

# DC 반응성 스퍼터링법에 의해 제조된 몰리브덴 후면전극과 기판과의 상관특성분석

論 文

49C-3-1

## The Correlation Properties between Substrate and Molybdenum Back Contacts Fabricated by DC Magnetron Sputtering

金錫基\* · 韓相玉\*\*  
(Seok-Ki Kim · Sang-Ok Han)

**Abstract** - Bi-layer Mo films were deposited on soda-lime glass substrates using DC magnetron sputtering. Increasing gas pressure, the resistivity varied from  $1 \times 10^{-5}$  to  $8.3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ . Furthermore, stress direction yielded compressive-to-tensile transition stress curves. The micro-structure of the compressively-stressed films which had poor adhesion consists of tightly packed columns, but of the tensile-stressed films had less dense structure. Under all gas pressure conditions, Mo films exhibited distinctly increasing optical reflection with decreasing gas pressure. The expansion of (110) peak width with the gas pressure meant the worse crystalline growth. The impurity levels in the Mo film exhibited highly concentrated Na, Se and O elements due to less dense micro-structure. The degree of Na diffusion depends on the type of the glass substrate used and the nature of the Mo film.

**Key Words** : Bi-layer, Mo Film, Adhesion, DC Magnetron Sputtering

### 1. 서 론

CuInSe<sub>2</sub>(CIS)계 박막은 광 흡수계수가 높고( $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ), 직접천이형 반도체로서, 에너지 밴드갭이 1.04 eV로 넓다. 또한, 열적으로 매우 안정하기 때문에 열 경화현상을 거의 보이지 않고 있다. 그러므로 CdS 등과의 이중접합 태양전지 구조의 광흡수층 재료로 널리 연구되어 지고 있다. 현재 국내외에서 지상용 전원으로 사용하기 위해 다결정 CIS계 박막을 광흡수층 재료로 사용한 ZnO/CdS/CuInSe<sub>2</sub>/Mo/glass 구조의 새로운 박막형 태양전지가 집중적인 연구개발이 이루어지고 있다[1,2,3].

몰리브덴(Mo) 후면전극 위에 형성되는 광흡수층(CuInSe<sub>2</sub>, Cu(InGa)Se<sub>2</sub>)은 500-600°C의 높은 공정온도에서 제조됨으로 인해 기판과 몰리브덴 후면전극과의 열팽창계수의 차이로 격차부정합(mismatch)이 발생하게 된다. 이로 인해 접촉계면에서의 결합력 감소가 발생하여 몰리브덴 박막이 표면에서 벗겨지는(peeling)현상을 일으키게 된다. 이와 같은 문제점의 해결방안으로 박막 제조시 진공 챔버의 압력과 인가전력의 변화를 시킨다든지, Alleman J등이 제시한 바와 같이 기판 위에 Cr-under layer를 300Å 증착한 후, 그 위에 몰리브덴 박막을 형성시키는 다층(multi-layer)공정을 통해 접착력의 향상 결과를 얻었다고 보고되고 있다[4]. 결국, 몰리브덴 후면전극과 기판사이에 접착력이 우수하고, 낮은 전기비저항을 갖는 후면전극의 제조는 양질의 CIS계 박막 태양전지를 제조하기 위해 필수적인 과제라 아니 할 수 없다. 또한 태양전지의 기판으로는 soda-lime glass

와 SiO<sub>2</sub> coated soda-lime glass 및 Corning 7059 glass의 3종류가 사용되고 있으며, 현재까지 CIS계 박막 태양전지에서 최고의 변환효율을 얻은 기판으로는 저가이면서 Na(sodium)가 함유된 soda-lime glass이다. 이런 결과는 박막 제조시 높은 공정온도로 인해 기판에 함유된 Na가 몰리브덴 후면전극을 통해 광흡수층인 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막의 계면을 통해 확산됨으로써 박막 태양전지의 가장 주요인자인 소수 캐리어 수명(minority carrier lifetime)향상 및 확산길이(diffusion length)를 증가시켜 태양전지의 광 변환효율의 향상을 가져온다고 보고되고 있다[5,6].

