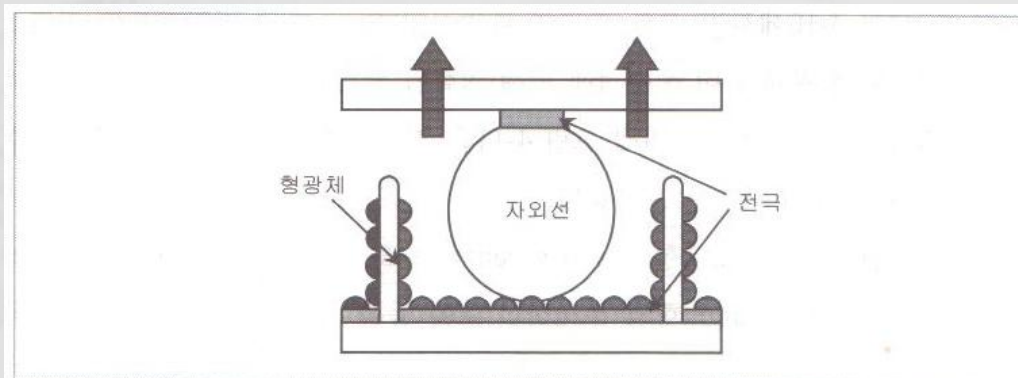


4.4 PDP의 구조와 동작원리

- 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

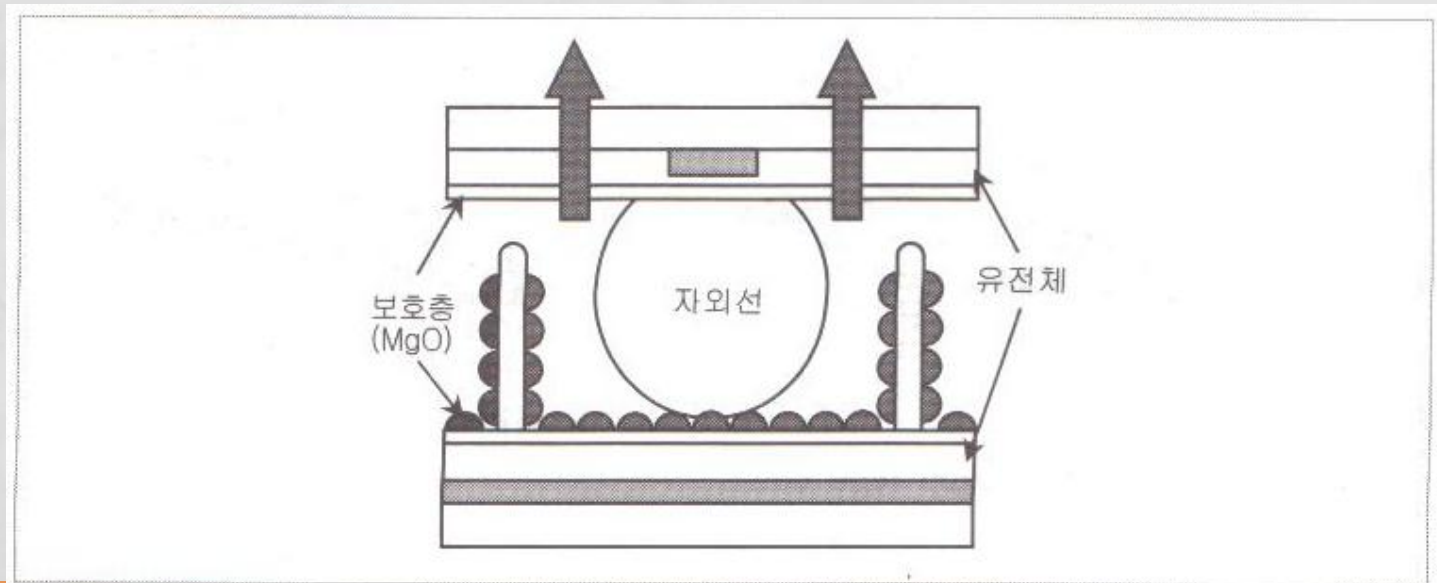
- DC PDP는 그림 4-9와 같이 전극이 방전 공간에 노출된 구조임.
- DC형은 refresh 방식으로 구동하기 때문에 구동회로는 간단함.
- cell 사이에 방전에 의한 간섭을 차단하기 위해 격벽을 설치하여 구조는 복잡함.
- 전극이 플라즈마가 형성하는 방전기체에 노출되어 있음.



