

# LTPS TFT-LCD 개발현황

김 현 재(삼성전자)

## I. 서 론

Low-temperature Poly-Si(LTPS, 이하 저온폴리) TFT가 최근 주목 받고 있다. 저온폴리 TFT기술은 이미 80년대 말 소개되었고 그 기술의 본격적인 연구는 우선 대학교 중심의 Research를 시작으로 90년대 들어와 기업체로 까지 확산되었다. 90년대 초반부터 본격적으로 일본의 몇몇 업체들을 필두로 LCD 업체에서도 관심을 갖기 시작했다. 당시 업계의 반응은 사실 시큰둥했다. 저온폴리의 최대 장점인 TFT-LCD 구동에 필요한 driver IC를 glass 내에 integration한다는 획기적인 생각에도 불구하고 실제 양산을 위해서는 추가로 설비투자가 필요하고 무엇보다도 뚜렷한 application과 target이 보이지 않았기 때문이었다. 또한 amorphous Si(a-Si) TFT-LCD 기술 자체의 성숙도가 높아서 비교적 짧은 기간내, 높은 수율로 TFT-LCD 제품을 생산할 수 있다는 사실이 저온폴리 TFT-LCD의 필요성을 반감시키게 된 것이다.

일부에서는 90년대 초반, passive type인 STN-LCD를 a-Si TFT-LCD가 대체하였듯이 조만간 LTPS TFT-LCD가 a-Si TFT-LCD를 대체할 것이라는 성급한 예측도 있었지만 그것은 현실화 되지 않았다. 하지만 저온폴리 기술의 우수성과 사업화에 대한 잠재성은 지속되어 왔으며 최근에 와서 저온폴리 기술과 사업화의 본격적인 윤곽은 서서히 드러나기 시작했다. 그것은 a-Si TFT-LCD의 한계에 의한 것이라기보다 새로운 application의 등장에 따른 필요

성에 기인한 것이다. 최근에는 휴대전화나 휴대정보단말 등의 mobile 기기의 대중화와 이에 따른 각종 internet 등의 infra 구축에 따라 각종 mobile 기기의 소형 경량화가 추진되고 있다. 이러한 mobile 기기의 사양에 따라 저온폴리의 시장이 새롭게 형성된다고 볼 수 있다. 이것은 기존의 a-Si TFT-LCD의 영역을 대체한다는 개념보다는 고객과 사회의 필요성에 따라 형성된 것이다.

a-Si TFT-LCD에 비해 저온폴리는 저 소비전력과 고해상도를 자랑한다. 일본의 Sanyo는 digital still camera 등의 소형 제품을, Toshiba는 note PC용 panel을 시작으로 다양한 application의 제품을 90년대 중 후반부터 양산 개시했다. 최근까지 Toshiba, Sanyo, Sharp, Matsushita, Samsung, LG 등 많은 일본과 한국 업체들이 저온폴리 생산라인을 건설하고 중소형 제품을 위주로 panel 개발에 집중하고 있다.

## II. LTPS TFT-LCD의 특징

### 1. LTPS TFT-LCD의 장점

저온폴리의 최대장점은 TFT의 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는 channel을 구성하는 물질이 기존의 amorphous Si이 아닌 polycrystalline Si(poly-Si, p-Si)이란 점이다. Poly-Si으로 TFT의 channel을 구성할 수 있어 가장 두드러지는 장점은 TFT의 특성이 기존의 a-Si의 경우에 비해 크게 개선된다는 점이다. a-Si

TFT는 pixel을 on/off 해주는 기능으로서는 부족함이 없지만 특성은 MOS의 경우와는 비교할 수 없을 정도로 낮은 것이 사실이다. Poly-Si의 경우 single crystal Si의 경우와는 비교할 수 없지만 a-Si보다는 훨씬 우수하다.

아래의 <그림 1>에서는 a-Si와 p-Si TFT-LCD의 차이를 TFT-LCD 제품의 개략적인 layout으로 나타내었다. 실제로 a-Si TFT-LCD의 경우도 driver IC의 수를 줄인 다던지 구동PCB 부분을 단순화 하려는 노력을 하고 있다. 하지만 근본적으로 driver IC 부분이 Poly-Si TFT-LCD의 경우는 glass내에 integration된 것과는 근본적으로 차이가 있다. 구동 회로를 내장하기 위해서는 현실적으로 이동도가 약  $20\text{cm}^2/\text{Vs}$  이상이 요구되는데 a-Si의 이동도는  $0.1\sim 1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 에 불과하므로 외부에서 별도의 구동 IC로 구동하는 것이 불가피하다.