본 논문에서는 몰리브덴 후면전극의 최적조건 도출을 위해 DC magnetron sputtering장비를 이용하였다. 박막 제조시 기판으로는 저가의 soda-lime glass를 사용하였으며, 압력의 변화에 따라 단일층(single layer)으로 제조한 후, 전기·광학특성을 관찰하였다. 제조압력에 따른 박막의 단면 미세구조 및 결정상의 분석을 통해 응력(stress) 변화를 관찰하고, 전기비저항과 광반사율과의 관계를 통해 박막의 최적 제조조건을 도출하고자 하였다. 따라서 최적조건에서 SiO<sub>2</sub> 방지막의 형성 기판과 순수한 soda-lime glass기판에 이중층(bi-layer)으로 몰리브덴 박막을 제조하고, 그 위에 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막을 증착하여, 기판에 함유된 Na이 후면전극을 통해 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막 내부로 확산됨을 조성분석을 통해서 고찰 하고자 한다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 박막제조

몰리브덴 후면전극의 제조는 DC 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하였다. 기판으로는 50 mm × 50 mm의 soda-lime glass와 SiO<sub>2</sub> coated soda-lime glass를 사용하였다. 박막 제조시 사용된 가스는 아르곤(Ar) 6N의 고순도를 사용하였으며, 물

\* 正 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 8月 6日

最終完了 : 2000年 2月 24日

리브덴 타겟(target)의 크기는 지름 10 mm × 두께 6 mm로 Cerac Co.에서 제조한 순도 99.95 %를 사용하였다. 몰리브덴, 기판 및 광흡수층의 물리적인 특성을 표 1에 나타내었다[7].

표 1 몰리브덴과 기판 및 광흡수층의 물리적 특성<sup>(7)</sup>

Table 1 Physical Properties of the Molybdenum, substrates and absorber layer

Properties	Back Contact	Substrates		Absorber Layer
	Molybdenum	Sodalime Glass	Corning 7059 Glass	Cu(InGa)Se <sub>2</sub>
Electrical resistivity ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	5.2	-	-	-
Coefficient of Expansion $\times 10^{-7}$ (cm/cm/°C)	50	89	46	90
Strain Point (°C)	-	480	593	593
Anneal Point (°C)	-	525	639	639
Melting Point (°C)	2617	-	-	1250
Boiling Point (°C)	4612	-	-	-
Na compounds (%)	-	15%정도	0.1%	-

기판세척은 먼저 세정제(detergent)와 D.I. water를 1:9의 비로 혼합하여 약 30분간 초음파 세척한 후, 순수한 D.I. water로 다시 30분간 초음파 세척한다. 마지막으로 공기중의 이물질 부착을 억제하기 위해 아세톤에 넣고 끓이면서 핀셋으로 기판을 천천히 꺼내어 사용하였다. 박막 제조 장비의 초기진공은 로터리 펌프와 TMP(Turbo molecular pump)를 이용하여  $5 \times 10^{-7}$  Torr 이하로 낮춘 후, main gate valve와 정밀 유량계(Mass Flow Controller)를 이용하여 0.5-20 mTorr로 진공압력을 조정하였다. 기판과 타겟(target)와의 거리는 60 mm이며, 박막의 균일성 향상을 위해 15 rpm의 속도로 회전시켰다. 박막 제조시 인가전력은 80 W로 고정하고, 잔존 불순물 제거를 위해 약 5분 정도 에비 스퍼터링 한 후 실험하였다. 이때 박막의 두께를 1  $\mu\text{m}$  내외로 제한하기 위해 제조 압력과 시간에 따른 증착율을 구하였다. 이때 제조된 박막두께의 범위는 0.85 - 1.1  $\mu\text{m}$ 이었다.

또한 제조압력에 따른 증착율(deposition rate)과 테이프접착법을 이용해서 접착력(adhesion)을 조사하였다. 유리기판에 함유된 Na가 몰리브덴 박막을 통해 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막으로 확산됨을 확인하고자 한다. 3단 증착법(three-stage process)으로 몰리브덴 박막위에 먼저 In, Ga과 Se을 동시 증착한 후, Cu와 Se을 증발시켜 결정립이 큰 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막을 형성한다. 마지막으로 In, Ga과 Se을 다시 증발시켜 평탄하면서도 결정립이 커다란 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막을 형성함으로써 실험용 시료를 제조하였다. 그림 1은 시료의 제조 공정도를 나타낸 것이다.

