

실리콘 박막 태양전지용 터널접합 특성연구

장 지훈¹⁾, 이 정철²⁾, 송 진수³⁾, 윤 경훈⁴⁾

Study of the tunnel recombination junction performance in thin film tandem solar cell

JiHoon Jang, Jeong Chul Lee, Jinsoo Song, Kyung Hoon Yoon

Key words : thin film tandem solar cell, tunnel junction, $\mu\text{c-Si:H}$, ZnO:Al

Abstract : a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ 적층형 태양전지의 효율향상을 위해 상부전지와 하부전지간의 접합특성은 매우 중요하다. 본 연구에서는, 접합특성을 향상하기 위하여 아몰퍼스 보다 전도도가 높은 마이크로화된 n층 또는 ZnO:Al을 중간층으로 삽입한 태양전지를 제조하였으며, 그 특성을 전기적, 광학적 방법으로 분석하였다. 전기적 특성에서, 상부전지 n층에 아몰퍼스를 적용한 태양전지의 경우, 상부전지와 하부전지간의 직렬저항이 $500\Omega\text{-cm}^2$ 이상으로 높게 측정되었고, 이에 따라 AM 1.5 상태의 I-V 특성에서 비틀림 현상이 발생하여 곡선인자(Fill Factor : FF)가 낮게 측정되었다. 이에 반하여, 상부전지 n층에 마이크로층을 적용하거나, ZnO:Al 중간층을 삽입한 시편의 경우, 상부전지와 하부전지간의 직렬저항이 $1\Omega\text{-cm}^2$ 이하로 감소하였으며, 이와 같은 계면간의 접합특성 향상으로 I-V특성에서 비틀림 현상이 사라지고, FF가 70% 까지 증가하였다. 또한, 마이크로층과 ZnO:Al 중간층을 동시에 적용한 태양전지의 경우, FF가 75%까지 가장 높게 증가하였다. 광학적 특성의 경우, 같은 두께의 아몰퍼스 n층에 비하여 마이크로 n층이 투과도는 더 높게, 반사도는 낮게 측정되었으며, 이는 하부전지의 단락전류(Short circuit current : Jsc)를 높여줄 것으로 판단된다.

subscrip

R ratio : H_2/SiH_4 ratio
TRJ : Tunnel Recombination Junction
FF : Fill Factor (%)
Voc : Open circuit voltage (V)
Jsc : Short circuit current (mA/cm^2)

1. 서론

a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ 적층형 박막 태양전지에서, 상부전지와 하부전지간의 접합특성(Tunnel Recombination Junction : TRJ)은 태양전지의 효율을 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 적층형 태양전지가 높은 곡선인자(Fill Factor : FF)와 개방전압(Voc : Open Circuit Voltage)을 가지기 위해서 TRJ의 전기적 특성은 좋은 ohmic 형태여야 하며, 높은 단락전류(Jsc : Short circuit current)를 가지기 위해서 TRJ는 입사되는 빛에 대한 선택적 투과를 일으켜야 한다. 상부

전지와 하부전지간의 TRJ 특성을 향상시키기 위해 다양한 방법이 시도되고 있는데, 그 예로 상부전지 n 층 혹은 하부전지의 p층의 도핑양을 증가시키거나[1] 상부전지 n층을 전도도가 높은 마이크로층을 사용하는 방법[2], 상부전지와 하부전지 사이에 투명전도막(TCO)들인 TiO_x [3], NbO_x [4], ZnO[5] 등을 중간층으로 삽입하는 방법 등이 있다. 특히 ZnO의 경우, 전기적 전도도가 우수하여 상부전지와 하부전지간의 접합특성이 향

