



TFT-LCD의 고개구율 기술 동향

김정현(LG. Philips LCD)

I. 개요

TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)는 TFT-array가 형성된 유리기판과 컬러 필터가 형성된 유리기판을 일정한 간격을 유지할 수 있도록 합착한 후 두 장의 유리 기판 사이에 액정을 주입 하여 패널을 형성한 후 전기적인 신호를 인가하여 디스플레이하는 것을 말한다.

<그림 1>에 TFT-LCD 패널의 구성을 나타내었다. 일반적으로 LCD 패널은 능동적으로 발광을 하지 못함으로써 별도의 빛을 낼 수 있는 광원이 필요하며 이것을 backlight(배면 광원)라고 부른다.

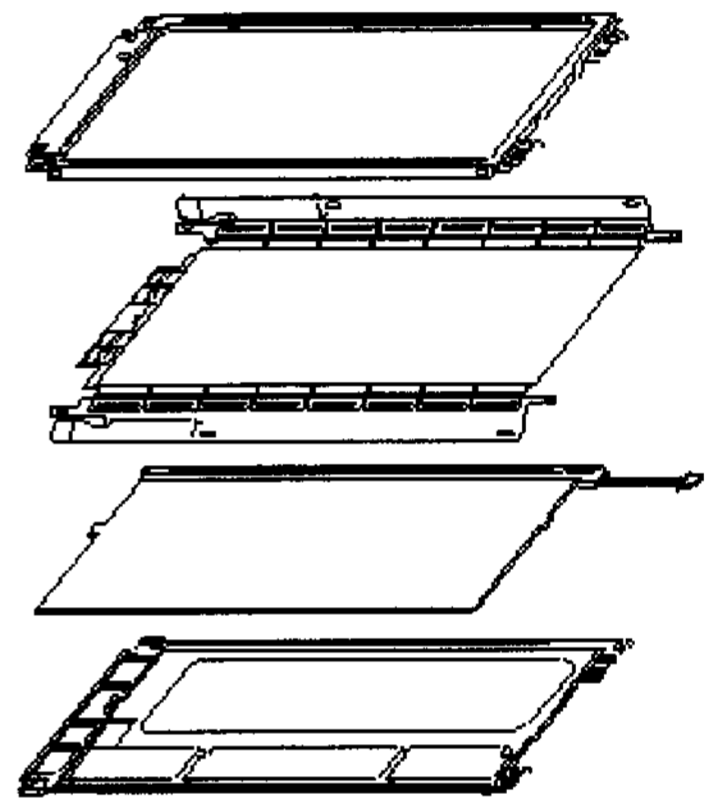
TFT-LCD의 특성 중 저 소비 전력과 고 휘도를 얻는 것이 중요하다. <그림 2>에 저 소비 전력에 관련된 기술을 나열하였다. 저 소비 전력을 달성하는 방법으로는 구동 회로 기술, back-

Top case

Panel

Backlight

Main support



<그림 1> TFT-LCD 구성

light기술, 패널 기술로 구분 할 수 있으며, 패널 관련된 기술은 편광판의 투과 효율 향상, color filter의 투과율 향상, TFT-array의 개구율(빛이 통과 하는 영역)의 증가가 필요하다.

<그림 3>에 패널부에 있어서 빛의 손실을 나타내었다. 일반적으로 배면광원은 직접 조명 또는

Circuit unit

- Low voltage drive circuits
- Improving efficiency of power supply circuit

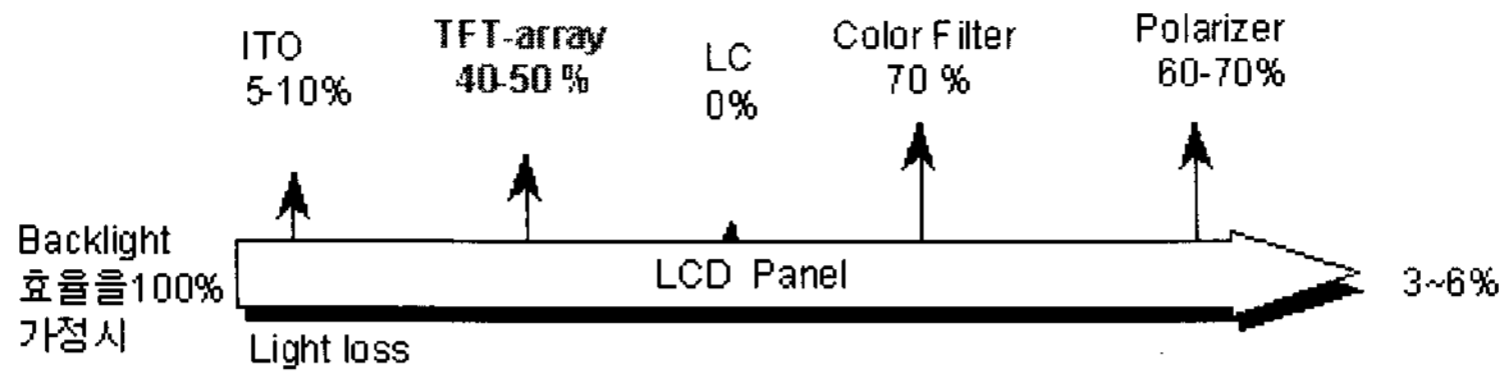
Backlight unit

- Improving lamp light emitting efficiency
- Improving efficiency of backlight system

Panel unit

- Improving transparency of the panel
 - High aperture ratio of TFT-array
 - High transparency of polarizer
 - High transparency of color filter

<그림 2> 저 소비 전력 관련 기술 분류



$$T_{LCP} = T_{POL} \times T_{AR} \times T_{CF} \times T_{ITO}$$

여기서 T_{LCP} : TFT-LCD 패널의 총 투과율

T_{POL} : 편광판의 평행 투과율

T_{AR} : TFT-array의 개구율

T_{CF} : Color filter의 투과율

T_{ITO} : ITO 박막의 투과율

〈그림 3〉 패널에서 빛 손실

간접 조명 방식을 가질 수가 있으며, 직접 조명은 형광램프가 패널 바로 밑에 위치하여 빛을 조사하게 되며, 대면적 모니터나 TV에 주로 채용이 되고 있다. 간접 조명은 패널 바로 옆에 위치한 램프로부터 빛이 조사가 되고 조사가 된 빛은 도광판을 통해서 패널을 균일하게 통과시키는 것으로 경량, 박형이 요구되는 노트북 PC에 주로 채용이 되고 있다.

일반적으로 배면광원의 소비 전력은 LCD의 공급 전력의 70% 정도를 소비하게 되며, 자체의 광 효율도 60%이하이다.

