

# 단일 발광층을 갖는 조명용 2파장 백색 OLED 제작 및 특성 연구

## (Fabrication and Characterization of 2-Wavelength White OLED with Single Emissive Layer)

김현중\* · 양승용 · 이진우\*\*

(Hyun-Jung Kim · Seong-Yong Yang · Chin-Woo Yi)

### Abstract

In this study, the characteristics of the 2-wavelength white organic light-emitting diod (WOLED) with two colors of yellow and blue were compared and analyzed with 3-wavelength WOLED with three colors of red, green, and blue. The results indicated that the power efficiency of the 2-wavelength WOLED was 1.6 times higher than 3-wavelength WOLED. In addition, the colot coordinate of the 2-wavelenth WOLED which was (0.34, 0.39) was found closer to the optimal color coordinate for the white-lighting application when compared with that of the 3-wavelength WOLED.

Key Words : WOLED, 2-Wavelength, Single Emissive Layer

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

최근 기후변화에 의한 환경위기와 고유가에 의한 자원위기가 맞물려 녹색성장 및 에너지 산업에 대한 관심이 높아지면서 조명 산업에서도 저전력, 친환경적인 새로운 광원의 필요성이 높아지고 있다[1]. 조명은 국내 소비전력의 약 20[%]를 차지하고 있으며 이로 인한 CO2 배출량은 연간 17억톤에 달하고 있기 때문에 조명의 에너지 효율 증가는 환경 문제에 큰 영향을 미

칠 수 있다[2].

기존의 대표적인 조명인 백열등과 형광등을 보면 백열등의 경우 낮은 효율로 인하여 사용이 규제되고 있는 추세이며, 수은과 납이 함유되어 있는 형광등의 경우에는 백열등의 7~8배의 효율에도 불구하고 중금속 사용규제(WEEE; Waste Electrical and Electronic Equipment)로 인하여 점점 사용이 제한되고 있어, 이를 대체 할 수 있는 환경 친화적인 차세대 광원이 필요하다. 이러한 추세에 따라 대표적인 신광원이라 할 수 있는 LED(Light Emitting Diode), OLED(Organic Light Emitting Diodes)와 같은 반도체 조명의 개발이 확대되고 있다.

LED와 OLED는 명칭에서 유사성을 지니고 있지만 제조방법 및 특성 등에서 큰 차이점을 나타낸다. LED는 미소면광원인데 반해 OLED는 두께가 얇은 면광원의 형태로 수 [mm] 이내로 제작이 가능한 조명에 보

\* 주저자 : BAOS(주) 주임  
\*\* 교신저자 : 호서대학교 전기공학과 교수  
Tel : 041-540-5655, Fax : 041-540-5658  
E-mail : light@hoseo.edu  
접수일자 : 2011년 10월 10일  
1차심사 : 2011년 10월 20일, 2차심사 : 2011년 11월 10일  
심사완료 : 2011년 12월 8일

다 적합한 광원이라 할 수 있다. 따라서 LED를 조명 기구로 이용하려면 다수의 LED를 직, 병렬 연결하여 사용해야 하기에 효율의 감소가 발생하나, OLED는 광원 효율의 대부분이 조명 효율이 되어 기구 제작에 따른 효율 감소가 미미하다. 이외에도 OLED는 사용 장소에 제약을 받지 않으며 별도의 기구 없이도 균일한 휘도를 얻을 수 있는 것이 특징이며 미소 면광원-선광원-면광원의 다양한 형태로 제작이 가능하여 디자인의 자유도가 높고, 발열이 없으며 다양한 색상을 구현할 수 있고, 조광이 가능하여 에너지 절감효과가 크다.

본 연구에서는 미래를 이끌어갈 차세대 광원인 OLED를 2파장(yellow, blue)과 3파장(red, green, blue)의 백색 OLED로 제작하여 그 특성을 비교 분석하였다.

## 2. 백색 유기 발광 소자(WOLED)

### 2.1 백색 발광 소자의 특성

백색광원의 색품질을 정의하는 데는 여러 가지 인자들이 사용되는데 연색성 지수(CRI)와 CIE 색좌표가 대표적이다. 좋은 백색 광원의 일반적인 특성으로는 3,000~6,000[K]에 해당하는 백색 발광을 하며, 높은 에너지 효율과 CIE 색좌표의 (x,y)좌표가 (0.33, 0.33)에 가까워야 한다.

