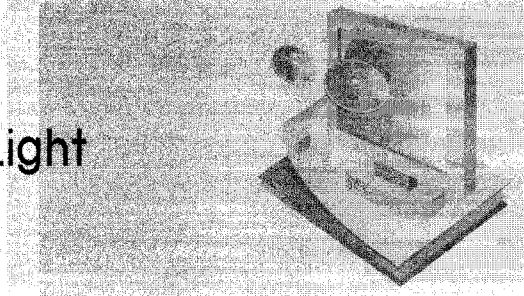


저전압 구동 Organic Light Emitting Diode 기술



문대규 교수 (순천향대 디스플레이신소재공학과)

1. 서론

OLED (Organic Light Emitting Diode)는 양극과 음극 사이에 놓여 있는 유기 재료에 전계를 가하여 전기 에너지를 빛으로 바꾸는 소자이다. 양극에서 주입된 정공과 음극에서 주입된 전자가 유기물에서 재결합되고, 이 때 생성되는 여기자(Exciton)가 기저 상태 (Ground State)로 되돌아가면서 특정 파장의 빛을 방출하게 된다. OLED는 이러한 발광 기구로 인하여 LCD와 비교하여 응답속도가 빠르고 시인성이 우수하며 소시전력이 낮고 백라이트가 필요 없는 장점이 있다. 또한 다른 디스플레이에 비해 무게, 두께 등에 있어서 우월한 특성을 보이고 있어 차세대 디스플레이로서 높은 잠재력이 있다.

OLED가 본격적으로 연구된 것은 1987년 이후로 볼 수 있다. 1987년 Eastman Kodak에 의해 현대적인 구조의 OLED가 개발된 이후로 본격적인 연구개발이 시작되어 [1], 1990년대 중반 PMOLED (Passive Matrix Organic Light Emitting Diode)가 최초로 출시되었으며, 2000년대에 들어서 AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) 또한 본격적으로 진행되어 최근에는 2인치 급의 휴대폰에서 10인치 급의 TV가 상용화되기에 이르렀다.

OLED는 디스플레이로서의 응용뿐 아니라 조명으로서의 응용 가능성 또한 대단히 높은 것으로 인식되고 있다. OLED는 대면적의 면광원으로 제작할 수 있으며, 효율이 높은 백색 및 색상이 좋은 단색으

로 개발이 가능하고 제조 공정이 간단하여 오스람, 필립스, GE 등의 조명업체는 OLED 조명에 대한 연구개발을 활발히 진행하고 있다.

OLED가 디스플레이 및 조명용으로 광범위하게 응용되기 위해서는 전력효율 (Power Efficiency)이 높고, 수명이 길어야 한다. OLED의 수명은 재료 순도의 향상 등에 의해 급격히 향상되고 있으며, 양자 효율 또한 인광 재료의 개발에 의해 급격히 향상되고 있어, 최근 OLED의 구동전압 기술의 향상이 중요한 이슈로 부각되고 있다.

본 논문에서는 저전압 구동 OLED 기술의 필요성, 현황 및 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 저전압 구동 OLED의 중요성

그림 1에 OLED의 전력효율 및 전류효율 (Current Efficiency), 구동전압과의 관계를 나타내었다. 그림에서 보는 것처럼 구동전압이 10 V일 경우, 전력효율이 20 lm/W가 되기 위해서는 전류효율이 63 cd/A가 되어야 한다. 반면, 구동전압이 3 V일 경우 20 lm/W의 전력효율을 위해서는 전류효율이 19 cd/A이면 된다. 따라서 구동전압이 낮으면 같은 양자효율 (Quantum Efficiency)을 갖는 소자 혹은 재료를 사용하여 높은 전력효율의 구현이 가능하다. 특히 조명용 OLED로 사용되기 위해서는 전력효율이 높아야 하는데, 예를 들어, 80 lm/W의 전력효율을 위해서는 구동전압이 10 V일 경우 전류효율이 254

cd/A가 되어야 하기 때문에 이를 구현하는 것은 사실상 어렵다. 반면, 구동전압이 3V일 경우에는 전류 효율이 76 cd/A가 되면 80 lm/W가 되며, 구동전압이 2V일 경우에는 50 cd/A가 되면 되어, 저전압 구동은 전력효율이 높은 OLED의 구현에 있어서 필수적이다. 따라서 OLED를 조명 및 디스플레이에 응용하기 위해선 효율이 높아야 됴고 동시에 낮은 구동전압에서 높은 휘도가 구현되어야 한다.