▲▽ 그림 4-9 DC PDP의 기본 구조

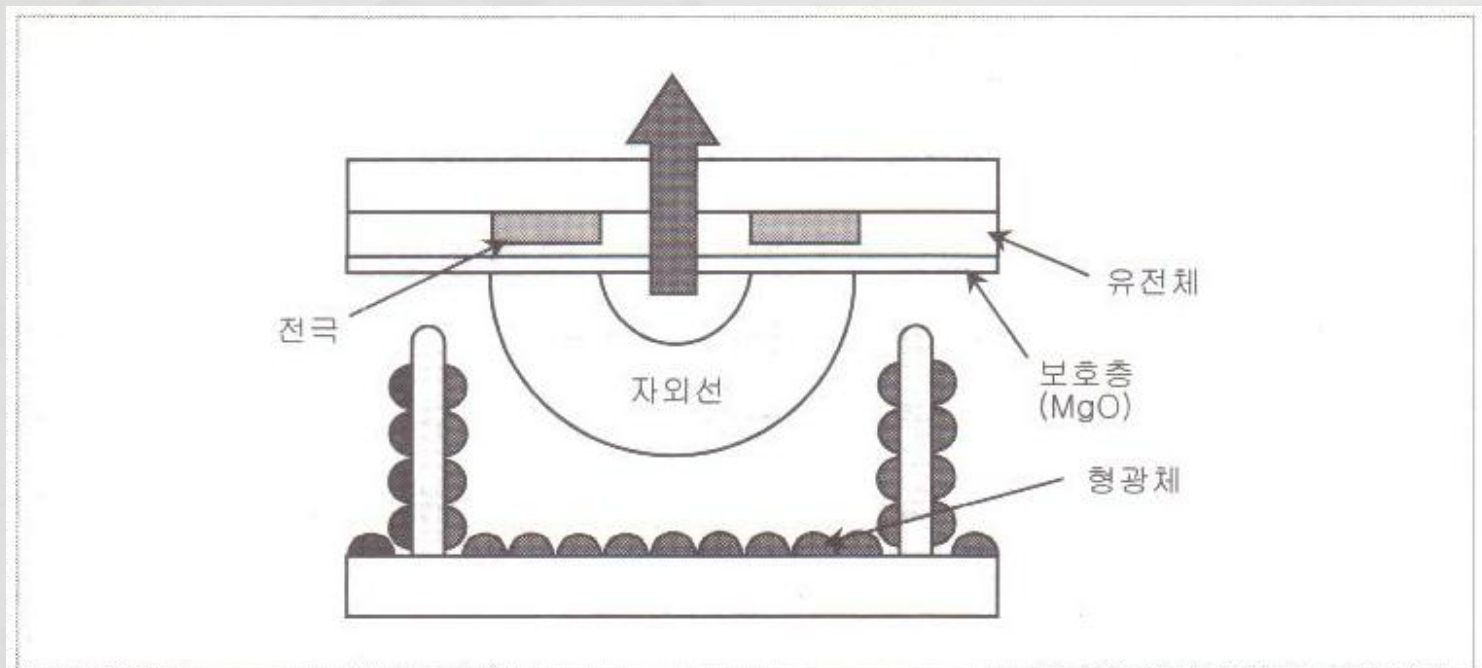
4.4.1 DC PDP의 동작원리

- 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.



