



## 디스플레이의 메가트렌드, 산화물(Oxide) TFT 기술

박상희 | 한국전자통신연구원 부품소재연구부 차세대디스플레이단 산화물TFT연구실

### 1. 서론

클라우드 컴퓨팅 시대가 열리고, 또한 전자기기간의 상호 인터랙션이 확대되고 있으며, 초고속 네트워크가 진화해가는 현재에 기기와 사람, 사람과 사람, 그리고 기기기간을 연결해주는 디스플레이는 모든 생활의 중심에 있다고 해도 과언이 아니다. 이러한 디스플레이는 최근에 고해상도화, 대면적화, 그리고 플렉시블디스플레이 및 투명디스플레이와 같은 새로운 가치를 창출할 수 있는 제품의 개발을 기술적 이슈로 안고 있다.

아이폰이 나오기 전만 하더라도 모바일 디스플레이에서의 200 ppi 해상도 구현은 거의 꿈과 같은 기술로 여겨졌으나, 터치기술의 디스플레이에의 접목은 200 ppi 보다도 더 고해상도인 레티나 디스플레이에 만족하지 못하고 최근에는 FHD 스마트폰 (440 ppi 이상)이 가장 일반적인 디스플레이가 될 조짐을 보이고 있을 정도이다. 모바일 기기의 디스플레이가 점점 커지는 것처럼 TV의 경우도 40 인치대를 벗

어나 50인치대의 TV가 일반 가정의 거실을 차지하다가 이제 미국에서는 70 인치 FHD TV가 주요 소비 대상이 되어가고 있고 심지어 수천만원을 호가하는 80인치대의 UHD TV도 점차 시장을 확대해 가고 있다.

이러한 디스플레이를 LCD로 구현하건 OLED로 구현하건 공통적으로 필요로 하는 것이 백플레인 (backplane) 기술이다. 디스플레이는 전기적 신호를 받아 인간 눈으로 인지할 수 있는 광학적 신호를 제공하는 장치인데 디스플레이에서 광학 신호를 내는 소자에게 전기적 신호를 전달하는 것을 백플레인이라고 한다. 현재 양산하고 있는 디스플레이에 사용하는 백플레인으로 LCD 구동에 널리 사용하는 a-Si TFT, OLED 구동과 고해상도 TFT-LCD에 사용하는 저온 폴리-실리콘 (Low Temperature Poly Silicon, LTPS) TFT, 그리고 2012년에 출시된 샤프에서 제작한 “The new iPad”와 LGD에서 2013년에 양산하기 시작한 55” AMOLED TV에 적용된 산화물 TFT가 있다. 디스플레이의 고해상도



그림 1. (왼쪽에서부터) 5” FHD TFT-LCD (LGD), 56” UHD AMOLED (SONY), 85” UHD TFT-LCD (삼성디스플레이), 투명 TFT-LCD (15% 투과도, LGD)

화를 위해서는 박막 트랜지스터 (Thin film transistor, TFT)의 이동도 성능이 향상되어야 하는데 이는, 해상도가 높아질수록 각 스캔라인(gate line)별 축적용량커패시터 충전에 허락된 시간이 짧아지므로 전하의 이동도가 커야하고, 더군다나 고해상도화가 될수록 TFT의 크기(width)가 줄어들므로 채널 저항에 의한 전기 신호처리가 늦어지지 않도록 채널의 이동도가 커져야한다.

표1. 해상도에 따른 scan line on time (240 Hz 구동)

		가로	세로	Scan line on time (us)
스마트 폰	아이폰4s	960	640	6.5
	옵티머스 G 프로	1920	1080	3.9
태블릿	아이패드2	1024	768	5.4
	뉴아이패드	2048	1536	2.7
LCD TV	FHD	1920	1080	3.9
	UD	3840	2160	1.9

그러므로, 고해상도라는 디스플레이의 기술적 방향에 맞추어 기존의 LCD 구동에 사용하던 a-Si TFT 보다 더 전기적 성능이 우수한 TFT가 필요할 뿐만 아니라 대면적화 구현을 위해서는 LTPS TFT 공정보다 단가가 낮고 대면적화 공정이 용이하고 또한 전기적 특성도 우수한 TFT 를 필요로 한다. 두가지의 요구사항을 모두 만족시킬 수 있는 TFT 로 산화물 TFT 가 2004 년부터 주목받고 있으며 지난 8여년간

의 엄청난 연구를 통해 2012 년부터 양산에 적용되기 시작했다. 본 장에서는 이제는 더 이상 거슬릴 수 없는 디스플레이 기술의 메가트렌드가 되어가고 있는 산화물 TFT 기술에 대해서 소개하고자 한다.

## II. 산화물 TFT 기술 개요

### 1. 산화물 반도체 (Metal oxide semiconductor)

산화물 반도체는 금속 cation 과 산소 anion 의 이온결합으로 이루어진 화합물 반도체로서 산화물 반도체의 전도대의 최저점 (conduction band minimum, CBM) 의 주 구성 요소는 주로 산화물반도체를 구성하는 금속들의 s 오비탈 (orbital)들인 반면 가전자대의 최대점 (valence band maximum, VBM) 은 주로 산소의 p 오비탈들로 이루어져있다. 산화물 반도체는 홀 캐리어가 매우 국한되어 있어 주캐리어는 전자로서 n type 인데 산화물 반도체의 전기적 특성을 일차적으로 좌우하는 것은 산소의 빈격자점 (vacancy)과 공정 중에 도핑된 수소이다. 예를 들어, 가장 대표적인 산화물 반도체인 InGaZnO 의 경우 반도체를 구성하는 금속 인듐 (In), 갈륨 (Ga), 아연 (Zn) 중에서 산소와의 결합이 제일 약한 In 이 풍부한 조성의 반도체인 경우 상대적으로 산소 빈격자점 형성이 용이하게 일어나며 이는 반도체내의 캐리어 농도를 증가시키는 요인으로 작용한다. 또한 산화물 반도체 박막 형

