



Thema

| 전면발광(Top Emission) OLED 기술

문대규 교수
(순천향대 신소재공학과)

1. 서론

최근 정보화 사회에 들어서면서 언제 어디서나 많은 정보를 신속하고 정확하게 얻고자 하는 요구가 증가되고 있다. 특히 정보를 우리에게 직접 보여주는 디스플레이는 얇고, 가볍고, 크고 우수한 화질을 요구하고 있으며, 이러한 요구에 부응하여 CRT로부터 LCD, PDP, OLED 등의 평판디스플레이(FPD)로 기술이 발전하여왔다.

OLED는 양극과 음극사이에 놓여 있는 유기 재료에 전계를 가하여 전기 에너지를 빛으로 바꾸는 소자이다. 양극에서 주입된 정공과 음극에서 주입된 전자가 유기물에서 재결합되고 이때 생성되는 여기자(Exciton)가 기저상태(Ground State)로 되돌아가면서 특정 파장의 빛을 발광하게 된다. OLED는 이러한 발광기구로 인하여 LCD와 비교하여 응답속도가 빠르고 시인성이 우수하며 소비전력이 낮고 백라이트가 필요 없는 장점이 있다. 또한 다른 디스플레이에 비해 무게, 두께 등에 있어서 우월한 특성을 보이고 있어 차세대 디스플레이로서 높은 잠재력을 가지고 있다.

OLED는 LCD나 PDP 등에 비해 연구개발 역사가 짧다. 1987년 Eastman Kodak에서 현대적인 구조의 OLED 소자를 발표한 이후 많은 연구가 이루어져 왔으며 1990년대 중반 PMOLED(Passive Matrix OLED) 제품이 최초로 출시되었으며 본격적인 생산이 이루어지고 있고, 2000년대에 들어서 AMOLED(Active Matrix OLED) 제품이 출시되었으며 본격적인 생산을 앞두고 있다. AMOLED의 제품화는 2~3인치 급의 소형 고해상도 디스플레이를 중심으로 시작될 것으로 전망되고 있다. 소형 고해상도 디스플레이는 인치당 픽셀의 수가 많고 픽셀 피치가 작기 때문에 개구율 측면에서 유리한 전면발광(Top Emission) OLED로 관심이 집중되고 있다. 본 논문에서는 TEOLED의 필요성, 기술 현황 및 전망에 대하여 살펴보고자 하겠다.

2. AMOLED 기술과 TEOLED

OLED는 구동 방식에 따라 PMOLED와 AMOLED로 구분된다. 현재 상용화되어 있는 제품은 대부분 PMOLED로 직교하는 양극 배선과 음극 배선 사이에 유기물이 삽입되어 있는 구조로 되어 있다. PMOLED는 2인치급 이상의 고해상도의 디스플레이 구현이 어려운 단점이 있어 MP3 플레이어, PMP (Portable Multimedia Player), 핸드폰용 보조 디스플레이 등에 주로 응용되고 있다. 이에 비해 AMOLED는 각 화소마다 TFT 및 Capacitor로 이루어진 화소

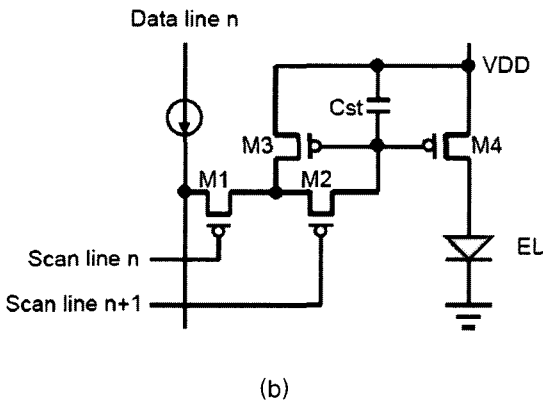
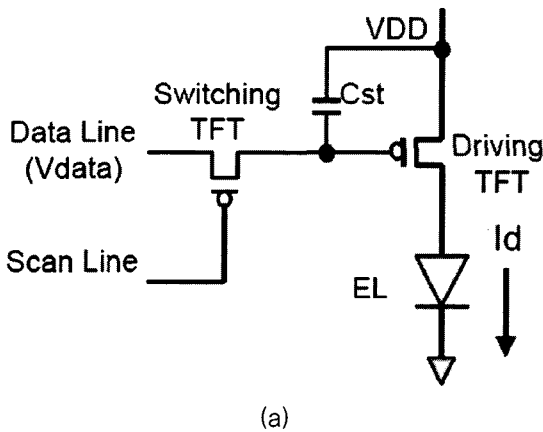