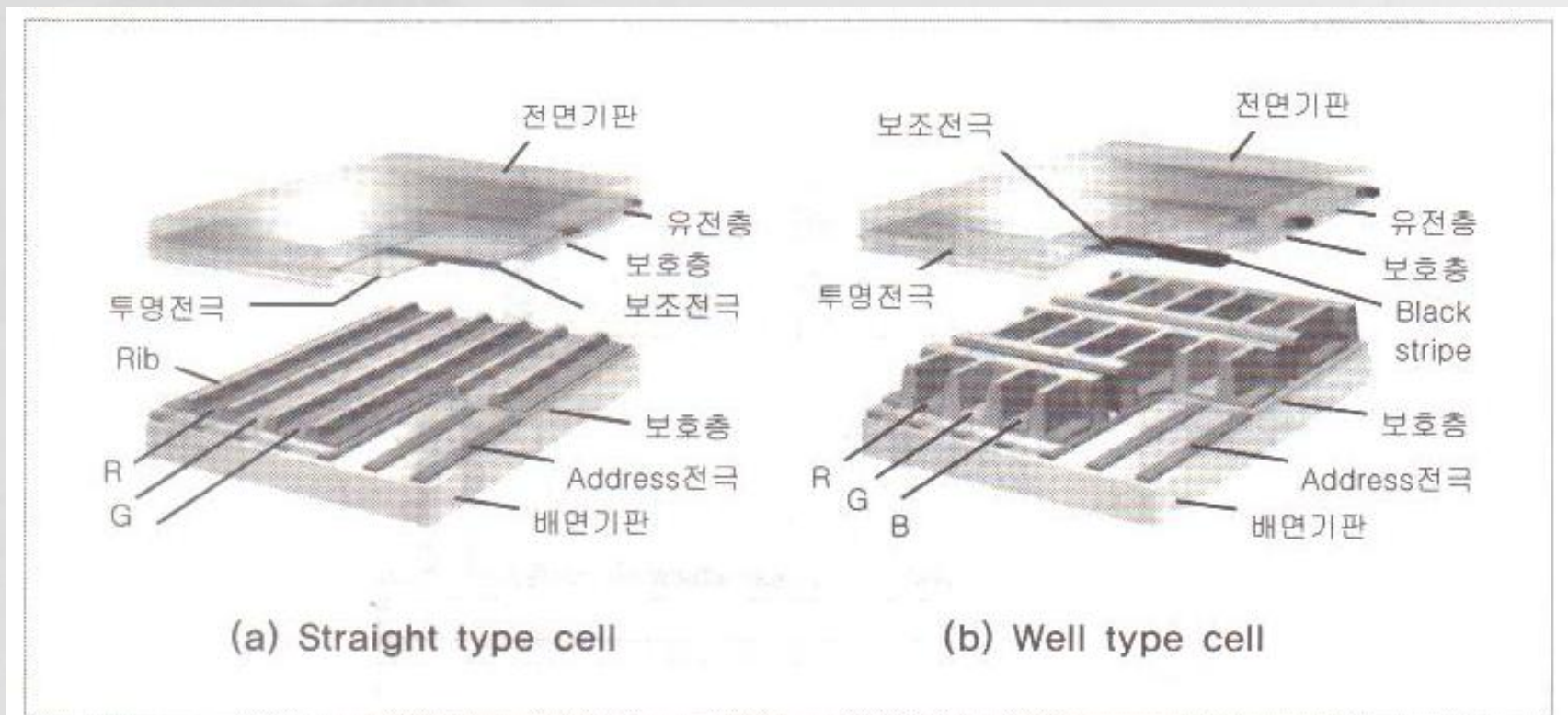
▲▽ 그림 4-10 대향 방전형 AC PDP의 기본 구조

- 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.