OLED의 휘도는 전류밀도와 전류효율의 함수이므로, 저전압에서 고휘도를 구현하기 위해서는 낮은 전압에서 전류밀도가 높아야 한다. 그림 2에 전류 효율 변화에 따른 1000 cd/m²의 휘도를 위해 필요한

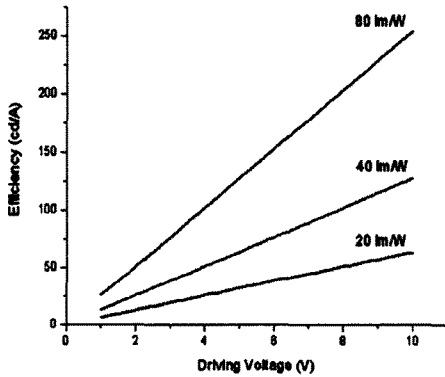


그림 1. OLED의 구동전압, 전류효율 및 전력효율과의 관계.

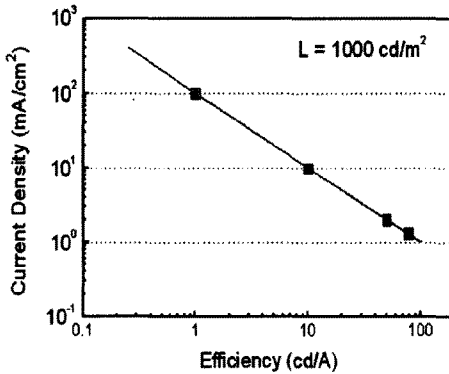


그림 2. OLED의 구동전압, 전류효율 및 전력효율과의 관계.

전류밀도의 변화를 나타내었다.

20 및 50 cd/A의 전류효율을 갖는 소자는 2 및 5 mA/cm²의 전류밀도가 필요하다. 2~5 mA/cm² 이상의 전류밀도를 위해 필요한 구동전압은 2~3V로 아주 낮아야 한다.

3. 저전압 구동 OLED 기술

OLED는 전하의 주입 및 이동에 의해 전기 전도가 일어나므로, 구동전압을 낮추기 위해서는 이를 향상시켜야 한다. 정공의 주입 특성을 향상시키기 위해, ITO 표면처리에 의한 일함수의 증가, 정공 주입층의 사용 등의 방법이 사용되고 있다. 전자의 주입 특성은 그림 3에서 보는 바와 같이 일함수가 작은 Mg:Ag과 같은 금속을 음극으로 사용하는 경우와 아주 얇은 LiF 박막을 Al 음극과 유기물 사이에 삽입하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다 [2].

특히 LiF 박막을 전자 주입층 (Electron Injection Layer, EIL)으로 사용하면 유기물 내로 전자의 주입 특성이 향상된다. 이외에도 전자의 주입 특성을 향상시키기 위해 Liq, Li₂O, MgO와 같은 유기 및 무기 박막을 삽입하는 경우도 있다 [2-4]. 하지만, 그림에서 보는 것처럼 2~5 mA/cm² 이상의 전류밀도를 얻기 위한 구동전압은 약 5V 이상으로 높다. 따라서

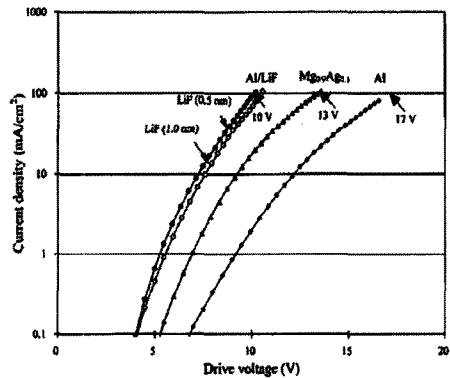


그림 3. 전자주입층 (LiF) 및 저일함수 음극을 이용한 OLED의 전류밀도 특성 [2].

