적층형 백색 유기발광소자

이윤호, 이호년*
순천향대학교 공과대학
전기·로봇공학과
hnlee@sch.ac.kr

Tandem White Organic-Light-Emitting Devices

Yun Ho Lee, Ho Nyeon Lee
Department of Electric and Robotics Engineering
Soonchunhyang University

요 약

본 논문에서는 적층형 백색유기발광 조명소자를 제작하여 단층형 구조와 비교 분석하는 연구와 CGL(Charge Generation Layer)의 두께 변화에 따른 소자특성 연구를 하였다.

1. 서론

LED는 크게 사용되는 반도체 물질에 따라 무기LED와 유기LED로 분류할 수 있다. 최근에는 OLED(Organic Light Emitting Diode)로 불리는 유기 발광소자가 새로운 광원으로서 주목받고 있다.

유기 발광소자는 1987년 Tang의 이중층 구조소자의 개발 이후 여러 분야로의 연구 개발이 전개되었는데 특히 10V 이하의 낮은 구동전압에서 동작할 수 있으며 응답속도가 10μs로 매우 빠르며 자체발광성을 가지고 있어 휘도가 높고 경량박형 및 flexible한 구조가 가능하다는 장점 때문에 디스플레이 분야에서 많은 연구가 진행 중이며 현재 일본과 한국, 미국에서 활발한 상용화가 진행되고 있다.

OLED를 일반적인 조명으로 사용하기 위해서는 시각적으로 편안한 햇빛에 근사한 백색광의 구현이 필요하다.

유기 발광소자는 형광 재료를 사용하여 최대 5%의 외부 양자 효율을 얻을 수 있다. 단일층을 갖는 유기 발광소자의 양자 효율을 이 이상 증가시키는 것은 원리적으로 어려운 일이다. 그러나 유기발광소자를 적층 구조로 제작함으로써 양자 효율을 향상시킬 수 있다.

각각의 유기 발광소자를 배선에 의해 직렬로 접속하면, 각 소자에는 동일한 전류가 흐르게 되어 일정 값의 양자 효율로 발광하게 된다. 여러 개의 소자 사이에 배선이 없어진 소자 구조에서는 단위 면적당 방출되는 빛의 강도는 적층 수에 따라 증가하여 외관상 양자 효율이 향상된다. 이러한 적층형 유기 발광소자는 적층 수에 비례하여 구동 전압은 커지지만 소자 내부를 흐르는 전류값은 일정하게 되기 때문에 적층수에 비례하여 발광 효율은 향상된다.

본 논문에서는 적층형 구조의 유기발광소자를 제작 하고 측정하여 비교 분석하여, 조명용 유기발광소자의 특성 확보 방법을 연구하고자 하였다.

2. 실험방법 및 절차

2.1 ITO 패턴 공정

ITO 패턴을 만들기 위한 포토 공정은 particle에 약하기 때문에 먼저 기판 세정을 해야 한다. 세정 순서는 DI Water로 초음파 세정을 하고 에탄올, IPA 순으로 세정을 한 후 수분을 완전히 말리기 위해 Bake를 시켜 주며 평탄하고 균일한 두께의 PR막을 얻기 위해 PR 스핀 코팅을 한다. 스핀 코팅 조건으로 PR 용액은 AZ1512를 사용하여 4000RPM에서 15초 공정을 하면 약 1μm의 두께를 얻을 수 있다. 90℃의 온도에서 1분 20초 Soft Bake를 하여 PR이 굳어져 광반응이 잘 일어나도록 한다. 원하는 패턴의 마스크를 대고 광량을 100mJ/cm^{2}로 맞춘 후 UV

를 노광시키면 빛을 받은 부분이 AZ300MIF Developer 용액으로 60초간 현상을 통해 패턴 부분만 남게 된다. 110℃의 온도에서 1분 20초 동안 Hard Bake를 통해 PR의 내부 용제를 제거하여 단단하게 굳혀준다. 다음 공정은 ITO etchant 용액으로 40℃온도에서 4분 습식 식각을 한다. Strip 공정은 ITO 패턴형성을 위해 사용되었던 PR막을 제거하는 것으로 PR외에 공정 중 오염되었던 이물 및 변성물 까지 동시에 제거하는 것을 목적으로 하며 필요에 따라 하부기판의 표면 개질의 목적을 동반한다.