그림 1. OLED 화소 구동을 위한 TFT 회로((a)2TFT 구동회로, (b)4TFT 보상회로(Sony)).

구동회로가 놓여 있어 각각의 화소를 조절하게 되므로 소비전력이 작고 우수한 화질의 구현이 가능하여 2인치 이상의 고해상도 디스플레이에 주로 채용될 것으로 기대되고 있다. OLED는 전류량에 따라 휘도가 변화하는 특성을 가지고 있기 때문에 화소의 구동을 위해선 그림1에서처럼 최소 두개의 TFT가 사용되게 된다. 하나는 스위칭 TFT이며 다른 하나는 전류제어를 위한 구동 TFT이다. 스위칭 TFT는 구동 TFT의 게이트와 연결되어 일정한 전압을 구동 TFT에 인가하여 구동 TFT에 연결된 OLED 소자에 일정 전류가 흐르도록 한다.

AMOLED의 구현을 위한 TFT Backplane의 활성층(Active Layer)으로는 LTPS (Low Temperature Poly-Si)와 a-Si (Amorphous Si)이 주로 사용되고 있다. LTPS TFT는 전하의 이동도가 커서 전류 공급 능력이 우수하며, TFT의 신뢰성이 비교적 우수하지만, 다결정 Si 입자 크기가 균일하지 않아 각각의 화소마다 공급되는 전류가 다르기 때문에 휘도가 불균일하게 되는 어려움이 있어 그림1에서처럼 4개 ~ 8개의 TFT로 이루어진 보상회로가 개발되고 있다. 하지만 TFT의 개수가 증가함에 따라 보상회로가 차지하는 영역의 증가로 인해 개구율이 낮아지는 문제가 있다. 이러한 개구율의 감소는 픽셀의 크기가 작을수록 TFT가 차지하는 영역이 상대적으로 커지기 때문에 더욱 심하게 되어 인치당 화소의 수가 많은 고해

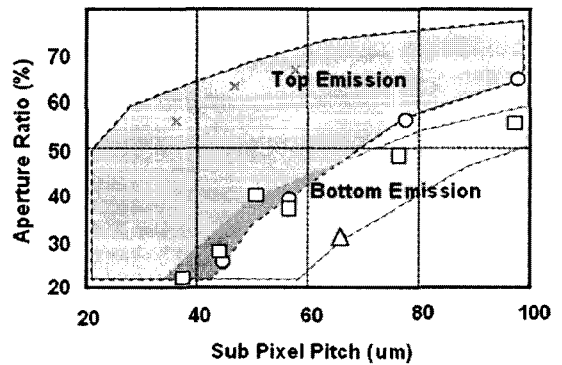


그림 2. 전면발광 OLED와 배면발광 OLED의 픽셀피치에 따른 개구율 변화(Sanyo).

상도 디스플레이 개발에 어려움을 주고 있다. a-Si TFT는 제조공정이 단순하고 제조 가격적인 측면에서 LTPS TFT에 비해 유리하지만 전하의 이동도가 작기 때문에 충분한 전류를 얻기 위해선 TFT의 크기가 증가해야 하며, TFT의 신뢰성이 낮아 이를 개선하기 위해서 3~8개의 보상회로가 필요하여 개구율이 낮아진다. 따라서 AMOLED에 필수적인 LTPS 혹은 a-Si TFT Backplane의 사용 시 개구율이 낮아지는 문제가 있다. 개구율의 감소는 AMOLED 디스플레이의 소비전력 증가와 수명 감소의 원인이 된다. 따라서 기판의 반대 방향으로 발광하는 OLED 구조를 택하게 되면 그림2에서처럼 배면발광 OLED에 비해 개구율이 크게 증가하여 고해상도, 저소비전력, 장수명의 AMOLED의 제작이 가능하다. 또한 TFT를 이용한 화소 구동회로 설계에도 많은 자유도를 가질 수 있다.

