

SIS 태양전지의 제조 및 그 특성

(Fabrication of Semiconductor-Insulator-Semiconductor Solar Cells and their Characteristics)

金 鎮 燮*, 李 德 東**, 李 宇 一***

(Kim, Jin-Sup Lee, Duk-Dong and Lee, Wu-Il)

要 約

전자선 가열 증착장치를 사용하여, 결정면이 (100)이고 비저항이 2~4 ($\Omega \cdot \text{cm}$)인 N형 Si 단결정 기판 위에 10~20 Å 정도의 얇은 절연층을 형성하고, 이 위에 약 1000 Å의 SnO₂ 또는 ITO를 증착시켜 SIS 태양전지를 만들고, 이들의 특성을 조사하였다.

절연 산화피막형성을 위한 가장 적합한 온도 및 시간은 공기중에서 각각 500 °C 및 5분이었다. SnO₂나 ITO를 Si 기판위에 증착한 후, 공기중에서 행한 열처리 조건은, SnO₂/n-Si 태양전지의 경우 300 °C에서 10분간이고, ITO/n-Si 태양전지의 경우는, 300 °C, 20분이 적합함을 알 수 있었다.

AMI (100 mW/cm²) 상태에서 측정된 SnO₂/n-Si 태양전지의 개방전압 (V_{oc}), 단락전류 (J_{sc}), 충실도 (FF) 및 효율 (η)은 각각 0.4 V, 34 mA/cm², 0.44 및 6.0% (활성영역 효율, 6.9%)이었고, ITO/n-Si 태양전지의 경우는 각각 0.44 V, 36 mA/cm², 0.53 및 8.45% (활성영역 효율, 9.71%)였다.

Abstract

SnO₂/n-Si and ITO/n-Si SIS solar cells have been fabricated by means of electron-beam deposition. The optimum oxidation and heat-treatment condition for SnO₂/n-Si cells and ITO/n-Si cells are 500 °C - 5 min., 300 °C - 10 min., and 500 °C - 5 min., 300 °C - 20 min., respectively. The open-circuit Voltage (V_{oc}), short-circuit current density (J_{sc}), fill factor (FF), and efficiency (η) under AMI (100 mW/cm²) illumination were 0.4 V, 34 mA/cm², 0.44, and 6.0% (active area efficiency, 6.9%) for SnO₂/n-Si solar cells, and 0.44 V, 36 mA/cm², 0.53, and 8.45% (active area efficiency, 9.71%) for ITO/n-Si solar cells.

I. 서 론

최근, 대체에너지 개발의 필요성이 증가됨에 따라, 태양전지 개발에 관한 연구가 각국에서 경쟁적으로 이루어지고 있다. 그 결과, 여러 가지 구조를 갖는 새로운 태양전지들이 개발되고 있으며, 개발된 이들 태양전지의

효율개선을 위한 노력이 계속되고 있다. 이들 중 SnO₂/Si 또는 ITO/Si 태양전지는, 그 제조 공정이 비교적 간단하고, 생산에 있어서 경제적이라는 점에서 유망한 소자의 하나로 간주되고 있다.

SnO₂/n-Si 태양전지의 제조 및 이의 전기적, 광학적 특성의 조사는 1967년 K. Kajiyama 등^[1]에 의하여 처음 이루어졌으며, 이어서 T. Nishino 등^[2]에 의하여 더욱 자세히 조사되었다. 그 후, T. Mizrah 등^[3]은 1%의 효율을 갖는 ITO/p-Si 태양전지를 제조하였고, R. L. Anderson 등^[4]은 0.3%의 효

* 準會員, **, *** 正會員, 慶北大學校 工科大學 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng. Kyung-Pook National Univ.)

接受日字: 1981年 3月 27日

율을 갖는 ITO/p-Si 태양전지를 만들었다. 최근에는 T. Feng 등^[5]이 약 10%의 효율을 갖는 ITO/n-Si 태양전지에 대해 보고한 바 있다.

