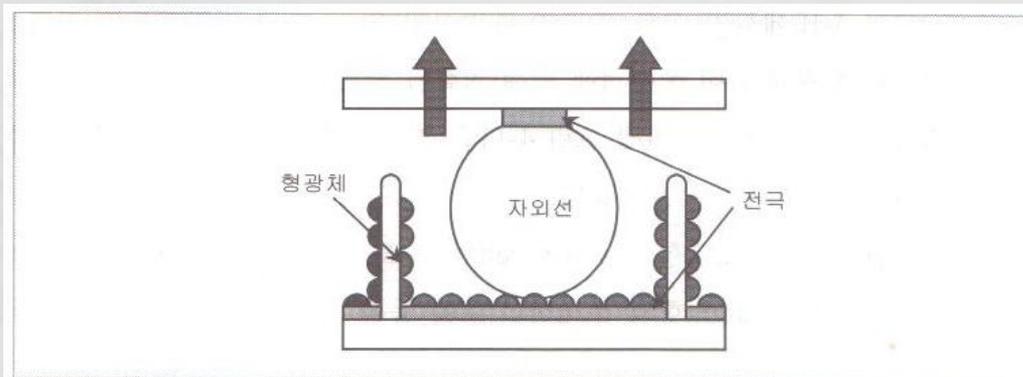


## 4.4 PDP의 구조와 동작원리

- PDP는 다른 평판 디스플레이보다 대형화에 적합하고, 비선형성이 우수하며 시야각이 매우 넓다는 특성을 가지고 있음.
- 형광체를 이용하기에 자연색으로의 구현이 용이함.
- Ne, Ar이나 Xe과 같은 불활성 가스를 상, 하 유리기판에 설치되는 전극 사이에 밀봉하고 전압을 가하여 플라즈마를 생성함.

### 4.4.1 DC PDP의 동작원리

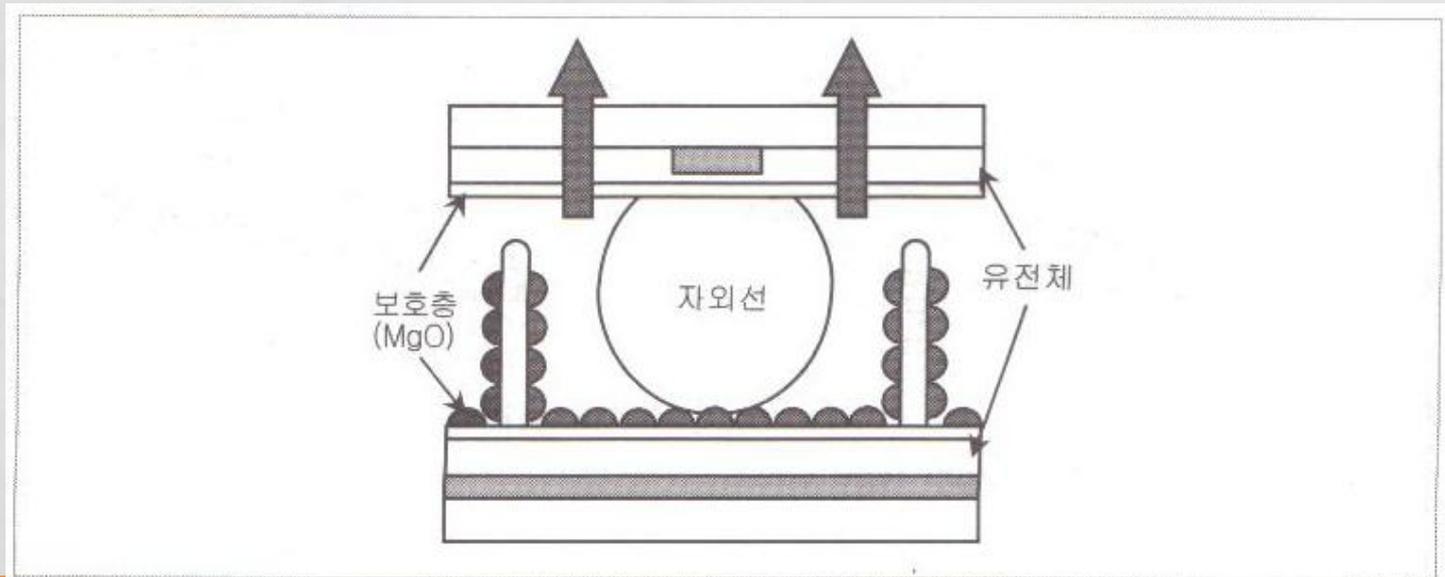
- DC PDP는 그림 4-9와 같이 전극이 방전 공간에 노출된 구조임.
- DC형은 refresh 방식으로 구동하기 때문에 구동회로는 간단함.
- cell 사이에 방전에 의한 간섭을 차단하기 위해 격벽을 설치하여 구조는 복잡함.
- 전극이 플라즈마가 형성하는 방전기체에 노출되어 있음.



