

## 태양전지용 투명 전도성 박막 제조 기술

이건환 책임연구원, 윤정흠 선임연구원, 이성훈 선임연구원 (한국기계연구원 부설 재료연구소)

현재 우리 사회는 에너지자원의 고갈 및 가격상승, 환경오염 문제로 인하여 친환경 무공해 대체에너지의 개발이 절실히 요구되고 있으며, 그중에서 태양전지는 대체에너지의 핵심분야로 인식되고 있다. 최근의 태양전지 개발동향은 고효율화와 저가의 태양전지 셀을 제조하는 기술에 맞추어져 있다. 따라서 에너지효율을 높일 수 있는 기본재료 개발에 많은 연구비가 투입되고 있으며 태양전지의 기본재료인 투명 전도성 박막에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 현재 사용되고 있는 대표적인 투명전도성 물질은 ITO (Indium Tin Oxide), ZnO:Al (Aluminium Doped ZnO), SnO<sub>2</sub>:F (Fluorine Doped SnO<sub>2</sub>) 등이 있으며 이러한 물질을 목적에 맞게 혼합하여 사용하기도 한다. 투명전도성 박막의 가장 중요한 물성은 빛에 대한 높은 투과도와 우수한 전기전도성 그리고 화학적 열적 안정성이다. 이와 함께 더욱 효율적인 새로운 투명전도성 물질개발과 나노표면 구조제어를 통한 빛 흡수를 증대기술 등이 주목 받고 있다. 본고에서는 이러한 투명전도성 박막의 물질별 특성 및 연구개발동향에 대해 기술하고자 한다.

## 1. 서론

태양전지에 대한 기술동향은 가격 경쟁력이 우수

한 방향으로 진행될 것으로 전망되고 있다. 현재 사용되고 있는 결정질 실리콘 태양전지는 실리콘 원자재에 대한 공급문제로 인해 제조원가가 크게 증가되고 있다. 따라서 전력 발전 단가를 획기적으로 절감할 수 있는 태양전지 기술개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 대표적인 저가형 태양전지로는 박막 태양전지가 있으며 사용되는 광 흡수층 물질에 따라 실리콘계, CuInSe<sub>2</sub>계, CdTe 박막 태양전지로 구분된다. 태양전지의 실용화에 대한 또 다른 인자는 효율을 증대시키는 것이다. 고효율 태양전지 셀의 제조 방안으로는 재료에 입사한 광에너지를 효율적으로 감금할 것 (표면구조/형상 제어기술), 입사한 광에너지로 생성된 캐리어의 효율적 발생 및 수집을 위한 재료제조(재료 미세구조 및 결정 제어기술), 수집된 캐리어 이동에 있어서 직렬저항 손실의 경감(투명전극의 고도전화 전극 패턴 최적화 기술) 등이 고려되어야 한다. 또한 최근에 많은 연구가 진행되고 있는 나노결정 실리콘 박막 태양전지의 제조에 있어서는 나노 결정립제어를 통한 실리콘 박막형성, 새로운 TCO (Transparent Conductive Oxide : 이하 TCO) 물질 창제기술, 고효율 반사 방지막 형성기술 등 나노 표면구조 제어기술의 확보가 필요하다. 모든 태양전지에 공통적으로 사용되고 있는 TCO 박막은 표1에 표시된 바와 같이 태양전지의 종류에 따라 물질과 특성이 다르게 요구되고 있다. 이들의 기본 물질은 인듐 산화물계, 아연 산화물계, 주석 산화물

표 1. 태양전지 종류에 따른 TCO 박막의 특징 [1].

Cell Type	TCO 물질	TCO 이슈
결정질 Si Cell	Indium Tin Oxide (ITO)	전도성, 표면조도, 투과도, 빛흡수성
CIGS Cell	Intrinsic-ZnO/Al:ZnO	계면안정성, 저온코팅, 박막안정성
CdTe Cell	(SnO <sub>2</sub> ) Zn <sub>2</sub> SnO <sub>4</sub> /Cd <sub>2</sub> SnO <sub>4</sub>	계면안정성 (CdS/CdTe), 확산방지
폴리머 Cell	ZnO, SnO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub>	박막표면구조제어, Work-function 조절, Organic 물질과의 계면안정성
염료감응형 Cell	TiO <sub>2</sub>	나노구조제어
비정질Si Cell	SnO <sub>2</sub> , ITO, ZnO	열적안정성, 화학적안정성, Texturing

제이며 사용되는 태양전지의 종류에 따라 제조방법이 다르다는 것을 알 수 있으며 태양전지의 효율 및 신뢰성을 높이기 위해서는 적절한 TCO 박막을 적용해야 한다.