-
- 1) 한국에너지기술연구원 태양전지연구센터
E-mail : iklos21@empal.com
Tel : (042)860-3069 Fax : (042)860-3739
 - 2) 한국에너지기술연구원 태양전지연구센터
E-mail : jcleee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3415 Fax : (042)860-3739
 - 3) 한국에너지기술연구원 태양전지연구센터
E-mail : jsong@kier.re.kr
Tel : (042)860-3738 Fax : (042)860-3739
 - 4) 한국에너지기술연구원 태양전지연구센터
E-mail : y-kh@kier.re.kr
Tel : (042)860-3191 Fax : (042)860-3739

상되며, 단파장 빛은 반사하고 장파장 빛은 투과하는 선택적 반사 성질이 우수하여 중간층으로 많이 사용되고 있다.[5]

본 연구에서는 상부전지 n층이 아몰퍼스 및 마이크로 형태의 특성을 가질 때, 그리고, ZnO 중간층에 유무에 따른 TRJ 특성을 전기적, 광학적으로 분석하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 substrate SnO₂:F가 텍스처된 Asahi-U glass(Japan)를 사용하여 0.25cm² 크기를 가지는 정사각형 형태의 전지를 그림 1과 같이 제조하였다. 태양전지의 각 층은 화학기상증착장비(Cheical Vapor Deposition : CVD)를 활용하여 증착하였는데, p층 및 n층을 증착하기 위해서 RF magnetron CVD(RFCVD)를, i층을 증착하기 위해서 고주파 화학기상증착장비(Very high frequency CVD : VHFCVD)를 각각 사용하였다. 시편의 온도는 150~200℃사이로 유지하였으며, 증착시 사용된 gas는 SiH₄, H₂ 및 p층 증착에 B₂H₆, CH₄를, n층 증착에 PH₃를 각각 사용하였다. ZnO 중간층 및 후면 반사막으로는 ZnO:Al₂O₃(2.5wt%)을 스퍼터링(sputtering) 하였으며, 후면전극으로는 Ag를 사용하였다.

태양전지의 전기적 특성은 상부전지와 하부전지 사이의 암전류특성(Dark I-V)을 측정하여 직렬저항을 측정하고, AM 1.5 분위기의 광전류특성(illumination I-V)을 측정하여 전지의 특성을 측정하였다. 광학적 특성은 아몰퍼스 및 마이크로 층에 대한 투과도/반사도를 측정하였다.