2.2 특성측정

몰리브덴 박막의 두께는 Tencor-stylus(Alpha-step 200)으로 측정하였고, 기판과 몰리브덴 박막과의 접착력 검사는 테이프 접착법을 이용하였다. 전기 비저항은 4단자 법(4-point probe method)으로 측정하였다. 박막의 평활도를 보기 위해 기준물질로 BaSO<sub>4</sub>를 사용하는 VIR-UV 2100(Shimadzu)이용하여 상대적으로 측정하였다. 박막의 미세구조와 결정상의 구조는 SEM(Phillips 2000 series)과 XRD(X-ray diffraction)장비로 각각 분

석하였다. 마지막으로 각 성분의 조성분포는 2차 이온질량분석기 caneca 4f (Secondary Ion Mass Spectrometer)를 이용하여 1차 이온 O<sup>+</sup>과 이온에너지 5.5 keV, 스퍼터면은 150  $\mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$ 의 조건에서 depth profile에 따른 농도분포를 확인하였다.

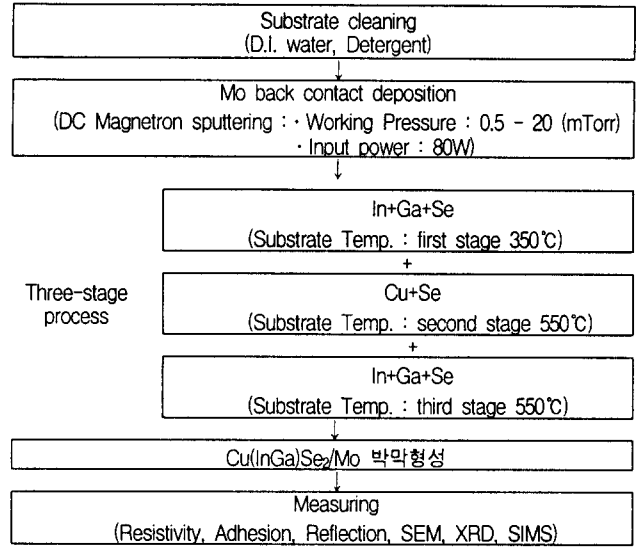


그림 1 시료의 제조 공정도

Fig. 1 Process flow chart for fabrication of Cu(InGa)Se<sub>2</sub>/Mo films

3. 결과 및 고찰

3.1 박막의 전기적특성

그림 2는 몰리브덴의 제조압력에 따른 전기비저항의 변화를 나타낸 것이다. 제조압력이 0.5 mTorr인 경우 타겟(target)와 충돌하는 Ar<sup>+</sup>이온의 운동에너지 감소로 인해  $1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 전기비저항을 나타내었다.

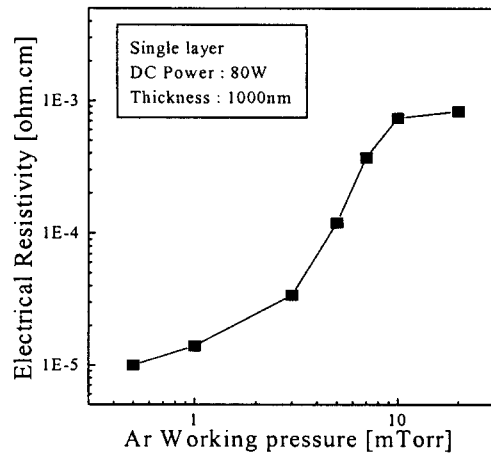


그림 2 제조압력의 변화에 따른 몰리브덴 박막의 전기 비저항 변화

Fig. 2 Variation of the electrical resistivity of Mo films deposited as a function of the working gas pressure

이처럼 낮은 전기 비저항을 나타내는 것은 유리기판과 몰리브덴박막과의 부착밀도 증가 및 박막내에 Oxygen과 Ar<sup>+</sup>이온의 침투가 어렵기 때문으로 분석된다. 그러나 3 mTorr 이상의 제조 압력에서 급격한 전기 비저항의 증가를 보였으며, 10 mTorr 이상의 제조 압력에서는  $7.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 를 나타내었다. 이와 같이 제조압력의 증가로 인한 전기 비저항 증가는 박막내의 Oxygen의 침투 가능성이 증가되었기 때문으로 사료된다. 따라서 이런 조건에서 제조된 박막에 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막을 제조하는 경우에는 단락전류나 누설전류의 증가 원인으로 작용할 것으로 판단된다.