▲▽ 그림 4-9 DC PDP의 기본 구조

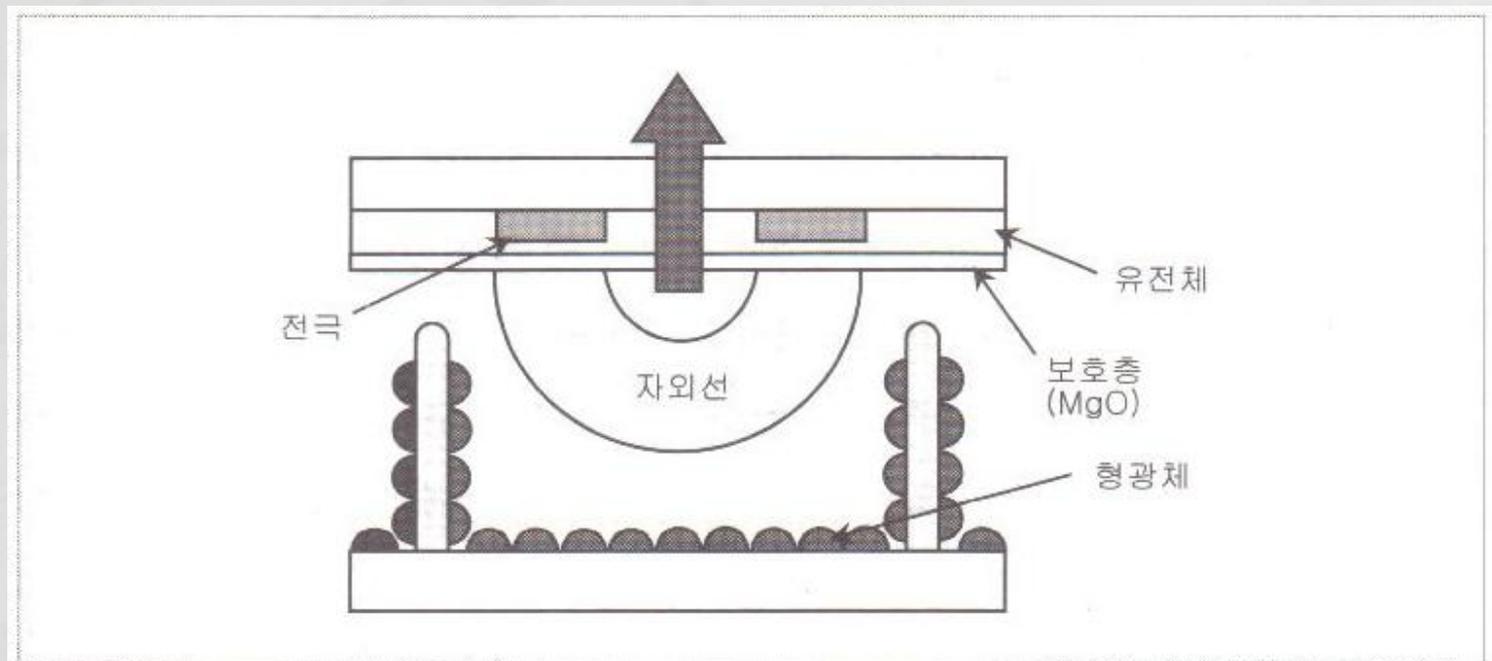
## 4.4.1 DC PDP의 동작원리

- AC PDP는 그림 4-10과 같이 상하전극이 유전체로 덮혀있는 구조임.
- AC형은 정현파의 교류전압이나 200kHz의 펄스 전압을 인가하여 방전을 일으킴.
- 유전체로 덮혀있어 이온의 충격을 받지 않아 DC형보다 수명이 길다.
- 유전체 층을 보호 하기 위해 보호층으로 MgO를 증착함.
- Memory 방식 : 방전이 일어난 뒤에 유지 전압으로 방전을 지속함.  
Refresh 방식 : 표시하여야 할 전극에 높은 펄스전압을 인가하여 방전하는 방식.