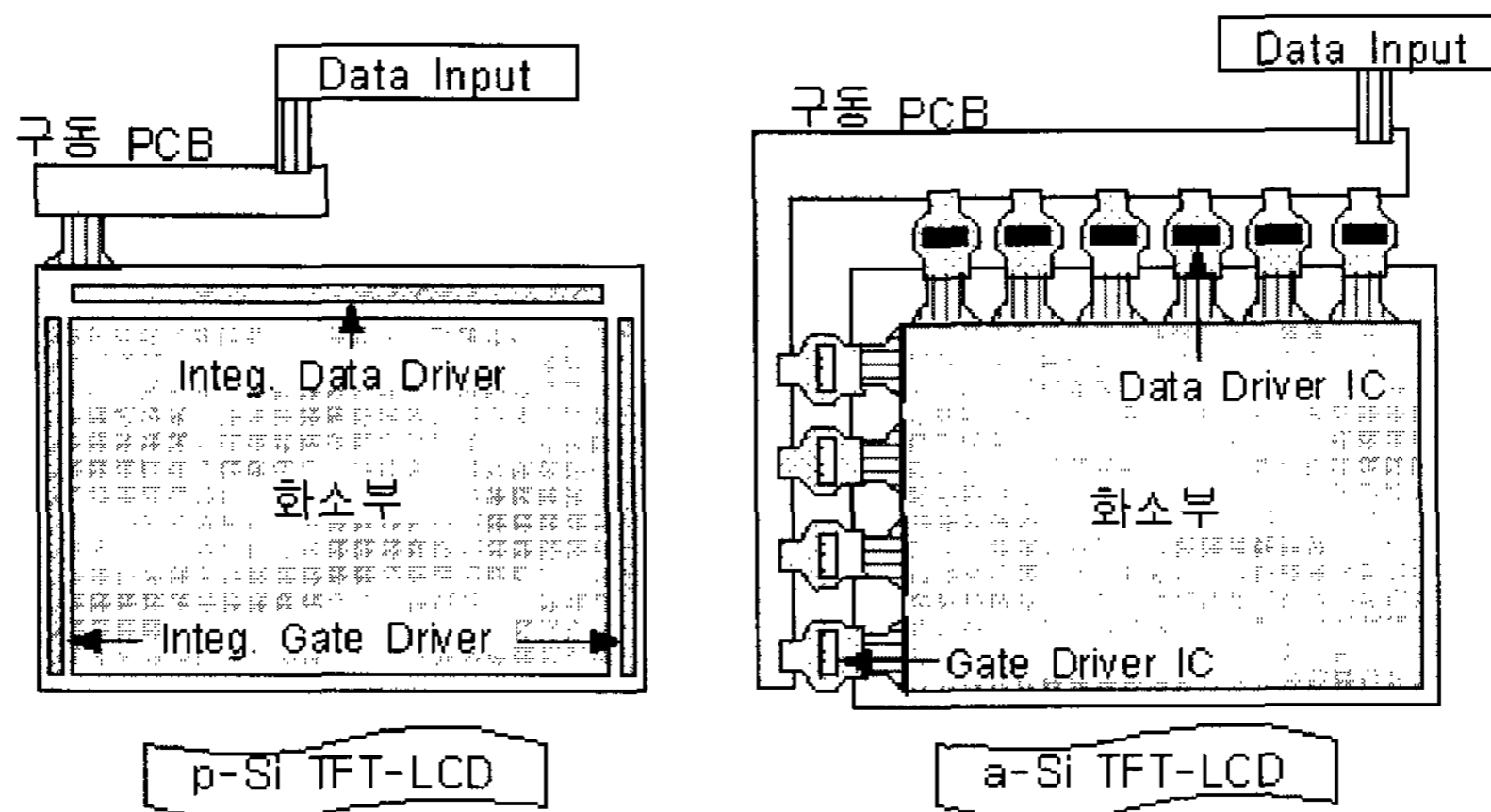
저온폴리 TFT-LCD가 내세울 수 있는 장점은 또한 high resolution을 꼽을 수 있다. a-Si TFT-LCD의 경우 glass panel에 IC를 부착하는 module 공정시 driver IC의 각 Channel 간의 거리, 즉 pitch의 한계가 있다. 보통의 경우 약  $50\mu\text{m}$ 가 일반적이는데, 그 이하가 된다면 특별한 설비 또는 경우에 따라 source IC를 panel의 상, 하단에 나눠서 부착하는 방법을 사용해야만 한다. 어느 정도 양산성의 저하는 필