표2. 디스플레이용 TFT 특성

	a-Si:H	LTPS	Oxide
Mobility (cm <sup>2</sup> /V.s)	~ 1	~100	~ 100
uniformity	good	poor	△
stability	poor	very good	△
light stability	poor	good	Better than a-Si
TFT type	NMOS (LCD)	NMOS (LCD) PMOS (OLED)	NMOS (LCD,OLED)
mask steps	4~5	5~11	4~5
process temp.	150 ~350°C	250 ~500°C	150 ~350°C
Cost/yield	low/high	high/low	low/?
possible display mode	LCD, e-paper	high resolution LCD OLED	LCD, OLED, e-paper
scalability	Gen. 10	Gen. 5.5~ 8	Gen. 8
merits	high uniformity	high stability	low off current no hot carrier effect



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
	87	88		104	105	106	107	108	109									

그림 2. 산화물반도체에 사용되는 금속 혹은 비금속 종류

성공정 중에 스퍼터 장비내의 수소 혹은 TFT 공정 중에 유입되는 수소는 반도체의 캐리어 농도 증가에 결정적인 역할을 한다. 산화물 반도체는 캐리어 농도가  $10 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  정도까지는 농도가 증가할수록 이동도가 함께 증가하는 특성을 보이는데 이로 인하여 적절한 캐리어의 농도 조절이 산화물 TFT의 특성 확보에 매우 중요하다.

산화물 TFT에 사용하는 산화물 반도체의 구성요소는 [그림 2]에서 보는 바와 같이 매우 다양하며 특히 In, Sn은 s 오비탈의 오버랩이 용이하여 이동도 증가에 많은 영향을 미치는 원소들이다.

산화물 반도체가 비정질 상태에서도 큰 이동도 특성을 보이는 것은 우선 전도대 (conduction band)의 주 구성요소가 금속의 s 오비탈이어서 결합각 (bond angle)의 의존성을 덜 보이기 때문인 것으로 설명한다. 그러나 비정질상태에서 여러 금속 양이온의 s 오비탈로써 전도대의 최저점 (CBM)을 형성할 경우 각 양이온과의 오버랩 정도가 달라질 수 있으며 이는 CBM의 방향변이 (fluctuation)를 야기시키므로 전자의 이동에 제한을 줄 수 있다. CBM 내의 에너지 격막 (barrier)을 넘어 고이동도 특성을 보이기 위해서 산화물 반도체의 캐리어 농도는 타 반도체 대비 더 높아야 하는 것이다. 이러한 현상은 단일 양이온 (single cation)으로 구성된 반도체로써 비정질을 형성하기 위해 멀티 음이온 (multi anion)을 도입한 ZnON 라는 새로운 종류의 산화물 반도체를 도입하게 되었으며 현재 이 물질로 TFT를 형성할 경우 이동도

100  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 을 확보할 수 있다고 알려져 있다.

산화물 TFT를 제작할 때 산화물 반도체 박막의 형성에 다양한 방법이 도입된다. 가장 일반적인 증착법은 스퍼터링법이며 그외에 물리적 레이저 증착법 (pulsed laser deposition, PLD), 원자층 증착 (atomic layer deposition, ALD), 유기금속화학 증착법 (metal organic chemical vapor deposition, MOCVD), 용액형 전구체를 스핀코팅한 후 열처리를 통해 박막을 형성하는 용액공정, 그리고 용액형의 전구체를 미스트 형태로 분사시켜 박막을 형성하는 MIST CVD 법 등을 활용한다. 특히 최근에는 양산에서 사용하는 스퍼터 장비 증착법의 균일도 확보에서의 한계로 인하여 대면적 공정 시, 균일도 확보에 어려움이 많아지면서 다양한 전구체를 활용한 용액공정법이 많이 연구되고 있다. 용액공정으로 제작한 산화물 반도체 박막의 막질을 향상시키기 위해서는 박막내의 잔기 (residue)를 최소화 하고 박막의 밀도를 최대화 하는 것이 가장 중요한데 이를 구현하기 위한 방법으로 수용액 기반의 전구체를 사용하거나 UV 처리 등의 후처리 공법 등을 도입하기도 한다.

## 2. 산화물 TFT 구조

박막 트랜지스터 (Thin film transistor, TFT)는 결정질의 Si 벌크 (bulk)를 반도체로 사용하는 MOSFET 대비 박막 형태의 반도체막을 전자 혹은 홀의 전하가 지나가는 채널로 사용하기 때문에 어떠한 형태의 절연막도 기판으로 사용할