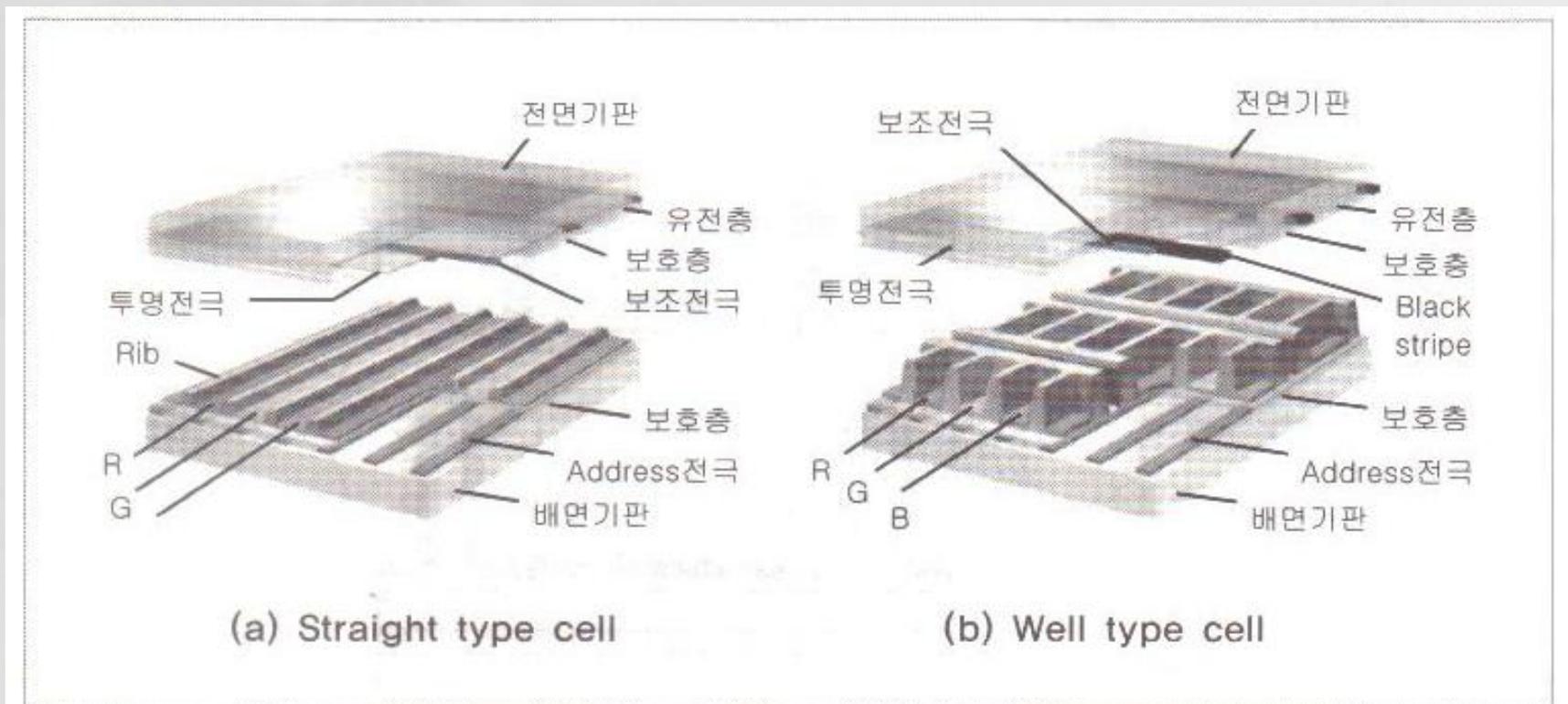
▲▽ 그림 4-10 대향 방전형 AC PDP의 기본 구조

- 그림 4-10 대향 방전형 AC PDP 의 구조를 나타낸 것이다. 상하 전극이 대향 → 하판에 있는 형광체가 열화 될 수 있음 → 수명이 단축될 수 있음.
- 이것을 개선하기 위해 그림 4-11과 같은 면방 전형 AC PDP를 개발함..
- 전극을 형광체의 반대편에 설치함으로 형광체의 열화를 막을 수 있음.



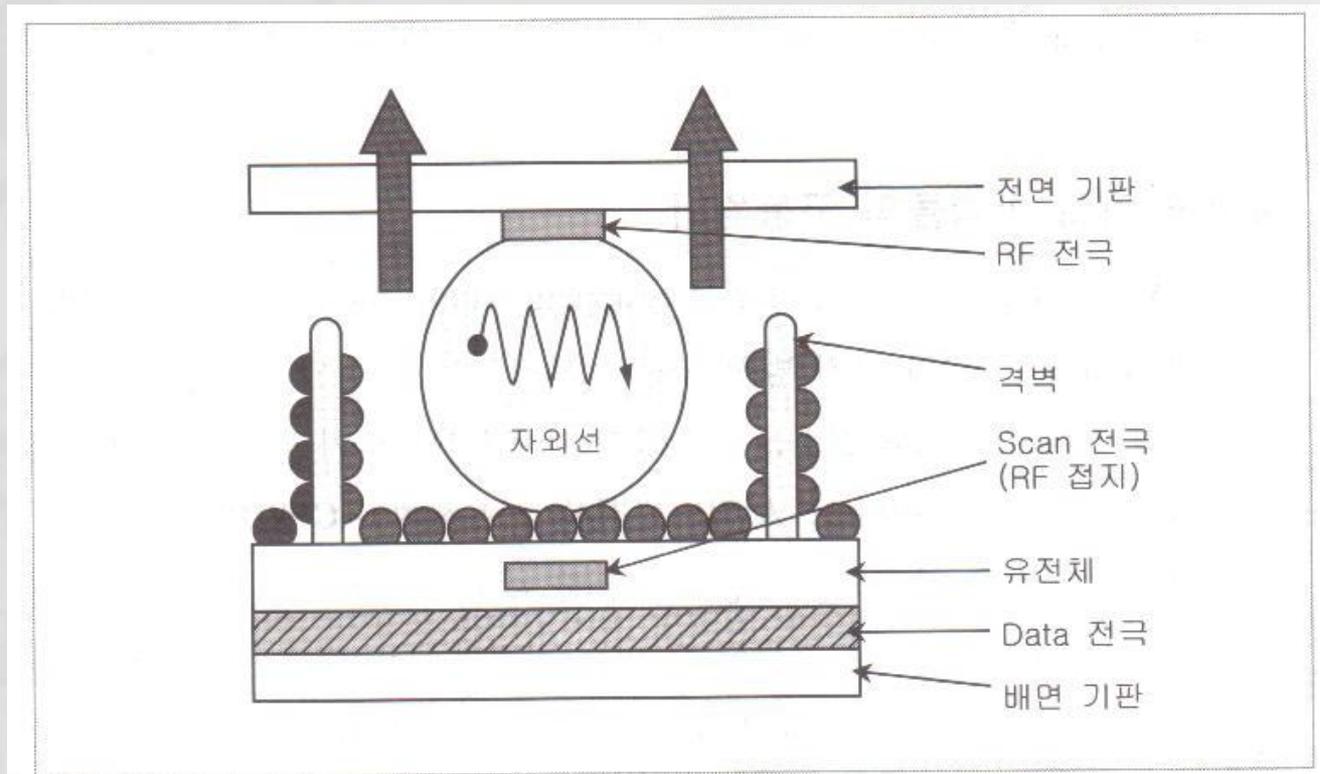
▲▽ 그림 4-11 면방전형 AC PDP의 기본 구조

- 그림 4-12는 strip형과 well(우물)형 cell의 구조임.
- 우물형 cell구조는 일반적인 strip형의 문제점인 효율 등을 개선한 형태로서 waffle형 이라고 부르기도 함.
- 발광 효율이 향상되고, 인접한 cell에서 자외선의 확산을 막아줌.
- 그러나 진공 배기 문제와 잔류가스에 의한 방전 저하가 발생.



