

논문 22-10-9

백색 OLED의 발광효율 향상을 위한 Dielectric Layer 설계에 관한 연구

The Study of Dielectric Layer Design for Luminance Efficiency of White Organic Light Emitting Device

김상기^{1,2,a}, En Mei Jin¹, 구할본¹
(Sang-Gi Kim^{1,2,a}, En Mei Jin¹, and Hal-Bon Gu¹)

Abstract

We have optimized the device structure by using the dielectric layer such as anti-reflection thin film to improve the emitting efficiency of white organic light emitting device (WOLED). Basically, dielectric layer with anti-reflection characteristics can enhance the emitting efficiency of WOLED by compensating the refractive index of organic layer, ITO, and Glass. Here, WOLED was designed and optimized by Macleod simulator. The refractive index of 1.74 was calculated for Dielectric layer and was selected as TiO₂. The optimal thicknesses of TiO₂ and ITO were 119.3 and 166.6 nm, respectively, at the wavelength of 600 nm. The transmittance of ITO was measured with the thickness variation of dielectric layer and ITO in Organic layer/ITO/Dielectric layer structure. The transmittance of ITO was 95.17% and thicknesses of TiO₂ and ITO were 119.3 and 166.6 nm, respectively. This result, calculated and measured values were coincided.

Key Words : White organic light emitting device, Dielectric layer, Transmittance, ITO

1. 서론

현재의 조명산업은 여러 종류의 조명이 등장함에 따라 패러다임 자체가 점차 변화하고 있으며, 최근 에너지 자원의 고갈로 인한 지속적 유가상승이 예상 된다. 에너지와 환경문제뿐만 아니라 인간 삶의 질이 향상됨에 따라 인간 친화적 감성조명의 수요가 증가할 것으로 예측되고 있다. 예전부터 현재까지 실내 및 실외에서 사용되는 조명광원으로 백열등과 형광등이 주로 사용되고 있다.

그러나 현재 형광등이나 백열등의 대체 조명기구로 OLED(Organic Light Emitting Device), LED(Light Emitting Diode)와 CNT(Carbon Nano

Tube)가 검토 되고 있다.

이러한 소자 중 유기발광소자는 외부 광원이 필요 없는 자체 발광형 디스플레이 소자로서 박막, 경량, 저소비전력 및 저전압 구동 등의 장점을 가지고 있으나 낮은 효율, 습기에 의한 산화 및 짧은 수명의 단점이 있다.

유기발광소자에서 외부로 추출되지 못하고 내부에 갇히게 되는 빛들은 유리기판과 공기층의 굴절률 차이로 인해 발생하는 전반사 모드와 높은 굴절률을 가지는 ITO-유기물 층을 따라 진행하는 도파모드가 있다[1]. 유기발광소자 내부에 갇혀서 외부로 나오지 못하는 빛들을 외부로 추출해 내기 위하여 다양한 연구결과가 발표되고 있다.[2-4] Glass-공기 층 경계 면에서의 전반사를 줄이기 위해서 Glass 위에 마이크로 렌즈를 형성하는 방법이 연구 되어 왔다[5].

본 연구에서는 백색 유기발광소자의 발광효율을 향상하기 위하여 Glass와 공기층, ITO와 유기물 층의 굴절률을 보정하는 유전체 층을 물질의 굴절

1. 전남대학교 전기공학과
(광주시 북구 용봉로 77)

2. (주)링크라인아이엔씨

a. Corresponding Author : skkim@linklineinc.co.kr

접수일자 : 2009. 9. 3

1차 심사 : 2009. 9. 14

심사완료 : 2009. 9. 23

를 값을 계산 하였다. 그리고 유전체 층과 ITO 두께를 변화시키면서 ITO의 투과율 값을 측정하였으며, 최적의 두께를 결정하였다.

2. 실험

2.1 유전체 층 굴절률 계산

물질마다 반사율, 투과율, 흡수율 등의 광학적 특성이 다른 것은 물질마다 고유한 광학 상수가 다르기 때문이다. 광학 상수는 물질의 전자 구조에 의해 결정된다. 또한, 광학 상수는 빛의 파장에 따라 다르므로 물질의 광학적 특성이 파장에 따라 다르다. 따라서 무반사 박막 설계에 있어서 이러한 물질 선정과 사용 파장(또는 기준파장)의 선정이 중요하다. 특히 물질 선정에 가장 큰 중요한 인자는 굴절률이다.