### 2.2 WOLED의 구현방법

단층 발광방식은 저분자 발광층을 이용하는 방식과 고분자 발광층을 이용하는 방식이 있는데 주로 고분자를 이용하여 WOLED를 구현을 위해 사용된다. 고분자 단층 발광방식은 정공주입 혹은 수송층, 전자수송층 등의 기능층이 없어 효율이 높지 않으며 단층에서 R, G, B색의 색조합이 이루어져야 하기 때문에 일반적으로 색순도가 좋은 백색의 구현이 쉽지 않다.

색 변환 기술을 이용한 WOLED는 업 컨버전과 다운 컨버전으로 나뉜다. 이 중 백색을 구현하는 방법으

로 다운 컨버전 방법이 주로 사용되는데 단일 발광층을 이용하므로 R, G, B 발광층이나 보색의 발광층을 적층하는 방법에서 발생하는 열화에 따른 색순도의 변화의 문제를 해결하면 간단한 구조로 대면적을 제작할 수 있다. 또한 컬러 변환층의 조절과 연색지수가 우수한 백색 광원을 얻을 수 있는 장점이 있어 디스플레이뿐만 아니라 면광원으로써 활용이 가능한 기술이다. 그러나 컬러 변환층의 형광 소재의 안정성 문제로 시간이 지남에 따라 색순도가 변하는 문제점을 가지고 있다.

다층 발광을 이용한 방식으로는 발광층을 2개 이상 사용하여 백색을 구현하며 고분자의 경우 복층 구조 제작의 어려움이 있어 보통 저분자를 이용한 기술이 널리 이용되고 있으며 저분자의 경우 형광물질 및 인광물질이 널리 사용되고 있다.

소자적층 기술의 경우 독립적인 OLED소자를 차례로 적층시켜 백색을 구현하는 방식으로 R, G, B 소자를 개별적으로 조절 할 수 있기 때문에 높은 연색지수를 구현할 수 있다는 장점이 있다[5].

## 3. 제작 및 특성 측정

### 3.1 실험장비

그림 1에 유기박막 증착에 사용된 장비의 개략도를 표시하였다. 소자의 증착을 위해 호서대학교 산학협력단의 증착 챔버를 사용하였다. 기본적으로 양산 장비의 경우 각 공정마다 하나의 PM(Process Module)로 이루어진다. 또한 각 PM은 항상 진공을 유지하기 위해서는 TM(Transfer Module)으로 연결되어 있고, TM 내에 있는 로봇으로 유리기판을 이송한다[6].

모든 챔버는 저진공 펌프와 고진공 펌프가 달려 있으며, P/T 처리를 제외한 나머지 공정은 모두 고진공 상태에서 진행한다. 저진공 펌프는 Dry 펌프를 사용하여  $3 \times 10^{-2}$ [torr]까지 낮출 수 있고, 고진공 펌프는 Cryo 펌프와 Turbomolecular 펌프(이하 터보 펌프)를 사용하며 진공은 최대  $1 \times 10^{-8}$ [torr]까지 낮출 수 있다. 이 때 Organic Chamber와 Metal Chamber는

Cryo 펌프로 사용하며 TM, LM>Loading Module), Mask PM, P/T Chamber는 Turbo 펌프를 사용한다. P/T Chamber의 경우 플라즈마 처리 시 저진공 펌프인 Dry 펌프를 사용하지만 공정 후 이송 전에는 다른 챔버와 기압이 맞아 야 하기 때문에 터보 펌프를 이용하여 고진공으로 낮춰주는 고진공 펌프가 필요하다.

유리 기판의 이송 경로는 LM에 유리기판을 넣고 진공을 만든 다음 로봇으로 P/T(Plasma Treatment) PM에서 플라즈마 처리를 한 다음 NPB(HIL→HTL) → R→ G→ B→ ETL→ EIL→ Metal(Al) 순으로 증착을 진행한다. 증착 시 웨도우 마스크를 사용하며, 이것을 자동으로 교체하기 위해 마스크 PM을 따로 두었다.

