

차세대 디스플레이 백플레이인용 산화물 TFT 기술

이상렬 책임연구원, 조경철 석사과정, 정유진 박사과정, 전윤수 박사 (한국과학기술연구원 전자재료센터)

1. 산화물 전자재료 및 응용분야

최근 전자재료 분야에서 산화물 소재에 대한 관심이 급증하고 있다. 오래 전부터 산화물 재료에 대한 연구가 이루어져 왔지만, 최근 미래 디스플레이 및 태양전지에 적용을 위한 투명전극, 디스플레이인용 백플레이인 TFT, LED 등에 적용 가능한 특성들을 보임으로써 그 연구가 활발히 진행되고 있다.

이중에서도 Origon 주립대학의 J. F Wager 그룹, Osaka 대학 Masuda 그룹, DuPont의 P. F. Garcia 그룹에서 ZnO를 기반으로 한 산화물 TFT의 개발을 보고함으로써 특별히 ZnO 기반의 산화물 반도체에 대한 연구에 초점이 맞추어 연구들이 진행되고 있다.

[1-3]. 그 후 2003년 일본 동경대 Hosono 그룹에서 Single Crystalline 결정 구조를 가지는 $InGaO_3(ZnO)_5$ 를 이용하여 제작된 TFT를 발표하였고, 2004년 amorphous 구조를 가짐에도 불구하고 높은 이동도를 가지는 a-IGZO를 이용한 TFT를 발표하였다 [4].

이와 더불어 Transparent Conducting Oxide (TCO)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있는데, ZnO에 3족 원소인 Ga, Al을 첨가하여 전자 농도를 조절하여 전극으로 사용 가능한 낮은 비저항을 가지는 산화물 전자재료에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

2. 미래 디스플레이 기술

현재 디스플레이 발전방향 중에서 가장 큰 관심을 모으고 있는 부분은 투명 디스플레이와 플렉시블한 디스플레이의 실현이라고 할 수 있을 것이다. 투명 디스플레이의 실현을 위해 투명 전자 소재의 개발이 필요하며, 플렉시블 디스플레이의 실현을 위해 선 낮은 공정 온도 또는 상온에서도 공정이 가능한 전자 소재의 개발이 필요하다.

비단 투명 디스플레이와 플렉시블 디스플레이를 생각지 않더라도, 차세대 디스플레이의 발전 방향인 대면적, 고해상도, 높은 프레임 수를 갖는 AMLCD 또는 AMOLED TV의 구현을 위해서도 높은 전자 이동도와 대면적 Uniformity를 갖는 TFT 소재의 개발



그림 1. 산화물 반도체 소재의 응용분야.

표 1. 산화물 TFT와 다른 TFT 소재들의 특성 비교.

| ITEM | ELA p-Si | Non-laser p-Si TFT | μ -Si | a-Si TFT | Oxide TFT |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Mobility (cm^2/Vs) | 50~200 | 20~100 | 1~20 | 0.5~1 | 1~100 |
| TFT Type | PMOS, CMOS | PMOS, CMOS | NMOS | NMOS | NMOS |
| TFT Uniformity | Worse | Medium | Better | Better | Better |
| Process Step | PMOS:5~6 CMOS:9~10 | PMOS:5~6 CMOS:9~10 | | 5~6 | 4~5 |
| Equipment Investment | High | Medium | Low | Low | Low |
| Compatibility with a-Si TFT Line | Not | Medium | OK | OK | OK |
| C O S T | TFT | High | Medium | Low | Low |
| | Module | Low (Integrated Driver) | Low (Integrated Driver) | High (Non-integrated) | High (Non-integrated) |
| | Total | Profitable (Small Size Panel) | Medium | High (Large Size Panel) | High (Large Size Panel) |

이 필요하다.

하지만, 현재 디스플레이 산업에서 사용되고 있는 a-Si의 경우 전자 이동도가 $0.5\sim1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 수준으로 차세대 디스플레이가 요구하는 전자 이동도 ($5\sim10 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)에 미치지 못하는 한계를 가지고 있으며, 구동 시간에 따라 문턱전압 (V_{th})이 심하게 변하는 문제가 있어 AMOLED에 적용하기에는 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 양산 공정에서 Excimer Laser Annealing (ELA)을 이용해 Poly Si을 형성하여 이동도를 높이고 있으나, 공정비용이 비싸고, Polycrystalline 구조를 형성하므로 인해 대면적 Uniformity가 떨어진다는 문제점이 있다.

비정질 산화물 TFT는 높은 전자이동도 ($1\sim100 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), 높은 문턱 전압 균일도와 같은 뛰어난 특성을 바탕으로 현재 백플레이인 TFT소재로 사용되는 a-Si을 대체해 차세대 디스플레이에 적용될 것으로 기대된다. 표 1에서 보는 바와 같이 높은 전자이동도 등과 같은 특성을 통해 산화물 TFT가 a-Si를 대체할 가장 유력한 물질로 여겨진다.

