비정질/결정질 실리콘 이종접합 태양전지 특성에 있어 ZnO 투명전도산화막의 영향

강민구*, 옥영우*, 탁성주*, 이정철**, 윤경훈**, 김동환*

*고려대학교 신소재공학부, **한국에너지기술연구원 태양전지그룹

초록

차세대 태양전지로 많은 연구가 이루어지고 있는 비정질/결정질 실리콘 태양전지 제작 과정 중에 투명 전극으로 사용되는 ZnO의 증착에 따른 태양전지 특성변화에 대한 연구를 시행하였다. 벌크 실리콘 웨이퍼 위에 비정질 실리콘을 증착한 후 공기 중에 노출된 경우와 노출 이후 산화막을 제거한 후 투명 전극으로 ZnO을 증착했을 경우 태양전지의 특성에 큰 영향을 미침이 확인되었다. 산화막 제거하지 않을 경우 개방전압 및 충진율의 저하를 가져 왔으며, 산화막이 제거된 경우 개방전압과 충진율의 증가로 인한 태양전지 특성이 향상되었음을 보여주었다.

1. 서론

비정질/결정질 실리콘 이종접합 태양전지는 간단한 공정을 통해 낮은 온도에서 제작되고 열적 안정성이 좋다는 장점 때문에 기존 실리콘 태양전지 공정을 대체할 수 있는 구조로 각광받고 있다. [1-3] 기존 실리콘 태양전지의 경우 pn 접합을 만들기 위해서 고온 열처리가 필요하고 또한 후면 전극 및 전계 형성시에도 고온 공정이 필요하므로 이에 따라 웨이퍼의 열화 문제와 휘어짐 문제 때문에 차세대 매우 얇은 실리콘 웨이퍼를 사용할 경우 많은 제약을 받을 것으로 여겨지고 있다. 그렇지만 실리콘 이종접합 태양 전지는 비정질과 결정질 사이에 매우 얇은 진성 비정질층을 삽입하여 그 특성을 향상시켜 20%의 효율과 높은 개방전압을 얻어진다고 보고되고 있다. 이러한 구조는 HIT셀로 알려져 있으며, 현재 일본 Sanyo에서 개발, 판매되고 있다. [4, 5]

이러한 높은 효율과 간단한 구조에도 불구하고 비정질/결정질 간의 계면 제어 문제 및 투명전도 산화막과 비정질 간의 계면 제어 문제 등 공정상의 많은 어려움을 내포하고 있다. 또한 비정질/결정질 간의 pn 접합에 대한 전도 메커니즘 또한 명확하게 밝혀지지 않았다는 점에서 많은 연구를 필요로 하는 태양전지 구조이다. 이에 본 연구에서는 p형 결정질 웨이퍼에 n형 비정질 실리콘을 증착 후 서로 다른 조건에서 ZnO 투명 전도 산화막을 증착한 경우 태양전지 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험 방법

p형 결정질 실리콘을 RCA 세정 이후 HF 처리를 통해 산화막을 제거한 이후 PECVD 챔버로 이동하였다. SiH_4, H_2, PH_3 가스 혼합하여 기판 온도 200도에서 n 형 비정질 실리콘을 10nm 두께로 증착하였다. 비정질 박막이 증착된 웨어퍼를 공기 중에 노출시킨 뒤 바로 투명 전도 산화막 증착을 위해 RF 마그네트론 스파터링 장비로 이동시킨 후 80nm 두께의 ZnO를 증착 하였다. (sample 1) 또 다른 종류로서 공기 중에 노출된 웨이퍼를 HF (1:100) 속에 넣어 산화막을 제거한 이후 다시 RF 마그네트론 스파터링을 이용하여 ZnO를 동일한 두께를 증착하였다. (sample 2) Sample 1,2를 동시에 전면 및 후면 전극을 형성한 후 정확한 면적을 위해 1cm x 1cm 이외의 ZnO와 비정질 실리콘은 HCl 습식 에칭과 RIE를 이용하여 제거하여 최종 이종접합 태양전지를 완성하였다. (그림 1)

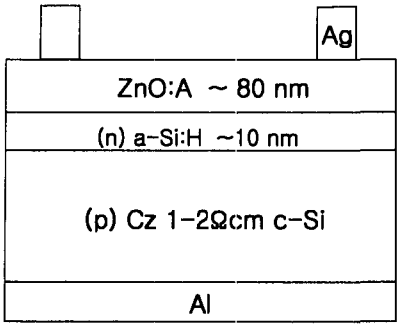

그림 1. 비정질/결정질 이종접합 태양전지 단면 구조

3. 실험결과 및 고찰

아래 표 1은 sample 1과 sample 2의 특성평가 결과를 보여주고 있다.

