

유기 발광소자의 효율 향상을 위한 광학박막 및 마이크로렌즈 설계

기현철^{1,a}, 김두근¹, 김선훈¹, 김상기², 박아름³, 구할본³

¹ 한국광기술원 광융합시스템 연구센터

² (주) 링크라인아이엔씨

³ (주) 전남대학교 전기공학과

Optical Thin Film and Micro Lens Design for Efficiency Improvement of Organic Light Emitting Diode

Hyun-Chul Ki^{1,a}, Doo Gun Kim¹, Seon-Hoon Kim¹, Sang-Gi Kim², A-reum Park³,
and Hal-Bon Gu³

¹ Korea Photonics Technology Institute Photonics Fusion System Research Center, Gwangju 500-779, Korea

² Linkline I&C, Gwangju 500-470, Korea

³ Department of Electrical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

(Received July 26, 2011; Revised September 5, 2011; Accepted September 24, 2011)

Abstract: We have proposed an optical thin film and micro lens to improve the luminance of organic light emitting device. The first method, optical thin film was calculated refractive index of dielectric layer material that was modulated refractive index of organic material, ITO (indium tin oxide) and glass. The second method, microlens was applied with lenses on the organic device. Optical thin films were designed with Macleod Simulator and Micro Lenses were calculated by FDTD (finite-difference time-domain) solution. The structure of thin film was designed in organic material/ITO/dielectric layer/glass. The lenses size, height and distance were 5 μm , 1 μm , 1 μm , respectively. The material of micro lenses used silicon dioxide. Result, The highest luminance of OLED which applied with microlens was 11,185 cd/m^2 , when approval voltage was 14.5 V, applied thin film was 5,857 cd/m^2 . The device efficiency applying microlens increased 3 times than the device which does not apply microlens.

Keywords: OLED, Thin film, Dielectric layer, Micro lens, Luminance

1. 서 론

유기 발광소자의 효율을 높이기 위해서 발광재료의 개발이나 전자-정공의 원활한 공급을 위한 다층 구조 연구와 내부에서 생성된 빛을 소자의 외부로 추출하는 외부 발광효율을 향상시키는 연구가 진행되고 있

다. 유기 발광소자에서 외부로 추출되지 못하고 내부에 갇히게 되는 빛들은 유리기관과 공기층의 굴절률 차이로 인해 발생하는 전반사 모드와 높은 굴절률을 가지는 ITO (indium tin oxide), 유기물 층을 따라 진행하는 도파모드가 있다 [1]. 유기 발광소자 내부에 갇혀서 외부로 나오지 못하는 빛들을 외부로 추출해 내기 위하여 다양한 연구결과가 발표되고 있다. 유기

a. Corresponding author; kihc@kopti.re.kr

기관-공기 층 경계 면에서의 전반사를 줄이기 위해서 유리기관 위에 마이크로 렌즈를 형성하는 방법이 연구되어 왔다 [2,3].

또한, 최근에는 광학설계를 이용하여 유기 발광소자의 발광효율 특성을 조절할 수 있는 수준까지 개발되었다. 이러한 것은 유기 발광소자의 분광특성 뿐만 아니라 외부 발광효율이 각 층의 두께와 같은 유기 발광소자의 구조에 따라 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유기 발광소자의 효율 향상을 위하여 유전체 박막 (dielectric layer)과 마이크로렌즈를 설계하였다. 설계되어진 박막과 렌즈를 적용하여 유기 발광소자를 제작하여 전기적 및 광학적 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 광학박막 및 마이크로렌즈 설계

본 실험에서는 유전체 박막을 이용하여 ITO와 유리면의 굴절률 차이를 보정함으로써 적색 유기 발광소자의 외부 발광효율을 향상시키는 방법으로 ITO/유전체 박막/유리 구조로 설계하였다. 유전체 박막을 설계하기 위하여 macleod simulator를 이용하여 설계하였다. 유전체 박막을 설계하기 전에 물질을 선정하기 위하여 광학 박막에서의 반사율을 계산하는 식 (1)을 이용하여 유전체 박막 물질을 선정하였다.

