

## Ga 조성이 동시진공 증발법으로 제조된 CIGS 태양전지 특성에 미치는 영향

\*정 성훈<sup>1)</sup>, 윤 재호<sup>2)</sup>, 안 세진<sup>3)</sup>, 윤 경훈<sup>4)</sup>, \*\*김 동환<sup>5)</sup>

### Effects of Ga contents on the performance of CIGS thin film solar cells fabricated by co-evaporation technique

\*Sunghun Jung, Jaeho Yun, Sejin Ahn, Kyunghoon Yoon, \*\*Donghwan Kim

**Key words** : Solar Cell(태양전지), CIGS(CIGS), Co-evaporation(동시 증발법), Ga content(Ga 조성)

**Abstract** : Effects of Ga contents of CIGS absorber layer on the performance of thin films solar cells were investigated. As Ga content increased, the grain size of CIGS films decreased presumably because Ga diffusion during 2nd stage of co-evaporation process is more difficult than In diffusion. Performances of corresponding solar cell show systematic dependence on Ga content in which open circuit voltage increases and short circuit current and fill factor decrease as Ga contents increases. At a optimal condition of  $Ga/(In+Ga)=0.27$ , the solar cell shows a conversion efficiency of 15.6% with  $V_{oc}$  of 0.625 V,  $J_{sc}$  of 35.03 mA/cm<sup>2</sup> and FF of 71.3%.

## 1. 서론

CIS 태양전지는 Chalcopyrite 화합물반도체로 1eV 이상의 직접천이형 에너지 밴드갭을 가지고 있고 광흡수계수가  $1 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$ 로 반도체 중 가장 높다. 또한 장기적으로 전기광학적 안정성이 우수한 특성을 지니고 있어 광흡수층으로 매우 이상적이다. 이러한 여러 가지 장점으로 인해 CIGS 태양전지의 경우, 미국의 NREL에서 최근 19.9%의 최고효율을 보고하였는데 이는 기존의 다결정 실리콘 태양전지의 최고효율 20.3%에 근접하는 것이다. 따라서 현재 사용되고 있는 고가의 결정질실리콘 태양전지를 대체하여 경제성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 저가·고효율의 태양전지 재료로 부각되고 있다.

CIS계 태양전지는 Ga 과 같은 첨가물의 조성을 조절하면 밴드갭 에너지를 다양하게 변화시킬 수 있다. 태양전지 광흡수층의 밴드갭 에너지가 증가하면 개방전압이 증가하게 되는데 이는 출력 전압이 높다는 것을 의미한다. 전압이 증가하면 저항에 의한 전력 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 온도에 의한 효율 감소 현상을 줄일 수 있다. 그러나 Ga 조성이 증가하면 단락전류, 충전률이 낮아지는 등 CIGS 박막이 적절한 Ga 조성을 갖도록 공정을 정밀하게 제어하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 동시증발법으로 제조한 CIGS 광흡수층의 Ga 조성이 박막 태양전지의 광전압 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고 이를 통하여 최적의 Ga 조성 비율을 도출하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 CIGS 태양전지 제조과정

- 1) 한국에너지기술연구원 태양전지연구단, 고려대학교  
E-mail : shjung@kier.re.kr  
Tel : 042)860-35257 Fax : 042)860-3739
- 2) 한국에너지기술연구원 태양전지연구단  
E-mail : yunjh83@kier.re.kr  
Tel : 042)860-3199 Fax : 042)860-3739
- 3) 한국에너지기술연구원 태양전지연구단  
E-mail : swisstel@kier.re.kr  
Tel : 042)860-3541 Fax : 042)860-3739
- 4) 한국에너지기술연구원 태양전지연구단  
E-mail : y-kh@kier.re.kr  
Tel : 042)860-3191 Fax : 042)860-3739
- 5) 고려대학교 신소재공학과  
E-mail : donghwan@korea.ac.kr  
Tel : 02)3290-3713 Fax : 02)982-3854

그림 1은 CIGS 태양전지의 구조와 제조 공정을 나타내고 있다. 기판은 soda-lime glass 기판을 사용하며 후면전극은 Mo를 사용하였다. Mo는 유리기판과의 접착성과 낮은 비저항을 가지기 위해 이중층 구조를 사용하였다. CIGS는 3단계 동시 진공증발법으로 제조하였다. 1단계에는 기판 온도 400 °C에서 In, Ga, Se을 증발시켜 전구체를 형성하였다. 2 단계에서는 기판온도를 550°C 이상으로 상승시켜 Cu와 Se을 공급해주었으며 3단계에서는 다시 In, Ga, Se을 공급하였다.

