

유기발광다이오드 (OLED) 디스플레이 기술 동향

□ 이창희 /서울대학교 전기·컴퓨터공학부 부교수

서론

유기 발광다이오드 (Organic light-emitting diode; OLED)는 유기반도체의 우수한 발광 특성을 이용한 디스플레이로서, 1982년 미국 Kodak 사의 C. W. Tang 박사에 의해 발명되었고[1], 현재 소형 휴대용 전자제품에 적용되기 시작하고 있는 가장 유망한 차세대 평판디스플레이 기술이다[2]. OLED 디스플레이는 LCD와 달리 자체 발광형이므로 백라이트 (backlight unit)가 필요 없다. 따라서 디스플레이 구조가 단순하고, 유리 한 장 정도의 두께 (~1 mm)를 가지는 초박형, 초경량 디스플레이이다. 또한 OLED는 양면으로 빛을 나오게 하거나 투명하게 만들 수도 있다. 또한, 플라스틱 기판 위에 제작하여 휘거나 둘둘 말 수 있게도 만들 수 있어서 플렉서블 디스플레이에도 가장 적합한 기술이다. 그리고 다른 디스플레이와 비교했을 때 제조 공정이 간단하여 생산비용을 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 5 V이하의 구동 전압에서 1000 cd/m² 이상의 휘도를 나타내며, 1000 cd/m²의 휘도를 기준으로 했을 때 녹색 OLED 소자는 110 lm/W, 백색 OLED 소자는 25 lm/W 수준의 발광효율을 보이고 있어서 여러 디스플레이 기술 중에서 가장 우수한 발광 효율을 가지고 있다. 그리고 거의 180도에 가까운 시야각을 가지고 있고, 화소의 응답속도가 마이크로 초 수준으로 빠

르기 때문에 고화질의 동영상 생동감이 있게 표현할 수 있다.

이와 같은 우수한 특성 때문에 OLED가 가장 유망한 차세대 평판디스플레이 기술로 부상함에 따라 현재 전 세계적으로 약 130여개의 업체가 OLED 디스플레이 및 관련 재료, 부품, 및 장비의 개발에 나서고 있다[2]. 이미 휴대폰, 디지털 카메라, PDA, MP3, PMP (portable multimedia player) 등의 소형 휴대용 정보 기기에 OLED를 사용한 제품이 나오고 있고, 2005년 5월에 개최된 미국 SID학회에서 삼성전자는 40인치 AMOLED 디스플레이를 발표하여 큰 주목을 끌었다. 이 글에서는 차세대 디스플레이 기술로 주목받고 있는 OLED 디스플레이에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

유기발광재료 및 OLED 디스플레이의 구조

OLED 디스플레이는 유기반도체에 순방향으로 전압을 인가하면 주입된 전자와 정공이 빛을 내며 재결합하는 전기발광 (electroluminescence) 현상을 이용한 디스플레이이다 [3-5]. [그림 1]에 나타난 것과 같이 OLED 소자에 순방향의 전압을 가하면 양극에서는 Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO)로 정공이 주입되고, 음극에서는 Lowest Unoccupied

Molecular Orbital (LUMO)로 전자가 주입된다. 주입된 정공과 전자는 발광층으로 이동하여 쿨롱 힘으로 결합하여 엑시톤 (exciton)을 형성하여 빛은 내면서 바닥상태로 전이한다.

OLED는 발광층에 사용되는 재료에 따라 크게 저분자 (small molecule) OLED와 고분자 (polymer) OLED로 구분할 수 있다. 대표적인 유기 저분자 물질은 1987년 Kodak사에서 발표한 녹색발광 재료인 tris-(8-hydroxyquinoline)aluminum (Alq₃)이며 [그림 1], 대표적인 발광 고분자로는 1990년 Cambridge 대학에서 발

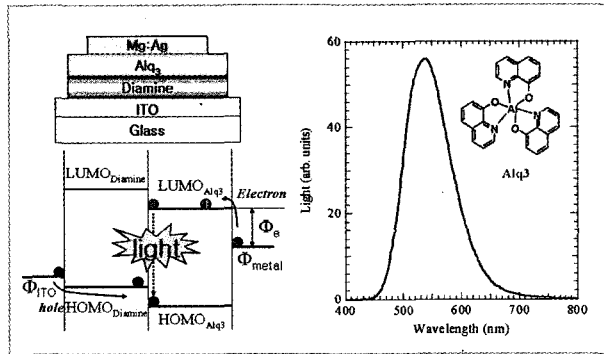


그림 1 코닥의 C. W. Tang 등이 1987년에 발표한 녹색 발광 OLED 소자의 구조 및 전기발광 스펙트럼과 Alq₃의 화학구조[1]

