

## Na이 첨가된 Mo 전극을 이용한 CIGS 박막 태양전지 연구

윤 재호<sup>1)</sup>, 김 기환<sup>2)</sup>, 김 민식<sup>3)</sup>, 안 병태<sup>4)</sup>, 안 세진<sup>5)</sup>, 이 정철<sup>6)</sup>, 윤 경훈<sup>7)</sup>

### A Study on the CIGS cells with Na-doped Mo back contact

Jae Ho Yun, Ki Hwan Kin, Min Sik Kim, Byung Tae Ahn, Se Jin Ahn, Jeong Chul Lee,  
Kyung Hoon Yoon

**Key words** : CIGS 박막 태양전지, Mo 후면전극, Na 첨가

**Abstract** : The photovoltaic properties of CIGS cells on alumina substrate were improved by using the Na-doped Mo as the bottom layer of Mo back contact. Na was supplied to the CIGS bulk region from alumina/Na-doped Mo/Mo/alumina structure, as same as similar to the Na diffusion from soda-lime glass. The content diffusion of Na from Na-doped Mo was smaller more controlled than that from SLG. These Our results indicate that Na-doped Mo act as Na source material and contents of Na amount can be controlled without the use of an alkali barrier layer.

The best CIGS solar cell with conversion efficiency of 13.34%,  $J_{sc} = 34.62 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{oc} = 0.58 \text{ V}$  and  $FF = 66 \%$  for an active area of  $0.45 \text{ cm}^2$  on the alumina substrate was obtained in the condition of for 100 nm Na-doped Mo/1000nm Mo.

### 1. 서론

CuInGaSe<sub>2</sub>(CIGS)박막은 광흡수계수가 매우 높고 첨가 원소에 따른 에너지 금지대 폭을 조절하기가 용이하여 태양전지 광흡수층으로 많은 연구가 진행되고 있다. 소면적 태양전지의 경우 미국의 NREL에서 19.5%의 효율을 달성하였는데 이는 결정질 실리콘 태양전지의 효율에 근접한 수치라고 할 수 있다<sup>[1]</sup>. 대면적 모듈의 경우에도 11%이상의 효율을 나타내고 있어 향후 결정질 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 기술로 인식되고 있다.

CIGS 박막 태양전지는 일반적으로 유리 기판에 Mo 후면전극을 사용하는 substrate type 태양전지이다. 유리기판의 경우 sodalime glass (SLG)가 사용되는데, SLG에서 확산된 Na이 CIGS 태양전지의 특성을 향상시킨다고 보고되고 있다<sup>[2]</sup>. 또한 CIGS 박막의 조성 안정성을 향상시키며 결정립의 크기 또한 증가시킨다고 보고되고 있다<sup>[3]</sup>. 하지만 SLG 기판의 경우 확산되는 Na의 양을 조절하기가 어렵다. 따라서 과다한 Na의 확산을 억제하기 위하여 alkali 확산 방지막을 사용한

다. 또한 유리 기판을 사용하지 않는 경우에는 태양전지의 효율을 증가시키기 위해 추가적인 Na 소스 물질을 도포해야 한다.

본 연구에서는 CIGS 박막 태양전지의 후면전극으로 사용되고 있는 Mo 박막에 Na를 첨가함으로써 추가적인 Na 소스 물질 혹은 확산방지막 없

- 
- 1) 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단  
E-mail : yunjh92@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3199 Fax : (042)860-3739
  - 2) 한국과학기술원 신소재공학과  
E-mail : cantabile@kaist.ac.kr  
Tel : (042)869-4260 Fax : (042)869-3310
  - 3) 한국과학기술원 신소재공학과  
E-mail : kimms725@kaist.ac.kr  
Tel : (042)869-4260 Fax : (042)869-3310
  - 4) 한국과학기술원 신소재공학과  
E-mail : btahn@kaist.ac.kr  
Tel : (042)860-3199 Fax : (042)860-3739
  - 5) 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단  
E-mail : swisstel@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3541 Fax : (042)860-3739
  - 6) 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단  
E-mail : jcleee@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3415 Fax : (042)860-3739
  - 7) 한국에너지기술연구원 태양광발전연구단  
E-mail : y-kh@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3191 Fax : (042)860-3739

이 Na의 공급 조절이 가능하도록 하였다.

