

스마트폰 디스플레이 기술 현황 및 전망

스마트폰으로 변화시키는 일상생활과 사회문화의 중심에 디스플레이가 있어, 스마트폰 업체는 시장에서 우위를 점하기 위한 가장 중요한 전략으로 디스플레이를 선택하고 있다. 스마트폰 제품을 구성하는 프로세서, 통신부품, 메모리, GPS 센서 등의 하드웨어와 운영체제 및 응용소프트웨어, 유저 인터페이스 등의 소프트웨어, MEMS, 터치, 음성, 동작 인식 등의 센서 기술이 급속히 발전함에 따라 인터넷 및 멀티미디어 기반에서 클라우드, Exchange 서버 등의 사용자 경험을 중요시하는 모바일 컴퓨터 기반으로 스마트폰의 기술 환경이 급속히 변화하고 있다. 이러한 스마트폰 기술 환경 변화에 대응하기 위한 가장 필수적인 요소는 스마트폰 디스플레이로, 대형화, 초고해상도화, 초슬림화되고 있는 디스플레이가 스마트폰 경쟁의 중심에 있다.

대화면 고해상도 디스플레이

스마트폰 유저 인터페이스가 고화질 그래픽 및 터치를 중심으로 발전함에 따라 화면 해상도가 향상되고 있으며, 디스플레이 화면의 크기 또한 지속적으로 커지고 있다. 화면 해상도는 디스플레이 화면 내의 화소수를 표시한다. 디스플레이 화면이 720×480개의 화소로 구성되어 있으면 이를 SD(Standard Definition)급, 화면

이 1280×720개의 화소로 구성되어 있으면 HD(High Definition)급, 화면이 1920×1080개의 화소로 구성되어 있으면 Full HD(Full High Definition)급으로 분류한다. 스마트폰용 디스플레이는 그래픽 인터페이스의 중요성이 증가함에 따라 HD급, Full HD급으로 화면 해상도가 증가하고 있으며, Full HD급 등의 화면에 적합하도록 대각 4인치~6인치 정도로 디스플레이 화면 크기가 증가하고 있다.

2012년을 기준으로 3.0인치 이하의 모바일폰 디스플레이의 비중은 56%였으나 화면 크기가 큰 고급 스마트폰의 수요가 증가함에 따라 2015년에는 3.0인치 이하의 모바일폰 디스플레이 비중이 39%로 감소하고, 4인치 이상의 모바일폰 디스플레이 비중이 2012년 20%에서 2015년 42%로 증가할 전망이다. 또한 2012년을 기준으로 HD급 이상의 화면 해상도를 지닌 디스플레이 비중은 7%였으나 스마트폰이 모바일 컴퓨터 기기로 발전함에 따라 화면 전체를 한 화면에 나타낼 수 있는 고해상도 디스플레이 수요가 증가하여 2015년에는 23%로 증가할 전망이다.

2012년	 애플 아이폰 5 4인치 LCD 1136×화소	 삼성 갤럭시 S3 4.8인치 AMOLED 1280×화소	 LG 옵티머스 G 4.7인치 LCD 1280×화소	 HTC One X 4.7인치 LCD 1280×화소
2013년	 소니 엑스페리아 Z 5.0인치 LCD 1920×1080 화소	 삼성 갤럭시 S4 5.0인치 AMOLED 1920×화소	 LG옵티머스 G Pro 5.5인치 LCD 1920×화소	 팬택 베가 NO6 5.9인치 LCD 1920×1080 화소

그림 1. HD 및 Full HD급 디스플레이를 적용한 스마트폰 현황

표 1. 모바일 폰 디스플레이 화면 크기 현황 및 전망 (디스플레이서치, 2012)

화면크기	2010	2011	2012	2013	2014	2015
3.0"이하	76%	65%	56%	50%	43%	39%
3.0~4.0"	22%	26%	24%	20%	19%	19%
4.0"이상	2%	9%	20%	30%	38%	42%

표 2. 모바일 폰 디스플레이 화면 해상도 현황 및 전망 (디스플레이서치, 2012)

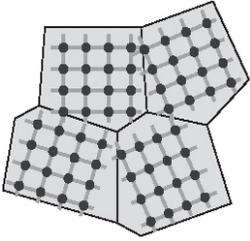
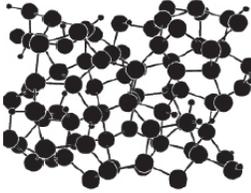
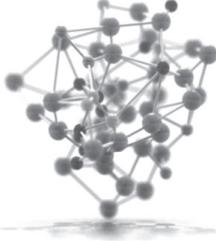
화면해상도	2010	2011	2012	2013	2014	2015
240x320	43%	41%	39%	38%	33%	30%
320x480	2%	5%	7%	8%	9%	9%
480x800	4%	10%	15%	18%	20%	21%
HD이상	0%	0.3%	7%	14%	20%	23%