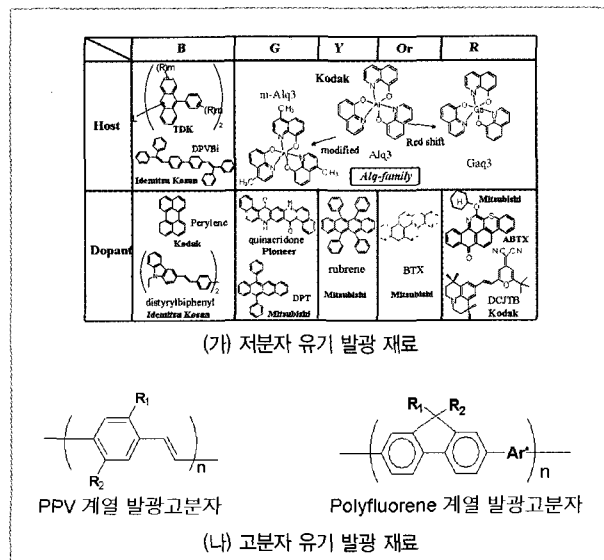


그림 2 OLED 디스플레이에 사용되는 유기 발광 재료의 화학구조

표한 poly(p-phenylene vinylene) (PPV)가 있다 [6]. 그리고 발광 효율을 증가시키거나 색을 조절하기 위해 발광층에 형광 색소 또는 인광 색소를 도핑한다 [7,8]. [그림 2]에 여러 색의 저분자 및 고분자 유기 발광재료의 예를 나타냈다. 저분자 재료는 미국의 Kodak과 일본의 Idemitsu-Kosan, Mitsubishi Chemical, TDK, Pioneer, Kyushu 대학, Yamagata 대학 등에서 활발히 연구하고 있다. 전기인광 재료는 미국의 USC와 Princeton 대학, 벤처기업인 UDC 등을 중심으로 연구 개발이 이루어지고 있다. 발광 고분자는 영국 CDT, 독일 Covion, 미국 Dow Chemical 등에서 개발하고 있다.

화소를 구성하는 OLED 소자는 양극과 음극 사이에 두께가 100 ~ 200 nm 정도인 유기 박막 층이 있는 구조로 되어 있다. 양극 전극으로는 일반적으로 투명하고, 일함수가 높은 ITO 전극을 사용한다. OLED는 전하 주입형 발광소자이기 때문에 각 계면간 전하 주입 효율이 소자의 성능에 가장 큰 영향을 주는 요인이다 [9]. 따라서 정공 주입 효율을 향상시키기 위해서는 ITO/유기반도체 접합계면에서의 에너지 장벽이 낮게 해야 한다. 이와 같은 목적을 위한 전처리 기술로는 자외선을 이용하여 생성된 오존을 통해 ITO 표면을 산화하는 방법과 플라즈마에 의해 생성된 산소 라디칼을 이용하여 ITO 표면을 산화하는 방법 등이 사용되고 있다. 또한 양극과 정공 전달층 사이에 정공주입층 (PEDOT:PSS 또는 Cu-PC 등)을 추가하여 정공 주입의 에너지 장벽을 낮추고, 음극과 전자 전달층 사이에는 약 0.5 ~ 1 나노미터 정도의 LiF, Li₂O, CsF 등과 같은 전자 주입층을 삽입하여 전자 주입을 향상시켜 발광 효율을 증가시킨다. 음극 전극으로는 일반적으로 일함수가 낮은 Li, Ca, Ba 등 알칼리 금속 또는 Mg, Ag, MgAg, LiAl, LiF-Al 등이 주로 사용되고 있다.

한편 OLED는 발광 원리에 따라 단일항 엑시톤 (singlet exciton)의 발광을 이용하는 형광

(fluorescence) OLED와 삼중항 엑시톤 (triplet exciton)의 발광을 이용하는 인광 (phosphorescence) OLED로 구분할 수 있고, [그림 3]에 나타낸 것과 같이 화소 (pixel)의 구성 및 구동방법에 따라 수동 행렬 (passive-matrix)과 능동 행렬 (active-matrix) OLED로 구분할 수도 있다.

PMOLED는 양극과 음극의 교차되는 부분이 화소를 형성하는 단순한 구조로 되어 있고, AMOLED는 각 화소에 TFT가 있는 구조로 되어 있다. PMOLED는 짧은 시간 동안 선택된 OLED 화소를 높은 휘도로 발광하도록 하므로 해상도가 높아지면 순간 발광 휘도가 더욱 높아져야 한다. 따라서 소자의 열화 및 전력 소모 등의 단점 때문에 대면적 디스플레이로는 부적합하다. 이에 반해 AMOLED 방식의 경우에는 낮은 전류로 구동이 가능하여 소비전력 및 표시 해상도 측면에서 유리하다.