3. TEOLED 요소기술

Top Emission OLED는 2001년 소니에서 처음으로 제안한 방식이다. 소니는 TEOLED를 이용하여 13인치의 AMOLED 패널을 처음으로 개발하여 OLED의 개발에 한 획을 그었다. TEOLED는 기존의 그림3에서처럼 BEOLED (Bottom Emission OLED)와는 달리 빛이 기판의 반대방향으로 향하기 때문에

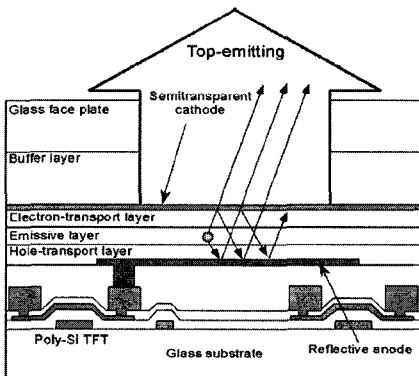


그림 3. 전면발광을 이용한 AMOLED의 단면 구조(소니).

양극이 빛을 투과하지 않아야 하며 음극 쪽은 빛이 투과되도록 해야 하기 때문에, 반사도가 높은 음극, 투명한 음극, 투명한 봉지 등을 필요로 한다.

TEOLED의 양극으로는 반사율이 높고 전기전도도가 우수해야 하며, 소자 제작시 유기물과의 계면 및 부착 특성이 좋아야 하며 정공의 주입 특성 또한 우수해야 한다. 연구되고 있는 양극으로는 반사율이 큰 Al과 ITO를 이중층으로 형성하여 사용하거나 일함수가 큰 Ni, Au, Pt 등을 사용하는 것이 연구되고 있다. 가시광선 영역에서 반사율이 큰 물질인 Al, Ag는 일함수가 낮아 정공을 유기물내로 주입하는 능력이 떨어지게 된다. 따라서 일함수가 큰 물질인 ITO를 금속 전극위에 형성하여 사용하게 되는데 이 경우에는 Al과 ITO, Al과 음극간의 마이크로 캐비티 (Micro Cavity) 효과 때문에 정확한 스펙트럼이 나오지 않고 파장이 변하거나, 스펙트럼의 모양이 변하여 색좌표와 휘도의 변화가 야기될 수 있다. 따라서 이 경우에는 전극간의 거리와 ITO의 두께 제어가 중요한 변수가 된다. 소니에서 처음 개발 시에 적용한 Cr의 경우에도 반사율이 50% 이하로 낮고 일함수도 ITO보다 낮아서 ITO를 부가적으로 사용해야 하는 단점을 가지고 있다. Ni은 일함수가 5.1 eV로 ITO보다 높고 비교적 안정하며 공정이 쉬운 장점을 가지고 있으나 가시광선 영역에서 반사율이 50~60%로 비교적 낮은 단점이 있다. Au의 경우에도 금 자체의 색에 의하여 소자 제작시 착색이 일어날 수 있고 Pt과 더불어 고가의 재료이며 공정이 쉽지 않아 양극으로 적용하기가 쉽지 않다.

TEOLED의 음극 형성기술은 유기물의 손상, 투과도, 전기전도도, 전자주입 특성 등 고려해야 될 사항이 많기 때문에 TEOLED의 구현에 있어서 가장 어려운 기술 중의 하나로 인식되고 있다. 투명음극으로 가장 널리 이용되는 방식은 ITO나 IZO를 이용하는 방식과 금속을 얇게 증착하여 이용하는 방식이 단독 또는 복합적으로 사용되고 있다. 투명전극으로 많이 사용되는 ITO나 IZO는 투과율과 전기전도성은 우수하나 일함수가 높고 스퍼터링 방법에 의하여 성막하여야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 ITO를 증착하기 전에 일함수가 낮은 금속을 아주 얇게 성막하는 방식이 일반적으로 사용되고 있다.

