

# 전계발광소자 (ELD)

권순석\*, 정득영\*\*, 임민수\*\*\*

(\*충북대 전기공학과 교수, \*\*同학과 박사과정, \*\*\*同학과 석사과정)

## 1. 서론

진성 전계발광(electroluminescence, EL)은 ZnS를 모재로 하는 형광체를 2장의 기관 사이에 배치하고 교류 전계를 인가하였을 때 발광하는 현상으로 1936년 G. Destriau에 의해서 처음으로 발견되었지만, 투명 전극이 개발되기까지 실용상 발전은 없었다. 그러나 1950년, SnO<sub>2</sub>를 주성분으로 하는 투명 도전막을 이용한 EL 패닐이 Sylvania社에서 발표하여 면발광원 및 평면형 정보 표시 패널로서 주목을 받았으나, 낮은 휘도와 짧은 수명 등의 문제점 때문에 1960년대 중반에 고신뢰성이 기대되는 전하 주입형 LED가 발표되면서 진성 EL의 연구 개발은 주춤하였다. 전자 계산기와 같은 정보 처리 장치에서 요구되는 대면적화를 해결하기 위하여 1968년 A. Vecht는 Cu 처리한 형광체 분말을 이용한 직류 구동형 분산형 EL과 D. Kahng에 의해서 희토류 불화물 분자를 발광 중심으로 사용한 박막형 EL을 발표하였으며, 그 후 고체 발광형 EL은 다시 주목을 받기 시작하였다. 1974년 진성 EL에서 문제점으로 되었던 저휘도와 단수명을 해결할 수 있는 2중 절연층 구조의 박막형 EL이 발표되면서 EL에 관한 연구 개발이 활발히 진행되었다. 그 결과 1983년 Grid가 6 inch 320×240 픽셀 EL 디스플레이를 휴대용 컴퓨터에 탑재하여 발표하였으며, 이후 워크 스테이션, 퍼스널 컴퓨터, 워드 프로세서 등에 디스플레이로서 응용이 되고 있다. 1987년 C.W. Tang은 10 V이하의 직류 전압으로 구동하였을 때 1000 cd/m<sup>2</sup>의 고휘도를 갖는 유기 박막 EL을 발표한 후 유기 EL 소자는 디스플레이로서의 응용 가능성 때문에 주목을 받기 시작하여 발광층에 미량의 발광 색소를 도핑하는 색소 도핑법을 이용하여 발광 파장을 변화시키고 발광 효율을 향상시킬 수 있는 단계에 이르게 되었다<sup>1)~4)</sup>. 현재, 색 도핑법을 이용하여 녹색은 100,000 cd/m<sup>2</sup>, 청색은 10,000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도가 얻어지고 있다. 또한 녹색 단순 매트릭스 형태의 디스플레이가 실용화

되고 있다. EL 디스플레이는 높은 콘트라스트 (50:1), 넓은 시야각(±80°), 빠른 응답속도 (> 1 ms), 높은 해상도(0.31 μm pitch) 및 넓은 동작 온도(-5~+85°C) 등의 특성을 갖지만, 단지 16 가지의 발광색을 얻어지고 있다. 따라서, 박막형 및 분산형 EL 소자에서 다색화를 이루는 것은 매우 중요하다. 1993년 다색화에 문제로 되었던 녹색 및 적색을 패터닝된 컬러 필터 구조를 갖는 다색 박막 EL이 발표되었다. 그러나 아직까지 청색은 디스플레이에 응용하기에는 낮은 휘도를 갖고 있다<sup>5)~7)</sup>. 이상은 EL의 연구 역사와 연구 동향에 대하여 기술하였다. 다음은 현재까지 연구된 박막형 EL의 재료, 구조 및 발광 기구 등에 대하여 기술하고, LCD의 후면 광원 및 표시용으로 새롭게 주목을 받고 있는 분산형 EL을 본 연구실에서 개발한 시작품을 중심으로 구조를 설명하고, 주파수 및 전압의 변화에 대한 휘도 특성과 그 응용에 대하여 언급하고자 한다<sup>12)</sup>. 또한 유기 EL의 구조, 전기적 및 광학적 특성, 발광 기구 및 향후 과제에 대하여 기술하고자 한다<sup>9)~10)</sup>.

