

투명전도성 산화물반도체 소재기술 동향

글 _ 조우석
한국세라믹기술원

1. 서론

LCD, OLED 등 모든 평판디스플레이 디바이스에는 반드시 투명전도성 재료(투명전극)가 내재되어 있다. 어떤 정보를 빛으로 디바이스를 투과시켜 인간의 눈에 도달시키기 위해서는 빛을 투과하고 동시에 신호를 전달하는 기능을 갖는 박막이 필수불가결하다. 이러한 투명전도성 재료는 디스플레이뿐만 아니라 태양전지, 광학센서, 기능성 건축유리 등에도 필요하다. 즉, 빛을 응용한 디바이스에는 투명전극이 반드시 필요한 것이다. 일반적으로 이러한 투명전도성 재료에 요구되는 특성은 다음과 같다.

- 1) 가시광의 투과율이 높을 것.
- 2) 신호의 고속전달이 가능하도록 저항치가 낮은 전극일 것.
- 3) Patterning 이 용이할 것.
- 4) 주변재료와 Matching (Ohmic Contact, 내구성 등)이 양호할 것.
- 5) 대면적 형성시 막질이 균일할 것

투명전도성 재료라는 것은 문자 그대로 투명하면서 전도성의 성질을 갖는 재료를 말하지만 실제로는 이를 만족시키는 재료는 많지 않다. 일반적으로 재료가 투명하다는 것은 가시광선을 투과시킨다는 것이며, 물리적으로는 Energy Gap이 크다는(약 3eV 이상)것을 의미한다. 한편 도전성이 있다는 것은 그 재료가 갖고 있는 전도전자가

많고(약 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 이상), 이동경로가 확보되어 있는 것을 의미한다. 그러나 Energy Gap이 크다는 의미는 전도전자가 적다는 것과 유사하므로 투명전도성 재료라는 것은 모순된 두 가지 특성, 즉 투명성과 전도성을 모두 갖는 특수한 재료라고 말할 수 있다.

역사적으로는 Au, Ag 등의 금속재료를 두께 100 Å 정도의 얇은 막으로 제작하여 어느 정도 가시광이 투과하는 특성을 얻었다. 그러나 이러한 금속박막은 빛의 흡수가 크고 막질이 불안정한 본질적인 문제가 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 출발한 것은 20세기 후반이었다. 초기의 연구자들은 다음과 같은 기본적인 개념을 갖고 재료 탐색을 행하였다고 생각된다.

- Energy Gap이 크기 위해서는 물질 중에 이온결합성이 클 것. 즉, 산화물과 할로겐화물이 유망.
- 전도성은 이상적인 결정에 대하여 의도적으로 결함에 의해 생성된 전도전자를 이용할 것.

다양한 산화물 반도체를 검토하던 중 Indium Tin Oxide(ITO)가 투명전극으로 사용되기에 가장 적합한 재료라는 사실을 발견하였다. 다양한 산화물반도체 투명전극 재료 중에서 ITO는 다른 재료에 비해 전도성, 투과율, 에칭성 등 디바이스에 요구되는 여러 물성들의 종합적인 측면에서 우수하여 일찍부터 디바이스에 채용되어 왔으며, LCD에 사용되는 투명전극 재료는 대부분 ITO라고 말해도 과언이 아니다. 디바이스의 응용을 위해 ITO 박막의 다양한 성막법이 연구되었는데, 공업적으로는 마그네트론 Sputtering 장치를 이용한 성막법이 전도성, 투



Fig. 1. ITO 타겟의 제조과정

광성뿐 만 아니라 양산성을 고려해 가장 널리 사용되고 있다. (Table 1)

본고에서는 Sputtering 성막법을 이용한 ITO전도성 박막에 필수적인 Sputtering target 및 그 세라믹 소재 기술에 대하여 서술하고자 한다. 현재 기술현황, 문제점, 그리고 최근 대체기술로 대두되고 있는 신규 투명전도성 재료기술에 대하여 논하고자 한다.