표 3. 모바일폰 디스플레이 해상도 및 화소 크기 (디스플레이서치, 2012)

Size	Resolution	Aspect	Type	PPI	Pixel size
3.5 inch	480x320	1.5:1	hVGA	165	154
	960x640	1.5:1	DVGA	326	77
4.0 inch	1136x640	16:9	WDVGA	326	78
4.7 inch	1280x720	16:9	WXGA (HD)	312	81
5.0 inch	1920x1080	16:9	Full HD	441	58

스마트폰 디스플레이의 화면 해상도가 높아지며 멀티미디어를 표현하는 모바일 컴퓨터 기능의 향상에 따라 디스플레이 화면비가 1.5:1에서 16:9로 변화하고 있으며, 디스플레이 화면에서 단위 길이 당 화소의 수를 나타내는 PPI(Pixel Per Inch) 단위의 해상도가 증가하고 화소의 크기는 감소하고 있다.

표 4. 스마트폰 디스플레이 TFT Backplane의 종류 및 특징

구분	LTPS TFT	비정질 Si TFT	산화물 TFT
채널 재료 구조			
이동도	50~300 cm ² /Vs	< 1 cm ² /Vs	10~100 cm ² /Vs
고해상도	우수	나쁨	보통
마스킹수	8마스킹 이하	5마스킹 이하	6마스킹 이하
신뢰성	우수	나쁨	보통
기판크기	6세대	8세대~10세대	8세대~10세대

스마트폰 디스플레이용 TFT Backplane 기술

스마트폰 디스플레이 고해상도화가 진행됨에 따라 스마트폰 디스플레이에 사용되는 TFT(Thin Film Transistor) Backplane 기술 또한 변화하고 있다. 스마트폰에 사용되는 TFT Backplane은 비정질 Si TFT와 LTPS(Low Temperature) Si TFT가 주로 사용되고 있다. 비정질 Si TFT는 비정질 Si를 활성층으로 사용하는 TFT이며, LTPS Si TFT는 다결정으로 이루어진 Si를 활성층으로 사용하는 TFT이다. 비정질 Si TFT는 공정 온도가 낮고 공정이 비교적 단순하여 제조 원가가 낮다. 하지만 Si 원자 간의 결합이 불규칙하고 결함이 많아 TFT의 이동도가 낮으며 해상도가 높은 디스플레이 구동에 불리하다. 다결정 Si TFT는 공정 온도가 비교적 높고 공정이 복잡하여 제조 원가가 비정질 Si TFT에 비해 높지만 Si 원자가 규칙적으로 결합되어 있고 결함이 적어 TFT의 이동도가 높아 해상도가 높은 디스플레이 구동에 유리하다.

스마트폰 디스플레이 해상도가 향상됨에 따라 이동도가 높은 LTPS TFT의 비중이 증가하고 있다. 아이폰 3GS에는 LCD용 TFT Backplane으로 비정질 Si TFT가 사용되었으나 아이폰 4 이후 해상도의 증가와 더불어 비정질 Si TFT에서 LTPS TFT가 주로 사용되고 있다. LTPS

TFT의 비중이 증가함에 따라 LTPS TFT 생산이 꾸준히 증가하고 있다. LTPS TFT는 고해상도의 디스플레이 Backplane으로 적합하나 제조공정이 복잡하고 공정 온도가 높다. 따라서 비정질 Si TFT의 단점인 이동도를 보완함과 동시에 LTPS TFT의 단점인 제조가격을 보완하기 위한 대체 기술로 산화물 TFT Backplane 기술의 중요성이 증가하고 있다. 산화물 TFT는 이동도가 비교적 우수하여 고해상도의 디스플레이 제조가 가능하며, 제조공정이 비교적 단순하여 고해상도 디스플레이 제조 원가를 낮출 수 있다. 아직 초기 단계의 생산이 진행되고 있어 신뢰성, 생산 수율 등의 기술적 이슈가 있다.