본 연구에서는, n-Si 기판과 SnO₂ 또는 ITO(Indium tin oxide) 층 사이에 10~20 Å 정도의 얇은 절연층을 형성시켜, T. Feng 등이 보고한 태양전지의 효율에 가까운 SIS (semiconductor - insulator - semiconductor) 태양전지를 제조하였고, 그 특성을 조사하였다.

II. SnO₂/n-Si 및 ITO/n-Si 태양전지의 제조

본 실험에서, SnO₂/n-Si 및 ITO/n-Si 태양전지의 제조를 위해, 비저항이 2~4 (Ω·cm)이고, 결정면이 (100)인 Monsanto 제 N-형 Si를 기판으로 사용하였다. 그리고 박막층을 형성하기 위해 Kanto Chemical Co. 제의 순도 99%인 SnO₂와 Soe Kawa Chemicals 제의 순도 99.9%인 In₂O₃를 사용하였다.

본 실험에서 택한 제조 공정은 그림 1과 같다.

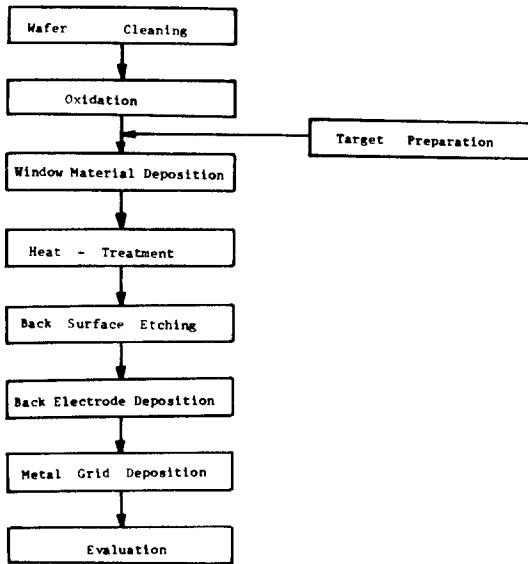


그림 1. SIS 태양전지 제조 공정도
Fig. 1. Process sequence for the SIS solar cell fabrication.

먼저, Si 기판을 1 × 1.5 cm의 크기로 잘라 반도체 표준세척공정으로 세척하고, 이를 전기로에 넣어 500°C에서 3~5분간 절연산화막을 형성시켰다. 이 기판을 전자선 가열 증착장치 (electron-beam deposition sys-

tem)에 넣고, 진공도 2~4 × 10⁻⁵ torr에서 이 위에 SnO₂ 또는 ITO를 약 1000 Å의 두께로 증착하였다. 여기서 사용한 ITO는 In₂O₃와 SnO₂를 mole 비로 9 : 1의 조성을 갖게 혼합하여 압축성형한 것이다. 다음에 증착된 기판을 300°C에서 열처리하여 SnO₂ 및 ITO 박막층을 형성시켰다. 그리고 열처리 과정에서 생긴 기판 뒷면의 산화막을 제거한 후, 뒷면의 전극을 형성하기 위하여 Ti를 500 Å 증착하고, 이어서 Ag 5000 Å을 증착하였다. 다시 앞면의 전극을 형성하기 위해서 Ag를 10,000 Å 진공증착하였다. 이때 사용한 마스크는 그리드폭이 0.2 mm, 길이가 10 mm, 간격이 0.6 mm의 것으로서, 전극면적에 태양전지 전체면적의 13%가 되게 설계한 것이었다.

제조된 태양전지의 암전류-전압 및 광전류-전압특성을 측정하였고, 이때 AMI(100 mW/cm²) 상태에서 광특성을 측정하기 위해 한국전자기술연구소(KIET)에서 제조한 표준 태양전지를 사용하였다.