2. ITO타겟 및 대체소재 기술현황

2.1 ITO타겟 기술현황

Table 1. ITO 박막의 성막법 및 물성사례

제법	원재료	SnO ₂ 함량	비저항(Ω cm)	투과율(%)	문헌
진공증착	In ₂ O ₃ , SnO ₂	5%	2×10 ⁻⁴	80 ~ 90	[1]
CVD	In/Sn 유기착체	8%	4×10 ⁻⁴	> 80	[2]
Spray coating	InCl ₃ , SnCl ₄	2%	2×10 ⁻⁴	85 ~ 90	[3]
Ion Plating	In, Sn	18%	7×10 ⁻⁵	90	[4]
마그네트론 스퍼터링	In ₂ O ₃ , SnO ₂	10%	7×10 ⁻⁵	90	[5]

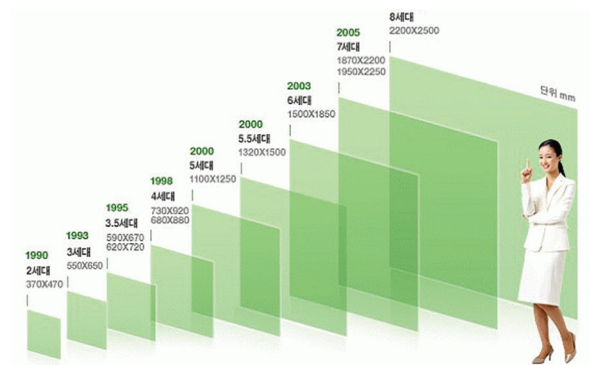


Fig. 2. LCD 기판 유리의 대형화

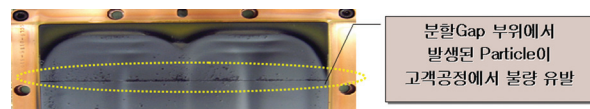


Fig. 3. 분할Gap 부위에서 발생된 Nodule

국내 산화물반도체 투명전극용 타겟의 주요 생산업체로는 세계 1위인 삼성코닝어드밴스드 글라스(구 삼성코닝, SCG)을 필두로 희성금속과 나노신소재의 3사로 구성되어 있으며, 해외에는 일본의 Nikko와 Mitsui, Ulvac, 그리고 벨기에의 다국적 기업인 유미코아이며 기타 중국의 업체들이 자국의 디스플레이 업체의 힘을 얻어서 서서히 발전하고 있다. 대부분 제조업체들은 세라믹공정 및 후가공 공정을 통하여 ITO 스퍼터링 타겟을 제조하고 있다. (Fig. 1)

일반적으로 ITO는 구성성분이 고온에서 승화하기 쉬워 소결에 의한 밀도 향상이 곤란한 재료로 널리 알려져 있으며, 스퍼터링시 노출이 발생하여 Particle 불량을 일으키는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 수단으로 소결체 밀도를 올리거나 SnO₂를 균일하게 분산하는 방법들이 알려져 있다. 타겟 업체들은 이러한

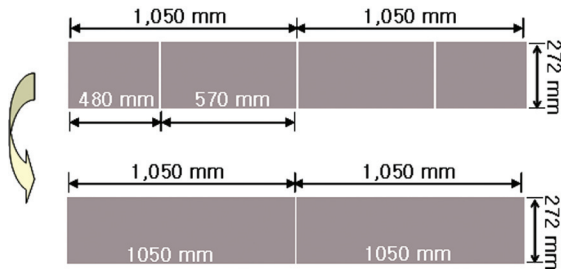


Fig. 4. TFT-LCD 7세대 타겟 대형화

수단들을 통해 현재 상대밀도가 99.5%이상인 고밀도 타겟을 상용화하였다. 또한, 가공 공정의 개선을 통해 타겟 표면을 개선한 고품질 타겟의 상용화가 이루어진 상황이다. 최근에는 분할 면 감소를 통한 대형사이즈 타겟 개발을 활발히 진행하고 있는 실정이다.

