

# TFT-LCD 기술 개발 현황

□ 서대식 / 연세대학교 산학협력단

## I. TFT-LCD 시장

현재 노트북 PC가 주력인 TFT-LCD 시장은 데스크톱 모니터, TV 분야로 확장되면서 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. TFT-LCD 시장의 90%는 노트북 PC이며 데스크톱 모니터시장은 10% 정도에 불과하였다. 하지만 최근 1~2년 사이에 모니터용 TFT-LCD의 수요 증가는 놀랄 만한 수준으로 TFT-LCD시장의 약30%까

지 점유율을 높일 전망이다.

LCD의 전체 시장은 1997년 120 억불에서 2003년 270 억불로 연평균 15% 이상 성장하고 있다. 전체적으로 15% 정도 증가한다고 보지만 실제 STN-LCD의 성장률이 미미한 것을 감안하면 TFT-LCD의 성장률은 1997년 84억불에서 2003년 210억불로 연평균 17% 이상이 될 것이다. 제품 형태에 따른 디스플레이 개수는 1997년 20억개에서 2003년에는 25억개로 늘어날 것이

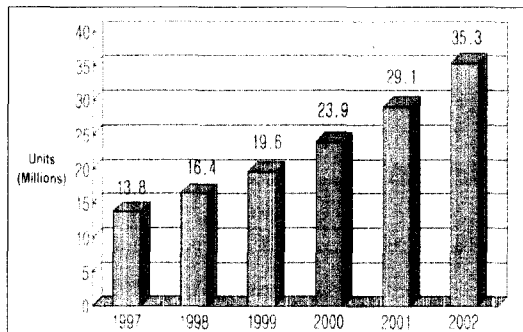


그림 1. 노트북 PC 시장

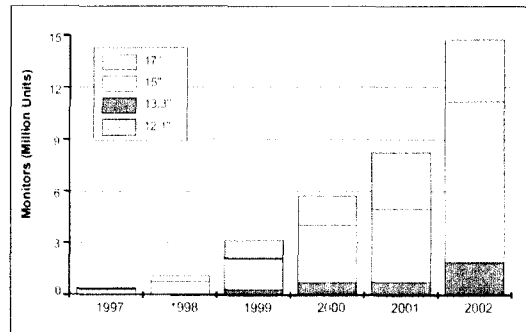


그림 2. LCD모니터 사이즈

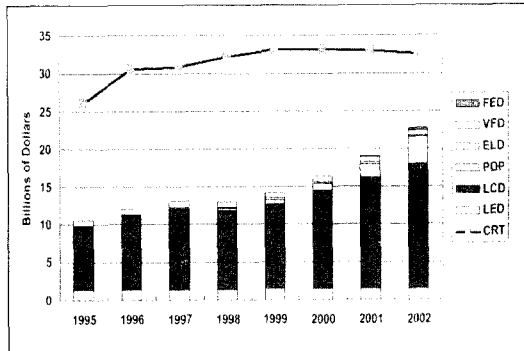


그림 3. 평판디스플레이와 CRT의 세계시장

예상된다. 응용분야에 있어서 현재는 1997년에 노트북 PC가 1380만개로 금액면으로 가장 크고 모니터, 휴대폰, 자동항법시스템, 캠코더, 휴대용 TV 등의 순이지만 2003년에는 노트북 PC용 3530만개에 이어 탁상형 PC용 2880만개로 탁상형 PC용 시장에서 CRT 모니터를 대체하게 될 것이다. 크기에 있어 10.4인치 노트북으로 시작하여 현재는 15~18인치급의 모니터가 보편화될 전망이다. 또한 TV용으로는 25인치 이상이 사용될 것으로 전망되며, 최고 40인치 TFT-LCD가 개발된 상태이다.

## II. TFT-LCD 원리

TFT-LCD는 Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display의 약어로 전자손목시계·전자계산기 및 기타 문자도형 표시 장치 등에 사용되는 액정표시소자를 말한다. CRT에 비해 시인성이 우수하고, 소비전력은 같은 화면 크기의 CRT에 비하면 30~40% 정도이며, 발열량도 작다. TFT란 전계효과 트랜지스터(FET: Field Effect Transistor)인 MOS(Metal Oxide Semiconductor) FET의 일종으로 유리 기판위에 아몰퍼스실리콘(a-Si)등의 반도체 박막을 형성시켜 여기

에 FET 구조를 만든 것을 말한다. 박막 형성 기술은 수백Å내지 수천Å의 얇은 막을 절연 기판상에 진공증착에 의해 형성하는 기술로서 처음엔 박막재료로서 CdS 등이 사용됐으나 지금은 a-Si막이 주류를 이루고 있다. a-Si TFT의 드레인과 소스층은 고농도의 a-Si으로 형성, 절연층은 CVD(Chemical Vapor Deposition)기법에 의해 형성된다. 현재 TFT는 LCD의 구동용 소자로서 필수 불가결하다.

TFT-LCD의 동작원리는 다음과 같다.

### 1. TFT 어레이

그림 4에 TFT 어레이의 등가 회로를 나타낸다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이, TFT 소자의 게이트, 또는 소스 전극들은 하나의 row나 column 라인을 공유하고 3×3으로 배열되어 있는 화소들에 그림이나 글자를 나타내기 위해 게이트 전극은 시간 분할 방식에 의해 스캔된다. 예를 들어 2번째 게이트 라인이 스캔되고 있으면 게이트 전극에 펄스가 인가되고 모든 소