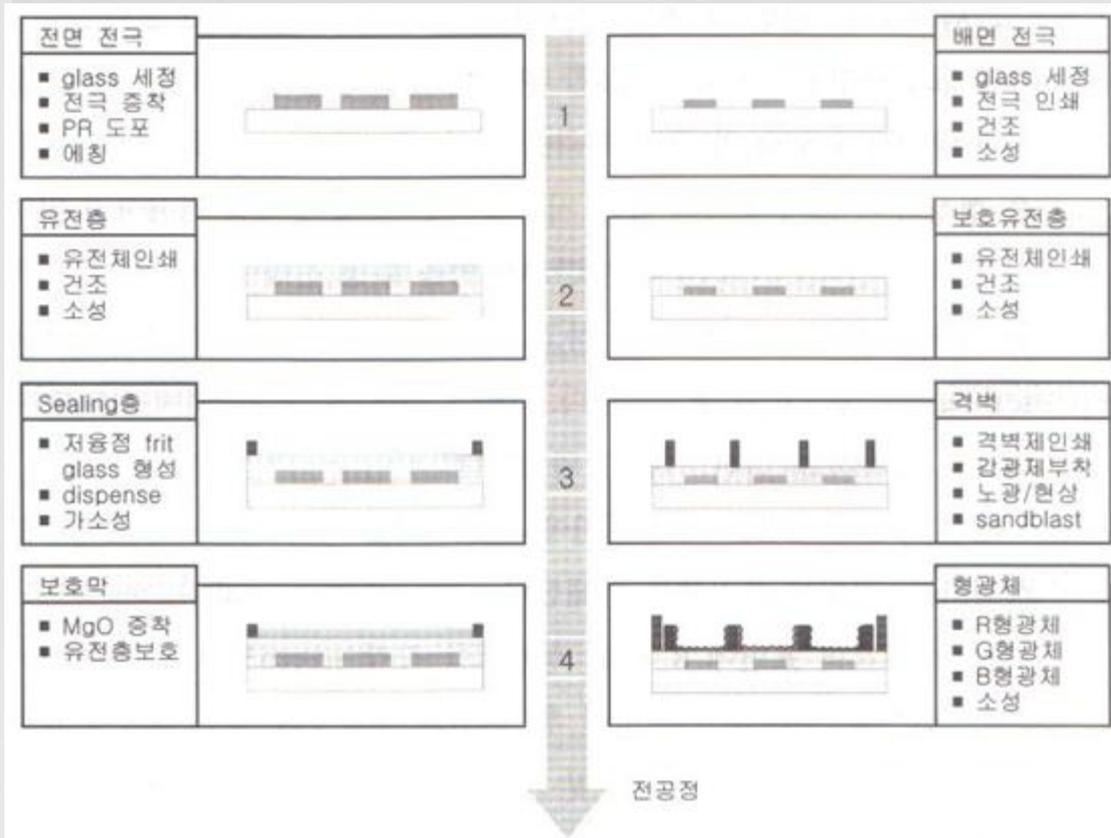
▲▽ 그림 4-12 PDP cell의 구조

- 그림 4-13은 고주파 방전 구동 방식의 기본구조임.
- 고주파 RF전극을 이용한 방전으로 자외선을 발생시켜 형광체를 여기 시킴.



▲▽ 그림 4-13 고주파 방전 구동 방식의 기본 구조

# 4.5 PDP의 제조공정



[표 4-4] PDP 제조상에 사용되는 재료의 증착공정 기법

공정	재료	제조방법
투명 전극	ITO	- sputter, photo etching
	SnO <sub>2</sub>	- CVD & lift-off
data 전극	Cr/Cu/Cr Cr/Al/Cr	- sputter, photo etching
	Ag	- screen printing - photo sensitive paste
유전층	저융점 glass	- screen printing - coating - green sheet laminating
보호막	MgO	- e-beam evaporator - sputter, ion plating
격벽	저융점 glass ceramics	- screen printing - sandblast - photo sensitive paste - die pressing
형광체	R: (Y,Gd)BO <sub>3</sub> :Eu G: ZnSiO <sub>4</sub> :Mn B: BaMgAl <sub>10</sub> O <sub>17</sub> :Eu	- screen printing - photo sensitive paste
seal line	저융점 glass	- dispensing - screen printing

## 4.6 PDP의 소재

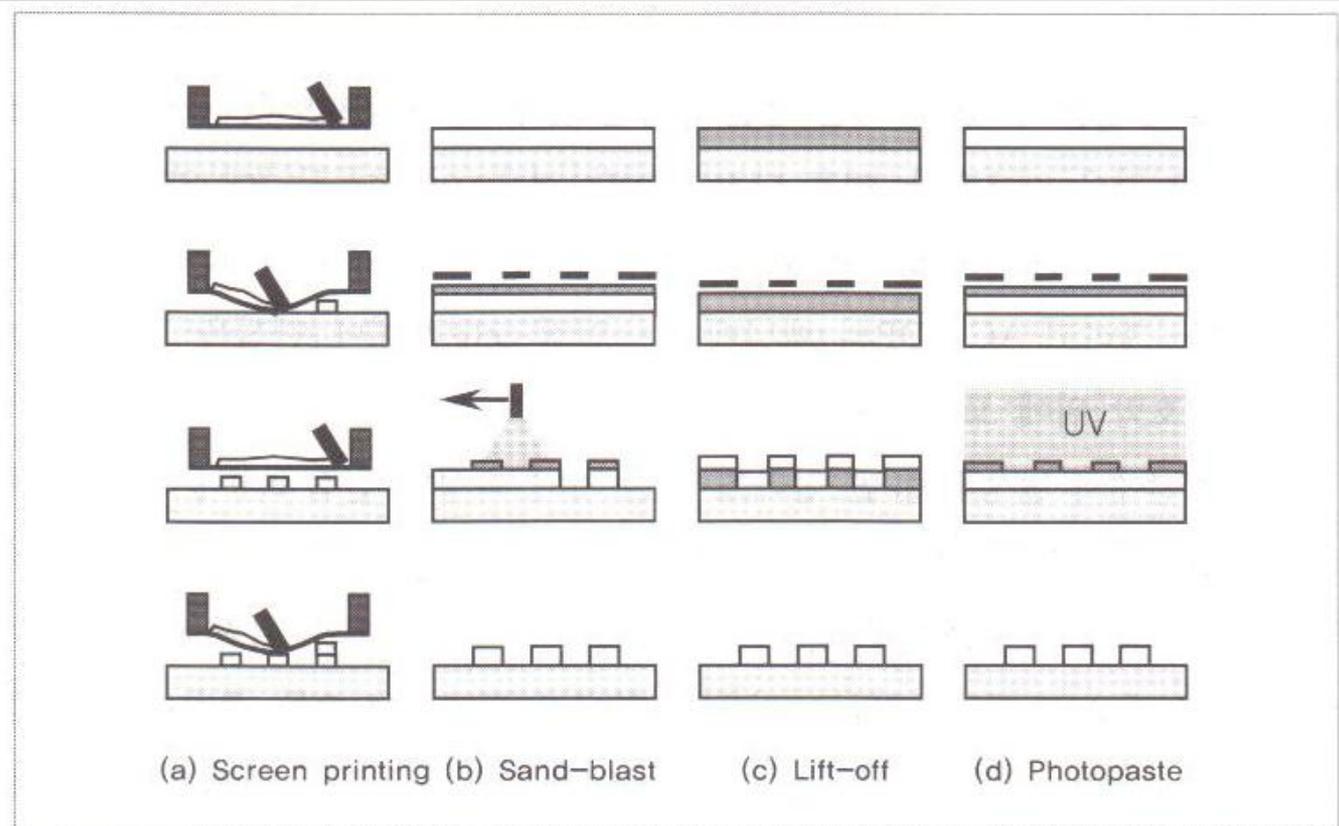
- 4.6.1 유리 기판
- 4.6.2 투명 전극
- 4.6.3 금속 전극
- 4.6.4 투명 유전체
- 4.6.5 보호막
- 4.6.6 격벽재
- 4.6.7 형광체
- 4.6.8 Seal 소재
- 4.6.9 봉입 가스