연적이다. 따라서 저온폴리의 경우는 이러한 IC 부착에 따른 TAB pitch의 제한이 없으므로 고정세에 큰 장점을 가지고 있다고 볼 수 있다. 150 pixel per inch (ppi) 이상의 제품이 필요한 부분에서는 저온폴리의 장점을 살릴 수 있는 것이다. 물론 a-Si TFT-LCD의 경우에도 필요하다면 장비와 공정의 개선에 따라 어느 정도까지 고정세의 제품도 가능할 수 있다. 실제로 Toshiba의 경우는 2인치부터 15인치의 저온폴리 제품의 라인업이 되어있는데 상당수의 제품이 150ppi를 넘는 제품으로 특화하였으며 200ppi급의 제품을 주 target으로 하고 있다고 한다.

이외에도 a-Si의 경우 물성적으로 photo leakage current가 매우 높아 가시광에 노출될 경우 특성이 매우 불안정해진다. 상대적으로 poly-Si의 경우 안정하기 때문에 광학 소자로 사용될 때 광 안정성이 높아 유리하다. 또한 저온폴리의 경우 mobile device에 필수 조건인 경박 단소에 a-Si TFT-LCD에 비해 유리하며 a-Si에 비해 접속 pin수와 부품 수를 절감할 수 있다는 장점도 있다.

## 2. 결정화 기술

저온폴리 TFT의 형성에 있어 가장 중요한 공정이라 할 수 있다. a-Si을 p-Si으로 바꾸는 공정이며 TFT의 quality는 물론이고 최종 pro-



<그림 1> A-Si TFT-LCD와 P-Si TFT-LCD의 Schematic Layout

duct의 수율에도 결정적인 공정이다. a-Si TFT-LCD의 제조공정에서는 대부분의 업체가 채택하고 있는 공정인 bottom gate 구조에서는 active a-Si layer를 전후로 gate insulator와 n<sup>+</sup> a-Si 증착을 연속적으로 진행하기 때문에 active layer의 interface가 상대적으로 안정되었다고 볼 수 있다.

하지만 저온폴리의 경우 대부분의 업체가 active Si을 먼저 형성하는 top gate구조를 취하고 있으며 이 경우 a-Si TFT에 얻을 수 있는 연속 증착에 따른 안정적인 interface의 장점은 갖고있지 않다. 더욱이 a-Si을 p-Si으로 바꿔주는 결정화 공정이라는 중요한 공정을 추가로 필요로 한다.

저온폴리 TFT-LCD를 위한 결정화 기술은 크게 3가지로 구분될 수 있다.

현재 거의 모든 업체에서 채택하고 있는 “ELA (Excimer Laser Annealing)”, laser를 사용하지 않는 SPC(Solid Phase Crystallization)의 일종인 “MILC(Metal-Induced-Lateral-Crystallization)”, 그리고 excimer laser를 사용하면서도 기존 ELA의 단점을 제거시킨 “SLS (Sequential Lateral Solidification)”가 그것들이다.

첫번째 ELA의 경우 거의 모든 업체들이 개발/양산에 사용하고 있는 방법이며 line beam의 형태로 excimer laser beam을 균일하게 shaping한 후에 진공 또는 inert gas분위기에서

수십 차례 Si을 녹이며 재결정하는 방법이다. 양산에까지 사용되는 방법이지만 공정자체가 비싸며 process window가 넓지 않다. 사실상 저온폴리 TFT-LCD 개발의 bottleneck이 되는 공정이며 값비싼 설비투자과 공정 등 복합적인 요인에 따른 저온폴리의 대중화를 가로막는 공정이기도 하다.

설비업체에서는 최근 glass 대형화에 맞춰 laser의 power를 높이며 beam size를 크게 하는데 focus를 두고 있다.