TCO 박막은 1907년 Bedeker가 스퍼터링법으로 카드뮴을 산화시켜 제조한 투명 전도성 CdO 박막을 보고한 이후 그 기술적 관심이 증대되었으며, Sb-doped Tin Oxide (ATO), F-doped Tin Oxide (FTO), Sn-doped Indium Oxide (ITO) 등의 유용한 투명 전도성 산화물들에 대한 증착기술들이 개발되었다. 투명 전도성 산화물 (TCO)은 전기 전도성에 기여하는 캐리어 (Carrier)의 종류에 따라 크게 n-형 산화물 반도체와 p-형 산화물 반도체로 나눌 수 있다. 대부분 금속 산화물로 이루어진 n-형 투명 전도성 산화물은 오래 전부터 연구, 개발되어 왔으며, ITO 등이 상용화되어 사용되고 있다. p-형 투명 전도성 산화물 역시 전도성과 투명성을 이용하며, 태양전지의 효율을 높이기 위한 Multi-junction 반도체의 투명전극 등, 투명전극과 광소자의 개발에 필수적인 요소로 인식되고 있으며 투명 전도성 산화물을 박막형태로 형성하는 여러 가지 증착기술의 공정변수를 제어함으로써 박막의 미세구조 및 화학양론비, 불순물 특성 등을 변화시켜 투명 전도막의 광학적, 전기적 성질 등을 향상시킬 수 있다.

## 2. 투명 전도성 박막 제조방법

투명 도전 박막의 제작법은 물리적인 방법 (Physical Vapor Deposition : 이하 PVD)과 화학적인 방법 (Chemical Vapor Deposition : 이하 CVD)이 사용되고 있으므로 출발 원료와 사용 목적에 따라 선택해서 사용할 수 있다. 예를 들어 플라스틱 재료에 ITO 박막을 형성시키기 위해 저온공정이 필요하므로 PVD법이 중심이 된다. 반면 유리 위에 SnO<sub>2</sub>:F를 형성시키기 위해서는 고온 CVD법이 사용된다. 이와 같이 PVD, CVD법에 의해 박막화가 가능한 재료는 금속, 합금, 반도체, 유전체, 유기·고분자 재료를 비롯하여 이들의 복합 재료 등이 있으며 최근에는 Nano Order에서의 적층화, 복합화에 의해 예전에는 곤란했었던 신기능이나 복합기능을 나타낼 수 있는 박막재료가 계속 개발되고 있다.

CVD법은 염화물의 가수분해 및 유기화합물의 열분해반응을 이용하여 박막을 형성하는 방법이다. 공정이 단순하고 경제적이지만, 일반적으로 높은 반응온도로 인해 저온이 요구되는 기판에는 박막형성이 불가능하다. 또한 산소결손 Donor의 최적화를 위한 미세한 제어가 어려워 저저항의 박막을 얻기 어렵고, 유해가스를 발생시킨다는 환경적인 문제점이 있다.

PVD법은 비평형 상태에서의 현상을 이용하기 때문에 형성된 박막의 전기적 성질, 광학적 성질 및 결정성 등을 각각 어느 정도 독립하여 제어할 수 있는 가능성을 갖고 있다. 이처럼 많은 이점을 갖고 있는 PVD법의 기본원리는 진공 중에 중성 혹은 이온화된 입자를 기판에 입사시켜 박막을 형성하는 기술이며 대표적인 요소기술로는 진공 증착법, Sputter법, Ion Plating법 등이 있다. 진공 증착법은 열에너지에 의해 박막 형성 입자를 발생시키는 것에 반해 스퍼터링법은 플라즈마 내의 이온에 의해 막 형성 입자를 발생시킨다. 스퍼터링법은 제조공정의 제어와 박막의 안정성이 우수하며, 대면적 기판에 균일한 박막을 형성시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 자장을 이용할 경우 증착 속도를 획기적으로 증가시켜 박막의 고속증착이 가능하다. Ion Plating법은 이온과 중성

입자의 혼합 상태 혹은 이온만으로 박막을 형성하는 방법이다.

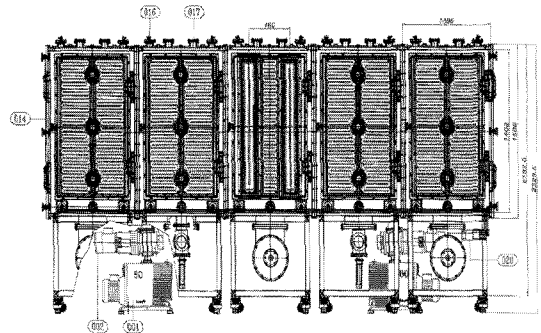
이들의 박막 제작법에 필요한 기술을 운동 에너지 면에서 비교해 보면 진공 증착법에서는 0.0~1 eV, Sputter법에서는 수 eV ~ 100 eV, Ion Plating법에서는 수 eV ~ 수백 eV가 되며 고품질 박막 형성을 위한 입사 에너지는 수 eV ~ 100 eV가 가장 적당하다고 발표되고 있다. 따라서 저온 Process에서 고품질 ITO 박막을 제작하기 위해서는 Sputter법이나 낮은 에너지 Ion Plating을 기반으로 하여 이온 플라즈마, 여기 빔 등을 조합시킨 방법이 적절할 것으로 보인다.

그림 1은 태양전지용 TCO 코팅층 제조에 사용되고 있는 수직형 인라인 스퍼터링 장치로서 장입챔버/코팅챔버/장출챔버로 구성되어 있으며 모재 온도는 400 °C까지 조절될 수 있다. 이러한 수직형 스퍼터링 장치로는 ITO, IZO, ZnO:Al 등의 물질을 증착할 수 있으며 이온빔 발생장치를 부착하여 TCO 박막의 표면 형상을 제어하기도 한다.

