

# CIGSe<sub>2</sub> 박막태양전지용 Mo 하부전극의 물리·전기적 특성 연구

최승훈<sup>a</sup> · 박중진<sup>a</sup> · 윤정오<sup>b</sup> · 홍영호<sup>c</sup> · 김인수<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>(주)유시스텍, 포항 790-834,

<sup>b</sup>경운대학교 항공정보통신공학과, 구미 730-739

<sup>c</sup>경운대학교 항공전자공학과, 구미 730-739,

<sup>d</sup>경운대학교 신소재에너지학과, 구미 730-739

(2012년 2월 24일 받음, 2012년 5월 23일 수정, 2012년 5월 24일 확정)

CIGS 박막 태양전지 기판소재인 소다라임유리 표면에 플라즈마 전처리 후 DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Mo 박막을 제조하였다. 증착압력과 증착시간 변화에 따른 Mo 박막의 물리적, 전기적 특성을 분석하였고, 셀렌화 처리 조건에 따른 MoSe<sub>2</sub> 생성 여부와 경향성을 연구하였으며, Mo 박막 두께에 따른 AZO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 구조의 태양전지를 제조하여 그 특성을 분석 및 평가하였다. 증착압력이 4.9 mTorr에서 1.3 mTorr로 감소할수록 치밀하고 결정입자 사이의 공극이 적고, 증착 속도가 감소하고 전기저항도가 낮은 Mo 박막이 증착되었다. 증착온도가 상온에서 200°C로 증가할수록 Mo 박막은 치밀한 구조를 가지고 결정성은 향상되어 면저항이 낮게 나타났다. 셀렌화 시간이 길어질수록 Mo 박막 층은 줄어들고, MoSe<sub>2</sub> 층 생성 두께가 커지는 것을 알 수 있었고, 열처리로 인해 결정화 되면서 전체 박막의 두께가 줄어들었으며, MoSe<sub>2</sub> 층의 배양성은 c 축이 Mo 표면과 수직 방향으로 성장된 것을 알 수 있었다. Mo 박막의 두께가 1.2 μm와 0.6 μm인 AZO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 구조로 이루어진 CIGS 박막 태양전지를 제조하였다. Mo 박막의 두께가 1.2 μm일 때 보다 0.6 μm일 때 CIGS 박막 태양전지의 변환 효율은 9.46%로 비교적 우수한 특성을 나타냈다. CIGS 박막 태양전지에서 하부전극인 Mo 박막 특성은 유리 기판 및 광흡수 층과의 계면 형성 따라 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었고, 유리기판의 플라즈마 처리와 Mo 박막의 두께 조절로 Na 효과 및 MoSe<sub>2</sub>층 형성 제어함으로써 CIGS 박막 태양전지의 특성 개선에 효과를 가질 수 있었다.

**주제어** : 박막태양전지, 하부전극, 스퍼터링, 소다라임 유리, 박막 증착, 플라즈마 처리

## I. 서 론

태양에너지 분야는 세계 시장에서 급격하게 확대되고 있는 추세이며, 전 세계적으로 태양전지의 개발을 위해 많은 연구를 진행하고 있으며, 한편으로는 상당한 연구 성과를 바탕으로 실용화가 진행되고 있다 [1-3]. 현재 태양광 발전 산업에서 주류인 결정질 실리콘 태양전지의 변환효율은 꾸준히 향상되어 고효율성, 고신뢰도 및 장수명 등의 장점이 있다. 그러나, 태양전지의 가격이 매년 서서히 하락되고 있는 추세에서 결정질 실리콘 가격 상승에 따른 원료 수급의 불균형으로 인한 생산 단가 상승 및 생산 공정 복잡화와 대면적 생산의 어려움으로 인해 고부가 가치 산업유지에 있어서 경쟁력이 저하되고 있다. 또한 태양광의 장시간 노출 시 효율 저하가 발생하여 치명적인 문제가 드러나고 있

다 [2,4]. 이에 비해 CIGS, CdTe 및 비정질 실리콘(a-Si:H) 등의 박막 태양전지는 대면적이 용이하고, 생산공정 과정의 단축으로 인해 저가 생산이 가능하다는 점에서 대규모 발전용 소자로 적합하다.

특히, CIGS 박막 태양전지는 직접천이형 반도체로서  $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 의 높은 광흡수계수를 가지고 있으며, Ga와 Al 등의 3족 원소 또는 6족 원소 S를 첨가함에 따라 광학적 밴드갭을 1 eV~2.7 eV로 폭넓은 범위로 조절할 수 있다. 또한 열적으로 매우 안정하기 때문에 장시간 빛에 노출되어 전지가 열에 노출되었을 경우에도 효율감소를 거의 보이지 않으며, 내습성도 우수한 것으로 보고되고 있다 [5,6].

현재 CIGS 박막 태양전지는 연구실에서 세계적으로 20.3% 높은 효율을 보고하고 있으며, 모듈급에서도 13% 효율로 생산되고 있다 [7]. CIGS 박막 태양전지의 구조는

\* [전자우편] iskim@ikw.ac.kr

여러 층의 단위박막(하부전극, 광흡수층, 버퍼층, 앞면 투명전극, 반사방지막)을 순차적으로 형성시켜 만든다. 이 중 하부전극으로 사용되는 물질은 우수한 전기적 성질을 가지는 것은 물론 기판과의 열팽창계수 차이로 인한 박리 현상이 일어나지 않도록 기판과의 부착성이 뛰어나야 한다. 또한 CIGS 박막 태양전지의 하부전극으로 사용되기 위해서는 고온 공정 중에 In과 Cu 등의 성분이 박막내부로 확산될 가능성이 없어야 하고 높은 용점과 낮은 오옴 접촉(ohmic contact) 및 셀렌늄(Se) 분위기에서 고온에 대한 안정성이 요구되고 있다 [8-11]. 현재는 Mo 금속이 가장 적합한 재료로 알려져 있고, 하부전극의 재료로 광범위하게 사용되고 있다. Mo 하부전극은 대부분 DC 마크네트론 스퍼터링 방법으로 증착하여 사용하는데, 이는 스퍼터링을 이용하여 낮은 저항을 가지면서 재현성이 좋은 박막을 쉽게 얻을 수 있기 때문이다. 스퍼터링 공정 시 공정 압력, 방전전압 및 공정온도 등과 밀접한 관련성을 갖고 있으며, Mo 박막의 형성조건 변화에 따라 다양한 특성의 박막이 제조될 수 있다 [12,13].