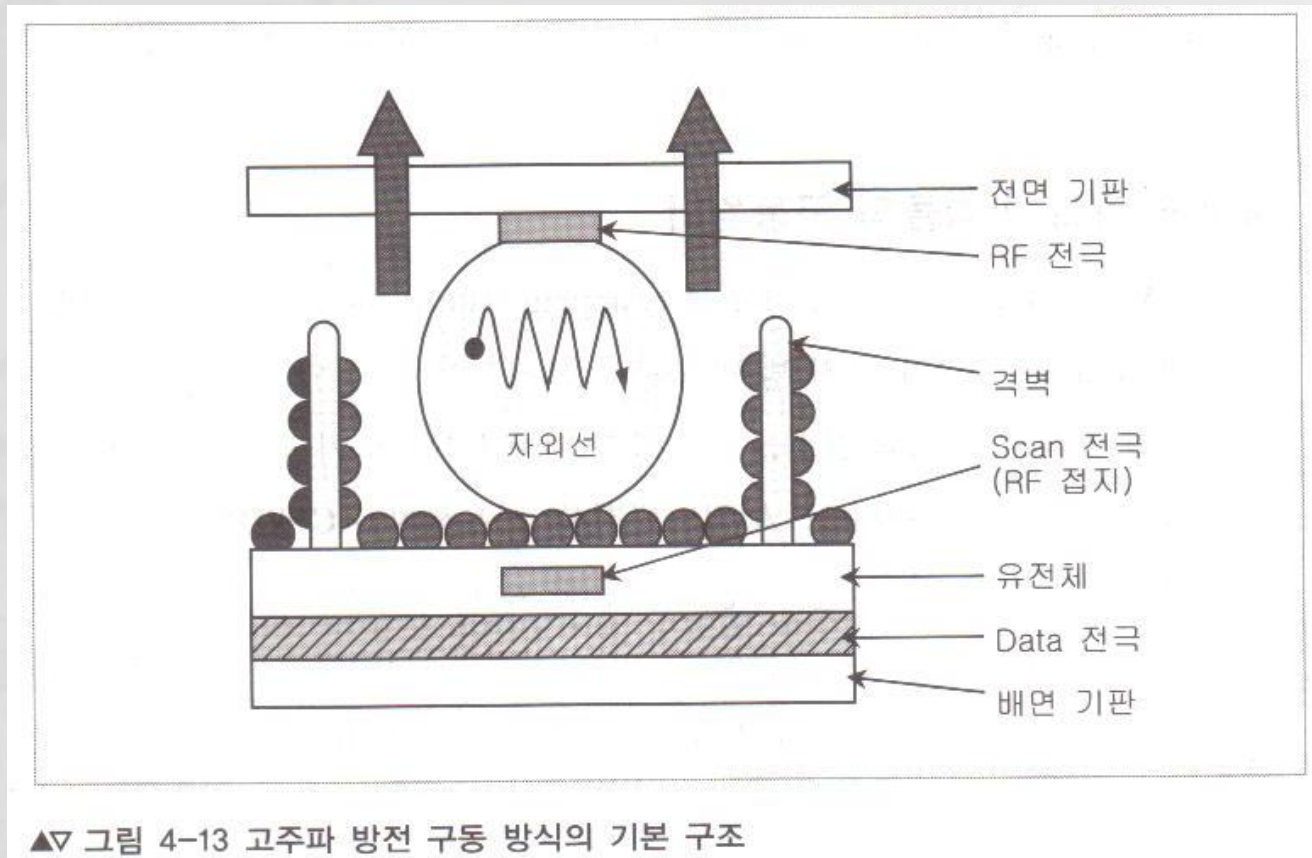
▲▽ 그림 4-11 면방전형 AC PDP의 기본 구조

- 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.