패널에서 빛이 통과되는 영역은 편광판, color filter, TFT-array, 화소 전극(ITO: Indium Tin Oxide), 액정으로 구분 할 수 있으며, Color filter와 편광판의 최대 투과도는 각각 1/2과 1/3정도이므로 결과적으로 1/6의 광 효율을 갖게 된다. 또한 TFT-array의 화소의 개구율에 따라 광 효율은 더욱 줄어들게 된다. 패널에 조사 되는 광원을 100으로 가정시 패널에 투과되는 광 효율은 여러 박막층의 투과율의 곱에 의해 결정되며, 현재의 기술 수준은 10% 미만의 광 효율을 얻고 있다. 패널부에서 광 효율을 증가시키기 위해서는 color filter와 편광판에 대한 물성 및 재료 특성의 개선이 필요하며, TFT-array의 화소부에서 빛이 통과 되는 영역을 증가하기 위한 설계 및 공정 개발이 필요하다. 따라서 개구

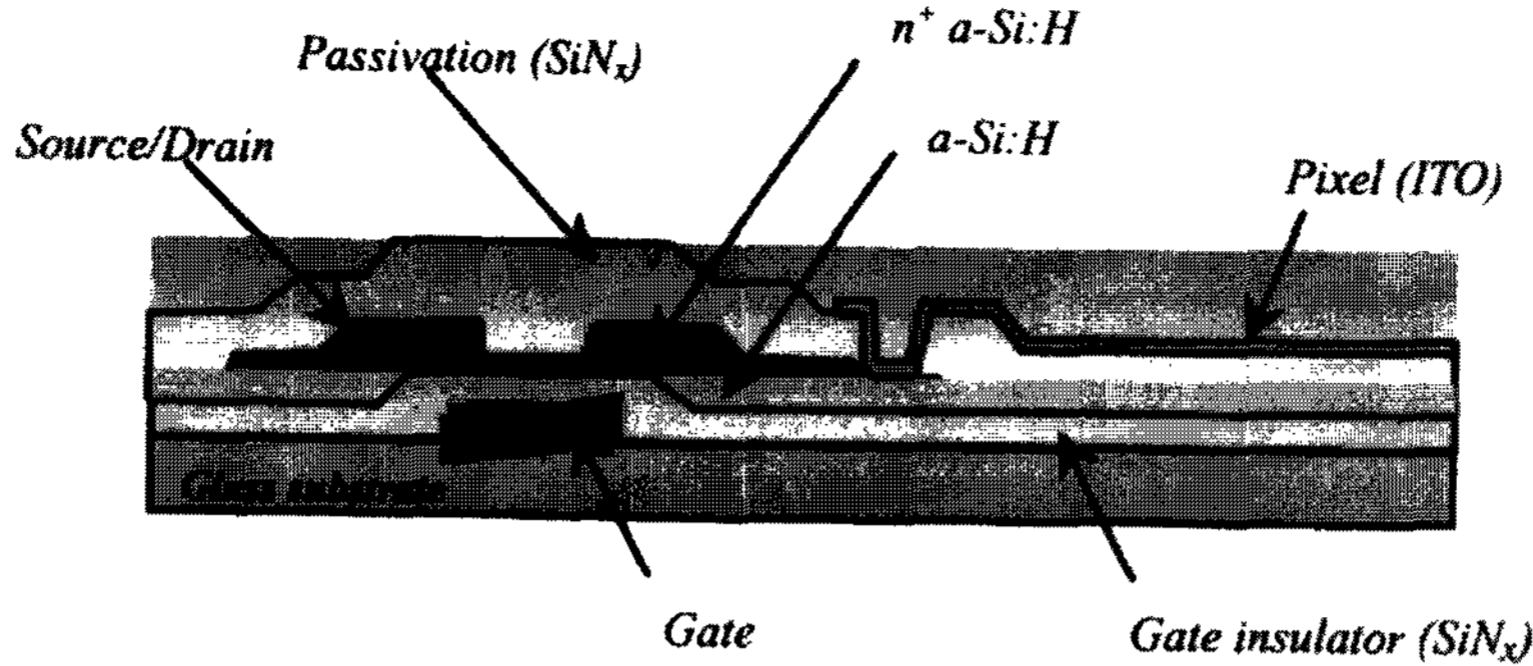
율의 향상은 패널에서 전력 소비를 감소시킬 수 있으며, 또한 화면의 휘도(brightness)를 높일 수 있기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

II. 1세대 기술





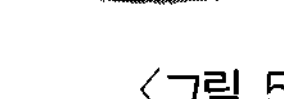
개구율 향상은 디스플레이 되는 화면이 고밀도 해상도를 가질 수록 핵심 기술이되고 있으며, 개구율을 향상 하기 위해서는 design rule 축소, 상하판 합착 정밀도 향상, 공정 tolerance의 감소와 새로운 화소 구조 개발이 필요하다.

〈그림 4〉에 현재 가장 일반적으로 적용되는 TFT-array에 대한 단위 화소의 수직구조를 나타냈다. 단위 화소는 게이트 전극, 게이트 절연막, 반도체층(비정질 실리콘), 소스/드레인 전극으로 구성되는 박막 트랜지스터와 게이트 버스 라인, 데이터 버스 라인, 화소 전극으로 구성이 된다. 이렇게 구성된 단위 화소를 matrix로 배열시킴으로써 TFT-array가 형성된다(〈그림 6〉). TFT-array는 적층된 각 layer를 일정한 형태를 갖는 모양으로 패터닝하기 위해 사진 식각 공정을 수행하게 되며, 보통 5~8회 정도 반복하게 된다. 〈그림 5〉에 현재 국내 업체에서 적용중인 사진 식각 공정 순서를 나타냈다.