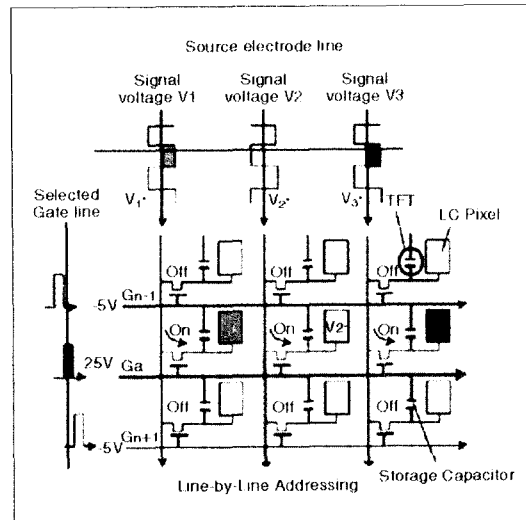


그림 4. TFT 어레이의 등가회로

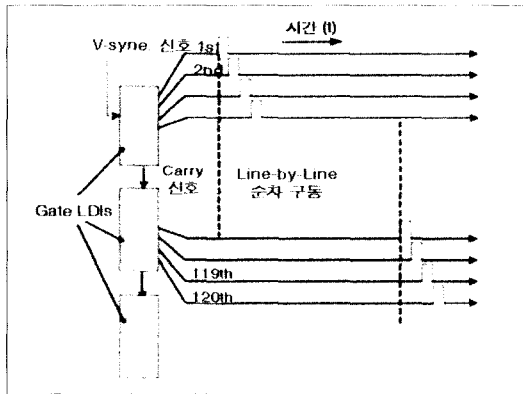


그림 5(a). Gate scan pulse generation

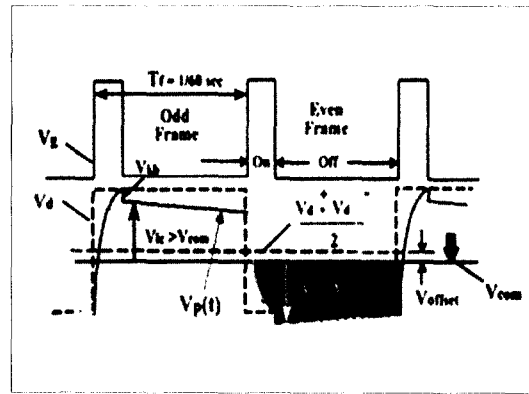


그림 5(b). TFT-LCD의 전압 파형

스 전극 라인에 신호 전압이 인가된다. 만약 신호 전압  $V_2$ 에는 액정을 구동할 수 있는 전압이 인가되고 나머지  $V_1, V_3$ 에는 액정 구동 전압보다 작은 전압이 인가된다면 중간화소만 동작될 것이다. 만약, 게이트 전극에 펄스가 인가되지 않으면 모든 TFT들은 off 되어 액정 capacitor에 인가된 신호 전압이 유지될 것이다. 이러한 동작 원리에 의해 모든 게이트 전극에 순차적으로 펄스를 인가하고, 해당 소스 전극에 신호 전압을 인가함으로써 패널의 모든 화소를 구동하는 것이 가능하다. 이런 식으로 한 프레임의 화상이 표시되고 난 후 연속적으로 다른 프레임을 표시함으로써 동화상 표시가 가능하게 된다.

## 2. Row Driver

Row driver는 통상 pixel TFT의 게이트 전극을 구동한다는 의미에서 게이트 driver라고도 하는데 순차적으로 게이트 라인을 선택하는 스캔 신호를 발생하는 역할을 한다. 그림 5에 나타난 바와 같이, 게이트 driver는 많은 수의 출력단자를 가진 IC로서 일반적으로 출력의 개수는 그 IC가 사용되는 패널의 해상도에 따라 결정되는데 하나의 IC에 무한정 많은 수의 출력을 뽑을 수 없

기 때문에 정수개의 구동 driver를 직렬로 연결하여 사용한다. 예를 들어 VGA 해상도의 경우 수직 게이트 라인 수가 480개이기 때문에 출력이 120개인 구동 driver를 4개 연결해 사용한다. 출력신호는 시간적인 관점에서 볼 때, 한 프레임에 하나의 펄스만 존재하고 어느 출력 신호와도 동시에 존재하지 않는 것이 일반적이다. 즉, 특정 시간에는 항상 하나의 라인에 해당하는 시간 (1 horizontal line period) 동안이다. 게이트 펄스가 high level로 유지되는 동안 그 라인의 모든 TFT들이 활성화되어 채널이 열리므로 이를 통해서 신호 전압들이 화소에 충전되는 것이다.

## 3. Column Driver

Column driver는 TFT의 소스 전극을 구동한다는 의미에서 소스 driver라고도 하며, 게이트 driver가 TFT에 펄스를 인가해 on 상태로 만들어주면 소스 driver는 신호선을 통해 실제로 화소에 신호전압을 인가하는 역할을 한다. 예전에는 주로 아날로그 비디오 신호전압을 직접 액정에 인가하는 아날로그 driver를 주로 사용하였으나 최근에는 디지털 방식의 driver를 주로 사용한다.

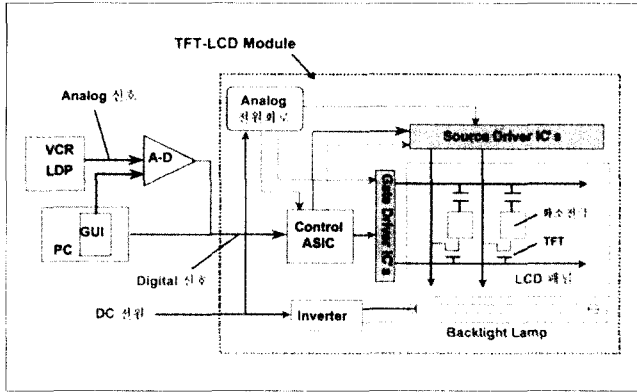


그림 6. Display system의 개략도

#### 4. System Configuration

그림 6에는 AMLCD(Active Matrix LCD)를 구동하는 전체 시스템을 나타내었다. 각 부분에 대해 간략히 살펴보면, 우선 LCD에 표시될 화상이 생성되는 신호원 으로서는 컴퓨터나 동화상 표시를 위한 laser disk player 등이 있는데 이들로부터 아날로그나 디지털 형태로 화상 신호가 출력되고, 아날로그 신호의 경우는 신호 처리부에서 적절한 형태로의 신호 변환이 이루어지게 한다. 대부분의 LCD에서 사용하는 디지털 방식의 경우에는 analog-to-digital 변환을 하고 TV신호와 OA 신호간의 형식을 일치시키기 위한 스캔conversion 등의 과정이 실행되고, 아날로그 방식의 LCD 경우에는 액정을 구동하기 위한 극성 반전이나 신호 분할 등의 과정이 행해진다. 또한, 아날로그 부에서는 액정에 인가되는 게조 전압과 대향 전극 (화소 전극과 반대쪽에 공통으로 쓰이는 전극)에 인가되는 전압이나 게이트 구동에 필요한 각종 아날로그 전압을 생성한다. 게이트 구동전압은 일반적으로 매우 높은 전압을 사용하므로 DC-

DC converter를 사용하는 경우가 많다.