3. 산화물 반도체 소자의 연구 동향

앞서 말했듯이 산화물 TFT의 경우 ZnO에 대한

연구가 가장 먼저 이루어 졌다. ZnO를 기반으로 한 산화물 복합소재들은 높은 광 투과도를 가지며, 도핑을 통해 절연체에서 도체까지 광범위한 전기적 특성을 조절할 수 있는 넓은 활용성, 그리고 인체에 무해한 친환경소자라는 이점을 내세워 다양한 분야에서 활발히 연구, 개발되고 있다. 또한 ZnO는 II-VI 족의 직접전이형 화합물 반도체로써 1935년경부터 그 소재의 연구가 진행되었고, 1990년대에 이르러 산화물 반도체 기반의 LED (Light Emitting Diode) 가 구현되면서, 질화물계 화합물을 중심으로 진행되었던 LED 기술이 GaN (질화갈륨)의 원천기술 및 특허 등의 문제로 대체 물질의 필요성이 대두되면서, 전기적 특성면이나 소재를 구하기 용이한 이점이 있는 ZnO가 가장 가능성 있는 물질로 개발되기 시작하였다.

ZnO와 같이 2가지 원소로 구성되어진 산화물 화합물을 Binary Compound Oxide Semiconductor라고 하며, ZnO , SnO_2 , In_2O_3 가 여기에 속한다. 2005년도 이전의 연구결과들을 살펴보면, Bottom 게이트 구조를 가지는 TFT에 대한 연구가 주로 진행 되었고, 주된 목표는 전자 이동도의 향상과 누설전류의 억제 및 Photo-detector Application에 대한 연구들이 진행되었다. 미국 Oregon 주립대의 J. F. Wager 그룹에서는 ZnO 기반의 TFT에 대한 채널 전자 이동도에 대한 연구결과를 발표하였고 [1], 포르투갈

의 E. Fortunato 그룹에서는 주로 Flexible Electronics를 위한 상온공정에 대한 연구결과를, 한국의 연세대학교 연구팀에서는 Photo/UV-detector로의 응용가능성과, 수소 처리를 통한 채널 전자 이동도 향상에 대한 연구결과를 발표하였으며 [5], 한국과학기술연구원에서는 저전압 구동소자를 위한 ZnO-TFT를 만들기 위해 BZN (Bismuth-Zinc-Niobium-Oxide)을 절연막으로 이용한 TFT에 대한 연구결과를 발표했다 [6].

Ternary Compound Oxide Semiconductor는 3가지 원소로 구성 되어진 소재를 말하며 주로 ZnO에 도핑을 통하여 캐리어 농도를 조절 하고자 하는 의도로 연구가 진행되어져 왔다. 대부분의 Oxide Semiconductor에는 Indium이 포함되어 있는 것을 보게 되는데 이는 In_2O_3 가 Bixbyite 구조로써 Octahedral Site를 공유하므로 인해 높은 전자 이동도를 갖게 되는 것을 이용한 것이다.

Ternary Compound는 J. F. Wager 그룹에 의한 Indium-Zinc-Oxide (IZO)기반의 TFT가 보고된 바 있으며, Indium의 대체할 물질로써 Tin (Sn)을 사용한 Zinc-Tin-Oxide (ZTO)에 대한 TFT의 특성과 Passivation에 의한 TFT의 특성변화에 대한 연구결과를 발표하였지만, 매우 Conductive한 특성을 갖는 Sn을 조절하는 것 또한 해결해야 할 과제중의 하나이다. 또한 주목할 만한 결과중의 하나로써, 기존에 TCO로써 이용되어지던 ITO를 채널 층으로 사용하고, 게이트 절연막을 Ferroelectric을 사용함으로써, TFT 특성을 보고하였는데, 이는 도전 물질의

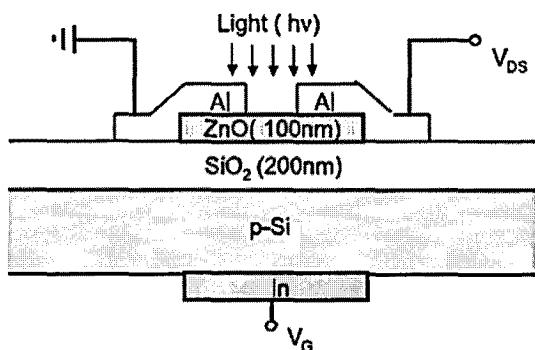


그림 2. Photo-detector를 위한 ZnO TFT의 구조.

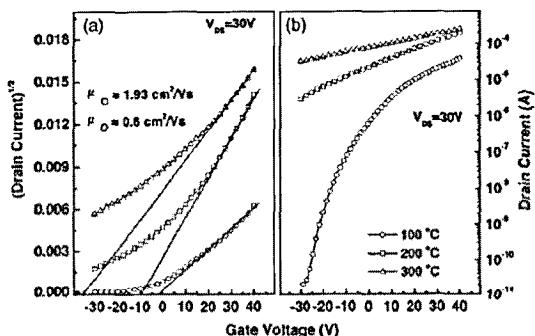


그림 3. Hydrogen Treatment를 통한 Mobility 향상의 결과.