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

여기서 R은 목표 반사율, n_0 은 유전체 박막, n_1 은 ITO, n_2 는 유전층 그리고 n_3 은 유리의 굴절률이다. 각각의 굴절률 값을 식(1)에 대입하여 계산하였으며, 계산되어진 유전체 박막 굴절률 값은 1.74이다. 이러한 굴절률 값을 갖는 물질로는 Al_2O_3 와 TiO_2 이 대표적이다. 본 실험에서는 음극 전극으로 사용하는 Al과 유전층과 연결이 될 수 있기 때문에 TiO_2 로 유전층을 사용하였다. TiO_2 는 광 투과영역이 400~3,000 nm이며 기계적 내구성이 높아 다층 박막으로 많이 사용되고 있는 물질이다. 그림 1은 본 실험에서 사용한 TiO_2 의 굴절률 값을 나타냈다. 그림 2는 제작되어진 유기 발광소자의 구조이다.

본 실험에서는 마이크로 렌즈를 적색 유기 발광소

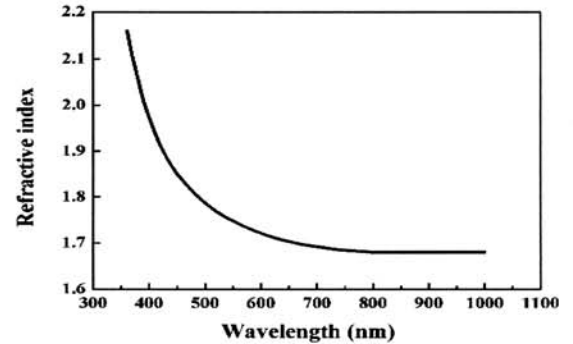


Fig. 1. Index result of TiO_2 material.

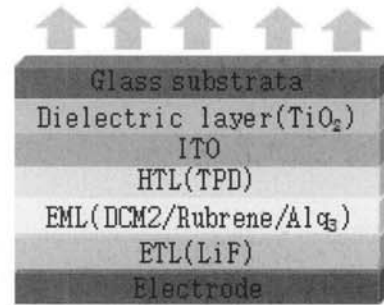


Fig. 2. Red organic device applied anti-refractive layer.

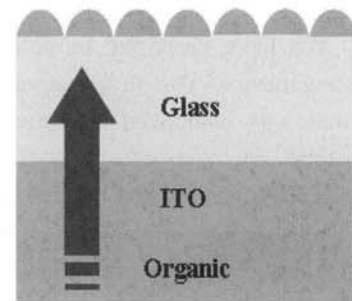


Fig. 3. Structure of micro lens.

자에 적용함으로써 외부 발광효율을 향상시키고자 하였다. 마이크로 렌즈의 설계를 위해서 마이크로렌즈의 물질로는 박막 조밀도 및 렌즈 제작 시 식각을 쉽게 할 수 있는 실리콘다이옥사이드(SiO_2)를 선정하였으며, 광학설계 및 빛의 진행방향 등을 알 수 있는 FDTD (finite-difference time-domain) 솔루션을 이용하여 설계된 마이크로 렌즈크기에 따른 유기 발광소자로부터 빛의 방사 특성을 계산하였다.

본 논문에서 적용한 마이크로렌즈의 구조를 그림 3에 나타냈다.

2.2 광학박막, 마이크로렌즈 및 유기 발광소자 제작

유전체 박막 증착은 이온빔 보조증착 (ion-assisted deposition system: OTFC-1100, (주) Opto-run, 일본)을 이용하였다. 이온빔 보조증착은 내구성이 높고 외부 환경의 변화에 강한 고품질의 광학박막을 증착할 수 있다 [4,5].

마이크로렌즈 제작은 유리 기판위에 실리콘 다이옥사이드를 증착한 후, 감광액 (LOF2035 (negative))을 도포하였다. 패턴마스크와 마스크 얼라이너 (mask aligner)를 이용하여 현상공정을 실시하였다. 그리고 실리콘 다이옥사이드를 RIE (reactive ion etching) 장비를 이용하여 식각 후 PR (photo resistor)을 아세톤으로 제거하였다. 마이크로렌즈의 크기는 각각 5, 10 μm 로 제작하였다. 본 논문에서 제작되어진 적색 유기 발광소자는 TPD (400 Å)/ DCM2 (40 Å), Rubrene (4%), Alq3 (500 Å)/LiF/Al 구조로 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유전체 박막 설계결과 및 유기 발광소자의 특성

본 실험에서 설계된 유전체 박막의 설계 결과를 그림 4에 나타냈다. 설계된 유전체 박막은 적색 파장 영역인 610 nm에서 0.1% 이내의 유전 특성을 나타내는 설계값 임을 확인하였다. 설계된 유전체 박막의 두께는 122.58 nm이었다.