그림 3은 제조압력에 따른 증착율(deposition rate), 장력(stress) 및 접착력과의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 0.5 mTorr의 낮은 압력에서 제조된 박막은 타겟(target)과 충돌하는 Ar<sup>+</sup>이온수가 적어 증착율이 낮았으며, 7 mTorr의 제조압력까지는 증착율이 증가하였다. 하지만 그 이상의 압력에서는 몰리브덴 타겟(target)과 Ar<sup>+</sup>이온과의 충돌 수의 증가로 평균 자유행정이 짧아짐으로 인한 산란(scattering)현상의 급격한 증가로 증착율이 오히려 감소한 것으로 판단된다. 또한 박막의 접착력 측정에는 pull-off test, scratch test, 테이프 접착방법이 주로 사용되고 있는데, 본 연구에서는 박막 제조 후 간편하게 측정이 가능한 테이프 접착법을 이용하였다. 접착력(adhesion) 검사에서는 비정질(amorphous)상태로 이루어진 유리 기판에 몰리브덴 박막을 제조하는 경우, 3 mTorr이하의 압력에서 제조된 박막은 벗겨짐(peeling)이 발생하였다. 이는 몰리브덴 박막과 유리기판과의 열팽창계수의 차이로 접착력(adhesion)이 감소된 것으로 사료된다. 반면, 3 mTorr이상의 제조압력에서는 접착력이 매우 양호하였으며, 특히 10 mTorr의 제조압력에서는 다공성의 구조를 갖는 박막 형성으로 장력(stress)이 결정 내부에서 흡수됨으로써 접착력이 양호한 특성을 나타내는 것으로 판단된다. 또한 몰리브덴 후면전극은 제조 압력이 증가함에 따른 격자상수의 변화로 수축력(compressive stress)에서 인장력(tensile stress)으로 변화되는 것으로 판단된다[8].

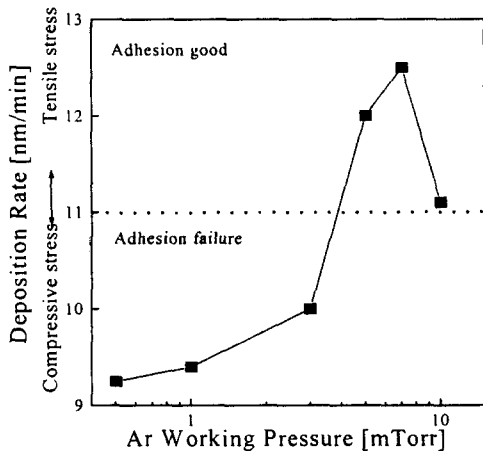


그림 3 제조압력에 따른 증착율 및 접착력 특성  
 Fig. 3 Adhesion of Mo films indicated by the deposition rate as a function of the working gas pressure.

따라서 접착력(adhesion)이 우수하고, 전기비저항이 낮은 두 조건 즉 10 mTorr에서  $0.1 \mu\text{m}$ , 그 위에 3 mTorr에서  $0.9 \mu\text{m}$ 의

두께를 갖는 이중층(bi-layer)의 박막 제조로 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막 태양전지의 후면전극으로 손색 없는 박막이 제조되었다. 그 외에 Alleman J.등은 먼저 약 300 Å의 Cr-underlayer를 제조한 후, 그 위에 몰리브덴을 제조하여 접착력의 향상을 얻었다고 제시하였다[4]. 하지만 실제 생산공정에 적용할 경우 박막 제조 단가 절감과 공정의 단순화 측면을 고려한다면, 동일 물질을 사용한 Mo/Mo 구조를 갖는 이중층(bi-layer) 제조방법이 훨씬 유리할 것으로 사료된다.

3.2 박막의 결정특성

그림 4는 몰리브덴 박막의 단면 미세구조를 관측한 것이다. 이 결과에서 0.5 mTorr의 압력에서 제조된 박막은 단면 미세구조가 치밀한(densely) 결정계면을 이루고 있으나, 10 mTorr 압력에서는 치밀한 정도가 떨어짐을 볼 수 있다. 이와 같은 미세구조의 차이에 따라 전기 비저항 및 누설전류의 변화요인으로 작용되는 것으로 판단된다. 그렇지만 압력의 높고 낮음에 관계없이 박막 단면의 결정계면(grain boundary)에는 주상형의 구조(columnar structure)를 갖음을 알 수 있었다[9]. 또한 제조 압력에 따른 전기 비저항과 박막 표면의 미세구조가 광 반사율 특성과 관련성이 있을 것으로 판단되었다.