본 논문에서는 In-line magnetron sputtering system을 사용하여 기판소재인 소다라임유리 표면에 플라즈마 전처리 후 DC 마크네트론 스퍼터링 방법으로 증착압력과 증착시간 등에 따른 Mo 박막의 물리적, 전기적 특성을 분석하였고, 셀렌화 처리 조건에 따른 MoSe<sub>2</sub> 생성 여부와 그 특성을 연구하였으며, Mo 박막 두께에 따른 AZO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 구조의 태양전지를 제조하여 그 특성을 분석 및 평가하였다.

## II. 실험 방법

실험에서 사용된 기판유리는 소다라임유리(soda lime glass)로 60×60 cm<sup>2</sup> 크기로 3 mm 두께를 사용하였고, 전처리 세정으로 아세톤, 에탄올 및 deionized water를 사용하여 초음파 세척을 하였다. 기판유리의 플라즈마 전처리를 위해 In-line magnetron sputtering system를 사용하여 기본 압력을 rotary pump, booster pump 및 터버분자펌프(tuber molecular pump, TMP)를 이용하여 1.0×10<sup>-6</sup> Torr로 낮추었고, MFC (mass flow controller)를 사용하여 순도 99.99% Ar 가스를 350 sccm 주입하여 플라즈마 처리 공정압력을 3.2 mTorr로 조절하였다. 플라즈마 처리

시 사용한 이온소스는 엔드홀(end hall)이며, 이온소스의 파워는 3 kW (3,000 V, 1 A)로 하였고, 처리 시간은 2분 30초로 유지하였다. 균일한 처리효과를 위해 유리 기판은 운송 장치(carrier)를 이용하여 1,200 mm/min의 속도로 이송시켰다.

Mo 하부전극 형성을 위해 플라즈마 전 처리한 소다라임 유리를 사용하였고, Mo 박막의 증착은 In-line magnetron sputtering system 내에 장착되어 있는 DC 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하였다. 스퍼터링에 사용한 Mo 타겟은 순도 99.99%에 1,100×200 mm<sup>2</sup>을 크기를 사용하였고, 기판과 Mo 타겟 간의 거리는 85 mm로 고정하였다. 박막 제조 시 외부로부터 오염을 최대한 줄이기 위해 rotary pump, booster pump 및 터버분자펌프(turbo molecular pump)를 이용하여 챔버(chamber) 내의 진공도(base pressure)를 5.0×10<sup>-7</sup> Torr 이하로 압력을 최소화함으로써 오염가능성을 최대한 줄였다. DC 스퍼터 건(sputter gun)의 파워(power)는 7.26 kW로 공급하였으며, Mo 증착시 균일한 박막 형성을 위해 기판 운송 장치(carrier)의 이동 속도 500 mm/min로 고정하여 반복(scan repeat) 하였다. 주요 공정변수로 증착 압력, 증착 시간, 그리고 증착 온도를 선택하여 실험하였다.

증착압력은 순도 99.99%의 Ar 가스를 각각 400 sccm, 650 sccm 및 1,050 sccm 공급하여 1.3 mTorr, 3.0 mTorr 및 4.9 mTorr로 압력을 조절하여 Mo 박막을 제조하였다. 증착시간은 반복 횟수(scan repeat)에 의존하므로 운송장치의 반복횟수를 1회, 2회, 4회, 6회 및 8회로 조절하여 공정압력 1.3 mTorr에서 각각 Mo 박막을 증착하였다.

MoSe<sub>2</sub>층의 제조 방법으로 먼저 증착압력 1.3 mTorr와 파워 7.26 kW로 제조된 1.31 μm 두께의 Mo 박막 위에 증발법(evaporation)으로 Se를 증착하고 셀렌화 시간에 따른 MoSe<sub>2</sub> 형성 여부를 확인하기 위해 각각 5분, 20분, 25분 및 40분으로 셀렌화 시간을 조절하여 제조 하였다.

CIGS 박막 태양전지의 변환효율 특성을 확인하기 위해 AZO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 구조의 태양전지를 제조하였다. 제조 방법으로 플라즈마 전처리 한 소다라임유리 기판에 공정압력 1.3 mTorr와 7.26 kW의 공정 조건으로 제작한 SLG/Mo 시편 위에 In/CuGa (24 wt%)를 타겟으로 하여 DC 마크네트론 스퍼터링을 사용하여 CIG를 형성하였고, 증발(evaporation)법으로 Se를 증착하여 RTP (Rapid Thermal Process)에서 열처리(selenization) 함으로써

CIGS 광흡수층을 제조하였다. 다음으로 버퍼층을 CdSO<sub>4</sub>, Ammonia 및 순수(DI water) 혼합한 용액을 사용하여 습식(chemical bath) 증착법으로 10분간 유지하여 CdS 층을 형성하였다. 그리고 RF (radio frequency) 스퍼터링법으로 Ar 80 sccm과 O<sub>2</sub> 2 sccm의 분위기에서 공정압력을 3 mTorr 유지 후 1.5 kW의 파워로 i-ZnO층을 증착하였다. 최종적으로 상부전극인 AZO를 Ar 80 sccm과 O<sub>2</sub> 1 sccm으로 3 mTorr의 공정압력을 유지 후 5 kW로 증착하였으며, grid 전극을 형성함으로써 CIGS 박막 태양전지를 최종 제작하여 그 특성을 평가하였다.