WOLED의 증착은 그림 1과 같다. 반응기 하단에 증발원, 상부에 1조와 기판, 웨도우 마스크를 잡는 부분, QCM(Quartz Crystal Microbalance)센서, 진공 펌프(저진공-Dry, 고진공-Cryo) 등으로 구성된다.

박막의 두께는 증발원의 위치와 기판, 증발원의 거리에 의존하고 박막의 두께는 QCM으로 증착 속도를 계산하여 시간을 조절한다. 박막 특성은 증착 재료와 도핑 재료 선택에 의해 결정된다.

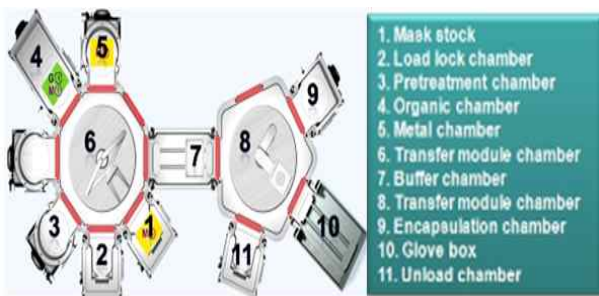


그림 1. Evaporation system의 개략도  
Fig. 1. A schematic diagram of evaporation systems

### 3.2 시편 제작

본 실험에서는 패턴 된 ITO에 초음파 세척기를 이용하여 아세톤, DI water, IPA(Isopropyl alcohol) 순으로 각각 15분간 세척을 하였다. 세척된 ITO는 질소

분위기에서 건조를 시킨다.

ITO기판을 glass holder에 고정시켜 챔버에 넣고 P/T 처리를 한다. 이 때 플라즈마 발생 조건은 O<sub>2</sub> (99.99[%]) 가스를 3SCCM으로 주입하여 최종적으로는 진공도가  $3 \times 10^{-2}$ [torr]가 유지되도록 한 후 RF 전력을 200[W]로 설정한 뒤 플라즈마를 발생시킨다. 발생하는 플라즈마는 오존을 형성하여 ITO 세정뿐 아니라 ITO 표면에 산소를 추가하여 일함수를 높이는 역할도 한다. 높은 일함수는 ITO에서 HTL의 HOMO 에너지 준위로 정공을 주입시키기 위해 필요한 조건이다.

플라즈마 처리가 끝난 후 P/T Chamber는 터보 펌프를 이용하여 고진공 상태로 맞춘 후 Organic chamber로 이송시킨다. Organic chamber에서는 유기물을 증착하는데 이 때 호스트가 1[Å/s], 도판트가 0.0XX[Å/s]로 이루어지며 2과장 WOLED는 NPB(700[Å])/MADN : BCzVBi(17[%]) : rubcene (0.3[%])/Bphen(300[Å])/LiQ(20[Å])의 순서대로 유기물을 증착하였고, 3과장 WOLED는 NPB(700[Å])/MADN : BCzVBi(17[%])/MADN : C545T(1.5[%])/MADN : DCJTb(1.2[%])/Alq3(300[Å])/LiQ(20[Å])의 순서대로 유기물을 증착하였으며, 이 때 온도는 대략 200~350[°C] 정도이다.

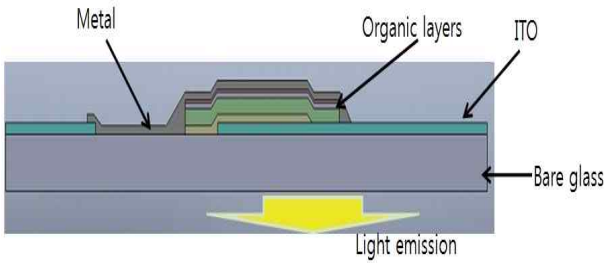
양극인 Al증착은 Metal chamber에서 이루어지며 약 9.5[V]의 전압과 165[A]의 전류를 boat에 흘려주어 속도를 5[Å/s]로 맞추었다. 봉지과정은 3M 테이프를 간단하게 봉지를 하고 0~12[V]까지 0.5[V]의 간격으로 실험을 하였다.