2.2 Insulator 공정

Insulator 공정은 ITO 패턴이 형성되어진 기판으로 공정을 하며 PR 용액은 DPIL 1030F를 사용하여 920RPM에서 15초 공정을 한 후 90℃의 온도에서 2분 동안 Soft Bake를 하고 원하는 패턴의 마스크를 대고 광량을 100mJ/cm^{2}로 맞춘 후 UV를 노광시키면 빛을 받은 부분이 TMAH 0.4% Developer 용액으로 2분간 현상을 통해 패턴 부분만 남게 된다. 현상이 끝나면 전면노광으로 500mJ/sqcm으로 UV노광을 하고 오븐에서 220℃온도에서 60분간 Curing 공정을 한다.

2.3 증착 공정

증착 공정은 진공 열증착 방식으로 금속재료를 증착시키기 위해 고진공(5 x 10^{-5} ~ 1 x 10^{-7} torr)에서 전자빔이나 전기 필라멘트를 이용해 보트를 가열하여 보트 위에 금속을 녹여 증류시키는 것이다. 이때 증류된 금속은 기판으로 응축되는 방식이다. 그림에서와 같이 금속은 저항 가열 소스 홀더(보트) 위에 놓이게 되는데 증착되는 부분은 이 보트의 위치에 맞게 정해지게 된다. 챔버 내에 진공을 만들고 원하는 진공상태에서 보트에 전원이 공급되면 금속이 증발 하여 기판 표면에 쌓이게 된다.

증착 공정 전에 ITO 일함수를 낮춰주기 위하여 O_2 플라즈마 처리를 해준다. O_2 플라즈마 공정 조건은 O_2를 25sccm 넣고 공정압력 7.5 x 10^{-3} torr에서 50W로 5분간 플라즈마 처리를 하였다.

2.4 봉지 공정

봉지는 최종 공정이다. 증착공정을 끝낸 유기 발광 소자지만 그대로 바깥으로 나오면 대기 중 수분에 전극 부분이 산화되어 버린다. 그것을 막기 위해 봉지라는 공정이 필요하다. 봉지 방법은 단순히 유리관 또는 금속관으로 가두는 것이다. 유리와 소자의 접합부에는 접착제를 이용한다. 실제는 접착제도 고분자로 되어 있어 현미경으로 보면 알 수 있듯이 밀도가 낮아 기체가 간단히 출입할 수 있다. 유리의 봉지 부분은 공기를 차단 할 수 있기는 하지만 접착부분의 안전이 충분하지 않다. 습기가 접착제의 빈틈으로 새어 들어가기 때문에 그것을 포집할 필요가 있다. 구체적으로 봉지관 속에 Getter라 불리는 건조제를 넣어 습기를 확실히 포집 할 수 있다. 이렇게 하면 전극을 습기로부터 안전한 상태로 장기간 보관할 수 있다.

2.5 봉지 공정

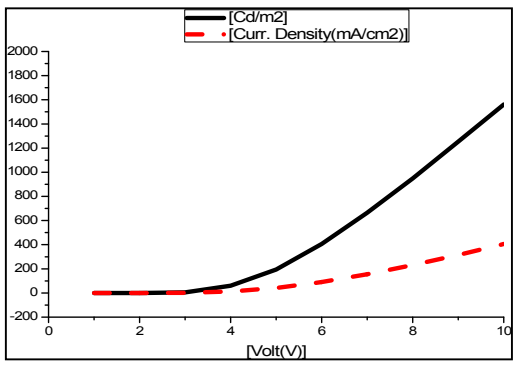
유기 발광소자의 특성 평가 항목으로는 다음과 같은 기본 특성이 측정된다. 전압 인가에 의한 전류 주입과 캐리어 수송의 정보를 얻기 위해 전류-전압 특성을 조사한다. 발광이 일어나는 임계 전압과 어느 정도의 전압까지 소자가 견딜 수 있는가를 알기 위해 휘도 특성 그리고 주입 전류에 대해 휘도 변화를 나타내는 휘도-전류 밀도 특성을 조사한다.

