

박막트랜지스터 액정디스플레이 (TFT-LCD)의 개발 현황

張 震

慶熙大學校 物理學科

I. TFT-LCD 모듈 개발 역사

1972년 독일의 피셔 등이 액정 컬러 TV에 대한 기본 특허를 취득한 이후, 1979년 영국의 리콘버 등에 의해 비정질 실리콘 박막트랜지스터를 이용한 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)가 제안되어¹⁾ 영국의 스넬 등이 5×7 화소의 TFT-LCD 제작에 성공하였다.

일본의 캐논에서는 1982년에 비정질 실리콘 TFT를 이용한 240×240 화소의 TFT-LCD를, 산요에서는 TFT-LCD를 이용한 액정 TV를 1982년에 개발하였다. 이어 세이코-엡슨에서는 1983년에 다결정실리콘 TFT를 이용한 컬러액정 TV의 상업화에 성공하였다. 그 이후, 일본업체를 중심으로 TFT-LCD 분야에 비약적인 발전이 있었고, 일본의 마쉴시다에서는 1986년에 비정질 실리콘 TFT를 이용한 액정TV의 상업화에 성공하였다.

일본의 샤프에서는 1981년에 영국 Spear박사를 초청하여 비정질 실리콘에 관한 강의를 들은 후에 비정질 실리콘에 대한 연구를 시작한 결과, 1986년에 3" 크기의 액정컬러 TV를 개발하여 87년에 발매하고, 같은 해에 480×640 화소의 TFT-LCD를 이용한 OHP를 상품화하는 등, TFT-LCD에 대한 비약적인 발전이 86년부터 시작되어 현재에 세계 1위의 자리를 차지하고 있다.

1988년부터 현재까지, 일본의 샤프, NEC, 도시바, 마쉴시다, 호시덴 등이 주축이 되어 TFT-LCD의 대면적화, 고품위화, 저가격화, 저소비전력화 등에 비약적인 발전이 있었다. 1995년 1월 현재, 21" 대각 크기의 멀티미디어용 모듈(표 1 참조), 17"급의 EWS용 모듈, 6만 화소의 13"급 EWS용 디스플레이가 대표적인 시제품이다. 한편, 한국에서는 금성사와 삼성전자가 본격적으로 TFT-LCD 연구/개발을 1991년에 시작하여, 1994년에 12.1"급의 EWS용과 14.2"급의 멀티미디어용 TFT-LCD 모듈개발에 성공하였다(표 2 참조).

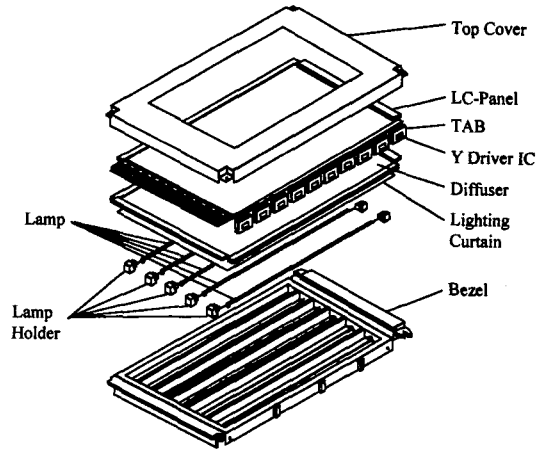
1993년의 TFT-LCD 시장은 약 2200억 불이고,

〈표 1〉 일본 사프에서 개발한 세계 최대 면적의 TFT-LCD 규격

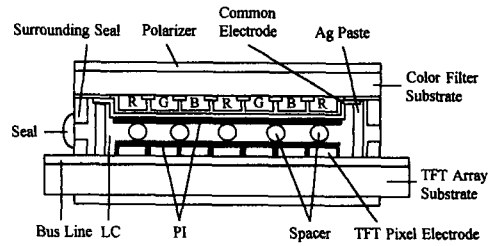
화면크기 : 21"(대각)
화소수 : 640×480×3
컬러수 : 1670만
시야각 : 좌우 80° 상하 80°
표면반사율 : 1.5% 이하
두께 : 2.7cm
용도 : 멀티미디어

〈표 2〉 삼성전자에서 개발한 국내 최대 면적의 TFT-LCD 규격

화면크기 : 14.2"(대각)
화소수 : 640×480×3
컬러수 : 26만
시야각 : 좌우 150° 상하 60°
두께 : 3cm 이하
개구율 : 60%
소비전력 : 15W
휘도 : 150Cd/cm ²
용도 : 멀티미디어



(a) TFT-LCD Module



(b) LC-Panel Structure

〈그림 1〉 TFT-LCD 모듈 구조

95년에 4200억 원, 96년에 7200억 원으로 성장될 것으로 예측된다. 이러한 성장 속도는 80년대초의 DRAM 시장의 성장속도와 유사하기 때문에 TFT-LCD 시장이 약 12년차를 두고 DRAM 시장을 따라갈 것이라는 예측이 가능하다. 우리나라에서도 일본 다음으로 TFT-LCD의 본격적인 생산이 시작되어 '95년에 4500억원, 2000년에 약 3조원의 생산이 가능할 것으로 예상된다.