## 2. EL의 구조, 특성 및 발광 기구

제작 방법 및 구동 방법 등에 따라 직류 및 교류 구동형 박막형과 분산형으로 구분되는 무기 EL과 발광 재료에 따른 단분자 및 고분자 발광층을 갖고 직류 구동하는 유기 EL이 있다. 그림 1은 EL의 주요 특성이다.

### 2.1 박막형 EL 소자

1974년 T. Inoguch의 장수명, 고휘도를 갖는 이중 절연층 구조를 갖는 무기 박막 EL이 발표된 이후 EL의 연구 및 개발의 중심에 위치하고 있다. 이 구조는 그림 2와 같이 글라스기관 투명 도전막, 절연층, 발광층 및 배면 전극으로 구성된다. 각층의 기능과 재료에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

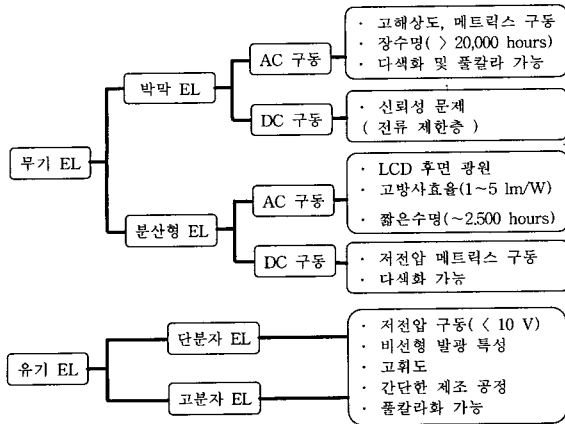


그림 1. EL 소자의 분류와 특징

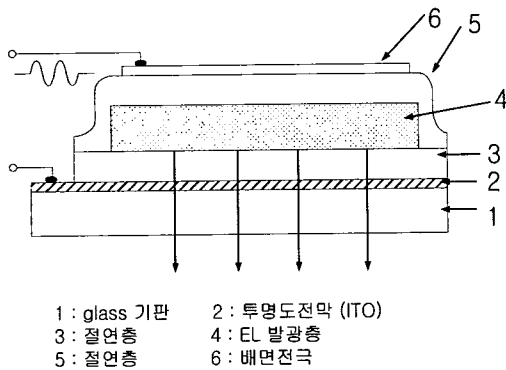


그림 2. 이중 절연층 구조를 갖는 박막형 EL의 구조

발광층은 모재로 발광 개시 전압을 낮추기 위하여 ZnSe를 이용한 형광체가 이용되기도 하지만 일반적으로 모재 ZnS에 발광 중심으로서  $Mn^{2+}$ 을 0.5 wt% 도핑한 형광체를 실용적으로 이용하고 있으며, 이 경우 585 nm의 단일 피크 파장을 갖고 높은 휘도를 보인다. 또한 ZnS:Cu, Al은 녹색 발광을 나타낸다.

절연층의 발광층 양면 배치는 불순물 또는 습기로부터 보호하고, 전자가 전극에서 발광층으로 직접 흐르지 않도록 하며, 발광층과 절연층의 계면에 트랩된 전하는 분극을 일으켜 유효 전계를 증가시키게 된다. 소자의 개발 초기에는  $Y_2O_3$ 가 주로 이용되었지만 현재는  $Si_3N_4$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ 를 주 성분으로 하는 복합막과 고유전율을 갖는  $PbTiO_3$ ,  $BaTiO_3$  및  $SrTiO_3$ 가 사용되고 있으며, 절연파괴가 일어났을 때 스스로 수복성을 갖는  $BaTa_2O_6$ 가 이용된다.