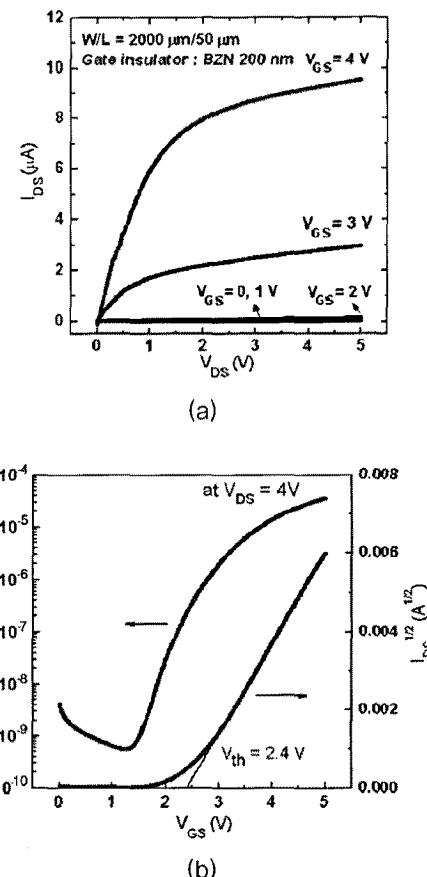


그림 4. BZN을 이용한 Low-voltage ZnO-TFT의 동작 특성.

또 다른 발전 가능성을 제시한 연구결과라고 볼 수 있다.

한편, 2005년 이후부터 본격적으로 Oxide-semiconductor에 대한 관심이 급격하게 증가하면서, 세계 유수의 그룹에서 연구를 진행하기 시작하였다. Taiwan의 H. H. Hsieh 그룹에서 TFT Channel의 W/L Ratio에 의한 특성변화에 대한 결과를 보고하였고, ZnO의 두께를 조절하여 Amorphous 구조의 ZnO를 채널 층으로 이용한 연구결과도 발표되었다 [7].

또한, 2005년 이후로 TCO로써 AZO와 GZO에 대한 연구결과들이 보고되어지는 것을 볼 수 있다. Indium의 고갈과 함께 가격상승의 요인이 되면서부터, ITO를 대체할 Material에 대한 연구결과들이 보

고되고 있으며, 대표적으로 포르투갈의 E. Fortunato 그룹과 [8], 본 연구팀에서는 GZO를 사용한 소자에 대한 연구를 진행하고 있다 [9].

2003년 ZnO TFT에 대한 연구가 발표된 후, 같은 해 일본 동경대 Hosono 그룹에서 Single Crystalline 결정 구조를 가지는 $InGaO_3(ZnO)_5$ 를 이용하여 제작된 TFT를 발표하였고, 2004년 Amorphous 구조를 가짐에도 불구하고 높은 이동도($>10 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)를 가지는 a-IGZO를 이용한 TFT를 발표하였다. a-IGZO의 경우 amorphous 구조 상태에서도 In이 가지는 넓은 범위의 5s 궤도를 전자의 이동통로로 이용하여, amorphous 구조에서도 높은 전자이동도를 가지는 특성을 보인다. 또한, a-IGZO의 경우 상온에서 증착이 가능하여, 플렉시블 디스플레이에 적용

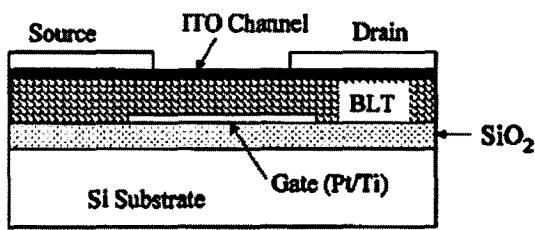


그림 5. ITO와 BLT를 이용한 TFT의 구조.

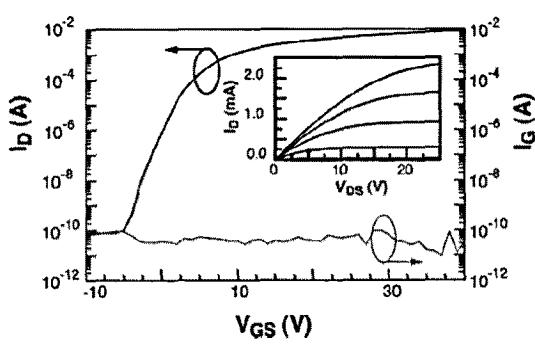


그림 6. ZTO-TFT의 특성곡선.

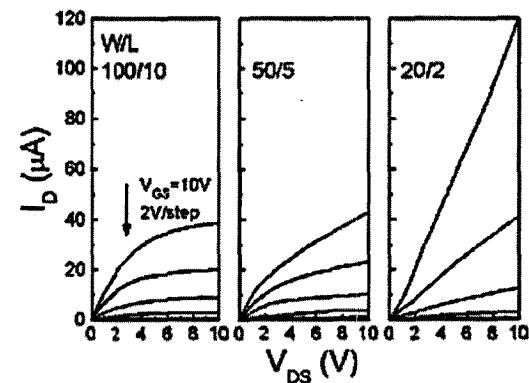


그림 7. W/L Ratio에 따른 TFT의 특성.