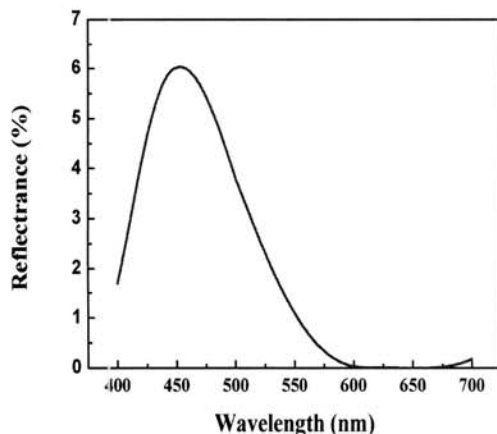


Fig. 4. Simulation result of organic material/ITO/TiO₂/glass structure.

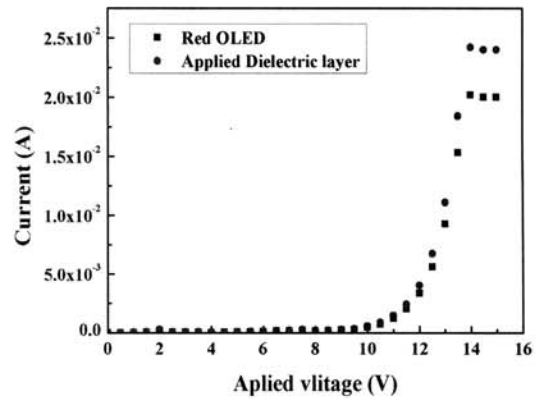


Fig. 5. Current-voltage characteristics of red organic emitting device with anti-refractive layer.

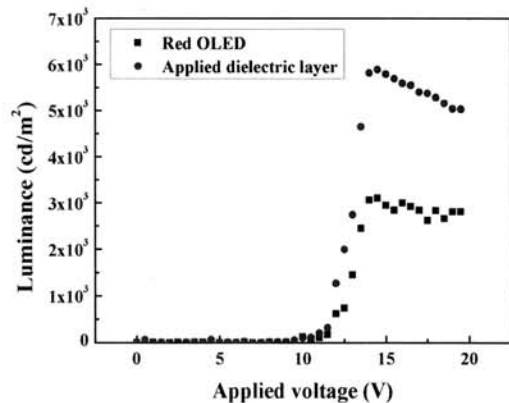


Fig. 6. Voltage-luminance characteristics of red organic emitting device with anti-refractive layer.

유전체 박막을 적용한 적색 유기 발광소자들의 전류-전압 특성 측정결과를 그림 5에 나타냈다. 적색 유기 발광소자의 동작전압은 유전층에 관계없이 10 V값을 얻었으며, 이러한 결과는 유전체 박막이 적색 유기 발광소자의 동작전압에 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있었다.

그림 6은 유전체 박막을 적용한 ITO 기판으로 제작된 적색 유기 발광소자들의 전압-휘도특성이다. 유전층을 적용하지 않는 소자와 적용한 소자의 휘도는 인가전압이 14.5 V일 때 각각 3,600 cd/m^2 , 5,857 cd/m^2 이었다.

그 유전체 박막을 적용한 소자의 효율은 적용하지 않는 소자보다 약 1.6배 증가하였다. 유전층을 적용함에 따라 유리 옆면으로 산란되는 빛을 방지함으로써

적색 유기 발광소자의 휘도특성이 향상되었음을 알 수 있었다.

이렇게 휘도 특성이 향상되는 이유는 첫째, 유기 발광 소자에서 발생하는 빛이 유전체 박막에 의해 유리 면에서 반사되어서 다시 내부로 들어오는 빛을 차단 함으로써 휘도특성이 향상되었으며 [6], 둘째, 유전체 박막을 통과한 빛이 유리면을 통과할 때 옆면으로 산란되는 빛이 유전체 박막에 의해 감소되기 때문이다.