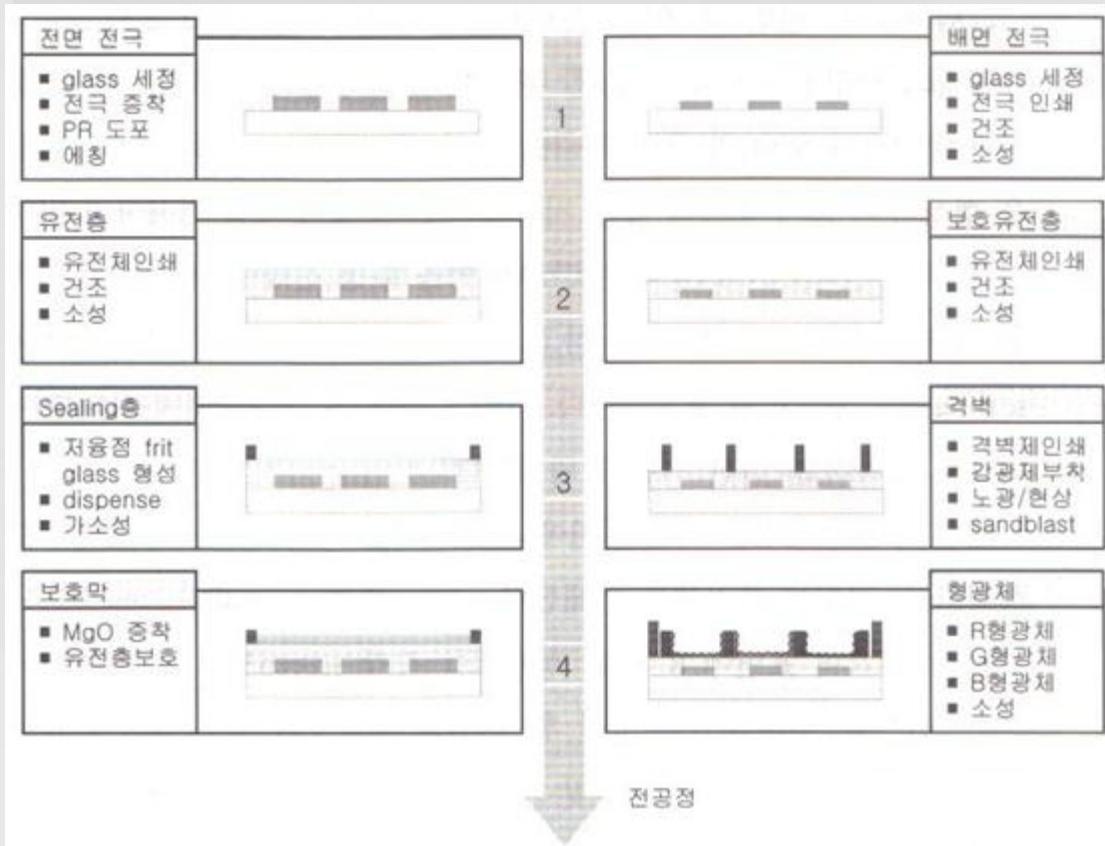


▲▽ 그림 4-12 PDP cell의 구조

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



4.5 PDP의 제조공정



[표 4-4] PDP 제조상에 사용되는 재료의 증착공정 기법

공정	재료	제조방법
투명 전극	ITO	- sputter, photo etching
	SnO ₂	- 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 ₃ :Eu G: ZnSiO ₄ :Mn B: BaMgAl ₁₀ O ₁₇ :Eu	- screen printing - photo sensitive paste
seal line	저융점 glass	- dispensing - screen printing