Controller part에서는 입력된 디지털 데이터를 소스 구동 IC가 처리 가능한 형태로 데이터를 변환하며 소스, 게이트 구동 IC에서 필요한 각종 시간 신호를 발생하고, 소스 driver에서는 입력된 화상 데이터를 이용하여 실제 액정 구동전압을 액정에 인가하는 역할을 하며, 게이트 driver는 화소에 데이터 전압이 인가될 수 있도록 화소의

TFT를 on 시켜주는 스캔신호를 출력한다.

### III. 고개구율화 기술

#### 1. SiNx를 이용한 기술 보호층 형성 기술

개구율 향상은 표시 되는 화면이 고해상도일수록 매우 중요하며, 개구율을 향상하기 위해서는 design rule 축소, 상하판 합착 정밀도 향상, 공정 tolerance의 감소와 새로운 화소 구조 개발이 필요하다. 그림 7에 현재 가장 일반적으로 적용되는 TFT 어레이에 대한 단위 화소의 수직구조를 나타내었다 [1].

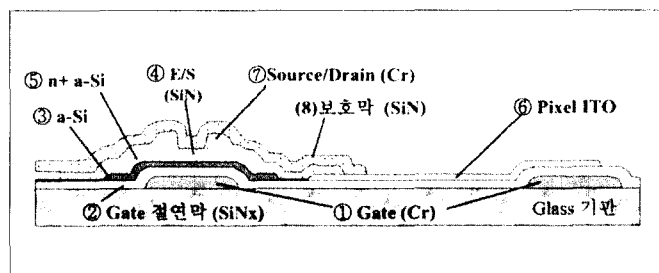


그림 7. TFT-array의 단위화소의 수직 구조

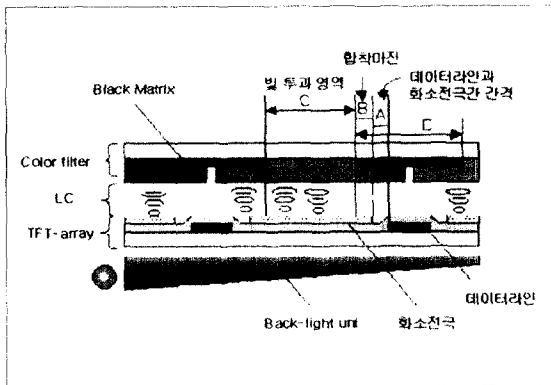


그림 8. 상하판 합착된 Cell의 단면도

먼저 개구율 향상 기술은 질화 실리콘(SiNx)막을 TFT 어레이의 보호층으로 적용하는 기술을 들수 있다. 그림 8에 개구율 기술을 적용하여 합착된 셀 구조의 단면도를 나타낸다. SiNx막을 보호층으로 적용할 경우 55~65% (14.1" XGA) 정도의 개구율을 얻을 수가 있다. 일반적으로 데이터 버스라인과 화소전극 사이에는 불필요한 기생용량의 커패시턴스가 존재하게되며, 기생 커패시턴스의 용량에 따라 패널의 flicker, crosstalk, 화면 밝기의 불균일성 등의 이미지 저하를 가져올 수가 있다. 따라서, 개구율 향상을 위해 SiNx (유전율 : 6~7)을 적용해서 화소전극과 데이터 버스라인의 간격(A)을 줄이는데 한계가 있고, 보통 3~4 $\mu$ m 정도 간격을 유지하게 된다. 또한 개구율은 화소에 대한 투명 전극의 면적비로 정의가 된다. Backlight 광은 단지 투명 화소전극 부분에서만 조절이 가능하므로 화소전극과 데이터 버스라인 사이의 간격(A)을 통과하여 지나가는 광은 contrast를 저하시키므로 이러한 광은 차단되어야 한다.

따라서 패턴 사이의 간격은 불투명한 물질로 덮여지는데 이것을 BM(Black Matrix)이라고 한다. 이러한 BM은 일반적으로 컬러필터 기판에 형성된다. 컬러필터가 형성된 유리기판과 TFT 어레이가 형성된 유리기판

은 서로 합착하여 맞추어지는데, 정확하게 정렬 하기가 힘들다. 따라서 BM은 화소전극에 대해 많은 합착마진(B)을 가지게 되고, 빛이 투과되는 영역(C)은 줄어들게 된다. 따라서 개구율은 감소하게 된다. 현재 합착장비의 공정 tolerance는 ~5 $\mu$ m 수준으로 되어 있다. 결과적으로 이 기술을 적용하여 200ppi의 고밀도 해상도를 갖는 패널 제작 시 확보할 수 있는 개구율의 수준은 20% 미만이 되게 된다.