광원 제작에 앞서 기구 설계 프로그램인 Solidworks를 사용하여 WOLED의 형상을 설계하여 그림 2에 나타내었다.

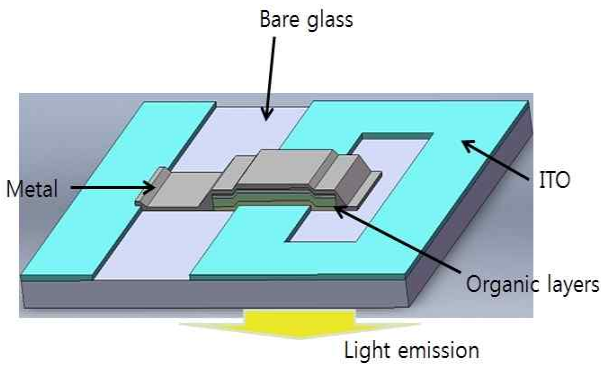
그림 3은 2과장 WOLED의 밴드갭을 나타낸 것으로 2개의 발광층의 WOLED가 아닌 단일 발광층의 WOLED를 만들어 효율을 향상시키는데 중점을 두었다. 그림 4는 3과장 WOLED의 밴드갭을 나타낸 것으로 가장 보편적으로 사용하고 있는 3개의 발광층을 갖는 WOLED를 제작하였다.

이를 토대로 완성된 WOLED를 그림 5과 그림 6에 나타내었다.

단일 발광층을 갖는 조명용 2파장 백색 OLED 제작 및 특성 연구



(a) 단면도



(b) 투시도

그림 2. WOLED의 형상  
Fig. 2. The shape of WOLED

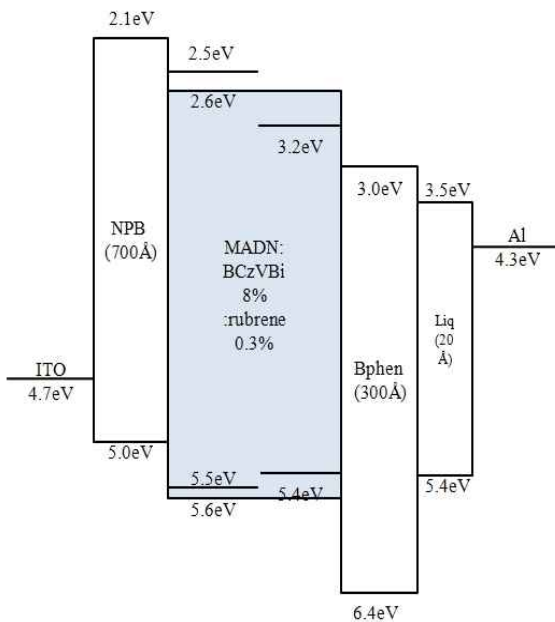


그림 3. 단일 발광층을 갖는 2파장 WOLED 밴드갭  
Fig. 3. The bandgap diagram of 2 - wavelength WOLED with a single emissive layer

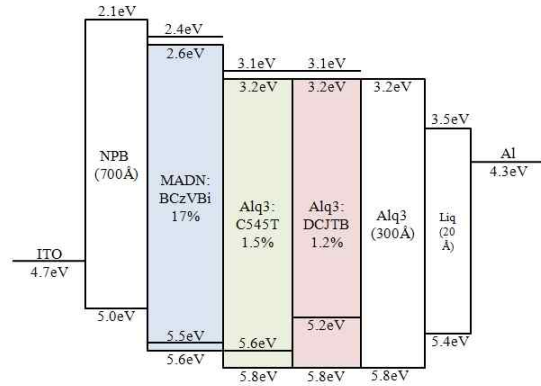


그림 4. 3개의 발광층을 갖는 3파장 WOLED 밴드갭  
Fig. 4. The bandgap diagram of 3-wavelength WOLED with a 3-emissive layer