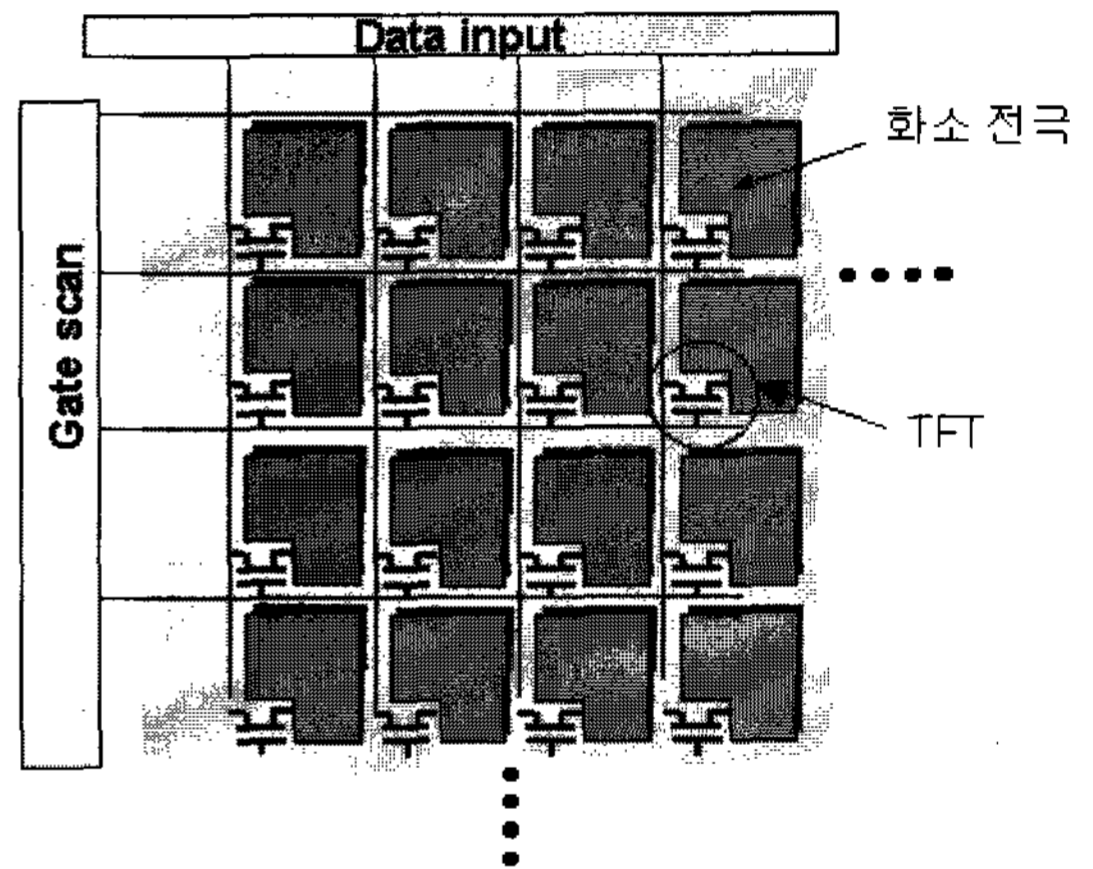
먼저 1세대 개구율 향상 기술은 질화 실리콘



<그림 4> TFT-array의 단위 화소의 수직 구조

-  **Gate electrode & Bus line**
-  **Active (semiconductor)**
-  **Source/Drain electrode & Bus line**
-  **Passivation layer & Pad open**
-  **Pixel electrode**

<그림 5> TFT-array의 제작 공정 흐름

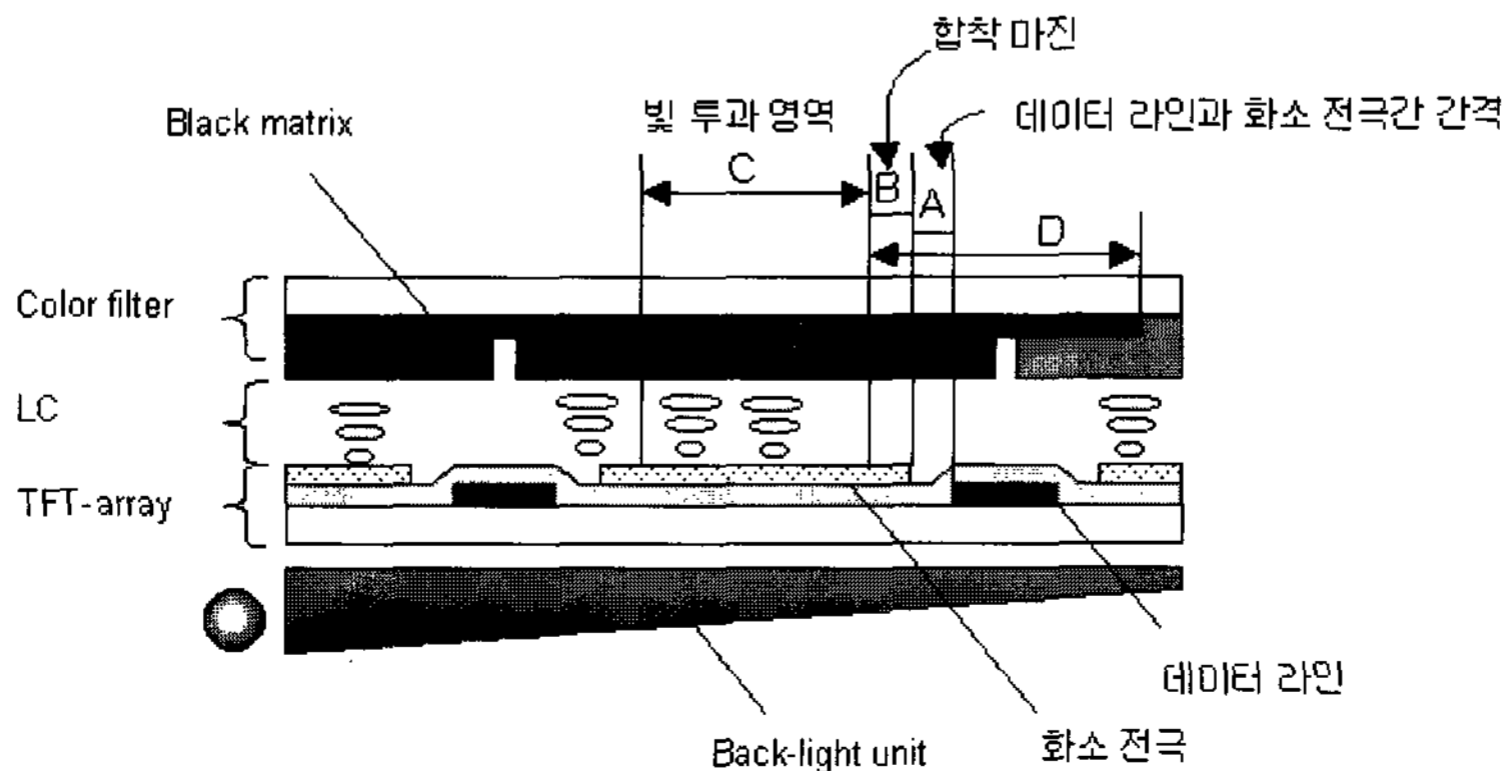


<그림 6> TFT-array의 평면 구조

(SiNx)막을 TFT-array의 보호층으로 적용하는 기술로 정의할 수 있다. <그림 7>에 1세대 기술을 적용하여 합착된 Cell 구조의 단면도를 나타냈다.

SiNx 막을 보호층으로 적용할 경우 55~65% (14.1" XGA) 정도의 개구율을 얻을 수가 있다.

일반적으로 데이터 버스 라인과 화소 전극 사이에는 불필요한 기생 용량의 커패시턴스가 존재하게 되며, 기생 커패시턴스의 용량에 따라 액정 디



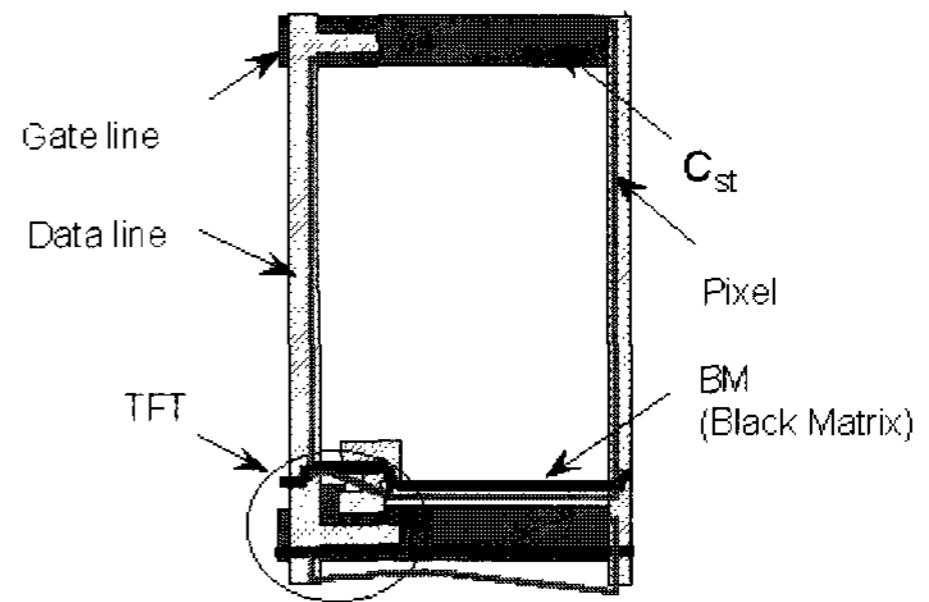
<그림 7> 상하판 합착된 Cell의 단면도

스플레이 패널의 flicker, crosstalk, 화면 밝기의 불균일성 등의 이미지 저하를 가져 올 수가 있다. 따라서 개구율 향상을 위해 SiNx(유전율: 6~7)을 적용해서 화소 전극과 데이터 버스 라인의 간격(A)을 줄이는 데는 한계가 있고, 보통 3~4 μ m 정도 간격을 유지하게 된다.