디스플레이의 기관사이즈가 대형화함에 따라, 투명전극용 스퍼터링 타겟의 대형화가 필수적이다. (Fig. 2) 대형 기관사이즈에 대응하기 위해 1 piece의 소결체 몇 장을 backing-plate에 접합시켜 분할형 타겟을 만들고 있다. 이러한 분할부는 nodule이나 particle을 발생하는 원인이 되므로, 타겟의 분할면을 감소시켜 궁극적으로는 1 piece의 타겟을 만들려고 하고 있다. (Fig. 3) 연구 결과에 따르면 분할면의 감소에 의해 성막 중 Particle 불량이 10% 정도 감소된다는 결과가 있다. 이로 인해 ITO 타겟 업체는 대형 타겟을 시도하려 경쟁하고 있는 상황이다. 타겟의 대형화를 통한 분할면을 감소시키는 방안으로 우선 성형단계에서 Press(CP/CIP)를 적용하는 방식과 slip casting 을 적용하는 방식으로 대별된다. SCG, Nikko 등의 대부분의 타겟 제조업체는 Press 방식에 의해 성형하고 있으며, 경우에 따라서는 고가의 신장비를 도입하여야 하고, 설비 설치에 필요한 시간이 소요된다. 그러나 Mitsui를 중심으로 진행하고 있는 Slip casting 방식은 간단한 석고 Mold만 준비하면 제작할 수 있으므로 대응이 신속하다 할 수 있다. 그러나 앞서서도 언급한 것처럼 건조 중 Crack 불량률이 급격히 상승하는 결과를 초래하며, 공정 제조시간의 증가와 인건비 상승이라는 또 다른 문제가 발생하기도 한다.

다음은 대형화에 따른 소성공정의 중요성이 대두된다.

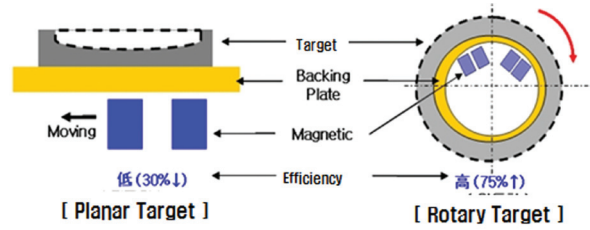


Fig. 5. 평판형 타겟 및 원통형 타겟 구성 및 효율성 비교

두 가지 커다란 문제가 발생된다. 첫째는 소결수축에 의한 Crack 불량률의 급증이다. 현재 ITO 타겟의 소성 시 발생하는 수축률은 20%정도인 것으로 알려져 있다. 수축 시 발생하는 응력에 의해 탈바인더 후 소결이전 중간단계에서 Crack 불량률이 급증한다. 둘째는 소성로 내의 온도 편차를 들 수 있다. TFT-LCD의 경우 1 piece 대형 타겟의 길이는 1050 mm이며 성형체 단계에서는 1300 mm에 육박하고 있다. (Fig. 4) 양산로의 경우 온도 산포로 인해 발열체에 가까운 곳에서는 소결이 시작되지만 반대의 경우 아직 소결이 진행되지 않는 상황이 발생된다. 이러한 경우 두 영역 사이에 응력이 발생하게 되며 이는 소결 Crack으로 이어질 수 있다. 본딩 공정에서 타겟의 대형화에 따른 이중 접합시 더 큰 응력이 발생하게 되고 본딩 Crack이 급증하는 결과가 발생된다. 실제로 ITO 타겟 제조업체에서는 대형화에 따른 생산성 저하로 기술적인 문제점을 안고 성막업체를 대응하고 있다. 최근 경쟁의 심화에 따른 가격하락의 상황에서 이러한 불량률의 증가가 원가 상승의 요인이 되고 있다. 따라서 대형 타겟 생산의 안정화로 사업 경쟁력을 확보하고자 타겟 제조업체들은 경쟁적으로 기술 개발에 전념하고 있다.

