투명디스플레이 기술 동향 및 전망

Technical Trends and Prospects in Transparent Display

IT 융합 · 부품 기술 특집

황치선 (C.S. Hwang) 산화물전자소자연구팀 책임연구원
박상희 (S.H. Ko Park) 산화물전자소자연구팀 팀장
조경익 (K.I. Cho) 산화물전자소자연구팀 책임연구원

목 차

Ⅰ. 머리말
Ⅱ. 투명디스플레이의 소개
Ⅲ. 투명 AMOLED의 개발 이슈
Ⅳ. 투명디스플레이의 향후 전망
Ⅴ. 맺음말

정보 디스플레이는 기술의 발전에 따라 새로운 양상으로 발전하고 있다. 그 중에서 투명디스플레이는 정보를 배경과 같이 보여줄 수 있는 독특한 장점 때문에 주목을 받아왔지만 기술적인 한계로 대중화되지 못했다. 최근에는 AMOLED의 개발에 따라 투명디스플레이가 투명 AMOLED의 형태로 대중화될 가능성이 높아지고 있다. 투명 AMOLED는 AMOLED의 개발에 따라 기술적인 발전이 이루어질 것으로 전망되지만 투명 AMOLED가 가지는 투과도 개선, 시인성 확보 등 여러 기술적인 과제들을 해결하기 위해서는 별도의 기술개발이 필요하다. 이러한 기술개발을 통해 투명디스플레이가 대중화되면 증강현실 등의 콘텐츠와 결합하여 사용자에게 새로운 인터페이스를 제공해 줄 것으로 기대된다.

© 2010 한국전자통신연구원

I. 머리말

LCD의 개발로 시작된 평판디스플레이는 TFT-LCD, PDP 등의 급속한 기술적 발전에 힘입어 소형 모바일 기기로부터, 노트북, 모니터, TV, 대형디스플레이에 이르기까지 전자정보디스플레이 분야의 거의 대부분을 차지하고 있다. 평판디스플레이의 등장이 디스플레이 시장의 팽창을 가져오면서 급격한 성장을 이루었지만, 최근에는 경기침체와 더불어 신시장의 고갈로 성장률이 감소하고 있는 상황이다. 이에 따라 새로운 평판 디스플레이 시장을 개척하고자 하는 시도가 이루어지고 있다.

미래의 평판 디스플레이 시장으로 꼽히고 있는 대표적인 분야는 플렉시블 디스플레이와 투명디스플레이 분야이다. 플렉시블 디스플레이는 기존의 유리기판 중심의 무겁고 딱딱하고 깨지기 쉬운 디스플레이에서 플라스틱 기판을 기반으로 하는 경박/단소형의 깨지지 않고 형태의 변형이 가능한 디스플레이다. 투명디스플레이는 화면의 뒷배경이 비춰보이는 디스플레이로서 기존에는 주로 투명한 스크린에 투사하여 구현하였으나, 지금은 직접 투명한 화면을 구성하는 방향으로 개발이 진행되고 있으며, 최근 급속한 기술적 발전을 보이고 있는 AMOLED로서 주로 구현되고 있다.

본 논문에서는 투명디스플레이의 기술 개발 동향을 알아보고 향후 전망에 대하여 기술하고자 한다. 특히 최근 활발히 연구되고 있는 투명 AMOLED를 중심으로 기술동향과 개발이 필요한 이슈를 논의하고자 한다.

미디어의 발전이 새로운 문화의 도래를 유발한 것을 과거의 여러 예에서 확인해 볼 수 있다. 투명디스플레이의 경우에는 이미 미래 사회를 다룬 영화속 디스플레이로 항상 등장할 정도로 미래에 일반적으로 상정되는 미디어의 전달 수단으로 중요한 역할을 맡게 될 것으로 생각된다[1]. 우리나라가 현재 디스플레이 산업의 강국으로 자리매김하고 있지만, 원천기술의 확보에 있어서는 기술 선진국에 뒤쳐져 있는 것이 사실이다. 미래의 디스플레이에 있어서는 이러한 원천기술의 한계를 극복할 수 있는 노력이 필요하리라고 생각된다. 그런 의미에서 투명디스플레이의 개발동향과 기술적 난제를 확인하는 것은 큰 의의를 지닌다고 하겠다.

II. 투명디스플레이의 소개

투명디스플레이는 화면이 투과도를 가지고 있어서 화면 뒷면이 보인다는 특징을 공유하고 있으며, 구현하는 기술 또한 매우 다양하다. 본 논문에서 주로 다루게 될 투명 AMOLED에 앞서 현재까지 시장에 등장했거나 혹은 기술 개발이 이루어진 투명디스플레이를 기술별로 살펴보고 각각의 장단점을 논의해 보고자 한다.

응용 분야에 따라서는 투명 AMOLED 이외의 투명디스플레이가 사용될 가능성도 있으며 실제로 현재 상용화된 예는 투명 AMOLED 이외의 기술로 개발된 것이다.

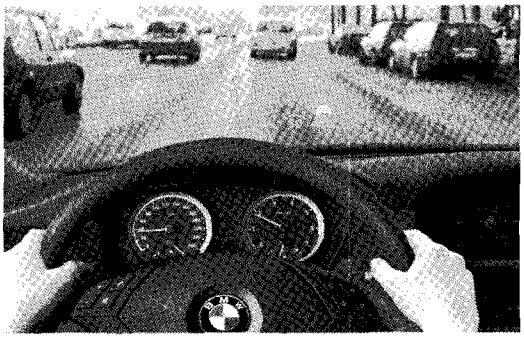
1. 투사형 투명디스플레이

투사형 투명디스플레이는 HUD와 HMD 형태로 나누어진다. 이중에서 대중화되어 있는 HUD에 대하여 먼저 알아보기로 한다.

(그림 1)에 예시되어 있는 바와 같이 HUD는 1970년대 항공기 조종사에게 비행중에 필요한 정보를 주기 위하여 개발되었다. 그 이후에 주로 자동차용, 광고용으로 사용되고 있다.