3.2 마이크로렌즈 설계결과 및 유기 발광소자의 특성

마이크로렌즈의 크기는 각각 5 um과 10 um로 하였으며, 렌즈와의 간격은 1 um으로 빛의 나오는 각도는 0°, 그리고 방사광은 광원의 형태를 평면광원으로 가정하였다.

그림 7에서 FDTD 솔루션을 이용하여 마이크로렌즈 크기 별 설계한 결과 값이다. 마이크로렌즈를 적용하지 않았을 때의 발광은 방사되는 면광원 특성을 확인할 수 있었으며, 마이크로렌즈를 적용하였을 경우에는 빛의 옆면으로 산란되지 않으며, 발광층에서 방사되는 광의 전반사 특성을 개선하며, 추출 광속을 증가시키는 현상을 확인할 수 있었다. 이러한 것은 마이크로렌즈를 적용함으로써 유기소자의 빛의 산란을 방지와 빛의 특성을 향상시킬 수 있다고 판단된다.

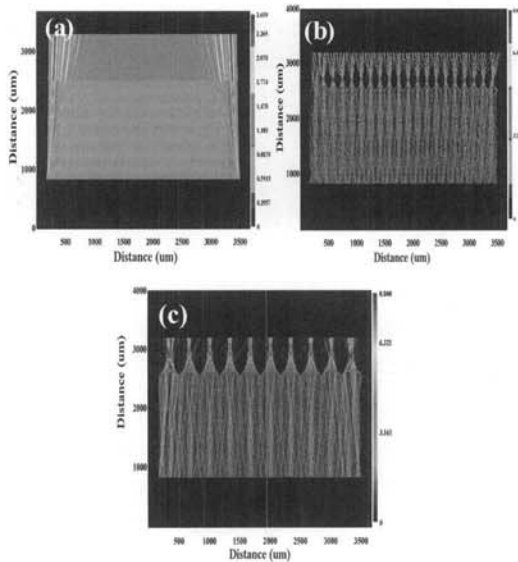


Fig. 7. FDTD simulation result of micro lens. (a) no lens, (b) 5 um lens, (c) 10 um lens.

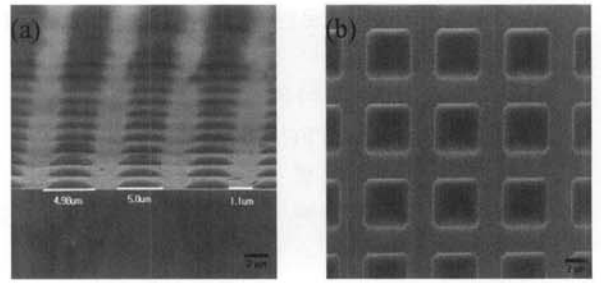


Fig. 8. SEM image of micro lens. (a) cross section image micro lens, (b) surface section image micro lens.

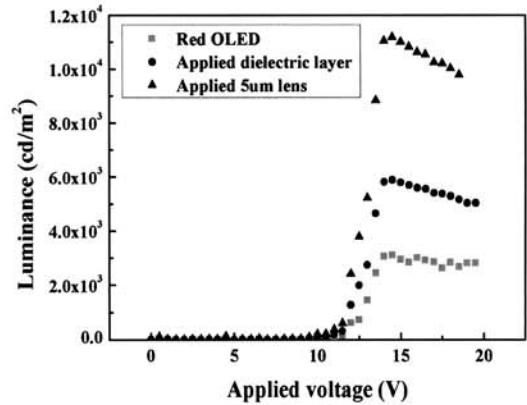


Fig. 9. Voltage-luminance characteristics of red organic emitting device with 5um micro lens.

마이크로렌즈의 크기와 간격 등을 고려했을 때, 10 um의 마이크로렌즈의 경우에는 빛의 세기가 많이 증가하였으나, 5 um의 마이크로렌즈를 적용하는 유기 소자를 효율 특성이 우수하다고 판단하여 본 실험에서는 크기는 5 um, 높이 및 간격은 1 um의 마이크로렌즈를 적용하여 적색 유기 발광소자를 제작하였다.