두번째 MILC는 기술은 오래 전부터 개발되어 온 방법이다. 고온폴리에서 사용되는 SPC의 일종으로 metal을 촉매로 하여 결정화를 낮은 온도에서 짧은 시간 내에 할 수 있게 한 방법이다. 경우에 따라서는 결정화 공정과 활성화 공정을 동시에 할 수 있다는 장점이 있다. 본 기술을 아직 LCD업체에서 채택하여 사용하지 않는다. 하지만 최근 Sharp사는 일본의 SEL(Semiconductor Energy Lab)과 공동으로 CGS(Continuous Grain Si)이란 신기술을 몇 년 전부터 개발하여 실용화 하고 있다. CGS의 세부 기술은 공개되고 있지 않지만 MILC의 방법으로 결정화하여 단결정에 가까운 (전기적으로는 단결정 수준이라고 주장함.) poly-Si을 얻는 것이 핵심 내용이다. 하지만 상품화된 기술은 quartz 기판에서나 사용될 수 있는 고온폴리 기술이었으며 최근에 와서 MILC+laser 기술을 조합하여 low-temperature CGS 기술을 개발하였다.

〈표 1〉 저온폴리 TFT-LCD를 위한 주요 결정화 기술

	ELA	MILC	SLS
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excimer laser 사용</li> <li>- 현재 사용공정</li> <li>- Line beam system</li> <li>- 수십 shot in vacuum 필요</li> <li>- 공정 window 민감</li> <li>- 단결정수준 Si 불가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laser 미사용</li> <li>- CGS               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 고온폴리로 既 제품화</li> <li>· 저온폴리도 가능 (단, laser사용)</li> <li>· 단결정수준 Si 가능</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excimer laser 사용</li> <li>- ELA 대비 throughput 향상 가능성 있음.</li> <li>- Projection system</li> <li>- Min. 2 shot in air</li> <li>- 양산 검증 필요</li> <li>- 단결정수준 Si 가능</li> </ul>
개발	모든업체	서울대, 경희대, 한양대, Sharp & SEL 등	Columbia 대학 외

세번째 SLS는 수년전 미국의 Columbia university에서 고안한 방법으로 여전히 laser를 사용하지만 laser beam이 a-Si thin film에 도달하기 전 optical mask로 미리 beam을 shaping하여 원하는 지역만 melting을 시켜 줌으로써 인위적으로 lateral solidification을 유도한다는 것이 주요 내용이다.

기존의 ELA와는 달리 최소 2 shot으로 “controlled poly-Si” microstructure가 가능하며 device의 integration level에 따라 원하는 level의 poly-Si을 얻을 수 있는 등 flexibility가 있다고 한다. 최근에 일본과 한국의 몇몇 업체에서 관심을 갖고 공동개발을 진행중이나 아직 양산성 측면에서는 검증이 필요하다.

이외에도 널리 사용되진 않지만 as-depo poly-Si, RTA(Rapid Thermal Annealing), microwave를 이용한 결정화 등이 있다.

### III. LTPS 개발동향

#### 1. 한국

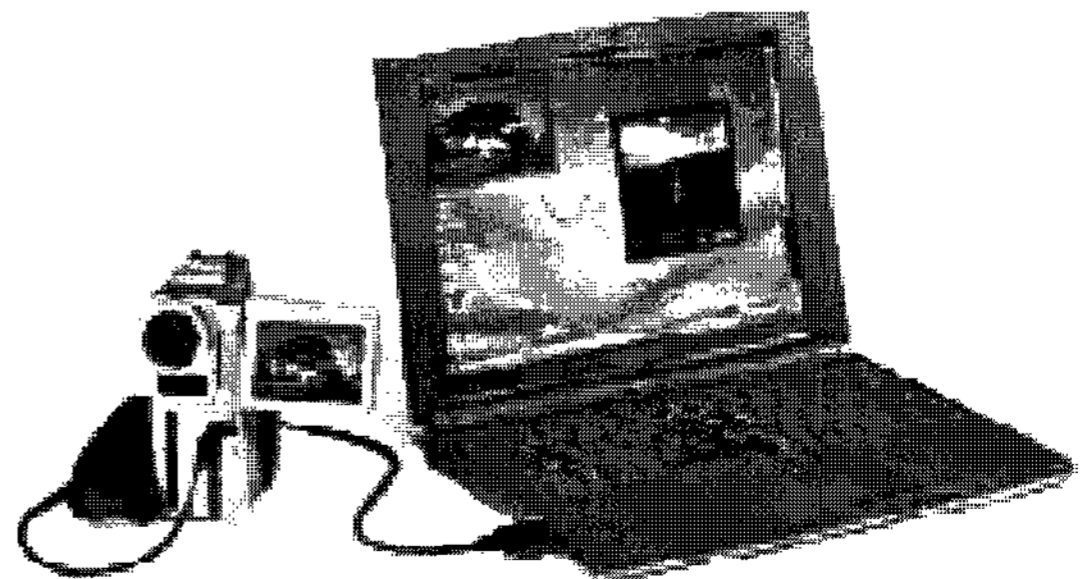
한국에서는 삼성전자와 LG, Philips가 최근 저온폴리에 대한 투자와 양산을 발표한 바 있다. 삼성전자는 중소형 HHP 등 mobile 제품에 적용하여 non-PC 제품으로의 영역을 넓히려 하고 있다. 연구개발은 이미 수년 전부터 착수하여 개발제품으로 7" CNS용, 5" PDA/항공용 등을 발표한 바 있다. 최근에선 2"급의 IMT-2000向의 반사형 저온폴리 제품을 주요 전시회 등에 발표하였다.