투명 도전막은 초기에는  $SnO_2$ 계가 주로 이용되었지만 화학적 에칭에 의해서 전극 패턴을 형성하기 어렵고 대용량 정보표시소자에 적용하기에는 고유 저항이  $10^{-3} \Omega \cdot cm$ 로 높기 때문에 현재는 널리 사용되고 있지 못하다. 화학 에칭에 의해서 전극 패턴을 형성하기 쉽고 고유 저항이 ( $10^{-4} \Omega \cdot cm$ ) 낮은  $In_2O_3-SnO_2$  혼합계(indium-tin -oxide : ITO)가 널리 이용되고 있지만 분위기 및 온도 변화에 민감하므로 주의가 요구된다.

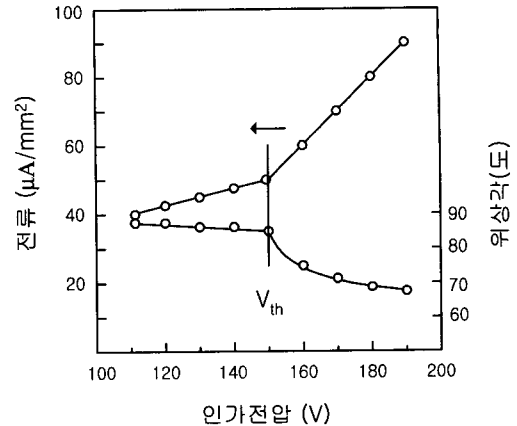


그림 3. 이중 절연층 구조의 박막형 EL의 전압-전류 특성

박막 EL의 발광 기구는 다음과 같이 등가회로화하여 설명되고 있다. EL 소자에 정현파 교류 전압을 인가하였을 때의 전형적인 전압-전류 특성 곡선은 그림 3과 같다.  $V_{th}$  이하에서는 절연층 정전용량과 발광층 정전용량이 직렬 상태,  $V_{th}$  이상의 영역에서는 절연층만의 정전용량으로 변화된다. 이것은 위상 관계에서 인가 전압이  $V_{th}$  이상이 되면 위상각이 감소하므로 발광층의 용량성 부하에서 저항성 부하로 변하는 것으로부터 분명하다. ZnS를 모재로 하는 형광체를 발광층으로 사용하면  $V_{th}$ 에서 발광층에는 1~2 MV/cm의 평균 전계가 걸리고 인가 전압을 더욱 증가시켜도 발광층의 전계는 전압 증가는 절연층에 대부분 걸리므로 일정하다.

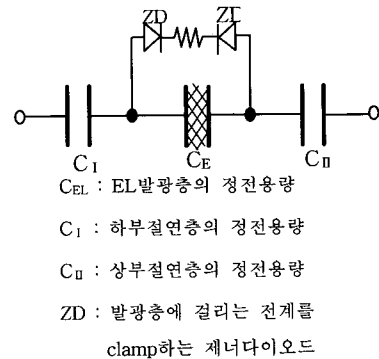


그림 4. 이중 절연층 구조의 박막형 EL의 등가회로

따라서, 그림 4와 같이 등가회로로 나타낼 수 있다.  $V_{th}$  이하에서는 발광 현상은 나타나지 않지만  $V_{th}$  이상이 되면 발광층이 도전성을 나타내어 동상 전류가 흐르기 시작하면서 발광 현상이 나타난다. 전형적인 휘도-전압 특성은 그림 5와 같다. 전압에 따른 발광 휘도는 발광 중심에 따라 약간의 차이는 보이지만  $V_{th}$  이상이 되면 휘도는 지수 함수적으로 증가하고 일정 전압 이상에서는 포화하는 경향을 갖는다. ZnS: $Mn^{2+}$ 를 발광층으로 사용한 소자에서 휘도는

