

6.1.2 전계발광의 원리.

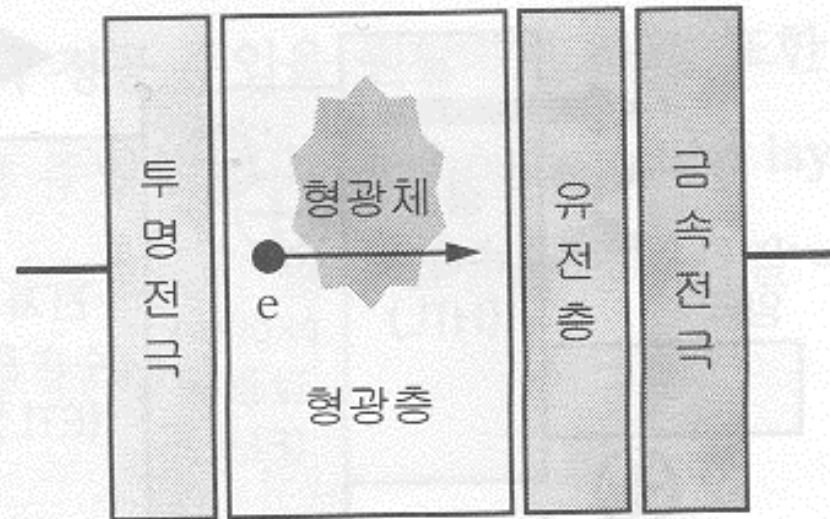
- 전계발광은 크게 무기 전계발광과 유기 전계발광으로 나뉘어짐.

(1) 무기 EL의 원리

그림 6-2은 무기 EL의 발광원리 및 구조를 나타냄.

- 형광체가 두 개의 전극 사이에 놓여짐. 분산된 형광체의 내부에서는 ZnS와 Cu의 표면이 마치 금속과 반도체 사이의 접합면과 유사하게 Schottky 구조를 가진 전위 장벽이 형성됨.
- 두 개의 전위 사이에 외부에서 강한 전기장을 걸어주면 전자는 발광층 안으로 가속되어 방광중심에 충돌하여 발광하게 됨.
- 유전층과 발광층 사이의 계면에는 전자 trap이 설치되는데, 즉 도너(donor) 준위에 있던 전자가 tunneling 효과로 넘어와 발광중심으로 천이하면서 빛을 발광하게 됨.
- 교류 펄스 전압으로 구동하며, 구동 전압은 200V 정도이고, 전기장의 세기는 $2 \times 10^6 \text{V/cm}$ 임.

- 무기 전계발광의 발광 및 구조



▲▽ 그림 6-2 무기 EL의 발광 및 구조

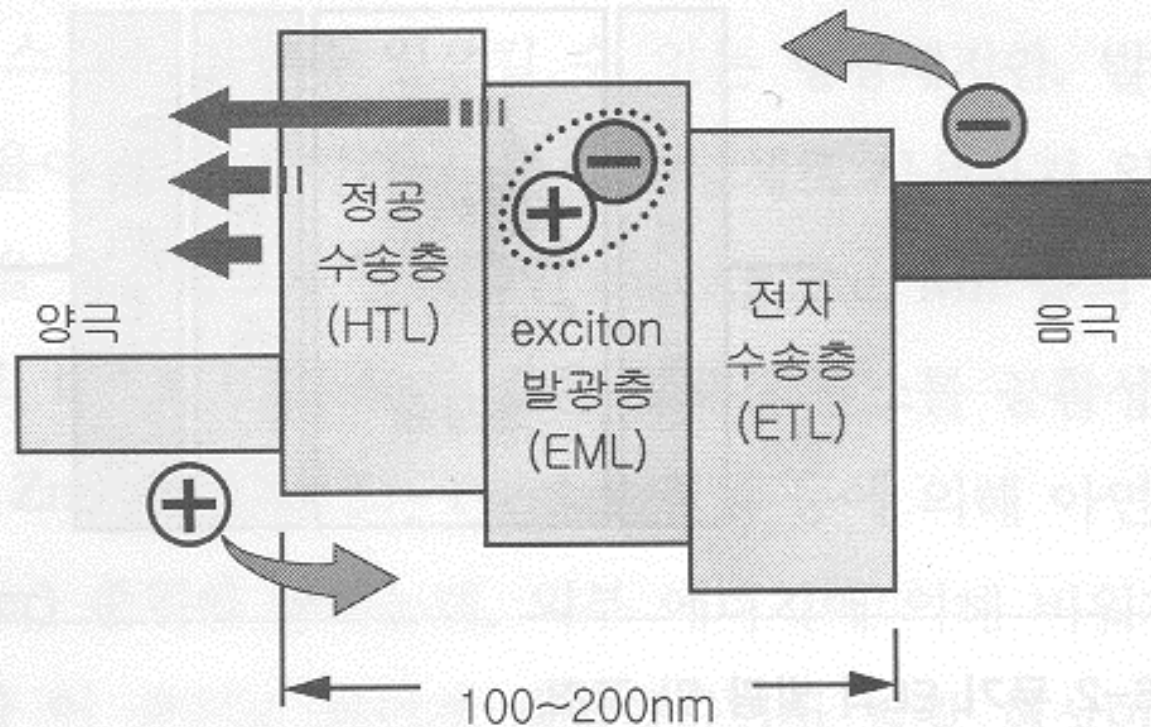
(2) 유기 EL의 원리.