전하주입층 혹은 효율이 높은 전극만으로는 구동전압 감소에 한계가 있으며, 이는 주로 전하의 이동 특성으로 인해이다. 특히 전하의 이동 특성이 좋지 않아 구동전압이 높은 원인이 되고 있다. 예를 들어, 가장 일반적으로 사용되는 전자수송물인 Alq₃의 전자이동도 (Electron Mobility)는 가장 일반적으로 사용되는 정공수송 유기물질인 α-NPD의 정공이동도보다 약 100배 작다 (그림 4). 따라서 구동전압을 감소시키기 위해선 전자이동도가 우수한 물질의 개발이 필요하다.

Alq₃보다 전자이동도가 높은 물질로는 BPhe,

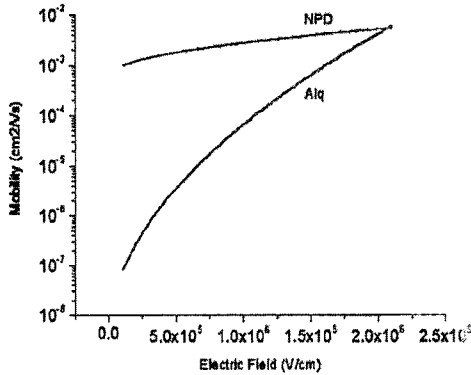


그림 4. 전기장에 따른 α-NPD의 정공 이동도 및 Alq₃의 전자이동도.

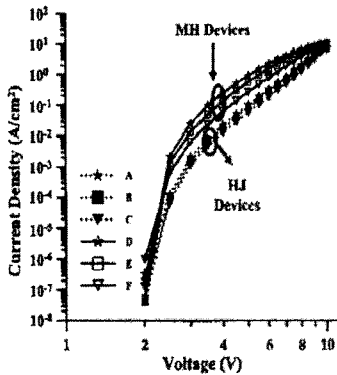


그림 5. 정공수송재료와 전자수송재료의 혼합에 의한 혼합호스트 (Mixed Host) 구조의 전류-전압 특성 [5].

Bebq₂ 등이 알려져 있다. BPhen의 전자이동도는 약 $3 \sim 4 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 알려져 있으며, Beq₂ 또한 Alq₃보다 약 10배 이상 전자이동도가 큰 것으로 알려져 있다. 하지만 전자이동도는 여전히 α-NPD와 같은 물질의 정공 이동도에 비해 낮다. 따라서 기존의 재료를 이용하여 구동전압을 낮추기 위한 방법으로 정공수송층과 전자수송층을 혼합하여 사용하는 방식이 제안되고 있다. 그림 5는 이러한 방식의 한 예로, Lee 등은 정공수송능력이 우수한 NPB와 전자수송능력이 우수한 Beq₂를 혼합하는 호스트 구조 (Mixed Host)를 사용하면 기존의 헤테로 (Hetero Junction) 구조보다 훨씬 큰 전류밀도를 낮은 전압에서 구현할 수 있는 것으로 알려져 있다 [5]. 이러한 구조에 의해 3 V의 구동전압에서 10 mA/cm² 이상의 전류밀도를 얻을 수 있었다.