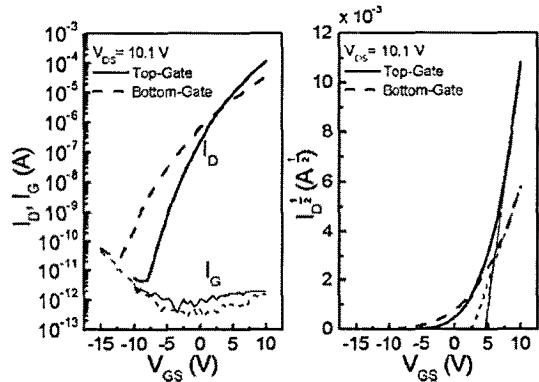
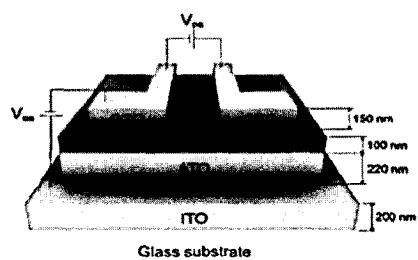
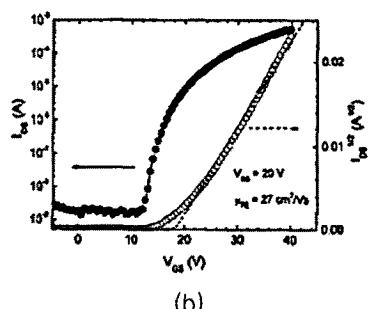


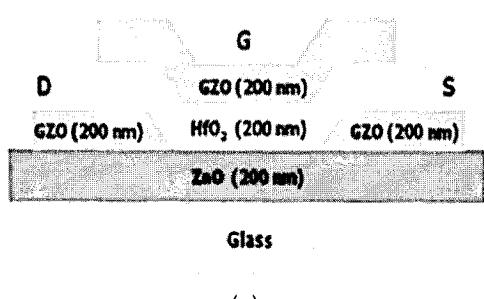
그림 8. a-ZnO 기반의 TFT의 특성.



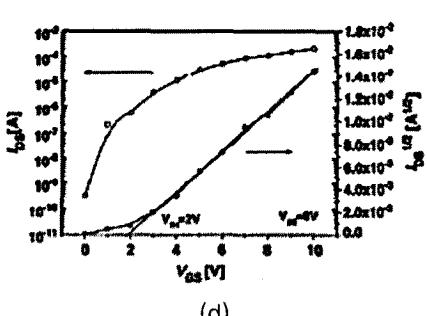
(a)



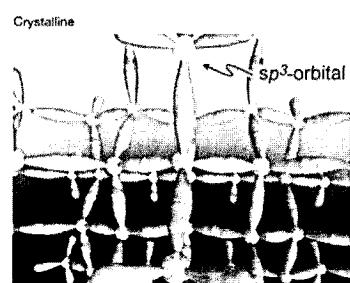
(b)



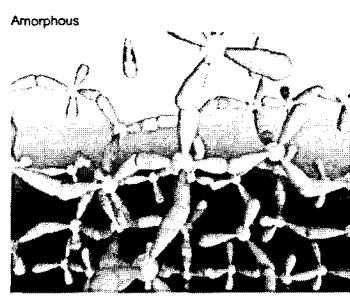
(c)



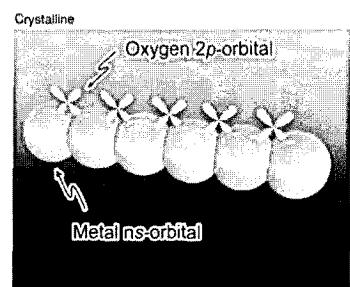
(d)



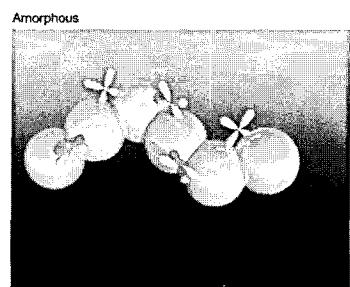
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 9. GZO를 Electrode로 사용한 TFT의 구조와 특성 (a, b) Bottom-gate방식, (c, d) Top-gate방식.

그림 10. Si 결정구조 (a)와 IGZO 결정구조 (b)의 비교.

할 수 있는 가능성을 보여주었다. 이에 따라 그 후 a-IGZO TFT에 대한 연구가 집중적으로 이루어 졌고, 실제 디스플레이에 적용하기 위한 연구들이 진행되고 있다.

또한 IGZO에서 In을 대체하는 물질로 Sn을 사용하여 SGZO ($\text{SnO}_2\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$) TFT를 제작 비교 실험을 한 결과에서, IGZO 기반의 소자에 비해 SGZO 기반의 소자의 특성이 좋지 못한 것으로 결과가 보고되고 있으며 [10], 현재 국내·외 많은 기업들에서 IGZO 기반의 소자에 대한 연구가 진행되어지고 있다.

2007년에 삼성 SDI의 김민규 박사 그룹과 정재경 박사 그리고 박진성 박사 그룹에서는 Co-sputtering 을 통한 IGZO-TFT의 성능향상에 대한 연구결과와 Bottom-gate Structure의 TFT에 있어서 공정중 IGZO Channel이 Damage를 입는 것을 방지하기 위한 SiO_x 를 Etch-stopper로 사용한 연구결과와 Ar Plasma Treatment를 이용하여 특성을 향상시킨 연구 결과들을 발표하였다. 하지만 IGZO는 Hosono 박사가 원천특허를 소유하고 있기 때문에, IGZO를 대체할 수 있는 새로운 Oxide Semiconductor Material에 대한 탐색연구도 지속적으로 이루어지고 있다.