제조된 박막의 표면에서 각각의 공정 조건에 따른 결정입자의 형태와 크기를 관찰하고 또한 박막의 단면에서 박막의 성장형태와 계면특성, 그리고 증착 두께를 측정하기 위해 주사전자현미경(Secondary Electron Microscope, SEM)을 사용하였으며, 박막의 결정성을 확인하기 위해 X선 회절기(X-Ray Diffractometer, XRD)를 사용하여 분석하였다. 박막의 전기적 특성을 확인하기 위해 4침 탐침 장비(4-point probe)를 사용하여 각 조건에 따라 형성된 박막의 면저항(sheet resistance)을 상온에서 측정하여 비교 분석하였다. 그리고 CIGS 박막태양전지를 제작하여 solar simulator를 사용하여 개방전압(open circuit voltage, Voc), 단락전류(short circuit current, Isc), 곡선인자(fill factor, FF) 및 변환효율(efficiency) 등의 특성을 분석하여 하부전극인 Mo 박막의 물리·전기적 특성에 따른 CIGS 박막 태양전지에 대한 영향에 대해 평가 및 고찰하였다.

### III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 DC 전원을 7.26 kW로 공급하였을 때 공정압력

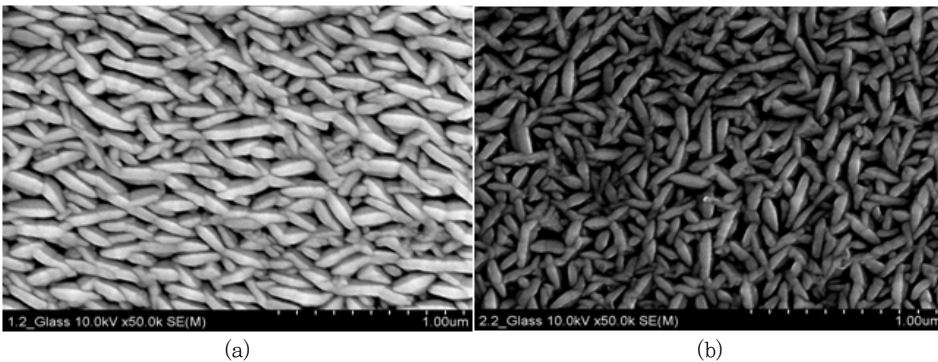


Figure 2. SEM morphologies of the Mo films deposited at an Ar pressure of (a) 1.3 mTorr and (b) 4.9 mTorr.

에 따라 변동되는 전압과 전류의 값을 나타낸 것이다.

먼저 전압을 변동을 살펴보면 공정압력이 1.3 mTorr일 때 300 V, 3.0 mTorr일 때 285 V, 그리고 4.9 mTorr일 때 278 V로 공정압력이 증가할수록 전압의 값은 감소되었다. 전류의 변동은 1.3 mTorr일 때 24.2 A, 3.0 mTorr일 때 25.4 A, 그리고 4.9 mTorr일 때 26.1 A로 공정압력이 증가할수록 전류 값도 같이 증가되었다. 이것은 공정압력의 증가로 인해 공정에 참여하는 Ar 가스의 밀도가 증가되면서 스퍼터된 원자와 Ar 중성 가스이온의 에너지 감소로 충돌전리작용이 약화되고, 이로 인해 평균자유이동거리(mean free path)이 짧아지기 때문에 더 많은 이온과 전자들이 생성되어 전류의 흐름이 증가되고 반대로 전압은 감소되어지는 것이다.

Fig. 2는 (a) 1.3 mTorr와 (b) 4.9 mTorr의 공정압력에서 증착한 Mo 박막의 표면 미세조직을 SEM으로 관찰한 것이다.

1.3 mTorr에서 관찰된 Mo 박막의 결정입자 형태는 길

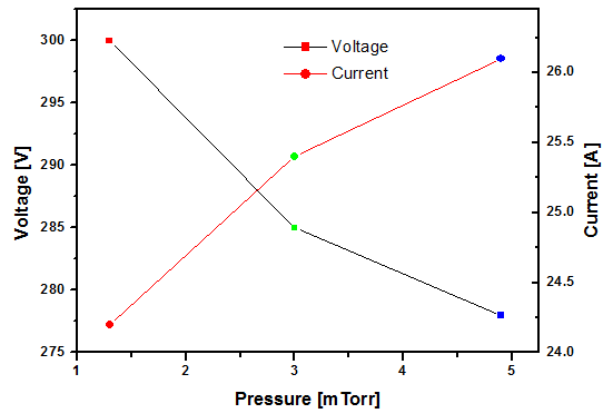


Figure 1. Discharge current and voltage characteristics of DC magnetron sputtering.