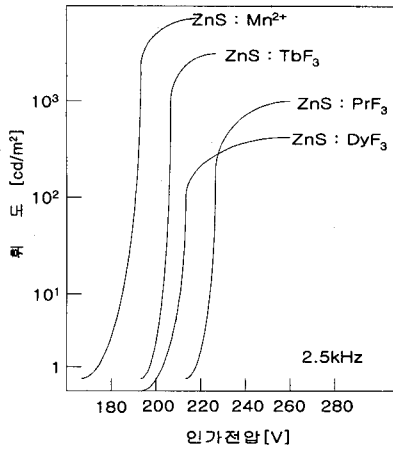


그림 5. 이중 절연층 구조의 박막형 EL의 휘도-전압 특성

5,000~7,000 cd/m<sup>2</sup>를 나타내며 효율은 1~5 lm/W가 얻어진다. 한편, ZnS-절연층 계면에 H<sub>2</sub>O가 침투하면 ZnS중의 hot electron에 의해서 전리되어 H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>이온으로 전리되고 발생된 H<sub>2</sub> 가스는 층간 분리를 시켜 압점으로 작용하여 열화시키므로 수분 침투를 방지해야 한다. 제작 직후의 이중 절연층 박막 EL 소자는 V<sub>th</sub> 전압이 변하지만 일정시간이 지나면 일정해진다. 도트 매트릭스형 정보 표시 장치로서 응용이 되고 있다. 현재 상품화 되어 양산되고 있는 패널은 ZnS:Mn<sup>2+</sup>에 의한 황등색 발광을 하는 것으로 문자 및 도형 표시용으로 제한되고 있다<sup>(5)~(7)</sup>. 향후, 청·적·녹색이 동일한 휘도가 얻어진다면 컬러 동화상 표시용 평면 박형 디스플레이로서 주목을 받을 것이다.

### 2.2 분산형 EL 소자

분산형 EL은 Sylvania社에 의해서 처음으로 개발되었으며, 투과형 LCD의 후면 광원으로 사용된다. 분산형 EL 소자의 기본 구조는 그림 6과 같다. 기판은 글라스 또는 flexible 플라스틱판을 이용한다. 전면 전극은 ITO 글라스를 이용한다. 발광층은 형광체 분말을 유기 바인더에 분산시켜 50~100 μm의 두께의 범위이다. 형광체 분말의 모재는 ZnS 등의 II-VI족 화합물, 발광 중심은 Cu, Cl, I, Mn을 이용하고 있으며 이들에 의해서 각종의 발광색을 얻는다. ZnS 형광체의 입경은 5~30 μm로 비교적 크다. 바인더는