마이크로렌즈는 그림 8과 같이 실리콘 다이옥사이드를 증착 및 식각 후 제작하였으며, 크기는 5 um, 간격은 1 um 이내 임을 확인하였다.

마이크로렌즈를 적용하여 제작된 적색 유기 발광소자들의 전압-휘도 특성을 그림 9에 나타내었다. 본 실험에서 제안한 유전체 박막과 마이크로렌즈를 비교하였을 때 인가전압이 14.5 V일 때 각각 3,600 cd/m², 5,857 cd/m², 11,185 cd/m²이었다. 이러한 결과로부터 마이크로렌즈를 적용한 소자의 효율이 적용하지 않는 소자보다는 약 3배 증가함을 알 수 있으며, 유전층을 적용한 소자보다는 약 1.9배 향상되었다. 마이크로렌즈

를 적용함에 따라 유리 옆면으로 방사되는 빛의 산란을 방지하며, 추출 광속을 증가시킴으로써 적색 유기발광소자의 휘도특성이 향상되었음을 알 수 있었다.

이렇게 휘도 특성이 향상되는 이유는 일반적으로 유기발광소자의 발광층에서 발생하는 빛은 유리면으로 통과 후 공기 속으로 나가게 된다. 유리면으로 통과하는 빛은 산란하게 되어 있는데 마이크로렌즈를 적용함으로써 빛의 산란을 방지하는 볼록렌즈의 효과에 의한 것으로 판단된다 [7,8].

4. 결론

유기 발광소자의 외부 발광효율을 향상하기 위하여 유전체 박막과 마이크로렌즈를 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 유전체 박막을 이용하여 유전체 박막 / ITO / TiO₂ / glass 구조로 macleod simulator를 이용하여 설계한 결과, 유전체 박막의 최적의 두께는 122.58 nm이었다. 유전체 박막을 시뮬레이션한 결과 적색 파장영역인 600~670 nm 영역에서 약 0.1% 이하의 무반사 값을 얻을 수 있었다.

2. 유전층을 적용하지 않는 소자와 유전층을 적용한 소자의 휘도는 인가전압이 14.5 V일 때 각각 3,600, 5,857 cd/m²이었다. 이러한 결과 유전층을 적용한 소자의 효율은 적용하지 않는 소자보다 약 1.6배 향상됨을 알 수 있었다.

3. 마이크로렌즈의 크기와 간격 등을 고려했을 때,

10 um의 마이크로렌즈의 경우에는 빛의 세기가 많은 증가하였으나, 평균적으로는 5 um의 마이크로렌즈를 적용함으로써 고효율의 적색 유기발광소자 제작이 가능할 것으로 판단되었다.

4. 마이크로렌즈를 적용한 유리 기판으로 제작된 적색 유기 발광소자의 최고 휘도는 14.5 V일 때 11,185 cd/m²이었다. 이러한 결과 마이크로렌즈를 적용한 소자의 효율은 적용하지 않는 소자보다는 약 3배 증가하였고 유전층을 적용한 소자보다는 약 1.9배 향상되었다.

REFERENCES

- [1] J. H. Jang, K. J. Kim, J. H. Kim, and M. C. Oh, *J. Opt. Soc. Korea*, 18, 441 (2007).
- [2] S. Moller and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.*, 91, 5 3324 (2002).
- [3] H. Riel, S. Karg, T. Beierlein, W. Rieß, and K. Neyts, *J. Appl. Phys.*, 94, 5290 (2003).
- [4] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, *J. Appl. Phys.*, 65, 3610 (1989).
- [5] S. Jung, N. G. Park, M. Y. Kwak, B. O. Kim, K. H. Choi, Y. J. Cho, Y. K. Kim, and Y. S. Kim, *Optical Materials*, 21, 235 (2002).
- [6] H. C. Ki, J. B. Lee, S. K. Kim, and K. J. Hong *J. KIEEME*, 23, 24 (2010).
- [7] H. Becker, S. E. Burns, N. Tessler, and R. H. Friend, *J. Appl. Phys.*, 81, 2825 (1997).
- [8] Takahiro Shiga, Hisayoshi Fujikawa, and Yasunori Taga, *J. Appl. Phys.*, 93, 9 (2003).