OLED 출력효율 향상을 위한 마이크로렌즈 어레이 설계 및 제작

Design and Fabrication of Microlens Arrays for the Enhancement of Outcoupling Efficiency in OLED

장지향, 김진헌, 오민철

부산대학교 전자공학과 나노바이오 광소자 연구실

geami2580@pusan.ac.kr

OLED(Organic Lighting Emitting Diode) 소자의 효율을 높이기 위해서는 발광재료의 개발이나 carrier 의 원활한 공급을 위한 다층 구조 연구와 더불어 내부에서 생성된 빛을 소자의 외부로 빠져나오는 효율을 향상시키는 것도 매우 중요한 일이다. 전자와 정공의 결합으로 형성된 엑시톤은 내부양자효율(η_{int})만큼의 포톤을 형성하게 되며 이렇게 생성된 빛의 일부분은 소자의 외부로 추출되어진다. 이때 외부로 추출되는 빛의 비율($\eta_{cp,ext}$)은 내부양자효율과 외부양자효율(η_{ext})의 비율로 주어진다.[1] 기존에 발표된 ray optics 설계결과를 살펴보면 가장 많은 46.9%의 빛이 ITO/유기물 도파모드로 결합되고 34.2%의 빛이 유리 기판 모드로 결합되고 나머지 18.9%의 빛만이 외부로 방출되어 짐을 알 수 있다.[2] ITO/유기물 층은 전체두께가 300nm 미만에 불과하나 가장 높은 굴절률을 가지는 층으로서 50% 가까운 빛을 도파하게 되어 출력결합을 방해하게 된다. 이점을 향상시키기 위하여 ITO층에 격자구조를 형성하여 도파광이 진행하지 못하고 상부로 출력 결합시키는 구조가 필요하다. 한편, 유리 기판 층에 도파되는 34.2%의 빛을 외부로 결합시키기 위해서는 마이크로렌즈 구조를 이용할 수 있다. 비록 ITO/유기물 도파광을 출력 결합 시킬 수는 없으나 렌즈구조만으로도 유리기판 도파광을 출력 결합시키게 되면 OLED의 출력결합 효율을 2배 이상 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 마이크로렌즈를 이용하여 OLED 소자의 출력 효율을 개선시키기 위한 설계와 실험을 수행하였다.

마이크로렌즈 어레이를 이용한 OLED 구조에서 개선될 수 있는 광 추출 효율을 알아보기 위해 ASAP(Advanced System Analysis Program) 시뮬레이션을 실행하였다. ASAP 에서 발생할 수 있는 수치해석상의 오류를 최소화시키기 위하여, 우선적으로 시뮬레이션에 사용되는 조건들을 최적화한 뒤에 유리 기판 표면에 렌즈어레이를 가지는 OLED 소자 설계를 시작하였다. Organic, ITO, glass, air의 굴절률은 각각 n_{org}=1.7, n_{ITO}=1.8, n_g=1.5, n_a=1.0 [2]으로 설정하였으며 음극은 금속 반사판으로 지정하였다. 그리고 OLED의 발광영역은 50um X 50um 로 설정하고, 각 층의 두께는 t_{Al}=80nm, t_{org}=120nm, t_{ITO}=150nm, t_g=50um 로 지정하고 각 층에서의 투과율과 반사율은 프레넬 방정식을 만족하도록 설정하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션의 결과는 렌즈가 없는 OLED에서의 효율보다 렌즈의 반지름이 10um인 반구형태의 렌즈 400개를 이용하여 OLED 전체를 덮었을 경우에 1.7배의 효율이 향상되고, OLED 기판의 50%를 덮었을 경우에는 1.23배의효율이 향상됨을 볼 수 있었다. 이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 반지름이 10um인 반구형태의 마이크로 렌즈를 제작하여 유리 기판으로 옮기기로 하였다. 마이크로렌즈제작 방법으로 thermal reflow 방식을 채택하였다. 이 방식은 포토레지스트가 유리전이온도(T_g)이상에서 표면장력에 의해 구면이 생성되고 hard baking과정을 통해 포토레지스트를 이루는 레진이 교차결합을 하게 되어 열적, 화학적 안정성을 가지는 렌즈를 형성할 수 있다.[3]완성된 마이크로렌즈의 현미경관찰 사진은 그림1에 보이고 있다. 마이크로 렌즈 어레이로 PDMS (poly- dimethylsiloxane) 몰