## 2. 실험 방법

그림 1은 본 연구에서 제조한 CIGS 태양전지의 구조를 나타내고 있다. 일반적인 CIGS 태양전지의 경우는 SLG 기판을 사용하는 반면, 본 연구에서는 알루미늄 기판을 이용하여 태양전지를 제조하였다. 이는 Na이 첨가된 Mo 층으로부터 확산되는 Na의 효과를 분석하고자 함이다. Na이 첨가된 Mo의 구조는 그림2에 나타나 있다. CIGS 용 Mo 전극의 경우, 기판과의 접착성을 증가시키기 위해 10mtorr의 Ar 분압에서 하부 전극을 증착하고 3mtorr의 Ar 분압에서 상부전극을 형성하여 비저항을 감소시킨다. Na이 첨가된 Mo의 경우, 10mtorr의 분압에서 Na이 5% 첨가된 타겟을 스퍼터링함으로써 Na이 첨가되면서도 접착성이 좋은 Mo 전극을 형성하였다. 상부전극으로는 위에서 말한 것과 같이 3mtorr Ar 분압에서 Na첨가되지 않은 Mo 박막을 증착하였다. Na이 첨가된 Mo는 Na의 첨가량을 조절하기 위하여 100, 200, 400 그리고 600nm 증착하였으며 전체 Mo의 두께를 1100nm 로 고정하였다. Na이 첨가된 Mo 뿐만 아니라 첨가되지 않은 Mo를 전극으로 사용한 것은 Na이 첨가된 Mo로 인하여 CIGS 박막 특성이 변화하는 것을 방지하고 Na의 확산을 조절하기 위해서이다.

알루미늄 기판에 Mo 전극을 증착한 뒤 3 단계 동시진공증발법을 이용하여 CIGS 박막을 증착하였다. 금속원소를 Effusion cell(Aalpa-plus)을 이용하여 증발시켰다. 또한 기판온도 모니터링 기법을 이용하여 결정립의 크기와 박막의 조성을 최적화하였다. 버퍼층으로 사용되는 CdS 박막은 용액성장법을 이용하여 용액온도 70℃에서 제조하였다. 투명전극인 ZnO는 태양전지의 누설전류를 억제하는 intrinsic ZnO와 n-type 및 전극으로 작용하는 n-type ZnO의 이중구조로 증착하였다. 마지막으로 Al 전극을 evaporation 법으로 형성하였으며 반사방지막은 적용하지 않았다.

박막의 미세구조 및 두께는 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 사용하여 측정하였으며, Na의 확산정도는 SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometry)를 이용하여 측정하였다. 제조한 CIGS 태양전지는 인공태양(WACOM)을 이용하여 AM 1.5 조건에서 측정하였다.

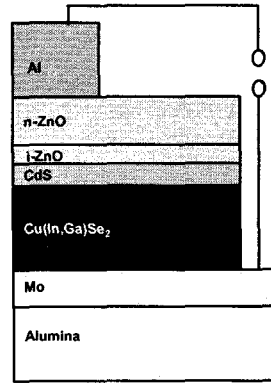


Fig. 1 Structure of CIGS cell with Na-doped Mo on alumina substrate.

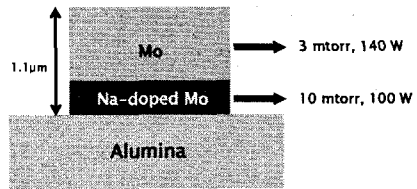


Fig. 2 Schematic diagram of Mo layer on alumina substrate.

## 3. 실험 결과

그림 3은 알루미늄 기판을 이용하여 제조한 Mo 전극과 CIGS 박막의 미세구조이다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 Mo 전극을 전체 두께를 고정했으며 Na이 첨가된 층의 두께를 증가시켰다. Na이 첨가된 Mo의 두께가 증가할 수록 CIGS 박막의 결정립이 감소하였다. 이는 SLG기판을 이용할 경우에 Na의 확산으로 인해 결정립이 증가한다는 것과 다른 결과라고 할 수 있다. 그 원인은 두가지로 생각할 수 있다. 첫 번째는 SLG 기판을 이용했을 경우와 Na의 역할이 다르게 작용할 수 있다는 것이며 두 번째는 Na이 첨가되지 않은 Mo의 두께변화에 의해 CIGS 박막의 특성이 변화할 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 전체 두께를 고정하여 실험하였으나 이후 Na이 첨가되지 않은 Mo 두께를 고정하여 CIGS 박막을 제조하는 연구가 필요하다 보여진다. 한편, Na이 첨가되지 않은 Mo의 두께에 상관없이 박리현상등은 발견되지 않고 안정적으로 CIGS 박막을 제조할 수 있었다.

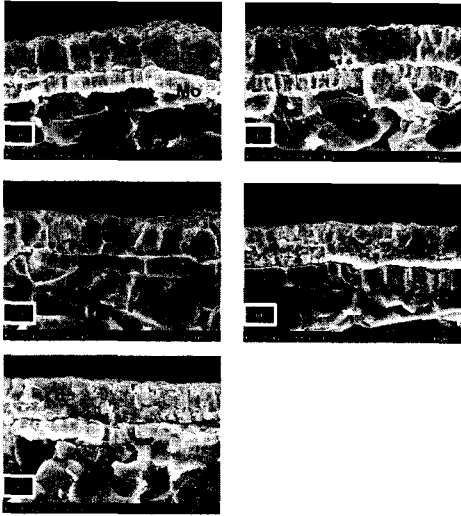


Fig. 3 SEM images of alumina/Na-doped Mo/Mo/CIGS with various Na-doped Mo/ Mo thicknesses. (a) 0/1100 nm (b) 100/1000 nm (c) 200/900 nm (d) 400/700 nm (e) 600/500 nm

그림 4는 Na이 첨가된 Mo의 조건에 따른 SIMS depth profile 이다. Na의 두께가 증가함에 따라 CIGS 박막에 존재하는 Na의 농도가 증가하였다. 그리고 SLG 기판을 사용한 CIGS에 비해 농도가 낮았다. 이는 Na이 첨가된 Mo의 두께에 따라 Na의 농도가 조절되며 Na이 첨가되지 않은 Mo층이 Na 확산 장벽으로 작용한다는 것을 의미한다. Na의 농도를 SLG 기판과 유사하게 조절하기 위해서는 Na이 첨가된 Mo의 두께를 증가시켜야 할 것으로 보인다.