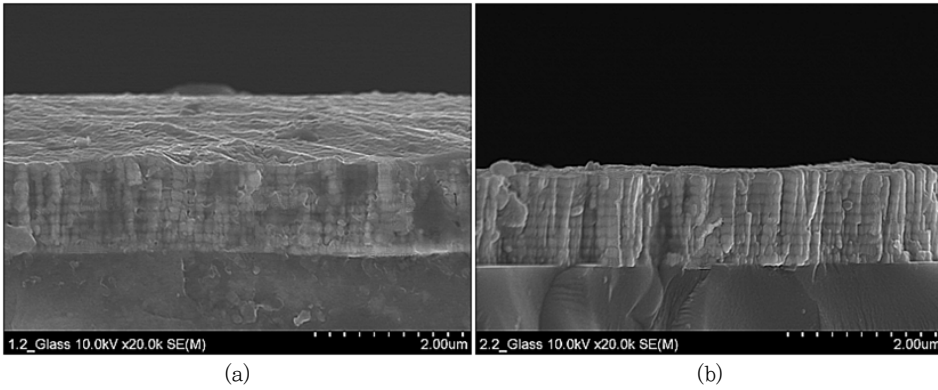


Figure 3. SEM cross sectional images of the Mo films deposited at an Ar pressure of (a) 1.3 mTorr and (b) 4.9 mTorr.

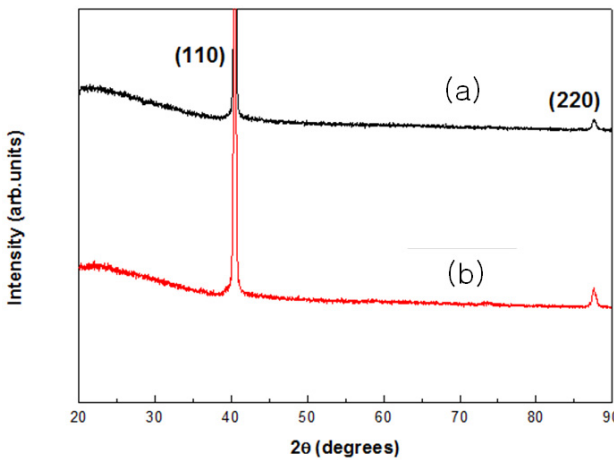


Figure 4. X-ray diffraction spectra of the Mo films grown at different working pressures (a) 1.3 mTorr and (b) 4.9 mTorr.

고 조밀하게 형성되어 결정입자 사이 간격이 매우 치밀하게 보이는 것을 알 수 있다. 이에 비해 4.9 mTorr에서 관찰된 Mo 박막의 결정입자 형태는 비교적 짧게 형성되었고 결정입자 사이 간격이 넓어 공극이 간간히 발생된 것을 알 수 있다. 이것은 Mo 결정입자 사이에 공극이 증가함에 따라 산소와 결합률이 증가되어 Mo 입자사이에 산화입자가 형성될 가능성이 높아지고, 이러한 산화입자는 전기적 저항에 부분적 결함(defect)이 되기 때문에 Mo 박막의 전체의 저항에 악영향을 미치게 된다 [13].

Fig. 3은 (a) 1.3 mTorr와 (b) 4.9 mTorr의 공정압력에서 증착한 Mo 박막의 단면을 SEM으로 관찰한 것이다.

두 시편 모두 주상조직(columnar grain)으로 성장한 것을 확인할 수 있었고, 각각의 Mo 박막의 증착 두께는 (a) 1.3 mTorr에서 1.24 μm로 (b) 4.9 mTorr에서 1.27 μm로 측정되었다. Mo 박막의 두께 변화를 볼 때 공정압력이 높

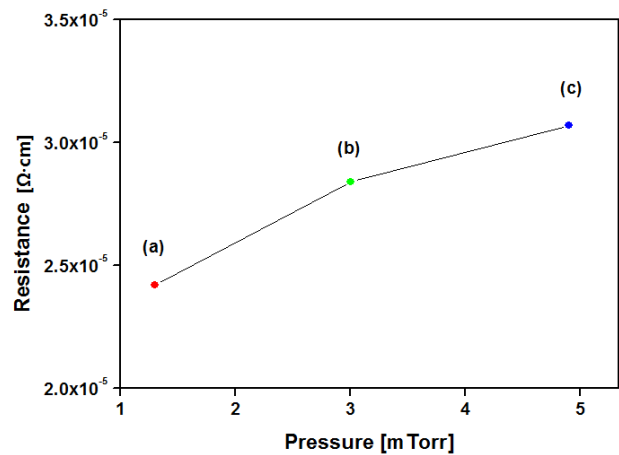


Figure 5. Resistance of Mo thin film deposited at different working pressure (a) 1.3 mTorr, (b) 3.0 mTorr, and (c) 4.9 mTorr.

은 조건에서 증착 속도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 (a) 1.3 mTorr와 (b) 4.9 mTorr 공정압력에서 제조된 Mo 박막의 결정성을 나타낸 XRD의 분석 결과이다.

공정압력에 관계없이 2θ가 40°의 부근에서 가장 크게 (110) peak가 관찰되었는데, 이것은 증착된 Mo 박막들이 cubic 결정구조를 형성하고 있음을 나타낸다. 일반적으로 Mo 박막은 (110) 피크이외에 2차상(secondary phase)인 (211) 및 (220) 피크를 나타내지만 본 실험에서는 이차상으로 (220) peak만 나타났다 [8].

Fig. 5는 공정압력에 따라 제조된 Mo 박막을 4-point probe를 사용하여 분석한 저항 특성 결과이다.