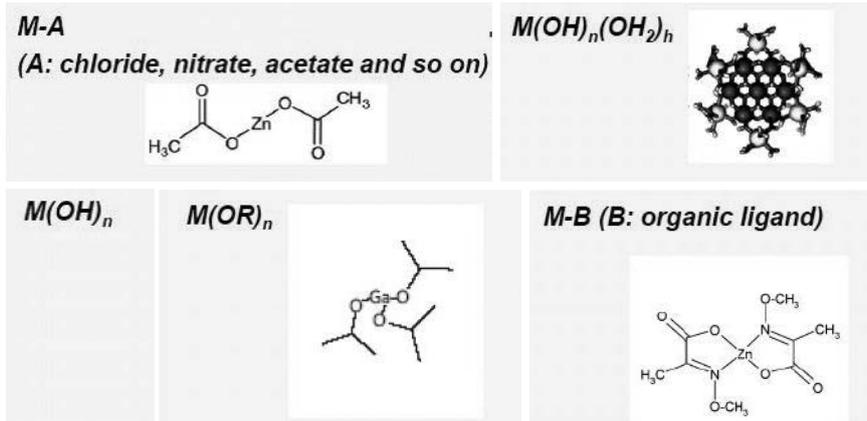


그림 3. 용액공정에 사용되는 금속 전구체의 종류(source: 제6회 산화물 TFT workshop -정선호박사)

수 있는 장점이 있다. 이로 인하여 유리는 물론 플라스틱 기판, 심지어 종이도 TFT의 기판으로 사용이 가능하며 앞서 언급한 것처럼 다양한 증착법을 제작에 이용할 수 있으며 기판의 확장성에 제한이 없다. TFT 구조에서의 가장 큰 기준점은, 반도체막을 중심으로 게이트 전극이 어느 위치에 놓여 있는지에 따라 반도체 아래에 있으면 하부 게이트 (bottom gate) 구조, 그리고 반도체 위에 게이트 전극이 형성되면 상부 게이트 (top gate) 라고 크게 분류한다. 그 외에 채널의 형성 위치와 SD의 배치에 따라 동일 평면상에 있는 경우 코플라나형 (coplanar type) 이라 하고 서로 다른 공간상에 위치할 경우는 스테거드형 (staggered type) 이라고 한다.

산화물 TFT의 구조에 대해 설명하기 앞서 고해상도, 대면적 디스플레이 구현에 필요한 백플레인(backplane)의 요구사항을 먼저 이해하는 것이 필요하다. 앞장에서 고이동도의 TFT가 필요하다는 것을 설명했는데, 고해상도 구현에 있어 가장 중요한 것은 RC 지연을 최소화 하는 것이다. 여기서 R은 배선 전극의 저항을 의미하고 C는 기생축전량을 의미하는 것으로 전기적 신호는 R과 C의 곱의 양만큼 TFT를 지나면서 전압 강하 (potential drop)이 발생하므로 배선 저항은 낮을수록 (Cu 기반의 전극구조) 그리고 TFT에서의 기생축전량은 작을수록 좋다. TFT에서의 기생축전량은 주로 게이트 전극과 SD 전극간의 오버랩 정도에 따라, 그리고 그 사이에 있는 절연막의 정전 용량 (capacitance)에 따라 결정되는 양이므로 전극간의 오버랩을 최소화 하고 게이트 절연막

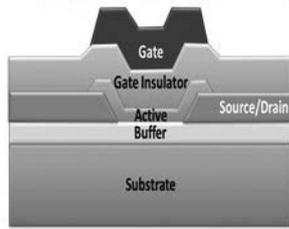
의 cap.은 작게 할수록 좋다. TFT 구조에서 게이트 전극과 SD 전극간의 오버랩을 최소화 할 수 있는 구조로서 자기 정렬 (self-aligned) TFT가 있는데 이는 LTPS TFT의 구조와 유사하다. 최근 고해상도화의 거대 물결을 타고 산화물 TFT도 자기 정합 TFT의 개발이 한창이다.

[그림 4]는 가장 대표적인 산화물 TFT의 구조이다. 기존의 TFT 구조 대비 산화물 TFT가 가지는 독특한 구조는 ESL TFT이다. 이는 S/D 형성 과정에서 산화물 반도체의 후방 활성층 (back channel)이 열화 되는 것을 막기 위해 식각 정지층 (Etch stop layer, ESL)을 반도체상에 한층 더 형성하는 것으로 현재 TV용 FHD 능동형유기발광다이오드 (AMOLED) 제작에 사용되는 구조이다.

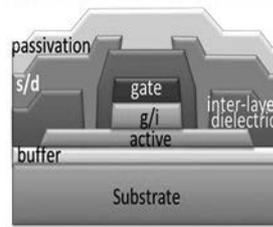
그러나 ESL TFT의 경우는 ESL 패턴 형성으로 인한 마스크 공정이 한번 더 필요할 뿐만 아니라 그림에서도 열른 알 수 있듯이 게이트 전극과 SD 전극간의 오버랩이 제일 큰 구조이다. 그림에도 불구하고 본 산화물 TFT는 우수한 전기적 안정성을 확보할 수 있어 오랜 기간 연구되었던 구조이다. OLED 구동용 산화물 TFT의 경우 기존에 사용중인 LTPS TFT 대비 전기적 특성, 공정의 간단성으로 인한 비용 절감, 그리고 대면적화의 용이성을 만족시킬 경우 경쟁력을 가질 수 있다. 자기정렬 산화물 TFT는 구조는 LTPS TFT와 매우 유사하나 공정 온도가 낮고 레이저결정화, 도핑 (doping)/활성화 (activation) 등의 반도체 공정을 필요로 하지 않을 뿐만 아니라 안정성 확보에 유리한 상부 게이트 구조를 가



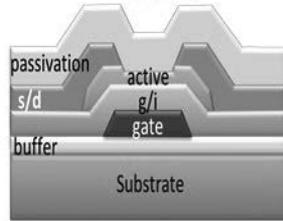
Top gate (staggered)



Top gate (coplanar): self align



Bottom gate (staggered):  
BCE



Bottom gate (staggered):  
Etch stop layer (ESL)

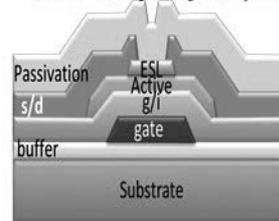


그림 4. 산화물 TFT 구조

지므로 여러모로 LTPS TFT 대비 경쟁력을 가질 수 있다. 다만, 고이동도 산화물 TFT의 경우 SD의 금속화(metalization) 공정이 아직까지 안정화되지 않아 이에 대한 기술적인 검증이 필요한 단계이다.