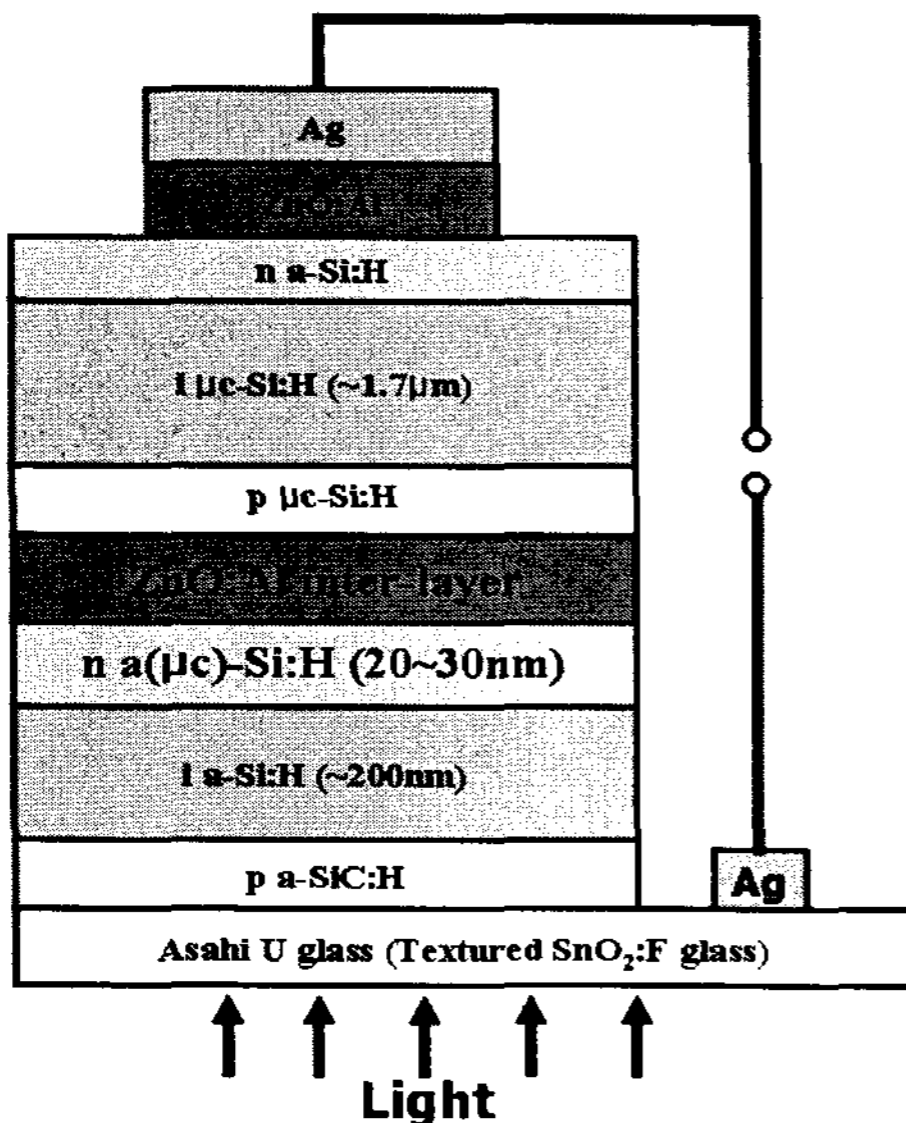


그림 1. 적층형 태양전지 단면

3. 결과 / 고찰

그림 2는 적층형 태양전지에서 상부전지와 하부전지의 계면인 n₁ a-Si:H/p₂ μc-Si:H 박막에서 n층의 R ratio 변화 및 ZnO:Al 중간층을 적용한 후, 전압에 따른 직렬저항을 측정한 결과이다. H₂의 비율이 낮게(R=2) 적용한 시편의 경우, 저항이 500Ω-cm² 이상이며, ohmic 형태가 아닌 반면, H₂의 비율이 높게(R=75, 100) 적용한 시편은 두께에 상관없이 저항이 1Ω-cm² 이하로 감소하고, ohmic 형태의 거동을 보여준다. 또한, ZnO 중간층을 n/p 층 사이에 삽입한 시편의 경우에도 저항이 1Ω-cm² 이하로 감소하였다.