II. TFT-LCD의 구조

TFT-LCD의 구조를 보면, 형광 램프에서 나온 빛이 반사 및 분산 장치에 의해 액정패널 쪽으로 입사된다(그림 1 참조). 액정 패널은 두께가 1.1mm인 두 개의 유리판 사이에 비틀림네마틱

(TN) 액정이 약 6 μ m 두께로 채워져 있으며, 빛이 입사된 쪽의 유리판 위에 TFT 및 ITO 화소와 액정 배향층이 있고, 다른쪽의 유리판 위에는 컬러필터와 액정배향층(폴리이미드)이 코팅되어 있다. 그리고 두 장의 유리판 밖에는 편광판이 부착되어 있다.

컬러 화상은 R(Red), G(Green), B(Blue) 세 종류의 컬러필터를 조합하여 얻어진다. R, G, B 세 개의 화소가 모여서 한개의 컬러화소를 이룬다. TFT는 R, G, B 화소에 각각 연결되어 있기 때문에 VGA(480×640) 화면 구성의 경우, redundancy를 사용하지 않을 때에 921,600 개의 TFT가 필요하다. 수평 또는 수직으로 연결되어 있는 구동 IC에 의하여 화상 및 어드레스 신호가 TFT를 통하여 각 화소로 전달되며, TFT는 전하가 필요할 때에만 흐르게 하는 스위칭소자 역할을 한다.

TFT-LCD는 입사된 빛의 3~8%만 투과하는 매우 비효율적인 광변조기이다. 두장의 편광판의 투과도 45%, 유리 두 장의 투과도 94%, TFT 어레이 및 화소의 투과도 65%, 컬러필터의 투과도 27%라 두고 계산하면 TFT-LCD의 광투과도는 약 7.4%이다. 현재 생산되는 10"급의 광투과도는 5~7%이다.

III. TFT-LCD의 응용제품

TFT-LCD의 응용제품도 모듈의 고품질화에 힘입어 다양화되고 있는 추세이다. 응용제품은 직시형 및 투사형으로 구별되며, 투사형은 주로 20" 이상의 화면을 요구하는 디스플레이에 이용된다.

그 동안 주로 응용되었던 노트북 PC는 고품질의 노트북 PC(26만 컬러 이상), 노트북 WS, 서버노트북 PC 및 멀티미디어용 PC 등으로 응용 범위가 확대되고 있다. 한편, 소형 액정 패널을 이용한 제품의 대명사로 불리우는 액정 TV도 93년에 샤프에서 상품화하여 히트한 액정 뷰캠, 액정 패널장착 자동차 항법 시스템, 비디오폰, 멀티미디어 액정 TV, 액정 패널 장착 VCR, 항공기용 디스플레이 및 휴대용 CD-ROM 등으로 응용 범위가 확대되고 있다. 그리고 오실로스코우프로 LCD 화면을 부착한 휴대용 오실로스코우프로 대체되는 시대가 왔다.

IV. TFT-LCD 개발의 주요 내용

TFT-LCD가 다양한 정보디스플레이로 응용되기 위해서는 TFT-LCD의 대면적화, 고품위화, 저소비전력화, 박형화 및 저가격화 기술이 요구된다.

1. 대면적 화면

반도체 메모리를 연구하는 사람들은 단위면적에 많은 양의 정보를 저장하기 위하여 노력하고 있

〈표 3〉 TFT-LCD와 VLSI의 비교

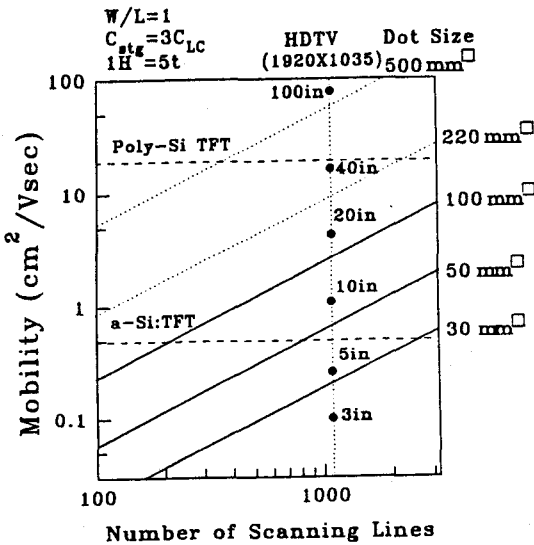
	24cm(9.4") TFT	1MDRAM
크 기	20×15cm	1.5×0.7cm
Transistor 수	90만개	110만개
선 폭	10 μ m	2 μ m
배선길이(전체)	400m	3m
마 스 크 수	6~10	15~20
공 정 온 도	<350 $^{\circ}$ C	<1200 $^{\circ}$ C
반 도 체	비정질 실리콘	단결정 실리콘
수 / 기 판	2~4	약 200