각각 저항 특성이 (a) 1.3 mTorr에서 2.42 × 10<sup>-5</sup> Ω·cm, (b) 3.0 mTorr에서 2.84 × 10<sup>-5</sup> Ω·cm, 그리고 (c) 4.9 mTorr에서 3.07 × 10<sup>-5</sup> Ω·cm로 공정압력이 증가할수록 저항 특성은 나빠지는 것을 알 수 있었다. Mo의 고유저항은

$5.4 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 1.3 mTorr에서 증착한 Mo 박막이 가장 근접한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 공정압력이 증가함에 따라 공정 영역에 머무르는 Ar 가스의 양이 증가되어 플라즈마의 밀도가 증가함으로써 Ar 이온의 스퍼터링 효과가 증대되어 박막의 증착 속도가 빨라진 것으로 보여진다. 반대로 공급되는 power가 일정한 상태에서 공정압력이 낮아지면 플라즈마 밀도는 감소되면서 Ar 이온의 스

퍼티링 효과도 줄어들지만 충돌 전리작용의 강화로 인해 각각의 입자들이 가지는 에너지는 높아지고 평균자유이동 거리(mean free path)가 길어짐으로써 기판과 Mo 박막의 부착성이 증가되고, 박막내의 oxygen의 침투확률을 감소 시킴으로써 결정립사이의 공극이 적고 조밀하면서 결정성은 우수한 박막을 형성하는 것으로 사료되며 이로 인해 전기적인 저항 특성이 우수해지는 것으로 판단된다.

플라즈마 전처리를 단계를 거친 소다라임 기판에 공정압력 1.3 mTorr에서 7.26 kW로 Mo 박막을 두께 별로 각각 증착을 하여 두께에 따른 Mo 박막의 특성을 분석 평가하였다.

Fig. 6은 증착시간(scan repeat)과 증착된 Mo 박막의 두께 따른 면저항과 비저항 특성에 대해 나타낸 그래프이다.

Mo 박막의 두께는 증착시간의 증가에 따라  $0.15 \mu\text{m}$ 에서  $1.24 \mu\text{m}$ 까지 증착되었고 증착시간에 따라 비교적 일정한 비율로 증착되었다. 면저항은 Mo 박막의 두께가 증가함에 따라  $2.75 \Omega/\text{sq}$ 에서  $0.195 \Omega/\text{sq}$ 로 감소하였고, 특히 Mo 박막의 두께가 약  $0.6 \mu\text{m}$ 에서  $1.2 \mu\text{m}$ 까지 면저항이 약 0.34에서  $0.19 \Omega/\text{sq}$ 으로 비교적 우수하게 나타났는데, 이는 NREL에서 제시한 태양전지 변환효율 20% 이상을 이루기 위한 Mo 박막의 면저항  $0.24 \Omega/\text{sq}$  이하의 조건에 일부

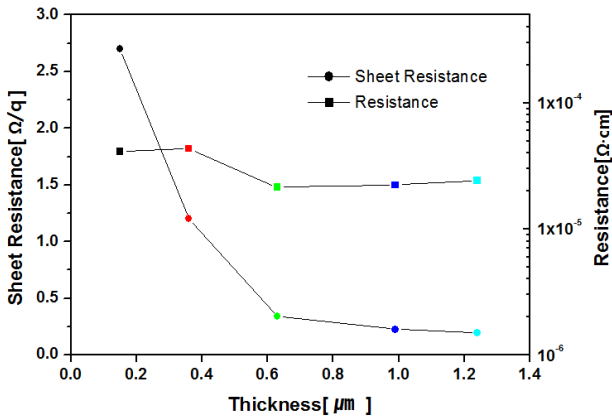


Figure 6. Electrical resistivity of Mo films as a function of the thickness.

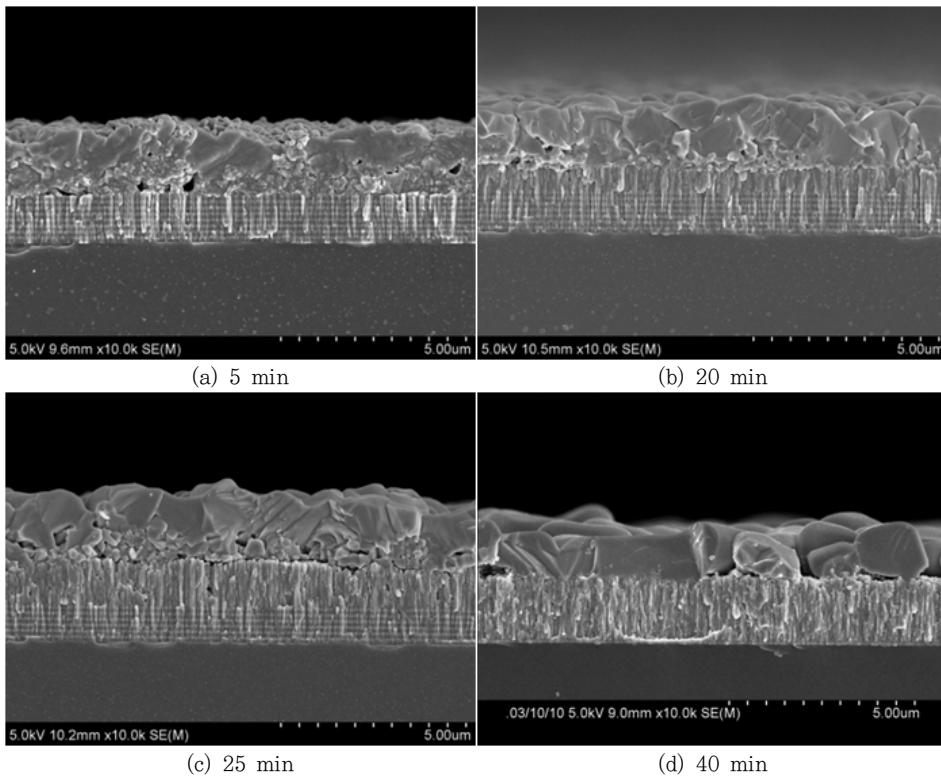


Figure 7. SEM images of MoSe<sub>2</sub> thin film device cross-sections after selenization; (a) 5 min, (b) 20 min, (c) 25 min, and (d) 40 min.