© 2010 한국전자통신연구원

(그림 1) F16 비행기에 사용된 HUD

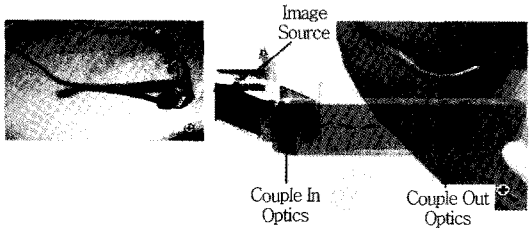


(그림 2) BMW 자동차에 사용된 HUD

HUD는 정보를 표시하는 광원, 이를 투사하기 위한 광학장치, 그리고 이들 정보가 투사되는 투명한 스크린(주로 유리)으로 구성된다. 이때 정보를 표시하기 위한 광원으로 VFD, CRT, LCD, LED 등 또 다른 디스플레이를 사용하는 것이 일반적인 형태이나 최근에는 레이저 등을 이용하여 직접 투사(스캔)하는 방식을 이용하기도 한다.

HUD는 주로 실외에서 사용되기 때문에 시인성을 확보하기 위해서는 높은 휘도를 필요로 한다. 그런데, 화면을 투사하는 유리의 경우, 통상적인 경우 반사율이 4%에 불과하기 때문에 매우 밝은 광원이 필수적이다[2]. 또한 투사를 위한 광학계가 일정한 부피를 요하므로 전체적인 HUD 시스템의 크기도 상당히 커지게 된다.

HUD가 가지는 장점 중의 하나는 광학계를 이용하여 사용자가 인지하는 결상면의 위치를 조절하는 것이 가능하다는 점이다. 특히 (그림 2)와 같이 자동차에 이용하는 경우 운전자의 편의를 위하여 결상면의 위치를 실제로 투사되는 면이 아닌 자동차 앞부분 쪽으로 이동하도록 설계되어 있다.



(그림 3) LUMUS사에서 개발한 투명 안경형 HMD

HMD의 경우에도 HUD와 마찬가지로 광학계를 이용하여 사용자에게 이미지를 제공하는데 이 경우에는 투사면이 따로 있는 것이 아니라, 사용자의 안구에 직접 이미지가 투영되도록 한다. 이때 투명한 HMD를 구현하기 위해서는 통상 투명 안경형태로 HMD를 구성하고 안경의 유리면에 반사면을 형성하여 안경 측면이나 상부에서 만들어진 영상이 안구에 들어가도록 한다((그림 3) 참조). HUD와 마찬가지로 HMD의 경우에도 광학계가 포함되어 있으므로 사용자가 인지하는 시점을 조절하는 것 또한 가능하다.

일반적인 HMD와 마찬가지로 투명디스플레이를 구현하는 HMD의 경우에도 사용자가 착용한 상태에서 이미지를 제공하며, 이에 대한 안정성을 검증하는 점이 추후의 개발과제가 될 것이다.

2. 투명 TFEL

교류형 무기박막 EL 디스플레이(AC-TFEL)는 무기 형광체 내에 가속된 전자가 지나가면서 형광체를 여기시켜 빛을 내는 원리를 이용한 디스플레이다.

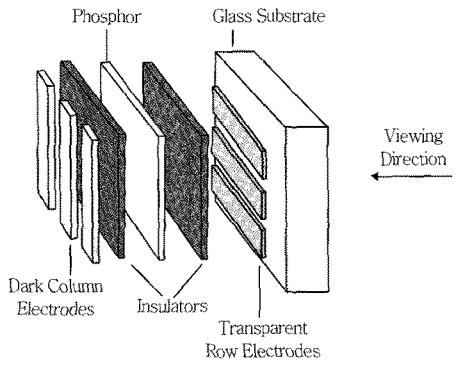
(그림 4)에 나타나 있는 바와 같이 AC-TFEL은 투명 전극과 무기 형광체 그리고 이들 사이를 절연하

© 2010 한국전자통신연구원

기 위한 절연막으로 구성된다. 이때 무기 형광체와 절연막이 투명한 특성을 가지고 있기 때문에 전체적으로 매우 투명한 디스플레이를 구현하는 것이 가능하다. 특히 수명이 길고, 온도, 물리적 충격 등에 대한 신뢰성과 광에 대한 신뢰성도 크며, 별도의 물질 개발 없이 즉시 투명디스플레이로 이용 가능하다는 점이 투명디스플레이에 있어서 AC-TFEL이 가지는 최대의 장점이라고 할 수 있다.

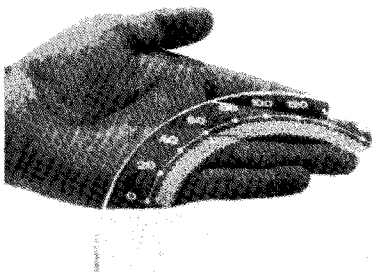
그러나, AC-TFEL의 경우에는 구동방식에 있어서 전자의 가속을 위하여 높은 교류 전압을 필요로 하기 때문에 구동부를 구성하는 데 상대적으로 많은 비용이 필요할 것으로 예상된다.

또한, 적색, 녹색, 청색 형광체의 효율을 향상시키기 위한 기술 개발과 대면적화를 위한 장비 개발이 필요하다. AC-TFEL을 이용한 투명디스플레이의 경우는 ZnS:Mn 형광체를 사용한 호박색의 단색만으로 이루어진 디스플레이가 소형으로 상용화되고 있다((그림 5) 참조).



