

OLED 출력효율 향상을 위한 마이크로렌즈 어레이 제작

Fabrication of Microlens Array for Improving OLED Outcoupling Efficiency

장지향, 지성현, 오민철

부산대학교 전자공학과 나노바이오 광소자 연구실

geami2580@pusan.ac.kr

일반적인 OLED의 구조는 유리 기판, ITO, 여러 유기층들, 금속 전극의 다층구조로 이루어진다. OLED에서 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. Ray optics을 이용한 계산 결과에 따르면, 내부에서 생성된 빛 중에서 ITO-유기층 도파모드로 가장 많은 46.9%의 빛이 결합되고, 34.2%의 빛이 유리 기판-공기 층 경계면의 전반사로 갇히게 되며 나머지 18.9%의 빛만이 외부로 방출된다.^[1] 본 연구에서는 유리 기판-공기층 전반사 현상으로 인해 OLED 내부에 갇히는 빛을 외부로 추출해 내기 위한 방법으로 마이크로 렌즈 어레이 구조를 설계하고 포토레지스트의 reflow 현상과 PDMS 임프린팅 공정을 이용하여 렌즈구조를 소자 표면에 제작하였다.

유리 기판과 공기에 의해 형성되는 경계면의 굴절률 차이로 인해 전반사를 일으키는 임계각이 41.8도가 되며 이 각도 이상으로 경계면에 입사되는 빛들은 외부로 추출되지 못하고 유리 기판 내부에 갇혀 있게 된다. 마이크로 렌즈 어레이를 이용한 OLED 구조에서 광 추출 효율을 최대화 시킬 수 있는 구조의 설계를 위해 Advanced System Analysis Program (ASAP) 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 조건은 유기물층 두께 120 nm, 굴절률 1.7 이고, ITO 층의 두께 150 nm, 굴절률 1.8 이고, 유리 기판의 두께는 600 μm , 굴절률은 1.5 이다. 계산시간을 고려하여 시뮬레이션을 위한 소자의 면적은 50 $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ 으로 설정하였으며 반사경계조건을 통하여 computation boundary를 통과하는 빛은 생기지 않도록 하여 mirror image 효과를 이용하였다. 또한 시뮬레이션 과정상에서 발생할 수 있는 수치 해석상의 오류를 최소화하기 위해 7 \times 7개의 점광원을 1 μm 간격으로 배열하고 광선은 1000개로 설정하였다. 시뮬레이션 결과 일반적인 OLED의 경우 외부출력결합 효율이 15%로 나타났으며 렌즈제작에 사용될 폴리머의 굴절률이 1.44인 점을 감안하여 시뮬레이션한 결과 10 μm 렌즈를 가지는 OLED의 경우 37.1%, 20 μm 렌즈를 가지는 OLED는 37.8%가 나타났다. 10 μm , 20 μm 크기의 렌즈를 thermal reflow 방식을 이용하여 제작하고 PDMS (poly-dimethylsiloxane) 몰드를 이용한 soft nano-imprinting 방식으로 OLED 상부에 렌즈 어레이 구조를 전사하였다. 먼저 실리콘 웨이퍼 위에 AZ 9260 포토레지스트를 스핀 코팅 한 후 포토 리소그래피 공정을 통하여 원하는 크기의 포토레지스트 패턴을 만든다. 10 μm 렌즈의 경우에는 140 $^{\circ}\text{C}$ 30분, 20 μm 렌즈의 경우에는 160 $^{\circ}\text{C}$, 30분 동안 hotplate 위에 올려두면 마이크로 렌즈 어레이가 형성된다.^[2] 그림 1은 thermal reflow 된 마이크로 렌즈 패턴의 SEM 촬영 사진이다. 제작된 마이크로 렌즈 어레이를 이용하여 PDMS 몰드를 제작한다. 그리고 ITO가 코팅된 유리 기판 뒷면에 UV 경화 폴리머의 일종인 ZPU ($n=1.44$)를 코팅한 후, 코팅된 ZPU 위에 PDMS 몰드를 찍은 상태로 10분간 UV 경화하게 되면 손쉽게 마이크로 렌즈 어레이를 형성할 수 있다.^[3] 마이크로 렌즈 어레이가 제작된 기판위에 NPB(60 nm)/ Alq₃(20 nm)/ BPhen(40 nm)/