Princeton 대학의 Forrest는 Mg:Ag를 얇게 증착하고 이 위에 ITO를 증착하는 방법으로 투명 음극을 제작한 바 있다. 이러한 전자 주입층의 삽입은 ITO의 스퍼터링시 플라즈마로 인한 유기물 손상을 줄여 주는 역할도 동시에 수행한다. 하지만 얇은 금속을 삽입하는 방법으로는 ITO의 스퍼터링시 유기물 손상을 막을 수 없어 유기물 층과 음극 박막 사이에 CuPc 등의 버퍼막을 삽입하는 구조 또한 제안되었다. 하지만 이러한 방식 또한 플라즈마 손상을 막는데는 한계가 있다. 따라서 ITO와 같은 투명전도성산화막(TCO)을 성막하지 않고, 아주 얇은 금속 박막만을 열증착에 의해 증착하여 유기물에 손상을 주지 않고 기존의 음극 제조공정과 호환성을 가지는 투명 음극을 제작하려는 연구가 진행되고 있다. 불투명하고 반사도가 높은 금속이라고 할지라도 박막으로 점차 얇아지면 투명해지는데 이 두께를 Optical Skin Depth라고 하며 대략 20 nm 이하가 되면 투명해지기 시작하며 각 금속마다 차이가 있다. 이를 이용하여 일함수가 작은 금속을 아주 얇게 증착하여 ITO와 같은 TCO없이 사용하려는 연구가 진행되고 있다. 주로 사용되는 물질로는 LiF/Al, Mg:Ag, Ca/Ag 등이 있다. 배면발광 OLED에서 주로 사용되는 음극인 LiF/Al은 10 nm 정도로 아주 얇더라도 가시광선 영역에서 투과도가 24%로 낮아 전면발광 OLED에 사용되기에는 한계가 있다. Mg:Ag 또한 투과도가 낮

아 전면발광 OLED의 효율을 저하시키는 문제가 있다. Ca/Ag 이중층 구조는 Ca 및 Ag의 두께가 각각 10 nm 정도로 얇으면 Ag 단일층보다 높은 약 70% 이상의 투과도를 나타내며 면저항이 ITO의 면저항과 유사하며, 유기물과 접촉하고 있는 Ca의 일함수가 작기 때문에 전자의 주입 특성 또한 우수하여 양산 적용에도 유리한 것으로 알려져 있다.

TEOLED의 소자구조 최적화는 전면발광 방식뿐만 아니라 OLED의 개발에 있어서 필수적인 요소이다. 가장 우수하다고 알려진 정공주입층, 발광층, 전자주입층 등을 형성한다고 할지라도 이것들의 각 재료간의 관계나 두께가 최적화되지 않거나, 각각의 물질에 대한 올바른 선택이 없이는 특성이 좋은 소자를 기대하기는 어렵다.

TEOLED를 위해선 투명봉지 기술 또한 중요하다. 배면발광 OLED에서 일반적으로 사용하는 금속캡이나 흡습제는 TEOLED에 사용되기 쉽다. 금속캡의 경우에는 유리캡으로 대체할 수 있으며 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있으나 투명 흡습제의 개발은 미진한 실정이다. 흡습제로는 BaO나 CaO 등의 물질이 사용되고 있으나 투명하지 않으며, 몇 가지 바인더를 이용하여 시트의 형태로 만들고 접착제를 이용하여 캡에 부착되는데 통상적으로 상용화된 제품은 검정색의 테이프 형태로 되어있다. 따라서 이러한 흡습제는 TEOLED용으로 사용될 수 없어 투명하면서도 산소와 수분을 흡수하고 침투를 막을 수 있는 새로운 물질이 요구되고 있다. 일부 기업에서 이에 대한 연구를 진행하고 있으나 아직 만족할만한 수준에 이르지 못하고 있다. 따라서 흡습제를 이용한 캡방식 보다는 OLED 소자위에 직접 박막 혹은 후막의 형태로 봉지하는 방법이 연구되고 있다. 소니에서 2004년에 PDA용으로 출시한 TEOLED 패널에서는 보호층위에 유리를 덮고 접착제로 밀봉한 하이브리드 방식을 적용하였으며 최근 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