<자료>: Planar System

(그림 4) TFEL의 소자 구조



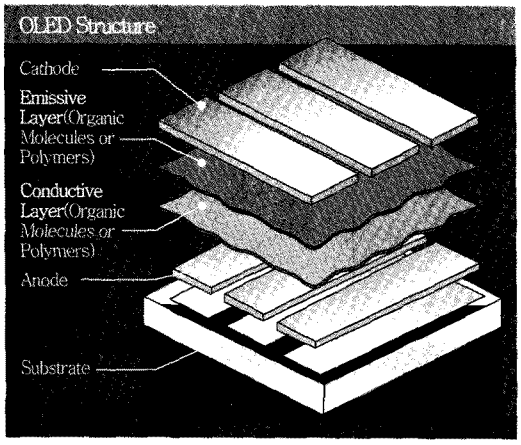
<자료>: Planar System

(그림 5) 투명 TFEL(투과도 84%)

3. 투명 OLED

OLED는 유기 발광층 양쪽에서 전자와 정공을 주입하여 이들이 유기 발광층 내에서 결합되면서 빛을 내는 원리로 작동된다. (그림 6)은 OLED 소자의 기본적인 구조를 보여주고 있다. 이때 유기 발광층은 통상 투명하기 때문에 양쪽 전극을 투명하게 하면 투명 OLED를 구성할 수 있다. 통상 양극으로는 일함수가 큰 ITO와 같은 TCO를 사용하고 있으며 음극으로는 일함수가 낮은 금속 전극을 사용한다. 이때 음극으로 사용하는 전극의 두께를 매우 얇게 하면 투명한 OLED를 구현할 수 있다.

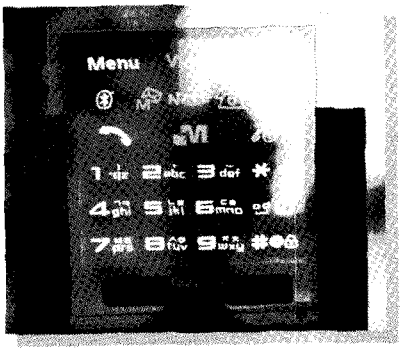
투명 OLED는 투명 AC-TFEL에 비하여 투과도 면에서는 불리하지만(투과도 70~80%), 구동 전압이 낮고(<10V) 천연색 구현에 필요한 발광층도 많이 개발되어 있다. 또한 필요에 따라 투명한 플라스틱 위에 소자를 제작하는 것도 가능하여 투명 플렉시블 디스플레이의 구현도 가능하다는 장점도 있다.



<자료>: HowStuffWorks(2005)

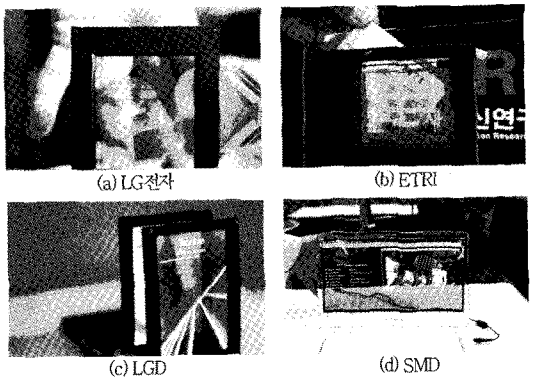
(그림 6) OLED 소자 구조

© 2010 한국전자통신연구원



<자료>: NeoViewKolon

(그림 7) 투명 OLED를 이용한 KeyPad



(a) LG전자 (b) ETRI

(c) LGD (d) SMD

(그림 8) 투명 AMOLED 시제품

초기의 OLED 소자는 수동 매트랙스 방식(passive matrix method)으로 구동하였지만, 해상도의 한계와 대면적 디스플레이의 구현을 위하여 점차 능동 매트릭스 방식(active matrix method) 구동방법으로 변화하고 있다. 특히 투명디스플레이를 구현하는 입장에서 보면 투명 전극의 저항에서 오는 한계를 극복하는 측면에서도 능동구동 방법이 더 유리하다고 할 수 있다. (그림 7)은 세그먼트 타입으로 구현한 투명 OLED 소자이고, (그림 8)은 능동구동 방법으로 구현한 투명 AMOLED 소자이다.

투명 AMOLED를 구현하는 경우에 능동구동을 담당하고 있는 TFT의 투과도가 전체 디스플레이의 투과도에 영향을 주기 때문에 투명 TFT를 이용하는 것이 유리하다. 이러한 이유로 투명한 산화물 TFT를 이용하여 투명 AMOLED를 구현하는 연구가 최근에 급속히 진행되고 있다[3],[4]. 산화물 TFT의 경우에는 투명한 장점 이외에도 상대적으로 높은 이동도를 가지면서도 균일성이나 양산성 측면에서 기존의 poly Si-TFT나 a-Si TFT 혹은 Organic TFT 보다 우수한 측면 때문에도 AMOLED에 적용 가능성이 높아지고 있다.

앞서 언급한 투명 산화물 TFT를 이용한 투명 AMOLED 이외에도 poly-Si TFT를 이용한 AMOLED 중에서 발광부를 투명하게 하고 양극의 투과도를 증가시켜서 투명한 AMOLED를 개발하고 있다. 특히, 2010년 SMD는 CES에서 14인치 투명 AMOLED 노트북을 발표하여 주목 받았다. 그런데 이러한 경우에는 AMOLED를 구성하고 있는 금속과 poly-Si TFT의 비투과성 때문에 전체 패널의 투과도가 40%를 넘지 못하고 있다[5].

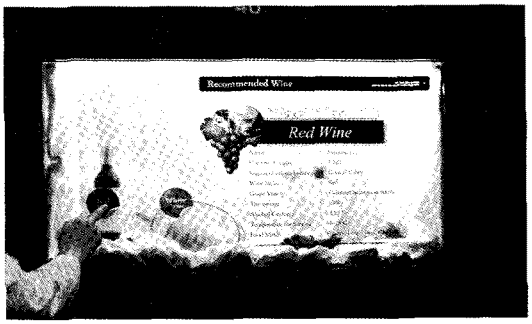
하지만, 현재까지 시연된 투명디스플레이 중 가장 뛰어난 디스플레이 성능을 보여주고 있기 때문에 향후에 투명디스플레이의 주류 시장은 투명 AMOLED가 주도할 것으로 예측된다.

4. 투명 LCD

TFT-LCD는 현재 전체 평판 디스플레이 시장의 90% 이상을 점유하고 있는 대표적인 디스플레이다. 따라서 이를 투명디스플레이에 적용하고자 하는 시도가 많이 이루어지고 있다. (그림 9)는 2010년 SID에서 발표된 삼성전자의 투명 LCD 시제품 사진이다.