LG, Philips의 경우는 항공용 제품과 sub note-PC, note PC 등에 집중하고 있으며 최근에는 중소형에도 관심을 보이고 있다. LG, Philips는 일찌감치 저온폴리에 대한 연구를 시작하였으며 고유의 PMOS TFT기술을 여러 차례 발표한 바 있다. 2000년 Las Vegas의 Comdex show에서는 14.1"(1600×1200) 저온폴리 제품을 전시한 바 있다.

#### 2. 일본

Toshiba는 일찍이 저온폴리에 주목, 중대형의 양산에서 앞서고 있다. 深谷공장에는 월 1만 매의 생산능력을 가진 시작양산라인에 이어 98년 8월 대형 저온폴리 전용공장을 건설, 99년 4월 400×500mm<sup>2</sup> glass기판에서 월 1만 매의 생산능력을 가진 제1기 양산라인, 10월에는 같은 규모의 2기 양산라인이 가동되었다. 2기분까지의 총투자액은 약 3백억엔이다. 또한 최근에는 深谷공장에 380억엔을 투자하여 LTPS의 3기 양산라인을 건설한다고 발표했다. 3기라인은 550×670mm<sup>2</sup>의 glass기판을 사용, 월 1만 5천매의 생산능력을 갖춘다. 2001년 4월부터 양산을 개시한다. 신라인에서는 10.4"~15.1"의 대형 고정세 panel을 생산한다(日 전파신문).

Sharp의 경우 아직 양산은 시작하고 있지 않으나 CGS 기술을 중심으로 저온폴리를 준비하고 있다. 최근 신문발표를 통해(일경 BP) 2001년 CGS개발본부 설립, 2002년 사업본부로 격상, 이 기술로 8" 이하 중형, 소형 휴대전화기, PDA, subnote-perscom 등을 제품화할 계획임을 밝혔다. 이미 CGS 기술을 사용하여 1) 2" QVGA 320×240-200ppi, >60%, 투과형, 2) 7" WXGA 1280×768-210ppi, >60%, 투과형 등의 고정세 제품을 소개하였다. 상기제품은 종래 개별부품으로 사용한 화상처리 IC, 전원 IC, 입출력 interface IC를 패널 주변부에 집적하여 부품 수 감소, cost 감소, 소비전력감소, 두께 1/3 이하 실현하였다고 한다. CGS로 유기EL