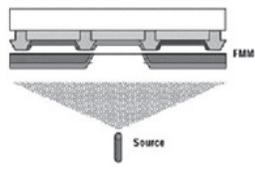
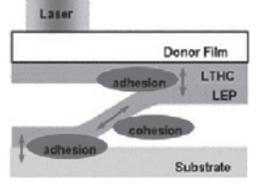
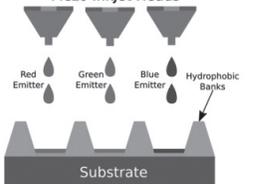
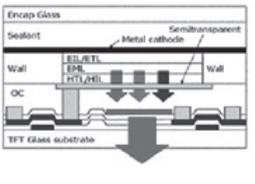
스마트폰용 AMOLED 기술

스마트폰에서 HD, Full HD 등의 고해상도와 더불어 16:9 비율의 디스플레이가 주가 되며, 영화나 TV 등의 시청을 위한 멀티미디어 기능이 강화됨에 따라 화질, 응답속도, 시야각, 대비비 등의 디스플레이 기본 특성이 중요해지고 있다. 따라서 이러한 특성에 대응할 수 있는 디스플레이인 IPS 타입의 광시야각 LCD, AMOLED 등이 주요 디스플레이로 사용되고 있다. AMOLED는 자발광 디스플레이로 시야각이 우수하고 고속 응답이 가능하며 색재현성, 대비비 등의 화질이 우수하여 스마트폰용 고화질 디스플레이로 적합하기 때문에 삼성디스플레이를 중심으로 생산량이 지속적으로 증가하고 있으며 중국, 대만, 일본의 LCD 업체 또한 AMOLED 생산 투자를 진행하고 있다.

스마트폰용 고해상도, 고화질 AMOLED를 위해 OLED 화소 패턴 형성을 위한 기술 및 인광 OLED 재료 기술이 중요해지고 있다. OLED 화소 패턴을 위한 방식으로 FMM (Fine Metal Mask) 방식, 레이저 전사 방식, 용액 공정 방식, WOLED와 CF를 사용하는 방식 등이 있다. FMM 방식은 진공 증착 챔버의 증착원에 놓인 유기 재료를 가열하여 증발시켜 미세한 패턴이 형성되어 있는 shadow mask를 통과하는 유기물에 의해 적색, 녹색, 청색 등의 화소 패턴이 형성되는 방법이다. 효율과 수명이 우수한 OLED의 제작이 가능하지만 초박형 shadow mask를 사용하며 TFT 기판과의 기계적 정렬로 인하여 미세한 화소 패턴을 형성하기 어렵다. 하지만 삼성디스플레이는 FMM 방식의 단점을 개선하여 5인치 Full HD AMOLED를 개발하여 갤럭시 S4에 사용하였다.

레이저 전사 방식은 유기 박막이 코팅되어 있는 도너 기판을 준비하고 도너 기판에 레이저를 조사하여 도너 기판에 코팅되어 있는 유기 박막을 TFT 기판으로 전사하는 방식으로 레이저 빔의 크기를 작게 할 수 있기 때문에 미세한 OLED 화소 패턴 형성이 가능하다. 하지만 형성되는 유기 박막과 놓여 있는 유기 박막 간의 계면 특성이 좋지 않아 효율과 수명이 FMM 방식에 비하여 좋지 않았다. 삼성 디스플레이, 소니 등은 이러한 단점을 개선하여 AMOLED에 사용될 수 있을 정도로 기술 개발을 진행하였으나 아직 생산에는 본격적으로 응용되고 있지 않다. 용액 공정 방식은 OLED용 유기 재료를 용액에 녹여 잉크젯 또는 노즐젯, 프린팅 등의 방식에 의해 OLED 화소 패턴을 형성하는 방식이다. 용액 공정 방식은 재료 이용

표 5. 스마트폰 AMOLED 화소 패턴 형성 방식 및 특징

FMM	레이저 전사	용액공정	WOLED + CF
			
고해상도 어려움 효율 우수 수명 우수	고해상도 유리 효율 보통 수명 보통	고해상도 어려움 효율 나쁨 수명 나쁨	고해상도에 유리 효율 보통 수명 보통

효율이 좋으나 미세 화소 패턴 형성이 쉽지 않아 고해상도 AMOLED 제작이 쉽지 않고 효율 및 수명의 개선이 필요하여 연구 개발 단계에 있는 기술이다.

백색 OLED와 CF를 사용하는 방식은 미세한 패턴이 형성되어 있는 FMM이 필요 없고 LCD 컬러필터 기술을 사용할 수 있으며 초미세 OLED 화소 패턴 형성이 가능하다. LG 디스플레이에서 OLED-TV 제작을 위해 사용하고 있으나 아직 스마트폰 디스플레이 제작에는 사용되지 않고 있다.