그림 2는 본 실험에서 제조한 태양전지의 구조도를 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

그림 3은 SnO₂와 ITO의 형성을 위한 열처리시간에 따른 태양전지의 개방전압 (V_{oc})과 단락전류 (J_{sc})의 변화를 나타낸 것이다. 이것은 열처리 온도를 300°C로 한 경우이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 SnO₂/n-Si 태양전지의 경우는, 300°C에서 10분간 열처리했을 때 개방전압 (V_{oc})과 단락전류 (J_{sc})의 곱이 가장 큰 값을 나타내고, ITO/n-Si의 경우는 300°C에서 20분간 열처리했을 때 개방전압 (V_{oc})과 단락전류 (J_{sc})의 곱이 가장 크음을 알 수 있다.

그림 4는 절연층을 형성하기 위해 산화시간에 대한 개방전압 및 단락전류의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과는 산화온도를 500°C로 했을 경우이다. 500°C에서 5분간 산화시켰을 때, 개방전압과 단락전류의 곱이 가장 크음을 알 수 있다.

한편, S. J. Fonash와 H. C. Card 등^{[6][7]}은 절연층의 두께가 15~20 Å일 때, SnO₂나 ITO로부터 나온 전자의 tunneling 계수를 1로 가정하여, 가장 높은 개방전압을 나타낸다고 보고한 바 있다. 이것을 근거로 하여, 본 실험에서 택한 산화조건하에서 얻은 절연층의 두께가 15~20 Å의 범위에 있음을 추정할 수 있다.

전자선 가열 증착장치 (electron-beam deposition system)로 SnO₂나 ITO를 Si 기판위에 증착할

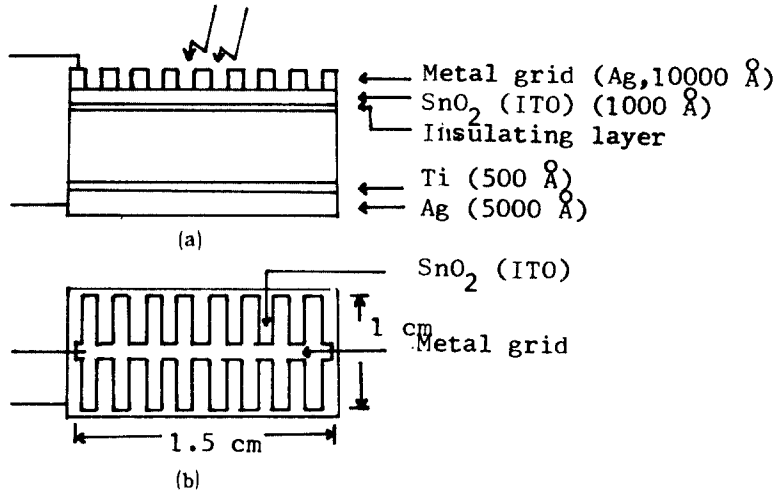


그림 2. SIS 태양전지의 구조도 : (a) 단면도와 (b) 입면도

Fig. 2. The structure of SIS solar cell : (a) cross-sectional view and (b) top view.

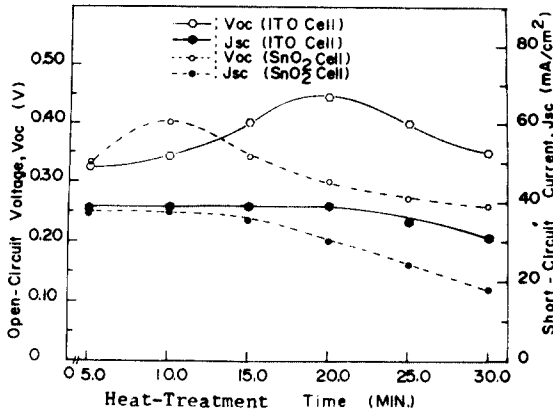


그림 3. 열처리 시간에 대한 단락전류(J_{sc})와 개방전압(V_{oc})의 변화

Fig. 3. Short-circuit current (J_{sc}) and open-circuit voltage (V_{oc}) depending upon heat-treatment time at 300 °C.

