

몰리브덴 전극의 형성조건에 따른 Cu(InGa)Se₂ 박막 태양전지의 특성

| |
|----------|
| 論 文 |
| 50C-12-3 |

Characteristics of Cu(InGa)Se₂ Thin Film Solar Cells with Deposition Condition of Mo Electrode

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

Abstract - Molybdenum thin films were deposited on the soda lime glass(SLG) substrates by direct-current planar magnetron sputtering, with a sputtering power density of 4.44W/cm². The working pressure was varied from 0.5 mtorr to 20 mtorr to gain a better understanding of the effect of sputtering pressure on the morphology and microstructure of the Mo film. Thin films of Cu(InGa)Se₂(CIGS) were deposited on the Mo-coated glass by three stage co-evaporation process. The highest efficiency device was obtained at the maximum value of the tensile stress. The morphology of Mo-coated films were examined by using scanning electron microscopy. The film's microstructure, such as the preferred orientation, the full width at half-maximum(FWHM), and the residual intrinsic stress were examined by X-ray diffraction.

Key Words : Mo film, Cu(InGa)Se₂ film, Stress, d.c. magnetron sputtering

1. 서 론

몰리브덴(Mo)은 금(Au), 니켈(Ni), 은(Ag) 등의 금속을 포함하여 Cu(InGa)Se₂(CIGS) 박막의 전극 물질로 연구되고 있으며, CIGS 광흡수막의 제조는 고온 공정을 필요로 하기 때문에 박막내부로의 확산될 가능성이 없어야 한다. 또한 CIGS 박막 태양전지의 배면전극으로 사용되기 위해서는 높은 용점과 낮은 오음접촉(ohmic contact) 및 셀레늄(Se) 분위기에서의 고온에 대한 안정성이 요구되므로 현재는 Mo 금속이 CIGS 박막 태양전지의 주된 배면전극의 재료로 광범위하게 사용되고 있다[1]

스퍼터된 Mo 입자는 반응 압력, 방전전압 및 타깃과 주입된 원자의 화학조성비와 밀접한 관련성을 갖고 있으며, 성장조건에 따라 다양한 특성의 박막이 제조될 수 있다. 낮은 반응압력에서 제조된 Mo 박막은 높은 운동에너지로 인해 전기비저항이 낮고 치밀한 미세구조를 가지며, 기판과 Mo 박막의 계면에서 수축력을 받게 된다. 반면에 반응압력이 높은 경우는 전기비저항은 커지고 운동에너지의 감소로 다공성의 미세구조를 나타내며, 인장력의 작용을 받게 된다[2]. 따라서 응력(stress) 메커니즘은 원자 peening 운동으로 아르곤 이온이 Mo 박막과의 충돌에 의한 영향으로 격자 거리의 차이가 발생한다[3,4]

CIGS 박막은 태양광발전 소자중 가장 유망한 광흡수층

물질중의 하나로 주목받고 있다. 이것은 화학양론적 조성비의 제어를 통해 p 또는 n형의 제조가 가능하며, 태양전지중에서 광 흡수계수가 가장 높고, 열에 대한 안정성과 내방사성이 가장 우수하다. 화학양론비 즉 Ga/(In+Ga)조성비의 변화로 에너지 밴드갭(1.02 eV < E_g < 1.68)의 제어가 가능한 특징을 갖고 있다[5]. 그러나 유리기판-Mo 및 Mo-CIGS 박막은 상호간에 열팽창계수가 다르기 때문에 격자 부정합(mismatch)이 발생되게 된다. 이는 Mo와 기판의 접촉계면에서의 결합력 감소로 이어지고, 결국에는 Mo 박막이 기판의 표면에서 벗겨지는(peeling)현상이 이루어 질 수 있다. 이러한 결과는 그 위에 형성되는 CIGS 박막에도 영향을 미치게 되어 태양광발전 소자로서 기능을 상실하게 되거나, 혹은 peeling이 발생하지 않았다 하더라도 접촉계면에서의 접착력(adhesion)을 약화시켜 소자로서의 사용을 어렵게 한다.

따라서 이 논문에서는 Mo 박막의 제조압력 변화에 따른 미세구조와 결정상 및 응력 변화가 동시증발법에 의해 제조된 CIGS 박막의 전기적 특성에 미치는 영향을 고찰하고, 최종적으로는 Al/ZnO/CdS/CIGS/Mo/유리기판 구조의 태양전지에서의 광 변환효율에 대해서 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

몰리브덴 박막은 DC 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 제조하였으며, 기판으로는 50 × 50 mm의 soda-lime glass를 사용하였다. 박막 제조시 사용된 아르곤(Ar)가스의 순도는 5N 이며, 몰리브덴 타깃(target)의 크기는 지름 10mm×두께 6mm로 순도 99.999%의 Cerac사 제품을 사용하였다. Mo 박막 제조 전 초기진공은 5×10⁻⁷ torr이하로 유

* 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 : 2001年 9月 25日

最終完了 : 2001年 10月 29日

지시켰다. 박막의 미세구조와 결정상의 변화를 관측하기 위해서 Mo 박막 제조시 반응실의 압력은 0.5~20 mtorr로 조절하였다. 기판과 타겟(target)의 거리는 60 mm이며, 박막의 균일성 향상을 위해 15 rpm의 속도로 회전시켰다. 박막 제조시 인가전력은 4.44 W/cm² 고정하고, 잔존 불순물 제거를 위해 약 5분 정도 예비 스퍼터링 한 후 제조하였다. 하지만 Mo 박막을 제조하는 동안 기판온도가 상온에서부터 약 343K까지 서서히 증가하였다. 이때 제조된 박막의 두께는 대략 0.85 - 1.1 μm이었다.