[그림 4]에 나타낸 것과 같이 AMOLED는 빛이 TFT 기판 쪽으로 나오는 하부 발광 (bottom emission) 방식과 TFT 기판 위로 빛이 나오는 상부 발광 (top emission) 방식, 양쪽으로 모두 빛이 나올 수 있는 양면 발광 (both-side emission 또는 dual emission) 방식으로 나눌 수 있다. 하부 발광 구조는 화소 내의 TFT 회로에 의해 빛의 일부가 가려지는 구조로 되어 있으므로 개구율이 낮아진다. 그런데 상부 발광 구조는 화소의 TFT 회로에 의해 방출되는 빛이 가려지지 않으므로

높은 휘도를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 경우 미소공진 효과 (microcavity effect)가 있어서 유기 박막의 두께 및 시야각에 따른 발광 스펙트럼의 변화 등이 있어서 이런 효과를 고려한 효과적인 화소 구조 설계가 요구된다. 또한 투명 음극 재료의 개발과 투명 박막 봉지 기술의 개발 등이 필요하다.

OLED 소자 제작 방법

낮은 전압에서 높은 휘도를 내며 안정적으로 동작하는 OLED 소자를 제작하기 위해서는 두께가 균일하며 결합이 없는 유기 박막을 제작해야 한다. OLED를 제작하는 방법은 유기 저분자 물질을 사용하는 경우는 진공 증착 방법을 사용하고, 고분자 물질은 잉크젯 프린팅 (ink-jet printing) 방법을 주로 사용한다. 그리고 레이저 전사법 (Laser induced thermal image, LITI) 방법, 스크린 인쇄 (screen printing), 롤 코팅 (roll-to-roll coating) 방법 등의 다양한 제조 기술이 시도되고 있다 [10].

저분자 OLED의 경우 [그림 5]에 보인 것과 같이 주로 10^{-7} torr 이하의 진공 상태에서 증발원을 가열하여 승화 또는 기화되는 유기 분자를 새도우 마스크를 통하여 기판에 증착하는 방법을 사용한다. 한 가지 색깔의 화소 (줄 또는 점 모양)에 해당되는 열린 부분이 있는 새도우 마스크를 사용하여 한 색깔의 화소를 기판에 증착하고, 한 칸 씩 옆으로 이동하며 다음 색 화소를 증착하는 방법으로 R·G·B 화소를 형성한다. 이 방법으로 OLED 디스플레이를 양산하려는 연구는 주로 한

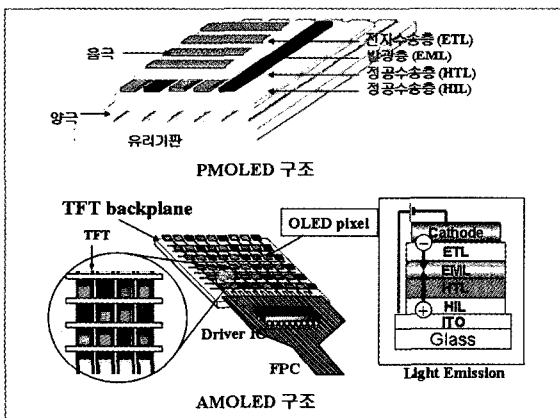


그림 3 OLED 디스플레이의 구조

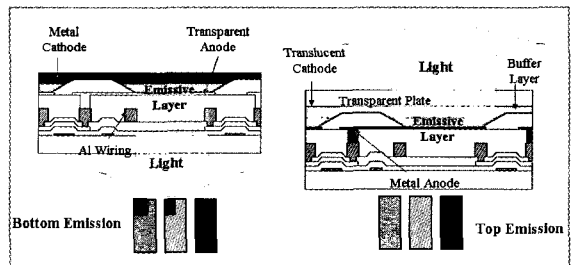


그림 4 하부 발광 (bottom emission)과 상부 발광 (top emission) 소자 구조

국, 일본, 대만, 중국을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 이미 휴대폰, PDA, MP3, 또는 디지털카메라 등과 같이 소형 휴대용 정보기에 장착되는 디스플레이용으로 양산화에 성공했다. 그리고 이미 2세대 기판 크기 (370 × 470 mm²)를 넘어서 4세대 기판 크기 (730 × 920 mm²)의 양산 설비가 구축 중에 있다.