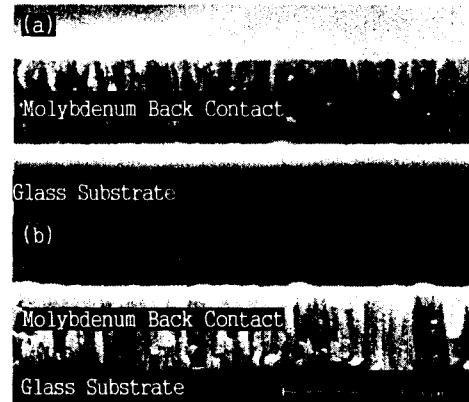


그림 4 제조압력에 따른 몰리브덴 박막의 단면 미세구조.  
 Fig. 4 SEM morphologies of Mo films at various working gas pressure, (a) 0.5 mTorr, (b) 10 mTorr.

그림 5는 광자에너지(photon energy)에 따른 광 반사율 측정 결과를 나타낸 것이다. 그 결과 0.5 mTorr의 제조 압력에서 가장 양호한 광반사율을 보였으며, 제조압력의 증가에 따라 광 반사율 특성이 감소하였다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이, 제조압력이 낮은 경우 미세구조가 치밀한 구조를 형성하며, 압력이 증가할수록 박막의 표면에 많은 보이드(void)나 크랙(crack)이 생성되게 되어 상대적으로 광 반사율이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

그림 6은 제조된 몰리브덴 박막의 압력에 따른 결정 구조의 변화를 나타낸 것이다. 모든 압력에서  $2\theta$ 가  $40^\circ$  근처에서 최고의 피크(peak)가 관찰되었다. 이러한 결과로부터 몰리브덴 박막이 (110)면의 결정구조를 갖는다는 보고를 뒷받침 해주고 있다[6]. 그림 6(a)은 그림 6(b),(c)를 기준으로 1/5로 축소해서 나타낸 것으로 0.5 mTorr의 낮은 압력에서 제조된 박막의 경우 높은 결정성의 (110)면 피크를 가짐을 볼 수 있다. 이것은

(110)면 피크의 강도가 상대적으로 (211)면 피크보다 높아 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막이 (112)면으로 성장하기 용이한 결정구조로 배열되어 있음을 알 수가 있었다.

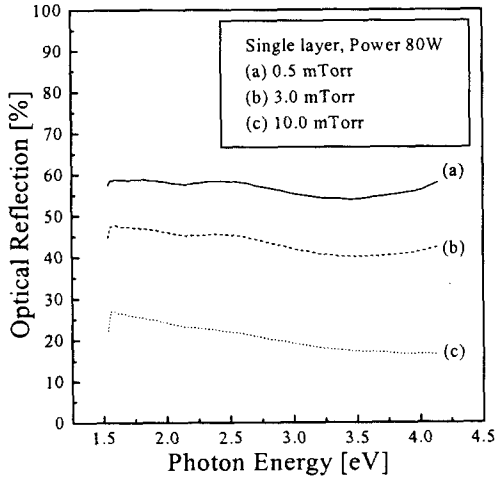


그림 5 제조압력의 변화에 따른 광자에너지와 광 반사율의 특성 변화

Fig. 5 Optical reflection vs. photon energy of sputter-deposited Mo films as a function of the working gas pressure

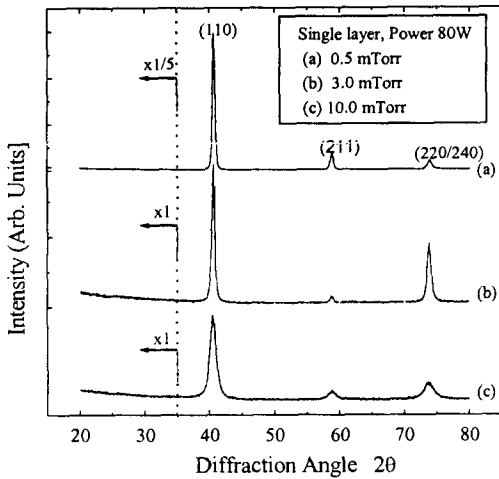


그림 6 제조압력의 변화에 따른 몰리브덴 박막의 결정구조 변화

Fig. 6 XRD analysis of the working gas pressure in the strongly 110-oriented Mo films