표 1. samp1e1과 sample 2의 태양전지 특성

	개방전압 (Voc, mV)	단락전류 (Jsc, mA/cm2)	충진율 (F.F, %))	효율 (%)
Sample 1	526 mV	27.7	0.467	6.8
Sample 2	600 mV	29.8	0.69	12.36

Sample 1의 경우 낮은 개방전압과 충진율로 인하여 ~7% 정도의 효율을 보이는 반면, sample 2의 경우 Voc의 증가와 충진율의 증가로 인해 ~12% 정도 까지 향상된 효율을 보여주고 있다. 비정질의 두께 및 증착조건은 동일한 상태이므로 이는 ZnO 증착시 비정질 실리콘 박막과의 계면 특성이 셀 특성에 많은 영향을 줄 수 있는 것을 보여주고 있는 것이다.

이러한 비정질과 ZnO 사이의 계면이 어떤 상태인지 알아보기 위하여 AES를 측정하였다. 그림 2는 sample 1과 sample 2에 대한 AES depth profiling 결과를 보여 주고 있다. 그림 2에서 보여지는 바와 같이 sample 1의 경우 ZnO와 Si의 계면에서 Si이 약간 ZnO쪽으로 확산되어 있는 부분이 확인 되었다. 또한 양쪽 샘플 모두에서 O 가 Zn 보다 Si쪽으로 좀 더 깊게 확산되어져 있음을 확인할 수 있다.

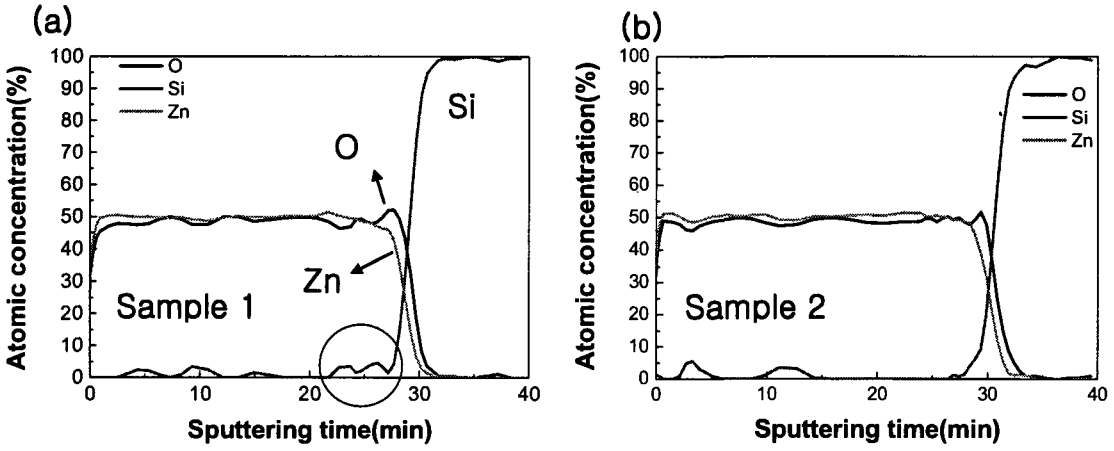

그림 2. AES depth profiling (a) sample 1 and (b) sample 2

이러한 AES depth profiling으로부터 계면 상태의 정확한 화학적 상태를 알아보기 위하여 Zn와 Si의 kinetic energy 변화를 분석해보았다. 그림 3은 두 샘플에 대한 Zn 와 Si 에 대한 Zn/Si 계면에서의 kinetic energy 변화 그래프를 보여 주고 있다.