고분자는 용매에 녹는 경우가 많으므로 일반적인 포토리소그래피 방법으로 패턴을 형성하기 어렵다. 그래서 영국 CDT와 일본의 세이코-엡슨 등은 잉크젯 프린팅 방법으로 고분자 OLED 화소를 형성하는 기술을 개발했고, Litrex 등에서 양산장비를 개발하고 있다. [그림 5]에는 보인 것과 같이 포토리소그래피 방법으로 각 화소의 격벽을 만들고, 잉크젯 프린팅 방법으로 R·G·B 고분자를 프린팅한다. 이 방법을 이용하여 고분자 LED 디스플레이를 양산하기 위해서는 노즐에서 분사되는 잉크의 양, 속도, 분사 각도의 균일도 등을 정밀하게 조절할 수 있어야 하고, 인쇄된 유기 박막 두께가 균일해야 한다.

고분자를 패턴닝할 수 있는 다른 방법으로 삼성SDI와 미국의 3M사가 공동으로 개발한 레이저 전사법

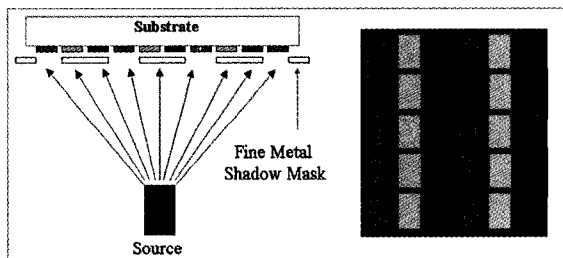


그림 5 진공 증착 방법을 이용한 OLED 화소 제작 방법

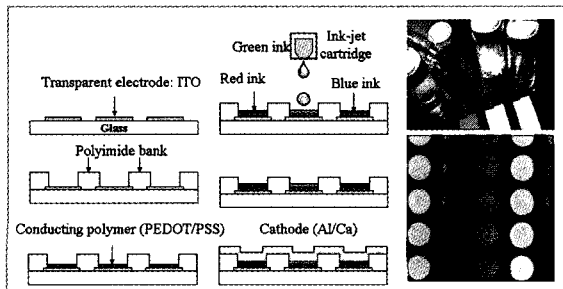


그림 6 잉크젯 프린팅을 이용한 OLED 디스플레이 제작 방법

(LITI)이 주목받고 있다. LITI 방법은 TFT 기판 위에 화면을 구성하는 RGB 고분자 또는 저분자 유기화합물을 레이저 빔을 이용해 순서대로 코팅하는 기술이다. 이 방법은 잉크젯 프린팅 기술보다 유기화합물을 정확하고 균일하게 입힐 수 있기 때문에 화질이 선명해지고 유기화합물의 수명을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 고분자의 경우에는 스크린 프린팅 방법으로 유리 기판뿐만 아니라, 천, 종이 등에도 인쇄할 수 있어서 다양한 종류의 플렉시블 디스플레이를 제작할 수 있다. 그러나 스크린 인쇄법은 이제 가능성을 보인 정도이므로 인쇄의 균일도 및 양산성 등에 많은 연구가 필요하다. 이와 같은 다양한 제조 기술이 개발되고 있고, 미국과 유럽을 중심으로 고분자 OLED에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있지만, 고분자 OLED는 아직 수명이 짧고 양산을 할 수 있는 단계에는 아직 이르지 못한 실정이다.

천연색 OLED를 만드는 방법은 [표 1]에 정리한 것과 같이 세 가지 방법이 있다. 첫째는 진공증착, 잉크젯프린팅, 또는 레이저 전사법을 사용하여 RGB 화소를 각각 형성하는 방식이다. 현재 가장 많이 사용하는 방식이다. 둘째는 백색발광소자를 이용하여 화소를 형성하고, 컬러 필터 (color filter)를 사용하여 RGB를 구현한다. 이 방식의 장점은 RGB 각각을 진공 증착하는 것보다 증착 횟수가 적고, 이미 LCD에 이용되고 있는 컬러 필터 기술을 이용할 수 있다는 점이다. 그러나 컬러 필터에 의한 흡수 때문에 휘도가 감소하는 단점이 있다.

표 1 천연색 OLED 디스플레이를 만드는 방법

	Emitting Layer		
Color Technology			
Company	Pioneer, NEC	TDK	Idemitsu Kosan
장점	높은 발광 효율 고해상도	LCD용 Color Filter 사용가능	유기층 패턴 불필요
과제	고효율 R, B 발광재료 미세 가공	백색 EL 효율 향상 White balance	높은 변환효율 CCM 개발

셋째는 청색발광소자를 이용하여 화소를 형성하고, 색 변환물질 (color changing medium, CCM)을 이용하여 청색, 녹색, 적색으로 변환하는 방식이다. 그러나 아직 청색발광소자의 수명이 낮은 단점이 있다.