## 2. 유기 절연막을 이용한 보호층 형성 기술

개구율 향상을 위하여 보호층을 유기 절연막을 이용하여 TFT 어레이를 제작한다. 이 기술은 90년대 중반 이후로 기술 개발이 상업화와 접목이 되며, LG philips LCD, sharp, NEC, Hosiden에서 발표되어 왔으며 최근에는 많은 LCD 업체에서 적용하여 제품생산이 이루어지고 있다. 유기 절연막을 이용한 기술은 단순히 보호층으로 적용된 SiNx (유전율 : 6~7)를 유전율이 낮은 유기 절연막으로 대체함으로써 화소전극과 데이터 버스라인간에 발생하는 기생 커패시턴스의 용량을 2~3배 이상으로 감소시킬 수 있으며, 이러한 장점을 이용하여 화소전극과 데이터 버스라인을 서로 중첩시킬 수 있는 구조를 설계하여 적용할 수가 있다. 화소전극과 데이터 버스라인을 중첩할 경우, 그림 8의 A영역을 제거 할 수 있게 되며, 따라서 단위 화소내에서 빛을 투과 할 수 있는 영역이 증가하게 되는 효과가 있다. 그림 9에서 화소 전극과 데이터 버스라인의 중첩되는 폭(E)은 액정의 배향 방향 및 빛샘 정도에 따라 1~3 $\mu$ m 정도에서 결정할 수 있다. 따라서 칼라 필터 위에 형성되는 black matrix의 폭 그림 8(D)을 데이터 버스라인의 선폭과 동일하게 하거나 제거할 수가 있다. 결과적으로 개구율은

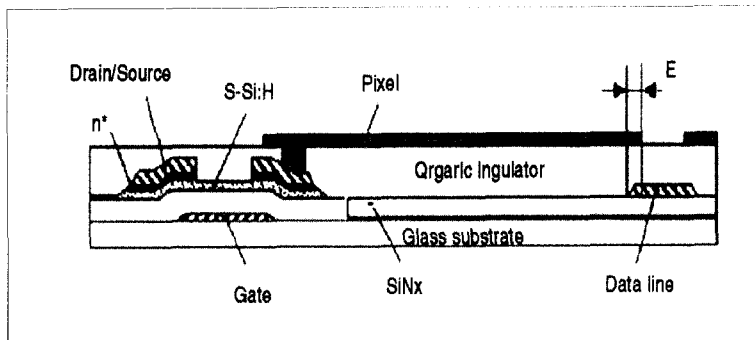


그림 9. TFT-array의 단위 화소 수직 구조

SiNx를 적용한 기술에 비하여 크게 증가하게 된다.

그림 10에 SiNx를 이용한 기술과 유기 절연막을 이용한 기술로 제작된 TFT 어레이의 개구율을 비교하였다. 14.1" XGA의 경우 SiNx를 이용한 기술로 55~65%의 개구율을 얻을 수 있지만 유기 절연막을 이용한 기술 적용시에는 70~75%의 개구율을 얻게 된다. 유기 절연막을 보호층으로 적용함에 따라 TFT 어레이의 표면의 평탄도를 90% 이상으로 향상시킬 수가 있다. 이것은 두 장의 유기기판을 셀 합착공정시 셀두께의 균일도가 향상됨으로써 셀두께의 불균일도에 따른 얼룩, 액정 배향에 따른 광누설을 방지함으로써 깨끗한 화면과 콘트라스트비의 증가를 가져오게 된다. 유기 절연막은 데이터라인과 화소전극의 중간 절연막 역할을 하게 됨

으로 기생 용량 커패시턴스를 줄이기 위해서는 재료의 유전 상수가 낮을수록 유리하다.

LCD에 적용되는 유기 절연막의 특성은 BCB (benzocyclobutene) 절연막이 타 재료에 비해 유전상수가 낮고, 내열성 및 평탄도의 특성이 우수

하나 재료 가격면에서 비싼 것이 단점으로 되어있다. BCE (Back Channel Etched) 형태의 TFT구조에서 유기 절연막이 back channel 위에 직접 형성이 됨으로써 TFT의 특성 및 신뢰성에 영향을 주게 된다. 즉 유기물질의 구성 성분 및 특성에 의해 back channel쪽에 전하를 축적하게 되고 축적된 전하는 박막 반도체(비정질 실리콘)의 전류(전자)가 흐르는 통로에 영향을 가하게 되어 TFT특성을 비교하였다. 즉 back channel에 축적되는 전하량이 클수록 TFT의 특성 곡선이 negative voltage 방향으로 이동하게 된다. 유기 절연막을 이용한 기술은 SiNx를 이용한 기술에 비해 공정 및 투자장비 관점에서 생산성을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