드를 제작하고 ITO가 코팅된 유리 기판 뒷면에 UV경화폴리머의 일종인 ZPU (n=1.44) 재료를 이용하여 마이크로 렌즈 어레이를 옮기도록 한다.[4]마이크로렌즈 어레이가 옮겨진 ITO 기판위에 O_2 플라즈마 처리를 거친 후 열 증착 방식을 이용하여 NPB(60nm), Alq_3(60nm), LiF(0.5nm), Al(80nm) 을 증착한다. 그림2는 마이크로렌즈를 가지는 OLED와 일반적인 OLED의 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다. ASAP 시뮬레이션에서도 확인했듯이 마이크로 렌즈를 가지는 OLED가 일반적인 OLED에서의 발광효율보다 1.2배 이상의 효율개선이 나타남을 확인할 수 있었다.

따라서 유리기판과 공기의 굴절률 차이로 인해 상당량의 빛들이 내부에서 손실되는 것을 마이크로렌즈어레이를 이용한 경우에는 렌즈가 덮여있는 부분으로 도달하는 빛들의 대부분이 전반사를 일으키지 않고 외부로 추출되어지면서 OLED의 효율개선에 기여한다는 것을 확인하였다.

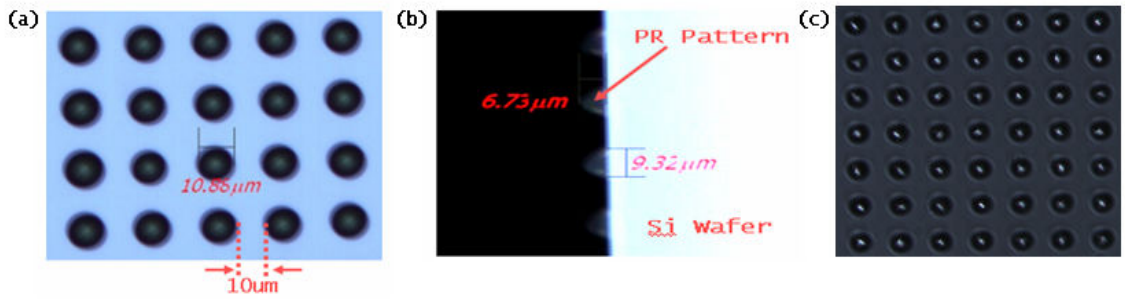

그림 1. 마이크로렌즈 현미경 사진: (a)윗면 (b)단면 (c) 투과형 현미경으로 관찰한 모습

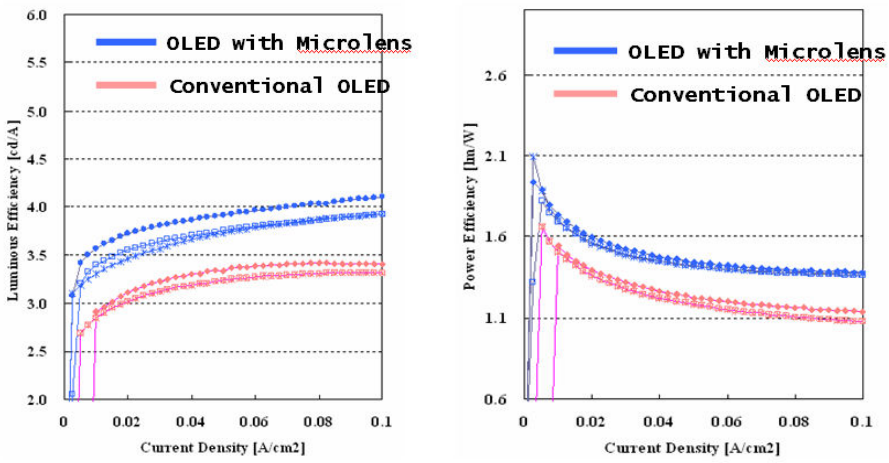

그림 2. 마이크로렌즈를 가지는 OLED와 일반적인 OLED의 효율 비교 그래프

References

1. M. -H. Lu and J. C. Sturm, Appl. Phys. Lett. 78, 1927 (2001)
2. V. Bulovic, V. B. Khalfin, G. Gu, P. E. Burrows, D. Z. Garbuzov, and S. R. Forrest, Phys. Rev. B 58, 3730 (1998)
3. Myung-Geun Han, Yoon-Jung Park, Seoung-Hoe Kim, Byueng-Su Yoo and Hyo-Hoon Park, J. Micromech. Microeng. 14, 398 (2004)
4. S. Moller and S. R. Forrest, J. Appl. Phys. 91, 3324 (2002)