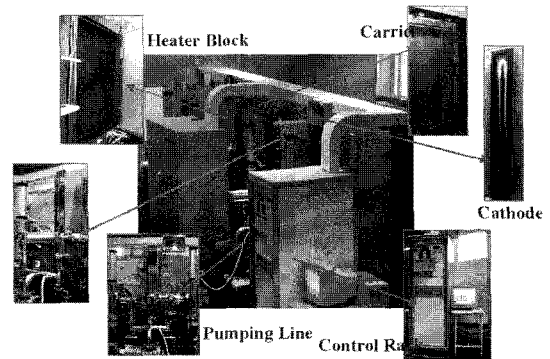
### 3. 투명 전도성 박막의 제조 방법 및 특징

#### 3.1 인듐주석산화물 (ITO) [2]

인듐 주석 산화물 (Indium Tin Oxide: ITO)은 약 3.5~4.3 eV 이상의 밴드갭을 가진 n-형 (n-type) 반도체로서, 높은 가시광 투과도와 근적외선 반사도, 우수한 전기전도도, 상온에서의 화학적 안정성과 우수한 식각특성을 가지고 있어 인듐 (Indium)의 가격 상승으로 인한 공급불안에도 불구하고 여전히 투명전극으로 가장 널리 이용되고 있다.  $In_2O_3$ 와  $SnO_2$ 의 고용화합물로서 최대  $10^{21} cm^{-3}$  대의 전하 캐리어 농도 (Charge Carrier Concentration)를 가지고 있다. ITO의 격자상수는 벌크 (Bulk)일 경우 1.0118 nm, 박막일 경우 공정조건에 따라 1.0118~1.031 nm를 가진다고 보고되어 있으며, 밴드갭 (Band Gap) 에너지는 Direct 밴드갭이 3.75 eV, Indirect 밴드갭이 2.619 eV이다. ITO의 구조를 살펴보면 그림 2에 나타난 바와 같이 Bixbyte 구조를 띠고 있다.  $In_2O_3$  단위정 안에는 32개의 In과 48개의 O가 존재하는데, 80개의 원자들



(a)



(b)

그림 1. 수직형 인라인 스퍼터링 장치 (a)장치 개략도, (b) 장치 사진.

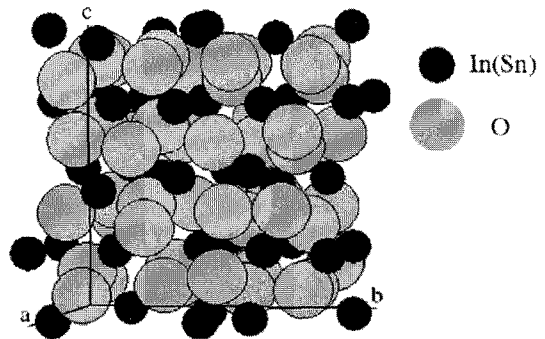


그림 2. Bixbyte Structure of  $In_2O_3$ .

로 이루어진 결정질  $\text{In}_2\text{O}_3$  단위정의 구조 내에 도입된 결합에 의해 전기적, 광학적 특성이 지배되며 그 결합을 제공하는 것이  $\text{SnO}_2$ 이다 [3,4]. 즉,  $\text{In}_2\text{O}_3$ 에  $\text{SnO}_2$ 를 첨가하면  $\text{Sn}^{4+}$  이온은  $\text{In}^{3+}$  이온을 치환하게 되고, 화학양론적 조성을 형성하기 위해 산소는  $\text{In}_2\text{O}_3$ 의 결정구조에서 비어있는 산소자리를 채우게 된다는 전형적인 Donor 생성모델을 기반으로 하고 있다. Sn의 치환과 산소공공은 ITO의 전도도 향상에 기여하며, 이를 통해 생성된 물질은  $\text{In}_{2-x}\text{Sn}_x\text{O}_{3-2x}$ 로 나타낼 수 있다. 이렇게 도입된 산소는 환원분위기에서의 열처리를 통하여 분해반응을 유도함으로써 캐리어의 수를 증가시킬 수 있다.

ITO 박막물성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 코팅 공정온도와 산소분압이다. 그림 3은 코팅 온도 변화에 따른 면저항 값의 변화를 나타낸 것으로 코팅 온도가 증가할수록 면저항 값은 급격히 감소함을 보이고 있으며 300 °C의 코팅 온도에서 150 nm의 박막을 증착하였을 경우 약 10  $\Omega/\square$ 의 면저항 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 산소 유량의 변화에 따른 면저항 값의 변화를 나타낸 그림으로 산소유량이 방전가스인 아르곤 유량의 약 1% ~ 4% 사이에서 가장 낮은 저항 값을 나타내고 있으며, 산소유량이 증가함에 따라 급속히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 전기적 특성이 우수한 ITO 박막을 증착하기 위해서는 공정온도와 함께 작업 가스의 산소분압을 적절히 조절하여야 함을

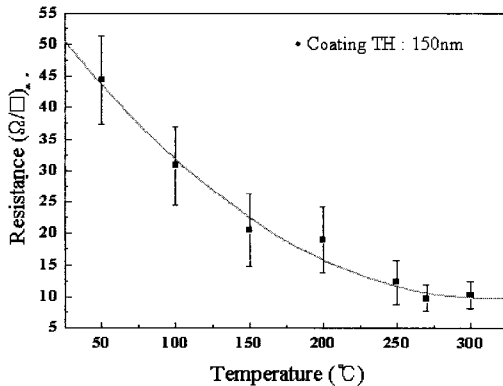


그림 3. 코팅온도에 따른 ITO박막의 면저항 변화.