측정은 기본적으로 유기 발광소자를 고정하는 홀더, 전원, 휘도계, 제어용 컴퓨터 등으로 구성되고 상온상태인 블랙박스 안에서 McScience사의 Polaronix M6100 IVL Tester와 Spectrascan-PR650으로 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 Red 유기 발광소자

Red 유기 발광소자 구조는 ITO / NPB(50 nm) / 발광층(30 nm) / Alq3(40 nm) / LiF(10 nm) / Al로 하였으며 발광층은 Alq3:DCJTB(10%)로 만들었다.

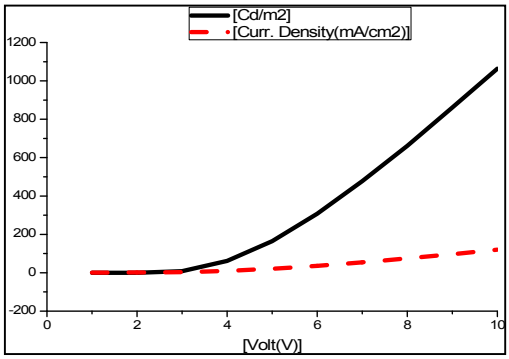


[그림 1] Red 유기 발광소자

휘도 200cd/m^2 에서 전류 효율 0.84Cd/A, 구동 전압 4.6V, CIExy(0.516, 0.45) 값을 얻었다.

3.2 Green 유기 발광소자

Green 유기 발광소자 구조는 ITO / NPB(80 nm) / Alq3(50 nm) / LiF(10 nm) / Al 로 만들었다.

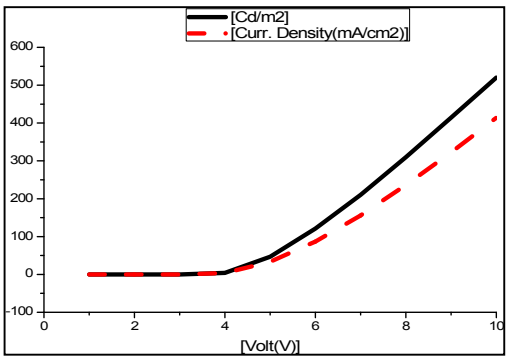


[그림 2] Green 유기 발광소자

휘도 200cd/m^2 에서 전류 효율 0.83Cd/A, 구동 전압 5.2V, CIExy(0.323, 0.537) 값을 얻었다.

3.3 Blue 유기 발광소자

Blue 유기 발광소자 구조는 ITO / NPB(50 nm) / DPVBi(30 nm) / Alq3(20 nm) / LiF(10 nm) / Al 로 만들었다.

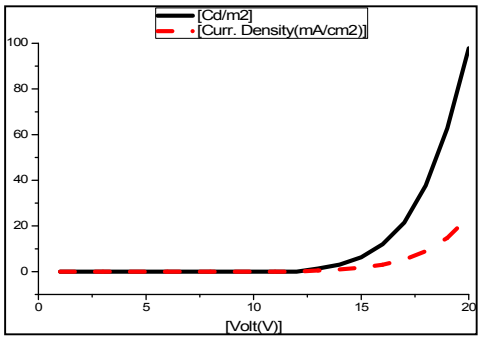


[그림 3] Blue 유기 발광소자

휘도 200cd/m^2 에서 전류 효율 0.54Cd/A, 구동 전압 6.7V, CIExy(0.157, 0.137) 값을 얻었다.

3.4 Tandem White OLED

Tandem white OLED 구조는 ITO / Blue / CGL / Green / CGL / Red / LiF / Al 로 만들었다. CGL(Charge Generation Layer)은 Alq3:Mg(10%) MoO_3 로 하였다.