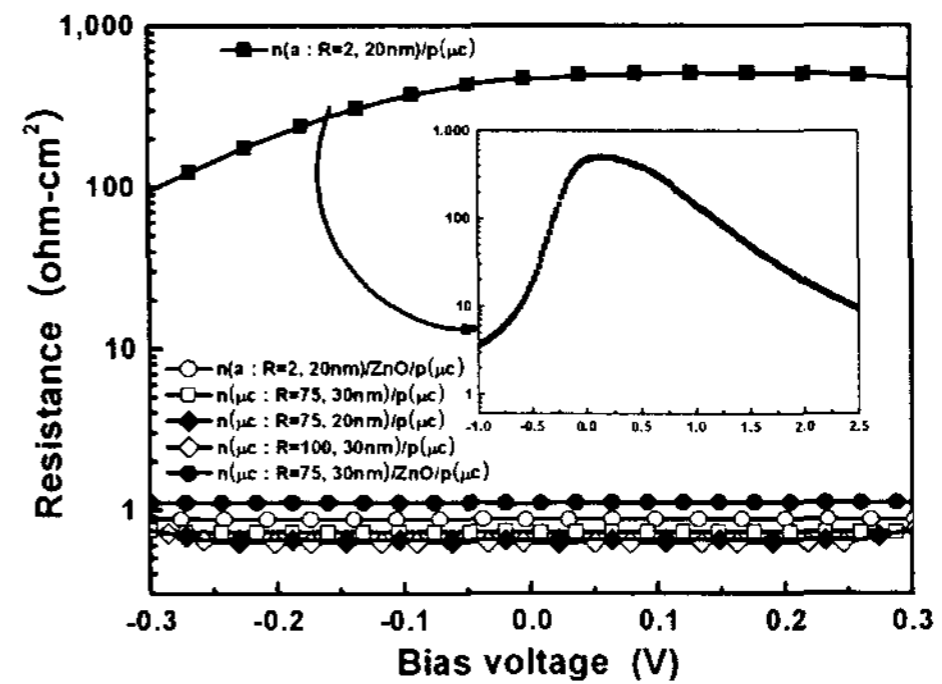


그림 2. R ratio, n층 두께 및 ZnO 유무에 따른 n/p계면에서의 전압에 따른 직렬저항 변화

R값 변화에 따른 n/p 계면의 직렬저항 변화를 확인하기 위하여, n층에 대한 특성을 분석하였다. 그림 3은 R값을 변화하여 n층을 제조한 박막의 전도도 및 raman 그래프를 보여준다. 그림에서 보는바와 같이, R값이 2인 경우, raman 그래프가 아몰퍼스 영역(475~500/cm)을 나타내고 있다. 반면, R값이 50 이상의 박막들은 raman 그래프가 마이크로 영역(500~525/cm)을 나타내고 있으며, 전도도가 크

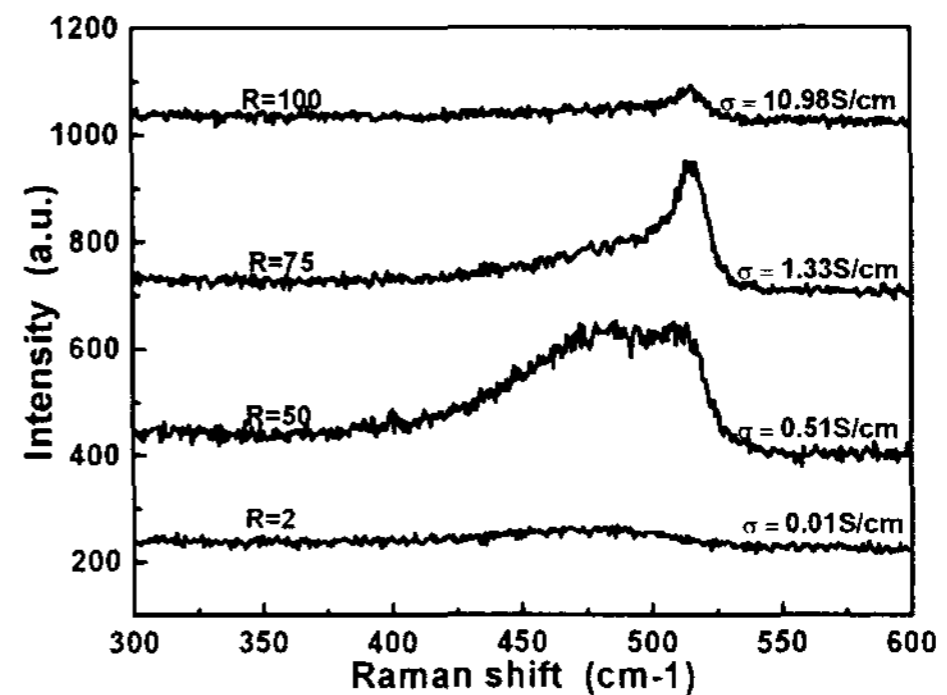


그림 3. R ratio 변화에 따른 전도도 및 raman spectroscopy 측정결과

게 증가하였다. 따라서, 그림 2에서, R값이 큰 n층들은 마이크로 형태의 박막들이 제조되었음을 알 수 있다. 또한, 마이크로화된 박막의 높은 전도도 및 ZnO의 높은 전도도가 n/p계면의 직렬저항을 감소시키고 계면의 성질을 향상시킨 것으로 판단된다