4.6 PDP의 소재

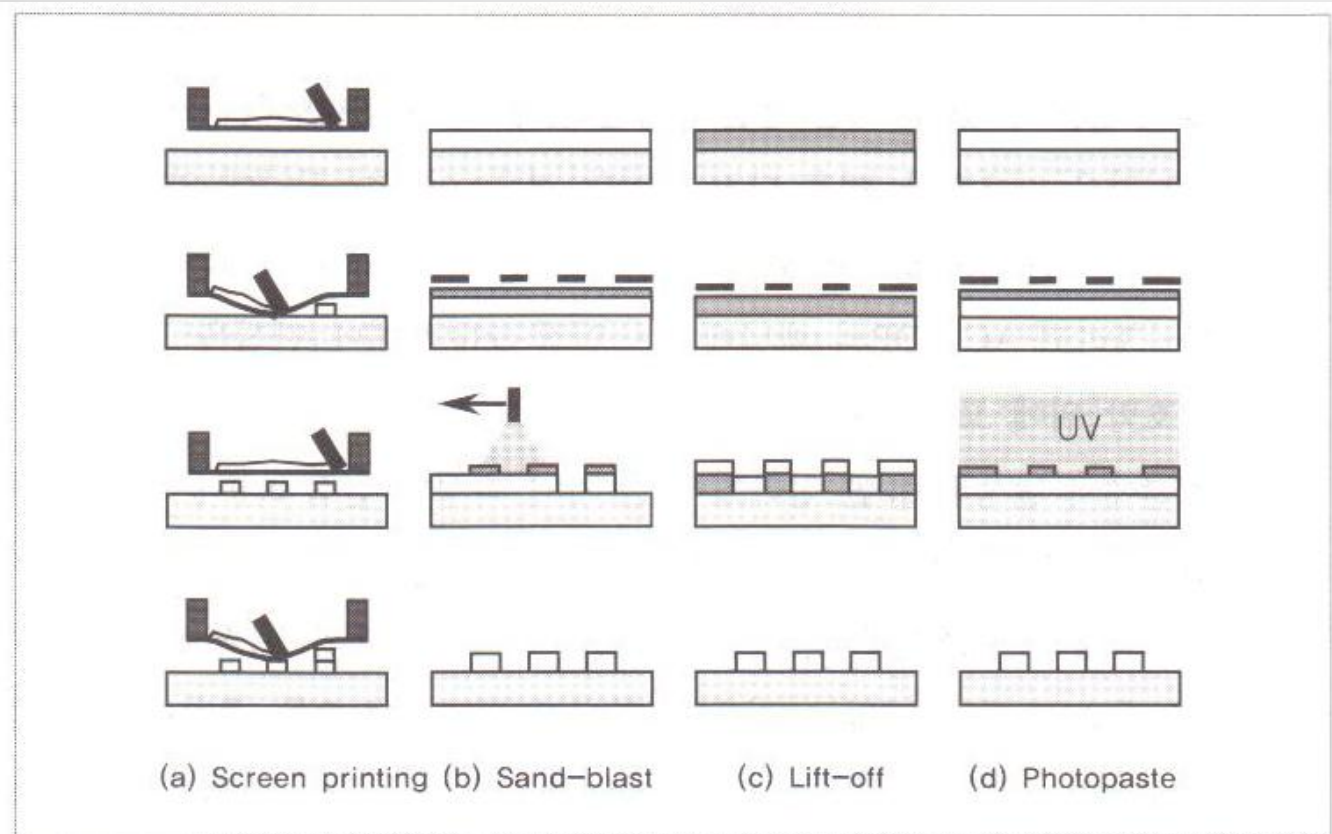
- 4.6.1 유리 기판
- 4.6.2 투명 전극
- 4.6.3 금속 전극
- 4.6.4 투명 유전체
- 4.6.5 보호막
- 4.6.6 격벽재
- 4.6.7 형광체
- 4.6.8 Seal 소재
- 4.6.9 봉입 가스

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 ₂ O ₃ 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 ₂ O ₃ :Eu ▪ Zn ₂ SiO ₄ :Mn ▪ (Y,Gd) ₂ BO ₃ :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 $5 \times 10^7 \text{ V/cm}$ 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.

