특집■차세대 디스플레이 기술

차세대 디스플레이 기술 개괄

박영욱, 주병권*

1. Introduction

디스플레이 산업은 지난 10년간 가장 빠르게 성장한 산업 분야 중의 하나로, 반도체 및 통신과 더불어 현재 우리나라 산업의 큰 축을 담당하고 있다. 현재 디스플레이 산업은 크게 모바일 기기용 소형 디스플레이와, TV등을 위한 대면적 디스플레이로 나뉘어 개발되고 있으며, 세부 구현 기술로 Liquid Crystal Display (LCD), Organic Light-Emitting Diode (OLED)가 각각의 고유한 장점을 기반으로 연구 및 개발 되고 있다. 또한 기능적 분류로서 새로운 Blue-Ocean의 개척을 위한 Emerging Technology로 Flexible Display, Transparent Display 등이 활발히 연구 개발 되고 있다.

1897년 흑백 Cathode Ray Tube (CRT)가 오실로스코프에 처음 적용된 것을 시작으로 하여, 디스플레이는 급속도의 발전을 보여왔다. 특히 지난 10년간 전자산업의 발전과 더불어 등장한 평판 디스플레이 (FPD: Flat Panel Display)는 눈부신 발전을 보여주었다. FPD는 평판형의 얇은 디스플레이로서, 경박 단소화가 가능하여 노트북, 핸드폰, 휴대용 전자 기기 등을 구현할 수 있었고, 현재 우리의 생활 방식을 바꾸어 놓고 있는 스마트폰으로 대표되는 유비쿼터스 전자 기기의 핵심 요소로 자리잡고 있다.

이러한 상황 속에서, 더 얇고 가벼우며 더 적은 전력을 소모하는 디스플레이와, 차세대 휴대용 디스플레이로서 형태 변형이 용이하고 잘 부서지지 않는 Flexible Display에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이에 고효율 Light Emitting Diodes (LED) 기술의 접목으로 저전력 구현이 가능해졌으며, 공정상 대면적 및 고해상도 구현에 유리한 LCD가 대면적 TV와 휴대용 전자 기기용 디스플레이로 개발되고 있으며, 저전력, 고화질, 경박 단소화에 유리한 OLED가 대면적 TV와 휴대용 전자 기기 및 Flexible Display를 목표로 활발히 연구 개발 되고 있다. 또한 여기에, 새로운 개념의 디스플레이로서 Transparent Display 등이 연구 개발 되고 있다.

2. 디스플레이의 발전 과정

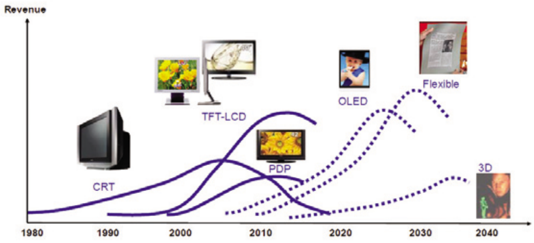

Figure 1. 디스플레이의 발전 단계 [1]

3. 차세대 디스플레이 기술 개괄

* 고려대학교 공과대학 전기전자전파공학부

A. LCD

LCD는 FPD의 상용화와 대중화에 있어, 가장 큰 공헌을 하였고, 현재 FPD 시장의 대부분을 차지하고 있다. LCD는 편광판을 통해 편광된 광의 투과율을 Liquid Crystal (LC, 액정)의 배열에 따라 조절하는 디스플레이로서, 시야각, 반응속도 등이 액정 배열 방식과 액정 동작속도 등에 따라 좌우된다. 현재 사용되는 상용화된 LCD의 액정 모드 중 가장 널리 사용되는 것으로는 고속동작이 용이하고 생산단가가 낮은 Twisted Nematic (TN)와 생산단가가 높으나 광시야각, 고화질 구현이 가능한 Patterned Vertical Alignment (PVA), In Plane Switching (IPS)가 있다. TN모드의 경우, 비교적 가격이 저렴한 계산기, 모니터 등에 사용되어 왔고, PVA나 IPS의 경우, 생산단가가 높으나 고화질이 요구되는 노트북, 대면적 TV 등에 주로 사용되어 왔다. 최근 저가의 광시야각 패널도 개발되어 낮은 가격대의 모니터로 적용되기 시작하고 있다.