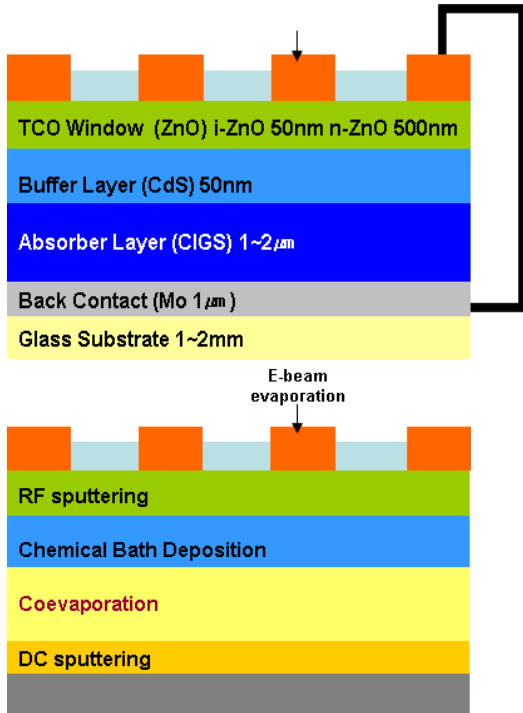


Fig 1. Schematic illustration of structure and fabrication process of CIGS thin film solar cell.

그 후 CBD(chemical bath deposition) 방법으로 CdS 버퍼층을 형성하였고 투명전극으로 ZnO를 사용하였다. ZnO는 태양전지의 접합에서의 누설 전류를 방지하기 위해 intrinsic ZnO/ n-type ZnO 이중구조로 사용하였다. 마지막으로 Al 전극을 사용하였다.

## 2.2 Ga/(In+Ga) 조성 변화 실험

본 연구에서는 기판온도 모니터링 시스템을 이용하여 CIGS 박막을 제조하였기 때문에 박막의 조성의 재현성을 확보할 수 있었다. Ga/(In+Ga) 조성이 태양전지 특성에 미치는 영향을 확인하기 위해서 다른 단위박막의 조건은 Fig.1과 같이 유지하였다. 광흡수층의 Cu/(In+Ga) 비율과 두께 또한 각각 0.83 및 1.5~2µm로 고정하였다. 실험의 변수인 Ga/(In+Ga)의 범위는 0.18~0.78 이다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2 에서와 같이 Ga 조성이 증가함에 따라 결정립 크기가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 Cu-Rich 상을 이용한 결정성장시 (동시진공증발법의 2단계 공정) Ga의 확산이 In에 비해 상대적으로 어렵기 때문으로 사료된다.

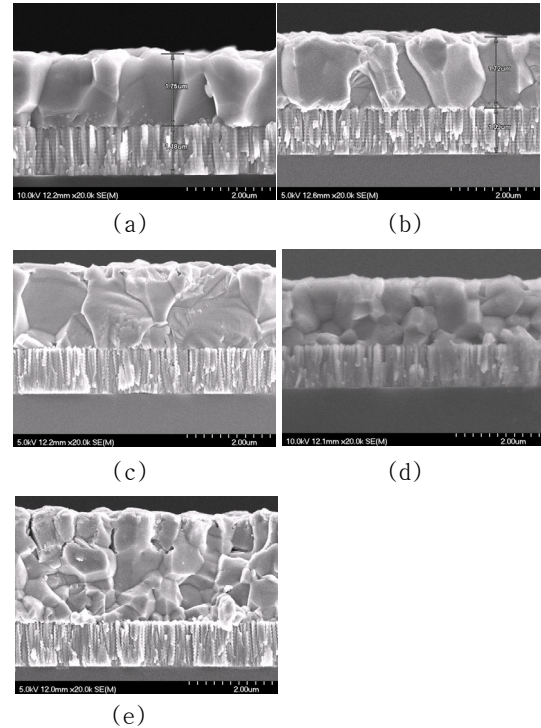


Fig.2 cross-sectional SEM of CIGS layer whose Ga/(In+Ga) atomic ratio is (a) 0.18, (b) 0.27, (c) 0.34, (d) 0.64 and (e) 0.78.