TFT-LCD용 산화물 TFT는 무엇보다도 a-Si TFT와 동일한 구조(BCE 구조)로써 a-Si TFT 대비 우수한 전기적 특성을 보여주는 것이 필요하다. 이는 기존의 a-Si line을 그대로 활용해서 제작될 뿐만 아니라 RC delay 측면에서도 BCE 구조가 상대적으로 게이트 전극과 소스/드레인 전극간의 겹침으로 인해 발생하는 기생 축전량이 작아서 유리하며 TFT의 사이즈도 작아 집적화에 유리하기 때문이다. 그러나 아직까지 ESL TFT 대비 우수한 특성을 보여주지 못할 뿐만 아니라 SD 패터닝 공정 동안 후방 활성층이 공정에 노출되는데 이때 SD 에천트(etchant)에 견딤으로써 에칭 선택비를 확보하는 것이 매우 중요하다. 대부분의 경우 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 베이스의 에천트로써 선택비를 확보하고는 있으나 신뢰성도 같이 확보하는 것이 매우 중요하다.

### 3. Oxide TFT의 기술 개발 현황

2003년과 2004년 Science와 Nature 지를 통해 보여

진 산화물 TFT의 디스플레이 적용 가능성은 지난 9여년간 디스플레이 개발에 많은 변화를 가져왔다. Si 기반의 기술개발에 초점이 맞추어진 능동 매트릭스 디스플레이는 산화물 TFT 개발로 크게 돌아섰다. 아래 그림은 산화물 TFT로 구동된 디스플레이 개발현황을 보여준다. ETRI가 세계 최초로 개발한 ZnO TFT 구동 AMOLED와 카시오에서 개발한 ZnO TFT 구동 TFT-LCD를 시작으로 하여 이제 AMOLED TV의 양산화 단계까지 왔다.

AM 디스플레이 구현을 위해 Oxide TFT는 TFT 각 구성요소인 전극, 게이트 절연막, 액티브(active), 패시베이션(passivation) 층의 물질과 공정의 최적화뿐만 아니라 전기/광학적 신뢰성 향상을 위한 다양한 연구가 진행되었다. 산화물 TFT의 특성은 이동도, V<sub>th</sub>, 누설 전류(off-current), 점멸비(on/off ratio), 문턱전압 이하에서의 기울기(sub-threshold swing, S.S), 그리고 바이어스/광 안정성(bias/photo stability) 등으로 규정된다. 이들의 특성은 TFT를 구성하는 각 박막들에 의해서 총체적으로 결정되므로 산화물 TFT의 특성 확보를 위해서는 우수한 특성의 게이트 절연막, 결함이 적은 산화물 반도체, 반도체와 절연막간의 점점(interface)에 전하(charge)가 트랩될 수 있는 결함이 없도

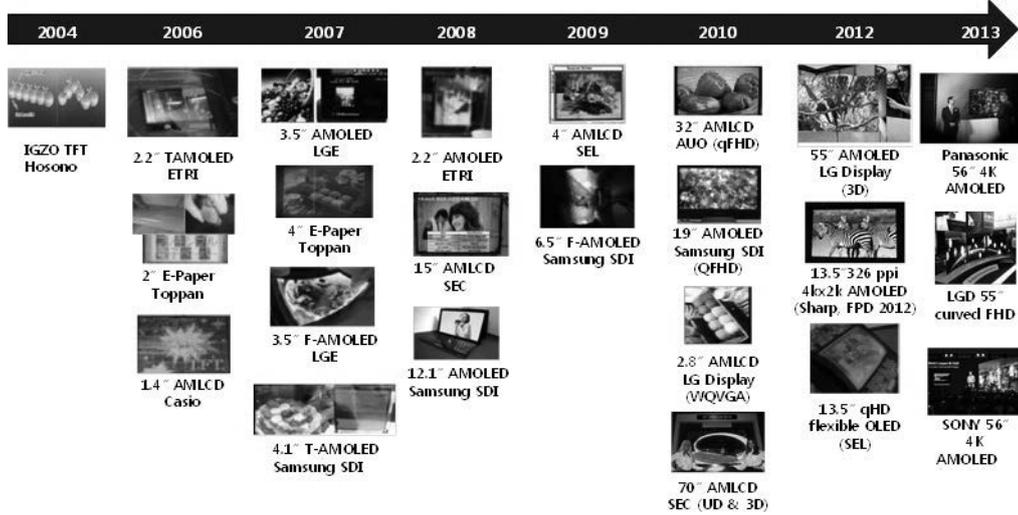


그림 5. 산화물 TFT 로 구동된 AM 디스플레이 발전현황

록 잘 형성하고, 소스/드레인 전극의 적절한 선택과 배리어 특성이 우수한 패시베이션 막의 확보가 중요하다. 동시에 반도체박막 형성 전후의 공정에 의한 산화물 반도체의 전기적 특성의 조절이 중요하며 또한 적절한 열처리 공정으로 비정질 이온결합성 반도체 박막의 막질을 향상 시켜야 한다.