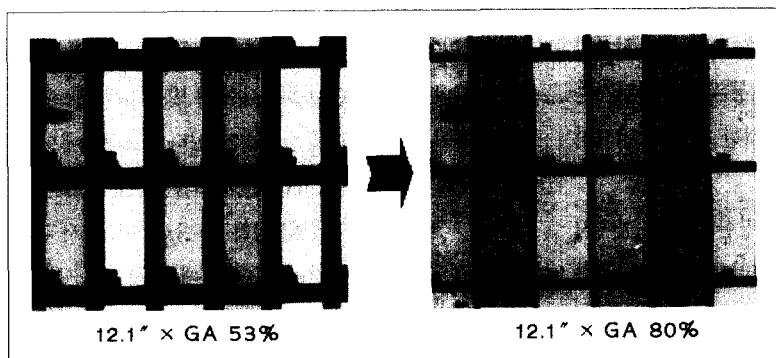


그림 10. SiNx를 이용한 기술과 유기절연막을 이용한 기술

### 3. TFT 어레이와 컬러 필터를 이용한 기술

개구율 향상을 위한 또 하나의 기술은 TFT 어레이와 컬러 필터를 동일한 유리 기판에 동시에 형성

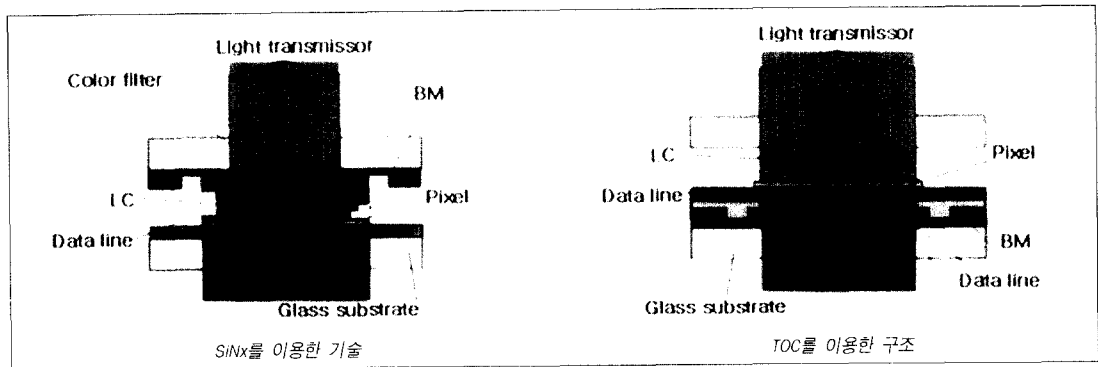


그림 11. 고개구율 기술에 따른 LCD panel의 투과율 비교

시키는 기술이다. TFT 어레이와 컬러필터가 동일한 유리기판에 형성됨으로써 상하판 합착공정 마진 그림 8B 부분)인 5~7 $\mu$ m가 ~1 $\mu$ m 수준으로 감소됨으로써 고개구율을 갖는 패널을 제작할 수 있다. 특히 대면적 유리기판에서 공정 및 고밀도 해상도를 갖는 패널 제작 시 장점을 갖게 된다.

1) TOC 구조

TOC(TFT 어레이 on 컬러필터) 구조로써 기술은 종래의 안료 분산 방법으로 제작된 컬러필터 기판 위에 TFT 어레이를 연속으로 제작하는 공정을 말한다. 그림 11은 TOC를 적용한 TOC를 적용한 기술과 SiNx를 이용한 기술의 패널에서 투과되는 단위화소의 빛 투과 영역을 비교하였다. TOC를 적용한 기술에서는 상하판 합착마진을 고려한 BM폭을 상당히 작게 설계하거나 제거할 수 있음으로써 단위 화소의 빛 투과 영역이 넓어지게 된다. 컬러필터 위에 형성되는 TFT 어레이는 컬러필터의 색 변화가 없고 컬러 재료의 내열성 범위내에서 공정이 이루어져야 된다. 즉 절연막과

반도체층을 형성하는 PECVD 공정이 250 $^{\circ}$ C 이하에서 TFT소자를 제작하여, 소자의 특성 및 신뢰성을 확보해야 한다. TFT 어레이 제작 공정이 저온화 됨으로써 장비의 전력 소비 감소, 장비 부품의 내구성 증가 및 플라스틱 기판에서의 공정대응이 용이해질 수가 있다. TOC 구조의 기술이 신뢰성을 확보하기 위해서는 유기물질로 구성된 컬러필터와 무기물질로 구성되는 TFT 어레이간의 접착력을 향상시킬 수 있는 기술이 요구된다.

2) COT 구조

COT(color filter On TFT array) 구조는 TFT 어레이의 TFT를 제작 후, 그 위에 컬러필터를 연속적으로 제작하는 것을 특징으로 한다. 그림 12은 COT 구조의 단

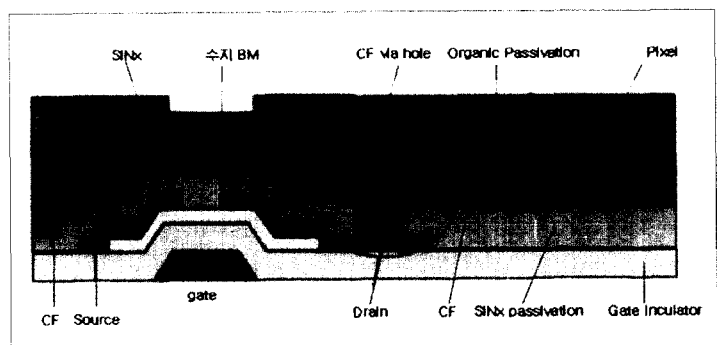


그림 12. COT 구조의 수직 단면도

면 수직도를 나타낸다. COT 구조의 공정 흐름은 TFT-array의 제작 공정에서 보호층 (SiNx passivation)을 형성한 후 컬러필터와 Black Matrix(BM)를 보호층 위에 형성하고, 감광성인 투명한 유기막으로 컬러필터층을 평탄화시킨다. 화소전극인 ITO층을 유기막 위에 형성하고, contact hole을 통해 TFT와 연결하게 된다. 따라서 TFT의 back channel은 SiNx로 보호됨으로써 컬러필터에 의한 전하축적을 억제하게되고, TFT특성 저하를 방지할 수 있다. 또한 컬러필터와 BM이 게이트와 데이터버스라인 위에 중첩이 되고, 화소 전극도 버스라인 위에 중첩됨으로써 고개구율을 얻을 수가 있다. COT 구조에서 요구되는 기술은 contact hole형성시 화학 약품에 의한 swell 방지 contact hole에서 contact 저항, contact hole 크기, 유기막과 화소 전극의 접착력 개선 및 공정 수율관리가 필요하다.

#### IV. HDTV용 TFT-LCD

##### 1. 디지털TV의 화면 규격

기존의 NTSC(National Television System Committee), SECAM, PAL(Phase Alternation Line) 방식이나 일본의 MUSE변동방식(일반적으로 Hi-Vision)이 아날로그 송신 방식인데 비해, 디지털 TV는 화상신호를 모두 디지털로 송신, 수신 및 저장하는 체계로서 선명하고 잡음이 없으며, 화면의 고해상도의 화질을 구현하는 방식이다. D-TV는 HDTV와 SDTV 두 가지 방식의 규격을 포함하는데, HDTV규격은 1920×1080 또는 1280×720의 화소 포맷을 가지며, 화면의 종횡비가 16:9이다. 이에 비하여 SDTV규격은 640~704×480의 화소 포맷과 4:3의 화면 종횡비를 가진다. HDTV의 화소포맷은 방송 송출사에 따라 선택이 다를

수 있으며, 수신기에서는 어느 포맷이나 수신하여 화상을 표시 할 수 있는 멀티싱크 기능을 포함해야 한다.

##### 2. 투사방식

일반적으로 가정용의 LCD 투사기는 주로 배면투사 방식 (rear projection)을 택한다. 스크린이 투사 시스템에 일체화되어 있어 가정의 실내에 거치 하기가 적당하기 때문이다. 그러나, 회의, 상담, 교육 등의 용도로는 다양한 사용공간과 시청인원, 주어진 투사 스크린에 맞추어 화면의 크기를 자유롭게 조절할 수 있는 전면투사방식 (front projection)이 널리 쓰인다. 그림 13에서는 전면투사방식과 배면투사방식의 개념을 나타내었다[2].