〈그림 1〉 SONY VAIO PC에 탑재된 Toshiba의 10.4" XGA 저온폴리 LCD

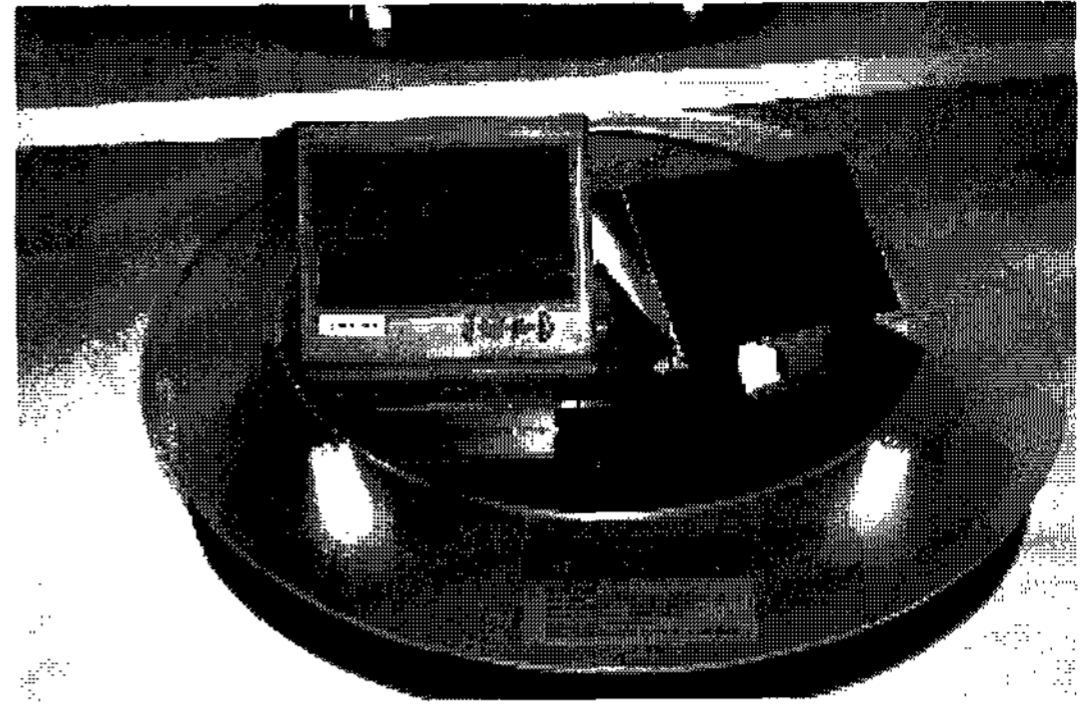
참여도 발표하였다.(전파신문)

일찌감치 고온폴리에 투자하여 독자적인 영역을 구축하고 있는 SONY는 고온 p-Si과 저온 p-Si 기술을 양축으로 하고 있다. 저온폴리는 Toyota와 합병한 ST-LCD가 건설한 공장에서 99년 4월부터 제조 개시하여, 6월부터 제품출하를 시작했다. 현재 2", 2.5", 3.5"의 비디오 카메라용과, 9" note PC용을 출하하고 있다. mobile 기기를 target으로 하고 있기 때문에, panel size는 10" 정도를 상한선으로 하고 있다고 한다. 2000년에는 Compaq사의 PDA에 채용한 반사형 3.8"를 본격 생산하였고 (glass기판의 투입능력 : 월 2만매 (600×720mm<sup>2</sup>)) 이후 휴대전화 용 LCD를 생산할 계획이 있고 한다.

Poly-Si TFT의 연구개발에 가장 오래된 경험을 갖고 있는 Seiko-Epson의 경우 北海道에 LCD공장을 2001년에 건설할 계획이다. 휴대전화용 동화상 표시 TFD나 projector용 고온 poly의 생산설비 외에, 개발 중인 저온폴리와 유기EL의 융합 device의 양산도 고려하고 있다. (반도체산업신문)

Hitachi의 경우 저온폴리의 연구개발에는 오래 전부터 알려져 있는 업체는 아니나 최근에 "고부가가치 제품으로 shift하는 사업전략"이란 title로 저온폴리를 제품화 하려는 계획을 세우고 있다. 전파신문에 따르면 현재, 茂原의 연구소와 試作라인에서 개발을 하고 있다. 생산라인은 건설 중인 V3라인에서 공간을 확보하고 있어, 2001년에는 pilot line을 건설, 2002년 제품화를 목표로 준비를 진행하고 있다. 제품은 2~5"까지의 휴대기기를 target으로 검토하며 projector를 대상으로 micro-display의 일종인 LCoS의 상품화도 예정하고 있다고 한다.