그림 4는 여러형태의 TRJ를 가지는 적층형 박막 태양전지의 FF 변화를 보여준다. 그림 2에서의 결과와 같이, n a-Si:H/p μ c-Si:H 형태의 TRJ의 높은 직렬저항으로 인하여 FF가 40% 미만으로 낮게 측정되었다. 하지만, n a-Si:H/ ZnO(50nm)/p μ c-Si:H 및 n μ c-Si:H/p μ c-Si:H 시편의 경우, 직렬저항의 감소로 인하여 FF가 70% 까지 상승하였다. 또한, n μ c-Si:H 층과 ZnO를 동시에 적용한 시편의 경우, FF가 더욱 증가하였으며, 그 최고 75%였다. 이와 같이, 전도도가 높은 마이크로층 및 ZnO 중간층은 n/p 계면에서의 직렬저항을 감소시켜 적층형 태양전지에서 전기적 특성을 향상시킴을 확인할 수 있다.

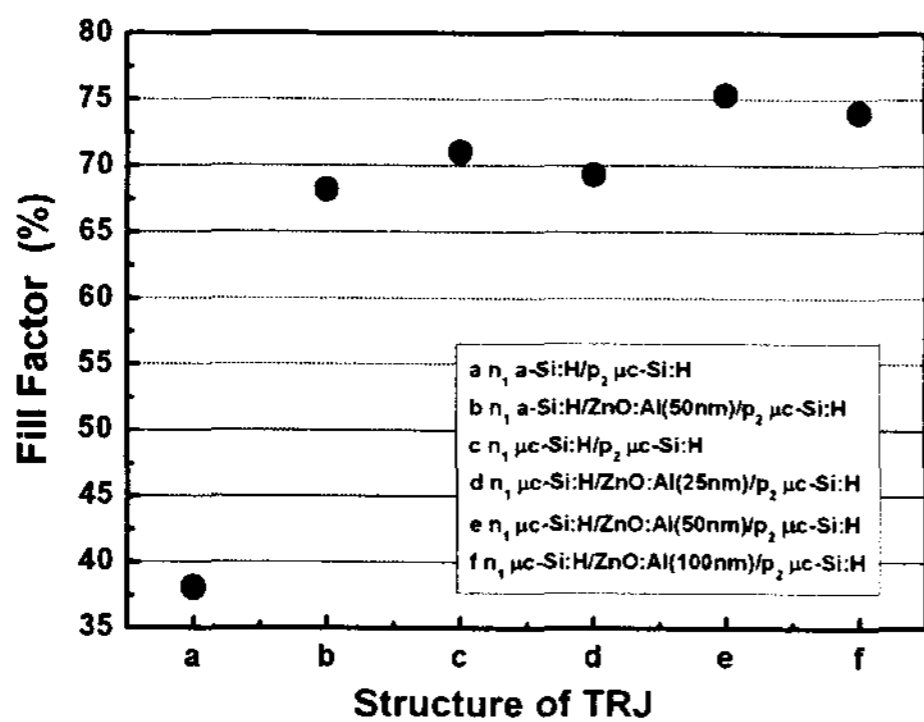


그림 4. 서로다른 TRJ에 따른 적층형 태양전지에서 FF의 변화

그림 5는 n a-Si:H 및 μ c-Si:H 층의 투과도 및 반사도를 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 같은 두께에서 a-Si:H 층에 비하여 μ c-Si:H 층의 투과도가 더 크고, 반사도는 낮음을 알 수 있다. 이와 같은 광학적 특성은 하부전지의 전류밀도를 증가시킬 것으로 판단된다.

