

# 차세대 신기술 광원(OLED) 발전 전략

문대규 <순천대학교>

## 1 개요

OLED(Organic Light Emitting Diodes)는 유기 재료에 전계를 가하여 전기 에너지를 빛으로 바꾸어주는 소자로서, 자체발광, 고속응답, 광시야각, 초박형, 고화질, 내구성, 넓은 온도범위 등 디스플레이로서 필요한 모든 요소를 갖추고 있어 이상적인 디스플레이로 각광받고 있다.

OLED에 대한 연구는 1960년대 초에 시작되었으며, 1987년 Eastman Kodak에 의해 고효율 다층박막 형태의 구조가 개발되면서 본격적인 연구개발이 시작되었으며, 발표 당시 소자 효율은 1.5(lm/W), 소자의 수명은 200시간 정도였으나 현재는 적색 소자의 경우 110(lm/W), 소자의 수명은 30,000시간 이상이 발표되고 있어 단기간에 빠른 속도로 개발이 진행되어 왔다. 또한 현재 Passive 방식의 OLED는 본격적인 상용화 단계에, active 방식의 OLED는 40인치의 시제품이 개발되는 단계에 이르러, 주요 평판디스플레이 산업으로 자리를 잡아가고 있다.

OLED는 청색, 적색, 녹색 등의 디스플레이 구현을 위한 기술 위주로 발전되어 왔으나, 백색 OLED(이하 "WOLED")의 다양한 가능성으로 인하여 1980년 말부터 꾸준히 연구개발이 진행되어와 최근에는 20~30(lm/W)의 WOLED 소자를 발표하여, LED와 더불어 조명으로 사용될 수 있는 가능성이 부

각되고 있다.

OLED는 2차원 점광원의 형태로 구현할 수 있을 뿐 아니라, 선광원 및 면광원의 형태로 구현될 수 있으며, 특히 두께를 아주 얇게 할 수 있고, 플렉서블 기판을 사용하면 다양한 모양으로 광원의 구현이 가능하며, 조명기기로 사용될 경우 기존의 광원에 비해 탁월한 성능을 발휘할 수 있어, 기존 조명기기를 대체할 수 있을 뿐 아니라 새로운 형태의 조명시장을 창출할 수 있다.

미국, 유럽, 일본에서는 이러한 OLED의 가능성을 일찍부터 인식하여 GE, 필립스, 도시바 해리스 등의 조명 업체는 OLED를 차세대 조명으로 선정하여 조명용 OLED에 대한 연구개발투자를 진행하고 있으며 이에 대한 시제품을 발표하는 등 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 또한 이들 국가에서는 정부차원에서 조명용 OLED의 연구개발을 진행하고 있어, 국내에서도 조명용 OLED에 대한 연구개발이 시급한 실정이다.

## 2. 조명용 백색 OLED의 소자 구조

다양한 색상의 OLED가 조명에 응용될 수 있지만 WOLED는 디스플레이, 백라이트, 조명 등 응용분야가 광범위하여 가장 중요한 소자로 인식되고 있다.

WOLED의 개발에 있어서 색의 순도, 색의 안정

성, 전류 및 전압에 따른 색의 안정성 등이 중요하며, 발광효율, 수명, 제조의 용이성 등이 중요하기 때문에 각각의 방식을 사용하여 이에 대한 연구개발이 진행 중에 있다.

가장 널리 이용되는 WOLED의 구현 방식은 여러 층에서 발광이 일어나며, 각 색의 수직 조합에 의해 백색을 구현하는 다층 발광 방식이며, 하나의 발광층에서 백색을 구현할 수 있는 단층발광, blue OLED를 이용하고 청색 빛이 형광체에 조사하여 색이 변환되며, 청색 및 형광체의 적색 등의 조합에 의한 색변환방식, 파장을 변화시키는 Microcavity 방식, 각각의 R,G,B OLED를 수직으로 적층시키는 적층방식이 있다.