CIGS 박막은 동시 열 증발장비를 이용하였으며, 박막 제조시 초기압력은 ~10⁻⁷ torr 이하를 유지시켰다. 박막 제조시 사용된 원재료는 구리(Cu), 인듐(In), 갈륨(Ga), 셀레늄(Se)으로 99.999%의 순도를 갖는 Cerac사 제품이다. 각 원소의 조성비 제어는 K-cell의 증발온도의 변화를 통해서 제어하였다. 1단계에서 기판온도를 350℃까지 상승시킨 후 In, Ga 및 Se를 증착하고, 기판온도를 550℃까지 상승시킨 후, 2단계에서 Cu와 Se를 증착하여 결정립이 큰 Cu(InGa)Se₂ 박막을 제조한다. 마지막 3단계에서는 기판온도 550℃로 유지하면서 1단계와 마찬가지로 In, Ga 및 Se를 재증발시켜 Cu(In_{1-x}Ga_x)Se₂ 박막을 제조하는 3단계 공정(three-stage process)으로 제조되었다. 이때 제조된 박막의 두께는 약 2 μm 내외이다. 각 단계의 열 이력곡선은 그림 1과 같다.

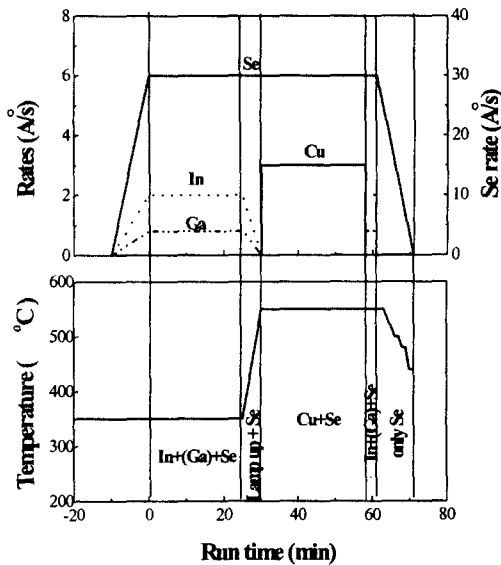


그림 1 3단계의 열이력곡선
Fig. 1 Schematic profile of three-stage process

CIGS 박막 태양전지의 광 변환특성을 알아보기 위해서, Mo 박막 위에 CIGS 박막 위에 CBD(chemical bath deposition) 방법으로 CdS를 약 500Å 증착하고, 그 위에 투명전극인 ZnO는 RF 스퍼터링법으로 제조하였다. 그 다음 Al 전극은 thermal evaporator를 이용하였으며, 직렬저항의 최소화를 위해 약 2μm 두께로 증착하였다. CIGS 박막 태양전지의 제조공정도를 그림 2에 나타내었다. 제조된 박막의 결정상과 결정구조의 확인은 X-선 회절무늬분석기(X-ray Diffractor, Rigaku D/MAX-RC)로 2θ는 10~80° 범위에서 주사속도 4°/min에서 1.5 kW의 강도로 측정되었다. 박막

의 미세구조와 결정립의 크기는 전자주사현미경 (Scanning Electron Microscope, Philips 2000 series)으로 관찰하였고, SEM에 부착된 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)를 이용하여 박막내부의 Cu, In, Ga 및 Se원소의 조성비 변화를 분석하였다. 광반사도는 UV-VIS photometer (Shimadzu 3100, Japan)를 이용하여 파장범위는 300~2000 nm에서 기판에 수직방향으로 광을 입사시켜 측정하였다. 마지막으로 Mo 박막의 제조압력에 따라 제조된 CIGS 박막 태양전지의 광 변환효율은 표준 광 조사 조건인 AM 1.5, 100mW/cm², 측정온도 25℃에서 측정하였다.