전면투사방식은 휴대성이 뛰어나나, 사용할 때마다 스크린을 설치하고 화상을 조정하는 불편이 있으며, 그림 13에 나타난 바와 같이 외광이 반사형 스크린에서

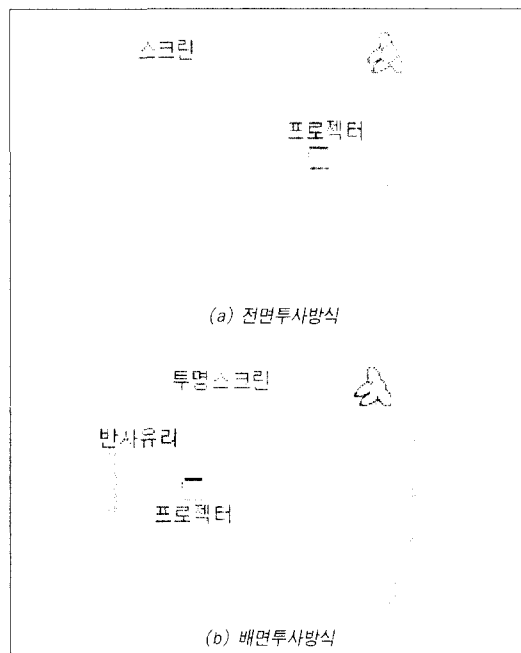


그림 13. 전면투사방식과 배면투사방식



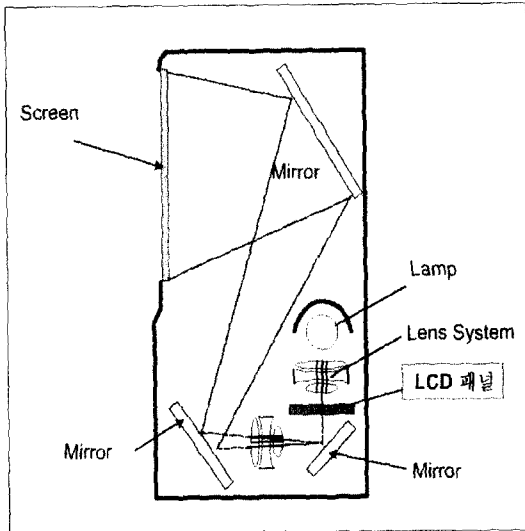


그림 14. 거치식 적당한 배면투사 시스템의 개념도

산란되어 화면의 콘트라스트 비가 낮아질 수 있다. 이와 달리 배면투사방식은 스크린이 일체화되어 거치식 수상기로서 적절하며, 외광은 투과형 스크린 내부로 입사되므로 외부의 배경광에 대해 상대적으로 유리한 점이 있다. 그리고 스크린은 효율적인 반사와 유효한 각도로의 광분산을 위해 설계된다. 특히 배면투사용 투과형 스크린은 프레넬 렌즈와 렌티큘러 렌즈가 조합된 구조로 프레넬 렌즈는 각 부분의 빛이 적당히 방사각을 가지도록 하여 시야각을 넓히는 구실을 한다. 가정용 거치방식에 적당한 배면투사 시스템의 개념도를 그림 14에 나타내었다. 60인치의 화면을 구

현하기 위해 시스템의 두께를 약 60cm 정도로 설계할 수 있다.

### 3. 투사광학계

투사광학계는 반사형과 투과형으로 구분할 수 있다.

그림 15는 이색성 반사경(dichroic mirror)를 사용하여 적록청 3색을 분리하여 각각 분리된 LCD로 변조시킨 후, 이색성 반사경으로 이를 다시 합쳐주는 방식이다. LCD 투사 광학계는 시스템의 코스트에 가장 큰 부분을 차지할 뿐 아니라 시스템의 사양과 성능에도 매우 큰 영향을 주는 부분이다. 투사광학계에 사용되는 광밸브를 적록청(R,G,B) 별로 각각 한 개씩 사용하는 것이 일반적이지만, 저가격, 소형의 시스템 경우에는 투과형 LCD패널 1개를 사용하기도 한다. 이런 경우에는 LCD 광밸브 내에 화소별로 적록청의 마이크로 컬러필터를 내장한다. 일본의 Sharp사에서는 마이크로 렌즈 어레이와 tiled dichroic mirror를 사용하여 LCD 패널 1개를 사용하면서 높은 휘도와 해상도를 구현하는 기술을 발표하였다.(1995, IDRC)

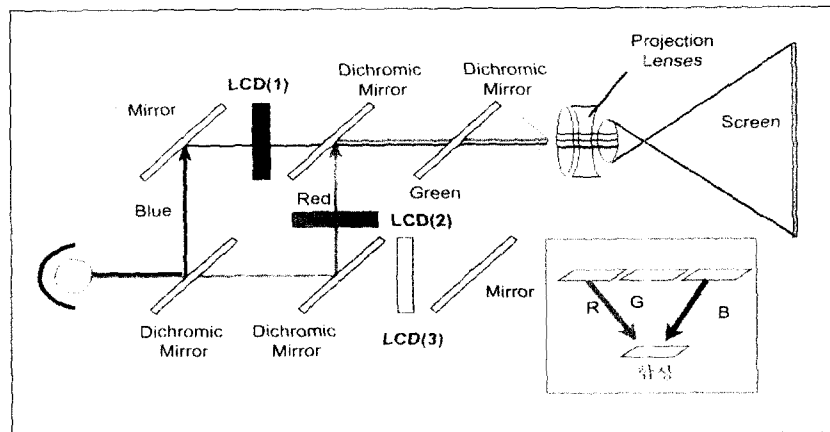


그림 15. 투사형 광학계의 2가지 예

#### 4. LCD 광밸브

표 1에 대표적인 LCD 광밸브의 방식등을 나타내었다. 그림 15의 투사광학학계의 개념도에서 알 수 있듯이 일반적으로 3개의 LCD 광밸브를 사용하고 있다. 3개의 LCD 광밸브를 사용함에 따라, LCD 광밸브의 비용과 투사광학학계의 제조비용이 높아지게 된다. 이에 따라 저가형의 소형 LCD 투사 시스템에는 노트북PC의 LCD화면처럼 적녹청의 컬러필터를 LCD내에 구비한 LCD 광밸브를 한 개만 사용하기도 한다. 이 경우에 이색성 반사경 등의 고가부품이 필요치 않으므로 크기가 작아지고, 제조비용이 낮아지게 되나, 광효율이 3배 이상 떨어지고 화면의 밝기와 해상도에 한계가 있다.