알 수 있다.

태양전지용 TCO 박막의 표면조도는 입사되는 빛 에너지의 흡수효율에 영향을 미치므로 적절하게 조절되어야 한다. ITO 박막의 표면조도는 이온빔을 이용하여 제어할 수 있으며 그림 5는 이온빔 가속전압이 ITO 박막의 표면조도에 미치는 영향을 보여주고 있다. 가속전압이 낮을 경우에는 표면조도가 수 nm를 나타내고 있으며, 가속 전압이 높아질수록 표면조도값도 증가되고 있음을 알 수 있다.

ITO 박막의 두께 변화에 대한 광투과도 변화를 그림 6에서 나타내었다. 약 120 nm의 두께에서는 95% 정도의 광투과도를 보이며, 200 nm에서는 80% 정도로 나타나고 있다. 그림 7은 산소유량 변화에 대한

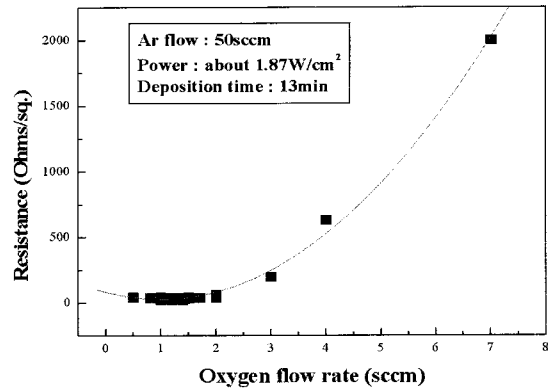


그림 4. 산소 유량에 따른 ITO박막의 면저항 변화.

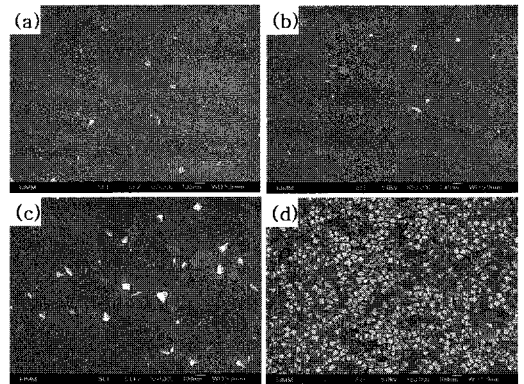


그림 5. 가속전압에 변화에 따른 SEM Morphology [(a) 0 V, (b) 28 V, (c) 40 V, (d) 150 V].

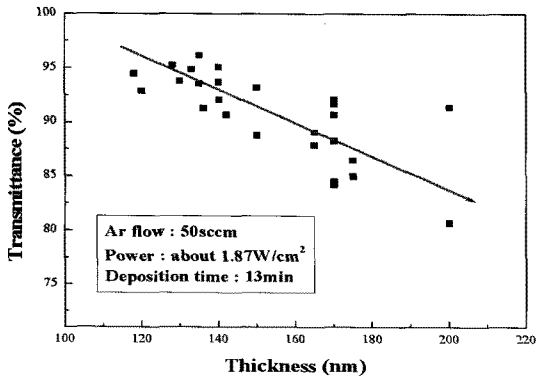


그림 6. ITO 박막의 두께에 따른 투과도 변화.

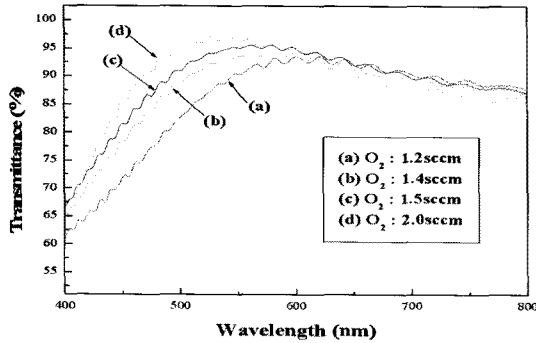


그림 7. ITO 박막의 산소량에 따른 투과도 변화.

ITO 박막의 광투과도 변화를 보이고 있다. 산소 유량이 1.2 sccm에서 2.0 sccm으로 증가함에 따라 증착된 ITO 박막의 광투과도는 점진적으로 증가하였다. 이러한 결과는 산소량이 적을 경우 산화되지 않은 금속입자로 인해 불투명한 막이 생성되며, 산소량이 증가함에 따라 충분히 산화되어 투명한 막이 생성되는 것으로 알려져 있다.