OLED 디스플레이의 수명을 떨어뜨리는 가장 중요한 원인은 수분과 산소에 의한 소자의 열화 현상이다 [11]. 따라서 모든 공정에서 산소 및 수분에 노출되지 않도록 엄격하게 제어해야 하며, 최종적으로 OLED 소자를 수분 및 산소 침투에 대해 봉지해야 한다. 이를 위해 [그림 7]에 보인 것과 같이 건조 질소 분위기에서 흡습제를 넣고, UV 경화제를 사용하여 금속 또는 유리 캔으로 소자를 봉지하는 것이 일반적이다. 이 방법은 소자의 부피를 크게 할 뿐만 아니라 양산성을 크게 떨어뜨리기 때문에 새로운 봉지 방법을 개발하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그리고 차세대를 겨냥한 플렉서블 OLED는 기존의 금속 또는 유리 캔으로 봉지하는 방법을 사용할 수 없기 때문에 투습을 방지할 수 있는 막을 형성하는 기술의 개발이 필수적이다. 현재 개발이 진행되는 봉지용 박막의 구조는 미국 Vitex 사

등에서 사용하는 무기 및 고분자 박막이 번갈아 적층된 구조이다.

OLED 소자의 전기적 광학적 특성

OLED 소자의 전류-전압 (I-V) 특성에 영향을 주는 중요한 과정은 전하의 주입 (injection), 수송 (transport), 전자-정공의 재결합 (recombination) 등이다. OLED 소자에서 전극/유기반도체 계면에 포텐셜 에너지 장벽이 있는 경우 전하 주입은 열방출 (thermionic emission) 또는 터널링 (tunneling)에 의해 일어난다 [12]. 그런데 유기층/전극 계면에서의 에너지 장벽이 낮은 경우 OLED 소자의 전류-전압 특성은 전극에서의 전하 주입과정보다 전하이동도가 낮은 유기 반도체 내에서의 전하 수송에 의해 제한을 받는다. 이 경우 OLED 소자는 공간 전하 제한 전류 (space charge limited current, SCLC)의 전류-전압 특성을 나타낸다. 만약 유기반도체 내에 트랩 (trap)이 없다면 전류-전압 특성은 다음과 같은 Mott-Gurney 공식 (또는 Child law)으로 나타낼 수 있다 [12].

$$J = \frac{8}{9} \epsilon_0 \epsilon \mu_p = \frac{V^2}{d^3}, \quad (1)$$

여기서 ϵ 은 유기 반도체의 유전 상수이고, μ_p 는 정공의 이동도이다. 만약 유기반도체 내에 트랩이 지수 함수적인 분포를 한다면, 전류-전압 특성은 다음과 같이 시료의 두께와 전압에 대해 멱함수 (power law)의 의존성을 나타내며, 멱함수의 지수는 온도에 반비례한다 [12].

$$J \propto \frac{V^{m+1}}{d^{2m+1}}, \quad m = \frac{E_t}{kT}. \quad (2)$$

여기서 E_t 는 유기층의 HOMO와 LUMO 사이에 지수 함수적으로 분포되어 있는 트랩 에너지를 나타낸다.

최근 양극과 음극 계면을 각각 p-형 및 n-형으로 도핑한 OLED 소자

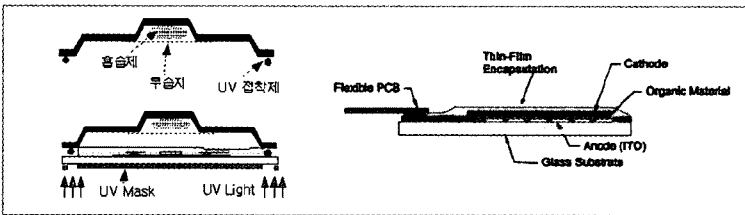


그림 7 OLED 봉지 방법: 금속 또는 유리를 이용한 봉지 방법 (좌)과 박막 봉지 방법 (우).

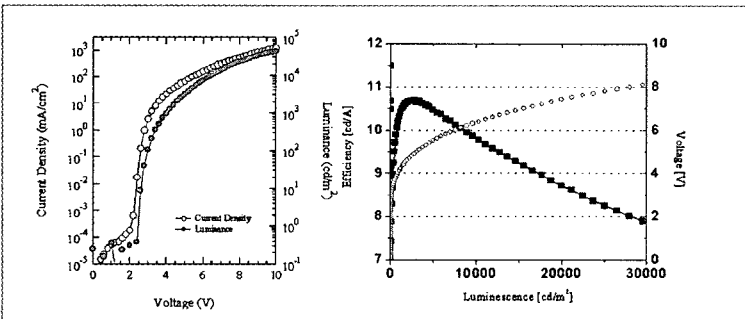


그림 8 전류-전압-휘도 특성과 발광 효율

는 밴드갭 이상의 전압인 2-3 V 수준의 낮은 전압에서 빛을 내기 시작하며 10 V 이하의 낮은 전압에서 수 만 cd/m²의 높은 휘도를 낸다. [그림 8]에 OLED의 전류-전압-휘도 특성과 발광 효율을 그래프로 나타냈다.