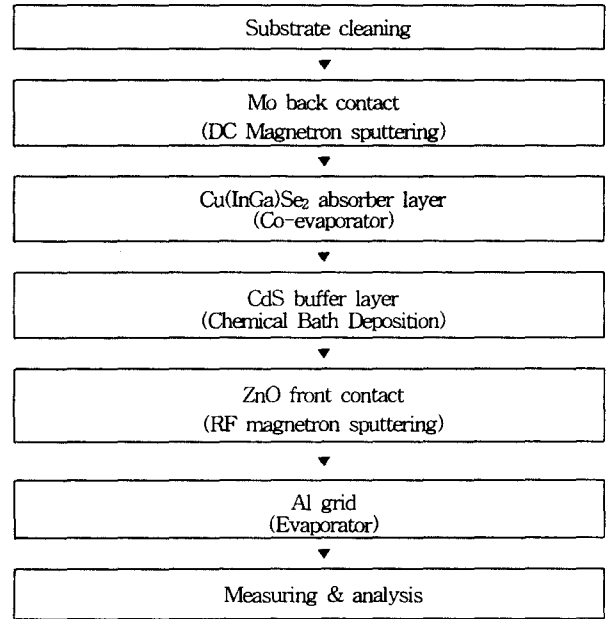


그림 2 Cu(InGa)Se₂ 박막 태양전지의 제조공정
Fig. 2 Fabrication process of the Cu(InGa)Se₂ solar cells

3. 결과고찰

3.1 Mo 박막

그림 3은 직류 반응성 마그네트론 스퍼터링 장치의 Mo 박막 제조압력에 따른 방전전류-전압특성을 나타낸 것이다. 이 특성곡선은 그림에서와 같이 대략 A, B, C 세 영역으로 구분할 수 있다. 여기서, B 영역이 마그네트론의 동작영역으로 방전전압이 약간만 변하여도 방전전류의 변화가 크게 된다. 한편 반응실 제조압력이 더욱더 커질수록 방전전압에 대한 방전전류의 증가현상이 보이고 있다. 이러한 원인은 제조압력의 증가로 스퍼터된 원자와 Ar 중성 가스이온의 에너지 감소로 충돌전리작용이 약화되고, 이로 인해 평균자유행정이 짧아지기 때문으로 고려된다.

그림 4는 Mo 박막의 제조압력에 따른 내부 응력의 측정 결과를 나타낸 것이다. 시료의 응력 측정에 가장 많이 이용되는 sin²φ 법[2]에 의해 구하였으며, Euler angle φ=0이다. 이 결과에 보듯이 제조압력이 증가됨에 따라 수축력(compressive stress)에서 인장력(tensile stress)으로 변화됨을 확인할 수 있었다. 1 mtorr의 제조압력에서 수축력을 보

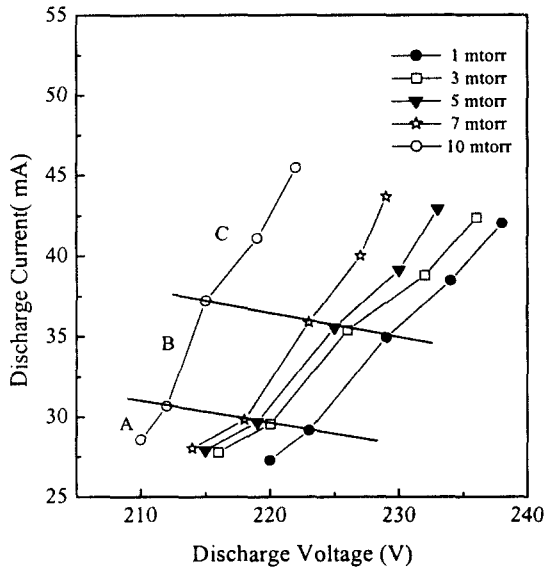


그림 3 직류 반응성 마그네트론 스퍼터링의 방전전류-방전 전압 특성곡선
 Fig. 3 Discharge current vs. discharge voltage characteristics of dc reactive magnetron sputtering

이다가, 3 mtorr 이상의 제조압력에서는 모두가 인장력을 보였는데, 이는 제조압력이 증가함에 따라 박막 내부의 응력 변화가 발생함을 의미한다. 제조압력이 5 mtorr에서 최대 인장력을 보였으며, 그 이후의 제조압력에서는 인장력의 강도가 감소하는 경향을 나타냈다.

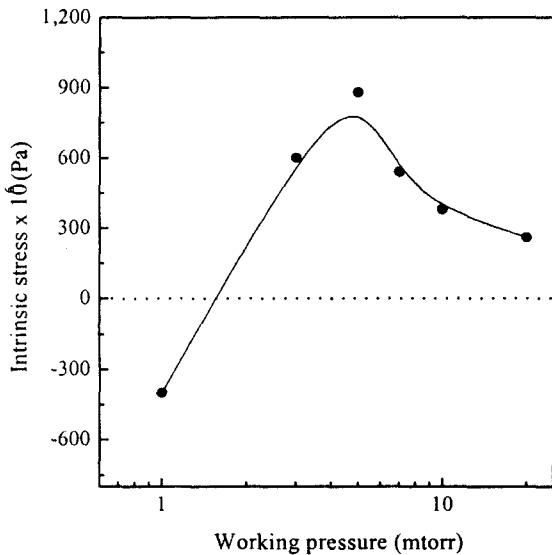


그림 4 Mo 박막의 제조압력에 따른 응력변화
 Fig. 4 Variation of intrinsic stress with working pressure