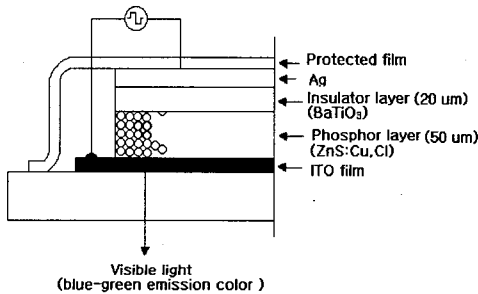


그림 6. 분산형 EL의 구조

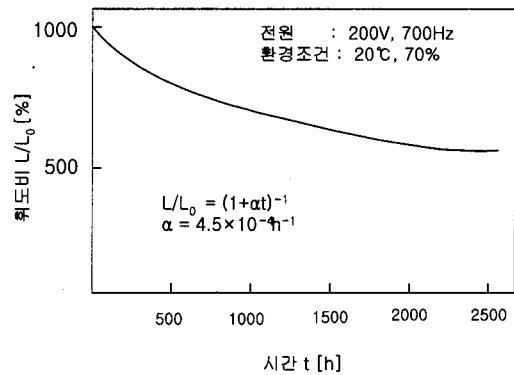


그림 7. 전형적인 분산형 EL의 휘도-전압 특성

유전율이 높은 유기물인 시아노계, 저융점 글라스 등의 무기 재료도 사용되고 있다. 발광층과 배면 전극 사이에는 배면으로 반사를 막고 콘트라트를 양호하게 하기 위해서 또는 절연과피를 막기 위해서 유전체층이 배치된다. 배면 전극으로는 보통 Al을 사용한다. 전계 발광을 위해서는 형광체에 10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup> V/m의 전계가 인가되어야 한다. 휘도는 주파수 증가에 따라 증가하지만 수명은 감소한다. 그림 7에서 휘도는 분산형 EL 소자를 400 Hz, 400 V의 동작 조건으로 구동시켰을 때 100 cd/m<sup>2</sup>이다. 소자에 전계를 인가하였을 때 방출되는 파장은 발광 중심의 선택에 의해서 제어 가능하다. ZnS:Cu, Cl 형광체를 사용하면 Cl의 도핑량에 따라 청색(460 nm) 및 녹색(510 nm)이 얻어진다. 이 발광 파장은 도너(Cl)-억셉터(Cu) 쌍의 재결합 천이에 의해서 발생된다. ZnS:Cu, Al은 녹색, 발광색의 제어가 용이한 ZnS:Cu, Cl, Mn은 황색(590 nm)을 얻을 수 있다.

발광 기구는 Fisher의 발광 모델을 주로 이용하고 있으나 많은 실험 결과를 충분히 설명하고 있지 못하므로, 연구실에서 시험 제작한 ZnS:Cu, Cl 형광체를 이용한 분산형 EL의 실험 결과를 바탕으로 설명한다.

그림 8은 주파수에 따른 발광 스펙트럼이다. 그림에서 주파수의 변화에 따라 발광 피크가 변화된다.

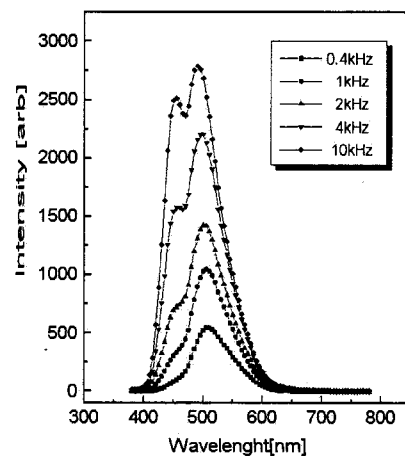


그림 8. 제작된 분산형 EL의 스펙트럼

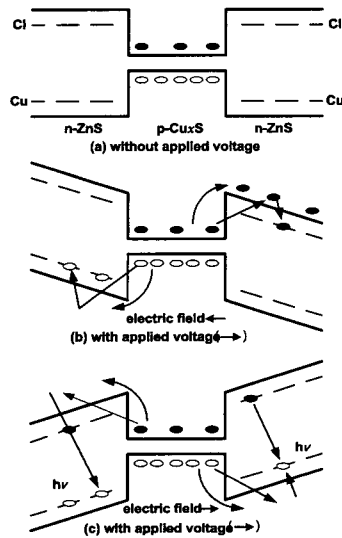


그림 9. 제작된 분산형 EL의 발광 기구 모델

그림 9는 캐리어의 거동과 발광 과정을 나타낸 것이다. 그림(a)는 전압이 인가되지 않았을 때의 에너지대 구조이다. 그림 (b)는 전계의 방향이 오른쪽으로 향하는 교류 반주기 동안의 에너지대 구조로서 전압이 인가되면 쇼트키 효과 또는 터널 효과에 의해서 도전성이 양호한  $Cu_xS$ 로부터 ZnS로 전자가 주입된다. 이와 같이 주입된 전자는 ZnS 내를 드리프트 하다가 Cl 준위에 포획되고, 정공은 위의 효과에 의해서 ZnS내의 Cu 준위에 포획된다. 다음 반주기에 전계의 방향이 반전되면 그림 (c)와 같이 전자와 정공이 ZnS로 주입되고 전자와 정공은 재결합하면서 광을 방출하게 된다. 광의 방출은 직접 또는 간접 재결합에 의해서 발생될 수 있고, 그 에너지차에 따라 327 nm부터 495 nm 발광 파장 범위를 갖는다. 저주파의 경우 도너-억셉터 쌍의 재결합이 주로 되어 녹색 발광을 갖지만 고주파에서는 전도대의 캐리어가 도너 준위에 포획될 시간적 여유가 사라져 Cu에 기인된 정공 준위와 재결합하면서 청색 발광을 하게 된다. 위의 설명은 Cl 보다는 Cu에 의해서 발광색이 결정됨을 의미한다. 그림 10은 전압, 주파수에 따른 휘도 특성이다. 휘도의 전압 및 주파수 의존성은 다음의 식으로 표현된다.