- 유기 EL은 발광물질로 형광성 유기화합물을 사용한 것.

그림 6-3은 유기 EL의 발광원리 및 구조를 나타냄.

- 양극에서 주입된 정공과 음극에서 주입된 전자가 발광층에서 재결합하여 여기자(exciton)를 생성하는데, 이러한 여기자는 안정된 상태로 되돌아오면서 빛을 방출하게 됨.
- 양극과 음극의 금속 전극에 이웃하여 정공과 전자의 수송층(transport layer)이 놓이고, 발광층이 가운데 위치함.
- 대체로 기판으로는 유리를 사용하며 유연성을 가진 플라스틱이나 PET 필름이 사용되기도 함.
- 양극은 투명전극인 ITO로 구성되고, 음극은 낮은 일함수를 가진 금속이 사용되며, 두 전극 사이에 유기 박막층이 있음.
- 유기 박막층의 소재로는 저분자 및 고분자 물질들을 사용함.
- 유기물질의 경우에는 전자와 정공의 이동도가 크게 다르기 때문에 전자수송층과 정공수송층을 사용하여 전자와 정공이 쉽게 발광층으로 이동하게 함.

• 유기 전계발광 소자의 기본 구조

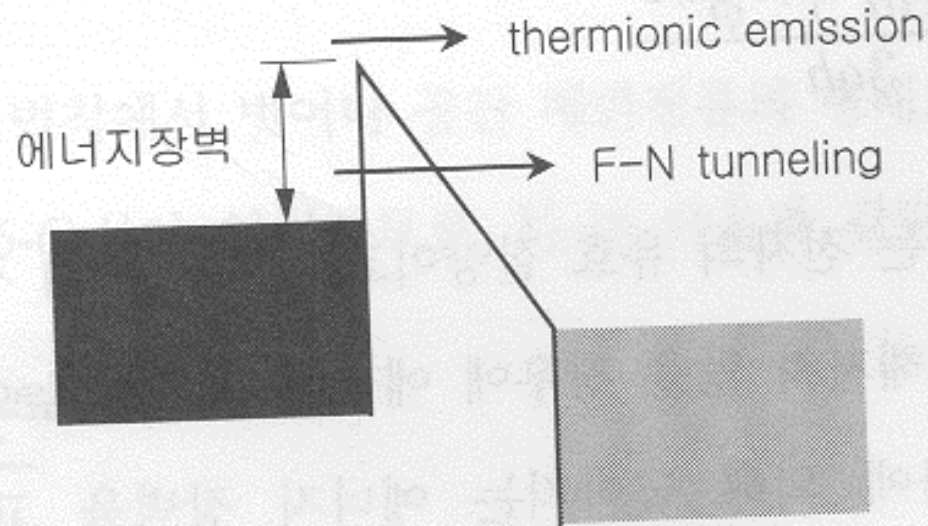


▲▽ 그림 6-3 유기 EL 소자의 기본 구조

6.1.3 유기 EL 소자의 전류-전압 특성

- 그림 6-4는 유기 EL소자에서의 전하 주입과정을 나타낸 것임.
- 두 전극 사이에 전압이 인가되면 양극인 ITO전극에서는 HOMO(highest occupied molecular orbital) 준위로 정공이 주입되고, 음극에서는 유기층의 LUMO(lowest unoccupied molecular orbital) 준위로 전자가 주입되어 여기자(exciton)를 형성함.
- 생성된 여기자(exciton)는 재결합하여 재료의 특성에 의존하는 특정한 파장의 빛을 방출함.
- 유기 EL 소자의 전류-전압 특성에 영향을 주는 중요한 요소는 전하의 주입, 수송 및 전자-정공의 재결합성임.
- 대체적으로 유기 EL소자에 사용되는 유기 박막의 에너지 갭은 매우 크고 열평형 상태에서는 전하밀도는 매우 낮으며, 발광현상에 관여하는 전하는 외부로부터 주입된 것임.

- 유기층과 금속 사이의 전하주입과정



▲▽ 그림 6-4 유기층과 금속 사이의 전하주입 과정

6.1.3 유기 EL 소자의 전류-전압 특성