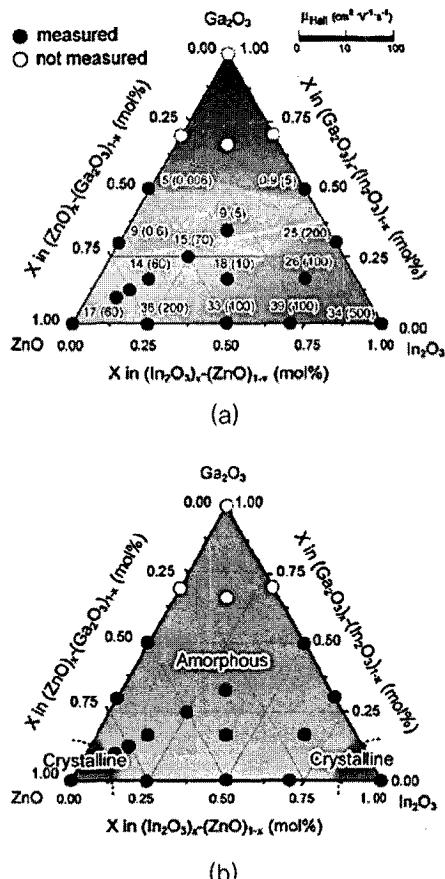


그림 11. $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ (IGZO)의 Phase Diagram과 조성비율에 따른 Structure

4. 플렉시블 기판에 적용을 위한 연구

현재 대부분의 디스플레이 소자는 유리 기판 위에 제작되고 있다. 하지만, 유리는 깨지기 쉽고, 무거우며, 대량생산 시 핸들링에 어려움이 있다. 또한 최근 미래 디스플레이의 핵심으로 연구되는 플렉시블 디스플레이의 기판으로 사용할 수 없다. 따라서 유리 기판을 대신할 물질로 크게 금속 포일 (Metal Foil)과 플라스틱 이 두 가지가 연구되고 있다.

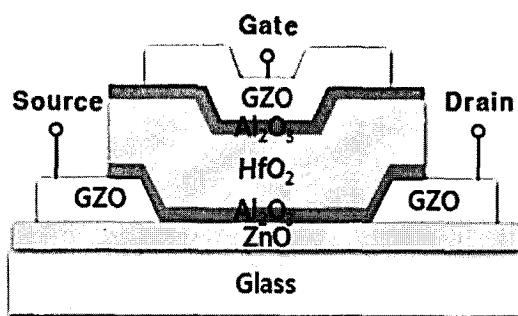
금속 포일의 경우 높은 온도에서도 공정이 가능하며, 열팽창 계수가 상대적으로 작아 현재 고온 증착이 필요한 소자에 적용이 가능한 장점이 있지만, 불투명하고 무거우며, 표면 부식 등의 문제가 있다. 이와 반해, 플라스틱 기판의 경우 유리전이온도 (T_g) 가 낮고 (<250 C), 열팽창 계수가 커서 증착 온도에 제한이 있지만, 소재 자체가 투명하여 투명 디스플레이에 적용이 가능하며, 무게가 가벼워 대면적 디스플레이에 적용하여 무게를 줄일 수 있어, 현재 대부분의 플렉시블 디스플레이에는 플라스틱을 이용한 연구가 이루어지고 있다 [11].

현재 a-IGZO는 물론 a-ZTO 등과 같이 상온에서 증착이 가능한 채널 층에 대한 많은 연구 개발이 이루어져 채널 층을 형성하는 공정이 기판이 견딜 수 있는 온도에 제한 요소가 되지 못 할 것으로 생각된다 [12]. 반면 현재 디스플레이용 백플레이인 TFT의 게이트 절연막으로 일반적으로 사용되고 있는 SiO_2 나

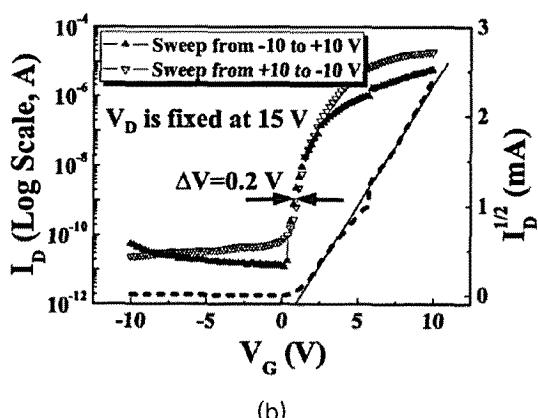
SiN_x 의 경우 PECVD나 ALD로 증착 시 250~350 °C 정도의 공정온도가 요구된다. 이와 같은 플라스틱 기판의 문제를 극복하기 위해 높은 공정온도에서도 공정이 가능한 플라스틱 기판의 개발이 연구되고 있으며, 2009년 삼성 모바일 디스플레이에서 Polyimide (PI) 기판 위에 SiO_2 게이트 절연층과 a-IGZO 채널을 이용하여 TFT를 형성한 플렉시블 디스플레이를 제작, 발표하기도 하였지만, 이에 앞서 낮은 공정온도에서도 공정이 가능한 게이트 절연막의 개발이 우선 되어야 할 것이다 [13].

