

전면 발광 유기 발광 소자에서 두께에 따른 발광 스펙트럼 연구

주현우, 한원근, 이원재*, 이호식**, 김태완
 홍익대학교, *경원대학교, **동신대학교

Abstract : 우리는 전면 발광 소자에서 두께에 따른 발광 스펙트럼을 연구하였다. 소자 구조는 Al(100nm)/TPD(40nm)/Alq3(60nm)/LiF(0.5nm)/Al(2nm)/Ag(30nm)으로 하였다. N,N'-diphenyl-N,N'-di(m-tolyl)-benzidine (TPD)와 tris-(8-hydroxyquinoline) aluminium (Alq3)는 전공 수송층과 발광층으로 각각 사용되었다. 반투명 전극은 Li/Al/Ag로 하였다. 유기물층과 전극은 2×10^{-5} torr의 진공도에서 열 증착하였다. 유기물과 금속의 증착 속도는 $0.5 \sim 1.0 \text{ \AA/s}$ 과 $0.5 \sim 5 \text{ \AA/s}$ 로 하였다. 제작된 소자는 두께가 증가할 수록 장파장으로 이동하는 현상을 보였다. 이러한 현상은 마이크로 캐비티 이론으로 설명할 수 있다. 소자는 이론적인 마이크로 캐비티 수식을 이용하여 분석하기 위해 각각의 변수를 이용하여 실험과 이론을 비교하였을 때, 각각의 스펙트럼이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : OLED, Top emission, emission pattern

1. 서론

평판 디스플레이가 개발된 이래 LCD, PDP, OLED 등이 경량, 박형 등의 장점으로 CRT를 대체해 나가고 있다. 특히 정보화 시대가 가속되면서 휴대용 디스플레이의 보급이 많이 되는데, OLED의 자발광 특성과 경량 초박형의 장점으로 소형 디스플레이에서 두각을 나타내고 있다. 1965년 Helfrich 등은 안트라센(anthracene) 단결정에서 청색 전계 발광 현상을 발견하였다.[1] 1980년대 후반 Kodak의 Tang과 VanSlyke의 선구적인 유기 발광 소자의 업적 이후 본격적인 연구가 계속되어 오고 있다[2]. 유기 발광 소자는 발광 방식에 따라 배면 발광과 전면 발광으로 구분되며, 구동 방식에 따라 능동형과 수동형으로 나눌 수 있다. 능동형의 경우 디스플레이의 효율적인 구동을 위해 각 화소를 제어하는 트랜지스터를 사용하며 개구율의 확보와 소자의 수명을 위한 전면 발광 방식을 선호한다. 전면 발광 소자에서 발광 스펙트럼에 가장 큰 영향을 미치는 현상 중에는 마이크로 캐비티 현상을 생각해볼 수 있다. 마이크로 캐비티는 선풍이 작은 특정 파장의 스펙트럼선뿐만 아니라 소자의 효율 향상을 가져온다[3]. 이러한 마이크로 캐비티는 수식으로 증명 되었으며, 수식으로 예상되는 값을 실험을 통해 확인할 수 있다. 또한 두께와 굴절률을 고려한다면 소자의 봉우리 파장을 예상할 수 있다[4],[5],[6]. 우리는 전면 유기 발광 소자에서 두께에 따른 발광 스펙트럼을 분석하였다.

2. 실험

본 실험에서 반사 전극으로는 Al(100nm)을 사용하고 반투명 음전극은 LiF/Al/Ag를 사용하였다. 소자의 구조는 Al(100nm)/TPD(xnm)/Alq3(ynm)/LiF(0.5nm)/Al(2nm)/Ag(30nm)이며, 정공 수송층으로는 N,N'-diphenyl-N,N'-di(m-tolyl)-benzidine (TPD)를, 그리고 발광층으로는 tris-(8-hydroxyquinoline) aluminium (Alq3)를 사용하였다. TPD와 Alq3는 약 2:3의 비율로 $0.5 \sim 1.0 \text{ \AA/s}$ 의 속도로 열 증착하였다. 소자에서 유기물층의 두께는 100~180nm까지 변화시켰다. 반투명 음전극은