- 5장에서의 전계방출 이론에서 기술한 바 있는 열방출 모델과 Fowler-Norheim이론에 의한 tunneling모델이 가장 많이 적용됨.
- 열방출 모델에 대해 먼저 알아보면, 전류밀도는

$$J = J_S \left(\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right) \quad (6-1)$$
$$J_S = A^* T^2 \exp \left(- \frac{\phi}{kT} \right)$$

J_S 는 포화전류밀도, A^* 는 Richardson 상수, k 는 볼츠만 상수, ϕ 는 에너지 장벽의 높이임.

- 또한, F-N tunneling에 의한 전류-전압 특성은 아래와 같이 주어짐.

$$J \propto E^2 \exp\left(-\frac{\chi}{E}\right) \quad (6-2)$$

여기서 E는 전계이고, χ 는 에너지 장벽의 모양에 따라 결정되는 상수임. 주입되는 전하가 전극과 유기박막 사이에 형성된 삼각형 모양의 에너지 장벽을 tunneling으로 통과하는 경우,

$$\chi = \frac{8\pi (2m^*)^{1/2} \phi^{3/2}}{3qh} \quad (6-3)$$

여기서 m^* 는 전자의 유효질량이고, h 는 플랑크 상수임.

- 유효 에너지 장벽의 높이는 인가하는 전계에 의존하며,.

$$\phi = \phi_0 - q \sqrt{\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon}} E^{1/2} \quad (6-4)$$

여기서 ϵ 는 유기 박막의 유전율.

유기층과 전극 사이가 ohmic contact라면, 낮은 전압에서는 열적으로 생성된 자유전하가 주입된 전하보다 크기 때문에 전류는 Ohm의 법칙에 따름.

$$J = qp_0\mu_p \frac{V}{d} \quad (6-5)$$

• 그러나 전압이 증가하면 열적으로 생성된 자유전하보다 외부 전극에서 주입된 전하가 많아짐으로, 전류-전압 특성은 Mott-Gurney 모델로 잘 알려진 공간 제한 전류로 나타낼 수 있다.

$$J = \frac{9}{8} \epsilon_0 \epsilon \mu_p \frac{V^2}{d^3} \quad (6-6)$$

전류가 Ohm의 법칙에서 벗어나 공간 제한전류의 형태로 변하는 전압 V_Ω 는 아래와 같이 됨.

