

## 2 파장 백색 OLED의 형광층 두께와 발광 특성

†장지근\*, 안종명\*, 신상배\*, 장호정\*, 류상욱\*

\*단국대학교 공학대학 전자공학과

### 초록

청, 황 2-파장 발광층의 구성에서 청색층으로 GDI602를, 황색층으로 GDI602:Rubrene(10%)를 사용하여 2-파장 백색 유기발광다이오드(WOLED)를 제작하고 이들의 특성을 분석하였다. 실험에서는 GDI602:Rubrene (10%)-황색층의 두께를 220Å 으로 일정하게 두고, GDI602-청색층의 두께를 달리 하여 소자들을 제작하였다.

제작된 소자들의 발광 스펙트럼 특성으로는 GDI602 층의 두께에 따라 중심파장의 위치는 거의 일정하나 2-파장 사이의 상대적 세기가 변화되었으며, GDI602 층의 두께가 얇아질수록 황색파장의 상대적 세기가 강해지는 것을 볼 수 있었다. GDI602 층이 60Å인 소자는 11V, 70Å인 소자는 9V, 80Å인 소자는 8V, 90Å인 소자는 7V 에서 순수 백색광( $x=0.33$ ,  $y=0.33$ )에 가까운 발광 특성을 나타내었다. 또한 GDI602 층의 두께에 따른 효율과 휘도는 백색발광 조건에서 각각 0.5lm/W와 3650cd/m<sup>2</sup>(60Å), 0.6lm/W와 1050cd/m<sup>2</sup>(70Å), 0.9lm/W와 490cd/m<sup>2</sup>(80Å), 1.6lm/W와 250cd/m<sup>2</sup>(90Å)을 나타내었다.

### 1. 서론

1994년 Kido에 의해 다층 구조를 이용한 백색 유기발광소자가 발표된 이후[1] 유기 단분자를 이용한 진공증착 방식의 백색 유기발광다이오드(White Organic Light Emitting Diodes: WOLED)[2-4]와 고분자 폴리머를 이용한 스핀코팅 방식의 WOLED가 계속적으로 연구되어 왔다[5-6]. 백색 유기발광다이오드는 액정표시소자(LCD: Liquid Crystal Display)에 백라이트(backlight)의 면광원으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 컬러 필터를 이용하여 RGB 픽셀(pixel)을 기존의 복잡한 shadow 마스크 공정을 거치지 않고도 제작할 수 있다는 장점 때문에 풀컬러(full color) 디스플레이 구현에 활발한 응용이 모색되고 있다[7].

현재 상용화가 이루어지고 있는 OLED(Organic Light Emitting Diodes)는 유기 단분자로 구성되는 적층형 구조로 제작된다. OLED를 풀컬러 디스플레이로 실현하기 위한 방법으로는 R(red), G(green), B(blue) 삼원색의 개별화소 구동과 조합에 의한 삼색 발광법, 청색발광과 색변환층에 의한 색변환법, 그리고 백색발광과 컬러필터를 사용하는 방법이 있다[8-9]. 현재 가장 널리 사용되는 삼색 발광법은 적색 발광물질의 낮은 효율과 청색 물질의 낮은 색순도 등의 문제점을 갖고 있으며, 색변환법 역시 낮은 색순도가 단점으로 지적되고 있다[10-11].

WOLED의 문제점은 인가전압이 높아질수록 색좌표의 이동이 생긴다는 것과 시간이 지남에 따라 RGB 각각의 색에서 휘도와 효율이 변하여 발광색의 균형이 무너진다는 것이다. 그러므로 인가전압의 변화와 시간의 경과에 따라 안정된 동작을 할 수 있는 백색 유기발광다이오드의 개발은 매우 중요한 과제이다.