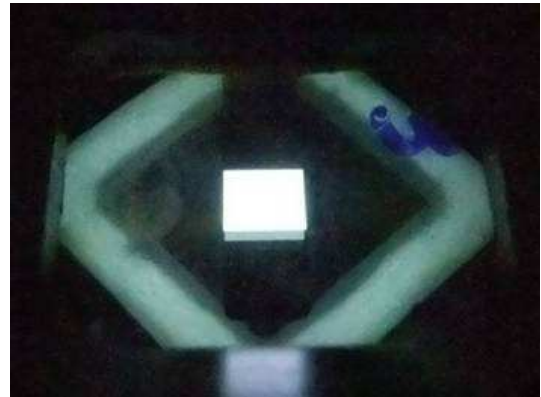


그림 5. 완성된 단일 발광층을 갖는 2파장 WOLED  
Fig. 5. 2-wavelength WOLED with a single emissive layer



그림 6. 완성된 3개의 발광층을 갖는 3파장 WOLED  
Fig. 6. 3-wavelength WOLED with a 3-emissive layer

#### 4. 특성 검토

본 실험은 저분자 형광소자를 사용하여 단일 발광층을 갖는 2파장 WOLED와 3개의 발광층을 갖는 3파장 WOLED를 제작하여 조명용 광원으로서의 특징을 비교, 분석하였다.

정밀한 측정을 위해 LMS(社)에서 제작한 카메라(PR-650)와 Keithley(社)에서 제작한 전류 전압 공급 측정장치(KEITHLEY 236)이 연동된 IVL 측정 장비를 사용하였다.

그림 7은 2파장 WOLED와 3파장 WOLED의 파형에 따른 강도를 나타낸 그래프로 청색은 450~480[nm], 황색은 590~595[nm], 녹색은 500~530[nm], 적색은 645~700[nm]의 파장에서 빛을 발산하고 있는 것을 확인할 수 있다.

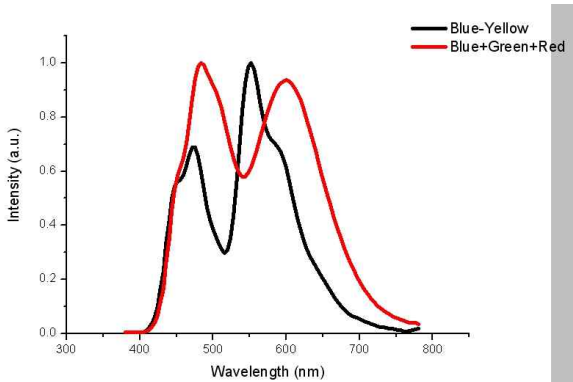


그림 7. 파형에 따른 강도 특성  
Fig. 7. Intensity characteristics of different waveforms

##### 4.1 전류밀도 특성

그림 8에 전압에 따른 전류밀도 특성을 나타내었으며 2파장 WOLED와 3파장 WOLED는 전압이 증가함에 따라 전류밀도 또한 증가함을 보여주기에 활발한 전자와 정공의 공급이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