그 외에도 저온폴리의 양산화에 가장 먼저 성공한 Sanyo의 경우 여전히 중소형 제품을 특화하여 digital still camera 등에 높은 market share를 유지하고 있다. 최근에는 미국의 Kodak사와 공동으로 업계최초로 저온폴리와 유기EL을 결합한 AMOLED을 소개한바 있다. NEC도 최근 전자 book과 PDA향으로 6.3"



〈그림 3〉 Sanyo와 Kodak사의 저온폴리와 유기EL을 결합한 5.5" AMOLED

poly-Si module을 제품화 하여 발표하였다. 일경산업신문에 따르면 XGA의 resolution으로 2000년 12월에 sample 출하를 하고 2001년 초에 양산할 계획이라고 한다.

### 3. 대만

대만에서는 ERSO가 먼저 저온폴리 제품화에 대해 개발을 90년대 후반 시작하였다. ERSO는 99년 5월 12.4" LTPS의 proto type을 개발했다. 이후에도 4.1" XGA, 3" XGA, 20" UXGA panel 연구 Project에 들어갈 계획이라고 한다. ERSO 이외의 일부 대만업체들은 저온폴리 application에 높은 기대를 걸고 있으며 top-poly, ADT, PVI 등의 업체에서 연구개발 및 생산 계획을 발표하고 있다(전자시보).

이외에도 저온폴리에 대한 기초적인 연구는 전세계적으로 진행되고 있으며 특히 최근에는 유기EL의 개발에 있어 저온폴리 TFT 기판을 유기EL의 하부판으로 사용하려는 관심을 보이고 있다. 유기EL의 경우 각사의 최종목표 active 방식이나, 사업화를 위해 고민하고 있는 것이 저온폴리 부분이다. a-Si TFT는 전류 구동의 유기EL에는 취약점이 많은 것으로 알려져 있어 poly-Si TFT의 채용이 유력시되고 있다. 고도의 생산기술을 필요로 하는 저온폴리를 제막한 glass 기판을 자체적으로든 외부로부터 조달 받아야 한다. 향후 유기EL에서 주도권을 잡을 수 있는 업체는 저온폴리 기술 보유업체가 될 것이라는 전

망도 나오고 있다.

#### IV. 향후전망

저온폴리 TFT-LCD가 전세계적으로 확산되고 있다. 저온폴리 기술은 LCD 개발을 하는 사람의 궁극적인 목적인 “system-on-glass (SOG)” 개발의 시작이라 볼 수 있다. 저온폴리를 사용하여 LCD에 드라이버 IC의 integration을 이미 실현시켰으며 이 방법을 발전시켜 시스템에 필요한 회로를 전부 디스플레이에 내장시키는 것을 목표로 하는 것이 system-on-glass로 드라이버 IC 다음에 무엇을 내장해나갈 것인가가 개발 테마가 되고 있다. Toshiba의 경우 휴대폰용 저온폴리 LCD의 각 pixel에 계조 조절 데이터를 기억시켜 소비전력을 감소시키기 위해 SRAM을 내장하였으며 Sony의 경우 a-Si TFT-LCD의 Driver IC의 주요 기능이라 할 수 있는 DAC(Digital Analog Converter)를 저온폴리 LCD에 내장하였다.

추후 LCD 내에 integration level이 높은 저온폴리 LCD의 개발방향은 크게 두 가지로 볼

수 있다. 투과형 액정 패널의 경우는 data driver 안에 frame memory를 내장하고 반사형 액정 패널의 경우는 Toshiba의 경우에서와 같이 화소내에 SRAM을 내장하는 것이다. SRAM 내장에 대해서는, 반사형 TFT 패널 외에 TFT 방식의 유기 EL 패널로 구현하는 방법도 고려될 수 있다. 표시모드의 경우도 투과형과 반사형 외에 투과형과 반사형을 오갈 수 있는 반투과형 패널도 실용화될 가능성이 높다.

끝으로 system-on-glass로 성숙되기 위해서는 3가지의 한계점을 극복해야 한다고 생각된다. 1) poly-Si의 물질의 quality가 단결정의 수준에 근접해야 한다. 기존의 ELA 방법이 아닌 새로운, 획기적인 기술의 breakthrough가 있어야 한다. 2) 대형기판을 사용하는 LCD의 노광장치 성능의 향상으로 인한 design rule이 지금의 수 um보다 개선되어 최소한 1um 이하의 design rule이 확보가 되어야 한다. 3) TFT에서는 photo mask의 숫자가 제한적일 수 밖에 없다. system-on-glass를 위한 device를 제작한다고 해도 mask 숫자의 제한은 필연적이다. 이를 위한 device의 설계기술의 개발이다.