$Cu(InGa)Se_2$ 광흡수막의 두께에 따른 태양전지의 전기광학 특성

Electrical and Optical Properties with the Thickness of $Cu(InGa)Se_2$ Absorber Layer

김석기, 이정철, 강기환, 윤경훈, 박이준, 송진수(한국에너지기술연구원), 한상옥(충남대학교)
S.K.Kim, J.C.Lee, K.H.Kang, K.H.Yoon, I.J.Park, J.Song(KIER), S.O.Han.(Chungnam National University)

Abstract

Abstract - CIGS film has been fabricated on soda-lime glass, which is coated with Mo film, by multi-source evaporation process. The films has been prepared with thickness of 1.0 ㎛, 1.75㎛, 2.0㎛, 2.3㎛, and 3.0㎛. X-ray diffraction analysis with film thickness shows that CIGS films exhibit a strong (112) preferred orientation. Furthermore, CIGS films exhibited distinctly decreasing the full width of half-maxium and (112) preferred peak with film thickness. Also, The film's microstructure, such as the preferred orientation, the full width at half-maximum(FWHM), and the interplanar spacing were examined by X-ray diffraction. The preparation condition and the characteristics of the unit layers were as followings ; Mo back contact : DC sputter, CIGS absorber layer : three-stage coevaporation, CdS buffer layer : chemical bath deposition, ZnO window layer : RF sputtering, MgF_2 antireflectance : E-gun evaporation

Key Words : $Cu(InGa)Se_2$, Thin Film, Solar Cell

1. 서 론[1)]

박막 태양전지의 최대장점은 박막화로 인한 원재료의 사용량을 절감하는데 목적을 두고 있다. CIS계 chalcopyrite 반도체는 태양전지 중에서 광 흡수계수가 가장 높으며 수 ㎛의 두께로도 충분한 입사광의 흡수가 가능한 특징을 가지고 있다[1]. CIS계 박막은 1 eV이상(파장 1.2㎛이하)의 광 에너지로 $10^{-5}cm^{-1}$ 이상의 광을 흡수할 수 있어 Si계 태양전지에 비해 약 1/100정도의 박막 두께로 입사광의 충분한 흡수가 가능하다. 따라서 박막화로 태양전지 제조 공정시간의 단축과 원재료의 절감을 통해 태양전지의 발전단가를 대폭 줄이는 것이 가능하다

한국에너지기술연구원
(대전시 유성구 장동 71-2,
Fax: 042-860-3739
E-mail : skkim@kier.re.kr

.따라서 본 연구에서는 CIGS 박막 태양전지의 광흡수층의 최적두께 선정 밑 특성을 고찰하였다.

2. 실험방법

박막 제조시 사용된 원재료는 구리(Cu), 인듐(In), 갈륨(Ga), 셀레늄(Se)으로 99.999%의 순도를 갖는 Cerac사 제품으로 3mm shot 형태이다. 각 원소의 증발은 급격한 온도상승이나 온도하강에 견디며 outgasing이 적은 PBN crucible과 탄탈륨(Tantalum) 열선으로 구성된 effusion cell이 사용되었고, 각 원소의 조성비는 각각의 effusion cell의 온도변화를 통해서 제어하였다. 박막제조는 3단계 공정(three-stage process)으로 제조되었으며, 1단계는 기판온도를 350℃까지 상승시킨 후 In, Ga 및 Se을 증착하고, 기판온도를 550℃까지 상승시킨다

그 후 2단계에서는 Cu와 Se을 증착하여 결정립이 커다란 $Cu(InGa)Se_2$ 박막을 제조한다. 마지막 3단계에서는 기판온도 550 ℃로 유지하면서 1단계와 마찬가지로 In, Ga 및 Se을 재증발시켜 조성비에 따른 $Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$ 박막을 제조하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 Cu(InGa)Se2 박막의 두께에 따른 X-선 회절무늬 분석 결과를 나타낸 것이다. 모든 박막에서 (112) 우선 방향성을 나타내었으며, 이는 제조된 박막이 chalcopyrite 구조를 가지고 있음을 의미한다. 일반적인 경향과 마찬가지로 박막두께가 증가함에 따라 (112)면 피크의 회절강도의 증가는 세기가 커졌다.