으며, 그 결과로 DRAM의 메모리 용량이 4M, 16M, 64M, 256M, 1G 순으로 증가되고, 동시에 단위소자 및 배선의 미세화가 이루어진다. 반면에 우리가 가정에서 점차 큰 화면을 원하고 있듯이 고 급 TFT-LCD의 첫번째 요구조건은 대면적화이다. TFT-LCD는 반도체 공정을 이용하고 두 장의 유리판 사이에 6 μ m 정도의 두께로 액정이 채워져 있기 때문에 대면적화에 특히 어려움이 많다. TFT-LCD와 DRAM의 주요 규격 및 제조공정 비교가 표 3에 나타나 있다.

현재까지 개발된 최대크기의 직시형 TFT-LCD는 샤프에서 94년도에 개발한 멀티미디어용 21" 크기이다(표 1 참조). EWS 용으로는 역시 샤프에서 개발한 17" 크기의 1280×1024 화소의 모듈이 가장 대면적이다.

디스플레이의 면적이 증가되면 한 개의 화소 면적이 증가되기 때문에 보다 많은 전하가 TFT를 통하여 화소로 공급되어야 한다. 따라서 개구율이 높은 디스플레이를 대면적으로 제작하기 위해서는 TFT의 전계효과 이동도가 증가되어야 한다. 그림 2은 TFT-LCD에서 전계효과이동도, 주사선수 및 화면 크기의 상호관계를 나타낸다. 그림에 나타난 결과는 TFT의 $W/L=1$, $C_{stg}=3C_{LC}$ 를 가정하여 얻은 것이다. 현재 TFT-LCD의 생산라인에서 얻어지는 비정질실리콘 TFT의 전계효과이동도는 0.4~0.7cm²/Vs이며, 이는 VGA 10"급의 모듈생산에는 충분한 값이다. 그러나 20"급의 EWS급에서는 약 1cm²/Vs의 이동도가 요구된다.

대면적 TFT-LCD에서는 선이 길어지기 때문에



〈그림 2〉 TFT-LCD에서 전계효과이동도, 주사선수 및 화면크기의 관계

〈표 4〉 각종 배선 재료의 특성

재료	비저항($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	Cost	Adhesion	양극산화	내열성
Cu	2	○	×	×	○
Au	3	×	×	×	○
Al	4	○	○	○	×
α -Ta	25	△	○	○	○
β -Ta	200	△	○	○	○
Mo	20	△	○	×	○
W	30	△	○	×	○
Cr	50	△	○	×	○
Ti	200	△	○	○	○
ITO	100~500	△	○	×	○

○ : 우수, △ : 보통, × : 나쁨

RC 지연 효과가 커진다. 따라서 비저항이 작은 금속 물질을 게이트로 사용해야 된다. 현재, Al, Al/Mo/MoTa,^[2] MoTa, Cr,^[3] Mo, Ta, Al/Ta 등의 게이트 금속이 주로 사용되는데(표 4 참조), 최근에는 저항이 매우 작은 Cu를 이용한 5.5"급 TFT-LCD도 제작되었다.^[4] 이 분야에 대한 연구도 계속되고 있으며, 게이트 및 데이터 금속을 모

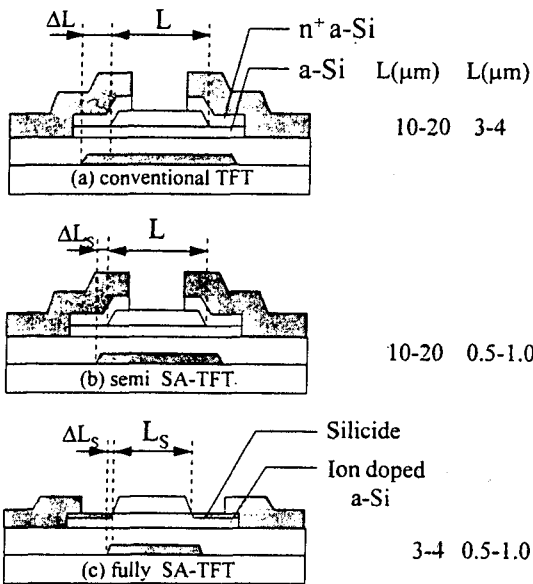
두 비저항이 작은 같은 물질로 사용하려는 연구도 계속되고 있다.

2. 고품위 화질화

TFT-LCD가 CRT와 거의 같은 화질을 갖기 때문에 차세대 디스플레이로 확고한 위치를 차지하고 있다. 고밀도 화소에 의한 해상도 개선, 자기정렬 방식의 TFT를 이용한 화면의 질개선, 시야각 개선, 컬러수 증가, 사용온도 범위개선, 표면반사율 감소 등의 기술이 크게 발전되었다.