일반적으로 ITO 타겟은 노출(Nodule) 문제로 인해 사용 효율이 30% 정도로 미비한 것이 가장 큰 문제로 대두되고 있어, 최근에는 이 문제의 해결을 위해 회전이 가능한 원통형상의 이형 타겟을 생산하기 시작하였다. 이 부분의 선도업체는 유미코아이였지만, 이제는 거의 모든 업



Fig. 6. 12분할 원통형 타겟

체들이 제조기술을 확보하여 본격적인 경쟁체제에 돌입하였다. TFT 제조라인 보다는 컬러필터 제조라인을 중심으로 특히 8세대 이후의 제조라인을 주축으로 확대해 나가고 있으며, 세계 시장(연간 약 1조원 규모)의 약 10% 정도를 원통형 타겟이 점유하고 있다. (Fig. 5) 또한 시장의 경쟁률 심화에 따라 원통형 타겟에서도 노출 발생을 더욱 더 억제하기 위해 분할 수를 줄이는 대형 원통형 타겟에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있는 상태이다.

원통형 타겟은 75% 이상 높은 사용효율(vs 평판형: 30%)과 제조라인의 타겟 교체 시간을 감소시켜 생산성 향상 및 추가라인 증축 없이 생산성을 10%~50% 수준으로 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 현재 SCG를 포함한 국내 및 외국 경쟁 제조업체들은 30cm이하의 12분할 타겟으로 원통형 타겟을 공급하고 있으나 분할경계면에서의 노출(nodule) 발생에 따른 Particle 불량은 아직 기술적 문제로 남아있다. (Fig. 6) 따라서 직경 23 cm & 길이 120 cm(성형체 사이즈) 이상의 대형 원통형 타겟 제조기술은 공정불량 감소 및 향후 타겟 제조기술을 선도할 수 있는 핵심 차별화기술로 평가된다.

ITO 타겟은 일반적으로 In_2O_3 분말(90 wt%)과 SnO_2 분말(10 wt%)을 출발원료로 하는 전통적인 세라믹 프로세스에 의해 제조된다. 이때 사용되는 원료분말의 1차 입자 size는 수십 nm이다. 나노분말의 사용목적은 소결성을 촉진시키기 위한 것이다. 원료분말을 혼합하고 Beads Mill에서 지르코니아 Beads를 사용하여 분산/분쇄시킨다. 얻어진 혼합 슬러리는 Spray Dryer에서 과립의 형상으로 건조된다. 과립은 CP의 Hoper로 옮겨져 성형되고, CIP를 통해 성형체내의 압력분포를 균일하게 해준다. 얻어진 성형체는 대기압 하에 소성로에서 1550 ~ 1600°C의 온도에서 소결된다. 치밀한 소결체를 얻기 위해 5일 이상의 Lead Time이 소요된다. 장시간의 소성 후, 소결체는 고객이 요구하는 표면조도, Size, 측면가공 등의 가공공정을 거쳐 본딩 공정으로 옮겨진다. 가공된 ITO 타겟은 고객의 Sputter에 부착되어 있는 Backing Plate(BP)에 인듐 금속을 사용하여 본딩되게 된다. BP의 재질은 Cu 혹은 Ti이며, 금속과 세라믹의 이중접합 공정으로 고도의 기술이 요구되는 공정이다. BP는 타겟을 고