그림 5는 CIGS 박막 성장전후의 Mo 박막의 제조압력 따른 반가폭(full-width half Maximum)을 나타낸 것이다. 박막의 결정화 정도는 나타내는 반가폭(FWHM)은 X선 회절

무늬의 피크의 최대회절강도의 절반 높이의 회절선 폭의 2θ 값을 나타내는 것으로 박막의 결정성의 척도로 이용되는 인자이다. 이 결과에서 보듯이 제조압력의 증가함에 따라 CIGS 박막 제조전 후의 반가폭이 커짐을 볼 수 있으며, 특히 Mo/glass 박막보다 CIGS/Mo/glass에서 높은 반가폭을 보이고 있다. 이러한 결과는 Mo 박막 위에 유리기판의 연화점부근인 약 550°C에서 CIGS 박막을 성장시킴으로 인한 Mo/CIGS 박막의 계면의 격자 불균형 현상의 발생에 의한 것으로 추정된다.

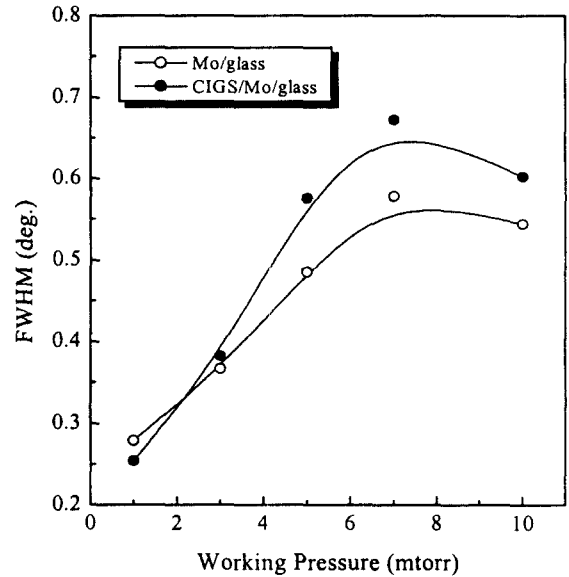


그림 5 CIGS 박막 성장전후의 Mo 박막의 (110)면의 반가폭
 Fig. 5 FWHM of (110) Mo peak of without and with CIGS film

그림 6은 몰리브덴 박막의 X-선 회절무늬에서 얻은 결정 피크의 비대칭성을 나타낸 것으로, 이의 확인을 통해 응력 변화의 예측이 가능하다. 내부의 그림은 피크의 정점을 중심으로 좌측 반가폭(W_1)과 우측의 반가폭(W_2)의 비를 의미한다. 그림에서와 같이 제조압력의 증가에 따라 W_2/W_1 의 비가 서서히 증가하다가, 3 mtorr를 기점으로 감소됨을 볼 수 있는데, 이는 응력의 변화로 면간거리가 다른 면이 존재하고 있음을 의미한다. W_2/W_1 의 비가 1 보다 큰 값을 가지고 있음은 Bragg's Law 법칙에 의거해서, 가장 회절정도가 큰 면간 거리를 기준으로 면간 거리가 작은 면이 큰 면보다 더 많이 존재하게 된다. 따라서 제조압력이 매우 낮을 때는 박막 내부의 응력이 수축력의 지배를 받다가, 더욱더 제조압력을 증가시키면 인장력의 크기가 감소되었으며, 5 mtorr의 제조압력에서 최대 인장력을 얻었다. 모든 제조압력에서 Mo 박막의 전형적인 (110)면의 우선 방향성 피크가 얻어졌으며, 이는 체적 입방정계(body centered cubic)의 격자구조를 형성하고 있음을 의미한다[5].

그림 7은 Mo 제조압력의 변화에 따른 전기비저항과 광 반사율을 나타낸 것이다. 다층으로 형성되는 박막 태양전지는 각 단위 박막의 저항과 접촉저항의 총합인 직렬저항의 최소화를 도모해야 하며, 이를 충족하기 위해서는 기본적으로 Mo 박막의 전기비저항이 낮을수록 유리하다. 결과에서 보이듯이, 고유저항 ($\rho = 5.4 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)을 기준으로 0.5

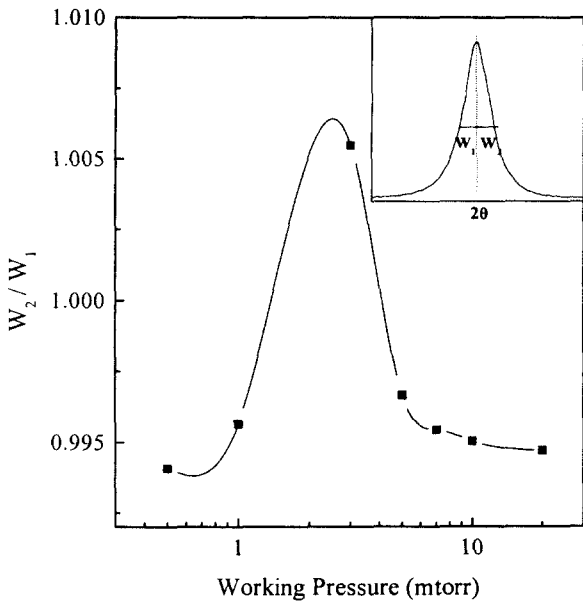


그림 6 Mo 제조압력에 따른 (110)면의 W_2/W_1 의 비대칭성
 Fig. 6 W_2/W_1 values for (110) Mo peak with working pressure