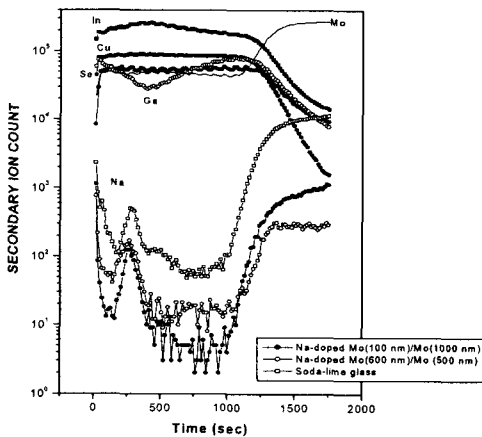


Fig. 4 SIMS depth profiles of CIGS with alumina/Na-doped Mo/Mo and soda-lime glass/Mo substrate

그림 5는 Na이 첨가된 Mo 두께에 따른 CIGS 태양전지의 광전압 특성이다. Na이 첨가되지 않은 Mo층으로 전극을 형성한 CIGS 태양전지에 비해 Na이 첨가된 Mo 층을 이용했을 경우에 개방전압과 충실도가 증가함으로써 인해 효율이 증가하였다. 이는 일반적으로 보고된 Na의 효과와 일치한다고 할 수 있다. 즉, SLG 혹은 여타의 Na소스 물질의 추가적인 도포 없이도 Na이 첨가된 Mo 층을 이용하여 CIGS 박막에 Na이 공급되어 태양전지의 효율을 증가시킨다는 것을 의미한다. 하지만 그림 1에서 설명한 바와 같이 전체 두께를 고정함으로써 인해 Na이 첨가되지 않은 Mo 두께가 감소하여 CIGS 박막의 특성을 변화시켰기 때문에 태양전지의 효율도 감소하였다. 따라서 Na이 첨가되지 않은 Mo의 두께를 고정하여 Na이 첨가된 Mo의 두께를 최적화해야 할 것으로 사료된다.

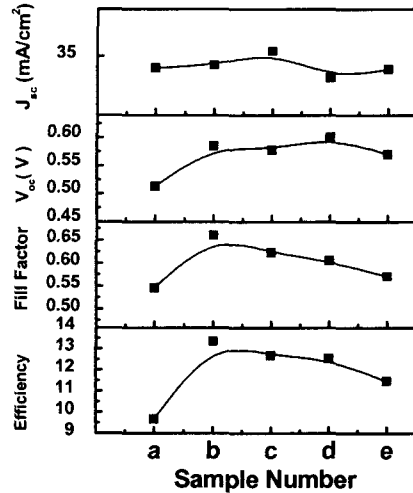


Fig. 5 Photovoltaic properties of CIGS cells with various Na-doped Mo/ Mo thicknesses.

a) 0/1100 nm (b) 100/1000 nm (c) 200/900 nm (d) 400/700 nm (e) 600/500 nm

#### 4. 결론

Na이 첨가된 Mo를 이용하여 알루미늄과 같이 Na이 존재하지 않는 기판을 이용한 CIGS 박막에 Na를 공급하였다. Na이 첨가된 Mo의 두께를 증가함에 따라 Na의 농도는 증가하였다. 또한 Na의 첨가되지 않은 Mo 층과의 이중층 구조로 전극을 형성함으로써 인해 확산 장벽으로 작용하여 Na 농도는 SLG에 비해 낮았다. 태양전지의 경우에도 Na이 첨가된 Mo 전극을 사용하였을 경우에 효율이 증가하였다.

결론적으로 Na이 첨가된 Mo 전극을 사용하여 Na을 CIGS 박막으로 공급하였으며 Na이 첨가된 Mo의 두께를 조절하여 Na의 공급량을 조절하였다. 또한 공급된 Na는 태양전지의 효율을 향상시켰다. 향후 Na 이 첨가되어 있지 않은 유연기판 CIGS 태양전지에 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 신재생에너지 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] K. Ramanathan, M. A. Contreras, C. L. Perkins, S. Asher, F. S. Hasoon, J. Keane, D. Young, M. Romero, W. Metzger, R. Noufi, J. Ward and A. Duda, *Progress in Photovoltaic*, 11, 2003, 225-230.
- [2] D. Rudmann, G. Bilger, M. Kaelin, F-J Haug, H. Zogg, A.N. Tiwari, *Thin Solid Films*, 32, 2003, 37-40.
- [3] Tokio Nakada, Daisuke Iga, Hiroki Ohbo, and Akio Kunioka, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 36, 1997, 732-737.