마이크로 렌즈 어레이 방식은 광효율이 3배 방식과 동일하되 3색 분리와 결합이 필요 없게 되어 있어 광학계가 간단해지는 장점이 있다. 적색~적외선 파장의 단색광 CRT로 만든 화상을 광전도층에 결상시키면, 광전도층(CdS등)/dichroic mirror/LC의 양단에 인가된 구동전압이 빛을 받은 광전도층의 전기저항에 따라 액정층에 다르게 인가된다. 이에 따라 액정의 배열상태가 달라지고, 광학계를 통하여 입사된 편광상태의 빛이 변조되어 스크린에 투영되는 것이다. 이 방식은 다층의 박막 적층에 따른 생산성과 수율의 한계성에 의해 초대형 화면을 필요로 하는 일부 특수용도에 한정되어 사용되고 있다. 미국의 경우 다양한 고객의 수요를 만족시키기 위

해 CMOS wafer 반사형 광밸브를 이용한 데이터 프로젝터를 출시하고 있다.

#### 5. 액티브 어레이 기술

##### 1) 단결정 TFT array

단결정 TFT array에는 SOI(Silicon on Insulator) 기술을 이용하여 단결정 TFT array와 주변 구동회로를 형성한 다음, 석영기판이나 유리기판에 집착하여 SOI의 기판(일반적으로 Si wafer)부분을 연마/식각하여 SOI의 에피택시층만을 석영기판 또는 유리기판에 남겨서 제작한다. 이렇게 제작한 TFT array 기판은 제조공법과 제조비용, 수율에서 어려움이 예상된다. 사용하는 epitaxy층은 1~2 $\mu$ m의 두께를 가지며 ZMR(Zone Melting Recrystallization)방법으로 형성시킨다.

##### 2) 고온 poly-Si TFT LCD

일반적으로 고온 poly-Si TFT는 석영기판을 이용하여 제조한다. 반도체 장비를 이용하는 장점이 있으며, 공정도 반도체공정을 공유한다. 반도체 장비를 사용하여 다음에 서술하는 저온 poly-Si TFT보다 정밀한 설계 규칙을 사용하므로 소형 고밀도 LCD에 적합하다. 현재 상용화가 되어 있는 기술이며, 프로젝션용 광밸브 뿐만 아니라 캠코더의 viewfinder, HMD(Head Mount Display)등에도 사용되는 기술이다. 일반적으로 TN 액정 기술을 많이 사용하고 있으나, TN의 반응속도가 50msec 정도로 약간 느린 점과 화소경계에서 disclination이 발생하는 것을 black matrix로 차단하여야 함에 따른 개구율 감소 등의 고해상도화를 저해하는 점이 있다. LG전자에서는 VA(Vertical Alignment)모드의 액정을 사용함으로써 두 가지 제약을 동시에 해결한 1920 $\times$ 1080화소를 갖는 HDTV규격의 투과형 LCD 모듈을 개발한 바 있다(1998년).

표 1. 광밸브

LCD 방식	능동소자	기판	액정모드
반사형	CdS 광소자	석영기판	Tilted homeotropic
	CMOS	Si Wafer	PDLC
투과형	CMOS(SOI)	유리	TN
	고온 poly-Si	석영기판	TN, VA
	저온 poly-Si	유리	TN, VA
	CGS TFT	석영기판	TN

3) 저온 poly-Si TFT LCD

저온 poly-Si TFT는 일반적으로 최고 600°C 이하의 공정온도에서 제작하는 TFT기술을 일컫는다. 그것은 유리기판을 사용할 수 있는지의 여부를 결정하는 인자이기 때문이다. 저온 poly-Si 기술은 SPC(Solid Phase Crystallization)법, Ar laser 등의 연속발진 laser beam의 고속 scanning에 의한 재결정화 방법, UN(Ultra-violet) 파장을 내는 excimer laser pulse를 조사하여 재결정화하는 방법, MIC(Metal Induced Crystallization) 또는 MILC(Metal Induced Lateral Crystallization) 등의 방법들이 있다. 현재 주로 excimer laser를 사용하는 저온 poly-Si TFT가 상용화 단계에 와 있으며, 앞으로는 MIC, MILC 등의 기술들이 주목받고 있다[3].

4) CGS TFT LCD

유리기판에 제조하여 TFT의 전하 이동도를 300cm<sup>2</sup>/Vsec까지 구현하였다고 발표된 CGS(Continuous Grain Silicon)기술은 그 구체적인 방법과 원리에 대해서는 알려진 바가 없다.

6. HDTV용 시스템

다가오는 HDTV시대의 수상기는 화면의 크기와 화소 수가 HDTV 포맷을 만족시키고 시스템의 두께가 일반가정의 거실에 수용할 수 있는 정도가 되어야 한다. 밝기나 소비전력도 적당해야 하지만 무엇보다 가격이 충분히 낮아야만 시장이 확대될 수 있다. 이러한 요구조건을 가장 가까이 만족시키는 기술은 LCD 배면 투사방식의 수상기로 생각되며, LCD투사방식의 핵심은 LCD 광밸브로써 주변회로를 내장시킬 수 있는 poly-TFT 기

술이 그 핵심이다. 저렴한 제조비용으로 보다 신뢰성 있고 고집적화된 TFT-LCD를 구현하기 위해서 세계의 각 연구소들이 경쟁적으로 개발 중이다. TFT-LCD 기술이 궁극적인 비전은 유리기판 위에 단결성 소자를 구현하여 시스템을 집적화하는 SOG(Silicon on Glass)기술일 것이다.