Li(0.5nm)/Al(2nm)/Ag(30nm)이며, 이의 가시광선 영역에서 투과도는 약 40%이다. 전극의 증착 조건은 2×10^{-5} torr의 진공도에서 $0.5 \sim 5.0 \text{ \AA/s}$ 의 속도로 열 증착하였다. 소자의 시야각에 따른 발광 스펙트럼을 측정하기 위해서 회전 장치의 중심에 소자를 위치시킨다. 설치한 소자에 외부의 빛이 들어가지 않도록 하고 발광 면이 중심에 오는지를 확인한다. 소자가 100 cd/m^2 의 빛을 발광하고 있는 동안에, 소자의 면을 10° 씩 회전시키면서 발광 스펙트럼을 측정하였다. 시야각에 따른 파장은 Ocean Optics USB 2000을 사용하였고, 금속 전극의 투과도는 Agilent 8453 UV-visible spectrophotometer를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 유기물층의 두께가 같은 배면 발광 소자와 전면 발광 소자의 전기 발광 스펙트럼을 각각 비교하였다. ▀와 ▾는 배면 발광 소자와 전면 발광 소자를 나타내었고, 소자의 발광 스펙트럼을 분석하기 위해 각각의 스펙트럼은 평준화시켰다. 그림에서 볼 수 있듯이 전면 발광 소자는 마이크로 캐비티 구조를 가지기 때문에 봉우리 파장의 값의 변화를 가지고, 반폭치의 값도 줄어든다. 봉우리 파장의 변화는 다음의 마이크로 캐비티 수식으로 확인할 수 있다.

$$I_{out}(\lambda) = \frac{T_T \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [1 + R_{\perp} + 2\sqrt{R_{\perp}} \cos(\frac{4\pi z_i}{\lambda} - \phi_{\perp})]}{1 + R_{\perp} R_T - 2\sqrt{R_T R_{\perp}} \cos(\frac{4\pi L}{\lambda} - \phi_T - \phi_{\perp})} I_{normal}(\lambda)$$

앞의 수식에서 $I_{normal}(\lambda)$ 와 $I_{out}(\lambda)$ 는 배면 유기 발광 소자와 마이크로 캐비티 소자의 봉우리 파장이고, T와 R은 상부와 하부의 투과도와 반사도, z_i 는 발광 하부 층에서 하부 전극까지 거리, L은 유기물층의 두께, ϕ 는 유기물과 전극의 굴절률 때문에 생기는 위상차이다. 수식을 이용하여 변수들의 값을 임의로 조정하면 봉우리 파장은 z_i , L, ϕ 의 변수가, 빛의 세기는 T, R에 의하여 변화가 생긴다는 것을 알 수 있

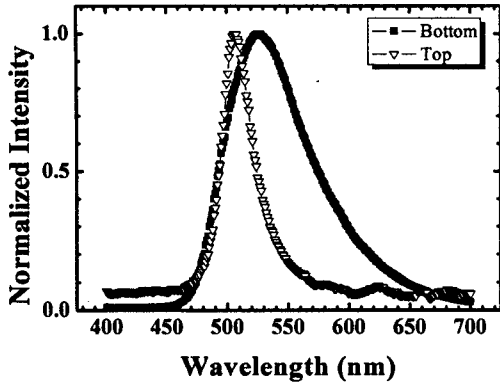


그림 1. 전면과 배면 발광 소자의 EL 스펙트럼.

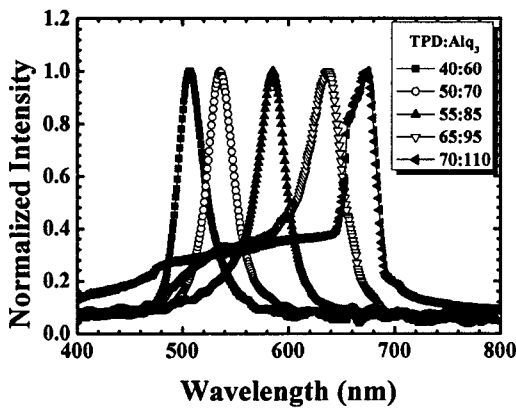


그림 2. 두께에 따른 전면 발광 소자의 EL 스펙트럼.