그런데, TFT-LCD의 경우에는 기본적으로 한 쌍의 편광판이 존재해야 하며(투과도 1/4 감소), 각종 광학필름의 존재와 구동 TFT와 배선의 면적 등으로 투과도는 6% 근처에 머무르게 된다. 또한 자발광 형태가 아닌 백라이트를 이용하므로 투명디스플레이로

© 2010 한국전자통신연구원



(그림 9) 투명 LCD 시제품(삼성전자)

작동하기 위해서는 주변이 밝은 경우에 사용하든지 혹은 백라이트를 측면에 배치하여 사용하여야 한다.

투과도가 낮은 단점에도 불구하고 대면적 투명디스플레이를 구현할 수 있는 현재의 유일한 평판 디스플레이라는 점에서 최근에는 투명 LCD를 개발하고 있으며, 아울러 투과도를 개선하기 위한 연구도 진행되고 있다. 이때 투과도를 개선하는 것은 일반적인 TFT-LCD에 적용하면 광효율을 개선하여 에너지 절약의 효과를 얻을 수 있는 장점도 있다.

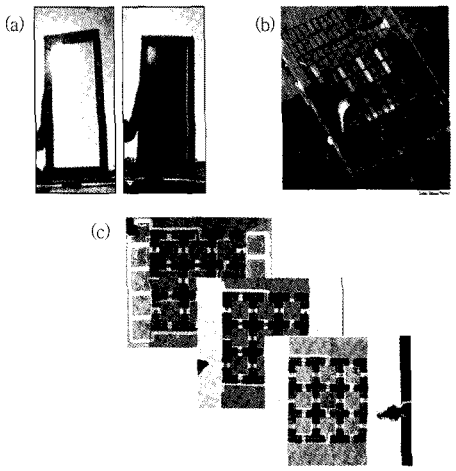
5. 투과형 투명디스플레이

앞서 소개한 투명 LCD 이외에도 투과도를 가변하여 투명디스플레이를 구현하고자 하는 시도가 있다. 대표적인 것으로는 Electrochromic 방법, Electrowetting 방법, Interference Modulation 방식 등이 있다((그림 10) 참조).

Electrochromic 방법은 산화/환원 반응에 따라 투과도가 바뀌는 소재를 이용한 것이다. 이 방법은 투과도 가변 유리창에 이용되었던 방식이다. 이를 픽셀 단위로 투과도가 변화하도록 하여 디스플레이를 구현하고자 하는 시도가 있다.

Electrowetting 방법은 표면전하의 형성에 따라 색깔을 띠고 있는 액체의 움직임을 통제함으로써 색상이나 투과도의 변화를 주는 방법이다.

Interference Modulation 방식은 평행한 두 판



(a) Electrochromic Window(National Renewable Energy Laboratory)
(b) Electrowetting Display(Extreme Photonix)
(c) MEMS형(Interference Modulation형) 디스플레이(Tokyo University)

(그림 10) 투과형 투명디스플레이

(Fabry-Perot etalon) 사이에 입사한 빛이 두 판 사이에서 다중 간섭을 일으킬 때 두 판 사이의 간격을 변화시킴으로써 투과가 극대가 되는 파장의 변화를 일으키는 현상을 이용한 것이다.

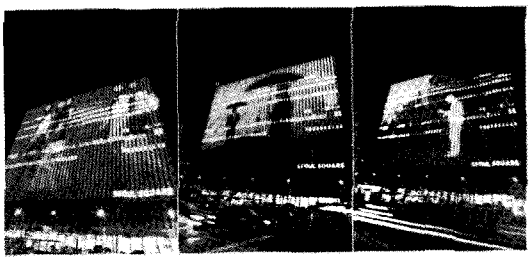
이러한 투과형 투명디스플레이들은 기본적인 동작원리는 알려져 있지만, 본격적인 디스플레이, 특히 투명디스플레이에 이용하기 위해서는 투과도 개선, 픽셀화, 구동방법 개발 등 많은 연구가 필요한 상태이다.

6. 투명 LED 디스플레이

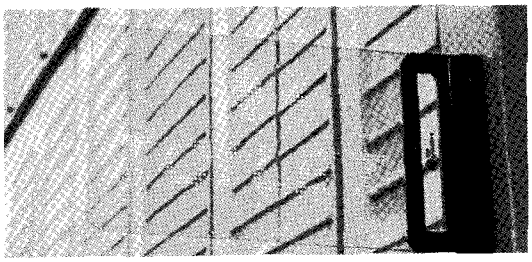
고출력 LED가 대중화됨에 따라 이러한 LED를 이용한 옥외용 디스플레이가 많이 등장하고 있다. 이러한 디스플레이 중에 미디어파사드(media façade)라 불리는, LED를 건물의 외벽에 설치하여 스크린처럼 활용하는 경우도 있다. 이때 설치된 LED의 간격에 따라 (그림 11)에서 보여주는 것처럼 배경으로 사용되는 건물의 외벽 위에 마치 투명디스플레이가 구현되는 것처럼 보이게 되기도 한다.

위와 같은 대면적 투명 LED 디스플레이 이외에도 광고용으로 간단한 사인보드를 구현하는 경우도 있

© 2010 한국전자통신연구원



(a) 서울스퀘어 미디어 파사드



(b) 투명 LED 사인보드(탑나노시스)

(그림 11) 투명 LED 디스플레이

다((그림 11b) 참조). 이러한 경우에는 저가격의 대면적 투명전극을 형성하고 이러한 전극 위에 LED 소자를 설치하여 구성하게 된다.

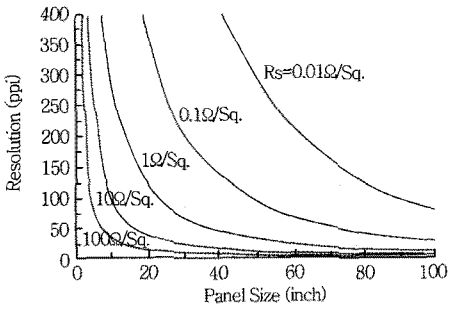
III. 투명 AMOLED의 개발 이슈

본 장에서는 앞서 소개한 투명디스플레이 중 향후 가장 큰 시장을 차지할 것으로 예상되는 투명 AMOLED의 개발 이슈에 대하여 알아보고자 한다.