OLED의 구동전압을 낮추기 위한 다른 방식으로, 전하주입 혹은 수송재료에 전기적으로 도핑하는 방식이 제안되고 있다 [6]. 그림 6은 이러한 방식을 이용한 p-i-n OLED의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 정공 주입층에 p형 도판트인 F4TCNQ를 도핑하고 전자수송층에 Li를 도핑함에 의해, 전하의 주입 특성이 향상되며, 전하의 전기전도도가 향상되어 낮은 전압에서 높은 전류를 얻을 수 있다. p-i-n 소자는 그림에서처럼 약 3 V에서 20 mA/cm²의 전류밀도를 얻을 수 있으며, 이에 의해 낮은 전압에서 높은 휘

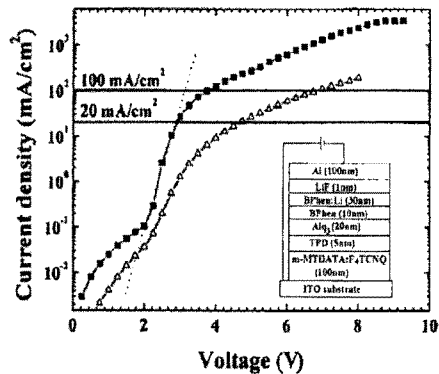
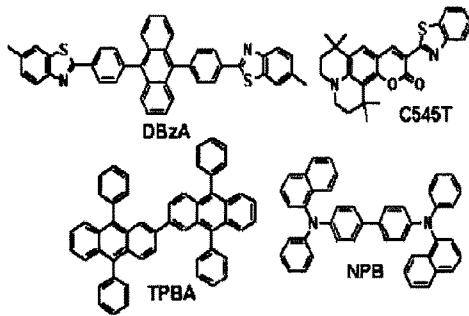


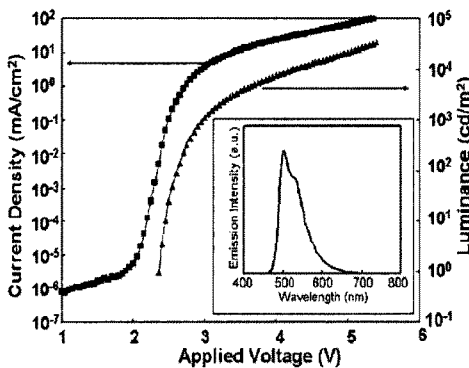
그림 6. p-i-n OLED의 전류밀도-전압 특성 및 소자 구조 [6].

도를 구현할 수 있다. 하지만, 전하 수송재료에 도핑한 도판트는 발광층 내로 확산하여 발광층에서 생성된 여기자가 빛으로 전환되지 않고 소멸되는 현상이 생겨, OLED의 수명이 감소될 수 있다. 특히, 고온에서는 도판트의 확산이 더욱 심해 질 수 있어, 고온 신뢰성에 문제가 있을 수 있다. 따라서 Novaled 등의 도판트를 개발하는 그룹에서는 신뢰성이 우수한 도판트 재료의 개발에 연구를 집중하고 있다.

p-i-n 소자는 OLED의 구동전압을 획기적으로 감소시킬 수 있으나, 신뢰성에 문제가 있을 수 있으므로, 최근 산요(Sanyo)에서는 그림 7에 나타난 바와 같이 정공수송재료로 NPB를 사용하고 전자수송재



(a)



(b)

그림 7. NPB, TPBA, DBzA 및 C545T를 이용하여 제작한 OLED의 특성 [7].

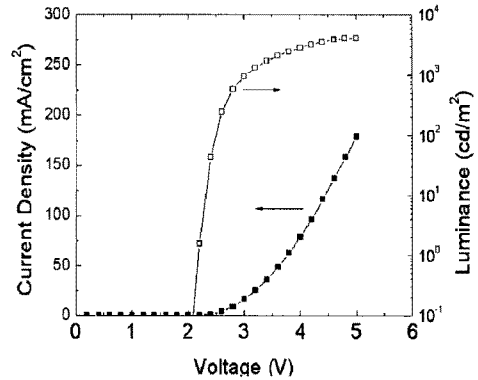


그림 8. 새로운 전자수송층을 이용하여 제작한 적색 인광 OLED의 전류-전압-휘도 특성.