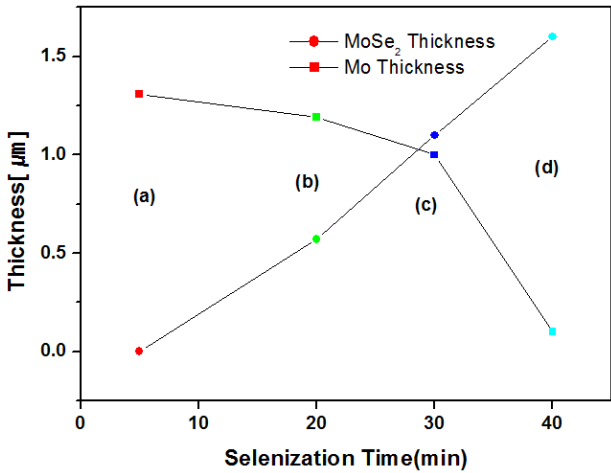


Figure 8. Thickness data of the MoSe<sub>2</sub> films for selenization time at (a) 5 min, (b) 20 min, (c) 25 min, and (d) 40 min.

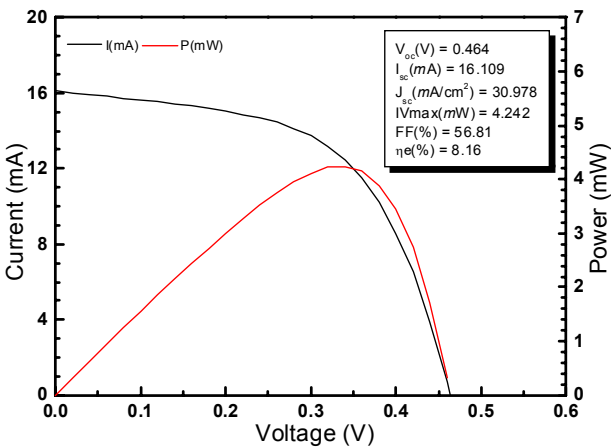


Figure 9. I-V Characteristics for CIGS solar cells with 1.2 μm thickness Mo film.

부합하는 결과이다 [14]. 비저항의 경우 Mo 박막의 두께가 약 0.63 μm에서 1.24 μm까지 약  $2.1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 에서  $2.4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 비교적 낮은 저항도를 나타냈다.

Se/Mo/SLG 구조의 시편을 제조하여 셀렌화 시간에 따른 MoSe<sub>2</sub> 형성 여부를 확인하기 위해 각각 5분, 20분, 25분 및 40분으로 셀렌화 시간을 조절하였다.

Fig. 7은 셀렌화 시간에 따라 생성된 MoSe<sub>2</sub>/Mo/SLG 구조의 단면을 SEM으로 측정 한 결과 나타난 것이다.

셀렌화 시간에 따라 MoSe<sub>2</sub>의 생성 여부를 잘 보여주고 있는데, 셀렌화 후 전체적인 박막의 두께가 줄어들었으며, 생성된 MoSe<sub>2</sub> 층의 배양성은 c축이 Mo 표면과 수직 방향

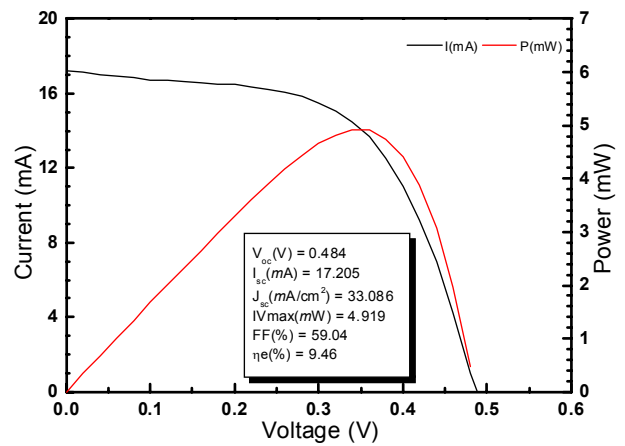


Figure 10. I-V Characteristics for CIGS solar cells with 0.6 μm thickness Mo film.

으로 성장된 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 배양성은 모듈을 제조할 때의 기계적인 절단을 용이하게 하는 장점이 있다 [12].

Fig. 8은 셀렌화 시간에 따른 MoSe<sub>2</sub>의 생성 두께와 Mo 박막의 두께 변화 경향을 나타낸 결과이다.

셀렌화 시간 (a) 5 min에서는 거의 MoSe<sub>2</sub> 층이 형성되지 않았고, (b) 20 min 경과 시 약 0.57 μm 두께로 MoSe<sub>2</sub>이 생성되었으며, (c) 25 min 경과 시에는 약 MoSe<sub>2</sub>이 약 1.1 μm가 생성 되었고, 그리고 (d) 40 min 경과 시 MoSe<sub>2</sub>이 약 1.6 μm 두께로 대부분의 Mo 층이 MoSe<sub>2</sub>으로 변환되어 생성되었다. 이런 결과로 볼 때 셀렌화 시간이 길어질수록 Mo 박막 층은 줄어들고, MoSe<sub>2</sub> 층 생성 두께가 커지는 것을 알 수 있었다. MoSe<sub>2</sub> 형성은 CIGS/Mo 간의 오믹접촉 특성을 존재하게 하여 변환효율 개선에 영향을 주고, MoSe<sub>2</sub>의 생성은 또한 Na의 존재와도 관계가 있다고 알려져 있기 때문에 적절한 MoSe<sub>2</sub> 층의 두께는 CIGS 박막 태양전지의 변환효율 개선에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

Mo 박막의 특성에 따른 CIGS 박막 태양전지의 효율에 미치는 영향을 연구하기 위해 Mo 박막의 두께를 각각 0.6 μm와 1.2 μm로 증착된 기판을 사용하여 AZO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 구조로 이루어진 두 개의 CIGS 박막 태양전지 시편을 제작하였다. 이 두 시편을 같은 조건하에서 CIGS 박막 태양전지를 제조하였으며, solar simulator를 사용하여 면적 0.64 cm<sup>2</sup>에서 개방전압(Voc), 단락전류(Isc), 곡선인자(FF) 및 변환 효율을 측정 및 분석하였다.