그림 7과 같이 제조 압력에 따른 (110)면 피크강도를 관찰한 결과 피크의 위치가 제조압력이 감소함에 따라  $2\theta$  값이 증가하는 쪽으로 이동하고 피크가 좁아지는 경향을 나타내었다. 이 결과는 낮은 압력에서 제조된 박막에서 결정화도가 향상됨을 의미하는 것으로 판단된다. 따라서 Bragg 반사식( $n\lambda = 2d\sin\theta$ )에 의해 낮은 압력에서 제조된 박막일 수록 유리기판과 몰리브덴 박막과의 계면에서의 열팽창계수 차이로 인한 기판의 수축

력이 몰리브덴 박막보다 더 커짐으로 계면부근에서 수축력 (compressive stress)을 받아, 격자상수(lattice constant)가 감소함으로써 발생하는 현상으로 사료된다[8].

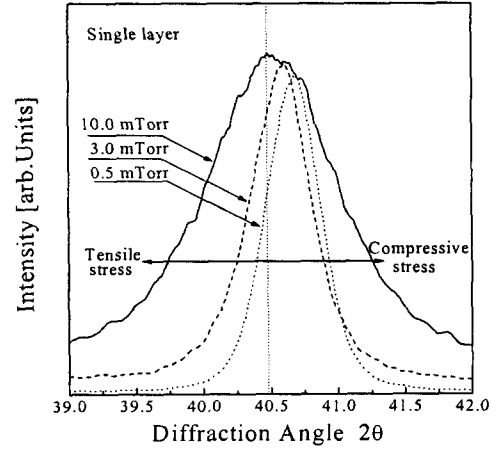


그림 7 제조압력에 따른 몰리브덴 박막의 (110) 피크의 XRD 패턴

Fig. 7 (110) peaks of Mo films shift as a function of the working gas pressure

### 3.3. 박막의 조성분석

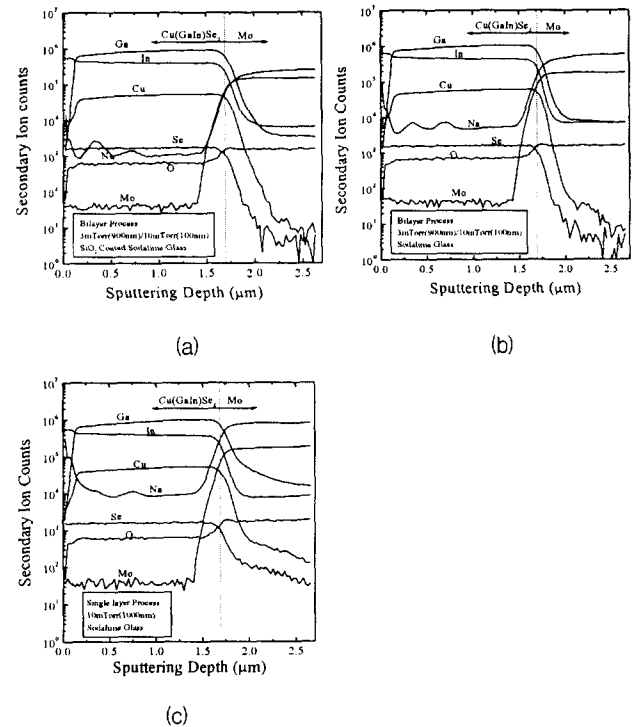


그림 8 기판과 몰리브덴 박막의 제조조건에 따른 Cu(InGa)Se<sub>2</sub>/Mo의 조성분포

Fig. 8 SIMS depth profiles of all elements in Cu(InGa)Se<sub>2</sub> absorber layer deposited on Mo sputtered at various substrate and deposition conditions.

그림 8은 실험에서 얻어진 이중층(bi-layer)박막의 최적제조 조건으로 soda-lime glass와 SiO<sub>2</sub> coated soda-lime glass 에 몰리브덴 박막을 제조한 후, 그 위에 p-type의 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막을 제조한 CIGS/Mo 구조 박막의 depth profile을 2차 이온 질량 분석기(SIMS)로 측정하였다. 그림 8의 (a) SiO<sub>2</sub> coated soda-lime glass, (b) soda-lime glass 위에 이중층(bi-layer)으로 제조한 것이고, 그림 8(c)는 soda-lime glass 위에 10 mtorr 에서 단일 층(single layer)으로 제조한 시료이다. 이 결과에서 원소의 조성분포와 Mo, Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 각 단위 층의 두께 및 각 물질의 농도기울기가 뚜렷이 구분되었다. Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막내의 Cu, In, Ga, Se의 농도는 모든 조건에서 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수가 있었다.