1. 투과도 개선

앞서 소개한 바와 같이, 현재까지 개발된 투명 AMOLED의 경우 투명전극과 투명 TFT를 사용한 경우 대략 60%의 투과도가, 금속전극과 불투명 TFT를 사용한 경우 대략 40%의 투과도가 보고되고 있다 [5],[6].

투명디스플레이의 용도에 따라 다르긴 하겠지만, 투과도가 높을수록 응용범위가 넓어지기 때문에 투과도를 개선하는 것은 중요한 과제 중의 하나이다.



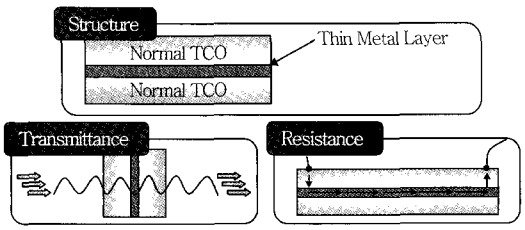
(그림 12) 패널크기 및 해상도에 따른 배선의 면저항값

투과도 개선을 위해서는 AMOLED를 구성하고 있는 하판부분(TFT, 배선, 구동회로)과 상판부분(OLED), 그리고 상하판에 사용되는 유리기판 각각에 대해 투과도 개선이 이루어져야 한다.

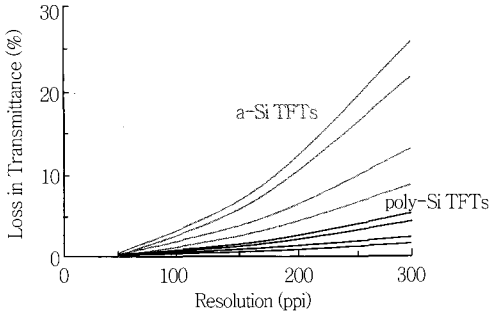
하판부분에 있어서 투과도를 결정짓는 가장 큰 부분은 배선부분이다. 배선은 신호를 전달하고 OLED가 발광되기 위한 전류를 공급하는 역할을 하게 된다. 따라서 해상도가 높아지거나 면적이 커지게 되면 점점 더 작은 저항을 가진 배선부가 필요하다((그림 12) 참조). 현재까지 알려진 투명전극 중 가장 낮은 저항을 가지고 있는 단일 물질은 ITO이다. 그런데 이 ITO의 비저항은 약 $1\times10^{-4}\Omega$•cm로써 디스플레이에 사용되는 대표적인 금속은 Al의 비저항값인 2.8×10^{-6} Ω•cm의 35배 정도이고, Cu의 비저항값인 1.7×10^{-6} Ω•cm의 60배 정도에 해당한다. 따라서 ITO 단일막을 사용하여 구동이 가능한 AMOLED 패널은 해상도와 크기에 제한을 가지게 된다.

투과도를 유지하면서 저항을 낮추기 위하여 사용되는 방법은 (그림 13)처럼 다중층 투명전도막을 이용하는 것이다. TCO 두 층 사이에 매우 얇은 금속(<10nm)을 형성하게 되면 투과도의 큰 저하 없이 저항을 급격히 줄이는 것이 가능하다. 이때 통상은 ITO 투명 전도막과 Ag 금속막을 이용한다. 이렇게 다중층 투명전도막을 사용하게 되면, 투과도 손해 없이 저항을 1/7 만큼 낮출 수가 있다. 이를 이용하면 TCO

© 2010 한국전자통신연구원



(그림 13) 다중층 투명전도막의 구조와 원리



(그림 14) TFT에 의한 투과도 저하(TFT의 개수가 3~6개 일 때)

만을 사용한 기판에 비하여 좀더 고해상도나 더 큰 크기의 투명 AMOLED를 제작할 수 있다. 그런데 이보다 더 작은 저항을 가지는 투명전극을 필요로 하는 경우에는 물질의 개선이나 구조를 통해서 개선하는 데는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해서는 추가적인 투명전극층을 형성하고 이를 이용한 새로운 구동방법의 개발이나 배선 방법의 개발이 필요하다.

하판에서 배선을 제외하고 큰 면적을 차지하는 것은 TFT들이다. 가장 단순한 AMOLED 픽셀의 경우 2개의 TFT를 가지고 있지만, 실제로 상업적인 패널을 만들기 위해서는 각종 보상기능을 수행하기 위하여 5~6개의 TFT가 사용되는 것이 일반적이다. 이들의 면적을 고려하여 AMOLED에 사용 가능한 TFT들(poly-Si TFT, a-Si TFT, oxide TFT)의 투과도를 추정하여 계산을 하게 되면 (그림 14)처럼 정리할 수 있다. 이 결과를 보면 TFT 중에서 oxide TFT를 사용하는 것이 전체 투과율 개선효과로서 5% 정도에 해당한다고 볼 수 있다. 산화물 TFT는 이러한 투과도 개선 측면뿐만 아니라, a-Si TFT 대비 20배 정도 되는 이동도를 가지고 있으면서도 poly-Si TFT 보다는 균일도나 공정의 저가격화에서 장점을 가지고 있다.

상판의 경우 OLED의 투과도를 개선하기 위해서는 양극의 투과도를 개선하는 것이 가장 큰 이슈가 된다. OLED에 있어서 가장 널리 사용되는 양극 물질은 LiF/Al 구조이다. 이때 Al의 경우 두께에 비하여 투과도 저하가 크기 때문에 이의 개선을 위하여 Ag 같이 두께에 비하여 투과도가 큰 물질을 도입하기도 한다. 이밖에도 앞서 저저항 배선을 구현하기 위하여 언급한 다층박막을 도입하기도 한다. 투과도 개선을 위해서는 투명전극을 사용하는 것이 필요하지만, 동시에 양극이 전자의 주입역할을 해야 하므로 낮은 일함수를 가져야 한다. 매우 얇은 금속과 투명전극을 다중층으로 형성하여 높은 투과도와 낮은 저항, 낮은 일함수를 동시에 달성하기 위한 방법이 개발되고 있다. 또한 단순히 양극만을 바꾸는 것이 아니라, 전하 주입층에 도핑층을 도입하는 등 OLED의 소자 구조를 변화시키는 노력을 시도하기도 한다.