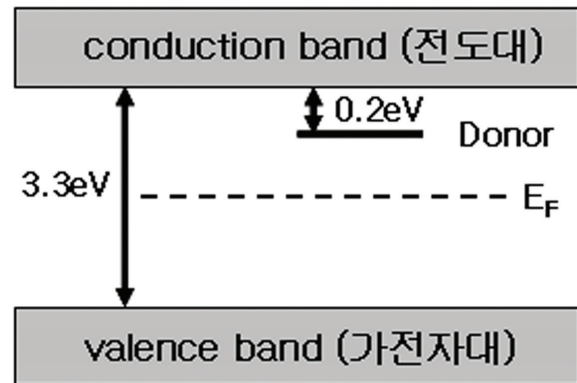


Fig. 7. ZnO 결정의 Band Gap과 결합준위

정시켜 주고 Sputtering 중 타겟을 냉각시켜 주며, 그 자체가 전극의 역할을 한다. 본딩 공정이 완료되면 Cleaning, 진공 Packing 후 고객에 출하하게 된다. 이외에도 성형공정으로 CP/CIP의 건식공정이 아닌 Slip Casting이라는 습식공정에 의해 성형체를 제작하는 업체도 있다. 일본의 Mitsui가 대표적인 기업이다. 이 방법은 투자비가 저렴하나 건조 중에 발생하는 Crack 불량의 증가와 수일에 걸쳐 건조시간이 요구되어 생산성 저하를 초래할 수 있다. 소결공정에 있어서도 가압방식인 Hot Press를 이용해 단시간에 고밀도의 소결체를 얻는 방법이 있다. 초기의 연구 단계에서 많은 시도가 있었으나, 양산성이 떨어지며, 대형 타겟을 소결하기에는 불리한 공정이라 그 후 나노분말 제조기술의 진보에 의해 대기압 하에 진행되는 상압소결이 일반화되었다.

2.2 대체소재 기술현황

2.2.1 ZnO 투명전극 재료기술

반도체 성질의 투명전극에 사용되는 재료에는 산화인듐(In_2O_3)계, 산화주석(SnO_2)계, 산화아연(ZnO)계가 대표적인 종류라 할 수 있다. 산화인듐계는 Sn이 첨가된 In_2O_3 , 즉 ITO가 대표적이며, $10^{-4} \Omega \text{cm}$ 대의 비저항이 쉽게 얻어지고, 습식 에칭을 통한 패턴 가공이 용이하기 때문에 액정 디스플레이의 투명전극으로 널리 사용되고 있다. 그러나 In 금속은 매장량에 한계가 있는 희소금속이

기 때문에 재료비용이 높은 단점이 있다. 산화 주석(SnO₂)계는 비교적 가격이 안정된 재료로서 화학적 내성이 우수한 특성을 가지고 있으나, 저저항의 막을 쉽게 달성하기 어렵고, 아직 습식 에칭 특성이 떨어져 패턴 가공을 필요로 하는 디바이스에는 적용되지 않는다. 이것에 반하여 산화아연(ZnO)계는 Al 과 Ga 등을 첨가하는 것으로 낮은 저항의 막이 비교적 쉽게 얻어지며, 게다가 습식 에칭에 의한 패턴 형성이 가능한 재료이다. Zn는 자원적으로도 풍부한 재료로 가격의 안정성도 있다. In 금속과 비교할 때 독성이 낮고 환경오염의 문제도 비교적 낮은 장점이 있다. 이것으로부터, 대면적 대량 사용의 태양전지와 평판형 디스플레이에 ITO 대응으로 기대를 받고 있다.

ZnO의 광흡수 Spectrum 으로부터 얻어진 에너지 준위로부터, (Fig. 7) 대전대의 하부로부터 0.2 eV 위치에 donor준위가 형성되고 있음이 알려져 있다. 즉, 산화아연은 그 자체가 전도성을 나타내는 재료이기는 하지만, Al, Ga와 같은 +3가를 갖는 원소를 첨가하면 Donor로 작용하여 전기전도도가 증가한다. Li이온과 같은 +1가의 Acceptor형 이온을 첨가하면 Carrier농도가 감소하여 절연체에 가까운 상태가 된다. 따라서 산화아연은 불순물 이온의 도입 방법에 따라 10⁻⁴ ~ 10¹² Ω cm의 범위에서 다양한 비저항을 나타내고, 용도의 다양성을 확보할 수 있다.