### 3.2 Al/B Doped ZnO

태양전지에 사용되는 중요한 다른 종류의 TCO 물질 중의 하나는 Al 이나 B등의 원소가 도핑된 ZnO이다. ZnO를 기반으로 하는 TCO의 경우 그림 8에 나타난 바와 같이 ITO보다 전기적 광학적 특성이 우수하지 못하나 제조단가를 낮출 수 있으며 다

양한 형태의 Texturing이 가능하고 열적 화학적 안정성이 뛰어나 향후 태양전지용 TCO 박막재료로 널리 사용될 것으로 예상된다. ZnO:Al을 제조할 수 있는 방법은 주로 스퍼터링법이 사용되어 왔으며 그림 9에서 보여지는 바와 같이 박막제조 시 Al의 산소반응성이 매우 큼으로 이를 잘 제어하여야 우수한 박막을 제조할 수 있다 [3]. 그림 10은 스퍼터링법에 의해 800 nm 두께로 증착된 ZnO:Al 박막의 표면 형상이며 그림 11은 HCl 0.5% 용액으로 표면 에칭을 실시한 ZnO:Al 박막의 표면 형상이다. 이러한 사진에서 보여지는 바와 같이 ZnO 박막은 습식 에칭 용액으로 Texturing이 가능함을 알 수 있다 [4].

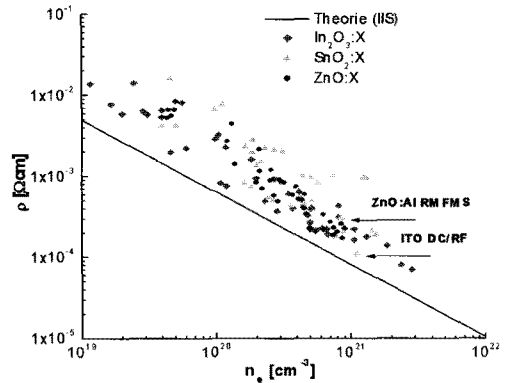


그림 8. TCO 물질에 따른 비저항.

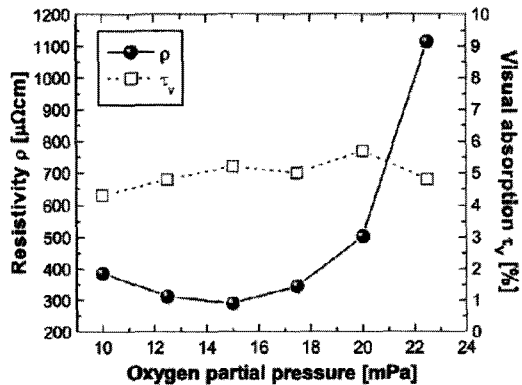


그림 9. ZnO:Al 박막의 산소 분압에 대한 비저항 변화 (Target : ZnO with 0.5 w%Al, Coating Temp. : 280 °C).

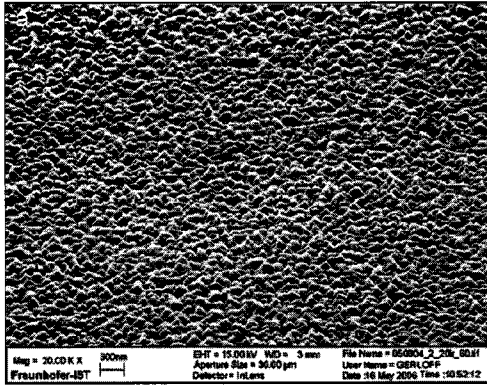


그림 10. 스퍼터 코팅된 ZnO:Al 박막 표면 [4].

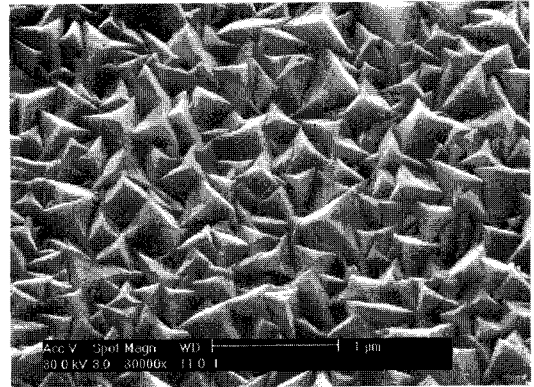


그림 12. ZnO:B 박막의 표면 요철 형상.

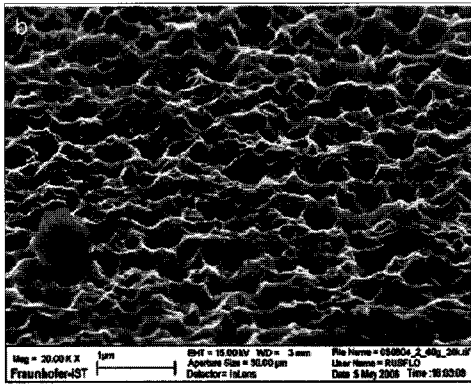


그림 11. HCl 0.5 % 용액에 의해 엇칭된 ZnO:Al 박막 표면 [4].