그림 9는 그림 8의 Na, Se, O 3원소의 각각의 농도 분포를 나타낸 것으로 soda-lime glass 사용한 경우보다 SiO<sub>2</sub> coated soda-lime glass를 사용한 경우 Cu(InGa)Se<sub>2</sub>/Mo 구조의 박막 내부에서 농도가 낮음이 확인되었다. 이런 결과는 SiO<sub>2</sub> 방지막이 Na 확산을 억제하기 때문으로 판단된다. 또한 10 mTorr의 압력에서 단일층(single layer)으로 제조된 박막에서는 상대적으로 이중층(bi-layer)로 제조된 경우에 비해서 상대적으로 높은 Na 농도를 보였다. 이와 같이 높은 압력에서 제조된 몰리브덴 박막은 단면이 다공성구조(open structure)를 형성함으로써 인해 결정계면의 치밀성이 감소하여 계면을 통한 Na의 확산이 용이하기 때문으로 판단된다.

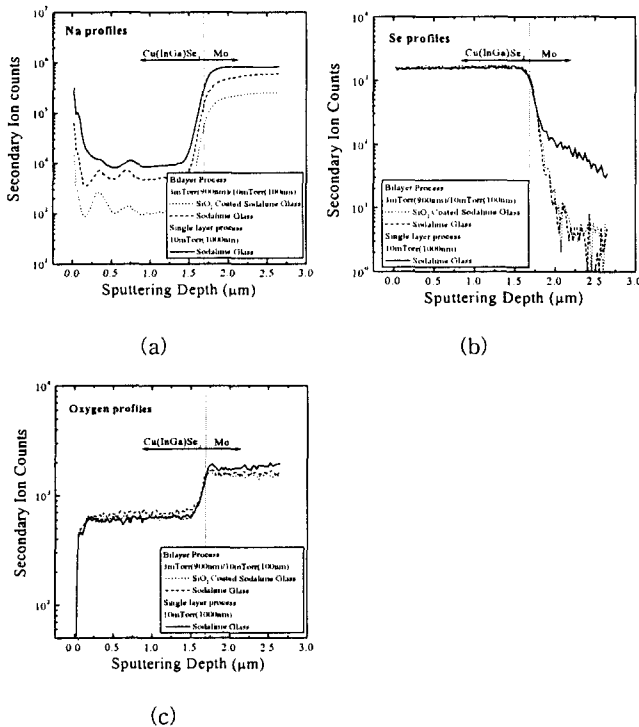


그림 9 기판과 박막 제조조건의 변화에 따른 Cu(InGa)Se<sub>2</sub>/Mo 박막의 Na, Se, O의 조성분포

Fig. 9 SIMS depth profiles of Na, Se and Oxygen elements in Cu(InGa)Se<sub>2</sub> absorber layer deposited on Mo sputtered at various substrate and deposition conditions, (a) Na, (b) Se, (c) O profile

따라서 Mo-selenide와 같은 박막의 형성은 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막과의 오믹접촉(ohmic contact)의 특성저 하를 가져오게 된 그림 9(b)의 Se 농도분포는 높은 압력에서 제조된 몰리브덴 박막은 표면 결합의 형성되어 박막 내부로 Se의 침투가 증가되어 n-type의 Mo-Selenide가 형성되는 것으로 분석된다[8]. 따라서 Na의 확산이 낮더라도 낮은 압력 에서 제조된 몰리브덴 박막이 좋은 특성을 갖는 것으로 사료된다. 그림 9(c)에서 Oxygen 함량은 높은 압력에서 제조된 박막에서 약간 높은 수치를 보이 나 커다란 차이는 없음을 확인할 수가 있었다.

4. 결 론

DC 마그네트론 스퍼터링 장비를 이용한 이중층(bi-layer)의 몰리브덴 박막을 제조하여 후면전극의 최적조건을 도출하고, 기판에 함유된 Na가 몰리브덴 후면전극의 형성 조건에 따라 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막 내부로 확산됨을 조성분석을 통해서 규명하였다. 따라서 전기 비저항(1×10<sup>-5</sup> Ω·cm)이 가장 낮은 3 mTorr의 압력과 접착력이 가장 우수한 10 mTorr의 두 조건에서 이중층(bi-layer) 공정으로 Mo(3mTorr)/Mo(10mTorr) 박막을 제조함으로써 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막의 후면전극으로 손색없는 박막의 제조가 가능하였다.