고밀도 화소 패널 제작은 고전계효과이동도를 갖는 다결정실리콘 TFT가 주로 이용되고 있다. 캠코더용 0.7" 패널은 소니 및 세이코-엡슨에서 양산중이며, HDTV용 패널은 샤프, 세이코-엡슨, 도시바 등에서 고온 공정을 이용한 다결정 실리콘 TFT를 기본소자로 2~4"화면 크기의 주변회로 일체형으로 개발되었다. 비정질 실리콘TFT를 이용한 모듈은 샤프에서 개발한 5.5" 크기의 HDTV용(1280×960) 패널과 NEC에서 개발한 1280×1024 화소의 EWS용 모듈이 대표적인 고밀도 패널이다.

비정질 실리콘 TFT는 모두 스테거드형이며, 호시덴을 제외한 대부분의 회사에서는 게이트, 게이트절연막, 비정질실리콘 순서로 제작되는 역스테거드형 TFT를 이용하고 있고, 호시덴만이 정상적인 스테거드형 TFT를 이용한 TFT-LCD를 양산중이다. 역스테거드형 TFT는 에치스토퍼(etch stopper)형과 채널 에칭형으로 구분된다. 그림 3에 대표적인 세종류의 에치스토퍼 역스테거드형 TFT를 나타낸다. 그림 3의 a, b, c는 개발된 순서로 나타낸 것이며, (a)와 (b) 구조는 현재 생산라인에서 사용되고 있으며, (c) 구조의 TFT 생산을 현재 고려중이다. 그림 3의 a, b, c 순서대로 게이트와 소오스/드레인 사이의 기생용량이 감소되기 때문에, feedthrough 전압이 감소되어 플리커가 감소되고, 균일성이 좋은 고품위 디스플레이 제작에 이용된다. Fully self-align^[5] 구조에서는 실리콘사이드층이 꼭 필요한데 NEC는 Cr-silicide^[6]를, 샤프에서는 Mo-silicide를 개발하여 사용하고 있다. 저자의 연구실에서도 새로운 실리콘사이드를 개발하여



Cross sectional views of TFTs
(a) conventionnal TFT (b) semi SA-TFT,
and (c) fully SA-TFT.

(N.Ibaraki, JAPAN DISPLAY '92 (1992) p.205

〈그림 3〉 역스테거드형 비정질 실리콘 TFT의 단면도
a)보통 구조, b)semi-self-align 구조,
c)fully self-align 구조

fully self-align TFT 제작에 성공하였다.

LCD의 단점중의 하나가 시야각이 좁다는 점이다. 이 분야도 최근에 비약적인 발전이 있었으며 소위 광시야각 기술로 표현된다. 화소 하나를 2개 혹은 4개로 나누어서 액정을 배열하는 방법, 배향층인 폴리이미드 층을 비정질 형태로 하는 아모르포스 배향방식, 셀갭의 조정, 광보상판 등의 방법이 광시야각 기술로 사용된다. 현재, 시야각은 좌우 120도, 상하 80도 정도를 얻을 수 있다.

컬러수는 LCD의 광투과도-전압 관계에서 얻을 수 있는 그레이 레벨의 수에 의하여 결정되는데, 그레이수 64, 256일 때에 컬러수는 각각 26만, 1670만이다. 최근에 노트 PC의 경우에도 멀티미디어 기능을 요구하기 때문에 대부분 26만 컬러를 사용하는 추세로 바뀌고 있다. HDTV용 LCD 모듈은 256 그레이를 이용한 완전컬러에 해

당되는 1670만 컬러를 나타낸다.

TFT-LCD의 설계 및 공정시의 전극의 미세화, 보조전기용량의 적절한 설계, 자동정렬 공정 이용 등을 이용하여 개구율을 증가시킬 수 있다. 보조용량을 화소 주위 혹은 트랜지스터 주위에 위치하면 개구율이 커진다. 또한, 균일한 화상을 얻기 위해서는 feed-through 전압의 균일화, 게이트라인의 저저항화 등이 중요하며, 특히 디스플레이의 면적이 증가함에 따라서 균일화 문제가 더욱 중요해진다.

TFT-LCD용 액정도 독일의 머어크 및 일본 치소 회사 등에서의 연구개발 결과로 전압보지율이 99% 이상으로 개발되었고,^[7] 사용 온도영역도 크게 확장되어 사프에서 개발한 자동차 항법시스템용 TFT-LCD의 사용 가능온도 범위는 $-30^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$ 이다.

편광판 및 반사가 예상되는 표면에 무반사막의 첨가로 TFT-LCD의 표면 반사율도 2% 이하로 감소되었다. TFT-LCD의 무게를 더욱 줄이기 위하여 유리기판의 두께를 0.7mm로 하거나 폴리이미드 등의 플라스틱 기판 위에 TFT를 제조하려는 연구도 진행중이나 현재까지 개발된 TFT-LCD 모듈은 없다.