$$L = F(f)L_0 \exp\left(\frac{-b}{\sqrt{V}}\right) \quad (1)$$

$$L \propto F(f)V^{n1} \quad (2)$$

여기서  $L$ 은 휘도,  $L_0$ 와  $b$ 는 정수이고  $V$ 는 인가 전압,  $F(f)$ 는 주파수 함수이다. 식 (2)의  $n1$ 을 그림 10에서 구하면 0.7~5의 범위를 갖게 되어 기존의 연구 결과인 3~4보다 넓은 범위의 값이다. 휘도의 전압 및 주파수 의존성을 명확히 설명하기 위하여 그림 10을  $\ln L:V^{-1/2}$ 와  $\ln L:f$ 로 다시 구성하여 설명하면 다음과 같다. 그림 11에서  $\ln L$ 은  $\sqrt{V}$ 에 대하여 음의 기울기를 갖고 직선을 갖는다. 식 (1)의 상수  $b$ 는 직선의 기울기를 의미하며, 그림 11에서 주파수가

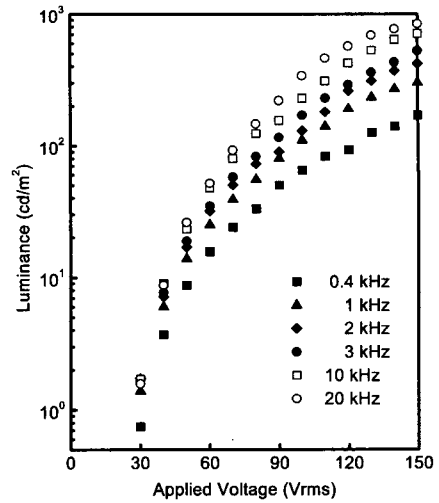


그림 10. 시험 제작된 분산형 EL의 휘도-전압 특성

증가할수록 기울기는 증가한다. 여러 가지 전압에 대하여 주파수 변화에 대한 휘도의 변화를 나타낸 것이 그림 12이다. 그림에서 저주파 영역에서의 휘도는 주파수 의존성이 심하나 고주파 영역으로 진행되면 발광층과 절연층 사이의 계면에 전하 축적에 의해서 발광층내의 캐리어 거동이 억제되어 주파수 의존성이 약화되는 것을 보여 주고 있다. 위와 같이 휘도가 전압 및 주파수 의존성을 갖는 것은 전압이 증가할수록 유효 전계의 증가로 재결합에 참여하는 캐리어가 증가하고, 주파수가 증가할수록 단위 시간당의 주입-재결합 기회의 증가에 때문에 휘도는 증가하는 것이다.