단층발광방식의 WOLED는 단층의 유기물을 이용하는 방식으로 저분자 발광층을 이용하는 방식과 고분자 발광층을 이용하는 방식이 있다. 저분자보다는 고분자를 이용하여 WOLED를 구현하기 위해 주로 사용하고 있다.

고분자 단층발광방식은 정공주입 혹은 수송층, 전자수송층 등의 기능층이 없어 효율이 높지 않으며, 단층에서 적색, 녹색, 청색의 색조합이 이루어져야 하기 때문에 일반적으로 색순도가 좋은 백색의 구현이 쉽지 않다. 1994년 야마카다 대학의 Kido 교수는 PVK를 호스트로 이용하고, 청색 도판트인 TPB, 녹색 도판트인 Coumarin 6, 적색 도판트인 DCM1을 도핑하여 단층 발광 WOLED를 구현하였는데, 최대 휘도는 그림 1에서처럼 14[V]에서 약 3,500[cd/m<sup>2</sup>]이었으며, 전력효율은 10[V]에서 0.83(lm/W)였다.

또한 10[V]에서의 휘도는 약 50[cd/m<sup>2</sup>]이었다. Kido 교수는 또한 1995년에 PVK를 호스트로 이용하고, 이에 청색 도판트인 TPB, 녹색 도판트인 Coumarin 6, 적색 도판트인 DCM1 및 Nile Red를 도핑하여 단층발광, 단일층의 색순도가 우수한 고분자 WOLED를 구현하였다. 단일층의 고분자를 이

용한 단층발광 WOLED의 최대 휘도는 4,100[cd/m<sup>2</sup>]로 높지 않았다. 최근 워싱턴 대학에서는 청색 호스트인 PF-TPA-OXD 고분자에 녹색 도판트인 FFBBF, 적색 도판트인 FTBTf를 도핑하여 단층발광 고분자 WOLED를 제작하였으며, 12[V]에서 12,900[cd/m<sup>2</sup>]로 비교적 높은 휘도를 구현하였다.

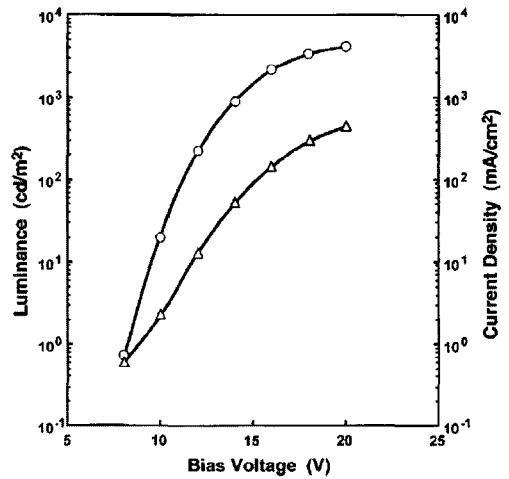


그림 1. 단층발광 OLED의 전압-전류-휘도 특성

저분자 단층발광 WOLED는 정공주입 혹은 수송층, 전자 수송층을 사용할 수 있어 고분자 방식에 비해 효율과 휘도를 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 1995년 Bell Lab.에서는 NAPOXA를 이용하여 넓은 파장의 단층발광 WOLED를 구현하였다. 소자의 구조는 ITO/TAD/NAPOXA/AIQ/AI이었으며, NAPOXA에서 백색발광이 일어나는 단층발광 소자였다. 발광 휘도는 4,500[cd/m<sup>2</sup>] 이상이었으며, 0.5(lm/W)의 발광 효율을 보고하였다. 2005년 California 대학에서는 고온 및 고압을 이용하여 도판트를 정확하게 조절할 수 있는 fused organic solid solution 방식을 이용하여 α-NPD에 DPVBi, rubrene, DCJTb, C545T를 도핑한 유기물을 제조하고 이를 소자에 적용하여 단층발광 WOLED를 제작하였다. 소자의 최

고휘도는 15,000[cd/m<sup>2</sup>]이었으며, 소자의 효율은 약 2.5[cd/A]였다. 또한 WOLED는 전류에 따른 색 안정성이 아주 우수하였다.