OLED 소자에서 외부로 방출되는 광자 수에 관한 외부 양자 효율 η_{ext} 은 $\eta_{ext} = \frac{1}{2n^2} \eta_{int}$ 로 나타낼 수 있다.

여기서 n 은 발광층의 굴절률, η_{int} 은 내부 양자 효율이다. 발광층에 쓰이는 유기 재료의 굴절율은 약 $n=1.6$ 이기 때문에, 외부 양자 효율은 내부 양자 효율의 약 20%이다.

OLED소자의 내부 양자 효율은 전극으로부터 주입된 전하 수에 대해 소자 내부에서 발생한 광자 수의 비율로 주어진다. 스핀 S=1/2인 전자와 정공이 발광층에서 엑시톤을 형성할 때, 두 스핀이 대칭으로 배열하는 S=1인 삼중항 상태 (triplet exciton) 와 두 스핀이 반대칭으로 배열하는 S=0인 단일항 상태 (singlet exciton) 가 3:1의 비율로 생성된다 [3]. 양자역학적 선택률 (selection rule)에 의하면 단일항 엑시톤은 빛을 내며 바닥 상태로 천이할 수 있는데, 이것을 형광 (fluorescence)이라고 한다. 그런데 삼중항 엑시톤이 단일항인 바닥상태로 빛을 내며 천이하는 것은 금지된다. 따라서 OLED 소자의 내부 양자 효율은 이론적으로 $\eta_{int} \leq 0.25$ 인 것을 알 수 있다. 그러므로 OLED 소자의 효율을 높이기 위해서는 빛을 내지 않고 낭비되는 75%의 삼중항 엑시톤을 효과적으로 발광하도록 해야 한다. 미국 Princeton 대학의 S. R. Forrest 교수와 USC의 M. E. Thompson 교수팀은 스핀-궤도 결합이 큰 유기 인광 색소를 이용하여 삼중항 상태에서도 효과적으로 빛을 내도록 하여 고효율 OLED 소자를 개발했다 [8]. 이와 같이 스핀-궤도 결합이 큰 유기 인광 색소를 도입하면 호스트에서 형성된 엑시톤은 인광 색소의 삼중항 상태로 전달되어 인광(phosphorescence)을 내며 바닥 상태로 전이한다. 이와 같이 삼중항 엑시톤을 모두 활용할 수 있으면 OLED 소자의 내부 양자효율의 이론적인 한계는 100%까지 올라 갈 수 있다 [14].

이와 같은 고효율 재료 및 소자 구조의 개발과 공정 기술의 발전에 힘입어 OLED 소자의 성능은 지난 십여

년 동안 급속한 발전을 이루었다. 현재까지 천연색 디스플레이를 구현하는데 필요한 빛의 삼원색인 적, 녹, 청색의 OLED가 모두 개발되었고 최대 발광효율도 녹색의 경우 110 lm/W 수준으로 무기 반도체 LED의 최대 효율을 능가한다. [그림 9]에 OLED 소자의 연도별 발전 추세를 무기 반도체 LED와 비교해서 나타내었다 [15].

이와 같이 OLED는 발광효율이 뛰어나므로 다른 디스플레이 기술보다 소비전력이 낮다. 또한 시야각이 넓으며, 화소의 응답속도가 마이크로 초 이하로 아주 빠르기 때문에 고화질의 동영상을 표현할 수 있다. [표 2]에 OLED와 다른 디스플레이의 특성을 비교해서 정리했다. 아직 수명은 개선이 필요하지만 전반적으로 대부분의 특성에서 다른 디스플레이보다 뛰어난 장점을 가지고 있기 때문에 가장 유망한 차세대 평판 디스플레이 기술로서 평가받고 있다.

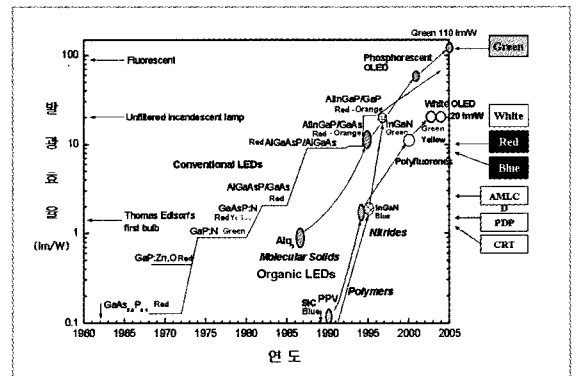


그림 9 OLED 소자의 발광효율의 연도별 발전 추세 [15]

