

## 비정질 실리콘 태양전지 고효율화를 위한 전면투명전도막/p 최적연구

이 지은<sup>1)</sup>, 이 정철<sup>1)</sup>, 오 병성<sup>2)</sup>, 송 진수<sup>1)</sup>, 윤 경훈<sup>1)</sup>

### A optimum studies of TCO/p-layer for High Efficiency in Amorphous Silicon Solar cell

Ji Eun Lee, Jeong Chul Lee, Byung-Seng Oh, Jinsoo Song, and Kyung Hoon Yoon

**Key words** : a-Si:H(비정질 실리콘), thin-film(박막), solar cell(태양전지), Fill factor(충진율), barrier(장벽)

**Abstract** : 유리를 기판으로 하는 superstrate pin 비정질 태양전지에서 전면투명전도막(TCO)과 p-layer의 계면이 태양전지의 효율을 내는데 가장 큰 기여를 한다. 전면투명전도막(TCO)으로 현재 일반적으로 사용되는 ZnO:Al는 SnO<sub>2</sub>:F 보다 전기, 광학적으로 우수하고, 안개율(Haze)높으며, 수소 플라즈마에서의 안정성이 높은 특징을 갖고 있다. 그래서 박막 태양전지 특성향상에 매우 유리하나, 태양전지로 제조했을 때, SnO<sub>2</sub>:F보다 충진율(Fill factor:F.F)과 V<sub>oc</sub> 가 감소한다는 단점을 가지고 있다. 본 실험실에서는 SnO<sub>2</sub>:F의 F.F가 72%이 나온 반면 ZnO:Al의 F.F는 68%에 그쳤다. 이들 원인을 분석하기 위해 TCO/p-layer의 전기적 특성을 알아 본 결과, SnO<sub>2</sub>:F보다 ZnO:Al의 직렬저항이 높게 측정되었다. 이러한 결과를 바탕으로 p-layer에 R={H<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub>}=25로 변화, p μc-Si:H/p a-SiC:H 로 p-layer 이중 증착, p-layer의 boron doping 농도를 증가시키는 실험을 하였다. 직렬저항이 가장 낮았던 p μc-Si:H/p a-SiC:H 로 p-layer 이중 증착에서 V<sub>oc</sub>는 0.95V F.F는 70% 이상이 나왔다. 이들 각 p층의 E<sub>a</sub>(Activation Energy)를 구해본 결과, μc-Si:H의 E<sub>a</sub> 가 가장 낮은 것을 관찰 할 수 있었다.

#### subscrip

TCO :Transparent conducting Oxides  
V<sub>oc</sub> : Open Circuit Voltage  
F,F :Fill factor(충진율)  
E<sub>a</sub> : Activation Energy

#### 1. 서론

일반적인 비정질 실리콘 박막 태양전지는 Glass/TCO/pin/metal 구조를 이루고 있다. 태양전지에서 각 층의 물성, 그리고 TCO와 p층의 계면, p층과 i층의 계면 역시 태양전지의 V<sub>oc</sub>와 J<sub>sc</sub> 그리고 F.F에 많은 영향을 주고 있다.

TCO는 superstrate pin 태양전지에서 전기적-광학적으로 큰 역할을 하고 있다. TCO에는 ITO, SnO<sub>2</sub>:F, ZnO:Al등 여러 종류가 있다. 그 중 많이 연구 되고 있는 ZnO:Al는 전기적, 광학적 특성이 우수하고, 빛의 회절율을 나타내는 안개율(Haze)이 높다. 그리고 가장 중요한 장점은 H<sub>2</sub>-plasma에 안정하다는 것이다. 그러나 이러한 우수한 장점에

도 불구하고, 태양전지를 제조 하였을 때 창문 층인 p a-SiC:H와의 접합문제에 의해서 F.F 와 V<sub>oc</sub> 가 감소한다는 단점을 갖고 있다.<sup>[1,2]</sup> 이러한 원인은 명확하게 밝혀 지지 않아 많은 연구가 이루어지고 있다. 연구되고 있는 원인중의 하나로 ZnO:Al의 diode factor가 낮기 때문에 p a-SiC:H와 접합시 직렬저항을 생성시킨다고 보고되어 지고 있다.<sup>[3]</sup> 그리고 SiO 와 element Zn가 ZnO:Al와 p a-SiC:H 계면에서 생성되어 재결합 손실이 발생하는 것이라고 보고하고 있다.<sup>[4]</sup>