$$V_\Omega = \frac{8}{9} \frac{qp_0 d^2}{\epsilon_0 \epsilon} \quad (6-7)$$

6.2 ELD의 개발사

- 디스플레이의 무게중심이 CRT에서 평판디스플레이로 급속히 옮겨졌음.
- 현재에는 LCD가 가장 각광받는 평판디스플레이며 향후에도 지속적인 수요가 예측 됨.
- 그러나 LCD는 자체 발광소자가 아니고 좁은 시야각 등과 같은 단점이 있어 새로운 평판디스플레이에 대한 개발이 진행되고 있음.
- 그 중에 전계발광 디스플레이(ELD)가 새로운 평판 디스플레이로서의 가능성을 보여주고 있음.
- ELD는 크게 무기 ELD와 유기 ELD로 나눌 수 있음.
- 무기 ELD는 비교적 높은 구동 전압과 다양한 색상 구현의 어려움으로 응용성에 어려움을 가지고 있음.
- 유기 ELD는 저전압 구동, 자기발광, 경박단소화, 광시야각 및 빠른 응답속도 등의 많은 장점을 가지고 있음.

6.2.1 무기 전계발광의 개발사

[표 6-3] 무기 ELD의 주요 개발사

연 도	개 발 내 용
1907년	- 영국의 Round가 탄화규소로 EL 현상 관찰.
1920년	- 독일의 Gudden 등이 황화아연으로 EL 현상 발견.
1936년	- 프랑스의 Destriau가 ZnS:Cu에 AC 구동으로 EL현상 관측.
1952년	- 미국의 Sylvania사가 분산형 AC 구동 EL 소자 개발.
1968년	- 미국의 Bell사가 박막형 AC 구동 ELD 개발.
1973년	- Vityuk와 Mikho가 진공 증착으로 박막 소자 제작.
1974년	- Inoguchi가 이중 절연막 구조의 교류 ACTEEL 소자 개발.
1984년	- Ballow 등이 청녹색 형광체 SrS:Ce 개발.
1988년	- Ballow 등이 full color ELD 개발.
1991년	- Tunge 등이 ZnS:Mn으로 고휘도 적색 ACTEEL 소자 개발.
1993년	- Cramer 등이 적·녹·황색을 이용한 multi color ELD 개발.
1994년	- Soininen 등이 다층구조의 백색 full color ELD 개발.
1995년	- King 등이 ZnS:Tb로 monochrome AMEL 개발.
1996년	- King 등이 다층구조 full color AMEL HMD 개발.
1997년	- Wu 등이 후막 절연체 EL 소자로 multi color ELD 개발.
1998년	- Sun 등이 다층 구조 백색발광 full color ELD 개발.
1999년	- Yun 등이 CaS:Pb로 고순도 청색 형광체 개발.

6.2.2 유기 전계발광의 개발사

[표 6-4] 유기 ELD의 주요 개발사

연 도	개 발 내 용
1963년	- Pope 등이 안쓰라센 단결정으로 유기 EL소자 제작.
1969년	- Dresner가 고체 전해질 도입하여 유기 EL소자 개발.
1973년	- Vityuk와 Mikho가 진공 증착으로 박막 소자 제작.
1986년	- Kodak사의 Tang 등이 Alq3로 유기 EL소자 개발.
1990년	- Cambridge 대학이 PPV로 녹색발광 현상 발견.
1996년	- Pioneer사가 유기 단분자로 녹색 OELD 상품화.
1998년	- Kodak사가 full color AM OELD 개발.
1999년	- Kodak사가 저온 poly-Si TFT를 적용한 OELD 개발.
2000년	- Sanyo-Kodak사가 5.5" 천연색 OELD 시현.
2001년	- Toshiba사가 color 고분자 OELD 개발. - Samsung SDI사가 15.1인치 OELD 개발.
2002년	- Samsung SDI사가 2.2인치 휴대폰용 AM OELD 개발.
2003년	- Kodak사가 디지털 카메라에 OELD screen 적용. - Casio사가 a-Si TFT로 구동하는 OELD 개발.
2004년	- LG-Philips사가 20" OELD 개발.
2005년	- 삼성전자가 40" a-Si OELD 개발.
2006년	- Samsung SDI사가 17" AMOELD 개발.

▶ 현재 유기전계발광소자에 대한 표현이 매우 다양하다. 이에 대해 구체적으로 알아보자.