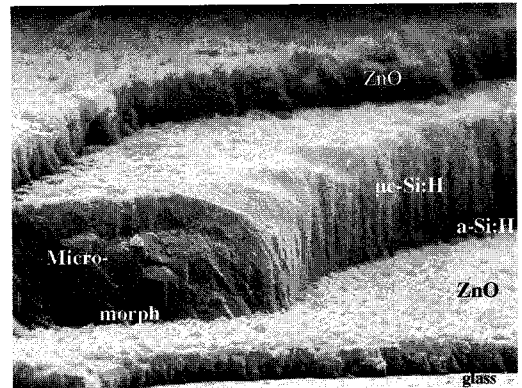


그림 13. 태양전지 셀에 적용된 ZnO 박막 [6].

독일의 Fraunhofer 연구소에서는 대면적 인라인 스퍼터링장치를 이용하여 200 °C의 공정온도에서  $2.5 \times 10^4 \Omega \text{cm}$ , 투과도 89 % 이상을 갖는 ZnO:Al 박막을 제조하였으며 이온빔 식각 기술을 이용하여 ZnO:Al 박막의 표면 조도를 제어하는 기술을 개발함으로써 태양전지에의 응용을 적극 추진하고 있는 실정이다 [5].

ZnO 박막을 증착시키는 또 다른 방법은 저압 CVD를 이용하는 기술이다.  $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ 를 프리커서로 사용하여 150 °C ~ 200 °C 공정온도에서 적당한 수분과 반응을 시킨 후 열처리 공정을 거치면 우수한 표면 요철을 갖는 ZnO 박막을 제조할 수 있다. 그림 12는 LPCVD법에 의해 제조된 ZnO:B의 표면 요

철모습이며 그림 13은 ZnO 박막을 태양전지 셀에 적용한 모습이다 [6]. ZnO계 박막의 다른 장점은 수소 플라즈마에 매우 안정하다는 것이다. 최근에 많이 연구되고 있는 실리콘 박막형 태양전지의 경우 TCO 전극 위에 수소분위기에서 Si 박막을 증착시키는데 이때 TCO층의 안정성이 셀 효율에 큰 영향을 미치게 된다. ZnO 박막은 수소분위기에 매우 안정하여 박막형 태양전지의 TCO 박막으로 널리 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

### 3.3 Fluorine Doped SnO<sub>2</sub>

$\text{SnO}_2:\text{F}$ 는 실리콘 박막형 태양전지에서 아직 가장 폭넓게 사용되는 투명산화막이다. 대면적 (> 1 m<sup>2</sup>) 기관의 경우에는 Nippon Ito Glass와 Asahi Glass



에서 생산하고 있는 SnO<sub>2</sub>:F 제품들이 투명산화막 시장을 독점하고 있는 실정이다. 예로, Asahi Glass Ltd에서 생산되고 있는 Asahi Type U의 경우 760 nm 두께에서 ~88 %의 투과율, <8 Ω/in<sup>2</sup>의 면저항, 37 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>의 전하이동성, 그리고 16 % (550 nm에서)의 Haze를 나타내는 것으로 알려져 있다 [7].

하지만 SnO<sub>2</sub>:F가 적층형 실리콘 박막 태양전지의 투명산화막으로 이용되어지기 위해서는 위의 요구조건과 관련해서 선결과제를 안고 있다. 일반적인 비정질 (Amorphous) 실리콘 태양전지의 경우 가시광 (400-750 nm) 영역만 고려되지만, 미정질 (Nano- or Micro-crystalline) 실리콘일 경우 고려되어야 하는 스펙트럼은 적외선 부근 (400-1100 nm)까지 확장되어야 한다. 이 넓은 광 영역에서 높은 투과도와 산란도가 요구된다. 특히 산란도는 투명산화막이 전면 전극으로 이용될 때 실리콘 박막형 태양전지의 효율을 결정하는 주요인자이며 SnO<sub>2</sub>:F 투명산화막의 경우 높은 산란도는 투명산화막의 표면을 30-50 nm정도의 높이와 평균 200 nm정도의 밀변을 가진 피라미드 형태로 Texturing함으로써 이루어진다. 최근 Asahi Glass는 기존의 피라미드 형태의 표면에 마이크로미터 영역의 구조물을 표면에 Texturing함으로써 Type-U 모델에 비교해서 같은 투과도와 저항에서 훨씬 향상된 빛의 산란도 (500 nm에서 35-95 %와 800 nm에서 10-88 %)를 보고했다 (그림14)[8].

2세대 태양전지로 인식되고 있는 박막형 실리콘

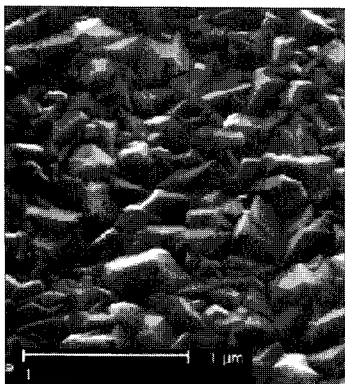


그림 14. SnO<sub>2</sub>:F 박막의 표면 형상 [8].