본 연구에서는 이러한 연구들을 바탕으로 p a-SiC:H의 물성을 변화시켜 ZnO:Al/p a-Si:H의 계면 문제의 원인을 분석하고, 그에 따라 태양전지로 제조 하여 계면에 따른 태양 전지 특성인 V<sub>oc</sub> 와 F.F의 관계를 분석한다.

1) 한국에너지기술연구원 태양전지센터  
E-mail : y-kh@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3191 Fax : (042)860-3133  
2) 충남 대학교 물리학과  
E-mail : byung@cnu.ac.kr  
Tel : (042)821-6544 Fax : (042)822-8011

## 2. 실험 방법

투명전도막(TCO)으로는 texturing된 SnO<sub>2</sub>:F를 사용하였고, ZnO:Al은 rf sputtering으로 증착된 ZnO:Al을 1% HCl 용액으로 수십 초 간 식각하였다.

본 연구에서는 TCO/p-layer의 계면 상태 변화에 따라 contact 저항을 분석하기 위해 texturing된 ZnO:Al에 p-layer의 물성을 변화시켜 증착하였다. 그리고 이 contact 저항에 따른 충전율(F.F)의 의존성을 살펴보기 위해 태양전지를 직접 그림 1과 같은 구조로 제조하였다.

p-i-n을 제조하기 위해 다 반응실 PECVD 장치를 이용하였으며, p층 증착시 H<sub>2</sub>, SiH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>를 사용하였고, i층은 60MHz VHF CVD를 이용하였으며, R=H<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub>=8로 유지하였다. 그리고 n층으로는 H<sub>2</sub>, SiH<sub>4</sub>, PH<sub>3</sub>를 사용하여 증착하였고, 후면전극으로는 Ag를 사용하였다. 본 연구를 하기 위해서 p층을 제외한 ZnO:Al과 i,n층 및 후면 전극은 동일하게 제조하였다. 제조된 TCO/p-layer 샘플은 dark conductivity를 통해 contact 저항을 관찰하였고, 태양전지의 IV 특성은 solar simulator(WACOM, Japan)를 이용하여 AM 1.5, 100mW/cm<sup>2</sup>에서 측정하였다.

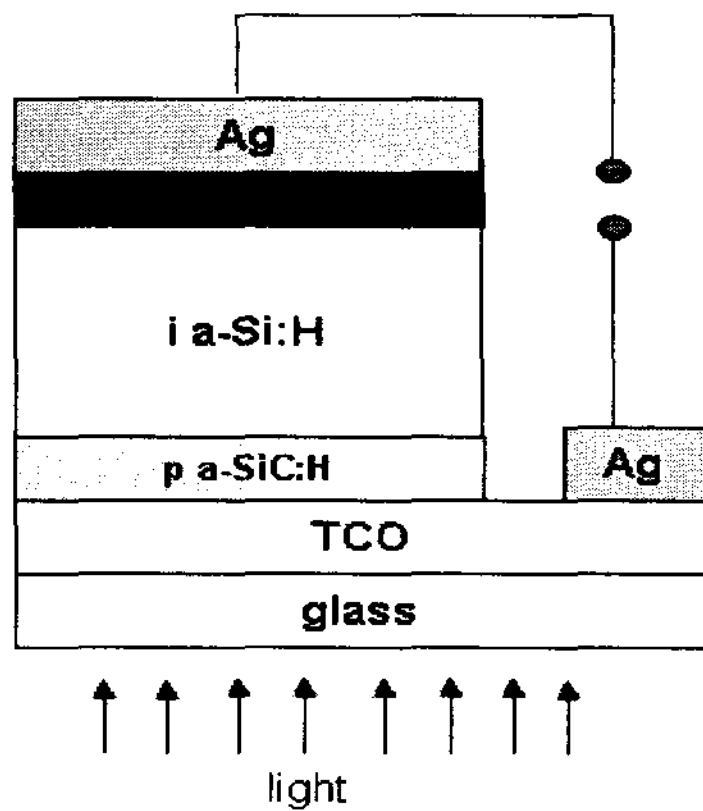


Fig.1 structure the p-i-n amorphous Si:H solar cell: Except the p-layer, the cell have a same structure and processes