또한 개구율은 화소에 대한 투명 전극의 면적 비로 정의가 된다. back-light 광은 단지 투명 화소 전극 부분에서만 조절이 가능 하므로 화소 전극과 데이터 버스 라인 사이의 간격(A)을 통과하여 지나가는 광은 디스플레이의 contrast를 저하시키므로 이러한 광은 차단되어야 한다. 따라서 패턴 사이의 간격(A)은 불투명한 물질로 덮여지는데 이것을 BM(black matrix)이라고 한다. 이러한 BM은 일반적으로 컬러 필터 기판에 형성이 된다. 컬러필터가 형성된 유리기판과 TFT-array가 형성된 유리 기판은 서로 합착하여 맞추어지는데, 정확하게 정렬하기가 힘들다. 따라서 BM은 화소 전극에 대해 많은 합착 마진(B)을 가지게 되고, 빛이 투과 되는 영역(C)은 줄어들게 된다. 따라서 개구율은 감소하게 된다. 현재 합착 장비의 공정 tolerance는 ~5 μ m 수준으로 되어 있다. 결과적으로 1세대 기술을 적용하여 200ppi의 고밀도 해상도를 갖는 패널 제작시, 확보할 수 있는 개구율의 수준은 20% 미만이 되게 된다.

III. 2세대 기술

개구율 향상을 위한 2세대 기술은 보호층(passivation)을 유기 절연막을 이용하여 TFT-

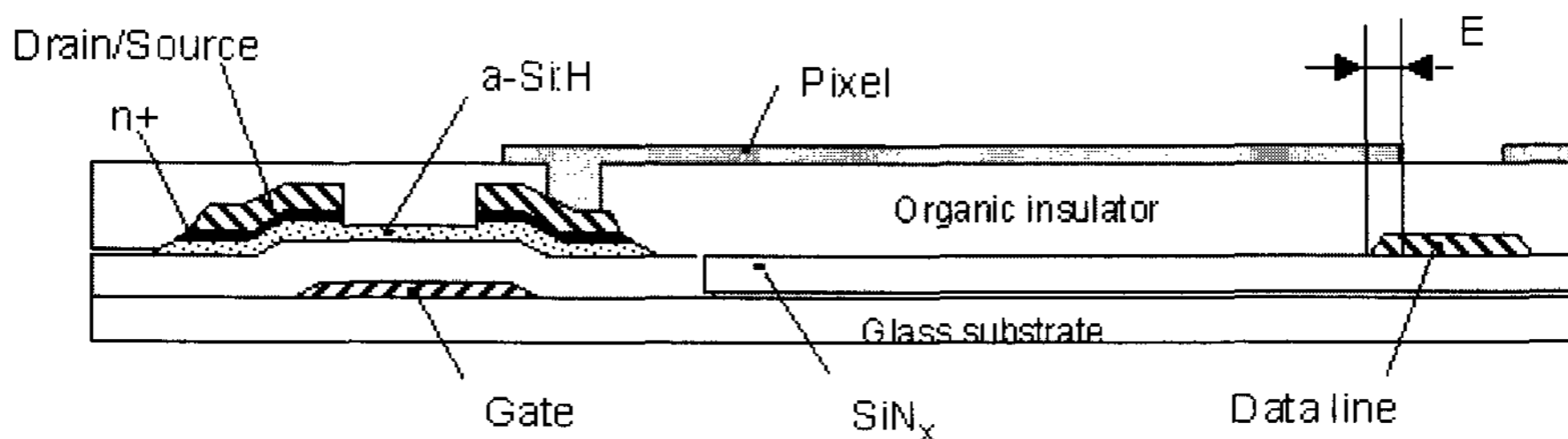


<그림 8> TFT-array의 단위 화소 평면도

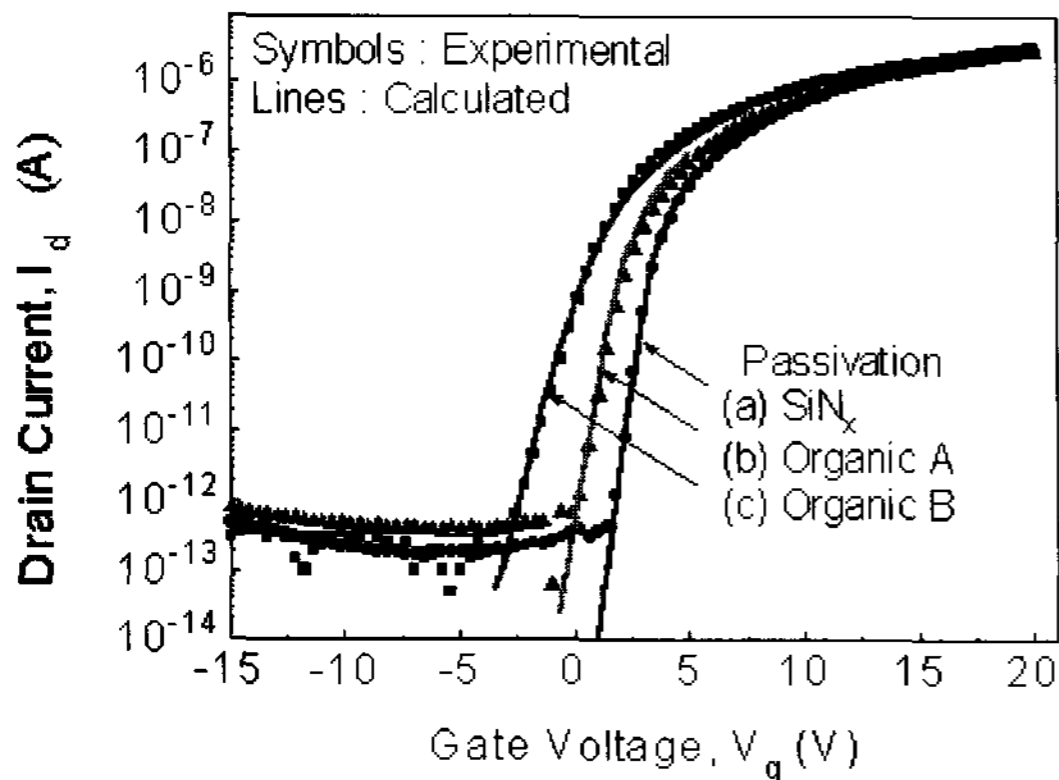
array를 제작하는 공정이다. 2세대 기술은 90년대 중반이후로 기술 개발이 상업화와 접목이 되며, LG, Philips LCD, Sharp, NEC, Hosiden에서 발표되어 왔으며 최근에는 많은 LCD 생산 업체에서 채용, 적용하여 제품 생산이 이루어지고 있다.