여러 층에서 발광이 일어나는 다층발광방식의 WOLED는 형광재료 및 인광재료를 사용할 수 있으며 이들을 조합할 수 있어 효율이 높은 소자가 보고되고 있다.

1999년 Princeton 대학에서는 α-NPD 호스트에 DCM2를 도핑하여 하나의 층에서 청색 및 적색을 발광하며 Alq층에서 녹색을 발광하여 수직으로 빛이 합쳐짐에 의해 백색을 구현하는 다층 발광 WOLED를 구현하였다. 소자의 최대 휘도는 13,500[cd/m<sup>2</sup>]였으며, 0.35[lm/W]의 효율을 보였다. 소자는 HBL 층으로 BCP를 삽입함에 의해 전류의 변화에 대하여 색순도가 거의 변하지 않는 우수한 색 안정성을 보였다.

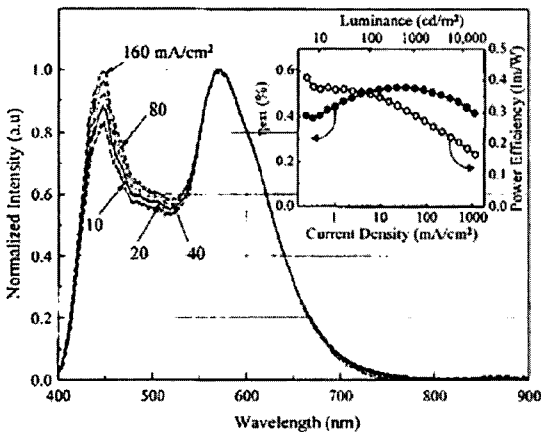


그림 2. 다층발광 OLED의 발광스펙트럼 및 효율 특성

또한 최근 Eastman Kodak에서는 황색 빛과 청색 빛을 조합하여 백색광을 구현하는 기술을 개발하였다. 청색 발광층을 위하여 rubrene를 사용하였으며, 청색 발광층을 위하여 perylene 등을 사용하였다.

인광물질을 이용하면 다층발광방식의 효율을 증가

시킬 수 있어 최근 이를 적용한 WOLED가 발표되고 있다. UDC는 Toyota와 공동으로 R,G,B 인광도판트를 이용한 다층의 인광발광층을 이용한 고효율의 WOLED를 발표하였다. 개발된 WOLED의 효율은 18.4[lm/W](39[cd/A])였으며, (0.39, 0.39)의 색좌표를 나타내고 있다. 또한 개발된 색좌표의 Color Rendering Index는 79였다. NOVALED는 PIN OLED를 이용하여 CIE (0.35, 0.37), 1000[cd/m<sup>2</sup>]의 휘도에서 16.3[lm/W]의 효율을 갖는 WOLED를 개발하여 발표하였다. NOVALED는 필립스와 공동으로 최근 PIN 기술을 이용하여 25[lm/W]의 높은 효율을 갖는 WOLED를 발표하였다.

청색의 OLED를 백색으로 변환하는 방식으로, 최근 GE는 Blue Polymer OLED를 이용하여 청색 빛을 백색으로 변환하는 고효율 색변환 WOLED를 발표하였다. GE는 조명에 응용하기 위하여 WOLED 기술을 개발하고 있으며, 색변환 WOLED를 이용한 대면적 광원을 발표하였다. 청색의 빛과 양자효율 98[%]의 perylene dye 및 양자효율 약 85[%]의 Y(Gd)AG:Ce 형광체를 이용하였으며, 개발된 소자의 CIE 좌표값은 (0.36, 0.36), 19[cd/A], 1,500[cd/m<sup>2</sup>]에서 16[lm/W]의 효율을 보였으며, 1,000[cd/m<sup>2</sup>]에서 15[lm/W], 색온도 4400[K]의 소자 효율을 보였다.