스마트폰 AMOLED 디스플레이의 해상도가 증가함에 따라 화소 크기가 점점 작아지고 있으며 이에 따라 OLED 화소에서 빛을 방출하는 면적이 감소하고 있다. 따라서 효율이 우수한 인광 발광 재료가 중요한 요소가 되고 있다. 적색 인광 발광 재료를 이용한 OLED는 수명이 비교적 길어 AMOLED의 적색 화소로 이용되어 왔으나 녹색 인광 OLED 및 청색 인광 OLED는 수명의 개선이 필요하여 AMOLED의 화소로 이용되지 못했다. 최근 녹색 인광 재료 및 소자 수명이 개선됨에 따라 AMOLED 화소에 적용되기 시작하고 있다. 하지만 아직까지 청색 인광 OLED는 수명 개선이 필요하며, 진청색 재료 개발이 필요한 상황이다.

스마트폰용 Flexible AMOLED 기술

스마트폰의 멀티미디어 컴퓨팅이 강화됨에 따라 무게가 가볍고 얇으며 깨지지 않는 다양한 디자인의 디스플레이가 중요해지고 있다. 삼성디스플레이와 LG디스플레이, AUO, 샤프 등의 주요 디스플레이 메이커는 이에 적합

한 Flexible 디스플레이를 개발하고 있으며, 특히 생산에 가장 적합한 Flexible AMOLED 개발에 집중하고 있다. Flexible AMOLED는 유리 기판에 폴리이미드 플라스틱 기판을 용액 상태로 얇게 코팅한 후 TFT Backplane과 OLED화소를 제작하여 유리 기판을 떼어내는 방식으로 제작하고 있다. Flexible AMOLED용 플라스틱 기판으로 높은 온도에서 사용이 가능한 폴리이미드를 사용하고 있으나 황색을 띄고 있어 플라스틱 기판의 반대 방향으로 빛이 방출되도록 전면발광 구조를 적용하고 있다. OLED는 수분과 산소에 취약하기 때문에 수분과 산소가 기판을 통하여 들어가는 것을 방지하기 위해 보호막을 코팅하고 있다. 플라스틱 기판 상에 TFT Backplane과 OLED 화소를 제작하기 때문에 스트레스 등으로 인한 수율 저하를 개선하기 위한 기술 개발이 진행되고 있다. 또한 외부의 수분과 산소가 OLED에 들어가는 것을 방지하기 위해 진행하는 봉지 공정으로 박막 봉지 방식을 사용하고 있다.

박막 봉지를 위해 유기 박막과 무기 박막을 교차하여 순차적으로 코팅하는 방식이 일반적으로 사용되고 있다. 유기 박막으로 아크릴계의 고분자, 무기 박막으로 산화물 또는 질화물 등이 사용되고 있다. 유기/무기 박막을 교차하여 코팅하면 수분 또는 산소가 투과되는 경로를 길게 하여 투습 및 투산소 특성이 향상되나 박막의 코팅 시에 결함이 생성되어 이를 극복하기 위한 기술 개발이 진행되고 있다.

스마트폰용 터치패널 기술

스마트폰에서 유저 인터페이스와 사용자 경험이 중요한 기술적 요소로 부각됨에 따라 디스플레이 터치패널 기술이 중요해지고 있으며, 터치 관련 하드웨어 및 소프트웨어 기능이 강화되고 있다. 모바일 폰에서 터치패널 장착 비율은 2011년에 50%였으며, 2015년에는 59%로 증가할 전망이다. 터치패



그림 2. 스마트폰용 Flexible AMOLED 디스플레이 (삼성디스플레이)

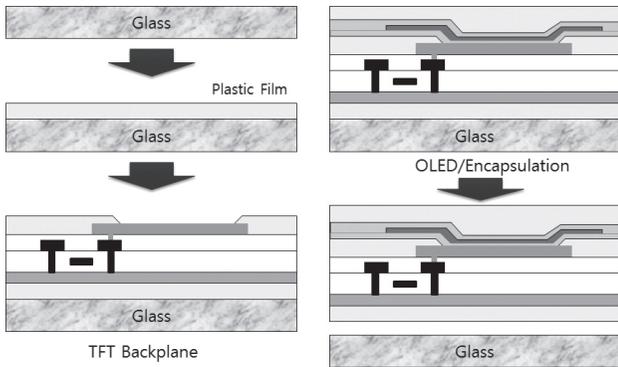


그림 3. Flexible AMOLED 제작 공정

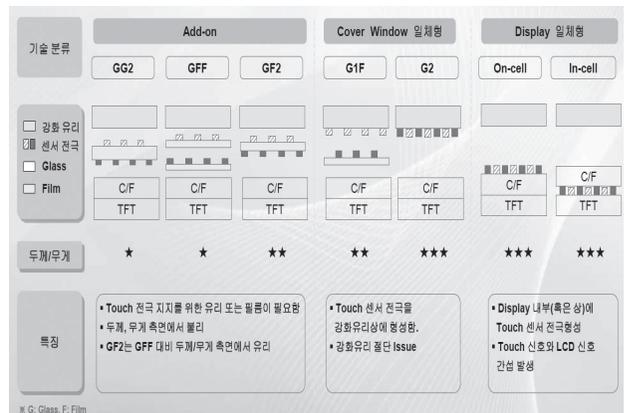


그림 5. 터치패널 기술 분류 및 특징 (LCD 디스플레이)