AMOLED의 경우 하판을 유리 기판 위에 형성하고 이 위에 OLED까지 형성한 후에 encap용 유리판을 덮는 구조를 가지고 있다. 따라서 이때 사용되는 유리판에 무반사 코팅을 실시하여 투과도를 높일 필요가 있다. 이러한 방법은 OLED 소자의 외광효율과도 연관이 되므로 이를 종합적으로 검토하여 투과도 개선 작업이 이루어져야 한다.

2. 시인성 개선

투명디스플레이의 경우 (그림 15)에서 보여주는 것처럼 다른 디스플레이보다 주변 환경에 따른 대조비의 변화가 매우 심하며 이에 대한 대책이 요구된다. 또한 투명체의 투과도를 평가하는 경우에 투명도 이

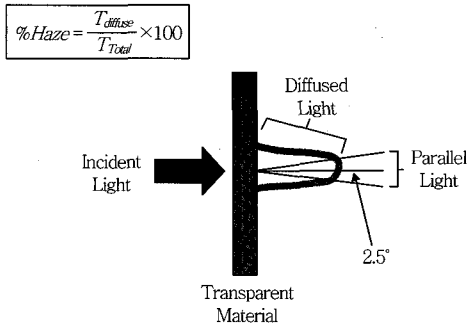
© 2010 한국전자통신연구원

(그림 15) 배경에 따른 대조비의 차이

외에도 흐림도라는 인자도 포함된다. 따라서 투명디스플레이에서의 시인성 개선은 대조비 확보와 더불어 흐림도 개선을 포함한다.

LCD나 PDP의 경우에도 암실대조비와 명실대조비를 나누어서 측정하게 된다. 이때 주변 환경에 따라 화이트는 변화가 없지만 블랙은 차이가 생기게 된다. 따라서 대조비의 확보는 주변 환경에 무관하게 블랙을 구현하는 일이라 할 수 있다. AMOLED와 같은 자발광형 디스플레이의 경우에는 블랙을 구현하기 위해서는 발광을 하지 않는 상태에서 외부 빛의 반사를 막아주면 쉽게 블랙을 구현하는 것이 가능하다. 그런데 투명 AMOLED의 경우에는 블랙을 구현하기 위하여 발광을 하지 않는 경우에도 배경의 빛이 화소를 통과하기 때문에 밝은 배경을 가지고 있는 경우에는 블랙의 구현이 사실상 불가능하다. 따라서 투명 AMOLED에서 블랙을 구현하기 위해서는 별도의 외광 차단 소자가 필요하다. 즉 블랙을 구현하여야 할 경우에는 화소의 투과도를 변화시킬 수 있는 투과도 가변형 소자가 필요하다.

여러 요소가 복합되어 있는 투명체에 있어서 요소들 사이의 굴절률이 다를 경우 투명체를 지나는 빛의 경로가 굴절되게 된다. 이 경우 투명하지만 전반적으로 뿌옇게 보이게 된다. 이러한 양을 흐림도(haze-ness)로 정의하고 이 양을 (그림 16)에서 보여주는 것처럼 정량화하여 투명체의 성능을 평가하기도 한다. 투명디스플레이의 경우에도 투명한 패널을 통하여 보이는 사물이 선명하게 보이기를 원한다면 투과도뿐만 아니라 흐림도도 좋아야 한다. 이를 위해서는 투명디스플레이를 구성하고 있는 각 구성체 사이의



(그림 16) 흐림도(Hazeness) 측정 방법

굴절률 차이가 없도록 하여야 한다. 즉 유리 기판, 투명전극, 투명반도체, 투명절연체 등 사이의 굴절률 차이가 없어야 한다. 그런데 실제로는 물질 선택의 제한 때문에 완전히 동일한 굴절률을 갖도록 하는 것은 어려워 구성 요소 사이 사이에 굴절률 차이를 보상해 줄 수 있는 광학적인 설계를 도입하여야 한다.

3. 외광 안정성 확보

투명디스플레이는 그 특성상 외부에 노출되는 응용이 많을 것으로 예상된다. 따라서 투명 AMOLED에 있어서도 외광(주로 태양광)에 대하여 안정적인 특성을 확보하는 일이 필요하다. 이밖에 일반적인 안정성을 확보하는 것은 통상의 AMOLED와 동일하다고 볼 수 있으므로 별도의 언급을 하지 않겠다.

외광(주로 태양광)이 주로 영향을 줄 수 있는 부분은 OLED 내의 유기소재와 TFT 부분이다. 특히 태양광에 포함되어 있는 UV는 유기소재와 산화물 반도체에 비가역적인 결함을 유도할 가능성이 매우 높다. 따라서 이의 방지를 위해서는 패널외부에 UV의 침투를 막기 위한 UV 반사 코팅 혹은 UV 흡수 코팅을 실시할 필요가 있다.

산화물 TFT의 경우에 음의 전압이 가해지고 있는 동안에 외광이 쪼여지면 특성의 변화가 크게 일어나는 현상이 관찰되고 있다[7]. 외광 중 UV 부분은 투

© 2010 한국전자통신연구원

과도에 영향을 주지 않으면서 차단하는 것이 가능하지만 가시광선의 영역은 투과도와 연결되어 있어 별도의 차단 방법을 도입하는 것이 불가능하다. 따라서 산화물 TFT에서 자체적으로 안정성을 확보하는 일이 반드시 선행되어야 할 것이다.

4. 대면적 패널 개발

투명디스플레이는 그 응용분야에 있어서 대면적 투명디스플레이를 이용한 분야가 많다. 따라서 투명 AMOLED의 경우에도 대면적화에 대한 요구가 많을 것으로 예상된다. AMOLED 자체도 TV 등의 응용을 위하여 대면적화에 대한 요구사항이 있기 때문에 대면적 AMOLED의 개발이 이루어질 것으로 예상된다. 그렇지만, 대면적 AMOLED가 개발되었다 하더라도 그 성과가 그대로 투명 AMOLED로 이어지지는 않을 가능성이 높다.