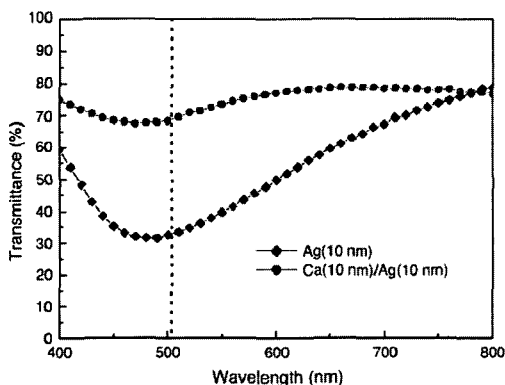


그림 4. Ag 금속 및 Ca/Ag 금속의 파장에 따른 광투과도(KETI).

4. 결론

OLED는 우수한 디스플레이 특성으로 인하여 차

세대 디스플레이로서 많은 기대를 받고 있으며 많은 연구개발이 이루어지고 있다. 현재는 주로 핸드폰, MP3 플레이어 등의 소형기기에 PMOLED를 중심으로 적용되고 있으나 향후 AMOLED를 중심으로 대면적 고해상도 디스플레이에 적용될 수 있을 것으로 기대되고 있다. 고해상도, 저소비전력, 장수명의 OLED를 적용하기 위해 필수적인 능동구동 방식은 다수의 TFT로 이루어진 픽셀구동회로에 의한 개구율 감소가 필연적이며 이에 대한 현재까지의 유일한 해결 방안은 TEOLED를 이용하는 것이다. TEOLED는 중소형의 고해상도 AMOLED 패널 구현을 위한 핵심기술이 되고 있는데 비해 아직 기술완성도가 낮아 많은 연구개발을 필요로 하고 있다.

2006년은 AMOLED의 본격적인 상용화가 이루어지는 원년으로 인식되고 있다. AMOLED의 성공적인 상용화를 위해선 TEOLED 기술 향상이 필수적이며 이를 위해선 전극 재료, 소자 구조, 봉지기술, 회로 설계 기술 등의 요소 기술 개발이 더욱 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett., Vol. 51, p. 913, 1987.
- [2] L. S. Hung and C. W. Tang, Appl. Phys. Lett., Vol. 74, p. 3209, 1999.
- [3] T. Sasaoka, et. al., SID 2001 Digest, p.384, 2001.
- [4] L. S. Hung, C. W. Tang, M. G. Mason, R. Raychudhuri, and J. Madathil, Appl. Phys. Lett., Vol. 78, p. 544, 2001.
- [5] L. S. Hung, J. Madathil, Thin Solid Films, Vol. 410, p. 101, 2002.
- [6] C. J. Lee, D. G. Moon and J. I. Han, SID 2003 Digest, p. 533, 2003.
- [7] H. Riel, S. Karg, T. Beierlein, and W. Rieb, J. Appl. Phys., Vol. 94, p. 5290, 2003.
- [8] D. G. Moon, R. B. Pode, C. J. Lee and J. I. Han, Appl. Phys. Lett., Vol. 85, p. 4771, 2004
- [9] R. B. Pode, C. J. Lee, D. G. Moon, and J. I. Han, Appl. Phys. Lett., Vol. 84, p. 4614, 2004
- [10] D. G. Moon, R. B. Pode, C. J. Lee, J. I. Han, Mat. Sci. & Eng. B, Vol. 121, p. 232, 2005

저자약력



성명 : 문대규

◆ 학력

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

◆ 경력

- 1993년 - 1998년 LG필립스CD 선임연구원
- 1999년 - 2000년 옥스퍼드대학 연구원(Post. doc.)
- 2001년 - 2005년 전자부품연구원 책임연구원
- 2005년 - 현재 순천향대 신소재공학과 교수