Fig. 9는 Mo 박막의 두께가 약 1.2 μm로 증착 제작된

CIGS 박막 태양전지의 I-V 특성을 나타낸 것이다.

CIGS 박막 태양전지의 개방전압( $V_{oc}$ )은 0.464 V이고, 단락전류( $I_{sc}$ )는 16.109 mA로 측정되었으며, 이에 따른 전류밀도( $J_{sc}$ )는  $30.978 \text{ mA/cm}^2$ 와 곡선인자(FF)는 56.81%로 나타났다. 그리고 CIGS 박막 태양전지의 변환 효율은 8.16%의 특성이 나타났다.

Fig. 10은 Mo 박막의 두께가 약  $0.6 \mu\text{m}$ 로 증착 제작된 CIGS 박막 태양전지의 I-V 특성을 나타낸 것이다.

CIGS 박막 태양전지의 개방전압( $V_{oc}$ )은 0.484 V이고, 단락전류( $I_{sc}$ )는 17.205 mA로 측정되었으며, 이에 따른 전류밀도( $J_{sc}$ )는  $33.084 \text{ mA/cm}^2$ 와 곡선인자(FF)는 59.04%로 나타났다. 그리고 CIGS 박막 태양전지의 변환 효율은 9.46%로 비교적 우수한 특성이 나타났다.

위의 결과로 보자면 Mo 박막의 두께가  $1.2 \mu\text{m}$ 일 때 보다  $0.6 \mu\text{m}$ 일 때 CIGS 박막 태양전지의 특성이 더 우수하게 나타났다. 이것은 앞의 Mo 박막의 전기적 특성에서 두께가  $0.6 \mu\text{m}$ 와  $1.2 \mu\text{m}$ 일 때 비저항이 차이가 미세하였기 때문에 Mo 박막 자체의 비저항 특성보다는  $\text{MoSe}_2$ 이나 Na 확산의 영향이 더욱 지배적인 것으로 추론된다. 일반적으로 Mo 박막의 두께가 커질수록  $\text{MoSe}_2$  형성 시 참여하는 Mo 양이 증가하므로 생성되는  $\text{MoSe}_2$  양도 많아져 그 두께가 두꺼워 짐으로써 오믹 접합에 악영향을 미친 것으로 보여지고 이것으로 볼 때 본 실험에서 Mo 박막의 저항특성이 Mo 박막의 두께가  $1.2 \mu\text{m}$ 일 때 보다  $0.6 \mu\text{m}$ 일 때 Mo 박막의 전체적인 하부전극의 특성이 좀 더 개선된 것이라 추론된다. 또한 Mo 박막층의 두께가 작을수록 소다라임 기판에서 확산되는 Na의 이동거리가 짧아지기 때문에 Na의 확산이 과도해지고 이것은 깊은 준위 생성으로 인해 태양전지의 특성에 역효과를 가져 올 수 있다. 이것으로 볼 때 Mo 박막의 두께가  $1.2 \mu\text{m}$ 일 때보다  $0.6 \mu\text{m}$ 일 때 적절한 Na 확산효과에 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 이는 소다라임 기판의 플라즈마 처리로 인해 기판과 Mo 층간의 계면 밀도가 조밀해지고 흡착력 또한 증가되어 Na 확산에 직접적인 영향을 미친 것으로써 과도한 Na 확산을 제어한 것으로 추론되어진다.

#### IV. 결 론

CIGS 박막 태양전지 기판소재인 소다라임 유리 표면에

플라즈마 전처리 후 DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Mo 박막을 제조하였다. 증착압력과 증착시간 등에 따른 Mo 박막의 물리적, 전기적 특성을 분석하였고, 셀렌화 처리 조건에 따른  $\text{MoSe}_2$  생성 여부와 그 특성을 분석하였으며, Mo 박막 두께에 따른 AZO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 구조의 태양전지를 제조하여 그 특성을 분석 및 평가하였다.

증착압력이 감소할수록 조밀하고 결정입자 사이의 공극이 적은 Mo 박막이 형성되었고, 증착속도 및 면저항도 감소하였다. 증착온도가 증가할수록 Mo 박막의 결정성이 향상되고, 면저항이 우수하게 나타났다. 셀렌화 시간이 길어질수록 Mo 박막 층은 줄어들고,  $\text{MoSe}_2$  층 생성 두께가 커지는 것을 알 수 있고, 열처리로 인해 결정화 되면서 전체 박막의 두께가 줄어들었으며,  $\text{MoSe}_2$  층의 배양성은 c 축이 Mo 표면과 수직 방향으로 성장된 것을 알 수 있었다. Mo 박막의 두께가  $1.2 \mu\text{m}$ ,  $0.6 \mu\text{m}$ 인 AZO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 구조로 이루어진 CIGS 박막 태양전지를 제조하여 그 특성을 비교하였을 때 Mo 박막의 두께가  $1.2 \mu\text{m}$ 일 때 보다  $0.6 \mu\text{m}$ 일 때 CIGS 박막 태양전지의 변환 효율은 9.46%로 비교적 우수한 특성을 나타났다. 이것은 유리 기판의 플라즈마 처리로 인한 계면 접촉력이 우수해짐으로써 Mo 박막의 저항도의 개선,  $\text{MoSe}_2$  층 형성 및 Na 확산을 Mo 박막의 두께로 제어함으로써 CIGS 박막 태양전지의 특성 개선에 효과를 가질 수 있었다. CIGS 박막 태양전지에서 하부전극인 Mo 박막 특성은 유리기판과 광흡수 층과의 계면 형성 따라 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었고, 또한 이러한 특성이 더욱 더 우수한 CIGS 박막 태양전지 개발에 기여 할 수 있을 것이라 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] H. -W. Schock and F. Pfister, *Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, (James & James, Science Publishers, Glasgow, 2000), pp.270-274.
- [2] A. L. Fahrenbruch and R. H. Bube, *Fundamentals of Solar Cells* (Academic Press, Orlando, 1983).
- [3] M. L. Archer and R. Hill. *Clean Energy from Photovoltaics* (Imperial College Press, 2001).
- [4] D. L. Staebler, R. S. Crandall, and R. Williams,