백색발광의 메카니즘으로는 기존의 삼원색을 혼합한 3파장 방식과 청색과 황색을 혼합한 2파장 방식을 들 수 있다. 백색광을 구현하기 위해서는 3파장 방식이 가장 이상적인 것으로 인식되어 왔으나, 적색 물질의 낮은 효율 및 안정성에 문제점이 있어 최근에는 이를 해결하기 위해 높은 안정성 및 효율을 갖는 2파장 방식이 대두되고 있다. 2파장 방식은 3파장 방식보다 색간섭이 적고 제조공정이 간단하다는 등의 장점을 갖는다[12-13].

본 연구에서는 GDI602를 청색발광 재료로 이용하고 GDI602:Rubrene(10%)를 황색 발광재료로 사

용하여 2과장 방식의 WOLED를 제작하였다. 제작과정에서 청색 발광층의 두께를 변화시켜서 효율, 색순도 및 전기적 안정성 등을 분석함으로써 고성능 2-과장 WOLED의 개발을 위한 최적구조 및 공정 조건을 알아보려고 한다.

## 2. 실험 방법

소자 제작을 위한 기판으로는 면저항이 12Ω/□, 두께가 1500Å인 ITO가 코팅된 유리기판을 사용하였다. 먼저, ITO/glass를 25mm x 25mm 크기로 자르고, ITO 패턴을 만들기 위해 AZ1512 감광액을 2500 RPM으로 30초간 회전 도포하고, 80℃에서 20분간 soft baking하여 잔류 용제를 제거하였다. 이 후, 패턴 마스크를 씌어 자외선을 노광하고, AZ500 현상액으로 60초간 현상한 후, 120℃에서 30분간 hard baking을 실시하였다. ITO의 식각은 60℃의 MAS-02 용액을 사용하였으며, 아세톤을 사용하여 감광액을 완전히 제거한 후, 메탄올, 이소프로필 알코올, 탈이온수에서 순차적으로 초음파 세척을 하였다. 유기 박막을 증착하기 위한 전단계의 마지막 과정으로 시편을 질소 분위기에서 80℃, 10분간 건조시키고 glove 상자로 이동하였다.

소자 제작을 위한 유기물 증착과 금속 증착은 정공 주입층으로 2-TNATA, 정공 수송층으로 NPB, 청색발광 재료로 GDI602, 황색발광재료로 GDI602:Rubrene(10%), 전자 수송층으로 Alq3, 전자 주입층으로 LiF, 음극전극으로 Al을 사용하였다.

본 실험은 WOLED 구현에 있어서 2과장 적층구조로 GDI602를 청색 재료로 이용하고 GDI602:Rubrene(10%)를 황색 재료로 사용하였으며, 청색 재료 층의 두께 변화에 따른 특성변화를 규명하고자 GDI602/GDI602:Rubrene(10%) 구조를 갖는 소자의 청색 발광층의 두께를 60Å ~ 100Å 까지 변화를 두어 소자를 제작 하였다.

유기 박막과 금속의 형성은 모두  $5 \times 10^{-8}$  Torr 이하의 고진공 상태에서 In-Situ 방식으로 증착되었으며, 유기 박막의 증착 전에 시편을 glove 상자에서 PT실(Pretreatment Chamber)에 옮겨 2분간 플라즈마 ( $O_2/Ar$  혼합비= 2/1, RF 전력: 200 W) 처리하였다. WOLED 제작에서 선행 플라즈마 처리는 양극으로부터 정공주입 장벽을 낮추고, 표면 오염제거 및 ITO와 유기막과의 접착력을 개선시켜 준다. 유기물 증착과정에서는 고진공( $5 \times 10^{-8}$  Torr) 상태의 OC(organic chamber)로 옮기고, 600Å 두께의 2-TNATA [4,4',4"-tris(2-naphthylphenyl)-phenylamino)-triphenylamine] 정공 주입층(hole injection layer: HIL)과 200Å 두께의 NPB [N,N'-bis(1-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine] 정공 수송층(hole transport layer: HTL)을 형성하였다. 다음으로 GDI602의 블루호스트를 evaporation 하여 60Å ~ 100Å 두께의 청색형광층을 형성하였으며 GDI602 와 Rubrene을 10:1의 비율로 co-evaporation 하여 210Å 두께의 황색형광층을 형성하였다. 계속하여 전자 수송층(electron transport layer: ETL)으로 300Å 두께의 Alq3를 증착한 후, 시료를 MC(metal chamber)로 옮겨 전자 주입층(Electron Injection Layer: EIL)으로 약 10Å 두께의 LiF를, 음극으로 약 1800Å 두께의 Al을 순차적으로 진공 증착하였다. 그림 1은 제작된 WOLED 소자의 적층구조, 레이아웃 배치와 백색 발광 사진이다.