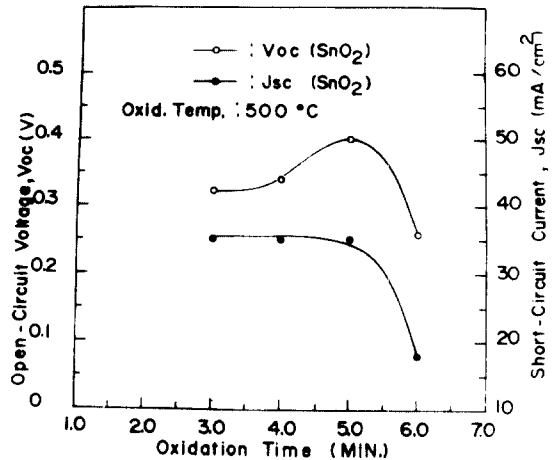


그림 4. 산화시간에 대한 단락전류(J_{sc})와 개방전압(V_{oc})의 변화

Fig. 4. Short-circuit current (J_{sc}) and open-circuit voltage (V_{oc}) depending upon oxidation time at 500 °C.

경우, 그림 5에 도시한 바와 같이, Si 기판에 대한 증착물질의 입사각이 태양전지의 효율에 큰 영향을 미칠 수 있을 것이다.

본 실험에서 입사각을 달리하면서 SnO₂ 나 ITO를 증착해 본 결과, 입사각 θ 가 약 60°인 경우, 가장 재현성이 높고 효율이 높은 태양전지를 얻을 수 있음을 알았다. 이것은 SnO₂ 나 ITO가 Si 기판위에 증착될 때, 결정성장이 어느 한 방향으로 더 잘 이루어진다는 A. K. Ghosh 등^{[5][6]}의 보고가 이를 잘 뒷받침

해 주고 있다.

그림 6은 산화층을 성장시키지 않은 SnO₂/n-Si 태양전지의 암전류-전압특성 및 AMI(100 mW/cm²)에서의 광전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 그림 7과 그림 8은 앞에서 언급한 산화 및 열처리의 최적조건에서 제조한 SnO₂/n-Si 및 ITO/n-Si 태양전지의 암전류-전압 및 AMI에서의 전류-전압특성 곡선을 나타낸 것이다.

그림 9(a) 및 (b)는 SnO₂/n-Si 및 ITO/n-Si

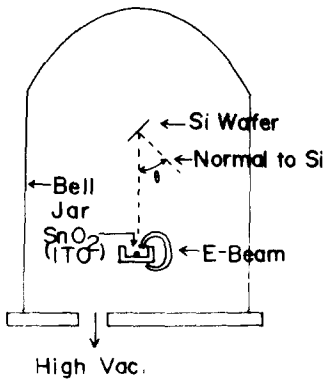


그림 5. 전자선 가열 증착기의 내부 구조도.
 θ 는 Si 기판에 대한 SnO_2 (ITO)증기의 입사각
Fig. 5. Schematic diagram of electron-beam evaporator.

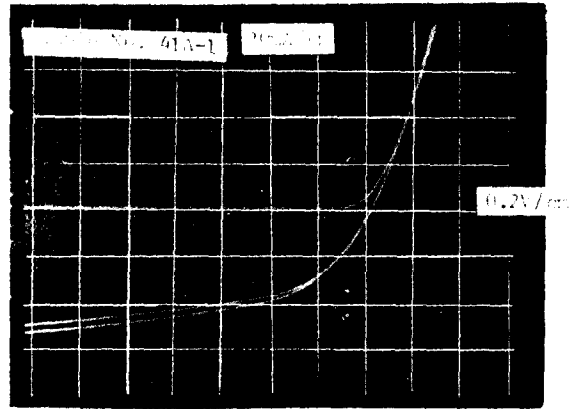


그림 7. $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ 태양전지의 암전류-전압 및 AMI에서의 전류-전압특성곡선
Fig. 7. Dark and photo (AMI) I-V characteristics of $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ solar cell.