산화물 TFT 는 액티브와의 인터페이스를 SiO<sub>2</sub> 로 형성해야 안정적인 소자특성을 확보할 수 있다고 많이 알려졌다. 그

러나 산화물 TFT용 SiO<sub>2</sub>의 증착 속도가 낮을 뿐만 아니라 절연막의 cap. 도 많이 낮아 통상적으로는 SiN<sub>x</sub>/SiO<sub>2</sub> 이중 구조의 절연막을 형성한다. 이때 게이트 절연막은 박막내의 수소 함유량을 최소화하는 것이 TFT 의 V<sub>th</sub> 특성에 중요하며 또한 산화물 TFT가 가지고 있는 광학적 불안정성을 최소로 하는데 좋다고 알려졌다. 또한 인터페이스 형성 시 게이트 절연막의 화학양론 (stoichiometry)도 바이어스 안정성을 개선할 수 있으므로 SiO<sub>2</sub> 증착 시 사용되는 SiH<sub>4</sub> 와 N<sub>2</sub>O

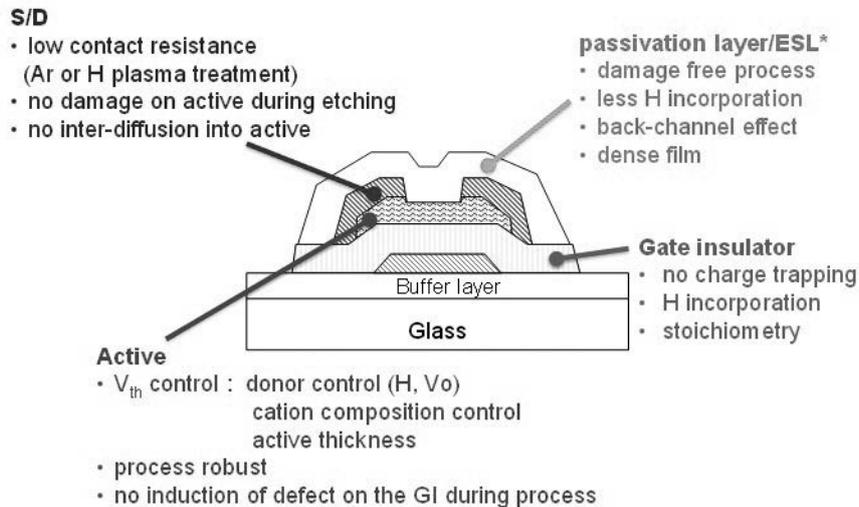


그림 6. 산화물 TFT 개발에서의 주요 이슈



가스의 양 조정, 그리고 플라즈마 파워의 최적화가 중요하다. 뿐만 아니라 접점에서의 전하 트래핑 (charge trapping)은 바이어스 스트레스하에서  $V_{th}$ 가 양수 값의 방향으로 계속 이동하는 심각한 현상을 보여주므로 게이트 절연막의 고품질을 확보하는 것은 TFT에서 제일 중요한 공정이라고 해도 과언이 아니다. 연구 수준에서는 ALD를 이용하여 증착한 알루미늄 박막을 많이 사용하고 있으며 특히 ALD 법은 상부 게이트 TFT 구현 때에는 채널에 아무런 손상을 가하지 않고 게이트 절연막을 형성할 수 있기 때문에 아주 우수한 전기적 안정성 특성을 보여준다. 최근에는 용액공정을 이용한 절연막을 이용하여 고이동도 산화물 TFT를 구현하고 있으나 아직은 안정성 측면에서 증명된 것은 거의 없는 실정이다.

산화물 TFT에서 반도체는 주로 신규 물질의 탐색과 공정의 최적화가 많이 연구되었다. 앞서 언급한 것처럼 InGaZnO라 하더라도 조성에 따라 수없이 다양한 반도체를 형성할 수 있다. InGaZnO 이외에도 고이동도 반도체 후보로서 InGaO, InSnZnO 및 인듐 (In)이 풍부한 InGaZnO, InZnO 그리고 ZnON 등이 연구되었다. 산화물 반도체의 광학적 불안정성이 밴드갭 내에 존재하는 산소 빈자리 (oxygen vacancy)에서 기인하는 것이 알려진 후 산소결핍을 억제하기 위해 다양한 도판트들이 IZO 기반의 산화물 반도체에 도입되었다. 산소와의 결합이 강한 티타늄 (Ti), 탄탈럼 (Ta), hafnium (Hf), 지르코늄 (Zr) 등이 첨가된 IXZO 반도체등이 개발되었으나 이들 물질의 경우 carrier 양을 줄이기는 하나 실제 산소의 결핍을 효과적으로 막지는 못했다. 왜냐하면 이러한 도판트의 IZO에의 용해도 (solubility)가 그리 좋지 않

기 때문이다. Hf 혹은 Zr이 10 원자 (atomic) % 이내로 도입된 InHfZnO 혹은 InZrZnO 도 삼성디스플레이에서 매우 공격적으로 연구되었으나 광학적 안정성은 유사한 이동도를 갖는 조건에서, 서로 유사한 양으로 알로이 (alloy)를 형성하는 InGaZnO (1:1:1) 대비 좋지 않았다. 그 외 산화물 반도체 공정에서 제일 중요한 요소는 산소분압비의 최적화이다. 스퍼터링으로 박막을 증착시 산소분압을 높여서 제작 후 열처리를 하면 여러 전기적 특성이 우수해지나 바이어스 스트레스 안전성 특성은 나빠진다. 이것은 대부분 높은 산소분압에서는 음이온 손상에 의한 절연막 계면에서의 트랩 형성을 주요 원인으로 보고 있다. 그러므로 액티브 증착 시 인터페이스에 트랩 형성을 최소화 하는 공정의 도입이 필요하다.