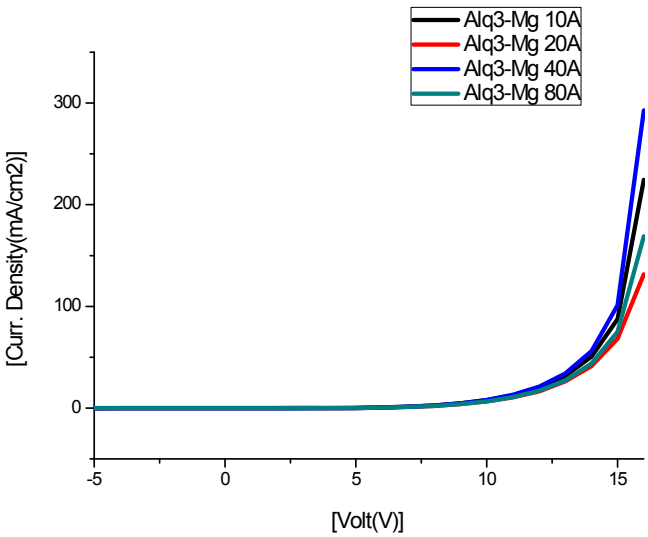


[그림 4] Tandem White OLED

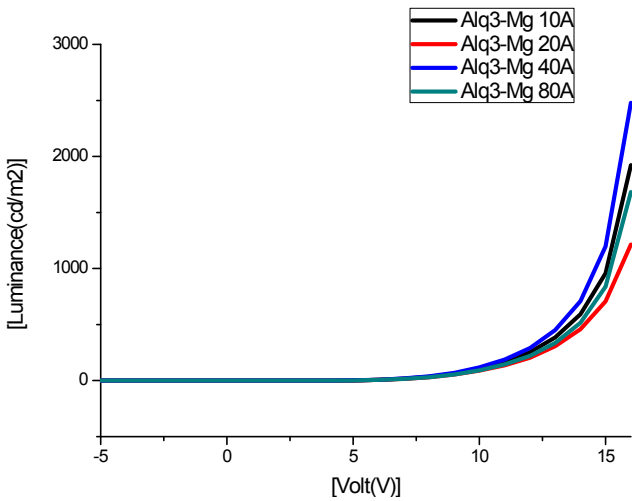
휘도 100cd/m^2 에서 전류 효율 1.62Cd/A, 구동 전압 20V, CIExy(0.432, 0.371) 값을 얻었다.