현재 AMOLED의 구동 TFT로 적용하여 On 전류

를 증가시키기 위해, $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}$ (BST), HfO_2 , Y_2O_3 등과 같은 고 유전 상수를 가지는 게이트 절연막에 대한 연구가 이루어지고 있다 [14, 15]. 특히, 현재 보고된 논문들을 보면 상온에서 증착이 가능하고, amorphous 구조에서도 높은 유전 상수를 가지며, On 전류와 SS값을 향상시키는 결과를 보이고 있다. 하지만, 누설전류 레벨이 높고, Hysteresis가 큰 문제들을 보인다. 이를 해결하기 위한 방법으로 본 연구실에서 고 유전상수를 갖는 게이트 절연막 (HfO_2) 양쪽에 Al_2O_3 버퍼레이어를 형성하여 누설전류 레벨을 낮추고, Hysteresis를 줄이는 결과를 보였다. 특히 이 모든 공정이 상온에서 이루어져, 앞으로 공정온도의 제한 없이 플렉시블 기판에 적용이 가능할 것으로 기대된다 [16].



(a)



(b)

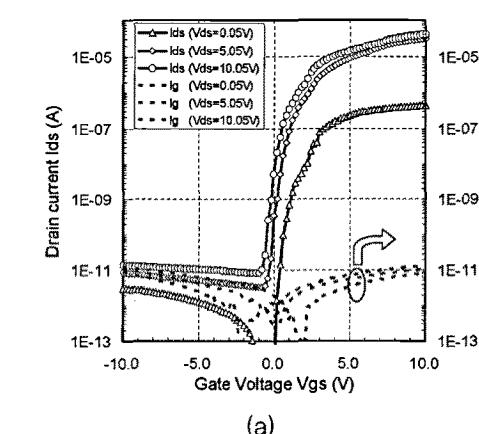
그림 12. HfO_2 게이트 절연막 양쪽에 Al_2O_3 버퍼레이어를 적용한 모식도 (a)와 그 특성 그래프 (b).

5. 디스플레이 모듈 연구 개발 동향

2006년 일본 Kochi 대학과 Casio에서 그림 14에서 보는 것과 같이 높은 On-off 전류비 ($\sim 10^6$)와 전자 이동도 ($50.3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) 낮은 Subthreshold Swing ($0.21 \text{ V}/\text{decade}$)을 가지는 ZnO 채널 층으로 이용하여 220×280 의 해상도를 가지는 $1.46''$ AMLCD 디스플레이를 제작하여, 최초로 산화물 TFT가 디스플레이에 적용되었다 [17].

이후 2007년 LG 디스플레이에서 On-off 전류비 $\sim 10^8$, 전자 이동도 ($124 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) 낮은 Subthreshold Swing ($0.43 \text{ V}/\text{decade}$)을 가지는 a-IGZO 채널 층으로 이용하여 $176[\times 3(\text{RGB})] \times 220$ 의 해상도를 가지는 $3.5''$ QCIF+AMOLED 디스플레이를 제작하였다 [18]. LG 디스플레이에는 그 해 8월에 개최되었던 IMID 학회에서 스테인리스 포일을 기판으로 사용하여 3.5 inch 플렉시블 AMOLED를 발표하였고, 기판이 휘어진 상태에서도 디스플레이 구동이 가능함을 보여주었다.

삼성 SDI는 2008년, on-off 전류비 $\sim 10^9$, 전자 이동도 ($17 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) 낮은 Subthreshold Swing ($0.28 \text{ V}/\text{decade}$)을 가지는 a-IGZO 채널 층으로 이용하여, 12.1 inch WXVGA ($1280 \times \text{RGB} \times 768$)급의 AMOLED 디스플레이를 발표하였다. WXVGA급



(a)



(b)

그림 13. ZnO TFT의 특성 (a)과 이를 이용한 디스플레이 (b).



그림 14. 3.5" QCIF+AMOLED 디스플레이.

디스플레이는 현재 노트북에 사용되는 TFT-LCD 디스플레이와 같은 수준일 뿐만 아니라 뛰어난 디스플레이 특성을 보여주고 있다 [19].

또한 2009년 삼성 모바일 디스플레이에서는 Polyimide (PI) 기판위에 On-off 전류비 $\sim 10^8$, 전자 이동도 ($15 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), Subthreshold Swing (0.25 V/decade)을 가지는 a-IGZO 채널 층으로 이용하여, 6.5 inch WQVGA($160 \times \text{RGB} \times 272$) 해상도를 가지는 플렉시블 AMOLED를 발표하였다. 그림 18에서 와 같이 반경을 약 2 cm까지 휘어도 디스플레이가 동작하는 것을 시연하였다 [15].

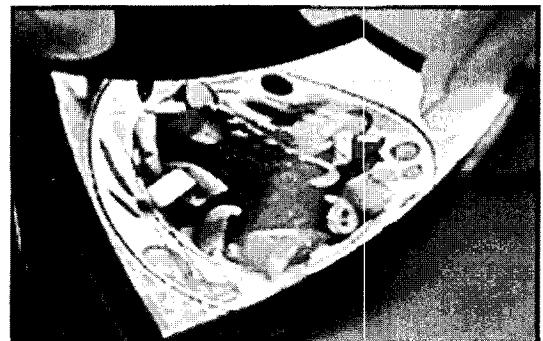


그림 15. 스테인리스 포일을 기판으로 사용한 3.5 inch 플렉시블 AMOLED.