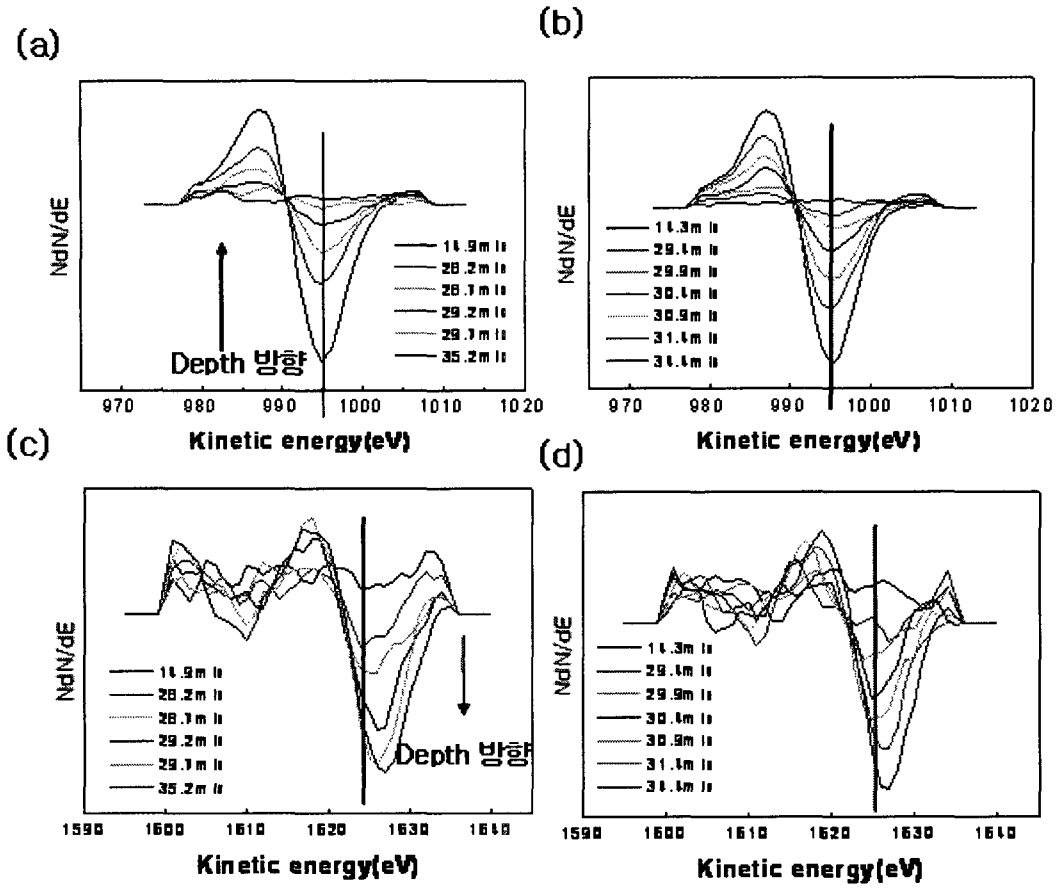

그림 3. Zn 의 kinetic energy 변화 (a,b), Si 의 kinetic energy 변화 (c,d)
(sample 1:a,c sample 2: b,d)

그림3에서 보여지는 바와 같이 Zn peak의 경우 두 샘플의 경우에 모두 kinetic energy 변화가 없음을 보여주고 있다. 이것은 Zn 의 경우 계면 근처에서 화학적인 결합에 있어 큰 변화가 없음을 보여주는 결과이다. 그러나 Si peak의 경우 ZnO계면에서 Si쪽으로 갈수록 kinetic energy 가 증가함을 보여주고 있다. 이것은 계면근처에서는 Si의 kinetic energy 가 감소하였음을 의미하는데 이러한 kinetic energy 의 감소는 Si의 결합 에너지가 증가했음을 보여주는 것이며, Si 이 산화되었음을 의미하는 것이다. 그러나 sam ple 1에 sample 2보다 훨씬 많은 kinetic energy 변화를 보여주고 있는데, 이것은 sample 2보다 훨씬 산화가 강화되었음을 의미하는 것으로 SiOx의 형성을 의미하는 것이다.

따라서 태양전지의 특성과 계면상태를 비교할 때 ZnO 증착시 Si표면을 산화시킨다고 볼 수 있는데 비정질 증착 후 HF처리를 하지 않은 sample 1에서 훨씬 강화된 산화상태를 보여주고 있으며, 이것은 이종접합 태양전지의 특성저하를 일으키는 한 원인이 됨을 보여주고 있는 것이다.

4. 결론

비정질/결정질 실리콘 이종 접합 태양전지의 경우 비정질과 투명전도 산화막 ZnO 의 계면상태가 태양전지 특성에 큰 영향을 일으킬 수 있음을 보여주었다. ZnO 증착시 실리콘 표면을 산화시킬 수 있으며 이러한 산화는 이종접합 태양전지의 개방전압과 충진율을 저하시키는 한 원인으로 작용함을 보여주었다. 따라서 고효율을 달성하기 위해서는 투명전도 산화막과 비정질 실리콘간의 계면을 잘 제어해야 함을 알 수 있다.

참고문헌

[1] D. Borchert, G. Grabosch, W. R. Fahrner, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 49 (1997) 53.

[2] S. R. Wenham, M. A. Green, Prog. Photovlot: Res Appl. 4 (1996) 3.
[3] M. Tucci, M. della Noce, E. Bobeico, F. Roca, G. de Cesare, F. Palma, Thin Solid Films 451-452 (2004) 355.
[4] M. Taguchi, K. Kawamoto, S. Tsuge, T. Baba, H. Sataka, M. Morizane, K. Uchihasi, N. Nakamura, S. Kyiama, O. Oota, Prog. Photovolt: Res. Appl. 8 (2000) 503.
[5] M. Taguchi, A. Terakawa, E. Maruyama, M. Tanaka, Prog. Photovolt: Res. Appl. 13 (2005) 481.