예를 들어 대면적 AMOLED의 개발은 낮은 저항을 가지는 금속 전극(예를 들어 Cu)을 사용하게 할 것이다. 그런데 이 물질은 투명 AMOLED에서는 그대로 도입하는 것이 불가능하다. 이렇듯이 대면적 투명 AMOLED를 구현하기 위해서는 별도의 기술 개발이 필요하다.

아직 이 분야에 대해서는 기술개발이 시작조차 되어 있지 않기 때문에 구체적인 기술에 대해서 언급하기 이르지만, 작은 투명 AMOLED를 타일링 형태로 붙여서 구현하는 방법, 혹은 투명 AMOLED 이외에 대면적 구현이 가능한 다른 형태의 디스플레이를 적용하는 방법 등도 생각해 볼 수 있다.

5. 플렉시블 패널 개발

향후 전개될 차세대 평판디스플레이의 개발방향은 플렉시블 디스플레이와 투명디스플레이로 압축되고 있다. 따라서 투명디스플레이에 있어서도 플렉시블 디스플레이로의 개발 설정은 필요할 것으로 생각된다.

플렉시블 투명 AMOLED를 구현하기 위해서는 앞서의 대면적 투명 AMOLED에서와 마찬가지로 플렉시블 AMOLED를 구현하는 방법 이외에 추가적인 고민이 필요하다. 역시 플렉시블 투명 AMOLED에 있어서도 전극이 가장 큰 문제가 된다. 특히 가장 저항이 적은 TCO인 ITO가 200도 이상의 열처리를 필요로 하며, 또한 열처리를 거치고 나면 결정화가 일어나면서 플렉시블 디스플레이에 적용하는 것이 불가능해진다. 이러한 이유로 플렉시블 투명전극을 개발하는 것이 중요한 이슈 중의 하나로 등장하고 있다. 지금까지 개발된 플렉시블 투명전극 중에서는 앞서 소개한 바 있는 다중층 구조 투명전극이 가장 낮은 저항을 보이고 있다[8].

이밖에도 절연층을 대부분 유기물질을 써야 하기 때문에 굴절률 매칭과 같은 기술 개발에 있어서 제한요소가 더 많이 개입되게 된다. 또한 봉지기술에 있어서도 박막 봉지기술이 필수적으로 필요하며 이때 투과도를 개선하기 위한 박막 봉지기술을 개발할 필요성이 있다.

Ⅳ. 투명디스플레이의 향후 전망

투명디스플레이는 현재 몇 가지 상용품의 형태로 시장에 나와 있지만 본격적인 시장은 아직 형성되지 않고 있다. 앞으로 시장이 형성될 수 있는 투명디스플레이의 응용 예를 살펴보고 이를 바탕으로 향후 투명디스플레이의 시장 전망을 하고자 한다.

1. 투명디스플레이의 응용분야

투명디스플레이는 뒷배경이 비추어 보이는 투명

© 2010 한국전자통신연구원

한 특성을 이용하여 증강현실 콘텐츠와 결합하여 실감나는 증강현실 구현이 가능하다. 또한 투명하므로 주변 환경과의 조화가 자연스럽게 이루어지는 특징도 가지고 있으며 주변 사물 위에 덧붙여지는 형태로도 사용이 가능하다. 그리고 양쪽에서 동시에 여러 명이 정보를 공유하는 응용도 가능하다.

위의 특징을 활용하여 다양한 응용분야가 존재하는데, 우선 개인 모바일 단말용 패널로 쓰일 수 있다. 또한 자동차 앞유리창이나 대시보드에 삽입되어 활용하는 것도 가능하다. 쇼윈도에 광고목적으로 투명디스플레이를 활용하는 것도 가능하며, 테이블에 투명디스플레이를 적용하여 정보 공유에 활용하는 것도 가능하다. 또한 공항이나 정류장과 같은 대중이 이용하는 시설에서 공공 정보를 제공하는 용도로도 활용이 가능하다. 이밖에도 투명디스플레이를 이용한 인테리어 디자인도 상상해 볼 수 있다((그림 17) 참조).

위에 열거한 응용 중에 일부는 기존의 디스플레이를 투명디스플레이로 대체한 경우도 있지만, 대부분은 기존에 디스플레이가 쓰이지 못했던 부분이다. 투명디스플레이는 이렇게 새로운 디스플레이 시장을 창출할 수 있는 분야라 할 수 있다.

(a) 자동차용 투명디스플레이 (b) 투명쇼윈도

(c) 공공용 투명디스플레이 (d) 투명인테리어

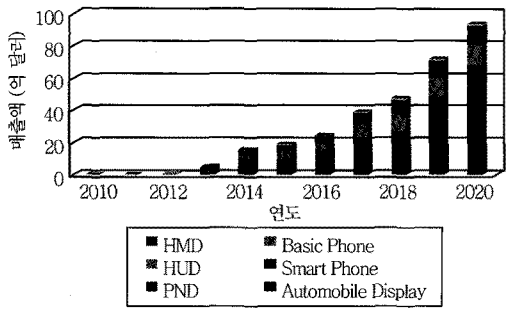
(그림 17) 투명디스플레이의 응용분야

2. 투명디스플레이의 시장 전망

투명디스플레이가 가장 먼저 상용화 될 수 있는 분야는 모바일 디바이스, 그 중에서도 모바일폰일 것으로 예상된다. 모바일폰에 투명디스플레이를 적용하는 경우에 기존의 디스플레이 위에 덧대어 사용되는 응용이 먼저 적용될 것으로 보이며, 뒤이어 메인 정보창에 투명디스플레이를 채택하는 모바일폰이 등장할 것으로 기대된다((그림 18) 참조)[9].