## 4.6 PDP용 재료의 용도와 특성

[표 4-5] PDP용 재료의 용도와 특성

재 료	용 도	특 성	실용재료
유리기판	전면기판	▪ 열적 치수 안정성	▪ 고왜곡점 플로트법 유리
	배면기판	▪ 투과율	▪ soda lime 유리
전극재료	투명전극	▪ 투과율, 도전율 ▪ 유리 반응성	▪ ITO 박막 ▪ NESA 박막
	bus전극	▪ 유전율, 표면 반사율 ▪ 유리 반응성	▪ Cr/Cu/Cr 박막 ▪ Cr/Al/Cr 박막 ▪ Ag 박막
유전체	투명유전체	▪ 저유전, 선펡창계수 ▪ 투과율, 유전율 ▪ 전극재료와 반응성	▪ Pb 함유 플릿 유리 ▪ Zn 함유 플릿 유리
	반사층	▪ 저유전, 선펡창계수 ▪ 반사율, 유전율 ▪ 전극재료와 반응성	▪ Pb 함유 플릿 유리 ▪ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 티타니아 안료
	격벽재	▪ 저유전, 유전율	▪ Pb 함유 플릿 유리
보호막	보호층	▪ 내스퍼터성 ▪ 이차전자 방출계수	▪ MgO
형광체	형광체	▪ 휘도, 색도, 유전율 ▪ 표면전위, 내열성 ▪ 내스퍼터성	▪ BaO-MgO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Eu ▪ Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> :Mn ▪ (Y,Gd) <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> :Eu
봉착재료	seal	▪ 열팽창계수 ▪ 저유전	▪ Pb 함유 플릿 유리
접속재료	접속재	▪ 도전율, 절연신뢰성	▪ ACF, 저유전 반전
	봉합재	▪ 절연신뢰성 ▪ 내환경 특성	▪ 실리콘 수지 ▪ 아크릴 수지
배기관 재료	배기관	▪ 선펡창계수	▪ soda lime 유리 ▪ 저알칼리 유리
	프레스플릿	▪ 저유전	▪ 저유전 유리

# 4.6 PDP의 격벽제조 공정



▲▽ 그림 4-15 여러 종류의 격벽 제조 공정

## 4.7 PDP의 특징

- 비선형
- 메모리 기능
- 장수명
- 고휘도 및 고발광 효율
- 광 시야각
- Full color 구현
- 낮은 제조비용
- 내열 특성
- 경량 박형화

# 제5장 전계방출 디스플레이 (Field Emission Display)

5.1 전계방출의 개요

5.2 FED의 개발사

5.3 FED의 구조와 동작

5.4 FED소자의 제조공정

5.5 FED의 구동 시스템

5.6 FED의 특징

5.7 FED의 전망과 응용

# 5.1 전계방출의 개요

- FED는 전계방출 현상을 이용하여 스스로 빛을 내는 평판 디스플레이임.
- CRT와 유사한 동작원리를 이용하는 디스플레이이므로 CRT의 장점과 평판 디스플레이의 특성을 동시에 갖기 때문에 ‘꿈의 디스플레이’라고 부르기도 함.
- 전계방출 현상, 전계방출을 이용한 진공 미세 소자, 양자역학 및 고체물리 이론을 소개 함.

# 5.1.1 전계방출 현상의 개념

- 양자역학의 터널링 효과(tunneling effect)로 전계방출 현상을 설명.
- 반도체 공정을 이용하여 금속 tip을 배열한 구조로 제작한 것이 실질적인 전계방출 소자로서의 첫 시도임.
- ‘전계방출 현상이란’ 고체에 강한 전계를 가할 경우에 고체 표면에 있던 전자가 터널링에 의해 에너지 장벽을 뚫고 진공으로 방출되는 것임.
- 일반적으로 전계의 세기가  $5 \times 10^7$  V/cm 이상에서 발생함.
- 전계 방출을 보다 쉽게 일어나게 하기 위해 금속의 경우에 음극을 뾰족한 tip으로 사용함.
- 음극에서 전자들이 방출되기 때문에 음극을 전자방출 소자 (electron emitter) 혹은 전계 방출 수자(field emission emitter) 라고도 함.
- 전자 방출 소자는 재료의 선정과 구조에 의해 낮은 전압에서 전자가 대면적으로 안정되게 터널링하는 것이 중요함.