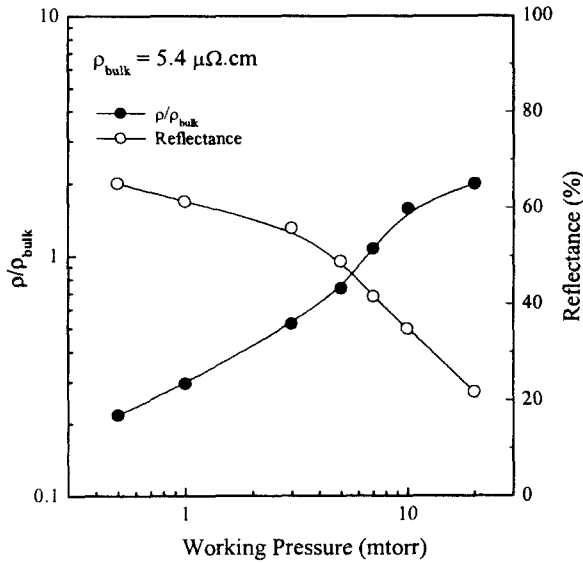


그림 7 Mo 박막의 제조압력에 따른 전기비저항과 반사도
 Fig. 7 Resistivity ρ/ρ_{bulk} and reflectance with working pressure of Mo films

mtorr 에서 제조된 박막은 $12.9 \mu\Omega \cdot cm$ 로 약 2.4배이었으며, 20 mtorr에서 제조된 박막은 $126 \mu\Omega \cdot cm$ 로 약 23.5배로 제조압력이 커짐에 따라 급격한 전기비저항의 증가를 보였다. 이는 제조압력의 변화에 따라 타겟(target)과 충돌하는 Ar+이온의 운동에너지의 차이가 발생하였기 때문으로, 박막의 제조압력이 높을 때는 기판과 Mo 박막간의 부착밀도의 감소나 박막내의 Oxygen의 침투 확률이 높아지기 때문으로 사료된다. 또한 Mo 박막의 전기비저항의 변화는 제조된 박막의 표면 미세구조에도 영향을 미칠 것이며, 결국에는 광

반사율과 직접적인 관련성이 있을 것으로 고려된다. 예상된 바와 같이 광 반사율은 제조 압력이 낮을수록 높게 나타났으며, 제조압력이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이와 같이 광 반사율의 변화는 결국 Mo 박막의 제조압력에 따른 표면 미세구조 차이에 의해 나타난 것으로 판단된다.

표 1 제조압력에 따른 Mo 박막의 전기비저항과 접착력
 Table 1 Electrical Resistivity and Adhesion of Mo Films with working pressure

| Pressure (mtorr) | Electrical | | Adhesion tape test |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | r_{Sheet} (Ω/\square) | ρ ($\mu\Omega \cdot cm$) | |
| 0.5 | 0.113 | 12.9 | medium |
| 1 | 0.145 | 16.8 | pass |
| 3 | 0.249 | 29.2 | pass |
| 5 | 0.367 | 40.4 | pass |
| 7 | 0.566 | 39.6 | pass |
| 10 | 0.847 | 90.6 | pass |
| 20 | 1.196 | 126.8 | pass |

또한 Mo 박막은 박막 태양전지의 배면전극으로써 사용되기 위해서는 전기비저항이 낮고 접착력이 우수해야 한다. 본 실험에서 제조된 시료에서는 테이프 테스트에 의한 접착력 조사 결과 모든 제조압력에서 양호한 결과를 얻었다. 전기비저항, 접착력 측정결과를 표 1에 나타내었다.

그림 8은 제조압력에 따른 Mo 박막의 미세구조 형상을 나타낸 것이다. Mo 박막의 표면미세구조는 1 mtorr에서는 표면형상이 치밀하면서 결정계면을 갖는 작은 미세구조의 형상을 보였다. 최대 인장력을 보이는 5 mtorr에서 제조된 Mo 박막의 표면 형상은 반구형의 가느다란 결정을 보였다. 그러나 인장력이 최대인 영역보다 큰 제조압력에서는 타원 형태의 결정립을 형성하고 치밀도가 감소됨을 보였으며, 이러한 형상은 스퍼터된 Mo 입자에 의한 표면 두드림 현상(peening effect)에 의한 것으로 추측된다[4,7]. 그림 8(f)은 단면 미세구조의 대표적인 예(1 mtorr)로서 모든 제조압력에서 주상구조(columnar structure)를 나타내었으며, 확실히 구분되지는 않으나 수축력 영역 즉 제조압력이 낮은 경우 기둥사이의 간격이 단단한 형상을 가졌으며, 인장력의 영역인 높은 제조압력에서는 기둥간의 계면이 비어있는 다공성의 주상구조를 가졌다[5].