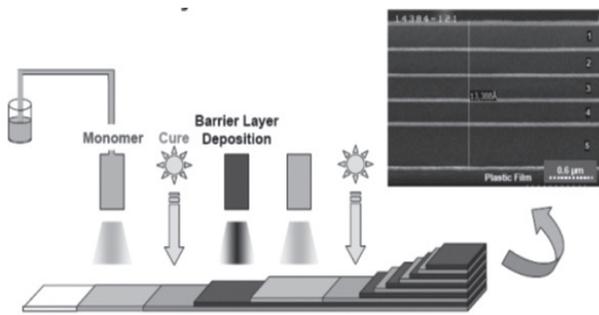


그림 4. Flexible AMOLED 박막 봉지 공정 (Vitex Systems)

널 장착 비율이 급격히 증가함에 따라 다양한 방식의 터치패널 기술이 개발되고 있다.

스마트폰에 주로 사용되는 터치 방식으로 디스플레이 패널에 추가하여 사용하는 Add-on 방식, 커버 윈도우에 터치패널을 장착하는 커버 윈도우 일체형, 디스플레이 일체형 방식이 있다. 터치패널이 대부분의 스마트폰에 탑재됨에 따라 터치패널 슬림화, 경량화 기술 개발이 본격적으로 진행되고 있다. 이에 따라 디스플레이와 터치패널을 일체화시켜 스마트폰 부품 수를 줄이고 슬림화, 경량화를 진행하고 있다. 디스플레이 일체형 터치패널 기술은 커버 글라스와 디스플레이 패널 사이에 터치패널을 놓는 On-cell 방식과 디스플레이 패널 내부에 터치패널을 놓는 In-cell 방식이 있다. Flexible AMOLED를 위한 터치패널 또한 개발되고 있다. Flexible AMOLED를 위한 터치패널은 박막 봉지와 결합하는 방식으로 박막 봉지와 커버 시트 사이에 터치 센서를 장착하는 방식의 디스플레이 일체형 기술, Add-on 기술 등 다양한 방식이 검토되어 개발되고 있다.

결론

스마트폰 디스플레이는 멀티미디어 컴퓨팅에 적합하도록 대형화, 초고해상도화, 초고화질화를 중심으로 기술이 발전하고 있으며, 이에 적합한 저가 고이동도 TFT Backplane, 고속응답 및 광시야각 디스플레이, 초박형 초경량 Flexible AMOLED, 일체형 터치 센서 기술을 중심으로 발전하고 있다. 스마트폰 시장 경쟁의 중심은 차별화된 디스플레이 기술에 있다. 경쟁국이 추격하기 힘든 차별화된 디스플레이 기술을 개발하고 선도해야 스마트폰 강국을 유지할 수 있다.

참고문헌

1. Calvin Hsieh, "Smartphone Trend with Smarter Display by Touch", 2012 Displaysearch conference.
2. 송문봉, "디스플레이 일체형 터치 기술 현황", 2012 디스플레이 산업협회 터치패널 세미나.



문대규

연세대학교 세라믹공학과에서 학사, KAIST 재료공학과에서 석사 및 박사 학위를 취득한 이후 LG디스플레이 선임연구원, 옥스퍼드대학 박사 후 연구원(Post-Doc), 전자부품연구원 디스플레이센터 책임연구원, 산업기술평가관리원 지식경제부 디스플레이 R&D PD, 산업자원부 전략기술기획 OLED 기획위원장 및 디스플레이 발전전략위원회 위원, 지식경제부 신성장동력 디스플레이 기획위원 및 IT기술 로드맵 디스플레이 분야 기획위원장, 전기전자재료학회 이사, 정보디스플레이학회 이사 등을 역임했다. 현재 순천향대학교 디스플레이신소재공학과 교수로 재직 중이며, 주요 연구 분야는 TFT-LCD 및 OLED, 디스플레이 부품 소재, 플렉시블 디스플레이 등이다.