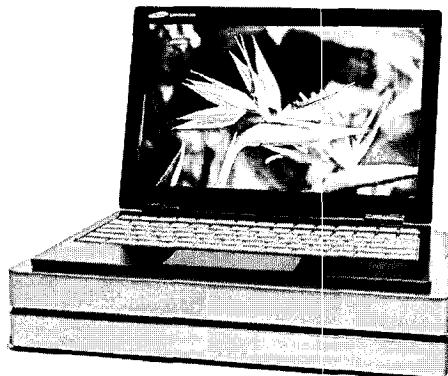


그림 16. 12.1inch WXVGA (1280 \times RGB \times 768)급 AMOLED 디스플레이.

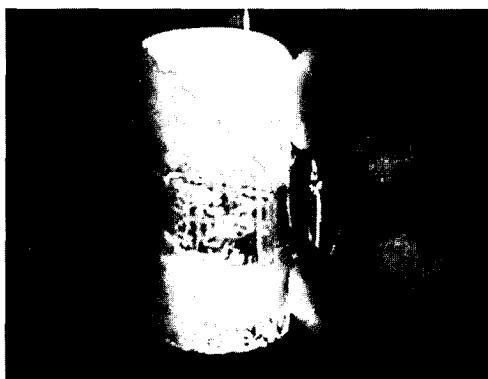


그림 17. PI기판을 이용한 6.5 inch WQVGA (160xRGBx272) 플렉시블 AMOLED 디스플레이.

6. 앞으로의 개발 방향과 이슈

현재까지는 전자이동도, V_{th} , S.S값과 같은 산화물 TFT의 특성의 향상에 집중한 연구들이 이루어져, 차세대 디스플레이의 요구조건에 만족하는 고성능의 소자들을 만들어 냈다. 최근에는 실제 모듈에 적용 시, 그 특성을 유지할 수 있는 신뢰성 확보에 집중한 연구가 이루어지고 있다. 2006년 ZnO TFT의 신뢰성에 대한 연구가 진행되었으며[20], 이 후 ZTO, a-IGZO TFT 등의 신뢰성에 대한 평가들이 꾸준히 진행되고 있다. 현재 발표되는 논문들의 경우, 신뢰성 평가가 포함되지 않으면 출판이 되기 어려울 만큼 신뢰성 평가에 대한 부분이 중요시되고 있다. 그만큼 더 이상의 TFT특성 향상이 필요 없을 만큼 많은 연구들이 진행되어 졌으며, 이제는 신뢰성이 확보된 소재를 이용하여 양산에 적용할 수 있는 소재를 탐색하는 것에 그 초점이 맞추어져 있다고 볼 수 있다. 또한 신뢰성 평가를 바탕으로 V_{th} 변화의 메커니즘을 규명하는데도 많은 연구가 이루어지고 있다.

앞으로 산화물 반도체가 그 뛰어난 특성을 바탕으로 산업에 적용되기 위해서는, 특성의 향상과 신뢰성의 확보뿐만이 아니라, 물리화학적인 방법을 통한 산화물 반도체의 트랩 준위의 분석이나, 전자 이

동, 문턱 전압 변화의 메커니즘과 같은 보다 근본적인 연구들이 이루어져, 새로운 과학의 한 분야로 정립되어야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] R. L. Hoffman, B. J. Norris, J. F. Wager, "ZnO-based transparent thin-film transistors", *Applied Physics Letters*, 82, 733 (2003)
- [2] Satoshi Masuda, Ken Kitamura, Yoshihiro Okumura, Shigehiro Miyatake, "Transparent thin film transistors using ZnO as an active channel layer and their electrical properties", *Journal of Applied Physics*, 93, 1624 (2003)
- [3] P. F. Garcia, R. S. McLean, M. H. Reilly, G. Nunes, Jr, "Transparent ZnO thin-film transistor fabricated by rf magnetron sputtering", *Applied Physics Letters*, 82, 1117 (2003)
- [4] Kenji Nomura, Hiromichi Ohta, Akihiro Takagi, Toshio Kamiya, Masahiro Hirano, Hideo Hosono, "Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors", *Nature*, 432, 488 (2004)
- [5] Jae Won Kim, Hong Seong Kang, Jong Hoon Kim, Sang Yeol Lee, "Variation of structural, electrical, and optical properties of $Zn_{1-x}Mg_xO$ thin films", *Journal of Applied Physics*, 100, 33701 (2006)
- [6] Il-Doo Kim, Mi-Hwa Lim, KyongTae Kang, Ho-Gi Kim, Si-Young Choi, "Room temperature fabricated ZnO thin film transistor using high-K $Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ gate insulator prepared by sputtering", *Applied Physics Letters*, 89, 22905 (2006)
- [7] Hsing-Hung Hsieh, Chung-Chih Wu, Scaling behavior of ZnO transparent thin-film transistors, *Applied Physics Letters*, 89, 41109 (2006)
- [8] V. Assuncao, E. Fortunato, A. Marques, H. A'guas, I. Ferreira, M.E.V. Costa, R. Martins, "Influence of the deposition pressure on the properties of transparent and conductive ZnO:Ga thin-film produced by r.f. sputtering at room temperature", *Thin Solid Films*, 427, 401 (2003)
- [9] Jong Hoon Kim, Byung Du Ahn, Choong Hee Lee, Kyung Ah Jeon, Hong Seong Kang, Sang Yeol Lee, "Characteristics of transparent ZnO based thin