반도체 박막은 반도체 내의 도너 (donor) (산소결함, H)의 조정, 양이온의 조성비 (예: In/Ga 비), 그리고 반도체막의 두께에 영향을 받는  $V_{th}$ 의 조절이 무엇보다 중요하다. 또한 고해상도 디스플레이를 제작하기 위해  $30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  이상의 이동도를 얻기 위해서는 신규 조성의 반도체 확보가 필요한 실정이다. 에트리 (ETRI)와 소니 (Sony)에서는 각각 전기적 안정성이 높으면서도 이동도가  $20 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  이상을 보이는 ZITO TFT를 발표하였고 에트리에서는 알루미늄 (Al)이 도핑된 신규 고이동도 물질을 이용한 TFT를 개발하였다.

최근에 산화물 반도체 소재에서 가장 주목 받는 기술은 SEL에서 발표한 CAAC(C axis aligned crystal)결정 구조로서 이는 InGaZnO에서  $\text{In}_2\text{O}_3$ 를 C축으로 결정화하여 박막내의 결함을 최소화함으로써 전기적/광학적 특성을 향상

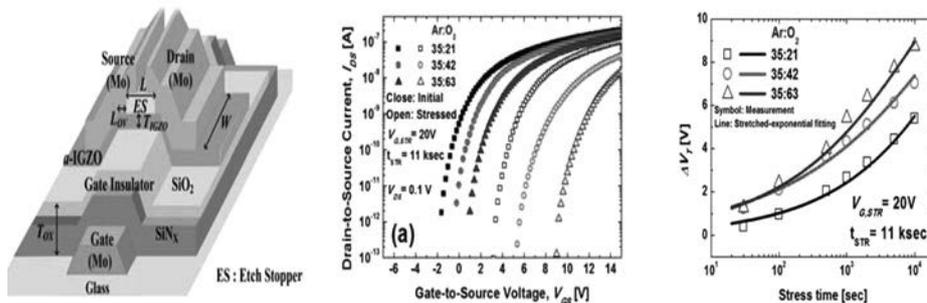


그림 7. 스퍼터링 공정에서 산소 분압이 바이어스 스트레스 안정성에 미치는 영향

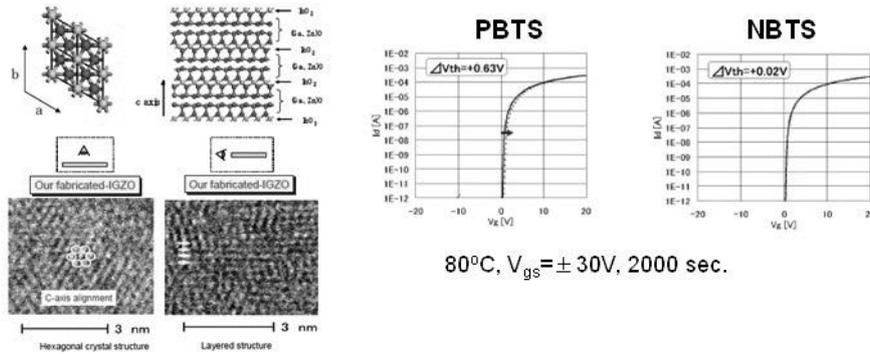
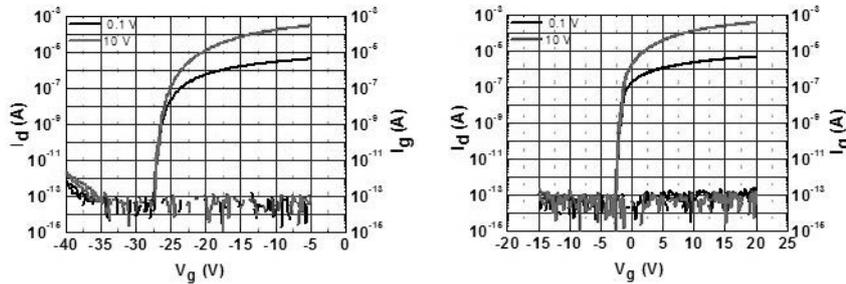


그림 8. CAAC 박막 특성 및 이를 이용한 oxide TFT 특성



Process pressure	$\mu_{FE}$	Von	S.S.
Single active	28.7	-27	0.19
Double layered	33.6	-2.5	0.15

그림 9. 반도체박막의 이중구조를 이용한 산화물 TFT 특성

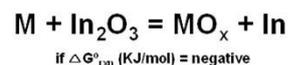
시키고 특별히 BCE 구조로 소자를 제작하여도 매우 안정한 소자특성을 보여준다. 샤프에서 양산하는 산화물 TFT 는 이 박막을 이용하여 제작하는 것이다. 그러나 CAAC 필름을 어떻게 형성하는지는 아직도 베일에 싸여있다.

그 외에 산화물 반도체 관련 최근 연구로서 고이동도 확보를 위한 이중구조의 반도체 도입이 있다.