본 연구에서는 그림 1 같이 Organic layer/ITO/유전체 층/Glass 구조로 설계를 하였으며, 최종 반사율의 목표는 0.1%로 설정하였다. 최적의 유전체 층의 굴절률 값은 식 (1)에 적용하여 계산하였으며 Organic layer의 굴절률 1.70, ITO의 굴절률 2.04, Glass 굴절률 1.50, 반사율 0.1%를 적용하였다. 유전체 층의 최적의 굴절률은 약 1.74 값을 얻을 수 있었으며, 이러한 굴절률을 가지고 있는 대표적인 물질은 Al_2O_3 , TiO_2 이다. 일반적으로 Al_2O_3 는 1.7~1.77, TiO_2 는 1.73~2.63 까지 굴절률을 조절할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 계산한 굴절률 값과 유사하고 굴절률 조절이 쉬운 TiO_2 물질을 선정하였다.

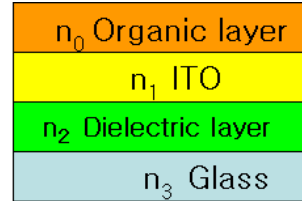


그림 1. 유전체 층 구조와 각층의 굴절률.

Fig. 1. Dielectric layer structure and Reflectivity index of layer.

$$R = \frac{(n_0 - n_1^2 \times n_3 / n_2^2)^2}{(n_0 + n_1^2 \times n_3 / n_2^2)^2} \quad (1)$$

여기서 R 은 반사율, n_0 , n_1 , n_2 , n_3 은 각층의 굴절률을 나타낸다.

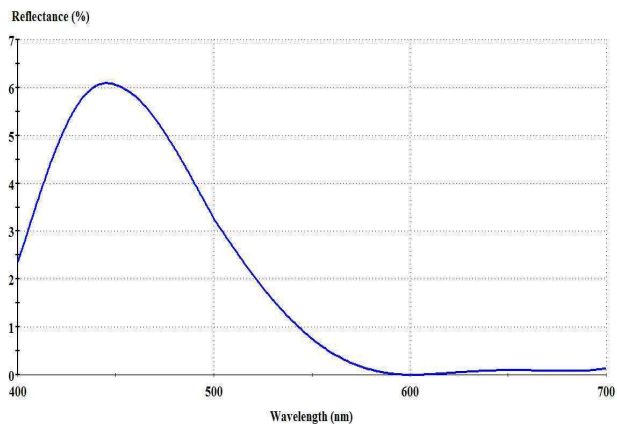
2.2 유전체 층 설계

계산하여 구해진 유전체 층의 굴절률 정보를 가지고 광학박막 설계 프로그램인 Macleod simulator를 이용하여 설계하였다. Macleod simulator를 이용하여 유전체 층을 설계와 설계 결과값을 그림 2에 나타냈다. 기준 파장은 600 nm로 하였으며, 각층의 최적의 두께는 ITO 두께는 166.0 nm, 유전체 층은 119.3 nm 값을 얻을 수 있었다.

설계한 결과치인 그림 2의 (b)에서 기준파장인 600 nm 영역에서 0.1% 이내의 반사율 값을 나타

Layer	Material	Refractive Index	Extinction Coefficient	Optical Thickness (FWOT)	Physical Thickness (nm)
Medium	Glass	1.51630	0.00000		
1	test	1.73000	0.00000	0.34398167	119.30
2	ITO	2.04000	0.01200	0.56439999	166.00
Substrate	organic	1.70000	0.00000		

(a) 설계



(b) 반사율 simulation 값

그림 2. 유전체 층 설계와 설계 값.

Fig. 2. Reflectance simulation result of dielectric layer.