##### 4.2 휘도 특성

전압이 증가함에 따라 휘도가 증가함을 보였으며, 3

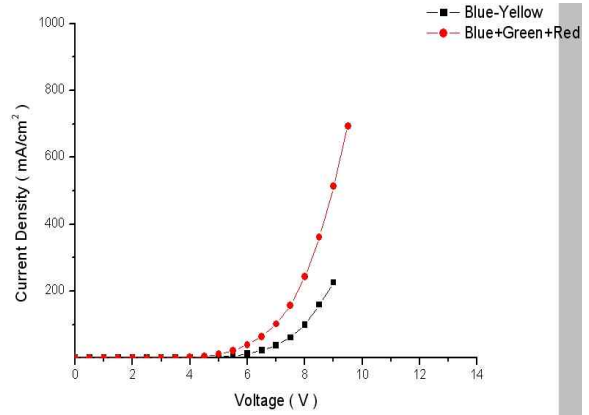


그림 8. 전압에 따른 전류밀도 특성  
Fig. 8. Current density characteristics vs. input voltage

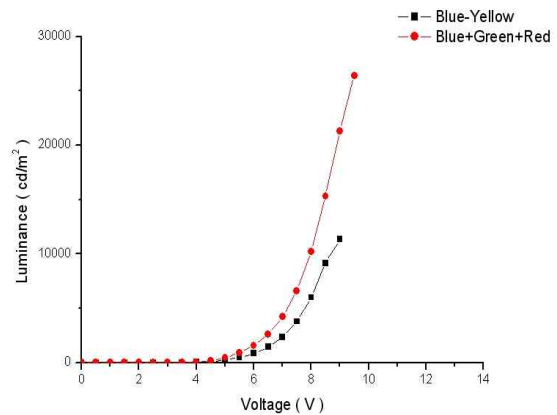


그림 9. 전압에 따른 휘도 특성  
Fig. 9. Luminance characteristics vs. input voltage

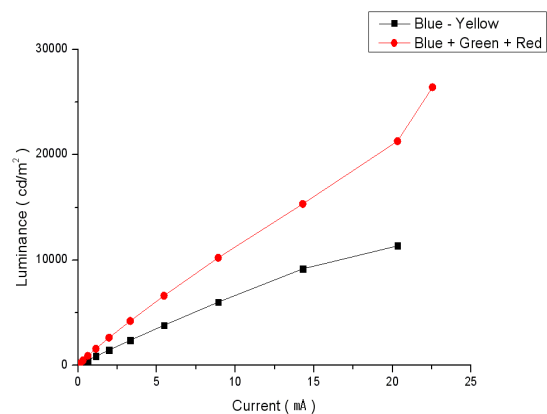


그림 10. 전류에 따른 휘도 특성  
Fig. 10. Luminance characteristics vs. input current

파장 WOLED가 더 높은 휘도 값을 나타내었다. 또한 전류 역시 증가함에 따라 휘도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 2파장 WOLED는 발광층이 2개에서 하나로 되어 발광되는 면이 줄어들어 휘도 값이 떨어졌기 때문이다.

### 4.3 전력효율 특성

전압에 따른 전력효율은 2파장 WOLED가 3파장 WOLED보다 약 1.6배의 전력효율이 좋다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 전압이 증가함에 따라 효율이 감소하기에 앞으로 이 현상을 개선하기 위한 연구가 필요하다

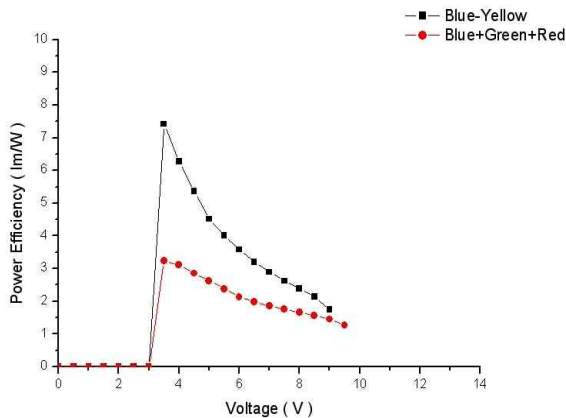


그림 11. 전압에 따른 전력효율 특성  
Fig. 11. Power efficiency characteristics vs. input voltage

### 4.4 색좌표

WOLED는 (0.33, 0.33)에 근접하는 색좌표와 3,000~8,000[K]의 색온도를 가져야 좋은 백색 광원이라 할 수 있다. 실험결과 2파장 WOLED는 평균 (0.34, 0.39)의 색좌표와 4,500~5,500[K]의 색온도를 가지고 있으며, 3파장 WOLED는 평균 (0.37, 0.38)에 근접한 색좌표와 3,700~4,500[K]의 색온도를 가지고 있어 두 광원 모두 백색 광원이라는 것을 확인할 수 있었다.

백색 광원의 품질로는 2파장 WOLED가 3파장 WOLED 보다 더 좋은 광색을 나타내었다.

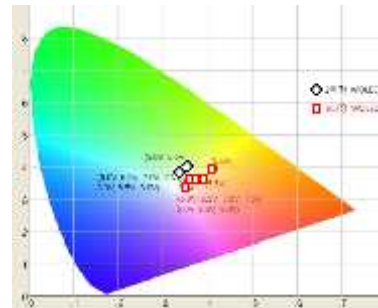


그림 12. 전압에 따른 CIE 색좌표의 변화  
Fig. 12. CIE chromaticity coordinates vs. input voltage

## 5. 결론

미래형 발광소자의 연구개발이 중요시되고 있는 가운데 친환경 소자로 각광을 받고 있는 WOLED의 효율을 높이는 설계를 한 후 이를 제작하고, 그 특성을 분석하였다.