# • 전자 방출 소자가 갖추어야 할 이상적인 조건들

- ① 방출 영역의 균일도 및 안정성 : sub-micron 이하의 정확도로 제작.
- ② 낮은 구동 전압 : 일함수가 낮은 재료를 이용하여 구동 전압이 가능한 낮아야 함.
- ③ 높은 방출 전류 : 최소한  $0.1 \sim 10\text{A}/\text{cm}^2$  정도의 전류 밀도
- ④ 우수한 내구성 : 이온 충돌, 잔류 기체와의 반응, 온도상승 등과 같은 변화에 잘 견딜 수 있어야 함.
- ⑤ 낮은 에너지 분포.
- ⑥ 낮은 전류 요동.
- ⑦ 우수한 방출 특성.
- ⑧ 높은 생산성 : 제조공정이 간단하고 가격이 적어 수율 및 생산성이 높아야.

## 5.1.2 전계방출 이론

- 양자역학의 터널링 효과(tunneling effect)로 전계방출 현상을 설명.
- ‘전계방출 현상이란’ 고체에 강한 전계를 가할 경우에 고체 표면에 있던 전자가 터널링에 의해 에너지 장벽을 뚫고 진공으로 방출되는 것임.
- 일반적으로 전계방출 현상은 에너지 밴드 이론을 도입하여 고체 표면의 전기적 특성으로 기술함.
- 그림 5-1은 여러 종류의 고체와 진공 준위에 대한 에너지 밴드를 나타내고 있음.
- 그림 (a)는 도체의 경우로 페르미 준위가 금지대를 넘어 이미 전도대 내에 존재함.
- 그림 (b)는 진성반도체의 경우로 페르미 준위가 금지대 내에 존재하기 때문에 가전자대에서 전도대로 이동할 수 있을 전도의 에너지를 얻어야 함.

- 그림 (c)는 n형의 불순물이 첨가된 반도체의 경우로 페르미 준위는 전도대의 바로 아래에 위치함. 상온에서도 불순물에 존재하던 전자들이 대부분 전도대로 쉽게 올라가 전도전자가 됨.

- 그림 (d)에서는 절연체의 에너지 밴드를 보여주는데, 에너지 갭이 매우 크고 도핑하기 어려워 가전자대에서 전도대로 전자가 이동하기 어려워 전기전도도가 극히 낮음.

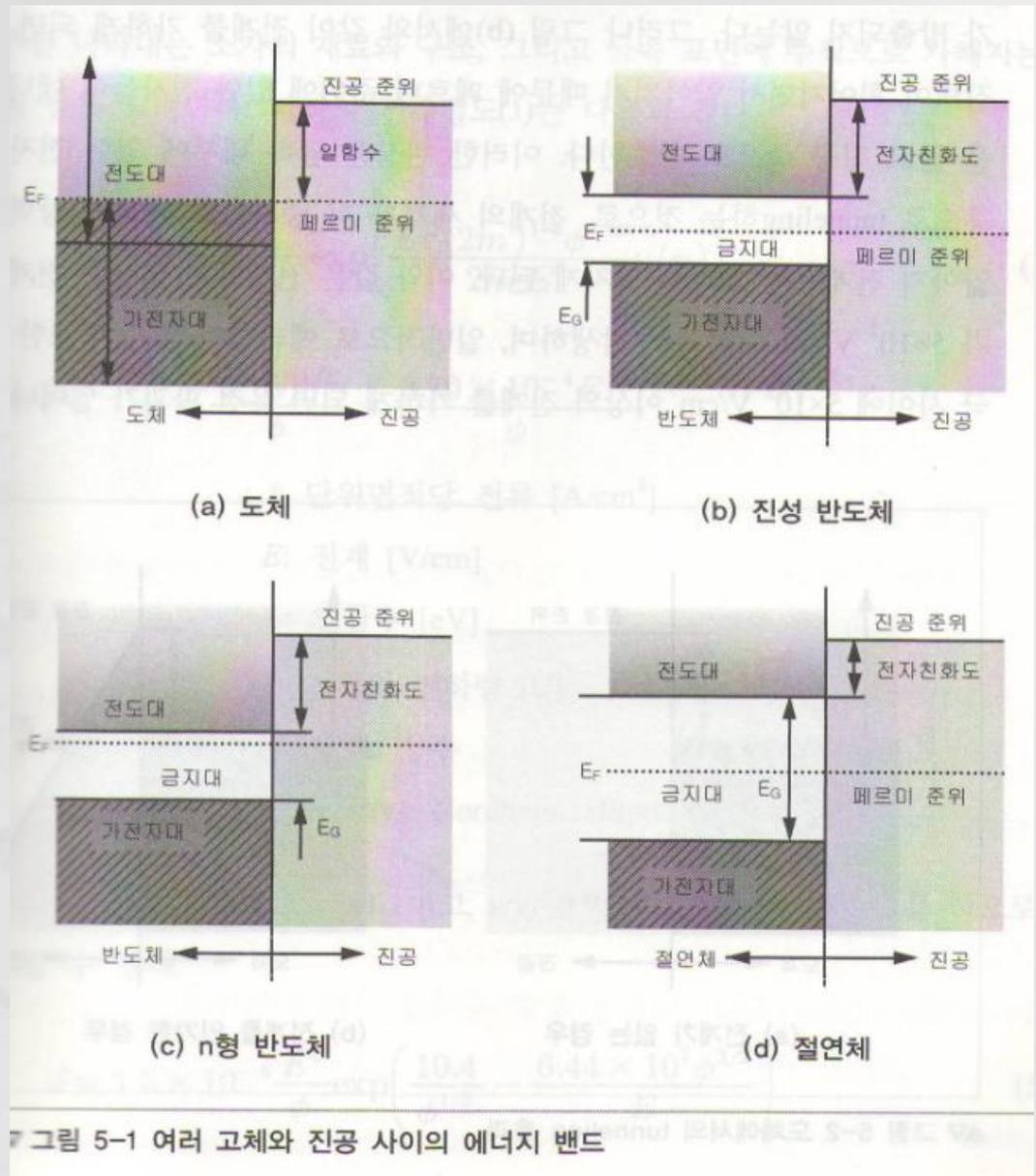
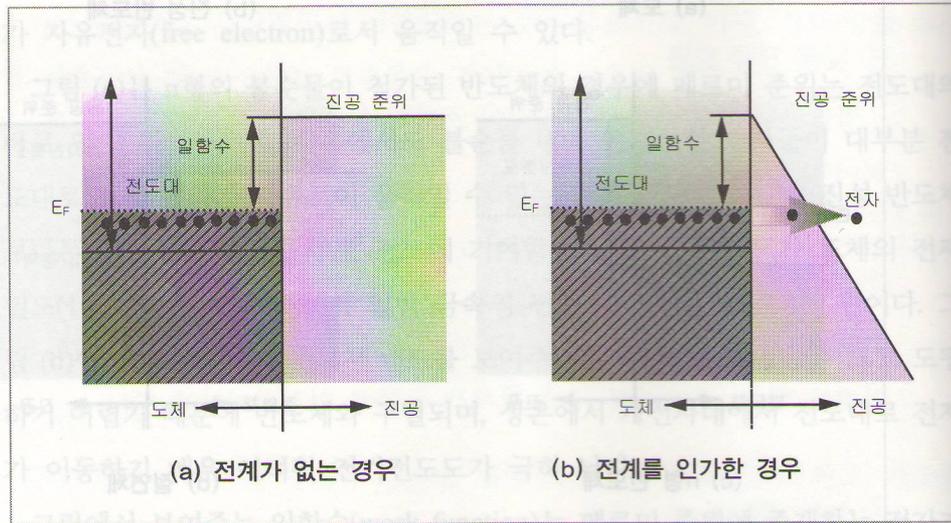