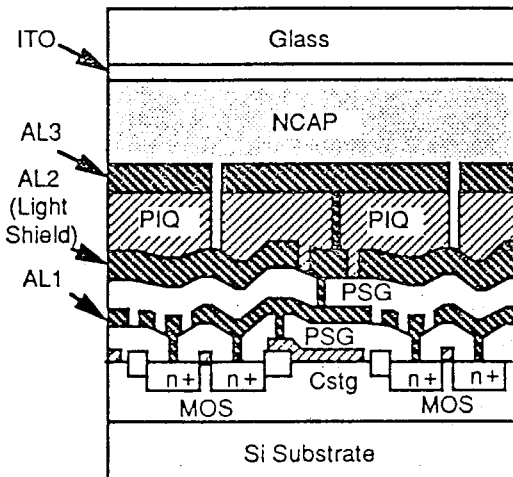
3. 저소비 전력화

LCD의 큰 장점중의 하나가 소비전력이 CRT에 비하여 낮기 때문에 휴대용으로 사용 가능하다는 점이다. 10"급의 경우에 TFT-LCD의 소비전력은 3~4W 정도이고 이는 2.5W 이하로 감소될 수 있다. 이러한 소비전력의 감소는 TFT-LCD의 광투과도 증가, 저전압 액정 구동 및 백라이트의 효율 증가로 가능하다. 모듈의 투과도를 증가시키기 위해서는 개구율(빛이 투과되는 면적 비율)의 증가(70% 이상),^[8] 편광판의 투과율 증가(45%), 컬러필터의 투과도 증가(30%) 및 저전압 액정 구동(1V) 등에 의하여 투과도를 8%까지 증가시킬 수 있다(10", VGA 기준). TFT-LCD의 최적 설계, 자기정렬형의 TFT 사용, 전계효과 이동도의 증가 및 보조용량의 적절한 배치로 개구율을 70% 이상 증가시킬 수 있다. 다결정 실리콘 TFT는 비정질

실리콘 TFT를 사용하는 것에 비하여 TFT가 차지하는 면적이 작기 때문에 개구율을 크게할 수 있다. 또한, 저문턱전압 액정 및 AC 공통전극 기술을 이용하면 액정에 인가된 전압이 낮기 때문에 소비전력을 낮출 수 있다. 그리고 백라이트의 효율 증가, 반사면 및 빛 가이드의 효율 증가, 인버터의 효율 증가에 의하여 소비전력을 낮출 수 있다.

반사형의 TFT-LCD는 투과형에 비하여 소비전력이 1/30 정도로 작기 때문에 서브 노트북 PC 및 개인정보 보조기(PDA)로의 사용이 기대된다. 사프에서 개발한 5"형의 반사형 TFT-LCD는 비저항이 큰 게스트-호스트 액정(>10¹²ohm cm) 및 반사도가 큰 우둘투둘한 표면을 갖는 반사면을 이용하여 반사도를 증가시켰다. 또한, 컬러 필터를 사용하여 흑색, 청색 및 적색의 컬러 화면을 구현할 수 있다.

반사형 LCD 중에서 휘도를 증가시키기 위해서는 외부 광원에서 입사된 빛을 LCD 표면에서 반사시키는 형태인데 그림 4은 최근에 일본 히다치에서 개발한 광벨브의 단면도를 나타낸다. 실리콘 웨이퍼를 이용하기 때문에 스위칭 소자는 MOSFET 이고, 따라서 주변회로도 같은 웨이퍼에 집적시킬 수 있다.^[9] 그림 4에 나타난 바와 같이 반사면적이



(그림 4) 히다치에서 개발한 반사형의 PDLC/MOS 광벨브의 단면 구조

(표 5) 히다치에서 개발한 PDLC/MOS 반사형 광벨브의 특성

패널화면크기	: 2"
화소수	: 640x480
화소크기	: 64 μ m x 64 μ m
개구율	: 90%
주변회로	: Fully integrated
반사도	: 38% [7Vrms(F/5.6)]

전체 화면의 약 90%로 제작할 수 있고 편광판이 필요없는 액정(PDLC)을 이용할 경우에 밝은 화면을 구현할 수 있다. 히다치에서는 150W 메탈할라이드 램프를 이용해 75인치 투사형 화면의 경우에 200lm을 얻었다(표 5 참조). 앞으로 40인치 이상의 화면을 요구하는 디스플레이는 투과형 TFT 패널보다 밝기에서 우수한 PDLC/MOS 반사형 디스플레이가 많이 사용될 것으로 예측된다.^[9]

4. 저가격화

현재 TFT-LCD의 상품화를 서두르는 국내 기업에서 가장 시급히 해결해야 할 과제가 저가격화의 실현이다. TFT-LCD의 가격은 표 5에 나타난 바와 같이 부품 재료 가격, 감가상각비, 인건비, 연구개발비에 의해 결정된다. 현재 생산되는 10인치 급의 생산 가격은 852\$ 정도이다(표 6 참조). 현재 10"급 기준으로 판매가격이 80만원 정도이며, 96년말에 55만원 2000년에 25만원까지 내려갈 것으로 예측된다. 대면적 기관 사용, TFT