그림 2의 CIGS 박막을 이용하여 만든 CIGS 박막 태양전지의 광전압 특성을 측정하고 후, Ga 조성이 각 특성치에 미치는 영향을 그림 3에 정리하였다. 예상한 바와 같이 Ga 비가 증가할수록 개방전압은 증가하고 단락전류 및 충전율은 감소하는 경향을 나타내었다. 개방전압의 증가는 Ga 비가 증가할수록 광흡수층의 밴드갭 에너지가 증가한다는 것을 반증하는 것이다. 그러나 그림 3에서와 같이 개방전압이 비례적으로 증가하는 것이 아니라 포화되며, 따라서 밴드갭 에너지 증가에 의한 단락전류밀도 감소와 결부되면서 전체적으로 효율이 감소한다.

이는 밴드갭이 큰 물질이 버퍼층과 band bending 되면서 narrow bandgap에 비해 상대적으로 계면에서의 페르미 에너지 레벨이 밴드갭의 가운데 쪽으로 이동하기 때문이다. 이 때 계면에서 전하 defect level이 존재할 경우 밴드갭 에너지의 midgap 쪽으로 이동하는 것을 의미하며 이는 재결합확률 및 속도가 증가하는 것을 의미한다. 즉 광흡수층과 버퍼층의 계면에서 전하 재결합이 발생할 가능성이 높다는 것으로 이는 누설전류를 발생을 의미하고 결국 개방전압이 감소하게 된다.

다. 따라서 밴드갭 에너지 증가에 비례적으로 개방전압이 증가하지 않게 된다. 본 실험에서는 Ga/(In+Ga)비가 0.27인 경우에 최고효율 15.56%를 나타내었다.

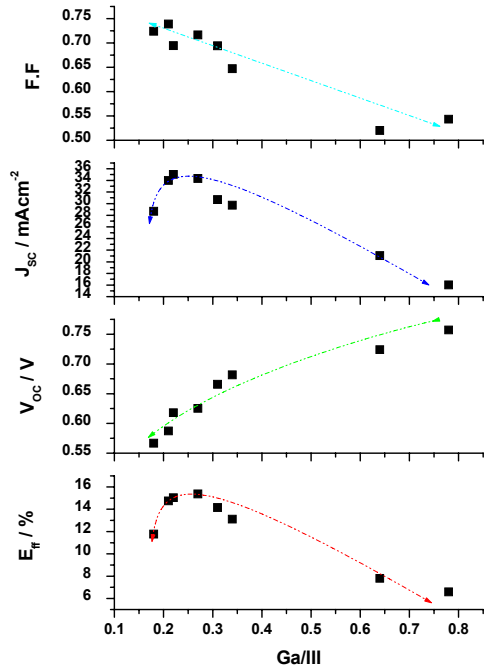


Fig 3. Relationship between CIGS solar cell parameters and Ga/(In+Ga) ratio (an active area of 0.44cm<sup>2</sup>)

#### 4. 결론

본 실험에서는 Ga 조성이 GIGS 박막 태양전지 특성에 미치는 영향을 분석하였다. Ga/III=0.27인 경우 최고 변환효율을 나타내었으며 이때 태양전지는 각각 개방전압 0.625V, 단락전류 밀도 35.03 mA/cm<sup>2</sup>, 충실도 71.3%, 효율 15.56%를 보였다.

#### References

- [1] K. Ramanathan, M.A Contreras, C.L. Perkins, F.S. Hasoon, J. Keane, D. Young, Romero, W. Metzger, Noufi, J. Ward and A. Duda, Progress in Photovoltaic, 11, 2003, 225-25
- [2] T. Nakada et.al, MRS Symposium, San Francisco
- [3] D. Rudmann, G. Bilger, M. Kawlin, F-J Haug, H. Zogg, A.N. Tiwari, Thin Solid Films 431-432(2003), 37-40