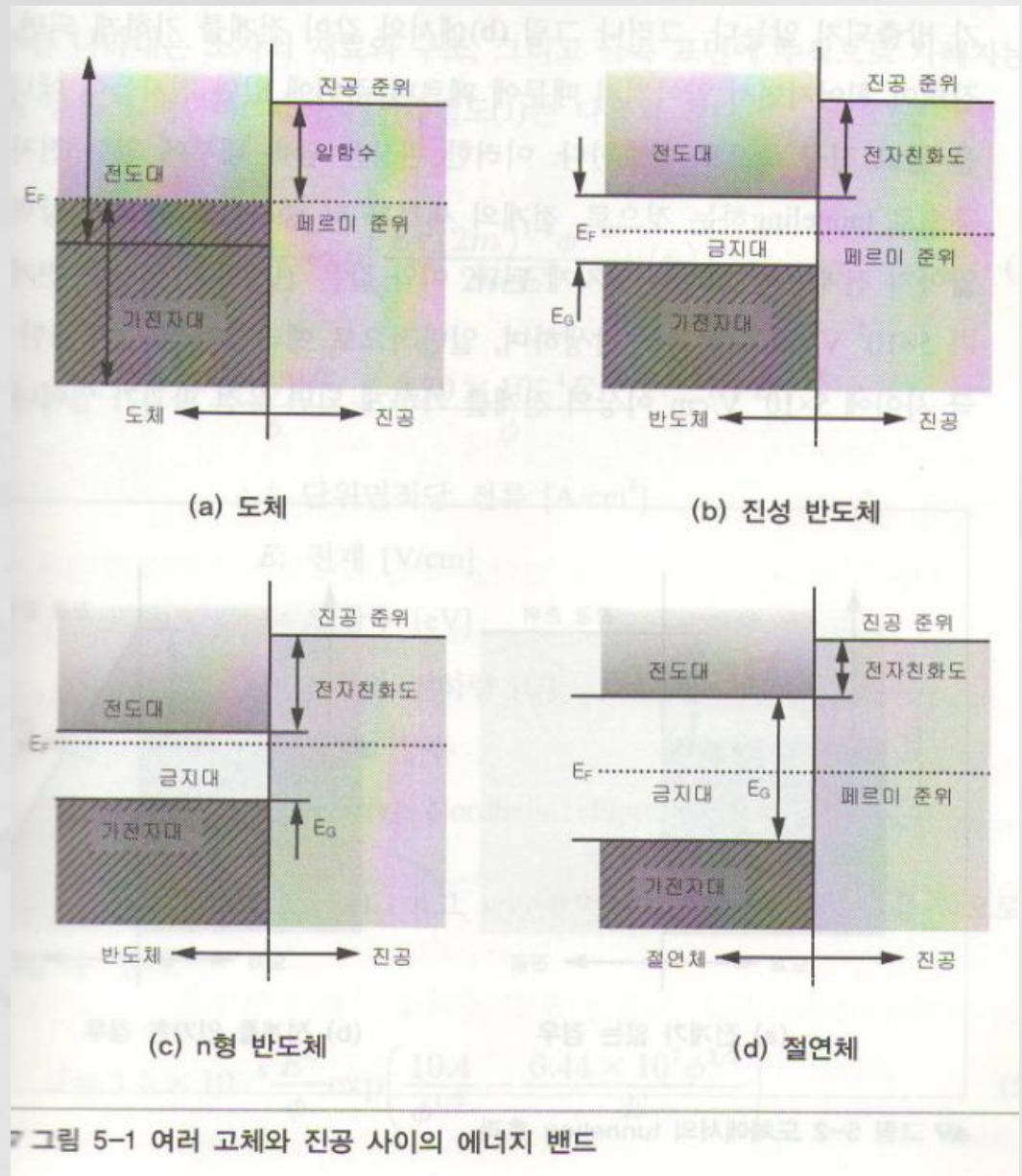
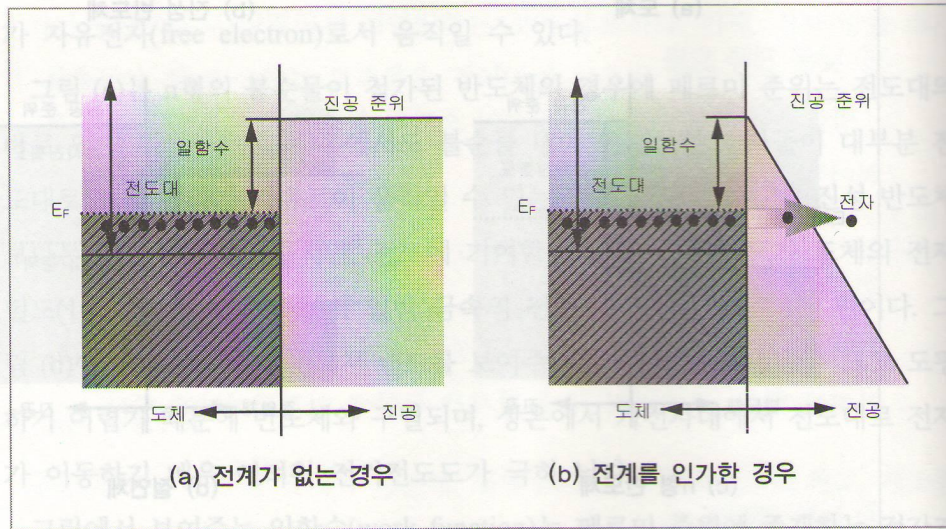