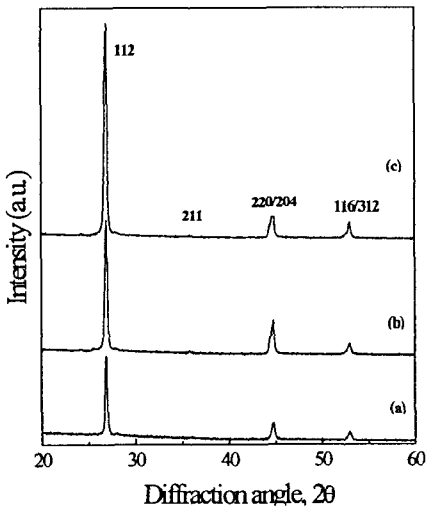

그림 2. $Cu(InGa)Se_2$ 박막의 두께에 따른 XRD 패턴

Fig. 2. XRD patterns with thickness of CIGS films

(a) 1㎛, (b) 2.0㎛, (c) 3.0㎛

그림 3은 CIGS 박막의 두께에 따른 반가폭(FWHM)과 우선 방향성 피크인 (112)면의 회절각도의 변화를 나타낸 것이다. 박막의 피크의 위치를 나타내는 2θ는 응력이 존재하지 않는 분말 피크의 위치보다 더 높은 값을 가진다. 이는 기판과 평행하게 존재하는 (112) 면의 격자거리 d가 분말의 격자거리보다 더 작음을 의미한다.. 따라서 두께의 증가에 따른 반가폭의 감소는 결정성의 개선이 이루어졌음을 의미한다. (112)와 (220) 피크와의 강도비는 두께가 두꺼워 질수록 커지며, 이는 결정성이 향상됨을 의미한다. 또한 두께가 증가할수록 2θ가 감소는 응력 변화가 발생함을 시사한다.

그림 4는 CIGS 박막의 면간거리가 stress-free라 생각되는 기준 분말(3.315Å)과의 면간거리를 비교하여 박막의 변형정도를 나타내었다. 그림에서 보듯이 박막두께가 1㎛ 인 경우는 면간거리는 기준

분말(3.315Å) 보다 작으나, 그 이상의 두께에서는 증가하였다. 이것은 두께가 얇은 경우는 수축력을 받다가, 두께가 증가하면서 인장력의 작용을 받는 것으로 보인다. 또한 (112)/(220)면의 회절피크의 비교 값의 증가는 두께의 증가로 인해 결정성이 개선되었음을 의미한다.

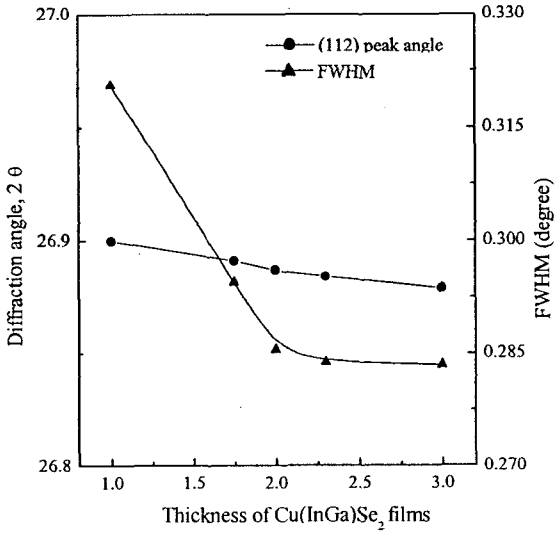

그림 3. CIGS 박막의 두께별 반가폭과 회절각 변화

Fig. 3. FWHM and angle shift of (112) plane with thickness of $Cu(InGa)Se_2$ films