ZnO계 투명전극 재료의 경우, 지금까지 스퍼터링법, 반응성 플라즈마증착법, CVD와 PLD법 등 각종 성막법이 실험적으로 보고되었다. 산업적으로 가장 널리 사용하

고 있는 직류 마그네트론 스퍼터링법에서 2.7×10⁻⁴ Ω cm의 저저항 GZO막이 쉽게 얻어졌으며, 또한 PLD법으로 1.4×10⁻⁴ Ω cm의 저저항 AZO막이 얻어졌다. 실제 디스플레이 양산적용 Test에서도 ZnO는 성공적인 성과를 거두었다. 그러나 디스플레이에서 차지하는 투명전극의 원가 비중이 높지 않고(~1%) Indium의 리사이클 기술의 획기적인 발전에 의해 자원 고갈 문제도(현재는) 심각하지 않은 상황에서 기존 신뢰성 있는 양산 제조조건을 유지하고자 하는 제조업체의 요구에 의해 현재는 널리 적용되고 있지 않고 있다. ITO에 비교해서 저항값이 높으며, 비저항이 성막조건에 크게 변화하고, 산-알카리 용액에 대해 화학적 안정성과 내열특성의 면에서 ITO와 SnO₂계 재료와 비교시 떨어지는 문제점 때문에 태양전지 등 일부 용도에 한정적으로 적용되고 있다. 그러나, 향후 Indium 자원 고갈 문제가 점점 심각해질 것이기 때문에 안정된 가격에 풍부한 자원을 가진 ZnO계 투명전극 재료에의 기대는 점점 커질 것이다. 차후 새로운 성막 기술의 개발과 새로운 조성(첨가원소) 탐색을 통한 소재의 개량 등이 이루어질 때, 현재까지 ITO가 주류가 되어 있는 평판 디스플레이 투명전극에의 응용이 기대된다.

2.2.2 IZO 투명전극 재료

IZO는 In₂O₃에 ZnO를 10wt% 첨가하여 제조하는 투명전극재료이며, IZO타겟으로 제조할 경우, 저항을 감소시키기 위하여 약 800ppm 정도의 SnO₂가 첨가하게 된다. 성막 후 얻어진 ITO막이 결정질인 것에 비해, IZO는 완전한 비정질막이다. (Table. 2) 비정질 ITO막을 얻기

Table 2. IZO막과 ITO막의 비교

	IZO	ITO
재료	In ₂ O ₃ -ZnO	In ₂ O ₃ -SnO ₂
조성 /wt%	90:10	90:10
성막기반온도	실온 ~ 350℃	실온/200℃ 이상
막질	비정질	부분결정질/ 결정질
비저항 μΩ · cm	300~400	600~800/100~200
굴절률	2.1	2.0
일함수 eV	5.1~5.2	5.0~5.1
투과율 %	81	82

위해서는 수증기 분위기에서 성막을 해야 하며 이로 인한 Particle 불량률의 증가, 성막 후 수증기 제거에 필요한 후 공정 시간의 증가, 부분적으로 발생하는 결정질 막의 존재로 인한 막의 균질성 부족 등 문제가 발생한다. IZO의 최대 장점은 Sputtering 도중 타겟 표면에 Nodule이 발생하지 않는다는 것이다. 이로 인해, Particle 불량률이 50% 경감되고 타겟 교체주기를 늘려 갈 수 있어 생산성이 향상될 수 있다. 또 하나의 장점은 약산에서도 에칭이 가능하며 에칭속도가 빠르다는 것이다. ITO의 경우 강산에서 에칭을 행하기 때문에 금속 배선의 침식이 우려되고 불량을 일으킬 확률도 높다. IZO는 비정질 막의 특성상 막의 평탄도도 ITO에 비해 뛰어나며, 대면적에서도 막의 균일성을 확보하기 쉽다. 그러나 저저항을 요구하는 디바이스에서 ITO는 고온성막에 의해 물성치를 달성할 수 있으나 IZO는 고온 성막에서도 막의 결정화가 진행되지 않아 저항이 높다는 단점이 있다. 따라서 높은 전기전도도를 요구하는 컬러 필터에는 사용이 부적절하다. 게다가 막의 경도도 높지 않아 품질 검사 도중에도 스크래치 불량률의 발생확률이 높다. IZO 타겟은 현재, SCG와 Nikko가 일본의 Idemitsu의 특허를 받아 독점 생산하고 있으며, 삼성디스플레이의 TFT 라인에 주요 수요처이다. IZO의 강점을 살리면, 향후 막의 평탄도가 높게 요구되는 유기EL과 고화질 대면적 TFT-LCD분야로의 사용이 더욱더 확대되리라 기대된다.