표 2 OLED 디스플레이와 다른 디스플레이와의 비교

Classification	CRT	PDP	LCD	OLED
Large Size	□	⊙	○	○
High Resolution	○	○	⊙	⊙
Lumiance	Full Black	⊙	○	⊙
	Peak White	⊙	□	⊙
Contrast	Bright condition	□	□	◇
	Dark condition	⊙	○	⊙
Viewing Angle	⊙	⊙	○	⊙
Response time	⊙	○	□	⊙
Image Sticking	⊙	□	○	□
Color Fidelity	⊙	⊙	⊙	⊙
Power consumption	□	□	○	⊙
Weight/Thickness	◇	○	○	⊙
Lifetime	⊙	○	○	◇

⊙ Excellent ○ Good □ Fair ◇ Need to be improved

OLED 디스플레이 개발 현황 및 시장 전망

OLED가 가장 유망한 차세대 평판 디스플레이로 각광을 받으면서 전 세계적으로 100여개의 업체가 OLED 개발에 나서고 있어서 최근에 들어 발광 효율과 수명이 크게 향상되고 있고, 양산 공정 기술이 급속히 발전하고 있다. 이미 휴대폰, 디지털 카메라, PDA, MP3, PMP (portable multimedia player) 등의 소형 휴대용

정보 기기에 OLED를 사용한 제품이 나오고 있다. 그리고 2005년 5월에 개최된 SID학회에서 삼성전자가 40인치 AMOLED 디스플레이를 발표했다. [그림 10]에 대표적인 OLED 시제품을 연도별로 나타냈다. 따라서 OLED 디스플레이는 1인치급의 소형에서부터 40인치급 또는 그 이상의 대형 디스플레이에까지 사용될 수 있다. 그러므로 현재 평판디스플레이 시장의 대부분을 차지하고 있는 TFT-LCD와 크기 및 응용 영역이 비슷하여 향후 치열한 경쟁을 할 것으로 예상된다. 한편으

로는 양면발광 또는 투명한 디스플레이, 휘 수 있는 디스플레이 등의 특성을 이용하는 OLED만의 고유한 영역도 개척할 수 있을 것으로 예상된다.

평판디스플레이 시장 조사 기관인 iSuppli Corp.에서 2004년 9월에 예측한 자료를 [그림 11]에 나타냈는데, OLED의 2004년 세계 시장 규모는 4.29 억 달러 정도가 되고, 2010년에는 33억 달러에 이르며, 전체 평판디스플레이 시장의 4% 이상을 차지할 것으로 예측하고 있다[2]. 그리고 2004년 매출액을 기준으로 할 때 한국의 삼성 SDI (삼성 OLED 포함)가 전체 시장의 41%를 점유하여 세계 1위를 차지할 것으로 추정했다. 이어서 일본의 파이오니어가 36%의 점유율로 2위, 대만의 RiTDisplay가 15.5%로 3위를 차지하고, 고분자 OLED의 세계 1위 업체인 Philips는 약 2.9%를 차지할 것으로 추정했다. 그리고 현재 시장에 나와 있는 OLED 제품은 주로 휴대폰에 사용되는 단색 또는 컬러 PMOLED 제품이지만 2005년부터는 휴대폰용 AMOLED 제품이 시장에 나오기 시작해서 2008년부터는 가격 기준으로 PMOLED를 추월할 것으로 예측된다.