또한 제 2절에서 언급한바와 같이 Mo 박막을 제조하는 동안 기판온도 T는 상온에서부터 343K 까지 상승하였다. 결국 Mo 용점 T_m 을 2883K 라고 하면, T/T_m 의 비율은 0.1에서 0.12로 증가하게 된다. Thornton[7]의 이론에 의하면, 박막의 미세구조는 온도의 영향을 받아 전체적으로 균일하지 않게 된다. 따라서 제조압력이 증가할수록 각 영역(영역 $1 T/T_m \leq 0.1$)의 경계구간이 높은 온도로 이동하고 이는 방전 전압의 감소와 높은 에너지 입자에 의해 산란될 확률이 증가하게 된다. 그러므로 제조압력이 증가하게 되면 Mo 박막은 수축력에서 인장력으로 작용하게 되고, 이는 Mo/유리기판 계면에서 미세한 주상구조가 형성되게 되는 것으로 사료된다. 제조압력의 증가함에 따라 인장력이 최대값을 보이다가 감소하는 현상은 앞에서 설명된 Mo 박막의 구조적

인 차이에 의한 것이다. 또한 이런 결과는 제조압력의 증가에 따른 인장력과 스퍼터 입자의 에너지 감소가 미세구조의 형태 변화에 영향을 미치는 것으로 판단된다[8].

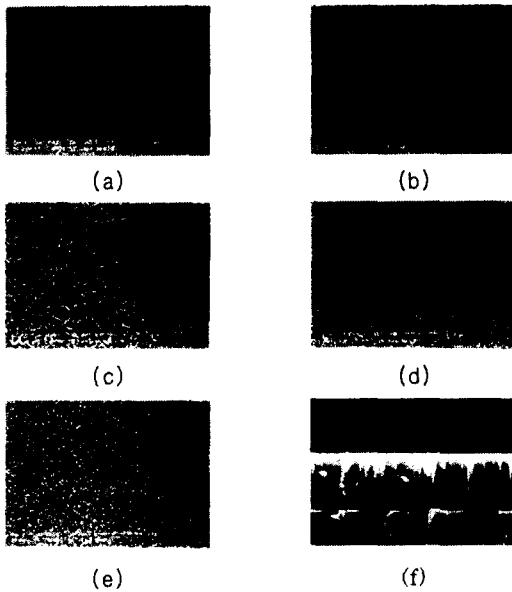


그림 8 제조압력에 따른 Mo박막의 미세구조
(a) 1mtorr, (b) 3mtorr, (c) 5mtorr, (d) 7mtorr,
(e) 10mtorr (f) 1 mtorr(단면)

Fig. 8 The morphologies of Mo films with working pressure
(a) 1mtorr, (b) 3mtorr, (c) 5mtorr, (d) 7mtorr,
(e) 10mtorr, and (f) 1mtorr (cross section)

3.2 CIGS 박막

CIGS 박막은 결국에 Mo 박막의 성장조건과 그 위에 형성되는 CIGS 광흡수층 박막의 형성조건에 따라 상이한 결과가 나타날 것으로 예측된다. 따라서 본 실험에서는 물리브덴 배면전극을 서로 다른 스퍼터 제조압력(1~10 mtorr)에서 박막을 제조한 후, 기판과 각 원소의 증발온도 및 시간을 고정시킨 상태에서 그림 1의 열 이력곡선에 따라 Cu(InGa)Se₂ 박막을 co-evaporator장비로 제조하였다. 이때 EDX에 의해 분석된 MO/CIGS 박막의 화학양론적 조성비 변화를 표 2에 나타내었다. EDX의 측정 오차 ±4%를 고려한다면, Mo 제조압력에 따른 CIGS 박막의 조성비 변화는 크게 나타나지 않는 것으로 보여진다. 그림 9는 Mo/CIGS 박막에 대한 X-선 회절무늬 분석 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 CIGS 박막의 우선 방향성 피크는 (112)면으로 고려되나(JCPDS 35-1102), 본 실험에서 제조된 CIGS 박막의 우선 방향성 피크는 낮은 Mo 제조압력에서는 (220/204) 피크를 보이다가, 높은 제조압력에서는 (112)면의 우선 방향성 피크를 관측할 수 있었다. 이와 같이 Mo 박막의 제조조건 차이가 CIGS 박막의 결정성 변화에 영향을 미치게 되며, 이는 CIGS 박막 태양전지의 광학특성에 직접적인 영향을 주게 될 것으로 추정된다.