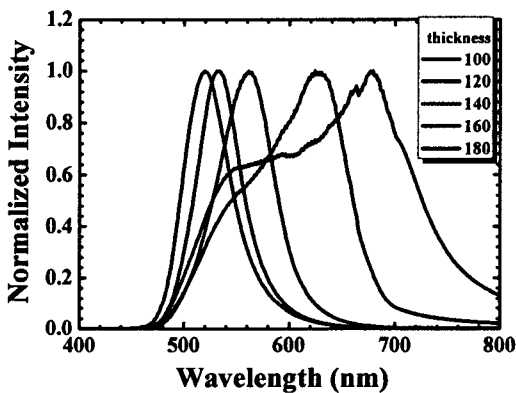


그림 3. 스펙트럼 수식에 의한 EL 스펙트럼.

었다. 그림 2는 실험을 통하여 나온 두께에 따른 전기 발광 스펙트럼 값이다. 이 값은 유기물층의 두께가 100nm에서 180nm까지 변화하였을 때, 봉우리 파장이 505nm에서 674nm까지 스펙트럼의 이동이 있었다. 마이크로 캐비티 수식을 확인하기 위해, 반사도와 굴절률의 변수는 임의로 정하고 두께를 변화시켜 마이크로 캐비티 수식에 따라 나타난 값을 그림 3에 나타내었다. 이때 Al 반사 전극의 반사도는 1,

LiF/Al/Ag 반투명 전극의 반사도는 0.7, 반사 전극의 위상차는 2.4, 반투명 전극의 위상차는 0.4로 하였다. 소자의 두께는 실험에서 사용한 유기물의 전체 두께와 같이 100, 120, 140, 160, 180nm로 하였고, 발광층 하부에서 반사 전극까지 거리는 각각 50, 65, 80, 90, 100nm로 하였다. 변수를 입력하고 나타난 스펙트럼을 평균화시킨 그림 3을 보면 봉우리 파장의 값은 510nm에서 680nm까지 변화하였다. 이 그림에서 스펙트럼의 모양과 봉우리 파장의 값은 수식과 실험이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 이때 반폭치의 차이를 보이는데, 마이크로 캐비티 소자에서 반폭치의 값은 다음의 수식으로 확인할 수 있다.

$$FWHM = \frac{\lambda^2}{2L} \times \frac{1 - \sqrt{R_1 R_T}}{\pi(R_1 R_T)^{1/4}}$$

위 수식은 반사도와 소자의 두께에 관계된 수식이며, 반투명 전극의 반사도를 높이면 평균화했을 때 빛의 세기가 커져서 상대적으로 반폭치는 줄어들고, 반대의 경우 반폭치가 커지는 현상을 볼 수 있다. 투과도를 고려한다면 반사도를 계속해서 높일 수 없기 때문에 적절한 반사도를 고려하여야 한다. 실제의 소자에서 나타나는 값은 가시광선 영역에서 약 35%의 투과도를 가지는 반투명 전극을 이용하였다.

4. 결론

본 논문에서는 전면 발광 유기 발광 소자에서 두께에 따라 나타나는 스펙트럼의 광학적 특성을 연구하였다. 실험을 통해서 유기물 층의 두께가 증가했을 때 봉우리 파장이 장파장으로 이동하는 현상을 보인다. 이러한 현상은 소자 내부의 굴절률과 광학적인 거리가 들어가는 마이크로 캐비티 수식에 따른 변화를 보이는데, 이때의 변수는 유기물과 전극의 굴절률에 의한 위상차 ϕ , 발광층 하부에서 반사 전극까지 거리 z , 유기물의 두께 L 에 의해 봉우리 파장의 이동을 확인할 수 있다. 이중 유기물층의 두께 L 의 변화에 따른 실험과 계산에 의한 스펙트럼은 거의 일치하였다.

참고 문헌

- [1] W. Helfrich and W. G. Schneider, Phys. Rev. Lett. 14, 7 (1965).
- [2] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett. 51, 913 (1987).
- [3] H. Yokoyama, Science. 256, 5053 (1992).
- [4] Zhijun Wu, Hengqun Guo, Jiaxian Wang and Shiyong Liu, J. Phys. D: Appl. Phys. 39, 5160 (2006).
- [5] Wenfa Xie, Shufen Chen, Letian Zhang and Shiyong Liu, J. Phys. D: Appl. Phys. 40, 5888 (2007).
- [6] Michael Thomschke, Robert Nitschke, Mauro Furno, and Karl Leo, Appl. Phys. Lett. 94 083303 (2009).