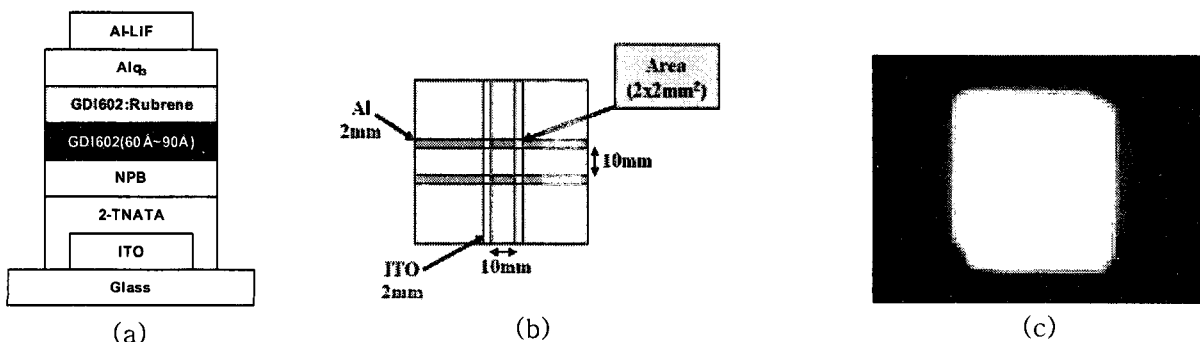


그림 1. 제작된 소자의 구조: (a) 적층구조, (b) 레이아웃 배치, (c) 발광 사진

### 3. 실험결과 및 고찰

Polaronix M6100 IVL Test System을 이용하여 제작된 WOLED 소자들의 전기광학적 특성을 조사 하였다.

그림 2는 제작된 소자들의 전압에 따른 휘도의 세기를 보여 주고 있다. 청색 발광층인 GDI602층의 두께가 얇을수록 우수한 휘도 특성을 보여 주며 인계전압이 12V를 넘어서면 대부분 소자들의 휘도가 감소하는 것을 알 수 있다.