표 2 Mo 박막의 제조압력에 따른 Cu/(In+Ga)과 Ga/(In+Ga) 화학조성비

Table 2 Chemical composition in at % and Cu/(In+Ga) and Ga/(In+Ga) ratios with working pressure of Mo films

| P _{Ar} (mtorr) | Compositions at% | | | | Ratios | |
|----------------------------|------------------|-------|------|-------|------------|------------|
| | Cu | In | Ga | Se | Cu/(In+Ga) | Ga/(In+Ga) |
| 1 | 23.35 | 19.35 | 8.36 | 48.93 | 0.84 | 0.30 |
| 3 | 23.69 | 19.43 | 7.75 | 49.12 | 0.87 | 0.29 |
| 5 | 23.35 | 19.49 | 8.3 | 48.86 | 0.84 | 0.30 |
| 7 | 23.76 | 19.33 | 8.4 | 48.51 | 0.86 | 0.30 |
| 10 | 23.38 | 19.2 | 7.46 | 49.96 | 0.88 | 0.28 |

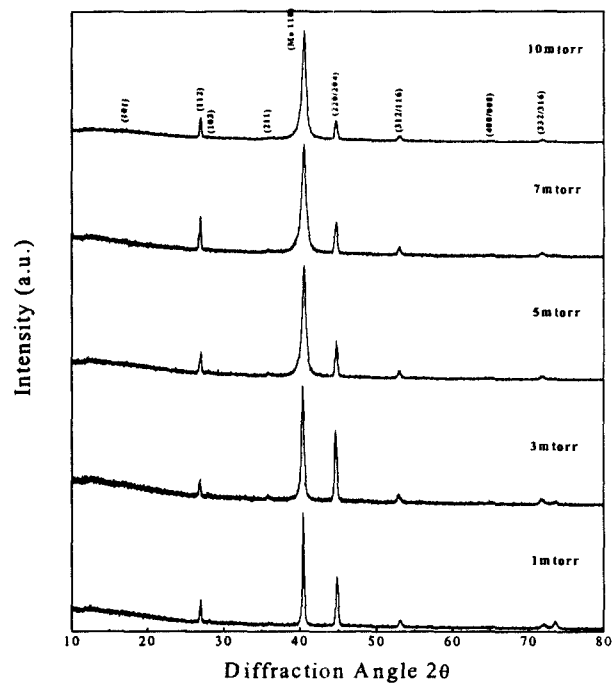


그림 9 제조압력별 Mo/CIGS 박막의 X-선 회절무늬분석
Fig. 9 X-ray diffraction Mo/CIGS films with working pressure

그림 10은 Mo 박막의 제조압력에 따른 태양전지의 특성 변화를 나타낸 것이다. 그 결과 Mo 박막의 제조압력이 매우 낮거나 높을 때 태양전지의 특성이 감소하였으며, 5 mtorr의 제조압력에서 개방전압(Voc), 단락전류(Jsc), 충전율(F.F) 및 광 변환효율이 가장 양호한 결과가 얻어졌다. 결과적으로 CIGS 박막 태양전지의 배면전극으로 사용되기 위해서는 수축력과 인장력의 영역보다 최대 인장력을 보이는 제조압력 위에 형성시킨 CIGS 박막에서 고효율 태양전지의 제조가 가능할 것으로 판단된다.

그림 11 Mo 제조압력의 변화에 따른 CIGS 박막의 광 변환특성을 나타낸 것이다. 이때 광 조사 면적은 0.20 cm² 이고, 대기질량정수(air mass) 1.5 조건인 100mW/cm²의 기준 태양전지로 보정한 후 측정된 전압-전류특성곡선이다. 그

결과 5 mtorr에서 제조된 Mo 박막 위에 형성된 CIGS 박막 태양전지에서 10.69%의 광 변환효율이 가장 높게 나타났다. 이때 개방전압은 510mV, 단락전류는 31.7 mA/cm², 충실도는 66.1% 이었다. 결국 Mo 박막의 제조압력에 따라 상이한 광 변환특성이 얻어질 수 있다. 따라서 태양전지의 배면전극으로써의 역할뿐만 아니라, 고효율의 태양전지를 제조하기 위해서는 Mo 박막의 제조에도 세심한 주의가 요구될 것으로 여겨진다.

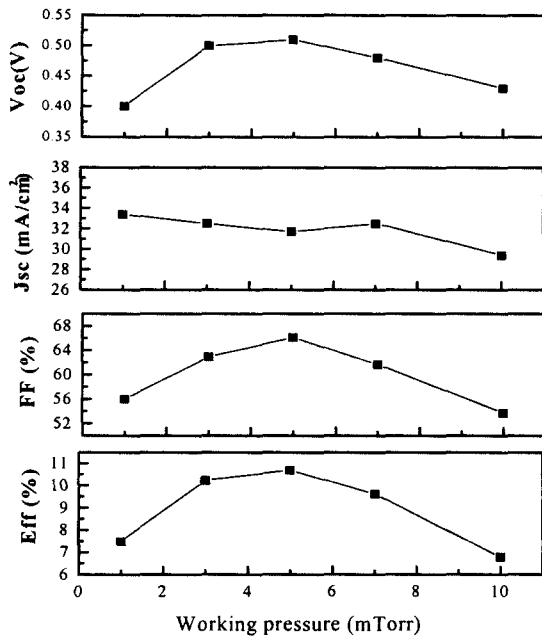


그림 10 Mo 제조압력에 따른 CIGS 태양전지의 특성
 Fig. 10 Characteristics of CIGS solar cell with working pressure of Mo film