태양전지의 투명산화막은 수소반응이 포함된 실리콘, 특히 미정질 (Nano- or Micro-crystalline) 실리콘 박막의 제조공정인 화학 기상증착에서 화학적 안정성을 가져야 하며, 화학적으로 표면에너지가 이들 미정질 실리콘의 핵생성을 용이하게 해야 한다. 하지만 SnO<sub>2</sub>:F의 경우 수소 플라즈마에 대한 화학적 안정성이 다른 TCO에 비해 현저히 떨어지는 것으로 알려져 있다. 뿐만 아니라, 미정질 실리콘의 핵생성에 있어 ZnO에 비해 핵생성이 지연되는 현상 또한 나타나고 있다. 그 결과 그림 15에 나타난 바와 같이 SnO<sub>2</sub>:F 박막 위에 증착되는 실리콘의 결정화도 (Crystallinity)가 ZnO 위의 그것에 비해 현저히 감소된다고 보고되고 있다.

SnO<sub>2</sub>:F 투명산화막의 기존 제조 방법은 유리 제조 공정 중 고온 (~600 °C)에서 대기압 플라즈마 화학기상 증착법 (APCVD)을 이용하여 증착하는 방법이 사용되고 있다. 10 nm/sec 이상의 성장 속도와 유리 패널의 제조공정 중 냉각단계에서 적용함으로써 공정비용을 낮출 수 있는 장점을 가진다. 하지만 이 방법은 유리 제조업체 이외의 태양전지 제조사가 유리 기판만을 구입하여 적용하는데 한계가 있다. 시스템의 불안정화와 유리 변형 그리고 기존 대면적 박막 공정에 적용되기 어려운 문제점들을 안고 있다. 또한 차세대 연성 태양전지의 기판으로 고려되고 있는 폴리머에 적용되기는 불가능하다. 이들 문

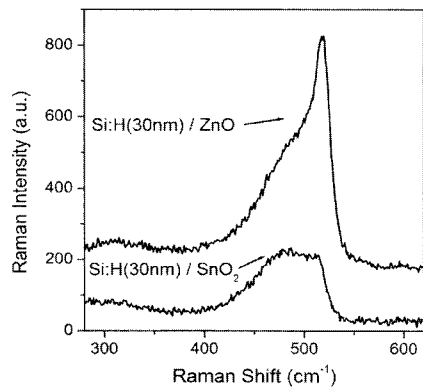


그림 15. SnO<sub>2</sub>와 ZnO 박막 위에 증착된 Si:H 박막의 Raman Peak.

제를 해결하기 위해 Ozone-assisted Thermal CVD [9], Sputtering [10][11], 그리고 Spin Coating [12] 등의 박막 증착법을 이용하여 증착 온도를 낮추는 연구가 보고 되고는 있으나, 상업적으로 적용되지는 못하고 있는 수준이다.

#### 4. TCO 박막 연구의 향후 전망

태양전지에서 투명산화막은 전면 전극 (Front Electrode)과 후면 반사막 (Back Side Reflector)으로 사용되고 있다. 전면 전극으로 고려될 때 투명산화막에 다음과 같은 조건들이 요구되어 진다. [13].

- (1) 태양전지가 이용하는 빛 스펙트럼에서 높은 투과도
- (2) 높은 전기 전도도
- (3) 광 흡수층과의 계면에서 높은 빛의 산란도
- (4) 높은 화학적 안정성과 실리콘과의 뛰어난 계면 특성

지금까지 언급된 TCO 물질은 각 물질별로 독특한 특성을 나타내고 있다. 표 2는 각 TCO 물질별 특성을 나타낸 것으로 ITO는 전기전도성과 투과도가 가장 우수하며 ZnO:Al은 내플라즈마 특성과 Si 박막과의 융합성이 우수하고 SnO<sub>2</sub>:F는 Texturing 특성이 우수하다. 따라서 최근에는 이러한 TCO 박막의 특성을 고려한 하이브리드 TCO 박막 연구가 진행되고 있다. 그 한 예로 Texturing 특성이 우수한 SnO<sub>2</sub>:F 박

막 위에 내플라즈마 특성과 Si 융합성이 우수한 ZnO:Al 박막을 피복하여 태양전지용 TCO로 활용하고 있다. 그림 16은 Texturing된 SnO<sub>2</sub>:F 박막 위에 증착된 Si:H 박막의 모습 ((b), (c))과 Texturing된 SnO<sub>2</sub>:F위에 ZnO 박막을 15nm 두께로 피복한 후 Si:H 박막을 성장 시킨 모습 ((e), (f))을 보여주고 있다. 그림 16의 (c)와 (f)에서 보여 지는 바와 같이 SnO<sub>2</sub>:F 박막 위에 직접 Si:H 박막을 피복시켰을 경우에는 조대한 입자들이 많은 결함을 만들며 성장하는

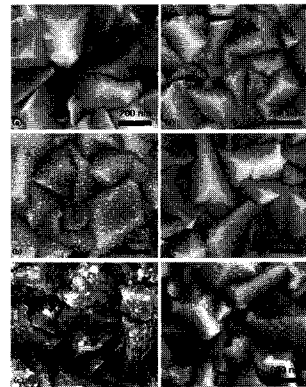


그림 16. TCO 박막 위에 증착된 Si:H 박막의 성장 거동 (a) Textured SnO<sub>2</sub>:F(800 nm)/Glass, (b) Si:H(6 nm)/Textured SnO<sub>2</sub>:F(800 nm)/Glass, (c) Si:H(30 nm)/Textured SnO<sub>2</sub>:F(800 nm)/Glass, (d) ZnO(15 nm)/Textured SnO<sub>2</sub>:F(800 nm)/Glass, (e) Si:H(6 nm)/ZnO(15 nm)/Textured SnO<sub>2</sub>:F(800 nm)/Glass, (f) Si:H(30 nm)/ZnO(15 nm)/Textured SnO<sub>2</sub>:F(800 nm)/Glass.