3.5 CGL 두께 변화에 따른 소자 특성

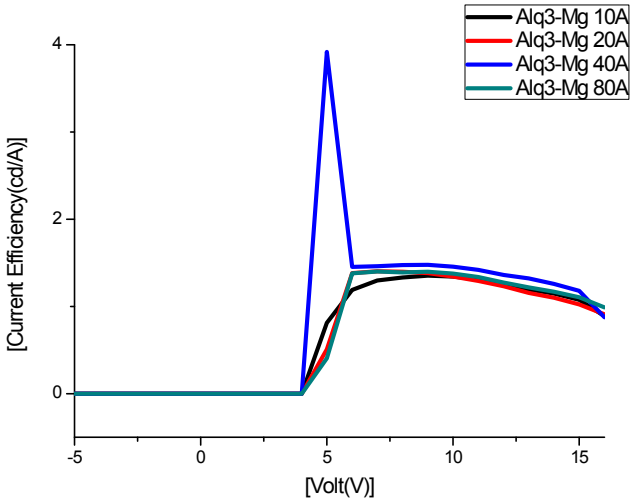
3.5.1 Alq3:Mg(10%) 두께 변화



[그림 5] 전압-전류 밀도 그래프

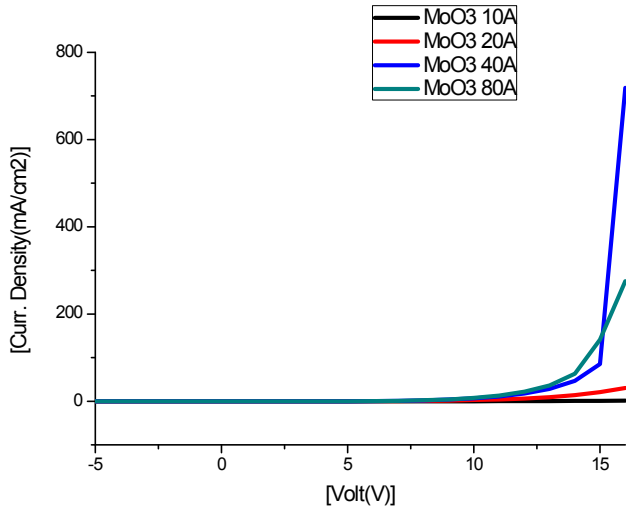


[그림 6] 전압-휘도 그래프

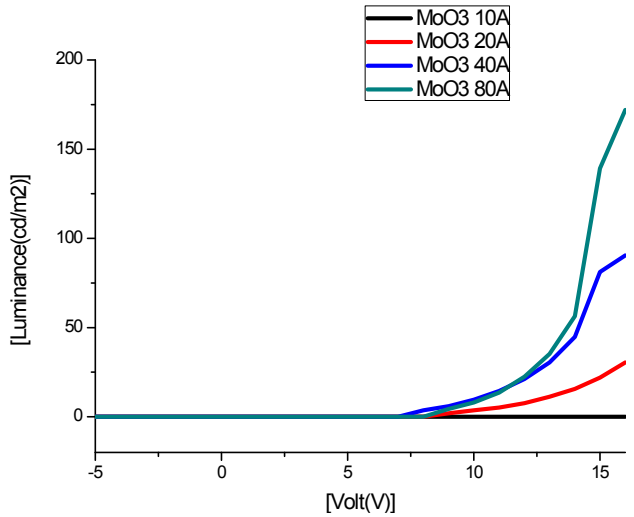


[그림 7] 전압-전류 효율 그래프

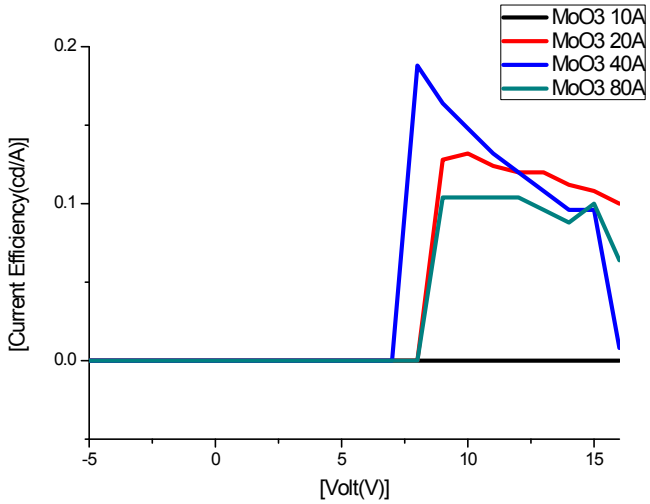
3.5.2 MoO_3 두께 변화



[그림 8] 전압-전류 밀도 그래프



[그림 9] 전압-휘도 그래프



[그림 10] 전압-전류 효율 그래프

4. 결론

본 연구에서는 단층형 구조와 적층형 구조의 유기 발광소자를 만들어서 비교 분석하는 연구와 CGL 두께 변화에 따른 소자 특성을 연구 하였다.

실험을 통해 분석한 결과 적층형 구조가 단층형 구조에 비해 확실히 적은 전류에서 구동을 하여 수명향상의 가능성과 전류 효율이 높다는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 조명용은 연색지수(CRI)가 중요한데 독서용 조명 CRI값 70을 기준으로 87값이 라는 기준을 넘는 CRI값을 얻을 수 있었다.

또한 CGL 두께 변화에 따라서 소자 특성이 변화하는 것을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

[1] 유기 EL 디스플레이 기초와 응용, Shizuo Tokito, Chihaya Adachi, Hideyuki Murata p.40 (2006).

[2] Electro Luminescence, Junji Kido, p.81 (2004).

[3] Flat Panel Displays, Jiun-Haw Lee, David N. Liu, Shin-Tson Wu, p.220 (2008).