LiF(0.5 nm)/ Al(80 nm) 층을 진공 증착하여 OLED 소자를 제작하였다. 그림 2는 마이크로 렌즈어레이를 가지는 OLED 의 구조도이다. 그림 3은 마이크로 렌즈어레이를 가지는 OLED 와 마이크로 렌즈어레이를 가지지 않는 OLED 의 각도에 따른 J-V 특성과 발광효율 (cd/A), 발광전력효율 (lm/W) 측정 그래프이다. J-V 특성은 두 소자가 동일한 결과를 보이는 반면 발광 전력 효율에서 살펴보면 임계각 보다 작은 각도를 가지는 경우에는 마이크로 렌즈를 가지는 소자가 마이크로 렌즈를 가지지 않는 소자에 비해 비교적 크게 개선되지는 않았지만, 임계각 근처의 각도인 40도에서는 10 μm 렌즈와 20 μm 렌즈를 가지는 경우에 0.1 A/cm² 의 전류밀도에서 각각 56 %, 25 % 정도 개선되는 것을 볼 수 있다. 그리고 임계각 보다 훨씬 큰 각도인 60 도에서는 렌즈가 없는 소자의 경우 거의 발광이 되지 않지만 렌즈를 가지는 OLED 의 경우에는 상당량의 빛이 렌즈를 통해 외부로 출력 결합되어지는 것을 확인할 수 있다.

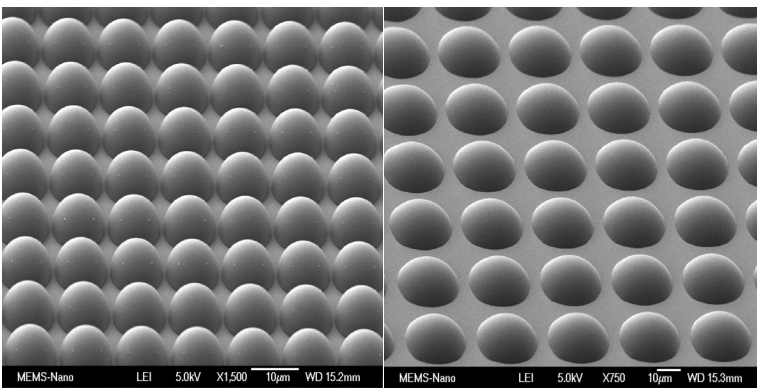


그림 1. 마이크로 렌즈 SEM 사진:
10 μm 렌즈(좌), 20 μm 렌즈(우)

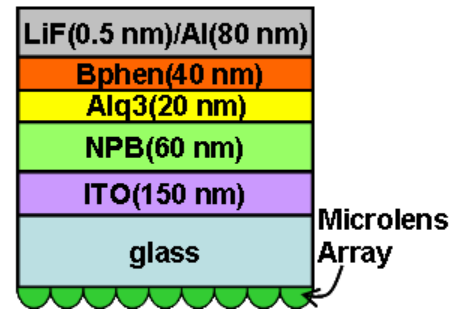


그림 2. 마이크로 렌즈를 가지는 OLED 구조도

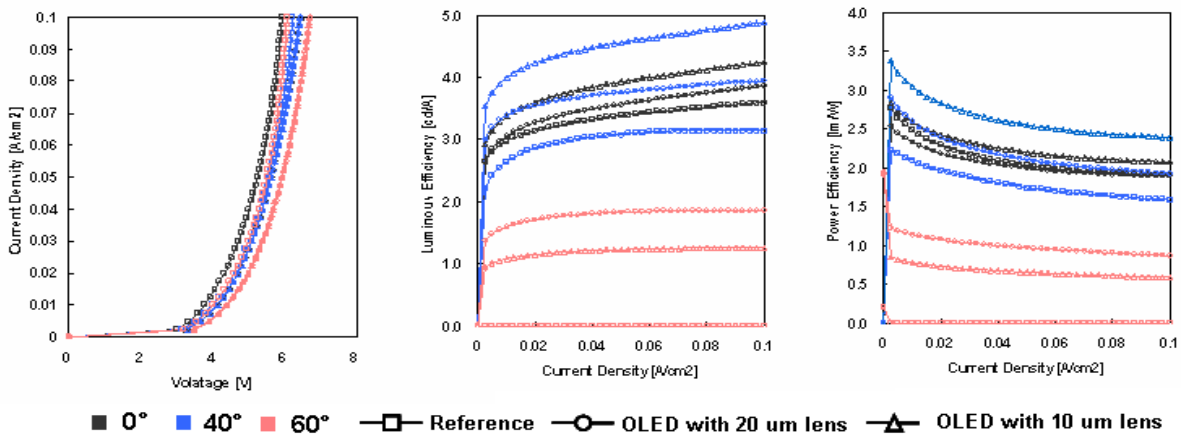


그림 3. 마이크로 렌즈를 가지는 OLED와 일반적인 OLED의 J-V 특성과 효율 비교 그래프

References

1. V. Bulovic, et al., Phys. Rev. B 58, 3730 (1998)
2. Myung-Geun Han, et. al., J. Micromech. Microeng. 14, 398 (2004)
3. S. Moller and S. R. Forrest, J. Appl. Phys. 91, 3324 (2002)