## 3. 결과 및 고찰

그림2(a)는 SnO<sub>2</sub>:F와 ZnO:Al를 TCO로 한 태양전지의 특성들을 비교한 것이다. V<sub>oc</sub>는 ZnO:Al가 0.94V, SnO<sub>2</sub>:F가 0.92V로 ZnO:Al가 높은 값이 나온 반면에 F.F는 ZnO:Al가 SnO<sub>2</sub>:F보다 10%정도 낮은 값을 보였다. 이러한 문제의 원인을 알아보기 위해 TCO/p의 접촉저항을 구해본 결과, 그림2(b)에서 보는 바와 같이 ZnO:Al가 SnO<sub>2</sub>:F보다 저항이 2배정도 높은 값이 나왔다.

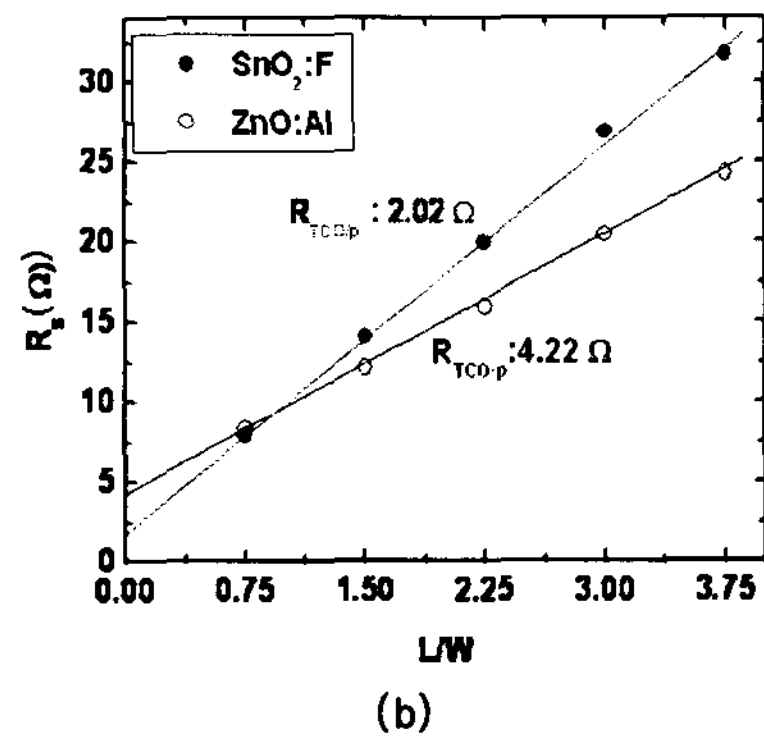
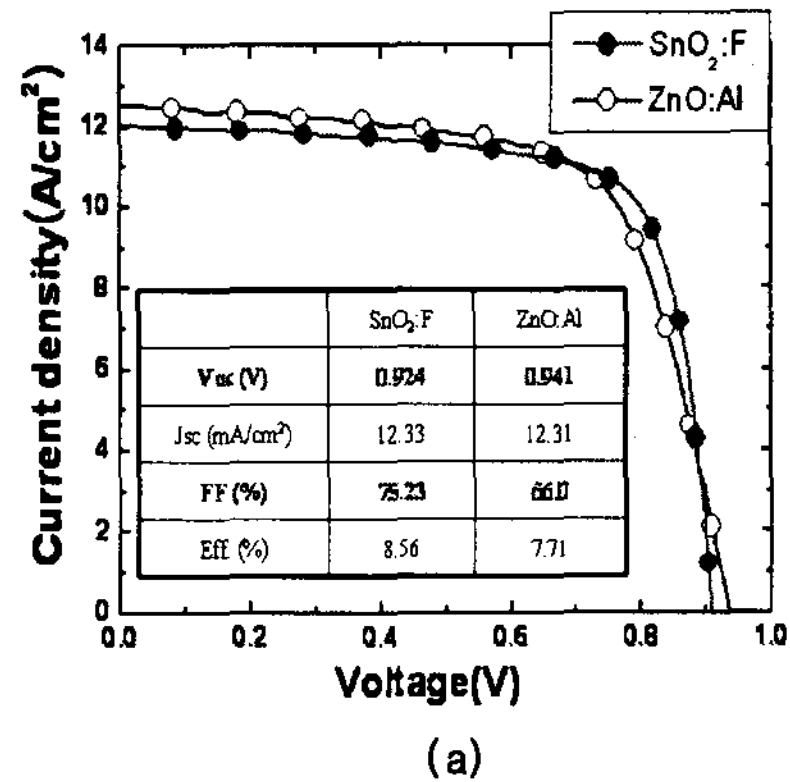