또한 제조압력의 증가에 따라 유리기판과 금속층인 후면전극과의 열팽창계수의 차이가 발생하여 수축력(compressive stress)에서 인장력(tensile stress)으로 작용하였다. 결정구조 분석을 통해 몰리브덴 후면전극이 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막의 (112) 결정구조와의 결합형성이 용이한 (110) 우선 배향성을 갖음을 확인되었다. 또한 최적조건에서 제조된 몰리브덴 후면전극위에 제조된 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막에서 Cu, In, Ga, Se 등의 4원소가 균일한 농도를 보였다. 특히, Na 농도는 SiO<sub>2</sub> 방지막이 형성된 기판보다 sodalime glass 기판에 제조한 경우 몰리브덴 후면전극을 통해 광흡수층(p-type)인 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> 박막으로 용이하게 확산되었다.

참 고 문 헌

- [1] J. R. Tuttle, M. A. Contrears, J. S. Ward, A. M. Garber, "The Performance of Cu(InGa)Se<sub>2</sub> Based Solar Cells in Conventional and Concentration Applications", Proc. 1996 Spring MRS Meeting, pp.143-147, 1996. 4.
- [2] T. Negami, M. Nishitani, T. Wada, T. Hirao, "Preparation of CuInSe<sub>2</sub> Films on CdS Films for Photovoltaic Applications", 11th European Photovoltaic Solar Energy Conf., pp. 783-786, 1992. 10.
- [3] J. Hedstrom and H. Ohlsen, "ZnO/CdS/Cu(InGa)Se<sub>2</sub> Thin Film Solar Cells with Improved Performance", IEEE 23rd Photovoltaic Specialists Conference, pp.363-371, 1993. 5.
- [4] J. Alleman, D. Ginley, F. Hasoon, S. Asher, R. Noufi, "Enhanced Mo Adhesion on glass with Cr Interlayers for Copper Indium Selenide Thin Film Devices", Proc. of Materials Research Society Symposium, Vol. 426, pp. 195-199, 1996. 4.
- [5] R. J. Matson, J. E. Granata, S. E. Asher, "Effect of Quantitative Incorporation of Na on Device Properties,

- Junction Formation, and Micro-structure in CuInSe<sub>2</sub> Photovoltaic Devices", Proc. of World Renewable Energy Congress V(WREC-V), 1998. 9
- [6] M. A. Contreras, B. Egaas, P. Dippo, J. Webb, S. Asher, "Changes to the Electrical and Structural Properties of Polycrystalline Thin-Film Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Materials by the Use of Thin MF (M=Na,K,Cs) Precursor Layers", Proc. of the 11th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, 1997. 9.
- [7] F. David, E. Dawson, B. Chad, R. Robert, "Substrate Influences on CIS Device Performance", Proc. of IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp.152-155, 1994. 12.
- [8] J. H. Scofield, S. Asher, D. Albin, J. Tuttle, M. Contreras, D. Niles, R. Reedy, A. Tennant, R. Noufi, "Sodium Diffusion, Selenization, and Microstructural Effects Associated with Various Molybdenum Back Contact Layers for CIS-Based Solar Cells", Proc. of IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp. 164-167, 1994. 12.
- [9] M. Bodegard, L. Stolt and J. Hedstrom, "The Influence of Sodium on the Grain Structure of CuInSe<sub>2</sub> Films for Photovoltaic Application", 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp.1743-1746, 1994. 10

## 저 자 소 개



김 석 기 (金錫基)

1962년 12월 3일 생. 1988년 대전산업대 전기공학과 졸업. 1995년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 ~ 현재 동 대학원 박사과정 수료. 1984~현재 한국 에너지 기술연구소 근무

Tel : 042-860-3124, Fax : 042-860-3739  
E-mail : skkim@kier.re.kr



한 상 옥 (韓相玉)

1946년 5월 12일 생. 1986년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1984년 독일 하노버대 방문연구. 1989년 일본 나고야대 방문연구. 2000년 3월 현재 충남대 공대 전기공학과 교수. 대한전기학회 평의원

Tel : 042-821-5655, Fax : 042-823-7970  
E-mail : sohan@hanbat.chunnam.ac.kr