2세대 기술은 단순히 1세대에서 보호층으로 적용된 SiNx(유전율: 6~7)를 유전율이 낮은 유기 절연막으로 대체함으로써 화소 전극과 데이터 버스 라인간에 발생하는 기생 커패시턴스의 용량을 2~3배 이상으로 감소 시킬 수가 있으며, 이러한 장점을 이용하여 화소 전극과 데이터 버스를 서로 중첩 시킬 수 있는 구조를 설계하여 적용 할 수가 있다. 화소 전극과 데이터 버스를 중첩할 경우, 1세대 기술에서 나타났던 <그림 7>의 A 영역을 제거 할 수 있게 되며, 따라서 단위 화소 내에서 빛을 투과 할 수 있는 영역이 증가하게 되는 효과가 있다. <그림 8>과 <그림 9>에 2세대 기술을 적용한 단위 화소에 대한 수평과 수직 단면도를 나타냈다.

<그림 9>에서 화소 전극과 데이터 라인의 중첩



<그림 9> TFT-array의 단위 화소 수직 구조



〈그림 11〉 Back channel interface 특성에 따른 TFT 특성 비교

점으로 되어 있다.

BCE(Back Channel Etched) 형태의 TFT 구조에서 유기 절연막이 back channel 위에 직접 형성이 됨으로써 TFT의 특성 및 신뢰성에 영향을 주게 된다. 즉, 유기물의 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 TFT 특성 변화를 야기 시키게 된다. 〈그림 11〉에 유기 절연막에 따른 TFT 특성을 비교하였다. 즉 back channel에 축적되는 전하량이 클수록 TFT의 특성 곡선이 negative voltage 방향으로 이동하게 된다.

2세대 기술은 1세대 기술에 비해 공정 및 투자

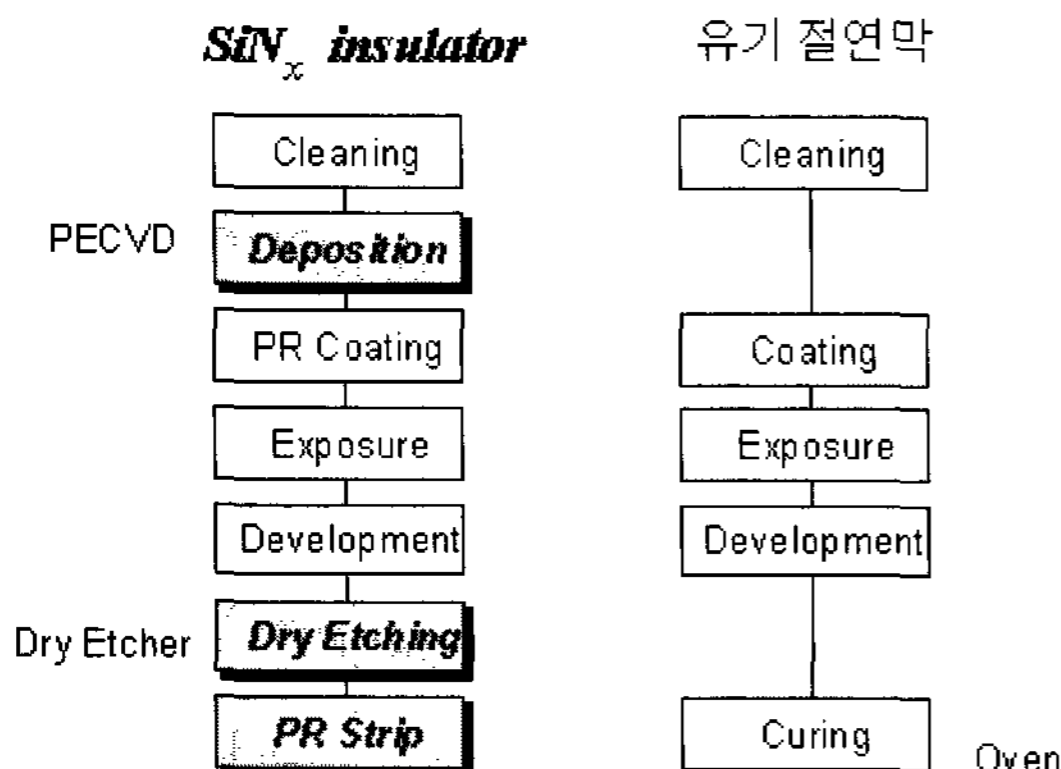
장비 관점에서 생산성을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 〈그림 12〉에 SiNx를 이용한 1세대 기술과 유기 절연막을 이용한 2세대 기술의 보호층 형성 공정을 비교하였다.

1세대 기술의 SiNx 보호층을 형성하기 위해서는 고가의 진공 장비인 PECVD와 cry etcher 장비가 요구가 된다. 반면, 유기 절연막을 이용한 2세대 기술은 진공 장비 없이 공정 수행이 가능하다. 이것은 장비 투자 비용의 저감, 공정 진행수의 감소, clean room 면적의 감소를 가져오게 됨으로써 생산성 증가를 기대할 수 있다.

IV. 3세대 기술

개구율 향상을 위한 3세대 기술은 TFT-array와 color filter를 동일한 유리기판에 동시에 형성시키는 기술이다. 3세대 기술은 1999년 후반부터 기술 소개 및 개발이 이루어지고 있으며, LG, Philips LCD, NEC, Toshiba에서 기술 발표 및 일부 제품에 적용시키고 있다.

3세대 기술은 TFT-array와 color filter가 동일한 유리기판에 형성 됨으로써 상하판 합착 공정 마 (**〈그림 7〉 B부분**)인 5~7 μ m가 ~1 μ m 수준으로 감소됨으로써 고개구율을 갖는 패널을 제작할 수 있다. 특히 3세대 기술은 대면적 유리기판에서 공정 및 고 밀도 해상도를 갖는 패널 제작시 장점을 갖게 된다. 3세대 기술을 구현하는 방법 중 2가지 경우에 대한 사례를 소개하겠다.