소자적층방식의 WOLED는 독립적인 OLED 소자를 차례로 적층시켜 백색을 구현하는 방식으로 적색, 녹색, 적색의 소자를 개별적으로 조절할 수 있는 장점이 있다. Princeton 대학에서는 R, G, B, 독립 OLED를 적층시키는 방식을 이용하여 백색을 조합하는 방식은 소자적층방식의 SOLED를 개발하였다. 또한 일본의 IMES에서는 MPE(Multiphoton Emission) 방식의 OLED 소자를 이용하여 WOLED 소자를 발표하였다.

### 3. 조명용 OLED 시제품

조명을 위한 WOLED 시제품이 GE, 필립스, 지멘스, NEC 라이팅, 마쯔시타 등의 조명회사를 중심으로 발표되고 있다.

미국의 GE는 청색의 고분자 OLED를 이용하여 고효율 WOLED를 개발하고 이를 조명용으로 사용하기 위한 연구개발이 진행되고 있다. 개발된 WOLED를 이용하여 대면적의 조명 프로토타입을 발표하였다.

미국의 UDC는 미국의 DOE (Department of Energy)의 지원을 받아 백열등과 형광등을 대체할 조명용 WOLED의 연구개발을 진행하고 있으며 최근 이의 프로토타입을 발표하였다.

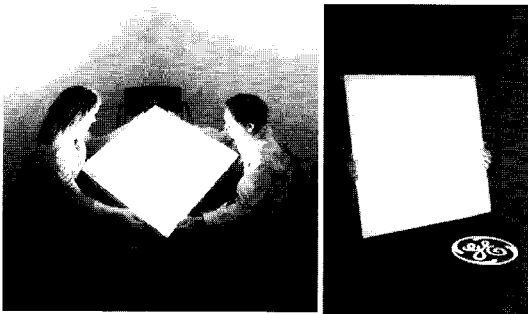


그림 3. GE에서 색변환 방식을 이용하여 개발한 OLED 광원

유럽의 필립스 및 지멘스 등은 OLLA(Organic LED technology For Lighting Applications) 프로젝트를 통하여 조명용 WOLED의 연구개발을 진행하고 이의 프로토타입을 발표하였다.

일본의 도요타, IMES, NEC 라이팅, 마쯔시타전기산업, 코이즈미산업 등 또한 조명용 WOLED를 개발하여 이의 프로토타입을 발표하였다.

### 4. 결 론

OLED는 휘도 특성이 우수하고, 효율이 급속도로 향상되고 있어 조명용 광원으로 사용될 수 있는 가능성이 증가하고 있다. 일본 및 유럽, 미국에서는 OLED 광원으로 차세대 광원으로 지정하여 연구개발 투자를 진행하고 있다. 국내의 조명 산업 발전을 위해선 OLED 광원에 대한 조속한 투자가 필요하며, OLED 소자 및 소재에 대한 투자 및 이의 조명 응용을 위한 연구개발 투자가 절실히 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] OLEDNet 2005년 10월 보고서, 2005.10.
- [2] SID 2004 Digest, 2004.
- [3] SID 2005 Digest, 2005.
- [4] FineTech Japan Seminar Note, 2005.
- [5] 문대규, "OLED 조명 시장 및 기술동향", EIC 2006.

### ◇ 저 자 소개 ◇



문대규(文大圭)

1965년 10월 17일생. 연세대학교 세라믹공학과 졸업. KAIST 재료공학과 졸업(석사·박사). LG필립스LCD 선임연구원. 옥스퍼드대학 연구원(post.doc). 전자부품연구원 책임연구원. 현재 순천향대학교 신소재공학과 교수.

◇ 전문활동분야 : OLED, TFT, Flexible Display, 본 학회 정회원

◇ 관심분야 : Display and 조명

E-mail : dgmoon@sch.ac.kr