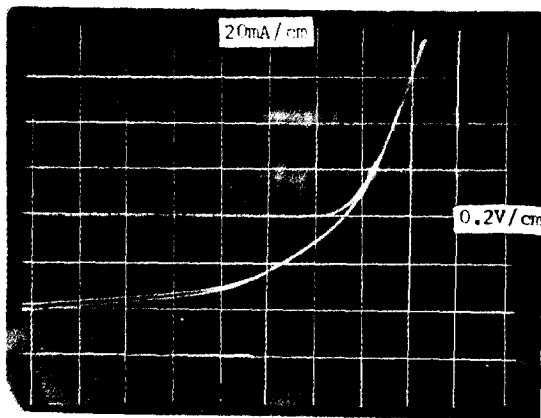


그림 6. 산화과정을 거치지 않은 $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ 태양전지의 암전류-전압 및 AMI에서의 전류-전압특성곡선
Fig. 6. Dark and photo (AMI) I-V characteristics of the $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ solar cell without oxide layer.

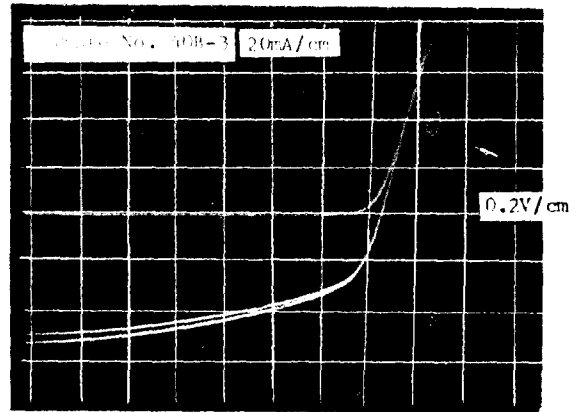


그림 8. ITO/n-Si 태양전지의 암전류-전압 및 AMI에서의 전류-전압특성곡선
Fig. 8. Dark and photo (AMI) I-V characteristics of ITO/n-Si solar cell.

태양전지의 효율과 충실도 (FF) 를 계산하기 위한 AMI (100 mW/cm^2) 에서의 전류-전압곡선이다. 그리고 산화과정을 거치지 않은 $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ 태양전지와 $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ 및 ITO/n-Si 태양전지의 각 parameter 를 표 1 에 실었다.

IV. 결 론

전자선 가열 증착법으로 Si 단결정 기판 위에 SnO_2 또

는 ITO 를 증착하여 $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ 및 ITO/n-Si 태양전지를 제조하였다.

절연층 형성에 있어서, 500°C 에서 5분간 산화시키는 것이 높은 효율을 갖는 태양전지 제조에 알맞는 조건임을 알 수 있었다. 그리고 $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ 태양전지의 SnO_2 층은 300°C 에서 10분간, ITO/n-Si 태양전지의 경우는 300°C 에서 20분간의 열처리를 했을 때, 좋은 효율을 나타내었다.

제조된 $\text{SnO}_2/n\text{-Si}$ 태양전지의 단락전류, 개방전압 충실도 및 효율은 각각 34 mA/cm^2 , 0.4 V , 0.44 및 6.0% (활성영역 효율, 6.9%) 이었으며, ITO/n-Si 태양전지의 경우는 각각 36 mA/cm^2 , 0.44 V ,

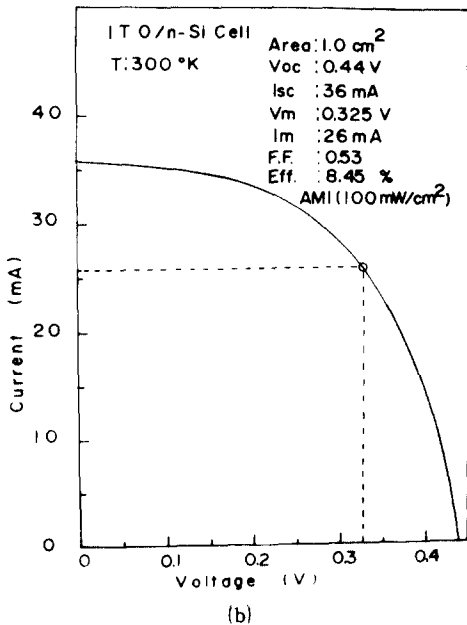
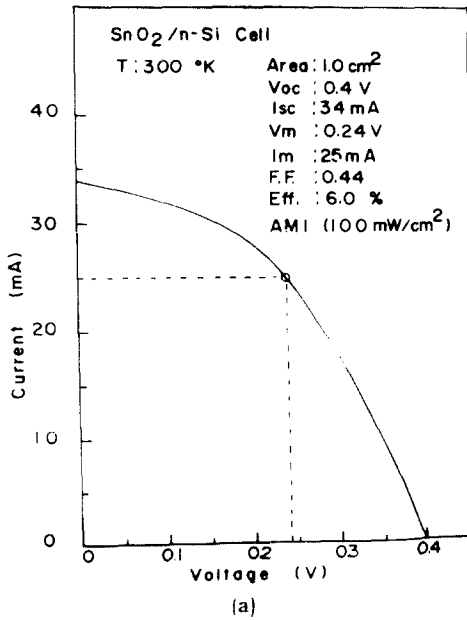