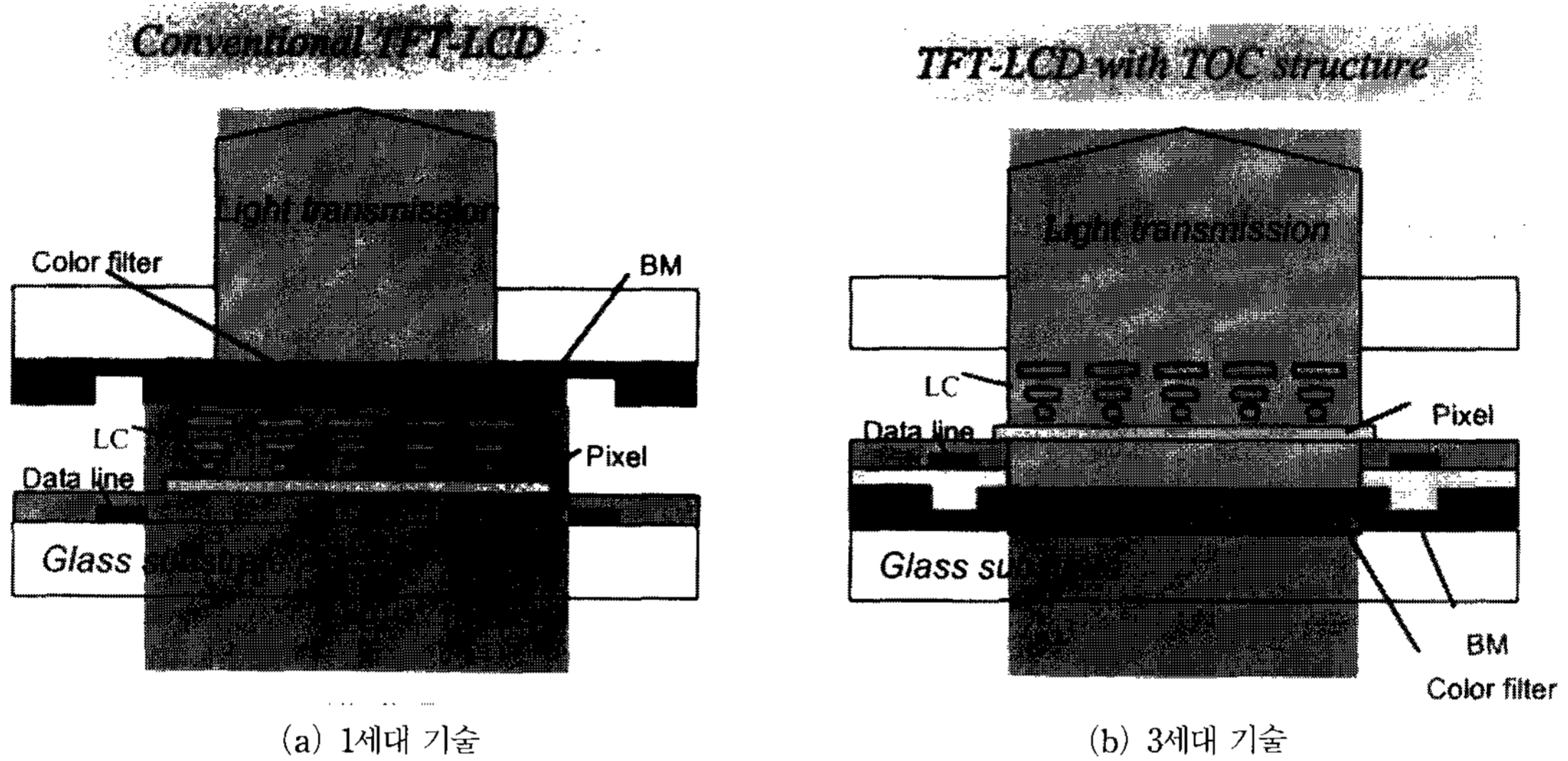


〈그림 12〉 TFT-array의 보호층 형성 공정 비교

1. TOC 구조

TOC(TFT-array On Color filter) 구조로써 기술은 종래의 안료 분산 방법으로 제작된 컬러필터 기판 위에 TFT-array를 연속으로 제작하는 공정을 말한다.

〈그림 13〉은 TOC를 적용한 3세대 기술과 1세대 기술의 패널에서 투과되는 단위 화소의 빛 투과 영역을 비교 하였다. 3세대 기술에서는 상하판 합착 마진을 고려한 BM 폭을 상당히 작게 설계하거나 제거할 수 있음으로써 단위 화소의

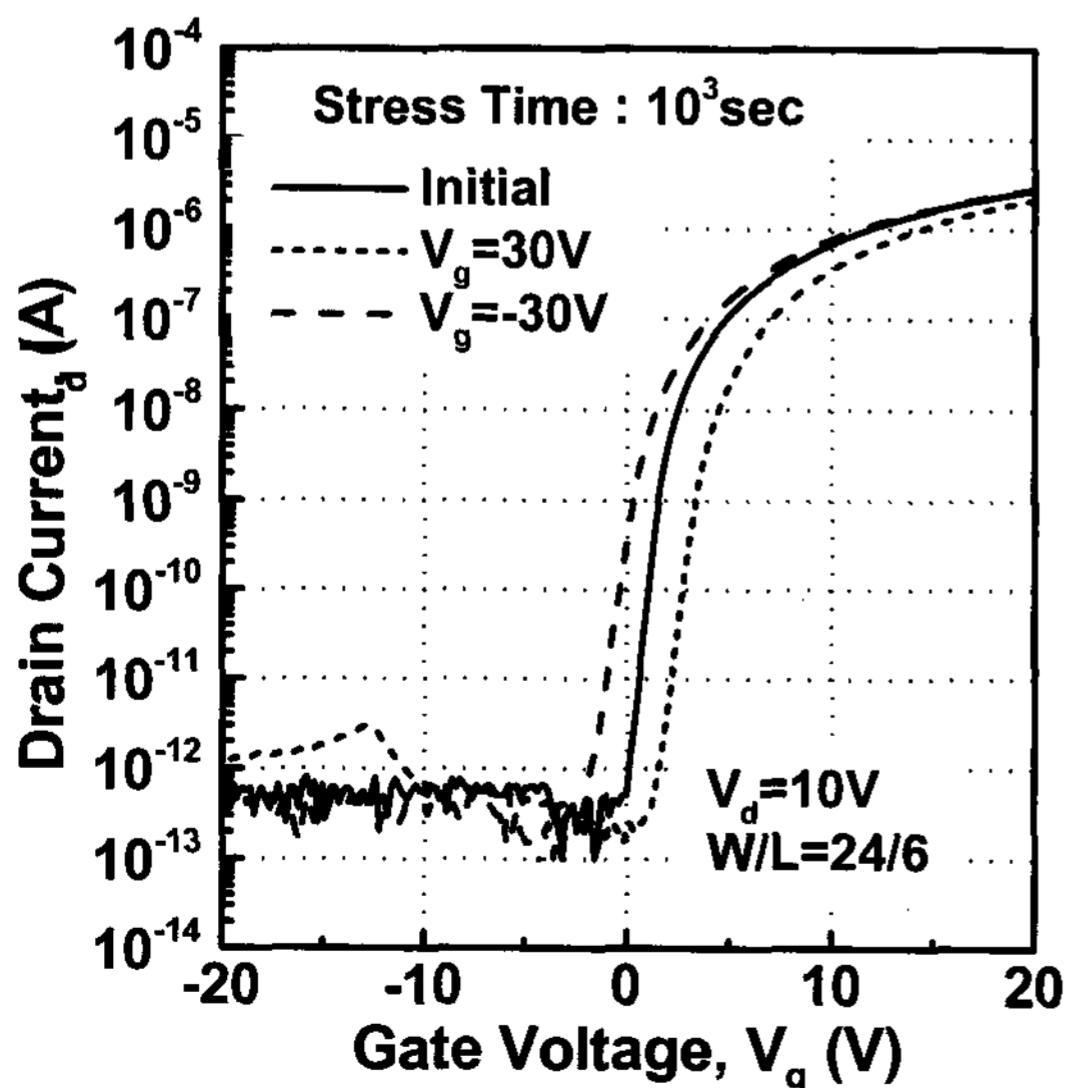


〈그림 13〉 고개구율 기술에 따른 LCD panel의 투과율 비교

빛 투과 영역이 넓어지게 된다.