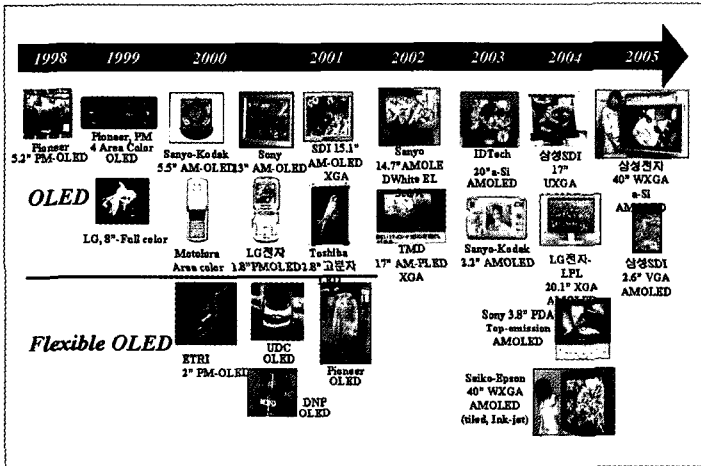


그림 10 OLED 시제품 개발 현황

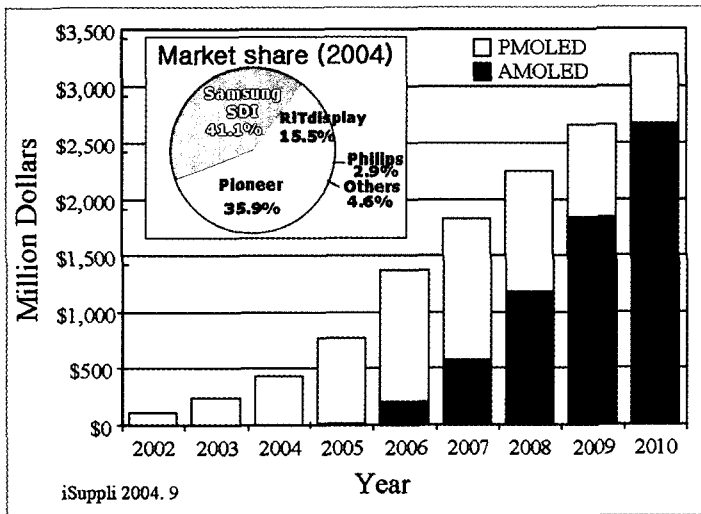


그림 11 OLED 시장 전망 및 2004년 시장 점유율

맺 음 말

OLED 기술은 기술 개발 역사가 짧음에도 불구하고, 현재 가장 유력한 차세대 평판 디스플레이 기술의 하나로 부각되고 있다. OLED는 고화질의 동영상을 표현할 수 있고, 다른 디스플레이 기술과 비교할 때 가격경쟁력이 우수하다. 그러나 OLED의 본격적인 상업화를 위해서는 아직도 해결해야 할 많은 과제가 있다. 예를 들면, 발광 재료 수명 연장 및 안정성 향상, 특히 청색과 적색 OLED 재료의 동작시간 향상, 봉지 기술 개발(특히 플라스틱 기판을 이용했을 경우의 수분 및 산소 침투 방지 방법), 균일한 유기 박막 제조 및 패턴 형성, 능동 구동용 저온 poly-Si TFT의 소자 균일성 문제, 전류 구동용 구동회로 설계 등이 시급히 해결되어야 한다. 그런데 OLED 기술의 발전 속도로 볼 때 수 년 내에 수명이 수 만 시간 이상으로 증가하고, 모든 특성에서 LCD와 경쟁할 수 있는 정도로 발전할 것으로 예측된다. 이와 같은 품질 및 가격 경쟁력을 확보하면 OLED는 소형 휴대용 디스플레이뿐만 아니라 TV 시장에도 빠르게 진입할 수 있을 것이다. 이와 같이 OLED가 유망한 차세대 디스플레이 기술로 부상함에 따라 전 세계적으로 OLED 개발에 대한 경쟁이 치열해 지고 있으며, 특히 한국, 일본, 대만, 중국이 OLED 시장을 두고 치열한 각축을 벌일 것으로 예상된다. 우리나라는 공정기술 측면에서는 세계적인 경쟁력을 가지고 있으나 아직 원천 기술과 핵심 부품·소재·장비는 아직도 대부분 선진국에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 이와 같은 원천 기술 개발에 힘써서 OLED에서도 세계 1위를 차지할 수 있도록 노력해야 할 것이다.

[참고문헌]

[1] C. W. Tang, Organic Electroluminescent Cell, US Patent No. 4,356,429 (issued 1982. 10. 26)
[2] iSuppli Corp., Organic Light-Emitting Diode Displays Semi-Annual Report - H2 2004 (2004. 9).
[3] M. Pope and C. E. Swenberg, Electronic Processes in Organic Crystals, (Clarendon Press, Oxford, 1982).

[4] R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard, J. Miller, R. Moon, D. Roitman, and A. Stocking, Science 273, 884 (1996).
[5] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Logdlund and W. R. Salaneck, Nature 397, 121 (1999).
[6] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, Nature 347, 539 (1990).
[7] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen J. Appl. Phys. 65, 3610 (1989).
[8] M. A. Baldo, D. F. O' Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Nature 395, 151 (1998).
[9] T. M. Brown and F. Cacialli, Contact optimization in polymer light-emitting diodes, J. Polymer Science B 41 (2003) 2649-2664.
[10] Seminar Lecture Notes, SID 2003, M-5: Organic Light-Emitting Diodes, M-6: Progress in Light-Emitting Polymer Technology, M-7: OLED Manufacturing Technology.
[11] H. Aziz, Z. D. Popovic, N.-X. Hu, A.-M. Hor, G. Xu, Science 283, 1900 (1999).
[12] K. C. Kao and W. Hwang, Electrical Transport in Solids, (Pergamon Press, Oxford, 1981).
[13] T. Tsutsui, 光學 (Japan), 29 (4) 225 (1999).
[14] C. Adachi, M. A. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, J. Appl. Phys., 90, 5048 (2001).
[15] 참고 문헌 4의 자료에 최근의 발전된 OLED 소자의 성능을 추가함.