(표 6) 10인치급 TFT-LCD의 현재 생산가격

1. Material cost : \$ 402
-Glass : \$ 25
-Color filter plate : \$ 180
-Driver IC : \$ 105
-Controller : \$ 45
-Backlight : \$ 27
-Others : \$ 20
2. Fabrication cost : \$ 450
-Personnel
-R&D
-Depreciation

어레이의 생산성 향상, 컬러필터/드라이버 IC/백라이트 등의 부품 및 재료의 저가격화와 모듈 제작의 수율 향상이 저가격화의 필수 조건이다. 또한 부품 및 장비의 표준화도 저가격화에 큰 도움이 된다. 현재 SID, SEMI 및 USDC를 중심으로 LCD의 표준화에 관심을 갖기 시작하였다.

올해부터 우리나라에서 TFT-LCD의 양산에 이용될 장비는 소위 LCD 2기(2nd generation) 장비로 한번에 10"급의 모듈을 4장까지 제작할 수 있다. 97년초부터 사용 가능한 3기 라인에서는 한번 공정에 6장(또는 8장)의 모듈이 제작되기 때문에 생산성이 더욱 향상된다.

모듈의 저가격화를 위해서는 단순 공정에 의한 TFT 어레이 제작, 모듈의 생산성 및 수율향상이 필수적이다. 현재 사프, NEC 등에서 얻은 양산 수율은 60~80% 정도이며, 결국에는 90% 이상 전망된다. 특히, 수율을 증가시키기 위해서는 게이트 금속의 경사식각 기술, 채널영역의 도펀트 제거, 정전기 방지회로 채용 및 정전기 발생 최소화, repair 공정 기술이 매우 중요하다. TFT의 게이트 절연막으로 이중절연막, 즉 Al_2O_3/SiN , Ta_2O_5/SiN , SiO_2/SiN 등의 구조가 이용된다. 여기서 중요한 점은 항상 비정질실리콘과 접하는 절연막으로는 PECVD 공정에 의한 SiN 가 사용되는데 이는 비정질 실리콘/PECVD 실리콘 질화막 사이에 계면 상태밀도가 $10^{11}cm^{-2}eV^{-1}$ 정도로 낮기 때문이다.

알루미늄 혹은 탄탈 옥사이드는 양극산화 방법에 의하여 제작되며 SiO_2 는 생산성이 매우 좋은 상압CVD(APCVD) 방법에 의하여 증착된다. 양극산화막 보다는 제조공정이 간단하고 생산성이 높은 APCVD SiO_2 막이 앞으로 점차 많이 사용될 것으로 전망된다. 단일 SiO_2 막을 이용한 TFT도 양산에 이용될 가능성이 크다.^[10]

5. 다결정실리콘 TFT-LCD

다결정실리콘 TFT는 비정질 실리콘TFT에 비하여 이동도가 크기 때문에 주변회로 일체형 LCD 또는 고밀도 LCD 제작에 적합하다. 그러나 현재 대부분의 TFT-LCD 양산은 비정질실리콘 TFT를

이용한다. 그 이유는 첫째로 TFT 제조공정이 복잡하고 높은 공정온도 때문에 제작 단가가 높고 둘째로는 고온공정에 의해 제작된 경우를 제외하고는 누설전류의 불균일성 때문에 양산에 적용하기가 어렵다는 점이다.

다결정실리콘을 제작하는 방법은 600°C 이상에서 CVD에 의해 기판 위에 다결정 실리콘을 증착시키는 LPCVD 방법, 비정질 실리콘 박막을 제작한 후에 550°C 이상의 온도에서 장시간 열처리하여 결정화시키는 고상결정화 방법, 비정질 실리콘막을 100nm 정도 증착한 후에 레이저 빛을 조사시켜 순간적으로 실리콘을 녹인 후에 재결정화시키는 레이저 어닐링 방법과 PECVD 방법으로 기판 위에 직접 다결정실리콘을 증착시키는 방법 등이 있다. 저온 다결정실리콘 제조방법은 주로 레이저 어닐링 방법이 연구되고 있으며 PECVD 방법도 기초 연구 차원에서 진행되고 있다.

고온공정을 이용한 3.3"^[11], 3"^[12], 2"[Sharp]급의 주변회로 일체형 TFT-LCD는 HDTV용으로 개발되었고, VGA용은 1.3"급으로 제작되었다.^[13] 이들은 모두 투사형이기 때문에 모듈의 크기를 줄이고 개구율을 증가시키기 위한 연구가 계속해서 진행되고 있다. 모듈의 크기가 작을수록 투사형 렌즈 시스템의 가격이 낮아진다. 특히 고온다결정 실리콘 TFT의 게이트 절연막으로 사용된 다결정실리콘에 존재한 경계면 상태밀도가 열산화막 성막시에 산화에 의하여 감소된다. 사프에서는 게이트로 다결정실리콘 대신에 Al 게이트를 사용하여 모듈을 제작하였다.