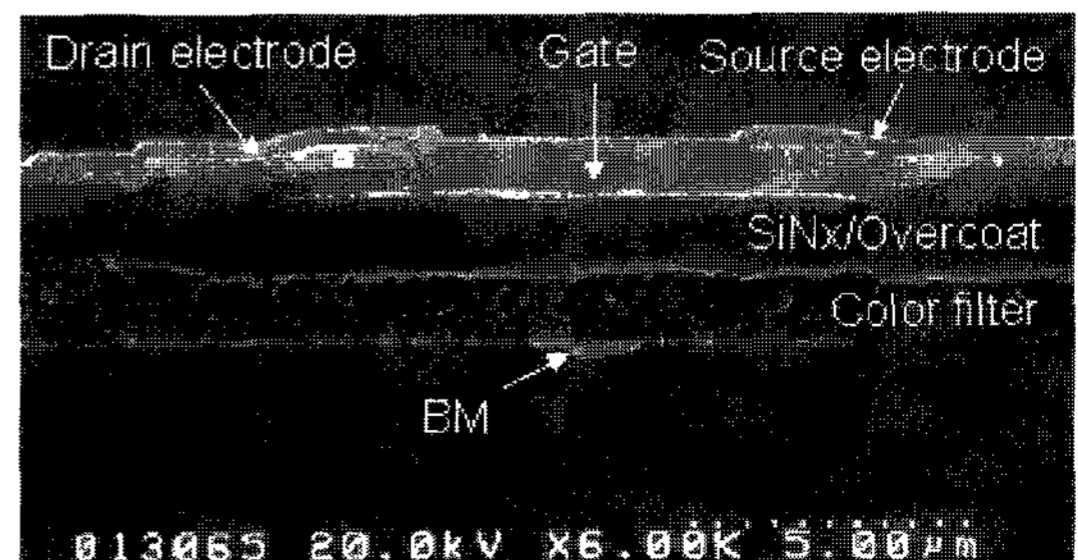
컬러필터 위에 형성되는 TFT-array는 컬러 필터의 색 변화가 없고 컬러 재료의 내열성 범위 내에서 공정이 이루어 져야 된다. 즉 절연막과 반도체층을 형성하는 PECVD 공정이 250°C 이하에서 TFT 소자를 제작하여, 소자의 특성 및 신뢰성을 확보해야 한다. 〈그림 14〉에 저온 공정

에서 제작된 TFT(low temperature a-Si TFT)의 특성을 나타냈다. TFT의 채널 폭과 길이는 각각 24 μ m, 6 μ m이며, 이동도는 0.7~0.8cm²/V.sec, 문턱 전압은 2~3V이다. 따라서 기존 고온(>300°C)에서 제작된 TFT와 동등한 특성을 보이고 있다. 또한 TFT-array 제작 공정이 저온화 됨으로써 장비의 전력 소비 감소, 장비 부품의 내구성 증가 및 플라스틱 기판에서의 공정 대응이 용이해질 수가 있다.

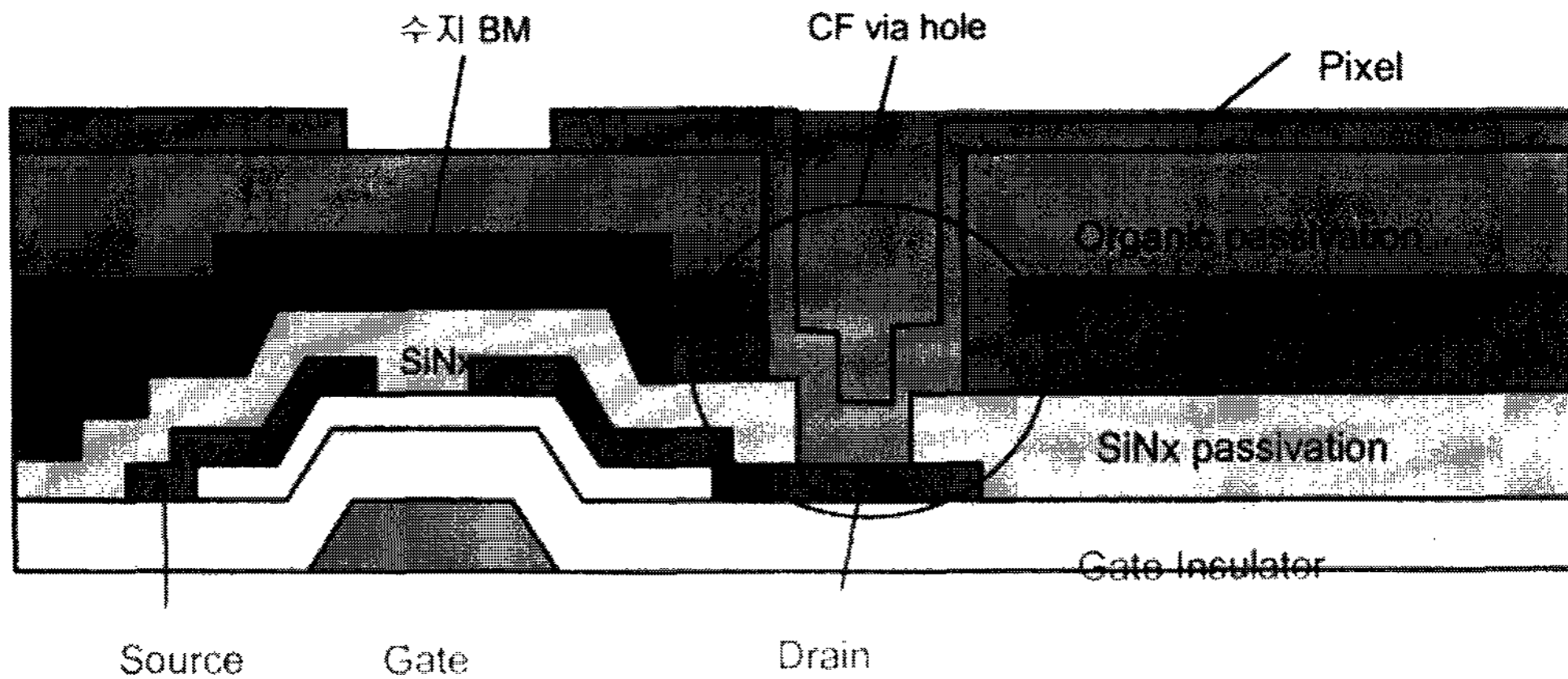


〈그림 14〉 LT(150°C) a-Si TFT의 특성

TOC 구조의 3세대 기술이 신뢰성을 확보하기 위해서는 유기 물질로 구성된 컬러 필터와 무기 물질로 구성 되는 TFT-array 간의 접착력을 향상시킬 수 있는 기술이 요구된다. 〈그림 15〉는 TOC를 적용한 3세대 기술의 수직 단면도를 나



〈그림 15〉 TOC 구조의 수직 단면도



〈그림 16〉 COT 구조의 수직 단면도

타냈다.

관리가 필요하다.

2. COT 구조

COT (Color filter On TFT-array) 구조는 TFT-array의 TFT를 제작 후, 그 위에 color filter를 연속적으로 제작하는 것을 특징으로 한다.

〈그림 16〉은 COT 구조의 단면 수직도를 나타냈다. 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 평탄화시켜 준다. 화소 전극인 Indium-Tin-Oxide(ITO)층을 유기막 위에 형성하고 contact hole을 통해 TFT와 연결하게 된다. 따라서 TFT의 back channel은 SiNx로 보호됨으로써 컬러필터에 의한 전하축적을 억제하게 되고, TFT 특성 저하를 방지할 수 있다. 또한 컬러필터와 BM이 게이트와 데이터 버스 라인 위에 증착이 되고, 화소 전극도 버스 라인 위에 증착이 됨으로써 고개구율을 얻을 수가 있다.