표 2. 태양전지에 사용되는 TCO 물질의 특성 비교.

Properties	Requirement	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn	SnO <sub>2</sub> :F	ZnO:Al ZnO:B
Transmittance (%)	> 80	Higher	OK	OK
Band Gap (eV)	> 3.5	3.7	4.3	3.4
Sheet R (Ω /sq)	< 10	2-5	3-10	5-10
Plasma durability	Resistant	Low	Medium	Good
Roughness	Textured	Negligible	Good (APCVD)	Good (MOCVD) Negligible (Sputter)
Costs	Low	High	Low	Low-medium

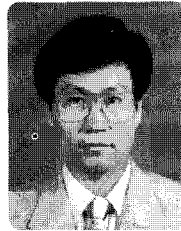


모습을 보이고 있는 반면 Si:H 박막과 융합성이 뛰어난 ZnO 박막을 15 nm 피복시킨 후 성장시킨 Si:H 박막은 균일하게 성장하고 있음을 알 수 있다. 따라서 고효율 태양전지 제조를 위해서는 기존 재료보다 우수한 특성을 띠는 새로운 TCO 물질 창제 연구가 이루어져야 하며 이와 함께 지금까지 연구된 TCO 박막을 융합하여 최적 특성을 구현하는 방법이 연구되어야 할 것으로 예상된다.

### 참고 문헌

[1] E.Fortunato, D. Ginley, H.Hosono, D.C. Paine, MRS BULLETIN, Vol. 32, March 2007, p. 242-247.  
 [2] D.G.Kim, S.H.Lee, M.R.Park, G.H.Lee, Solid State Phenomena, 124, (2007) p. 367-370.  
 [3] A.Suzuki, T.Matsushida, M. Okuda, Jpn. J. Appl. Phys. 38, (1999) p.L71-L73.  
 [4] F. Ruske, C.Jacobs, V.Sittinger, B.Szyszk, W.Werner, Thin Solid Films 515 (2007) p.8695-8698 (IST).  
 [5] X. Jiang, C. L. Jia, B. Szyszk, MRS 2001 Spring meeting proceeding, San Francisco, 16-20, April. (2001).  
 [6] A.Shah. P.Torres, R.Tscharner, N.Wyrsh, H.Keppner, Science 285 (1999) p. 692-698.  
 [7] K. Sato, Y. Gotoh, Y. Wakayama, Y.Hayashi, K.Adachi, H.Nishimura, Rep.Re.Lab. Asahi Glass Co.Ltd. 42 (1992) p.129-137.  
 [8] M. Kambe, K. Masumo, N. Taneda, T. Oyama, K. Sato, PVSEC-17, Fukuoka, Japan, Dec. 6. 2007.  
 [9] J.W. Bae, S.W. Lee, G.Y. Yeom, J. Electrochem. Soc. 154 (2007) D34-D37.  
 [10] B. Stjerna, E. Olsson, C.G. Granqvist, J. Appl. Phys. 76 (1994) p. 3798-3817.  
 [11] H. Kim, A. Piqué, Appl. Phys. Lett. 84 (2004) p. 218-220.  
 [12] T.R. Giraldi, C. Ribeiro, M.T. Escote, T.G. Conti, A.J. Chiquito, E.R. Leite, E. Longo, J.A. Varela, J. Nanosci. Nanotechnol. 6 (2006) p.3849-3853.  
 [13] J. Müller, B. Rech, J. Springer, M. Vaneczek, Solar Energy 77 (2004) p. 917-930.

### 저자약력



성 명 : 이건환

- ◆ 학 력
- 1984년 연세대 금속공학과 공학사
- 1986년 한국과학기술원 재료공학과 공학 석사
- 1989년 ENSM (France) 재료공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1989년 - 현재 한국기계연구원 부설 재료연구소 책임연구원

성 명 : 윤정흠

- ◆ 학 력
- 1993년 경희대 화학공학과 공학사
- 1997년 콜로라도 주립대학 (미국, 콜로라도) 화학공학과 석사
- 2003년 콜로라도 주립대학 (미국, 콜로라도) 화학공학과 박사



◆ 경 력

- 2004년 - 2006년 일본국립산업연구소 JSPS 박사 후 과정
- 2006년 - 2007년 LG전자기술원 소재재료연구소 책임연구원
- 2007년 - 현재 한국기계연구원 부설 재료연구소 선임연구원

성 명 : 이성훈

- ◆ 학 력
- 1994년 창원대 재료공학과 공학사
- 1996년 창원대 대학원 재료공학과 공학 석사



◆ 경 력

- 1996년 - 2008년 한국기계연구원 부설 재료연구소 선임연구원