- film transistors with amorphous HfO₂ gate insulators and Ga doped ZnO electrodes", *Thin Solid Films*, 516, 1529 (2008)
- [10] Youichi Ogo, Kenji Nomura, Hiroshi Yanagi, Toshio Kamiya, Masahiro Hirano, Hideo Hosono, "Amorphous Sn-Ga-Zn-O channel thin-film transistors", *Physica Status Solidi a*, 205, 1920 (2008)
- [11] Paul G. Carey, Patrick M. Smith, Steven D. Theiss, Paul Wickboldt, "Polysilicon thin film transistors fabricated on low temperature plastic substrates", *Journal of Vacuum Science Technology A*, 17, 1946 (1999)
- [12] Min Ki Ryu, Shinhuk Yang, Sang-Hee Ko Park, Chi-Sun Hwang, Jae Kyeong Jeong, "High performance thin film transistor with cosputtered amorphous Zn-In-Sn-O channel: Combinatorial approach", *Applied Physics Letters*, 95, 72104 (2009)
- [13] Jin-Seong Park, Tae-Woong Kim, Denis Stryakhilev, Jae-Sup Lee, Sung-Guk An, Yong-Shin Pyo, Dong-Bum Lee, Yeon Gon Mo, Dong-Un Jin, Ho Kyoong Chung, "Flexible full color organic light-emitting diode display on polyimide plastic substrate driven by amorphous indium gallium zinc oxide thin-film transistors", *Applied Physics Letters*, 95, 13503 (2009)
- [14] J. B. Kim, C. Fuentes-Hernandez, B. Kippelen, "High-performance InGaZnO thin-film transistors with high-k amorphous Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ gate insulator", *Applied Physics Letters*, 93, 242111 (2008)
- [15] Young-Je Cho, Ji-Hoon Shin, S.M. Bobade, Young-Bae Kim, Duck-Kyun Choi, "Evaluation of Y₂O₃ gate insulators for a-IGZO thin film transistors", *Thin Solid Films*, 517, 4115 (2009)
- [16] Seongpil Chang, Yong-Won Song, Sanggyu Lee, Sang Yeol Lee, Byeong-Kwon Ju, "Efficient suppression of charge trapping in ZnO-based transparent thin film transistors with novel Al₂O₃/HfO₂/Al₂O₃ structure", *Applied Physics Letters*, 92, 192104 (2008)
- [17] Takashi Hirao, Mamoru Furuta, Hiroshi Furuta, Tokiyoshi Matsuda, Takahiro Hiramatsu, Hitoshi Hokari, Motohiko Yoshida, Hiromitsu Ishii, Masayuki Kakegawa, "Novel top-gate zinc oxide thin-film transistors (ZnO TFTs) for AMLCDs", *Journal of the SID*, 15, 1 (2007)
- [18] Ho-Nyun Lee, Jaewoo Kyung, Myeon-Chang Sung, Do Youl Kim, Sun Kil Kang, Seong-Joong Kim, Chang Nam Kim, Hong-Gyu Kim, Sung-Tae Kim, "Oxide TFT with multilayer gate insulator for backplane of AMOLED device", *Journal of the SID*, 16, 2 (2008)
- [19] Jae Kyeong Jeong, Jong Han Jeong, Hui Won Yang, Tae Kyung Ahn, Minkyu Kim, Kwang Suk Kim, Bon Seog Gu, Hyun-Joong Chung, Jin-Seong Park, Yeon-Gon Mo, Hye Dong Kim, Ho Kyoong Chung, "12.1-in. WXGA AMOLED display driven by InGaZnO thin-film transistors", *Journal of the SID*, 17, 2 (2009)
- [20] R. B. M. Cross, M. M. De Souza, "Investigating the stability of zinc oxide thin film transistors" *Applied Physics Letters*, 89, 263513 (2006)

저자|약력



성명 : 이상렬

◆ 학력

- 1986년 연세대학교 공과대학 전기공학과 공학사
- 1990년 뉴욕주립대학교 Dept. of ECE 공학석사
- 1992년 뉴욕주립대학교 Dept. of ECE 공학박사

◆ 경력

- 1993년 – 1995년 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1995년 – 2007년 연세대학교 전기전자공학과 교수
- 2002년 – 2003년 Los Alamos 초빙연구원
- 2007년 – 현재 한국과학기술연구원 전자재료센터 책임연구원



성명 : 조경철

◆ 학력

- 2009년 단국대학교 전기전자컴퓨터공학과 공학사
- 현재 고려대학교 전자전기공학과 대학원 석사과정

한국과학기술연구원 전자재료센터
석사과정



성명 : 정유진

◆ 학력

- 2004년 한국기술교육대학교 공과대학 금속재료공학과 공학사
- 2007년 인하대학교 대학원 금속재료 공학과 공학석사
- 현재 국제연합대학원 한국과학기술 연구원 나노전자소자공학과 박사과정

◆ 경력

- 2004년 - 2004년 알파디스플레이
- 2004년 - 2005년 한국생산기술연구원
- 2007년 - 2008년 (주)하이닉스반도체
- 현재 한국과학기술연구원 전자재료센터 박사과정



성명 : 전윤수

◆ 학력

- 1994년 Arizona State University, Electrical Engineering 공학학사
- 1995년 Arizona State University, Electrical Engineering 공학석사
- 2007년 University of Washington, Materials Science and Engineering 공학박사

◆ 경력

- 1996년 - 2002년 삼성전자 반도체연구소 책임연구원
- 2010년 - 현재 한국과학기술연구원 전자재료센터 박사후 연구원