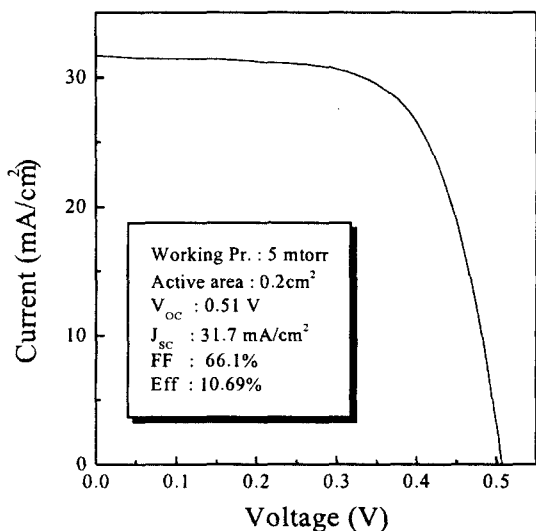


그림 11 Al/ZnO/CdS/CIGS/Mo/Glass 태양전지의 광변환효율
 Fig. 11 Efficiency of Al/ZnO/CdS/CIGS/Mo/Glass solar cell

4. 결 론

본 연구에서는 제조압력에 따른 Mo 박막의 미세구조와 응력과의 관계를 규명하고, 그 위에 형성시킨 CIGS 박막 태양전지의 광학특성에 대해서 고찰하였다. Mo 박막의 제조압력이 증가됨에 따라 수축력에서 인장력으로 변화됨이 관측되었다. 수축력을 받은 Mo 박막의 미세구조는 치밀한 반면, 인장력을 보이는 영역에서 제조된 박막은 다공성의 결정립을 보였다. 모든 박막에서 주상형의 결정립계를 보였다. 인장력 완화영역에서 제조된 Mo 박막 위에 형성시킨 CIGS 박막은 (112)면의 우선 방향성을 보였으며, 수축력과 최대 인장력 영역을 보인 Mo 박막에 형성된 CIGS 박막은 (220/204) 피크가 우선 방향성을 나타내었다. 또한 Al/ZnO/CdS/CIGS/Mo/유리기판의 태양전지 구조에서, 최대 인장력을 보인 5 mtorr의 제조압력에서 가장 양호한 결과를 얻었다. 결국 Mo 박막의 제조압력에 따른 미세구조와 응력 변화가 CIGS 박막 태양전지의 광특성에 영향을 미치는 것으로 여겨진다. 따라서 고효율의 CIGS 박막 태양전지를 얻기 위해서는 단지 전극으로써의 역할뿐만 아니라 Mo 박막의 구조적인 측면에도 관심을 기울여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] B. Ghosh, and M. J. Carter, "A New Contacting Technology to p-CuInSe₂ in Conjunction with a Diffusion Barrier for Improved Adhesion", 13th E.U. Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2013-2015, 1995.
- [2] T. J. Vink, M. A. J. Somers, J. L. C. Daams, and A. G. Dirks, "Stress, Strain, and Microstructure of Sputter-Deposited Mo Thin Films", J. Apply. Phys., Vol. 70, pp.4301-4308, 1991.
- [3] M. Itoh, M. Hori, and S. Nadahara, "The origin of Stress in Sputter-Deposited Tungsten Films for X-ray Masks", J. Vac. Sci. Technol. B9, pp.149-153, 1991.
- [4] T. Yamaguchi, and R. Miyagawa, "Effects of Oxygen on the Properties of Sputtered Molybdenum Films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, 9A, pp. 2069-2073, 1991.
- [5] T. Dullweber, G. Hanna, M. A. Contreras, R. Noufi, and H. W. Schock, "Study of the Effect of Gallium Grading in Cu(InGa)Se₂", Thin Solid Films, Vol. 478, pp.361-362, 2000 .
- [6] H. Windischmann, "An Intrinsic Stress Scaling Law for Polycrystalline Thin Films Prepared by Ion Beam Sputtering", J. Appl. Phys., Vol. 62, pp. 1800, 1987.
- [7] J. A. Thornton, "The Microstructure of Sputter-deposited Coatings", J. Vac. Sci. Technol. A4, pp. 3059-3069, 1986.
- [8] K. Muller, "Stress and Microstructure of Sputter-deposited Thin Films : Molecular Dynamics Investigation, J. Appl. Phys., Vol. 62, pp. 1796-1799, 1987.

저 자 소 개



김 석 기 (金錫基)

1962년 12월 3일 생. 1988년 대전산업대 전기공학과 졸업. 1995년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996~현재 동 대학원 박사과정 수료. 1984~현재 한국에너지기술연구원 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(공학박). 1984년 독일 하노버대 방문연구. 1989년 일본 나고야대 방문연구, 현재 충남대 공대 전기공학과 교수. 대한전기학회 평의원

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