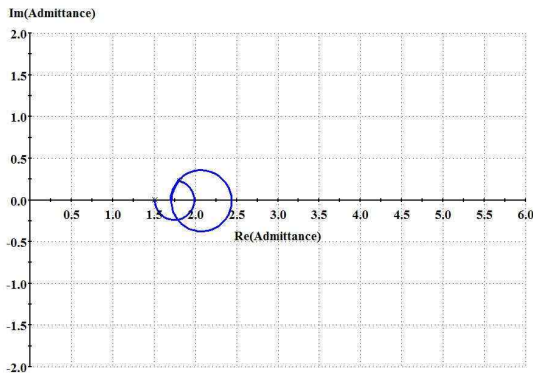


그림 3. 설계된 유전체 층의 어드미턴스.
Fig. 3. Admittance figure of dielectric layer and ITO.

낸 것을 확인할 수 있었다. 또한, 광학박막의 광학적 특성은 광학어드미턴스를 측정된 결과는 그림 3에 나타내었다. 어드미턴스 그림은 박막의 광학 두께가 증가함에 따라 박막의 어드미턴스 변화를 복소수 평면 위에 나타낸 것으로 기판위에서 성장하는 박막의 반사율 증가, 감소와 위상변화 등을 나타낸다[6]. 유기물의 굴절률인 (1.7, 0)에서 시작한 어드미턴스 값은 최종 Glass의 굴절률인(1.51, 0)에 도달하였다. 따라서 설계된 유전체 층에 의해 유기물, ITO 및 Glass의 굴절률을 보정해주는 최적의 무반사 박막[7]임을 확인할 수 있었다.

3. 결과 및 검토

3.1 유전체 층 두께 변화에 따른 투과율

백색 유기발광소자의 발광효율을 향상하기 위하여 최적의 유전체 층의 두께는 119.3 nm 값을 얻을 수 있었다. 그러나 본 실험에서는 설계값과 실제 TiO_2 를 변화시켰을 때 투과율을 비교하기 위하여 119.3 nm에서 194.3 nm 까지 25 nm씩 변화시켰으며, 이때 ITO의 두께는 166.0 nm로 고정하였다.

본 실험에서는 TiO_2 는 Ion-Assisted deposition 방식으로 증착하였으며, ITO는 E-beam Evaporator를 이용하여 증착하였다. ITO 투과율은 UV-VIS-NIR spectrophotometer를 이용하여 측정하였다.

TiO_2 의 두께를 변화에 따른 ITO의 투과율 값을 그림 4에 나타내었다. TiO_2 두께가 증가함에 따라 ITO 투과율을 감소하는 결과를 얻었으며, 최적의 유전체 층의 두께는 119.3 nm에서 95.17%로 가장 좋은 특성을 나타냈으며, 모든 영역에서 일반적인 ITO 투과율 값인 80%보다 우수한 특성을 나타냈

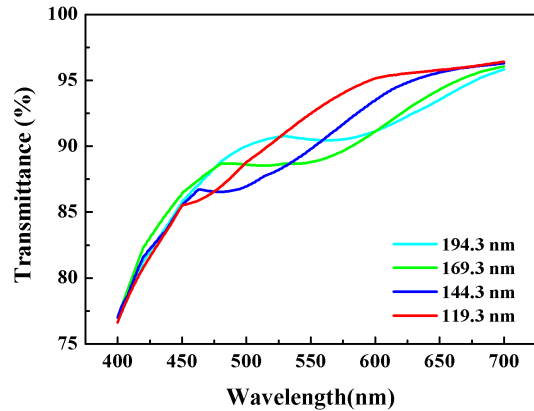


그림 4. TiO_2 두께에 따른 ITO 투과율.
Fig. 4. Transmittance of ITO with TiO_2 Thickness.

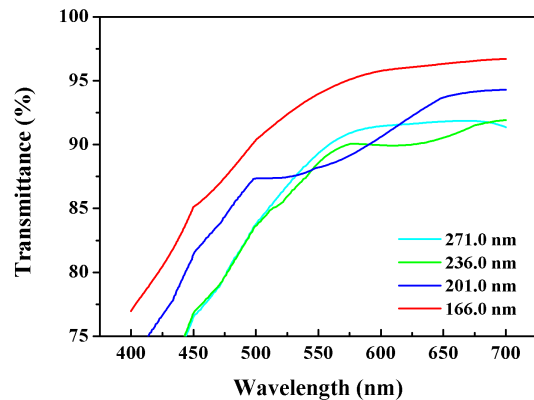


그림 5. ITO 두께에 따른 ITO 투과율.
Fig. 5. Transmittance of ITO with ITO Thickness.