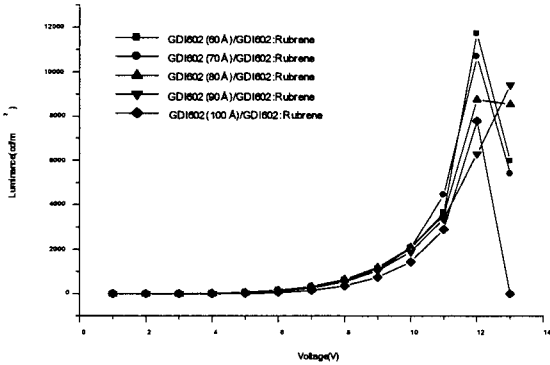


그림 2. 휘도 - 전압 특성 곡선

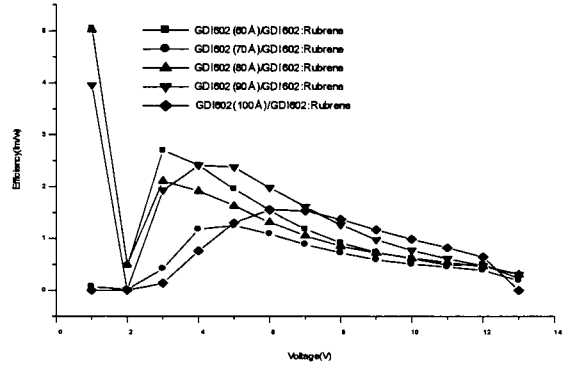


그림 3. 발광효율 - 전압 특성 곡선

그림 3은 전압에 따른 효율특성 곡선이다. 제작된 소자들의 임계전압은 다소 차이가 있으나 임계전압에서부터 전압이 증가 함에 따라 효율은 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 7V 이상의 인가전압에서는 청색 발광층인 GDI602층의 두께가 두꺼워 질수록 전압에 대한 효율특성은 GDI602층이 얇은 소자보다 우수하다는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 제작된 소자들의 인가전압(7V ~ 11V) 변화에 대한 발광 스펙트럼을 보여 주고 있다. 제작된 소자들의 발광 스펙트럼 특성으로는 GDI602 층의 두께에 따라 중심파장의 위치는 거의 일정하나 2-파장 사이의 상대적 세기가 변화되었으며, GDI602 층의 두께가 얇아질수록 황색파장의 상대적 세기가 강해지는 것을 볼 수 있었다.

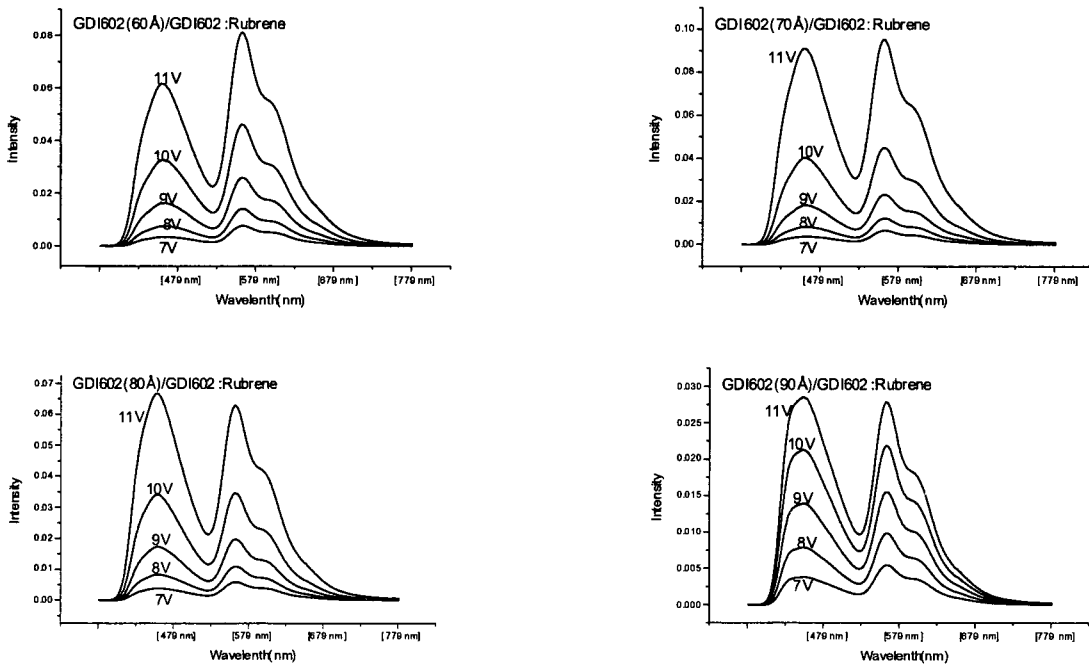


그림 4. 각 소자의 인가전압에 대한 EL 스펙트럼

그림 5는 제작된 소자들의 인가전압의 증가에 따른 CIE 색좌표 변화를 나타낸 것이다.