Fig 2. (a) The illuminated I-V curve  
(b) The contact resistance of a-Si:H solar cell with different TCO

이러한 결과를 통해서 태양전지의 F.F는 TCO와 p-layer의 직렬저항과 관련이 있는 것을 예측할 수 있었다. 이러한 직렬저항은 p-layer 증착할 때 수소가 ZnO:Al표면과 만나게 되면서 accumulation layer가 형성이 되고, n층의 농도가 높아진다. 이러한 ZnO:Al은 p층과 만나면서 공핍층을 형성한다고 보고되어지고 있다.<sup>[4]</sup> 이를 바탕으로 수소의 영향을 알아보기 위해 p-layer 증착 시 기존의 R=H<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub>=1(p-3)에서 R=H<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub>=25(p-4)로 하여 증착시켰다. 그림 3에서 보는 바와 같이 p-4는 p-3보다 직렬저항이 높게 측정되었다. 이러한 결과를 통해서 수소는 TCO와 p-layer 계면의 직렬저항에 영향을 준다는 것을 예측할 수 있었다. 앞의 결과를 바탕으로 H<sub>2</sub>에 의해서 ZnO:Al의 n-type의 농도가 높아져 공핍층을 발생시킨다면, 그러한 공핍층을 제거하기 위해서 p층의 doping 농도를 증가시켜 보았다. B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> profiling을 통해서 p층의 doping 농도를 증가 시키고(p-2), 아니면 기존의 p층과 ZnO:Al사이에 μc-Si:H을 삽입(p-1)하였다. 이러한 조건으로 ZnO:Al와 직렬저항을 알아본 결과, 그림 3에서 보는 바와 같이 p-2, p-1의 직렬저항이 현저하게 감소한 것을 확인 할 수 있다. 위의 조건으로 비정질 실리콘