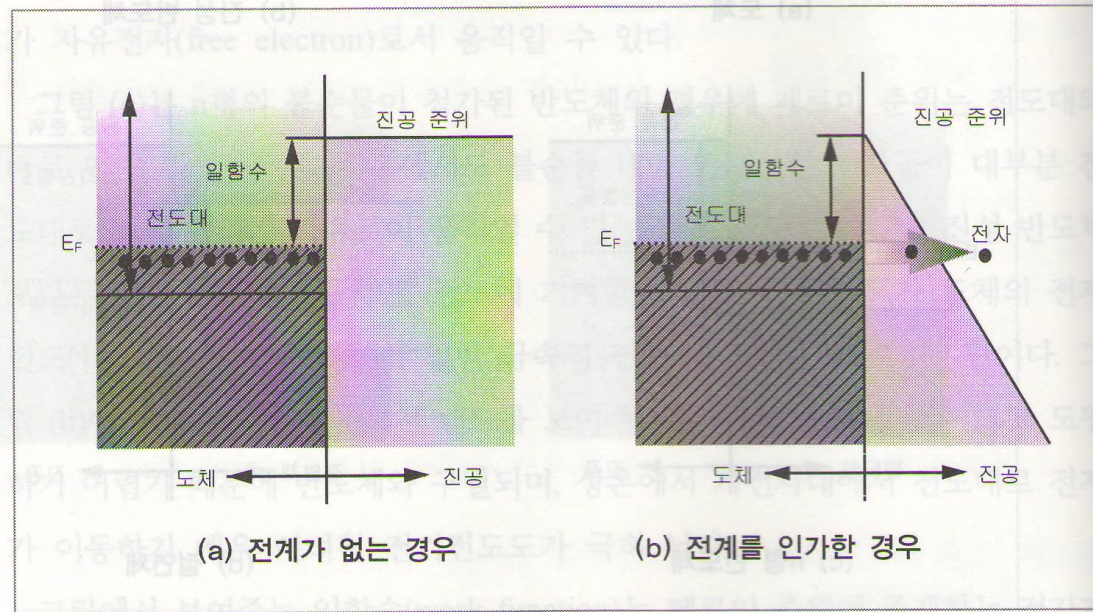
그림 5-1 여러 고체와 진공 사이의 에너지 밴드

- 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]

ϕ : 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 β 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 ₆	2.7	
K	1.8	62	NdB ₆	4.6	
La	3.3	-	TaB	2.9	
Li	2.2	186	TaC	3.1	
Mg	2.4	651	ThO ₂	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(3×10^7 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]

ϕ : 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.