GDI602층이 60Å인 소자는 11V, 70Å인 소자는 9V, 80Å인 소자는 8V, 90Å인 소자는 7V에서 순수 백색광(x=0.33, y=0.33)에 가까운 발광 특성을 보였다. 청색층인 GDI602층의 두께가 두꺼워 질수록 좀더 낮은 구동전압에서 순수 백색광에 가까운 발광특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

GDI602층의 두께에 따른 효율과 휘도는 백색발광 조건에서 각각 0.5lm/W와 3650cd/m<sup>2</sup>(60Å), 0.6lm/W와 1050cd/m<sup>2</sup>(70Å), 0.9lm/W와 490cd/m<sup>2</sup>(80Å), 1.6lm/W와 250cd/m<sup>2</sup>(90Å)을 나타내었다.

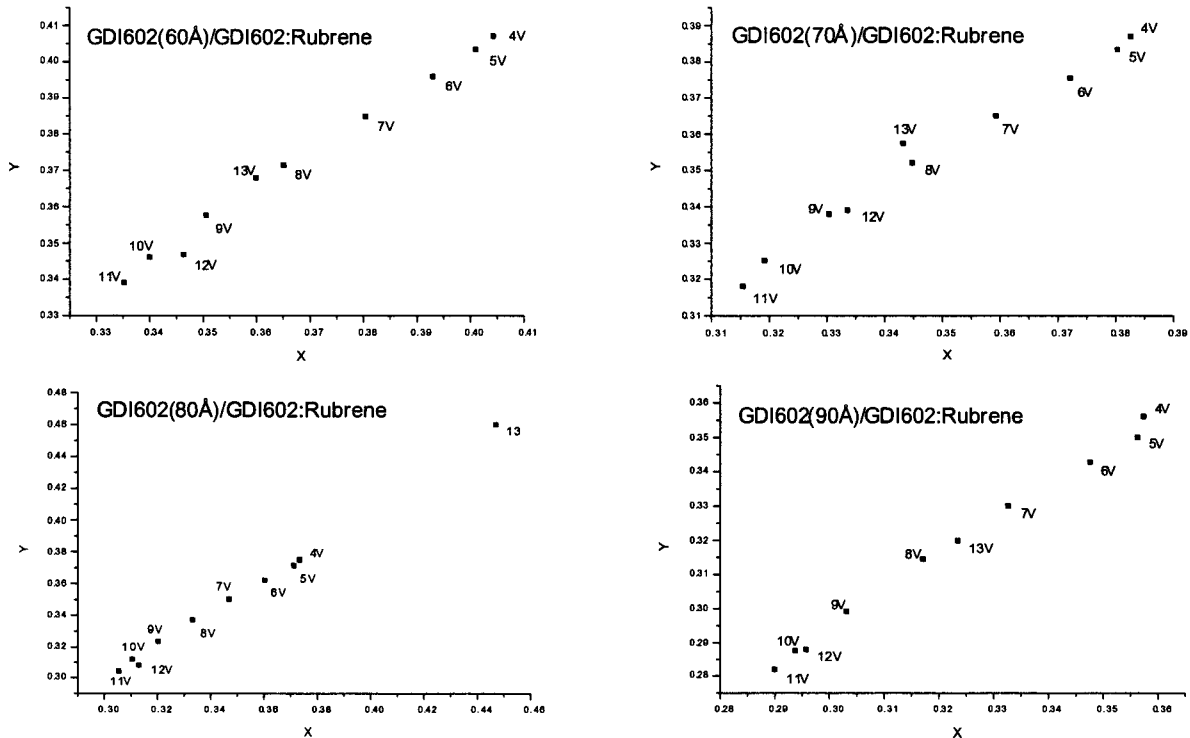


그림 5. 제작된 소자들의 인가전압 변화에 따른 CIE 색좌표

결과적으로 소자 제작에서 고효율/휘도 특성과 일반 구동전압(7~9 V)에 대한 요구를 고려할 때, 실험상의 구조에서 청, 황 2-파장 백색 유기발광다이오드 제작을 위한 GDI602-청색층의 최적 두께는 70~80 Å으로 나타났다

#### 4. 결론

백색 발광층의 구성으로 청색 재료로 GDI602, 황색 재료로 GDI602:Rubrene(10%)를 이용하여 2 파장 방식의 백색 유기발광다이오드를 제작하고 청색층인 GDI602층의 두께를 변화시켜 이들의 특성을 분석하였다.