현재 유기전계발광소자에 대한 기술용어의 표현 방식은 국내외에서 상당히 다양하게 사용되고 있는데, 국내에서는 "유기발광소자", "유기전기발광소자", "유기 EL" 및 "유기 LED" 등으로 부르고, 일본에서는 대체로 "유기 EL"이라 통용되는 편이지만, 미국이나 유럽에서는 전문가들 사이에 "유기 LED"라고 많이 부르고 있다.

한편, 인터넷을 통하여 영문으로 검색할 경우에는 더욱 다양하게 사용하고 있는데, organic ELD, organic EL, organic LED, OELD, OLED, organic electroluminescence, organic electroluminescence display, organic electroluminescence device, electroluminescence, PLED, PELED 및 polymer LED 등으로 쓰이고 있다. 각 검색어의 사용 횟수는 organic LED가 압도적으로 많이 사용되고 있고, 다음이 organic EL이 많이 사용된다. 그러나 OELD를 처음 개발한 C. Tang 그룹은 그들의 연구논문 제목에서 organic electroluminescence device라고 사용하였다. 본 교재에서는 1장에서 평판 디스플레이를 분류하면서 제시하였듯이, LED와의 혼동을 막기 위해 한글 용어로는 유기전계발광소자로 사용하고, 영문으로는 OELD, 그리고 국영문 혼용해서는 유기 ELD로 통일하여 사용한다. 참고로 국내 전문가들은 영문으로는 OLED로 많이 사용하고 있다.

6.3 ELD의 종류

- ELD는 형광체에 전계를 걸어주면 빛이 발생하는 전계발광 현상을 이용한 표시소자임.
- ELD는 형광체의 소재나, 소자의 구동방식 및 배열방식 및 응용분야에 따라 분류함.
- 사용하는 형광체의 소재에 따라 크게 무기 ELD (IELD)와 유기 ELD(OELD)로 분류함.

[표 6-5] ELD의 분류

무기 EL	박막형 EL	교류구동형
		직류구동형
	분산형 EL	교류구동형
		직류구동형
유기 EL	재료 구분	저분자 OELD(small molecule OELD)
		고분자 OELD(polymer OELD)
	구동 방식	PM OELD(passive matrix OELD)
		AM OELD(active matrix OELD)

- 박막형 IELD는 구조가 간단하고 제조가 용이하고 얇고 가벼움.
- 그러나 청색 휘도가 낮고 구동 전압이 높아 소비전력이 크다는 단점이 있음.
- 후막형 IELD는 청색의 구현이 가능하여 full color 구현이 가능함.
- 구조가 간단하며 플라스틱 기판 상에 제작이 가능하다는 장점이 있으나,
 - 휘도가 낮은 편이고 수분으로 인하여 형광체가 분해되는등 화학적으로 불안정하여 소자의 수명이 2,000hrs 이하임.
 - 매트릭스 구동이 어렵다는 단점이 있음.
- 장식용 조명이나 back-light와 같이 제한된 부분에만 이용되고 있음.
- ELD의 종류와 특성을 표 6-6에 비교해 놓았음.

• 전계발광의 종류에 따른 특성 비교

[표 6-6] ELD의 종류에 따른 특성 비교

구 분	장 점	단 점
저분자 OLED	· 고효율, 고휘도, 장수명 · 고순도 재료 · 용이한 다층 제조공정	· 대면적화 부적합 · 비교적 높은 구동전압
고분자 OLED	· 열적 및 기계적 안정성 · 낮은 구동전압 · 낮은 비용 · 용이한 제조공정 · 빠른 응답속도	· 재료의 신뢰성 문제 · 청색 형광체의 짧은 수명 · 낮은 휘도 · 미숙한 patterning 기술
PM OLED	· 간단한 구조 · 단순한 제조공정 · 낮은 비용	· 높은 전압과 소비전력 · 낮은 발광 효율 · 대면적화 부적합 · row line 증가로 휘도저하
AM OLED	· 낮은 전류 구동 · 간단한 pixel 공정 · 대면적 고해상도 가능 · 낮은 소비전력	· 복잡한 제조공정 · 높은 비용
IELD	· 내충격성 · 내구성 · 내환경성 · 간단한 구조	· 높은 구동전압 · 청색 형광체 미흡 · 높은 비용