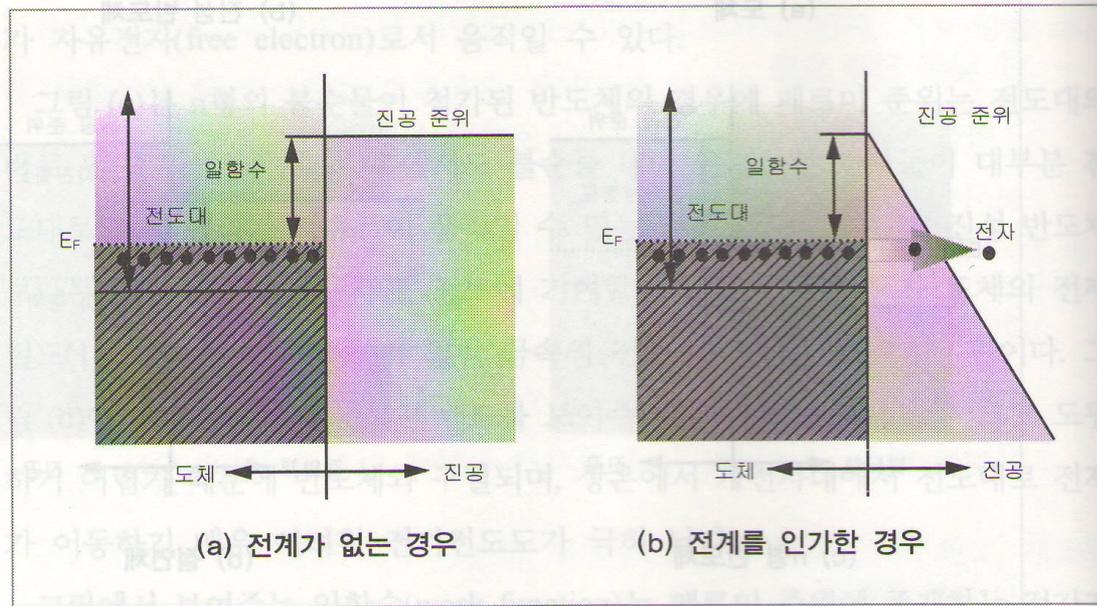
그림 5-1 여러 고체와 진공 사이의 에너지 밴드

- 그림 5-1에서와 같이 일함수(work function)는 페르미 준위에 존재하는 전자가 진공 준위(vacuum level)까지 올라가는데 필요한 에너지를 의미하며 단위는 eV임.
- 전도대의 가장 아래 부분에서부터 진공 에너지준위까지 에너지 차이를 전자 친화도(electron affinity)라고 함.
- 반도체에 불순물을 충분히 도핑하면 유효 일함수는 전자 친화도와 거의 같아진다.
- 전자 친화도가 작아지면 가전자대에서 전도대로 이동한 전자는 쉽게 진공 준위로 빠져 나갈 수 있게 된다.

- 일반적으로 고체의 표면에서 진공으로 전자가 방출되는 원리는 크게 3가지로 분류함.
- 열전자 방출(thermionic electron emission or hot electron emission)
- 광전자 방출(photo electron emission)
- 전계효과에 의해 방출되는 냉전자 방출(cold electron emission or field emission)
- 그림 5-2 도체에서의 tunneling 효과를 나타낸 것임.



▲▽ 그림 5-2 도체에서의 tunneling 효과



▲▽ 그림 5-2 도체에서의 tunneling 효과

- 그림 (a)는 전계를 인가하지 않은 경우이며, 에너지 장벽이 있어 쉽게 전자가 방출 되지 않음.
- 그림 (b)에서와 같이 전계를 가하면 에너지 장벽이 휘어지면서 얇아지기 때문에 페르미 준위에 있던 전자들이 에너지 장벽을 뚫고 진공 중으로 방출됨.
- 금속 내부에 있던 전자가 진공 중으로 tunneling 하는 것임.
- 전계의 세기가 더 증가하면 에너지 장벽은 더욱 얇아져 전계방출 효과는 더 커지게 됨.
- 일반적으로 전계의 세기가  $5 \times 10^7 \text{ V/cm}$  이상에서 발생함.
- 전계방출 현상을 보다 쉽게 발생시키기 위해서는 예리한 tip모양의 음극을 사용하거나, 일함수가 낮은 금속을 사용함.