7. 최근 연구동향

유리기판의 제조상의 이점은 그 기판재료비와 함께 대면적 기판을 사용하는 것인데, 대면적 기판화에 따른 패턴 미세화의 한계와 패턴간의 정렬오차 한계는 당분간 직시형 LCD모듈에만 응용하게 되는 이유가 된다. 현재의 주요 응용제품은 3"이상의 디지털 카메라용 LCD, 휴대용 TV, 미니노트북 PC용 LCD(8"~10")에 주로 집중되어 있으나, 생산기술이 개선되어감에 따라 비정질 규소 TFT LCD뿐 아니라 투사용 LCD모듈까지 그 적용범위의 확대를 예견할 수 있다.

표 2는 최근에 보고된 저온 poly-Si TFT LCD의 크기에 따른 화소 수와 화소의 크기를 나타낸 것이다. Poly-Si TFT는 고집적이 가능하므로 고해상도의 투사형 LCD에 응용하는 연구가 활발히 진행되고 있고, 최근에는 주변회로를 유리기판 위에 직접한 13.3" XGA 급 poly-Si TFT-LCD가 개발되었다. 또한, 국내에서도

표 2. 저온 다결정 실리콘 TFT-LCD의 규격

크기	픽셀수	픽셀피치	개구율	비고
2.2"	1024 × 769 [4]	44μm × 44μm	61%	투과형
3"	1280 × 1024 [5]	52μm × 36μm	40%	투과형
4.5"	640 × 3 × 480 [6]	48μm × 144μm	60%	투과형
5"	720 × 3 × 232 [7]	51.3μm × 268μm	73.5%	투과형
8.4"	800 × 3 × 600 [8]	213μm × 213μm	90%	투과형
12.1"	1024 × 3 × 768 [9]	240μm × 240μm	53%	투과형

poly-Si에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 회사에서는 LG 필립스 LCD와 삼성전자에서 활발히 연구를 수행 중이며, 2001년부터는 양산을 시작할 것으로 예측된다. 저온 다결정 실리콘 TFT-LCD가 a-Si:H과 가격 경쟁력을 갖기 위해서는 레이저 어닐링 공정을 다른 방법으로 바꾸어야 가능하다. 그렇지 않으면 특수한 용도에만 poly-Si이 이용될 전망이다.

투사형 TFT-LCD용의 고온 poly-Si 모듈은 일본의 세이코엡슨사와 소니사에서 생산중이고 저온공정의 경우에는 산요사와 도시바사에서 생산중이다. 산요에서는 소형제품들(2"~5")을 도시바에서는 10.4"~12.1"를 노트북용으로 생산중이다. 저온 공정 poly-Si의 가장 큰 단점은 제조가격이 높다는 것이다.

a-Si:H 공정에 비하여 레이저 어닐링, 이온 도핑, SiO<sub>2</sub> 절연막 공정이 추가로 소요되고 패널을 제작하기 위한 마스크 수도 많기 때문이다. 따라서 앞으로 a-

Si:H 공정과 비용면에서 비슷한 저온 poly-Si 공정이 개발될 경우에는 저온 poly-Si TFT-LCD 시대가 다가올 수 있다.

## V. 결론

본 기술해설에서는 TFT-LCD 전반에 대하여 기술적인 내용을 소개하였다. TFT-LCD 기술은 날로 발전하고 있으며 크기도 15인치에서 20인치급이 평균적인 크기로 발전하여 왔다. 향후 20인치급 이상도 곧 상품화가 될 것으로 전망된다. 기술적으로는 많은 부분이 해결되었다고는 하지만 아직도 해결되어야 할 과제가 남아있다. 특히 벽걸이용 HDTV로는 대형화의 과제가 남아 있으므로 앞으로도 많은 연구개발이 필요할 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

- [1] 김정현, TFT-LCD의 고개울화 기술동향, 한국정보디스플레이 학회지, Vol. 2, 36 (2001).
- [2] 소희섭, HDTV용 TFT-LCD의 기술현황, 전기전자재료, Vol. 12 (2), 14 (1999).
- [3] 장진, 저온다결정 실리콘 박막 트랜지스터 개발동향, 전기전자재료, Vol. 12 (2), 1 (1999).
- [4] M. Itoh, Y. Yamamoto, T. Morita, N. Yoneda, Y. Yamane, S. Tsuchimoto, F. Funada, and K. Awane, SID' 96 digest, 17 (1996).
- [5] F. Okumura, H. Asada, K. Sera, K. Hirata, K. Kurakagi, Y. Hirai, and S. Kaneko, SID' 94 digest, 79 (1994).
- [6] J. Koyama, S. Nakajima, H. Ohnuma, Y. Shionori, S. Nagao, and S. Yamazaki, SID, 98, 883 (1998).
- [7] N. D. Young, M. J. Edwards, M. J. Trainor, J. R. Ayres, R. M. Bunn, D. J. McCulloch, and C. A. Fisher, Aisa Display, 98, 957 (1998).
- [8] Y. Hisatake, Y. Nakamura, A. Oono, Y. Hanazawa, M. Ishikawa, Y. Higuchi, and N. Harada, Aisa Display, 98, 131 (1998).
- [9] Y. M. Ha, Y. H. Jung, B. K. Kim, K. J. Kim, J. S. Kim, S. Y. Yoon, G. B. Ahn, H. S. Choi, and H. S. Soh, Aisa Display, 98, 947 (1998).

필자 소개



서 대 식

- 1989년 : 도쿄농공대학 전자공학과 (공학사)
- 1991년 : 도쿄농공대학 전자정보공학과 (공학석사)
- 1994년 : 도쿄농공대학 전자정보공학과 (공학박사)
- 1994년 : Kent State Univ. 객원연구원
- 1995년 : 송실대학교 전기공학과 조교수
- 2000년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 조교수
- 주관심분야 : 액정디스플레이, 평판디스플레이 소자