그림 9. AMI(100 mW/cm²) 에서의 (a) SnO₂ / n-Si, (b) ITO/n-Si 태양전지의 I-V 특성곡선

Fig.9. I - V characteristics of (a) SnO₂ / n-Si, (b) ITO/n-Si solar cells under AMI(100 mW/cm²) illumination.

표 1. 본 실험에서 제조한 태양전지의 특성
Table 1. The characteristics of solar cells fabricated in the experiment.

Device	Jsc(mA/cm ²)	Voc(V)	FF	Et/Ea(%)
SnO ₂ cell *	24.0	0.32	0.32	2.43/2.79
SnO ₂ cell	34.0	0.40	0.44	6.00/6.90
ITO cell	36.0	0.44	0.53	8.45/9.71

Where SnO₂ cell * : SnO₂/n-Si solar cell with-out oxide layer,

Et : total area efficiency under AMI(100 mW/cm²) illumination,

Ea : active area efficiency under AMI(100 mW/cm²) illumination,

0.53 및 8.45% (활성영역 효율, 9.71%) 였다. 그러나 본 실험에서 제조한 태양전지의 개방전압(V_{oc}) 과 충실도(FF)는 R. Singh^[9] 등이 보고한 값보다 비교적 낮은 값을 나타내고 있으나, 산화층 형성공정 및 전극의 개선으로 보다 높은 효율의 태양전지를 제조할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Kenji Kajiyama and Yoshitaka Furukawa; Electrical and optical properties of SnO₂ - Si heterojunctions, Jpn. J. Appl. Phys., 6, pp. 905 - 906, 1967.
2. Taneo Nishino and Yoshihiro Hamakawa; Electrical and optical properties of Si - SnO₂ heterojunctions, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 9, No. 9, pp. 1085-1090, 1970.
3. Tiberiu Mizrah and David Adler; Operation of ITO/Si heterojunctions solar cells, Appl. Phys. Lett., Vol. 29 No. 10, pp. 682-684, 15 November, 1976.
4. R. L. Anderson, NSF/RANNAER 76-04168 Semi - Annual Report, 1977.
5. T. Feng, A. K. Ghosh, and C. Fishman; Efficient electron - beam - deposited ITO/n-Si solar cells, J. Appl. Phys., 50(7), pp. 4972-4974, July, 1979.
6. Stephen J. Fonash; The role of the inter - facial layer in metal - semiconductor solar cells, J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 3 pp. 1286 - 1289, March, 1975.

7. H. C. Card and E. S. Yang ; MIS - Schottky theory under conditions of optical carrier generation in solar cells, Appl. Phys. Lett., Vol. 29, No. 1, pp. 51 - 53, 1 July, 1976.
8. T. Feng, A. K. Ghosh, and C. Fishman ; Angle-of-incidence effects in electron-beam-deposited SnO_2/Si solar cells, Appl. Phys. Lett., 34 (3), pp. 198 - 199, 1 February, 1979.
9. R. Singh ; Short circuit current in indium tin oxide/silicon solar cells, J. Appl. Phys., 51(9), pp. 5064 - 5065, September, 1980.