- Appl. Phys. Lett. **39**, 733-735 (1981).
- [5] S. -H. Wei, S. B. Zhang, and A. Zunger, Appl. Phys. Lett. **72**, 3199 (1998).
- [6] T. Dullweber, G. Hanna, M. A. Contreras, R. Noufi, and H. W. Schock, Thin Solid Films **478**, 361 (2000).
- [7] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, and W. Warta, Prog. Photovolt. Res. Appl. **19**, 184 (2011).
- [8] S. G. Kim, J. C. Lee, K. H. Yun, K. H. Kang, L. J. Park, J. W. Song, and S. O. Han, Spring Conference Korea Sol. Energy Soc. 181 (2001).
- [9] A. Bollero, M. Andres, C. Garcia, J. Abajo, and M. T. Gutierrez, Phys. Status Solidi A **206**, 540 (2009).
- [10] J. H. Scofield, A. Duda, D. Albin, B. L. Ballard, and P. K. Predecki, Thin Solid Films **260**, 26 (1995).
- [11] K. Orgassa, H. W. Schock, and J. H. Werner, Thin Solid Films **431/432**, 387 (2003).
- [12] L. Assmann, J. C. Berne'de, A. Drici, C. Amory, E. Halgand, and M. Morsli, Applied Surface Science **246**, 159 (2005).
- [13] S. M. Kong, Y. Xiao, E. H. Kim, and C. W. Chung, Korean Chem. Eng. Res. **49**, 195 (2011).
- [14] I. Repins, S. Glynn, J. Duenow, T. J. Coutts, W. K. Metzger, and A. Miguel, *Thin Film Solar Technology*. Edited by Delahoy, Alan E.; Eldada, Louay A., Proceedings of the SPIE, **7409**, 74090 (2009).



## A Study of Mo Back Electrode for CIGSe<sub>2</sub> Thin Film Solar Cell

Seung-Hoon Choi<sup>a</sup>, Joong Jin Park<sup>a</sup>, Jeong Oh Yun<sup>b</sup>, Young Ho Hong<sup>c</sup>, and In Soo Kim<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>YUSYSSTECH. Co., Ltd. Pohang 790-834

<sup>b</sup>Department of Aviation Information & Communication Engineering, Kyungwoon University, Gumi 730-739

<sup>c</sup>Department of Avionics, Kyungwoon University, Gumi 730-739

<sup>d</sup>Department of Material and Energy Engineering, Kyungwoon University, Gumi 730-739

(Received February 24, 2012, Revised May 23, 2012, Accepted May 24, 2012)

In this Study, Mo back electrode were deposited as the functions of various working pressure, deposition time and plasma pre-treatment on sodalime glass (SLG) for application to CIGS thin film solar cell using by DC sputtering method, and were analyzed Mo change to MoSe<sub>2</sub> layer through selenization processes. And finally Mo back electrode characteristics were evaluated as application to CIGS device after Al/AZO/ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG fabrication.

Mo films fabricated as a function of the working pressure from 1.3 to 4.9mTorr are that physical thickness changed to increase from 1.24 to 1.27 μm and electrical characteristics of sheet resistance changed to increase from 0.195 to 0.242 Ω/sq as according to the higher working pressure. We could find out that Mo film have more dense in lower working pressure because positive Ar ions have higher energy in lower pressure when ions impact to Mo target, and have dominated (100) columnar structure without working pressure.

Also Mo films fabricated as a function of the deposition time are that physical thickness changed to increase from 0.15 to 1.24 μm and electrical characteristics of sheet resistance changed to decrease from 2.75 to 0.195 Ω/sq as according to the increasing of deposition time. This is reasonable because more thick metal film have better electrical characteristics.

We investigated Mo change to MoSe<sub>2</sub> layer through selenization processes after Se/Mo/SLG fabrication as a function of the selenization time from 5 to 40 minutes. MoSe<sub>2</sub> thickness were changed to increase as according to the increasing of selenization time. We could find out that we have to control MoSe<sub>2</sub> thickness to get ohmic contact characteristics as controlling of proper selenization time.

And we fabricated and evaluated CIGS thin film solar cell device as Al/AZO/ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG structures depend on Mo thickness 1.2 μm and 0.6 μm. The efficiency of CIGS device with 0.6 μm Mo thickness is better as 9.46% because Na ion of SLG can move to CIGS layer more faster through thin Mo layer.

The adhesion characteristics of Mo back electrode on SLG were improved better as plasma pre-treatment on SLG substrate before Mo deposition. And we could expect better efficiency of CIGS thin film solar cell as controlling of Mo thickness and MoSe<sub>2</sub> thickness depend on Na effect and selenization time.

Keywords : Mo film, DC magnetron sputtering, CIGS, MoSe<sub>2</sub>, Thin film solar cell, Mo back electrode

\* [E-mail] [iskim@ikw.ac.kr](mailto:iskim@ikw.ac.kr)