COT 구조에서 요구되는 기술은 contact hole 형성시 화학 약품에 의한 swell 방지, contact hole에서 contact 저항, contact hole 크기, 유기막과 화소 전극의 접착력 개선 및 공정 수율

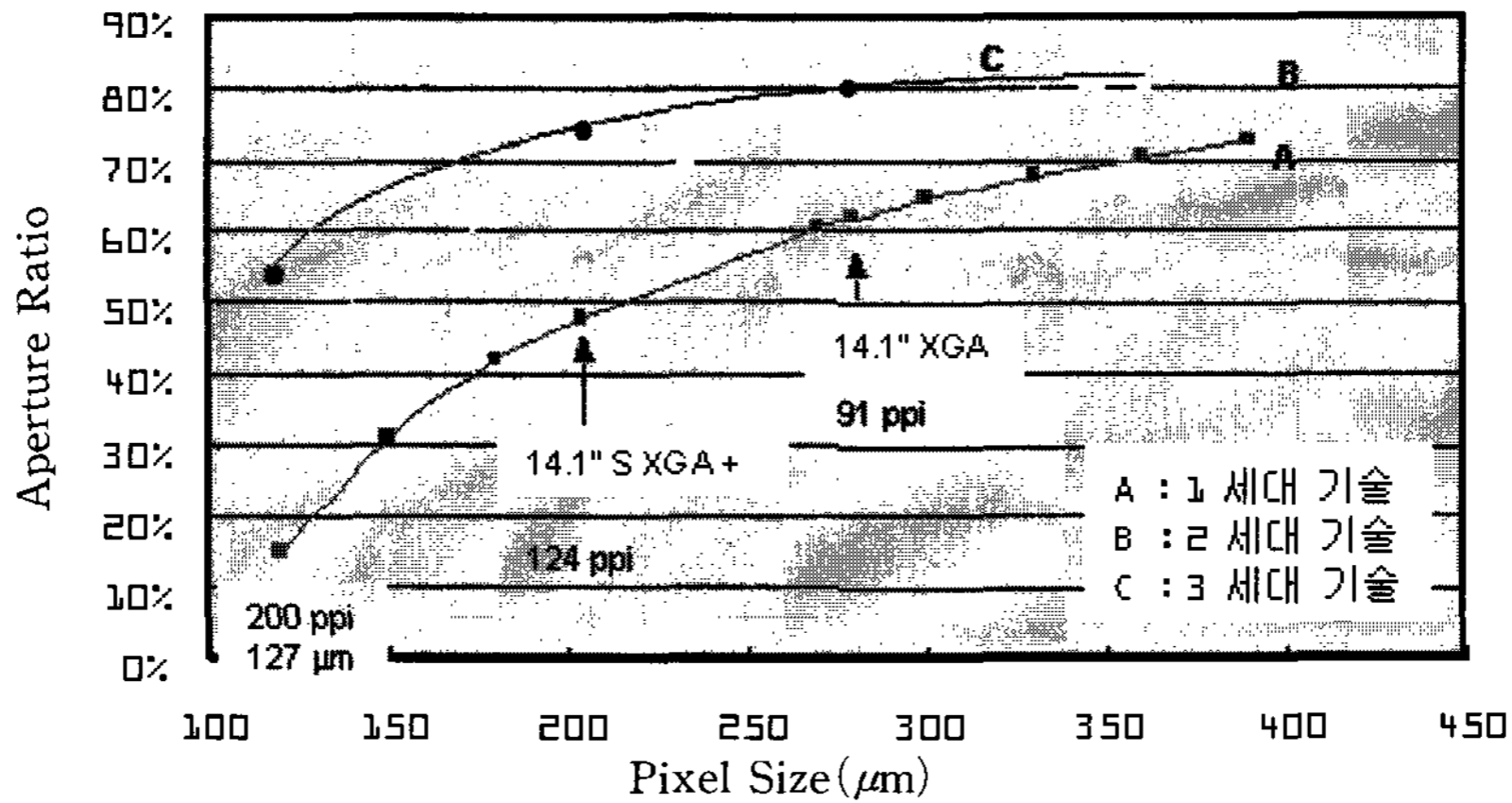
V. 향후과제

고 화질의 화면을 얻기 위하여 개구율 향상에 대한 많은 연구와 개발이 이루어 지고 있으며, 고개구율이 됨으로써 패널의 저 소비 전력, 고 휘도, 고 밀도 해상도(high density resolution)를 갖는 TFT-LCD가 가능해진다.

〈표 2〉에 고개구율 기술의 개발 동향이 요약되어 있다. 1세대 기술은 SiNx를 TFT-array의 보호층(또는 층간 절연막)으로 적용한 기술이며,

〈표 2〉 고개구율 기술의 개발 동향

년도	'90	'95	2000	2005
	1세대 기술			
	<ul style="list-style-type: none"> • SiNx절연막(passivation layer) • 개구율 : 55~65%(14.1"XGA) 			
	2세대 기술			
	<ul style="list-style-type: none"> • Organic절연막(BCB, Acrylic) • 개구율 : 65~75%(14.1"XGA) • 고 해상도 패널 			
	3세대 기술			
	<ul style="list-style-type: none"> • TFT-array & Color filter일체화 • 개구율 : ~80%(14.1"XGA) • 대면적 기판, 고밀도 해상도 패널 			



〈그림 17〉 고개구율 기술에 대해 화소 크기에 따른 개구율

2세대 기술은 유기 절연막으로 SiN_x 절연막을 대체한 기술이다. 3세대 기술은 TFT-array와 컬러필터가 동일한 유리 기판 위에 형성된 기술이다. 〈그림 17〉은 화소 크기에 따른 개구율 값을 나타냈다. 200ppi(pixel per inch) 경우, 1세대 기술로써는 20% 이하의 개구율을 얻지만 3세대 기술을 적용 할 경우 50% 이상의 개구율을 얻을 수 있다.

3세대 기술이 TFT-LCD에서 노트북, 모니터, TV 패널에 필수 불가결한 기술로 적용 하기 위해서는 생산 수율 확보, 공정 수 단축, 재료비 절감 등의 코스트 절감을 위한 공정 기술 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Kim, et al. , AM-LCD 96(1996), pp.149-152
- [2] J. H. Kim, et al., AM-LCD 97(1997), 1997, pp.5-8
- [3] J. H. Kim, et al., IDRC'97(1997), pp. 53-56
- [4] J. K. Yoon, et al., IEEE-ED letters, Vol. 19, No. 9, Sep 1998, pp.335-337
- [5] J. B. Choi, et al., J. Non-Crystalline Solids, 266-269, 2000, pp.1315-1319
- [6] J. B. Choi, et al., AM-LCD(2000), pp. 9-12
- [7] W. K. Kim, et al., IDRC'00(2000), pp. 439-442
- [8] D. C. Yun, et al., IDRC'00(2000), pp. 419-422
- [9] M. Sakamoto, et al., AMLCD(1999) pp.193-196
- [10] M. Sakamoto, et al., SID'96 Digest (1996), pp.681