료로 DBzA, 호스트 재료로 TPBA를, 녹색 형광 도판트로 C545T를 사용하여 낮은 전압에서 구동하는 소자를 제작하였다 [7]. DBzA 및 TPBA의 우수한 전자 주입/수송 특성에 의해 소자는 3V에서 수 mA/cm²의 전류밀도를 나타내었으며, 약 30 cd/A의 높은 효율에 의해, 3V에서 1000 cd/m²의 휘도를 구현할 수 있었다.

소자의 구동전압은 유기물에 인가되는 전기장의 배치와 관련이 깊다. 유기물에 인가되는 전기장은 전하의 주입 및 수송 특성에 의해 좌우된다. 그림 8은 전하의 주입 및 수송 특성이 우수한 새로운 전자수송층을 사용하여 제작한 인광 OLED의 전류밀도 및 휘도를 나타낸 것이다. 발광호스트로는 CBP를 이용하였으며, 적색 인광 도판트인 Ir(piq)₃를 도핑하였다. 새로운 전자수송층은 전하의 주입 및 수송 특성이 우수하여 낮은 구동전압에서 높은 전류밀도를 얻을 수 있으며, 따라서 낮은 전압에서 높은 휘도를 얻을 수 있다. 그림의 소자는 3V에서 16 mA/cm²의 높은 전류밀도를 나타내며, 3V에서 약 1000 cd/m²의 휘도를 나타낸다.

4. 결론

OLED는 광시야각 및 빠른 응답속도로 인하여 차세대 디스플레이로서 많은 기대를 받고 있으며, 고

휘도 및 고효율의 백색 및 다양한 색을 구현할 수 있어 차세대 고체 조명으로 관심이 집중되고 있다. OLED는 현재 핸드폰, MP3 플레이어, 소형 TV 등의 소형 응용기기에 주로 사용되고 있으나 향후 AMOLED를 중심으로 한 대면적 고해상도 디스플레이 및 차세대 면광원에 적용될 수 있을 것으로 기대되고 있다. OLED의 응용분야를 다양화하기 위해선 전력 효율이 우수해야 하며 이를 위해선 효율 향상 및 구동전압의 감소가 필수적이다. 구동전압을 감소시키기 위한 다양한 재료 및 소자 구조가 제안되고 있으며, 향후 OLED는 경쟁기술인 반도체 LED 및 LCD보다 낮은 전압에서 높은 전력 효율로 동작될 수 있을 것으로 기대된다.

저자|약력



성명 : 문대규

◆ 학력

- 1988년 연세대 세라믹공학과 공학사
- 1990년 KAIST 재료공학과 공학석사
- 1994년 KAIST 재료공학과 공학박사

◆ 경력

- 1993년 - 1998년 LG디스플레이 선임연구원
- 1999년 - 2000년 영국 Oxford 대학, post-doc.
- 2001년 - 2005년 전자부품연구원 책임연구원
- 2005년 - 현재 순천향대 디스플레이신소재공학과 교수

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett., Vol. 51, p. 913, 1987.
- [2] L. S. Hung, C. W. Tang, and M. G. Mason, Appl. Phys. Lett., Vol. 70, p. 152, 1997.
- [3] Z. Liu, O. V. Salata, and N. Male, Synth. Metals, Vol. 128, p. 211, 2002.
- [4] T. Wakimoto, Y. Fukuda, K. Nagayama, A. Yokoi, H. Nakada, and M. Tsuchida, IEEE Trans. Electron. Dev., Vol. 44, p. 1245, 1997.
- [5] J. H. Lee, C. I. Wu, S. W. Liu, C. A. Huang, and Y. Chang, Appl. Phys. Lett., Vol. 86, p. 103506, 2005.
- [6] J. Huang, M. Pfeiffer, A. Werner, J. Blochwitz, K. Leo and S. Liu, Appl. Phys. Lett., Vol. 80, p. 139, 2002.
- [7] K. Okumoto, H. Kanno, Y. Hamaa, H. Takahasi, and K. Shibata, Appl. Phys. Lett., Vol. 89, p. 063504, 2006.