제작된 소자들은 Glass/ITO/2-TNATA/NPB/EML/Alq<sub>3</sub>/LiF/Al의 기본 구조를 갖는다. 실험 결과 GDI602층이 60Å인 소자가 전압에 따른 휘도 특성은 우수하지만 순수 백색광을 얻을 수 있는 전압이 11V로 높게 나타났으며, 청색층인 GDI602층이 60Å ~ 90Å으로 두꺼워 질수록 순수 백색광에 가까운 발광특성을 얻을 수 있는 전압은 11V, 9V, 8V, 7V로 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 GDI602층이 두꺼워 질수록 백색광 조건에서의 효율이 우수하게 나타났다.

소자 제작에서 고효율/휘도 특성과 일반 구동전압(7 ~ 9V)에 대한 요구를 고려할 때, 실험상의 구조에서 청, 황 2-파장 백색 유기발광다이오드 제작을 위한 GDI602-청색층의 최적 두께는 70 ~ 80Å으로 판단된다.

## 5. 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 (RTI04- 01-02) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- [1] J. Kido, M. Kimura, and K. Nagai, "Multilayer white light-emitting organic electroluminescent device", Science, Vol. 267, p. 1332, 1995.
- [2] J. Kido, W. Ikeda, M. Kimura, and K. Nagai, "White-light-emitting organic electroluminescent device using lanthanide complexes", Jpn. J. Appl. Phys., Vol 35, Part 2, No. 3B, p. L394, 1996.
- [3] B. G. Roh, J. Y. Kim, and H. S. Oh, "A study on the emission properties of organic electroluminescence device by various stacked organics structures", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 13, No. 11, p. 943, 2000.
- [4] B. G. Roh, M. G. Kang, and H. S. Oh, "A study on the fabrication and characteristic analysis of multiheterostructure white organic light emitting devices", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 15, No. 5, p. 429, 2002.
- [5] J. Kido, "White light emitting organic EL devices", 월간 Display, p. 83, 1998.
- [6] B. G. Roh, and H. S. Oh, W. Y. Kim, and G. G. Malliaras, "High efficiency polymer light emitting diodes based upon single layer structures", IMID'01, DIGEST, p. 225, 2001.
- [7] M. K. Kang, "The Fabrication and Characteristics of White Organic Light-Emitting Diodes using Blue and Orange Emitting Materials" J. of KIEE(in Korean), Vol. 43, No. 2, p. 73-74, 2006.
- [8] Jing Feng, Feng Li, Wenbao Gao, and Shiyong Liu, "White light emission from exciplex using tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum as chromaticity-tuning layer", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 25, p. 3947, 2001.
- [9] C. W. Ko and Y. T. Tao, "Bright white organic light-emitting diode", Appl. Phys. Lett., Vol. 79, No. 25, p. 4234-4236, 2001.
- [10] Liu Zugang and Helena Nazare, "White organic light-emitting diodes emitting from both hole and electron transport layers." Synthetic Metals, Vol. 111. p.47, 2000.
- [11] J. Y. Cho, S. J. Choi, S. B Yoon, H. S. Oh, "A Study on the Luminous Properties of the White-light-emitting Organic Led with Two-wavelength using DPVBi/Alq3: Rubrene Structure", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 16, No. 7, p. 616-617, 2003.
- [12] 추혜용, 이정익, "백색 OLED", 물리학과 첨단기술 6월호, p.25-29, 2005.
- [13] 배우진, "백색 유기발광소자(WOLED)와 최근 개발동향", 월간 전자부품 9월호 p.58-62, 2006.