## 5.1.3 금속의 전계방출

- 전계방출 현상은 Fowler-Nordheim 방정식으로 설명할 수 있음.
- 전계방출 효과를 최대화하기 위해 변수로는 일함수를 나타내는 소자의 재료와 구조, 그리고 금속 표면에 수직으로 가해지는 전계 등을 고려함.
- 전류밀도( $J$ )는 아래와같이 나타낼 수 있음

$$J = \frac{e^3 E^2}{8\pi h \phi t^2(y)} \exp\left(\frac{8\pi(2m)^{1/2} \phi^{3/2}}{2heE} v(y)\right) \quad (5-1)$$

$$y = \frac{(e^3 E)^{1/2}}{\phi} = \frac{3.79 \times 10^{-4} E^{1/2}}{\phi}$$

$J$ : 단위면적당 전류 [ $A/cm^2$ ]

$E$ : 전계 [ $V/cm$ ]

$\phi$ : 일함수 [ $eV$ ]

$e$ : 전자의 전하량 [ $C$ ]

$h$ : Plank 상수

$v(y)$ 와  $t(y)$ : Nordheim elliptic 함수

- 그리고 근사값으로

$$t^2(y)=1.1$$

$$v(y)=0.95-y^2.$$

을 사용한다면, 아래의 식과 같이 정리가 가능함.

$$J = 1.5 \times 10^{-6} \frac{E^2}{\phi} \exp\left(\frac{10.4}{\phi^{1/2}} - \frac{6.44 \times 10^7 \phi^{3/2}}{E}\right) \quad (5-2)$$

여기서, 전계 E는 표면의 구조에 의해 결정되며, 기하학적인 요소  $\beta$ 를 이용하여 나타내면,

$$E = \beta V = \frac{h}{dr} V$$

전계 E는 높이에 비례하고, tip의 반지름 r과 전극 사이의 거리 d에 반비례함을 알 수 있다.

- 표 5-1은 여러 종류의 재료에 대한 일함수를 나타낸 것임.  
일함수는 물질의 고유한 값으로 일함수가 낮을수록 방출 전류는 증가하게 됨.

[표 5-1] 여러 종류의 재료에 대한 일함수

재료	일함수 [eV]	녹는점 [°C]	재료	일함수 [eV]	녹는점 [°C]
Ag	4.7	961	Nd	3.3	-
Al	3.0	660	Ni	5.0	1455
Au	4.8	1063	Pb	4.0	327
Ba	2.5	850	Pt	6.0	1774
Bi	4.1	271	Rb	1.8	39
C	4.7	>3500	Sr	2.1	800
Ca	3.2	810	Ta	4.1	2850
Cd	4.1	321	Ti	4.1	-
Cs	1.8	29	Th	3.4	1845
Cu	4.1	1083	W	4.5	3370
Fe	4.7	1535	Zn	3.3	420
Hf	3.6	-	Zr	4.1	1900
Hg	4.5	-39			
Ir	5.4	-	LaB <sub>6</sub>	2.7	
K	1.8	62	NdB <sub>6</sub>	4.6	
La	3.3	-	TaB	2.9	
Li	2.2	186	TaC	3.1	
Mg	2.4	651	ThO <sub>2</sub>	2.6	
Mo	4.3	2620	TiC	3.4	
Na	1.9	98	ZrB	4.5	

## 5.1.4 반도체의 전계방출

- 양자역학의 터널링 효과(tunneling effect)로 전계방출 현상을 설명.
- ‘전계방출 현상이란’ 고체에 강한 전계를 가할 경우에 고체 표면에 있던 전자가 터널링에 의해 에너지 장벽을 뚫고 진공으로 방출되는 것임.
- 불순물로 충분히 도핑한 반도체의 경우, 전기전도도가 크기 때문에 전계방출 소재로 관심을 끄.
- 전자의 tunneling 현상은 주로 전도대의 끝부분에서 진공 준위로 발생하며, 이때 반도체의 경우 에너지 차이는 일함수가 아니라 전자친화도가 됨.
- 일함수 대신 전자친화도를 사용하여 전계에 대한 전류밀도의 근사식을 구할 수 있음.

$$J = nev = 10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^7 \\ \cong 5 \times 10^7 \quad (A/cm^2)$$

(5-3)

여기서  $v$ 는 전자의 최대 속도( $3 \times 10^7$  cm/sec)이며, 실리콘의 전자친화도는 약 4eV 정도임.

표면에서의 전계가 전자를 tunneling 현상으로 방출할 수 있도록 충분히 커야 한다.

## 5.1.5 열전자 방출

- 열전자 방출(thermoionic emission)은 고체를 가열하면 전자가 방출되는 현상.
- 연결되지 않은 두 전극을 가열할 때 전류가 흐르는 현상으로 설명이 가능함.
- 가열에 의해 높은 운동에너지를 가지는 전자는 장벽을 넘어 금속 밖 진공 준위로 나가게 됨.
- 열전자 방출을 식으로 표현한 Richardson 방정식은 아래와 같다.

$$J(T) = AT^2 \exp\left(-\frac{\phi}{kT}\right) \quad (5-4)$$

$A$  : 상수 [ $120.4 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ ]

$k$  : Boltzmann 상수 [ $8.6 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ ]

$T$  : 절대온도 [K]

$\phi$  : 일함수

- 온도가 높아질수록, 일함수가 낮아질수록 방출되는 열전자의 수가 많아지며, 전류밀도가 커지게 된다.
- 열전자 방출에 적합한 전극재료로는 바륨 산화물(barium oxide)이며, 일함수가 1.2 eV정도인데, 1000K 정도에서 작동함.

## 5.1.6 광전자 방출

- 광전자 방출(photo electron emission)은 도체나 반도체에 일함수보다 큰 에너지를 갖는 빛을 입사할 때 전자가 진공준위로 방출되는 현상이 일어나는데 이를 '광전 효과(photoelectric effect)'라고 함.
- 연결되지 않은 두 전극의 음극에 빛을 비추어 줌으로 낮은 전압에서도 스파크가 발생한다는 사실을 발견함.