레이저 어닐링에 의해 다결정 실리콘 TFT를 제작하기 위해서는 양질의 절연막 및 대면적 공정이 가능한 이온도핑을 이용해야 된다. 레이저 어닐링의 경우에는 여러번 어닐링, 어닐링시의 기판온도 증가(400°C), 박막 두께조절 등의 기술을 이용하여 이동도가 $500cm^2/Vs$ 이상인 TFT가 제조되었다. 균일도 및 p채널 특성도 많이 개선되었고 레이저 다결정 실리콘을 이용하여 18.2"의 모듈이 제작되었다. 그러나, 레이저 어닐링 기술을 양산에 적용시키기 위해서는 균일도 향상 및 게이트 절연막 등에 관한 연구가 필요하다. 세이코-엡슨에서

(표 7) 레이저 아널링 방법에 의한 드라이버 IC 일체형 TFT-LCD(세이코-업슨 제작)

화소수	:	420×220
Dot pitch	:	34 μ m×46 μ m
개구율	:	27%
화면크기	:	0.7"
콘트라스트	:	200 : 1
스윗칭소자	:	Dual gate

개발한 0.7" TFT-LCD 모듈의 규격이 표 7에 나타나 있다. 레이저 아널링을 이용하여 제작한 유일한 주변회로 [데이터 드라이버 포함] 일체형 모듈이다.

SiF₄/SiH₄/H₂를 PECVD 방법으로 분해하여 280℃에서 제작한 다결정실리콘 TFT는 이동도가 10cm²/Vs 정도^[14, 15] 고밀도 및 투사형 TFT-LCD에 이용될 수 있다. 특히 증착 다결정실리콘은 제조방법 및 장비가 현재 양산에 적용된 비정질실리콘 TFT와 동일하기 때문에 좋은 TFT만 개발되면 양산에 쉽게 적용될 수 있다.

스윗칭소자로는 비정질실리콘 TFT를, 주변회로는 다결정실리콘 CMOS 공정에 의해 제작된 모듈이 미국의 Xerox에 의해 개발되었다. 주변회로는 따로 제작하여 패널에 부착되었다. 비정질실리콘 TFT는 누설전류가 다결정 실리콘 TFT에 비하여 낮고 양산하기가 쉽다는 장점이 있다.

V. 맺는말

표 8은 2000년에 주로 상용될 TFT-LCD 규격을 나타낸다. 크게 OA, HDTV 및 자동차 탑재용으로 구분하여 나타났다. OA 및 자동차 탑재형은 직시형이 사용되나 HDTV용은 투사형이 주로 사용될 전망이다.

TFT-LCD는 국내에서 개발된 기술로 대규모 양산을 시작한 유일한 전자부품이다. 이는 금성사와 삼성전자를 중심으로 91년부터 매년 수백억원을 연구개발에 투자한 결과이다. 회사의 집중적인

(표 8) 2000년에 주로 상용될 TFT-LCD 규격

	OA용 대형 액티브 매트릭스 LCD	HDTV용 액티브 매트릭스 LCD	자동차 탑재용 액티브 매트릭스 LCD
화 면 사 이 지	17"형	30"형	6"형
화 소 수	1280*1024	1920*1035	320*240
화 소 피 치	0.27mm	0.345*0.36mm	0.375mm
표 시 색	풀컬러	풀컬러	풀컬러
콘 트 라 스톱	100 : 1	100 : 1	100 : 1
시 야 각 상 하 좌 우	90° cone (10 : 1)	90° cone (20 : 1)	120° (10 : 1) 90° (10 : 1)
응 답 속 도	30ms	20ms	20ms
화 면 휘 도	150cd/cm ²	200cd/cm ²	300cd/cm ²
동 작 온 도 범 위	0~50℃	0~50℃	-20~80℃
보 존 온 도 범 위	-20~60℃	-20~60℃	-40~90℃
진 동	5m/s ²	155m/s ²	40m/s ²
충 격	30m/s ²	300m/s ²	1000m/s ²
두께	10mm	25mm	6mm
중량	1000g	7kg	
소 비 전 력	15W	50W	3W

〈표 9〉 2000년대의 TFT-LCD 응용전망

크 기	용 도	
4~15"	비디오 폰 CD-ROM 디스플레이 휴대용 TV 노트북 PC 전자빠빠 오실로스코우프	자동차 항법 시스템 항공기용 디스플레이 뷰캠
10~50"	벽걸이 TV 영상비존 전자신문 원격레슨 노트북 WS	다지점 영상회의 전자미술관 전자도서관 의료기기영상 멀티미디어 디스플레이
50~200"	HDTV 입체 TV 벽걸이형 비디오폰 전략정보시스템 다화면영상단말기	프로젝타 전자홍보 환경영상 학교 CAI 교통관제센터

연구개발에 비하여 학계 및 정부에서의 이 분야에 대한 관심은 매우 미미한 상태이다.