반도체에 별도의 도핑층의 삽입이나 도핑 공정 없이 직접 소스/드레인과 접촉하게 되는 산화물 TFT 의 경우 금속과 반도체의 band-offset 이 큰 경우에는 접촉 저항을 유발한다. 반도체와 금속의 접합이 저항성분을 가지게 될 경우는 TFT의 이동도의 감소를 유발하고 Vds 값이 작은 영역에서 출력 곡선 (output curve)에서의 왜곡도 야기시킨다. 이러한 접촉 저항은 짧은 채널 (short channel)에서 더욱 두드러지게 된다.

$$\mu_{FE} \approx m_0 \frac{L}{L + \mu_o W C_{i, sd} (V_{gs} - V_{th})}$$

전극의 선택은 대면적에서 소자 특성의 균일도에도 영향을 미치게 되는데, 소니는 Ti가 반도체와 접촉하는 경우에 비해 Mo 로 접촉하는 경우 TFT의 균일도가 더 좋다고 보고한 바 있다. 이는 아래에서 보는 것처럼 반도체와 접촉하는 금속이 반도체내의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 산소와의 반응으로부터 산화물을 형성하고 이렇게 형성된 전극금속산화물 박막분포는 패널내의 Vth 균일도에 영향을 준다.



디스플레이의 대형화와 고해상도는 백플레인 전극의 저저



항 특성을 요구하고 이는 산화물 TFT 에서도 Cu 기반의 전극을 필요로 한다. Cu 전극의 개발은 S/D 전극 형성 이후의 패시베이션 공정과도 관련이 있는데 나중에 기술될 패시베이션 공정 시 SiO<sub>2</sub> 를 증착할 경우 산화 분위기에 Cu 가 노출이 되며 이는 Cu 의 산화를 야기시키므로 저온 증착의 SiO<sub>2</sub> 를 사용해야 하며 이 경우 배리어 특성은 열화될 수밖에 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ALD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 PECVD SiN<sub>x</sub> 이중구조가 제안되었다.

산화물 반도체는 공기중의 O<sub>2</sub>의 흡착/탈착에 의해서, 또한 수분에서 공급되는 H 에 따라서도 전기적 특성이 달라진다. 이는 바이어스 스트레스 중에는 더 악화되는 현상이므로 산화물 TFT 의 패시베이션막의 특성이 매우 좋아야 하는데 통상적으로 고온에서 증착하는 절연막이 저온에서 증착하는 것에 비해 배리어 특성이 더 우수하다. 또한 SiO<sub>2</sub> 보다는 SiN<sub>x</sub> 의 배리어 특성이 더 우수하다. 그럼에도 불구하고 SiN<sub>x</sub>을 배리어막의 첫번째 층으로 사용하지 못하는 것은 PECVD로 SiN<sub>x</sub> 를 증착하는 과정에서 주입되는 수소에 의해 산화물 반도체의 전기적 특성 조절이 불가하기 때문이다 그러므로 패시베이션막을 형성할 때는 첫번째 층은 수소 주입이 적은 것으로, 그리고 두번째 층으로 배리어 특성이 좋은 막의 이중 구조로 형성하는 것이 바람직하며 ALD 를 이용한 배리어막이 매우 유용하다.

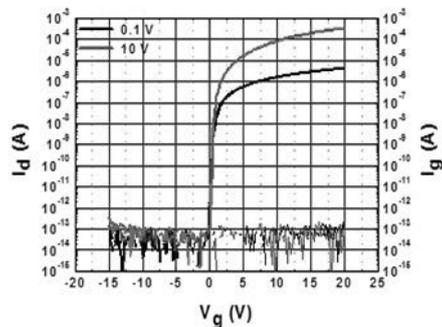
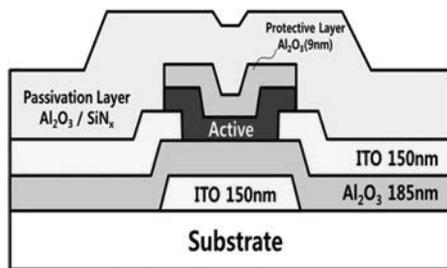
AM 디스플레이 패널의 백플레인 소자로서 산화물 TFT를 안정적으로 적용하고, 해당 기술로 제품을 양산하기 위해서는 디스플레이 모드에 따라 다음의 요구 사양이 반드시 검토

되어야 한다. AMOLED 의 경우는 게이트 전압 바이어스 스트레스 상황에서의 문턱전압 안정성이다. 이 특성은 주로 게이트 전압 온도 스트레스 (BTS)라고 불리며, 주로 양의 게이트 전압 바이어스 스트레스 (positive bias stress) 상황에서 60°C, 100,000 시간의 안정성 목표값을 만족해야 할 필요가 있다. 또한, OLED가 발광되는 상황 또는 외광이 지속적으로 유입되는 상황에서 일정한 전류를 흘리고 있는 TFT 의 on 상태의 동작 안정성이다. 이 특성은 정전류 광바이어스 스트레스 하에서의 안정성 (CCS)라고 불리며, 다양한 바이어스 상태 및 조광 조건에 따른 산화물 TFT 의 CCS 동작 안정성 및 특성 변동 기구에 대한 연구 결과가 발표되고 있다.

미미한 V<sub>th</sub> 변화에도 패널의 휘도 변화가 커서 TFT 의 신뢰성이 매우 좋아야 하는 AMOLED 에 비해 TFT-LCD 는 상대적으로 V<sub>th</sub> 변화량의 수용폭이 큰 편이다. 그럼에도 불구하고 산화물 TFT의 TFT-LCD 적용이 용이하지만은 않은 것은 음의 게이트 전압 바이어스 스트레스 (negative bias stress) 하에서 광을 조사하였을 경우 V<sub>th</sub> 변화량 때문이다. 이는 산화물 TFT 가 이 조건하에서 V<sub>th</sub> 변화량이 제일 크기 때문이다. CAAC TFT 가 가장 주목 받는 큰 이유이기도 하다.

