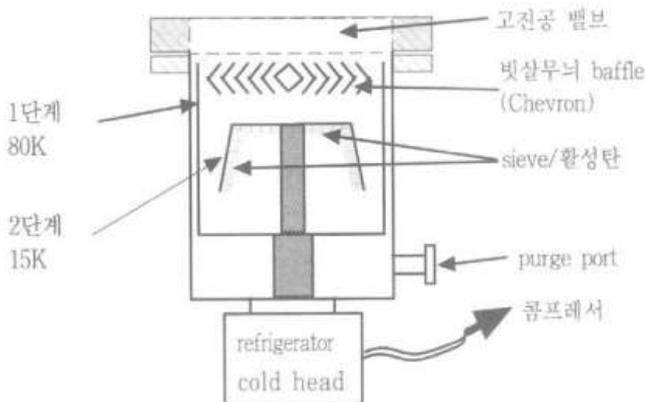
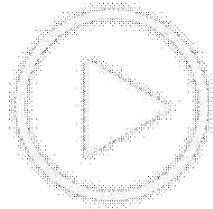


그림 2.6.1-6. 크라이오 펌프.



게터 펌프

티타늄과 같이 화합물 형성이 쉬운 물질을 필라멘트나 덩어리 형태로 가열하여 진공 펌프 벽에 증착하면 펌프내로 들어온 가스와 여러 가지 화합물을 형성 하면서 기체 분자를 제거한다.

이온 펌프

기체를 이온화 하여 반응성을 높여 기체분자를 제거한다. 그림 2.6.1-7 과 같이 캐소드에서 방출된 전자는 자기장의 영향으로 나선형으로 애노드 쪽으로 움직인다. 전압은 약 5 kV 정도 이며 전자는 나선형 운동 중에 기체 분자와 충돌하여 기체를 이온화 시키고 이온화된 기체는 캐소드 쪽으로 급격히 가속이 되어 배기가 이루어진다.

2.6.2 압력의 측정

Geisler 관

저진공도 측정용으로 진공의 상태를 육안으로 판별할 수 있다. 유리관에 두 개의 전극을 마주보게 넣고 고전압을 가하여 압력의 변화에 따라서 방전의 현상이 변화하므로 그 상태를 관찰 하여 대략적으로 압력을 알 수 있다.

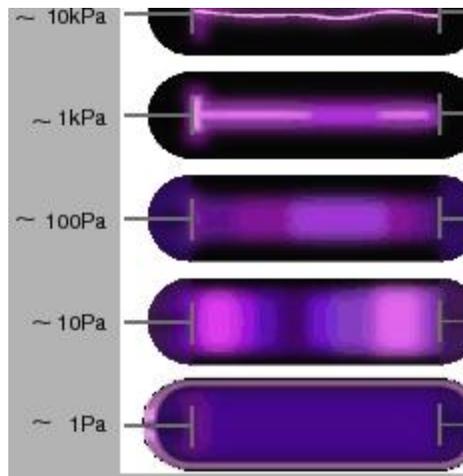


그림 2.6.2-1. 압력에 따른 방전의 변화

TC (thermocouple)

저진공에서 흔히 사용이 되는 TC (thermocouple) 게이지는 아래 그림과 같다. 필라멘트가 일정전류에 의해 열이 발생하여 온도가 올라 가며 TC가 그 온도를 측정한다. 기체분자들이 필라멘트와 충돌하면 열을 빼앗는데 이 온도의 변화를 TC가 감지한다. 기체의 양이 많을 수록 온도가 많이 떨어지므로 압력을 알 수 있다. TC 게이지와 비슷하나 휘스톤 브리지 구조를 가지고 있는 아래 그림과 같은 피라니 게이지가 있다.

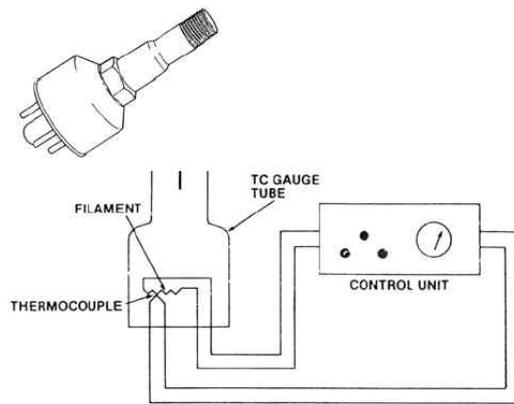


그림 2.6.2-2 TC 게이지.