우리나라에서 양산을 시작한 10"급 모듈 제조 기술은 일본업체와 동일하며, 우리나라에서도 세계 2위의 TFT-LCD 생산국에 걸맞는 새로운 기술개발, 부품 장비의 개발 및 저변 확대를 위한 범국가적인 연구 활성화가 매우 중요하다.

참 고 문 헌

[1] P.G. Le Comber, W.E. Spear, A. Ghaith, "Amorphous Silicon Field Effect Device and Possible Application", Electron. Letters vol. 15, pp.179~181, 1979.
 [2] T. Tsujimura, H. Kitahara and A. Makita, "Low Resistance Gate Line for High-Resolution TFT/LCD Display", IDRC '94 Digest, pp.424~427.
 [3] K. Fujii, Y. Tanaka, K. Honda, H. Tsutsu, H. Koseki and S. Hotta, Process Tech-

niques of 15 inch Full Color High Resolution Liquid Crystal Addressed by a-Si Thin Film Transistors", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 31, pp.4574~4578, 1992.
 [4] P.M. Fryer, L. Jenkins, R. John, Y. Kuo, A. Lien, R. Nywening, B. Owens, L. Palmateer, M.E. Rothwell, J. Souk, J. Wilson, S. Wright, J. Batey, R. Wisnieff, "A High Resolution Copper Gate TFT/LCD Process", IDRC '94 Digest, pp.146~149.
 [5] N. Ibaraki, Future of Amorphous Si TFTs and Their Fabrication Technologies", Japan Display '92, pp.205~208.
 [6] N. Hirano, N. Ikeda, H. Yamaguchi, S. Nishida, Y. Hirai and S. Kaneko, "A 33cm-Diagonal High-Resolution Multi-Color TFT-LCD with Fully Self-Aligned a-Si : H TFTs", IDRC '94 Digest, pp.360~372.
 [7] R. Tarao, H. Saito, S. Sawada, Y. Goto, "Invited Address : Advances in Liquid Crystals for TFT Displays", SID '94 Digest, pp.233~236.
 [8] T. Kitazawa, Y. Asai, Y. Matsuzawa, A. Kubo, S. Hirota, T. Higuchi, K. Suzuki, "A 9.5-in. TFT-LCD with an Ultra-High-Aperture-Ratio Pixel Structure", IDRC '94 Digest, pp.365~368.
 [9] N. Nagata, J. Havens, A. Hayasaka, M. Hoshino, H. Jitsukata, P. Jones, S. Komura, Y. Nagae, D. Reddy, H. Sato, A. Tomita, "2-in. MOS-NCAP Reflective Light Valve for VGA Projector", Technical Report of IEICE, pp.97~101.
 [10] J.H. Kim, E.Y. Oh, B.C. Ahn, D. Kim and J. Jang, "Performance Improvement of Amorphous Silicon Thin Film Transistors with SiO₂ Gate Insulator by N₂ Plasma Treatment", Appl. Phys. Lett. vol. 64, 1944, pp.775~776.

- [11] F. Okumura, H. Asada, K. Sera, K. Hirata, K. Kurakagi, Y. Hirai, S. Kaneko, K. Hamada, N. Kodama, A. Mineji, S. Saito, K. Ikeda, K. Miyakoshi, M. Imajo, "A 76-mm (3-in.) Driver-Integrated Poly-Si TFT-LCD Light Valve", SID '94 Digest, pp.79~82.
- [12] T. Yamashita, T. Matsumoto, T. Shimada, Y. Akebi, M. Kubo, K. Fujioka, K. Tsubota, Y. Yoshimura, Y. Takafuji, K. Awane, "A Very Small Poly-Si TFT-LCD for HDTV Projectors", SID '94 Digest, pp. 83~86.
- [13] M. Matsuo, T. Hashizume, S. Inoue, M. Miyasaka, S. Takenaka, I. Yudasaka, H. Ohshima, "1.3-in. Full-Color VGA Poly-Si TFT-LCDs with Completely Integrated Drivers", SID '94 Digest, pp.87~90.
- [14] J.I. Woo, H.J. Ihm and J. Jang, "Polycrystalline Silicon Thin Film Transistors Deposited at Low Substrate Temperature by Remote Plasma Chemical Vapor Deposition Using SiF_4/H_2 ", Appl. Phys. Lett. vol. 65, 1994, pp.1644~1646.
- [15] H.J. Lim, B.Y. Ryu and J. Jang, "Polycrystalline Silicon Thin Film Transistors Using As-Deposited Poly-Si and Ion Doping", Appl. Phys. Lett., to be published.

저자 소개



張 震

1977년 서울대학교 물리학과 이학사
 1979년 한국과학기술원 이학석사
 1982년 한국과학기술원 이학박사
 1982~1988년 한국과학기술원 대우교수, 위촉연구원

1982년~현재 경희대학교 물리학과 교수

주관심분야 : 디스플레이, TFT-LCD, 실리콘박막소자