본 논문에서는 조명용 광원으로 사용 가능한 단일 발광층을 갖는 2파장과 3개의 발광층을 갖는 3파장의 저분자 형광 백색 유기 발광 소자를 제작하여 5~9[V]까지 0.5[V] 간격으로 인가하여 특성을 비교하였다.

전자와 정공의 원활한 공급 여부를 확인하기 위해 전류밀도를 측정된 결과 2파장과 3파장 모두 전압이 증가함에 따라 전류밀도도 증가함을 보여 전자와 정공의 원활한 공급이 이루어진다는 것을 확인할 수 있었다. 휘도의 특성 또한 전압에 따른 전류 밀도의 특성과 매우 유사한 경향을 보여 전압이 증가함에 따라 휘도도 증가하였다.

전력효율의 경우 3파장보다 2파장에서 1.6배의 높은 전력효율을 나타내었다.

2파장 WOLED는 평균 (0.34, 0.39)에 근접한 색좌표와 4,500~5,500[K]의 색온도를 가지고 있었으며 3파장 WOLED는 평균 (0.37, 0.38)에 근접한 색좌표와 3,700~4,500[K]의 색온도를 가지고 있어 본 논문에서 제작한 2파장 WOLED가 3파장 WOLED 보다 색품질 면에서 좋은 백색 광원이라 할 수 있다.

조명용으로 광원으로 사용될 WOLED를 3×3[mm] 크기로 2파장과 3파장의 형태로 제작하여 비교해 보았다. 단일 발광층을 갖는 2파장 WOLED가 3파장



WOLED 보다 효율적인 측면에서 우수하다는 것을 확인할 수 있었고, 3과장 WOLED 보다 공정의 단순화로 인해 비용도 절감할 수 있다는 것을 확인하였다. 하지만 전압이 증가함에 따라 효율이 떨어지는 것은 앞으로의 연구를 통해 개선해야 할 사항이라 하겠다.

단기적으로는 얇고, 가벼운 면광원의 특성을 이용한 조명이 주된 응용이 되겠지만, 추후 중기적으로 투명도는 색가변 광원을 이용한 조명과 장기적으로 유연한 광원을 이용한 조명이 출현할 것으로 기대된다.

### References

- [1] 추혜용 외 2명, “OLED 조명 기술 동향”, 전자통신동향분석, 제 24권 제 6호, 2009.
- [2] 川島康貴, “有機EL照明の動向”, 電設技術 pp.48~53, 2009.
- [3] 문대규, “OLED 기술 동향 및 시장”, 전자부품연구원, 2006.
- [4] Ubi sanup research, “OLED 광원 산업 동향 및 시장 전망 보고서”, pp.7~9, 2009.
- [5] 배우진, “백색 유기발광소자(WOLED)와 최근 개발 동향”, 월간 전자부품, pp.58~62, 2006.
- [6] 박영호, “OLED 제조공정”, pp.247~249.

### ◆ 저자소개 ◆



#### 김현중 (金鉉中)

1983년 2월 7일생. 2009년 호서대 전기공학과 졸업. 2011년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 BAOS(주) 주임. 본 학회 정회원.

관심분야 : LED/OLED 구동원리 및 기구 설계

Tel : (031)680-8531

E-mail : hjkim@baos.co.kr



#### 양승용 (梁承龍)

1950년 9월 25일생. 1978년 2월 부산대학교 수학교육과 졸업. 1989년 8월 연세대학교 행정대학원 졸업(석사). 2005년 1월~2010년 2월 한국조명연구원 원장. 2009년 3월~현재 호서대학교 박사과정. 현재 한국조명연구원 고문. 본 학회 감사.



#### 이진우 (李鎭雨)

1961년 2월 4일생. 1984년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1986년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년 3월~1994년 2월 (주)세명백트론 연구실장. 1994년 3월~현재 호서대학교 전기공학과 교수.