다. 본 실험 결과 유전체 층에 의하여 Glass 면을 투과하는 빛의 양이 많아지는 것이며, 일반적인 ITO의 Glass 면으로 산란되는 빛의 양이 감소하게 됨을 알 수 있다.

3.2 ITO 두께 변화에 따른 투과율

ITO 두께 변화에 따른 투과율을 비교하기 위하여 ITO의 두께는 166.0 nm에서 271.0 nm까지 35 nm 씩 변화시켰으며, TiO_2 의 두께를 119.3 nm 고정시켰다. ITO의 두께를 변화에 따른 ITO의 투과율 값을 그림 5에 나타냈다. ITO 두께가 증가함에 따라 ITO 투과율을 감소하는 결과를 얻었으며, 최적의 ITO의 두께는 166.0 nm에서 95.17%로 가장 좋은 특성을 나타냈으며, 모든 영역에서 일반적인

ITO 투과율 값인 80%보다 우수한 특성을 나타냈다.

따라서 백색유기발광소자의 분광효율을 향상시키기 위한 최적의 유전체 층 와 ITO 두께는 각각 119.3 nm, 166.0 nm 이었다. 이러한 결과는 본 연구에서 설계하였을 때의 최적의 두께와 일치함을 알 수 있었다.

4. 결 론

고효율의 유기발광소자를 개발에 있어서 핵심적인 것은 금속과 유기물 사이의 계면 현상이며 계면 현상에 대한 이해가 매우 중요하다. 본 연구에서는 광학박막인 유전체 층을 이용하여 유기물, ITO, Glass의 굴절률 차이를 보정함으로써 백색 유기발광소자의 발광효율 향상시키는 방법으로 ITO 투과율 특성에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

반사율 목표를 0.1%로 하여 유전체 층 최적의 굴절률, 두께 및 ITO 두께를 계산한 결과 각각 1.74, 119.3 nm 및 166.0 nm 값을 얻었다. 또한 계산되어진 유전체 층의 굴절률은 1.74이므로, 가장 유사한 굴절률을 갖는 TiO_2 로 선정하였다. TiO_2 와 ITO 두께를 변화시켜서 측정된 이들의 최적의 두께와 투과율은 각각 119.3과 166.0 nm, 95.17%이었다. 이러한 값들은 계산에 의한 결과와 일치하였다.

이러한 최적의 두께를 적용함으로써 백색유기발광소자의 외광발광효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고 문헌

- [1] 장지향, 김경조, 김진현, 오민철, “마이크로 렌즈 어레이와 회절격자 레지스트 패턴을 이용한 유기광원의 광 추출 효율 향상”, 한국광학회지, 18권, 6호, p. 441, 2007.
- [2] S. Moller and S. R Forrest, “Improved light out-coupling in OLED employing ordered microlens arrays”, J. Appl. Phys., Vol. 91, No. 5, p. 3324, 2002.
- [3] P. K. H. Ho, J. S. Kim, J. H. Burroughes, H. Becker, S. F. Y. Li, T. M. Brown, F. Cacialli, and R. H. Friend, “Molecular-scale interface engineering for polymer light-emitting diodes”, Nature, Vol. 404, p. 481, 2000.
- [4] W. Li, Q. Wang, J. Cui, H. Chou, S. E. Shaheen, G. E. Jabbour, J. Anderson, P. Lee, B. Kippelen, N. Peyghambarian, N. R. Armstrong, and T. J. Marks, “Covalently interlinked organic LED transport layers via spin-coating/siloxane condensation”, Adv. Mater., Vol. 11, p. 730, 1999.
- [5] H. Riel, S. Karg, T. Beierlein, W. Rieß, and K. Neyts, “Tuning the emission characteristics of top-emitting organic light-emitting devices by means of a dielectric capping layer”, J. Appl. Phys., Vol. 94, Iss. 8, p. 5290, 2003.
- [6] H. A. Macleod, “Thin-film Opticla Filters, Institute of Physics Publishing, 2nd ed., p. 300, 1986.
- [7] 기현철, 김상기, 김은미, 박경희, 구할본, “Index matching film이 적용된 ITO 투과율 특성에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회 2009하계 학술대회논문집, p. 307, 2009.