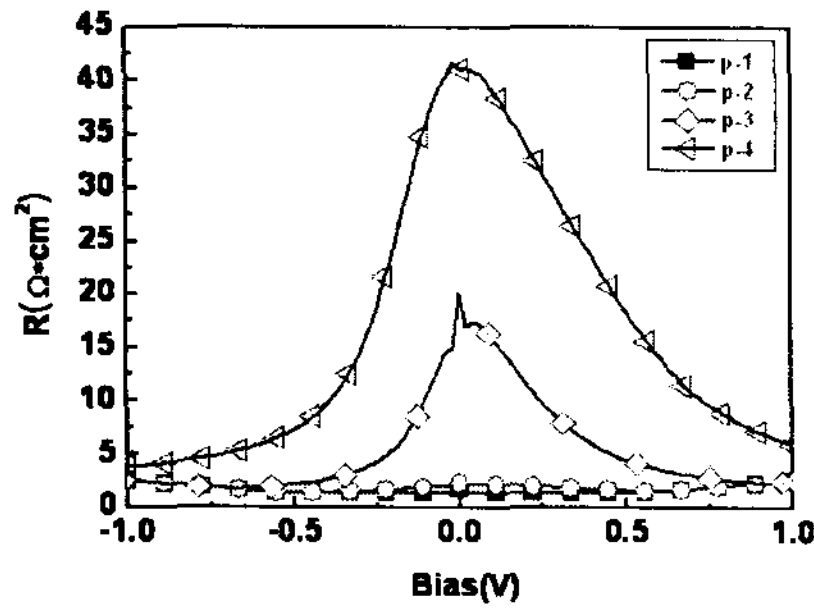


Fig 3. The dark IV of a-Si:H with different p-layer

본 태양전지를 제작하여 특성들을 비교 해 보았다. 그림 4에서 보는 바와 같이 ZnO:Al와 p-layer의 직렬저항이 증가할 때, F.F는 감소하는 경향을 보였다. 이것은 p층의 물성인  $E_a$ 와 같은 경향성을 보였는데, 그림4에서 보는 것과 같이 F.F를 증가 시키는 직렬저항의 감소는 p층의  $E_a$ 의 감소와 관계가 있음이 판단이 된다. 그 원인으로 그림 5에서 보는 것과 같이 ZnO:Al와 (p-3)조건인 p a-SiC:H가 만드는 장벽은  $E_a$ 가 낮은 p-1, p-2으로 물성을 바꿔 주었을 때, Fermi level을 맞춰주기 위해서 전체의 band가 위쪽으로 이동하게 된다. 이것은 ZnO:Al와의 장벽을 낮춰 주게 되고 이렇게 되면서 직렬저항이 감소하는 것이라고 예상 된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 p층의 물성을 변화 하여 *superstrate pin* 태양전지를 만들어 그 특성을 알아보았다. TCO/p층의 직렬저항이 감소할수록 F.F와  $V_{oc}$ 는 증가 하는 경향을 보였다. 직렬저항을 감소시키는 p의 물성으로는  $B_2H_6$ 을 profiling 한 것과  $\mu c-Si:H$  이었고, 이 물성들은  $E_a$ 가 낮은 것을 확인 할 수 있었다. 따라서  $E_a$ 의 감소는 직렬저항을 감소시킨다는 것을 예측 할 수 있었고, 그에 따라서 F.F 와  $V_{oc}$ 에 영향을 주는 것으로 판단되었다.

#### References

- [1] M. Kubon, E. Boehmer, F. Siebke, C. Beneking, H. Wagner, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 41/42, 485 (1996)
- [2] F. S. Sinencio and R. Williams, *J. Appl. Phys* 54 (1983)2757
- [3] H. Stiebig, F. Siebke, W. Beyer, C. Beneking, B.Rech, H. Wagner, " Interfaces in a-Si:H solar cell structures" *Solar Energy Materials and Solar Cells* 48 351-363 (1997)
- [4] G. Ganguly and D. E. Carlson, S. S. Hegedus and D. Ryan, R.G. Grdon and D.

Pang, R. C. Reedy, "Improved fill factors in amorphous silicon solar cells on zinc oxide by insertion of a germanium layer to block impurity incorporation", *Appl. Phys. Lett.* 85, 3(2004)