그러나 저가 광시야각 패널의 경우, 광시야각 고유의 고화질 특성이 저하되어, 광시야각, 고화질 구현이 가능한 IPS, VA 모드와 고속동작이 가능하고 생산단가가 낮은 TN모드의 장점을 융합한 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다. 그 중에 가장 많은 주목을 받고 있는 것이 Blue Phase (BP) LCD이다. TN, IPS, VA 등이 액정 방향에 따라 편광된 빛의 투과도를 조절하기 위해 액정 배향 및 전극 배치 방식에 따라 구분한 것이라면, BP LCD는 BP Liquid Crystal (LC, 액정)을 사용한 LCD로 배향막 등이 필요 없어 생산단가가 낮고, 구동 속도가 빠른 장점이 있다. BP LC는 특정 온도에서 파란색을 나타내는 특징을 갖고 있어 Blue Phase라는 이름이 갖게 되었고, 전압 인가 시 나타나는 복굴절 현상으로 광학적 투과도를 변화시키게 된다.

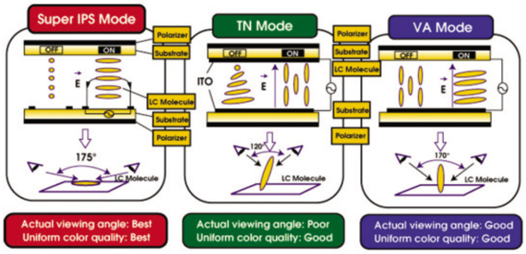

Figure 2. 액정의 구동 방식 비교 [2]

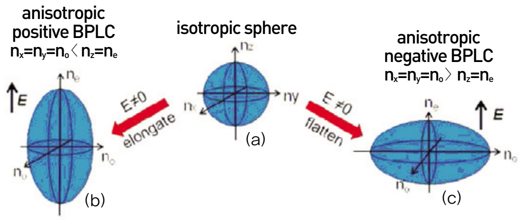

Figure 3. BP LC의 전계 인가시의 변화 [3]

첫 BP LCD는 2008년 5월 SID 2008 전시회에서 삼성전자에 의해 선보여졌다. BP LCD는 빠른 구동 속도, 단순 공정으로 차세대 LCD기술로 각광 받고 있으며, 상대적으로 높은 구동전압, 낮은 광학 투과도 특성 문제 등의 단점을 해결할 경우 높은 부가가치가 기대되어 단점 극복을 위한 연구 및 개발이 이루어 지고 있다.

B. OLED

OLED는 얇고 전력 소비가 낮은 디스플레이의 구현이 가능하고, 완벽한 암명암비를 갖으며, 빠른 응답 속도로 잔상이 없으며, 색재현력이 우수하다. OLED는 이러한 고화질 디스플레이의 구현이 가능한 높은 잠재성능으로 인해 차세대 디스플레이로서 개발되어 왔다. 그리하여 최근 스마트폰의 대중화와 더불어 성공적으로 소형 디스플레이의 한 축을 차지하고 있으며, 대화면 분야에서도 차세대 디스플레이로서의 자리를 차지하기 위해 연구 개발 되고 있다. 그러나 백색 표현 전력 소모가 LED Back-light LCD에 비해 높은 문제와, 조명으로의 사용을 위한 고효율 백색 소자에 대한 요구로 높은 전력효율 달성의 필요성이 증대되고 있다. 이에 고효율 OLED 개발을 위한 방법으로, 신규 고효율 유기 재료의 개발, OLED 고유의 박막다층구조에서 기인한 광도파 현상에서 오는 외부 광추출 효율(외광효율) 저하를 개선하기 위한 광추출 효율 향상 구조 개발 등이 이루어 지고 있다.

일본의 J. Kido 그룹에서는 최근 많은 발표가 이루어진 P=O계열 host와, 고색좌표를 갖는 Blue 인광 발광체를 개발하여 36lm/W의 전력 효율을 갖는 Blue OLED와 59.9lm/W의 전력 효율을 갖는 White OLED를 발표하였다. [4]

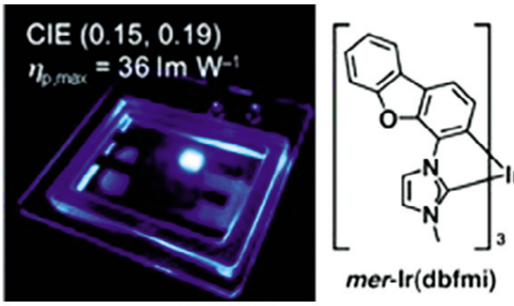

Figure 4. J. Kido 그룹이 발표한 신규 인광 Blue 발광 유기 재료 [4]

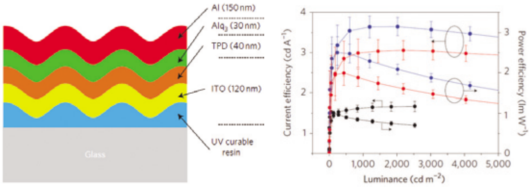

Figure 5. 광추출 구조층이 적용된 OLED [5]

Figure 7. (상) 46" Transparent LCD by Samsung at SID 2011, (하) Transparent OLED by Samsung Mobile Display at CES 2011

일본의 H. Takezoe 그룹에서는, 나노 랜덤 패턴을 활용한 광추출 구조물을 적용하여 2배 이상 향상된 외부 광추출 효율(외광효율)을 갖는 OLED를 발표하였다. [5]

최근의 연구보고에서 OLED는 외광효율 향상 기술의 개발과, 신규 고성능 유기 재료의 개발 등으로 실험실 기준 Green >200lm/W, [6] White >100lm/W [7] 의 효율을 보고하고 있는 등, 꾸준한 성능 향상을 이루어 내고 있어, 차세대 디스플레이뿐만 아니라, 조명 분야에도 적용 가능할 것으로 기대되고 있다.