피라니 게이지 (Pirany Gauge)

가열한 금속에서의 열손실이 기체의 압력에 따라 변하는 성질을 이용한 것이다. $10^4 \text{ Pa} \sim 10^{-1} \text{ Pa}$ 정도의 압력을 측정할 수 있다. 진공 중에 가는 백금선이나 Pt-Pr 등의 금속선을 이용하며 이 금속선의 온도를 기체의 압력에 관계없이 항상 일정한 온도를 유지하도록 전류를 흘린다.

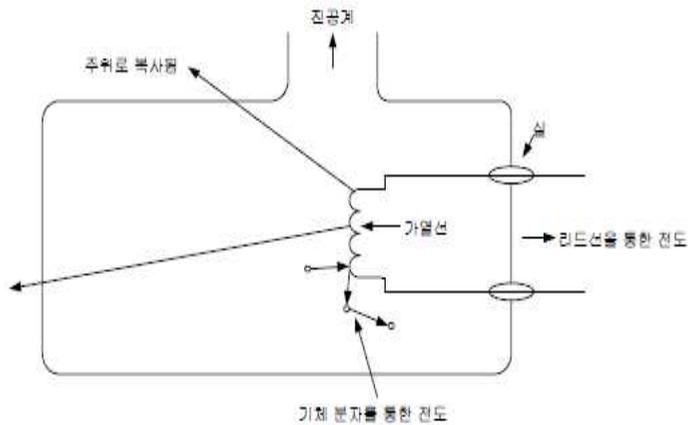


그림 2.6.2-3. 피라니 게이지.

온도가 일정하므로 열손실은 기체의 열전도만을 고려하면 된다. 압력이 P_0 에서 P 로 변한 결과 저항 R 의 금속선을 흐르는 전류가 i_0 에서 i 로 변했다면 일반적으로

$$R(i^2 - i_0^2) = K(P - P_0) \text{ ----- (2.6.2-1)}$$

가 되어 압력은 전류량의 제곱에 비례한다.



그림 2.6.2-3. 여러 가지 피라니 게이지.

이온 게이지 (ionization gauge)

Penning gauge 는 cold cathode 이고 이온 게이지는 hot cathode 이다. Hot cathode 이온 게이지는 아래 그림 2.6.2-4와 같은 구조를 가진다. 10^{-1} Pa~ 10^{-5} Pa 정도의 고진공을 측정할 수 있다. 구조는 3극 진공관과 같으며 필라멘트가 열전자를 방출하여 기체분자들과 충돌하여

기체를 이온화 시킨다. 이 때 생성된 이온들은 컬렉터에 수집이 되어 전류로 변하며 이 전류는 압력에 비례하므로 압력을 알 수 있다. 필라멘트가 가열이 되어 있으므로 공기와 반응하면 필라멘트가 산화하여 끊어지는 수가 있어 주의해야 한다. 사용하는 기체에 따라 특성이 달라지며 반응성의 기체에는 사용할 수 없다.

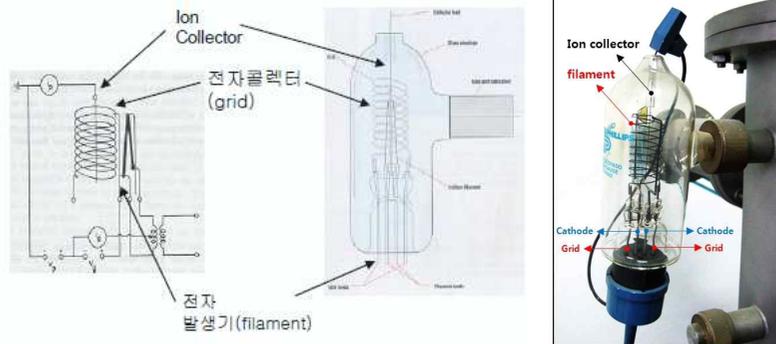


그림 2.6.2-4. 이온 압력 게이지

그림 2.6.2-5 는 여러 가지 진공 게이지의 사용 영역을 정리한 것이다.