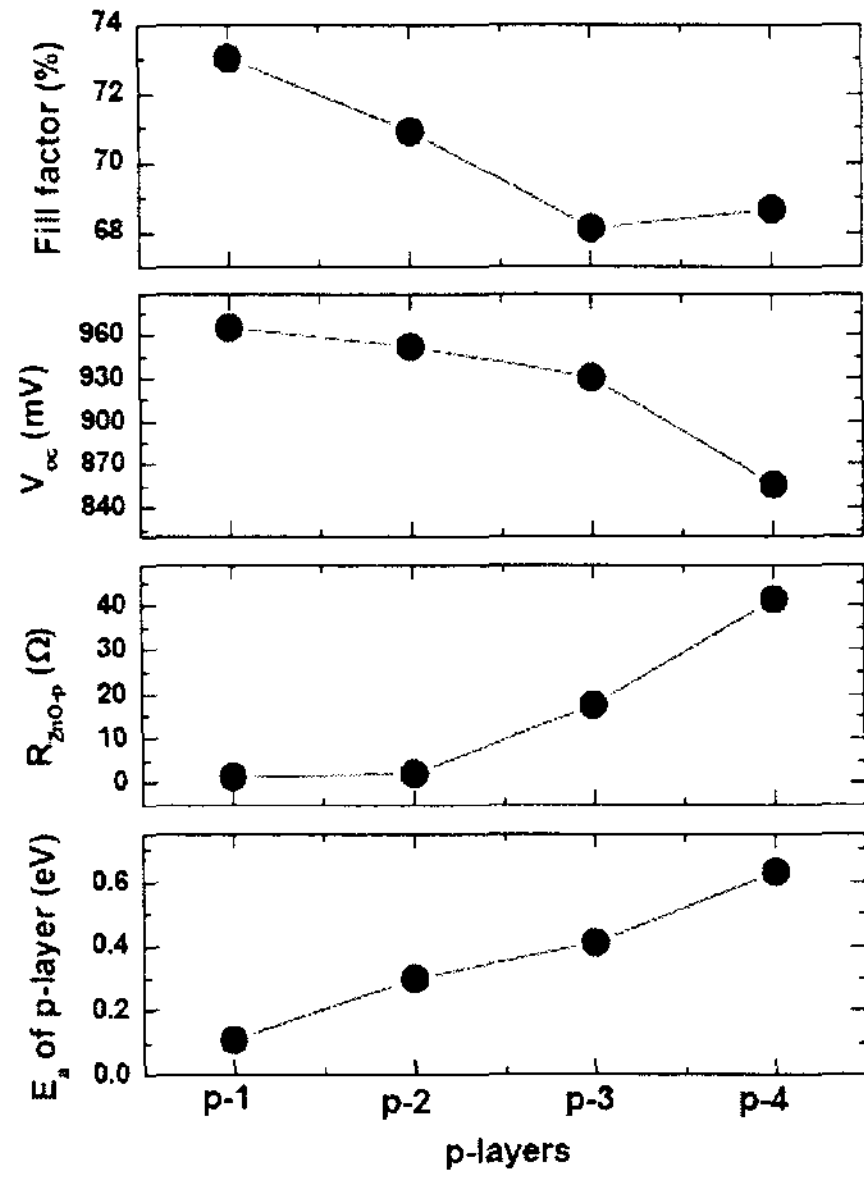


Fig 4. photovoltaic performances of *superstrate pin* solar cells,  $E_a$  and Resistance to TCO/p a-SiC:H as a function of different p-layers

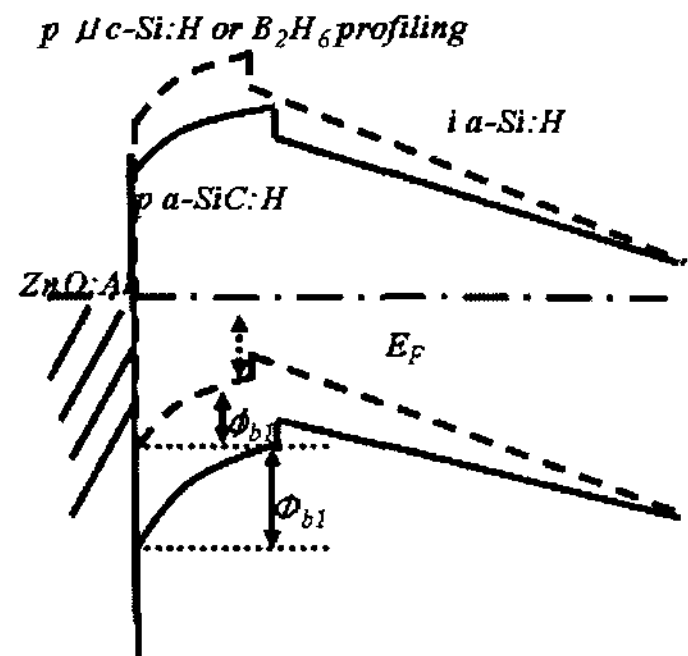


Fig 5. Band diagram of *superstrate pin* solar cell.