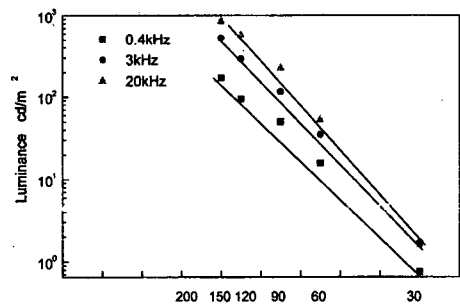


그림 11. 그림 10으로부터 재구성한  $\ln L$ 과  $\sqrt{V}$  특성

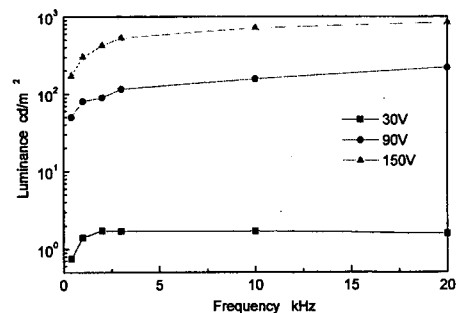


그림 12 그림 10으로부터 재구성한  $\ln L$ 과  $f$  특성

분산형 EL은 고체 발광형 면발광체로서 LCD의 후면 광원으로 적합하고 자동차용 부속품, 표시등, 계측기의 표시장치, 항공기의 표시 장치에 사용이 가능하며 내충격성이 강하여 장난감, 군사용 표시 장치에 널리 응용이 될 것으로 기대된다.

### 2.3 유기 EL 소자

그림 13은 ITO 글라스, 보통 75 nm 두께를 갖는 정공전송층, 60 nm 의 두께를 갖는 발광 중심으로 작용하는 전자전송층, Mg와 Al이 10:1의 원자비로 되는 배면 전극으로 구성된 전형적인 유기 EL 소자의 구조이다. 10 V의 직류 펄스 전압을 인가하면 발광 색소가 도핑되지 않은 Alq<sub>3</sub>를 갖는 소자에서는 청녹색 발광을 나타내고 휘도 1000 cd/m<sup>2</sup>, 휘도 효율 1.5 lm/W를 갖는다. 발광 색소 도핑된 Alq<sub>3</sub>를 갖는 소자에서는 양자 효율은 0.025 photon/electron을 나타내며, 발광 파장은 불순물의 농도 및 선택에 의해서 청·녹색부터 오렌지·적색 범위를 얻을 수 있다. 전자-정공 재결합 영역은 정공 전송층 근처로부터 5 nm 정도로 알려져 있다. 발광층 재료를 anthracene, coronene, perylene으로 변화시키면 청, 녹, 적색의 발광 파장을 얻을 수 있다.

유기 EL은 경량, 박형, 빠른 응답속도 등의 특징 때문에 풀칼라 디스플레이로 주목을 받아왔으며 휴대용 전화, 자동차 부속품(car navigation)등에 응용이 기대되고 나, 대면적(20 inch 이상)있다. 화가 어려우며 짧은 수명이 문제이므로 이를 해결하기 위한 노력이 진행되어야 할 것으로 사료된다<sup>11)</sup>.