2.2.3 Flexible 디스플레이용 그래핀 재료

Flexible 디스플레이용 전극 재료로는 유연성, 접착성,

열팽창특성, 인쇄 가능성 등을 고려하였을 때, 플라스틱 기판과 물성의 조화를 가장 잘 이루는 유기물 재료를 이용하는 것이 바람직하며, 현재 가장 많이 연구되고 있는 것은 전도성 고분자를 이용한 전극이다. 최근에는 그래핀의 우수한 전기적 특성을 이용하려는 시도도 진행되고 있으며 현재 고려하는 투명전극 중에서는 가장 이상적인 물성을 보여주고 있다. 그러나 아직 양산성을 확보하지 못했으며, 대형 디스플레이에는 더욱더 적용하기 어려운 상황이다. 프린트용 잉크의 개발도 완성도가 떨어지는 상태이다. (Table 3)

투명전극을 형성하기 위해 가장 바람직한 그래핀 전극의 형태는 산화에 의한 결합 없이 불순물이 제거된 고순도의 그래핀만을 선택적으로 분리하여 이를 매트릭스에 나노스케일로 고르게 분산하는 것이다. 즉 고성능의 그래핀 투명전극을 개발하기 위해서는 정제, 분리, 분산 등 그래핀의 제어기술을 개발하는 것이 매우 중요하다.

그래핀 투명전극의 경우 물성적인 측면에서는 매우 우수하지만 수많은 노력에도 불구하고 아직도 양산성을 확보하지 못하고 안정적인 성막기술의 확립이 되지 못해 차세대 투명전극으로 연구 중에 있는 상태이다.

2.2.4 InGaZnO 산화물 반도체 재료

TFT-LCD, 유기EL에 사용되는 반도체 소자의 종류는 a-Si, p-Si, CdSe 등의 2~3가지로 분류되고 있다. 현재 주로 a-Si가 사용되고 있으나, 최근 고속구동, 대면적화, 고세정화 등으로 새로운 산화물 반도체가 검토되었다. 즉, a-Si는 낮은 구동속도(약 0.5 cm/v · sec)로 인

Table 3. 각종 투명전극의 특성 비교

	그래핀 전극	Sputtered ITO	ITO Dispersions	Nano Metal Dispersions
투명도	◎	○	◎	◎
전도도	◎	○	●	○
가격	●	◎	○	●
색상	○	◎	●	○
프린트 가능성	●	●	◎	●
유연성	◎	●	●	○
안정성	○	○	○	○