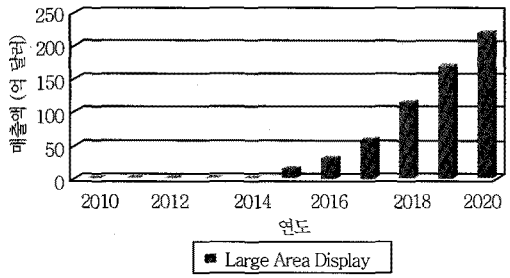
이밖에도 소형 게임기의 경우 투명디스플레이를 채택하면 디자인의 장점 이외에도 새로운 UI를 적용하는 것이 가능하기 때문에 많은 응용이 예상된다.

위와 같은 소형디스플레이 이외에 광고용이나 공공용으로 대면적 투명디스플레이도 많은 활용이 예상된다. (그림 19)는 대면적 투명디스플레이 분야에서의 시장 전망이다.



<자료>: 유비리서치, "투명디스플레이 시장조사"(2010))

(그림 18) 소형 투명디스플레이의 예상 매출액 (2020년 약 92억 달러)



<자료>: 유비리서치, "투명디스플레이 시장조사"(2010))

(그림 19) 대면적 투명디스플레이의 예상 매출액 (2020년 약 220억 불)

© 2010 한국전자통신연구원

위의 소형 투명디스플레이 시장과 대면적 투명디스플레이 시장을 합하게 되면 전체 시장은 2020년 약 314억 달러의 세계 시장이 예측된다.

V. 맺음말

지금까지 디스플레이의 개발 경과를 살펴보면 새로운 디스플레이의 등장은 새로운 전자기기들의 탄생을 가져오고 이를 통해 새로운 미디어나 문화의 탄생을 이끌어 낸다고 할 수 있다.

투명디스플레이의 경우에도 창문형 디스플레이, 스마트 쇼윈도, 스마트 미러 등 새로운 전자기기의 탄생이 예고되고 있다. 이러한 투명디스플레이의 탄생은 새로운 문화를 일으킬 가능성이 많다. 특히 투명디스플레이는 본격적인 증강현실 콘텐츠의 구현이 가능할 것으로 기대된다.

지금까지 우리나라는 하드웨어 산업분야에서 많은 강점을 보여왔고, 특히 디스플레이의 경우 대기업들이 전세계 시장의 절반 이상을 점유하고 있다. 이러한 강점을 활용하여 투명디스플레이의 개발에 나선다면 투명디스플레이 산업분야에서도 세계 1위의 위치를 차지하는 것은 어렵지 않을 것으로 보인다. 이때 투명디스플레이에 적합한 콘텐츠와 미디어를 같이 개발한다면 더욱 큰 산업적인 파급효과를 거둘 수 있을 것이다.

● 용 어 해 설 ●

투명디스플레이: 정보를 표시하는 스크린의 뒷면이 비춰보이는 형태의 정보표시 장치

투명 AMOLED: 구동 TFT 소자가 픽셀마다 포함되어 있는 능동구동형 OLED의 일종으로 패널의 일부를 투명하게 제작한 디스플레이 장치

산화물반도체: 금속산화물로 이루어진 반도체로서 밴드갭이 커서 투명한 특성을 지니고 있으며 주로 능동구동 디스플레이용 백플레인 소자로 연구되고 있다.

약어 정리

AMOLED	Active Matrix OLED
CRT	Cathode Ray Tube
HMD	Head Mount Display
HUD	Head-Up Display
ITO	Indium Tin Oxide
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
OLED	Organic Light Emitting Diode
PDP	Plasma Display Panel
TCO	Transparent Conducting Oxide
TFEL	Thin Film Electro Luminescence
VFD	Vacuum Fluorescent Display

참 고 문 헌

[1] Jon Landau(Producer), James Cameron(Director), (2009). Avatar [Motion picture]. United States: Twentieth Century Fox Film Corporation.

[2] Robert Isele, "Displays in Automobile Applications," *In Proc. of SID*, Long Beach, California, May. 2007, 2.3 Keynote Address 3.

[3] 황치선, 추혜용, 전황수, 조경익, "투명전자소자의 기술 동향," 전자통신동향분석, 제22권 제5호, 2007년 10월, pp.46-56.

[4] Sang-Hee Ko Park, Chi-Sun Hwang, Jeong-Ik Lee, Sung Mook Chung, Yong Suk Yang, Lee-Mi Do, and Hye Yong Chu, "Transparent ZnO Thin Film Transistor Array for the Application of Transparent AM-OLED Display," *In Proc. of SID*, San Francisco, California, June 2006, pp. 25-28.

[5] Young W. Song, Kyu H. Hwang, Seok G. Yoon, Jae H. Ha, Keum N. Kim, Jong H. Lee, and Sung C. Kim, "LTPS-based Transparent AM-OLED," *In Proc. of SID*, Seattle, Washington, May 2010, pp.144-147.

[6] Sang-Hee Ko Park, Minki Ryu, Shinhyuk Yang, Chunwon Byun, Chi-Sun Hwang, Kyoung Ik Cho, Woo-Bin Im, Young-Eun Kim, Tae-Su Kim, Young-Bo Ha, and Kyoung-Bea Kim, "Oxide TFT Driving Transparent AM-OLED,"

© 2010 한국전자통신연구원

In Proc. of SID, Seattle, Washington, May 2010, pp.245-248.

[7] Jae-Heon Shin, Ji-Su Lee, Chi-Sun Hwang, Sang-Hee Ko Park, Woo-Seok Cheong, Minki Ryu, Chun-Won Byun, Jeong-Ik Lee, and Hye Yong Chu, "Light Effects on the Bias Stability of Transparent ZnO Thin Film Transistors," *ETRI Journal*, Vol.31, No.1, Feb. 2009, pp.62-64.

[8] Kwang-Hyuk Choi, Ho-Jun Nam, Jin-A Jeong, Sung-Woo Cho, Han-Ki Kim, Jae-Wook Kang, Do-Geun Kim, and Woon-Jo Cho, "Highly Flexible and Transparent InZnSnOx/Ag/InZnSnOx Multilayer Electrode for Flexible Organic Light Emitting Diodes," *Applied Physics Letters*, Vol. 92, Aug. 2008, p.223302.

[9] 유비리서치, "투명디스플레이 시장 조사," 2010년 8월.

© 2010 한국전자통신연구원