C. Flexible Display

Flexible Display를 위한 구현 기술로, Flexible LCD와 Flexible OLED의 개발이 진행되어 왔다. LCD의 경우, 액정 편향으로 인한 시야각 문제로, 어려움을 겪고 있으나 OLED의 경우, 성공적인 연구 개발 결과가 발표되고 있다. 최근 Consumer Electronics 2011에서 발표된 Samsung Mobile Display (SMD)의 Flexible OLED 시제품들은 가시적인 성과를 보여주고 있으며, SMD에서는 2012년 양산 목표를 발표한 바 있다.

Flexible Display를 구현하기 위한 요소기술로는 Flexible 기판, Flexible 발광 소자, Flexible 스위칭 소자가 있다. Flexible 기판으로는 비 투과성 기판의 경우, Stainless Foil이, 투과성의 경우, 고내열성 플라스틱 필름이 주로 사용되고 있는 추세이다. Flexible 발광 소자 구현을 위한 Flexible 투명 전극으로는 AZO, IZO, WOx, 등과 같은 Oxide층과 고전도성 금속 박막이 교차된 복합층이 활발히 연구되고 있으며, Flexible 스위칭 소자로는 Oxide TFT가 대표적으로 연구 및 개발 되고 있다.

Figure 6. Flexible OLED by Samsung Mobile Display at CES 2011

D. Transparent Display

Transparent Display를 구현하기 위해서는 전체 구조물이 투명하거나, 투과되는 부분의 개구율이 높아야 한다. 기존의 디스플레이 중, 구현이 용이한 것은 LCD와 OLED다. 하부

Back-light의 빛을 투과시키는 LCD의 경우, Back-light를 없애고 개구율 조절 혹은 스위칭 소자의 투명화를 통해 Transparent Display의 구현이 가능하며, 자발광 소자인 OLED의 경우, 개구율 조절, 전극 및 스위칭 소자의 투명화를 통해 Transparent Display의 구현이 가능하게 된다. LCD 기반의 경우 외부 조명에 영향을 많이 받게 되지만 그림 7과 같이 빛의 차단이 가능해 검정색 표현이 가능하고, OLED 기반의 경우 외부 조명에의 영향을 덜 받는 반면에 검정색 표현이 어렵다.

Transparent Display를 구현하기 위한 요소 기술인 투명 스위칭 소자의 구현을 위해 투명 TFT가 연구 개발되고 있고, 그 중 Transparent Oxide TFT가 활발히 연구 및 개발 되고 있다.

4. 맺음말

현재 디스플레이 산업은 우리 나라 산업의 한 축을 담당하고 있다. 차세대 디스플레이의 개발은, 기존의 디스플레이 시장의 발전과 더불어 새로운 Blue Ocean의 개척을 위한 기반이 될 것으로 기대된다. 이를 위해 Flexible Display, Transparent Display 등의 Emerging Display 뿐만 아니라 새로운 개념의 디스플레이와 이러한 차세대 Display를 응용할 수 있는 Application의 제안 및 개발과 이를 위한 창의적인 인재 육성 또한 필요하다고 하겠다.

참고문헌

[1] "플렉서블 디스플레이 기술 및 시장", Displaybank, 2007.03
[2] Seminar: LCD Display Product Design, SID 2008, 2008.05
[3] Optics Express, Vol. 18, No. 3, pp. 3143, 2010.02
[4] Advance Materials, Vol. 22, Iss. 44, pp. 5003, 2010.11
[5] Nature Photonics, Vol. 4, No. 4, pp. 222, 2010.02
[6] Science, Vol. 332, No. 6032, pp. 944, 2011.04
[7] Nature, Vol. 459, pp. 234, 2010.05

약 력

박영욱 (朴泳昱)

2007년~2011년 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (공학박사)
2011년~현재 반도체기술연구소 선임연구원

E-mail: zerook@korea.ac.kr

주병권 (朱炳權)

1991년~1995년 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
1988년~2005년 KIST 마이크로시스템 연구센터, 책임연구원
2005년~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 교수
2007년~현재 국가지정연구실 (디스플레이 및 나노시스템연구실) 운영

E-mail: bkju@korea.ac.kr