◎: 양호 ○: 보통 ●: 부족

해 p-Si(약 50~100 cm/v · sec)이 검토되었다. 이는 반도체막 형성시 a-Si에 레이저를 조사함으로써 poly-Si으로 변화시킨 것으로 완전히 정렬된 원자구조를 갖고 있어서 전하이동도(전류흐름)가 a-Si에 비해 약 100배정도 빠른 장점을 갖고 있다. 그러나 고세정화가 어렵고 공정비용이 높아 새로운 반도체의 도입이 요구되어 왔다. 한편, 산화물 반도체에 대한 유용성이 동경공대의 호소노 교수 연구팀에 의해 발표된 이래 활발한 연구가 진행되었고 InGaZnO 산화물 반도체가 디스플레이의 반도체소자에 적용 가능한 사실이 증명되었다. 전하이동도는 약 7 cm/v · sec로 p-Si 보다는 낮지만 a-Si 보다는 15배나 빠르고 타겟으로 제조하면 기존의 투명전극에서 확립된 스퍼터링 방법에 의해 대면적화 및 공정비용도 저렴하여 가능성을 높게 하였다. 특히, Mobile 디스플레이의 경우 산화물반도체의 투명성은 사용에너지 효율을 증가시켜 장시간 사용 가능하여 제품경쟁력을 상승시킬 수 있다. SCG, Nikko, Mitsui, Ulvac 등 타겟 업체들은 이미 InGaZnO 산화물반도체 타겟의 양산이 가능한 상태이며 디스플레이 업체들에 일부 공급 중에 있다. 일본의 Sharp는 이미 시제품 제작에 성공하였고 국내의 디스플레이 업체들도 개발에 성공하였다. 문제는 디스플레이 양산에서의 높은 불량률과 낮은 생산성에 의해 본격적인 생산은 아직 이루어지지 않고 있다. 일부 Mobile 소형 제품에만 제한적으로 적용하고 있으며 대면적의 디스플레이에는 제대로 적용하고 있지 못하다.

3. 맺음말

산화물 반도체 투명전극 재료분야는 우리나라가 디스플레이 최강국으로서 세계 1위를 점유하고 있는 분야이다. 산업적으로 성숙단계에 있는 소재 분야이지만 디스플레이 산업의 변화와 더불어 재도약의 움직임이 일고 있다. 이 분야의 핵심이슈로 떠오르는 원통형 타겟 제조기술과 새로운 대체재의 연구는 향후 디스플레이 산업의 경쟁력을 가늠하는 중요한 요소가 될 것이다. 먼저 기존 공정에서 제품의 품질 경쟁력을 높일 수 있는 이상적인 원

료를 공급할 수 있는 새로운 원료분말 제조기술의 시도가 중요하며, 대형화에 따르는 제조공정과 이를 뒷받침할 수 있는 설비기술이 발달되어야 한다. 특히 대형 원통형 타겟을 위해서는 설비의 높이에 따른 온도산포가 적은 고온 소성로 기술의 확립이 절대적으로 필요하다. 또한 그 래핀과 같은 신소재의 등장에 따른 대체재를 이용한 양산 공정기술의 개발과 Si 막을 대체할 수 있는 안정적인 산화물반도체 성막기술 및 P/N 접합기술 또한 중요한 분야로 대두될 것이다. 디스플레이 절대 강국의 목표를 위해 향후 전개될 소재분야의 또 다른 도약을 기대해 본다.

참고문헌

1. M. Mizuhashi, "Electrical properties of Vacuum-Deposited Indium oxide and Indium Tin oxide Films" *Thin Solid Films*, **70**[1] 91-100 (1980).
2. J. Kane and H. P. Schweizer, "Chemical vapor deposition of transparent electrically conducting payers of indium oxide doped with tin", *Thin Solid Films*, **29**[1] 155-163 (1975).
3. 長友隆男, 大本修, '스프레법による酸化インジウム膜の電氣的·光學的性質', *應用物理* **47**[7], 618-622 (1978).
4. P. Nath, V. Dutta, and K. L. Chopra, "Amorphous and polycrystalline Ge-metal films prepared by physical vapour deposition", *Thin Solid Films*, **64** [1] 65-69 (1979).
5. S. Ray, R. Banerjee, N. Basu, A. K. Batabyal, and A. K. Barua, "Properties of tin doped indium oxide thin films prepared by magnetron sputtering", *J. Appl. Phys.*, **54**, 3497 (1979).

◎ 조우석



- 1988년 한양대학교 무기재료공학 학사
- 1990년 한양대학교 무기재료공학 석사
- 1995년 동경공업대학교 재료공학 박사
- 1999년 일본 창조과학기술추진사업 연구원
- 2000년 Georgia Institute of Technology 연구원
- 2007년 삼성코닝 기술그룹장
- 2010년 Alfred University 객원연구원
- 현 한국세라믹기술원 도자세라믹센터 센터장