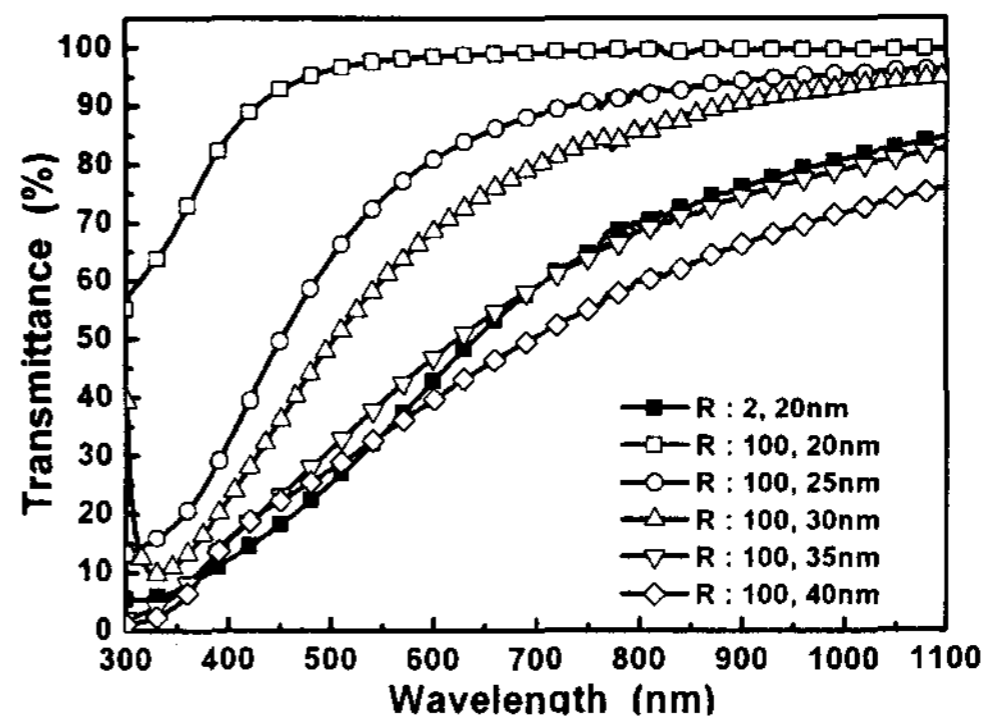


그림 5. 서로 다른 R값 및 두께에 따른 투과도 및 반사도의 변화

4. 결론

실리콘 박막 적층형 태양전지에서, 상부전지와 하부전지간의 TRJ특성을 향상시키기 위하여 상부전지의 n 층을 마이크로화 하거나, ZnO 중간층을 삽입하였다. 마이크로층과 ZnO의 높은 전도도는 상부전지와 하부전지 사이의 직렬저항을 $500\Omega\text{-cm}^2$ 에서 $1\Omega\text{-cm}^2$ 이하로 감소시켜 접합특성을 향상시키며, 이 향상된 접합특성은 적층형 태양전지의 FF를 40%에서 70% 이상으로 증가시킨다. 특히 마이크로층과 ZnO를 동시에 적용하면, 75%의 높은 FF를 얻을 수 있었다. 또한, μ c-Si:H layer는 동일한 두께일 때, a-Si:H에 비하여 높은 투과도와 낮은 반사도를 가지며, 이는 하부전지의 전류밀도를 증가시킬 것으로 판단된다.

References

- [1] Steven S. Hegedus, Frank Kampas and Jianping Xi, Appl. Phys. Lett. 67(6), 7813~815 (1995)
- [2] Asok K. Barua and Sankar Mandal, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38 L981~L983(1999)
- [3] J.Krc, M.Zeman, B. E. Pieters, A. Campa, F. Smole, and M. Topic Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Vol.2 1529~1532 May 2006
- [4] D. Shen, R. Schropp, H. Chatham, R. Hollingsworth, P. Baat, and J. Xi, Appl. Phys. 64, 394 (1998)
- [5] D. Fischer, D. Dubail, J. A. A. Selevan, N. P. Vaucher et al, 25th IEEE PVSC, Washington DC, 1996, p 1053.