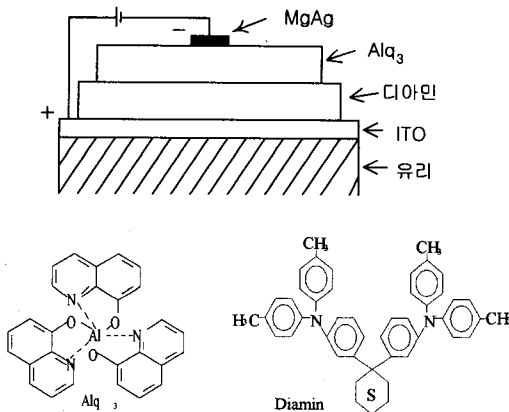


그림 13. 전형적인 유기 EL 소자의 구조 및 Alq<sub>3</sub>, diamin의 분자 구조

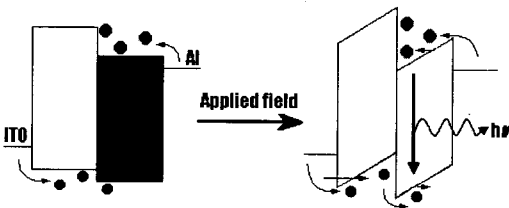


그림 14. 전형적인 유기 EL의 방출 특성

### 3. 결 론

LCD, PDP, VFD 등의 평판 디스플레이와 경쟁 관계에 있는 EL 소자는 다음과 같은 장점을 갖는다. LCD 보다 넓은 시야각, 충격 및 진동에 강한 구조를 갖는 고체 발광형 소자, 넓은 사용 온도 범위, 저전력, 경량 및 박형의 특징을 갖는 소자이다. 박막 EL 소자는 1983년 단색 소자가 상품화 된 이후 Sharp, Planar System과 Planar International 등에서 여러 종류의 제품이 발표되고 있으며 시장 점유율을 높여가고 있다. 응용은 건전지로 동작이 가능한 것부터 워크스테이션의 디스플레이까지 매우 다양하게 응용이 되고 있으나, 높은 제품 가격 때문에 시장 점유율은 LCD보다 낮은 편이다. 그러나, 향후 다색화 및 full 칼라화가 요망되고 있다. 분산형 EL은 Sylvania社에서 처음으로 상품화 된 이후 LCD의 후면 광원으로 주목을 받고 있으며, 현재 PCS 폰 등의 LCD 후면 광원으로 널리 이용되고 있다. 국내에서는 신평그러(주) 및 대양(주)에서 제품을 양산하고 있으나 가격이 높은 편이므로 저가격화가 요망되며, 고휘도화, 장수명화 등을 위해 노력해야 할 것으로 사료된다. 유기 EL은 고체 발광형 표시기로서 휘도가 높고 옥외에서도 잘 보이는 데다 박형, 저소비전력 등의 특성 때문에 차세대 평판 디스플레이로서 주목을 받고 있지만 구성 재료의 문제보다는 구조적 결함 때문에 발생하는 짧은 수명이 문제의 핵심이므로 이를 해결하기 위하여 새로운 구조를 갖는 유기 EL을 제시하는 등의 노력이 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] 大野勝利 外, "螢光體 핸드ブック", 日本 螢光體學會, pp 310-329, 1985
- [2] H. Ohinishi and K. Abe Proc. 6th Int'l Workshop on EL, 1992
- [3] H. Venghaus, D. Theis and H. Oppolzer, J. Appl. Phys., vol. 53, pp. 4146-4149, 1982
- [4] Ying Jen Lin et al, Jpn. J. Appl. Phys, vol.32, pp. 1983-1986, 1993
- [5] Webster E. Howard, IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-24, pp. 903-910, 1977
- [6] Higashi-Mita, Jpn. J. Appl. Phys, vol. 32, pp.51-59, 1992
- [7] Vijay P. Singh, IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-35, No. 1, January, 1988
- [8] Joseph L. Birman, Physical Rev., Vol. 121, No.1, 1960
- [9] C. W. Tang and S. A. Vanslyke, Appl. Phys. Lett., 51 (12), pp. 913-915, 1987
- [10] C. W. Tang, S. A. Vanslyke and C. H. Chen, J. Appl. Phys., 65, 3610, 1989
- [11] C. Adachi, et al, Jpn. J. Appl. Phys., 27 (2), PP.



L269-L271, 1993

[12] 권순석 " 평판형광원의 제작과 전기적 및 광학적 특성 " 충북대학교 박사학위논문, 1999

## 저 자 소 개



**권순석(權純錫)**

1967년 8월 1일생. 1991년 2월 대전산업대 전자공학과 졸업. 1993년 2월 충북대 전기공학과 졸업(석사). 1999년 2월 충북대 전기공학과 졸업(공학박사). 1999년 8월-현재 충북대 전기공학과 시간강사, 대전산업대 전자공학과 시간강사. 주관심분야: PDP, ELD, LCD 등의 평판디스플레이, 반도체 및 유전체 재료



**정득영(鄭得永)**

1969년 11월 2일생. 1993년 2월 대전산업대 전자공학과 졸업. 1995년 2월 충북대 전기공학과 졸업(석사). 1999년-현재 동대학원 박사과정. 주관심분야: 평판디스플레이(유기 ELD 및 PDP)반도체



**임민수(林旻洙)**

1972년 11월 21일생. 1998년 2월 대전산업대 전자공학과 졸업. 1999년- 현재 충북대 전기공학과 석사과정. 주관심분야: PDP, ELD, LCD등의 평판디스플레이, 반도체 및 유전체 재료