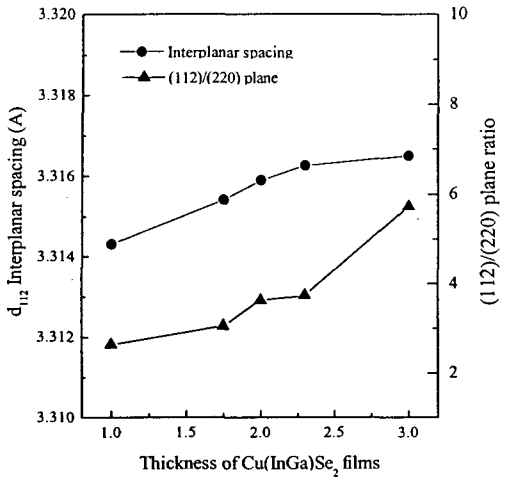

그림 4. (112) 면간거리와 (112)/(220)피크비

Fig. 4. Interplanar spacing and (112)/(220) intensity ratio of (112) CIGS plane

그림 5는 CIGS 박막의 두께에 따른 광투과도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 모든 박막에서 1000nm의 흡수단이 나타나고 두께가 증가함에 따른 흡수단의 변화는 크게 보이지 않으나, 약간 장파장으로 이동함을 볼 수 있다. 이는 두께가 증가하게 되면 얇은 박막에 비해 Mo 전극쪽에서 Ga의 축적이 증가하고 표면쪽에서는 Ga의 함량이 감소하나, 전체적으로는 Ga 함량이 증가되었 기 때문이다. 그러나 박막내에서 Ga에 비해 상대적으로 많은 조성비를 차지하는 In 함량의 감소는 Cu/(In+Ga)의 화학조성비가를 증가시키기 때문에 흡수단의 위치가 장파장쪽으로 이동되어 에너지 밴드갭이 감소하는 것으로 판단된다.

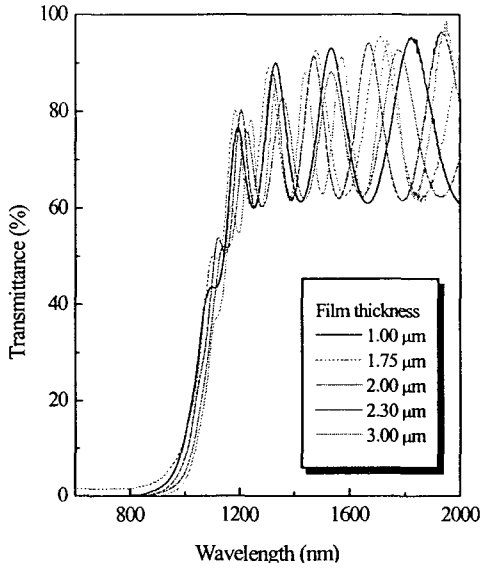

그림 5. CIGS 박막의 두께에 따른 광투과도 변화

Fig. 5. Transmittance plot of CIGS films with thickness

그림 6은 CIGS 박막의 두께에 따른 태양전지의 I-V 특성을 나타낸 것이다. 박막의 두께가 증가함에 따라 개방전압(Voc), 단락전류(Jsc), 충진율(FF) 및 변환효율등의 커다란 변하는 보이지 않았다. 이는 1㎛이상의 박막 두께에서는 태양전지의 변수에 커다란 영향을 미치지 않는 조건에서 실험이 수행되었기 때문이다. 1㎛의 두께로 태양전지를 제조하여도 태양전지의 특성에 커다란 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

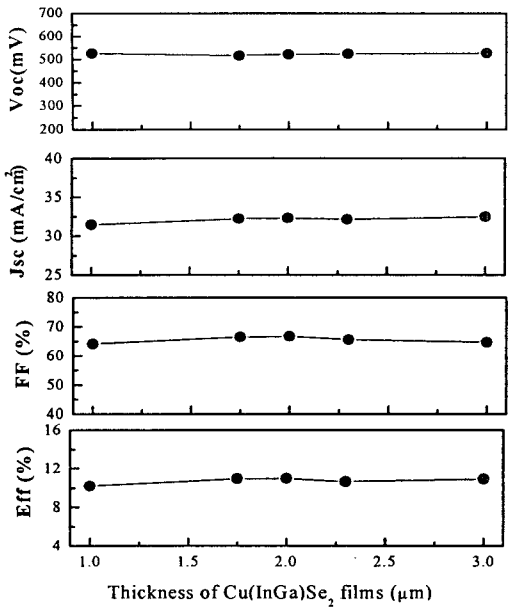

그림 6. CIGS 박막 두께에 따른 광전특성

Fig. 6. Cell parameters of CIGS solar cells with films thickness

4. 결 론.

지금까지의 실험결과로 두께 증가로 미세형상과 결정성의 향상은 확인되었다. 그러나 광전특성의 경우는 두께에 따라서 커다란 변화는 볼 수 없었다. 따라서 박막 두께에 따른 영향을 면밀히 검토하기 위해서는 1㎛이하의 박막 두께에 대한 실험적인 보완이 좀더 이루어져야 할 것으로 판단된다.

[참고문헌]

[1] J. R. Tuttle, et al., "High Efficiency thin-film Cu(InGa)Se_2-Based Photovoltaic Devices", Proc. 23th IEEE PVSEC., pp. 415-421, 1993.

[2] Klug H. P. etal., "X-ray Diffraction Procedures, Wiley and Sons, Newyork, 1974.

[3] S. Niki, et al.,"Growth and Characterization of $CuInSe_2$ Epitaxial Films for Device Application", '96 spring MRS Symp., Vol. 426, pp. 233-241, 1996.