### III. 맺음말

산화물 TFT는 소재, 소자 구조, 공정 최적화 및 안정성 확보를 위한 원인 확보 등의 다양한 연구를 통하여 단기간 내에 양산이 가능한 소자가 되었다. 그럼에도 불구하고 기존의



이동도 : 27.7 cm<sup>2</sup>/Vs

그림 10. ALD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PECVD SiN<sub>x</sub> 이중구조로 패시베이션한 산화물 TFT 특성

a-Si TFT 혹은 LTPS TFT 대비 경쟁력을 갖기 위하여 균일도 이슈, 신뢰성의 개선, 그리고 이동도  $50\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  이상의 고이동도 소자 확보 등의 숙제를 안고 있다. 최근 이러한 숙제를 풀기 위한 다양한 연구결과들이 발표되고 있으며 산화물 TFT의 TFT-LCD 그리고 AMOLED에의 적용은 디스플레이 분야에서 새로운 기회를 제공할 것으로 여겨진다. 산화물 TFT 백플레인의 성공은 산화물 반도체 재료의 이해와 산화물 TFT 특성의 보완이 가능한 새로운 기능의 재료 개발에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 예를 들어 음의 게이트

전압 바이어스 하에서 광을 조사 시  $V_{th}$ 가 음의 방향으로 이동하는 것은 본질적인 문제이며 특히 고이동도의 경우 그 정도는 더 클 것이다. 그러므로 근본적으로 빛을 차단할 수 있는 재료의 개발 등이 필요하다. 또한 용액공정을 통한 산화물 TFT의 성능 향상을 위한 재료의 개발 역시 궁극적으로 프린팅으로 저가의 산화물 TFT 일렉트로닉스를 개발하는데 반드시 필요한 기술이다. 이에 화학기반의 견고한 연구는 산화물 TFT의 응용범위 확대에 크게 기여할 것으로 기대된다. 

#### 참고문헌

1. T. Kamiya, K. Nomura, M. Hirano, and H. Hosono, *Phys. Status Solid c*, 5, 3098 (2008)
2. Kamiya T, Nomura K and Hosono H. *Phys. Status Solidi a*, 206, 860 (2009)
3. Kamiya T and Hosono H *NPG Asia Mater.* 2 1522 (2010)
4. Kamiya T, Nomura K and Hosono H. *Disp. Technol.*, 5, 462 (2009)
5. Suresh A and Mutha J. F. *Appl. Phys. Lett.* 92, 033502 (2008)
6. D.-H. Cho, S. Yang, C. Byun, J. Shin, M. K. Ryu, S.-H. K. Park, C.-S. Hwang, S. M. Chung, W.-S. Cheong, S. M. Yoon, and H.-Yo. Chu, *Appl. Phys. Lett.* 93, 142111 (2008)
7. S.-H. K. Park, C.-S. Hwang, M. Ryu, S. Yang, C. Byun, J. Shin, J.-I. Lee, K. Lee, M. S. Oh, and S. Im, *Adv. Mater.*, 21, 678 (2009)
8. J.-H. Shin, J.-S. Lee, C.-S. Hwang, S.-H. K. Park, W.-S. Cheong, M. Ryu, C.-W. Byun, J.-I. Lee and H. Y. Chu, *ETRI Journal*, 31, 62 (2009)
9. J. Lee, J.-S. Park, Y. S. Pyo, D. B. Lee, E. H. Kim, D. Stryakhilev, T. W. Kim, D. U. Jin, and Y.-G. Mo, *Appl. Phys. Lett.* 95, 123502 (2009)
10. S.-H. K. Park, D.-H. Cho, C.-S. Hwang, M. Ryu, S. Yang, C. Byun, S. M. Yoon, W.-S. Cheong, and K. I. Cho, *IMID Digest*, 385 (2009)
11. M. K. Ryu, S. Yang, S.-H. K. Park, C.-S. Hwang, and J. K. Jeong, *Appl. Phys. Lett.* 95, 173508 (2009)
12. E. Fukumoto, T. Arai, N. Morosawa, K. Tokunaga, Y. Terai, T. Fujimori and T. Sasaoka, *IDW '10*, 631 (2010)
13. T. Arai, N. Morosawa, K. Tokunaga, Y. Terai, E. Fukumoto, T. Fujimori, T. Nakayama, T. Yamaguchi and T. Sasaoka, *SID 10 DIGEST*. 1033 (2010)
14. P. S. Yun, M. Naito, R. Kumagai, Y. Sutou and J. Koike, *SID 11 DIGEST*. 1177 (2011)
15. R. Hayashi, A. Sato, M. Ofuji, K. Abe, H. Yabuta, M. Sano, and H. Kumomi, *SID 08 DIGEST*. 621 (2008)
16. N. Morosawa, Y. Ohshima, M. Morooka, T. Arai and T. Sasaoka, *SID 11 DIGEST*, 479 (2011)
17. T. Kamiya, K. Nomura, and H. Hosono, *Sci. Technol. Adv. Mater.* 11, 044305 (2010)
18. B. Ryu, H.-K. Noh, E.-A. Choi, and K. J. Chang, *Appl. Phys. Lett.* 97, 022108 (2010)
19. M. Tsubuku, R. Watanabe, N. Ishihara, H. Kishida, M. Takahashi, S. Yamazaki, Y. Kanzaki, H. Matsukizono, S. Mori, T. Matsuo, *SID 2013 DIGEST*. 166 (2013)