

高効率을 갖는 Al-MIS型 太陽電池의 製作과 特性

金奎用·尹志洪

High Efficiency Al-MIS Solar Cells

Kyu-yong Kim, Ji-hong Yoon

Summary

A study of experimental data on Al-oxide-p-Si solar cells has led to a metal evaporation procedure which gives open circuit voltage $V_{oc} = 0.45V$, short circuit current $I_{sc} = 27.2mA/cm^2$, and fill factor $FF = 0.7$ under AM1. ($98mw/cm^2$).

Al-MIS solar cells having 1 cm^2 area have been fabricated to produce 8.8% high efficiency on single crystal (111), $10\sim15\ \Omega\cdot\text{cm}$, and p-type.

서 언 실 험

종래의 태양전지, 즉 p-n 확산형 Si 태양전지는 단결정의 육성, 고온 처리등의 어려운 과정을 거쳐 제작되므로 필연적으로 비용이 높아지고, 또한 기관의 특성이 변화하는 등의 단점이 있어, 보다 간편하고, 저렴하게 만들 수 있는 방법이 연구되어 왔다. 특히 Si 표면에 금속의 박막을 입혀서 만든 소위 Schottky 형은 고온처리가 필요없고 다량생산에도 적합하므로 많은 연구가 이루어지고 있으나 효율면에서 다소 뒤떨어진 감이 없지 않다. 최근에 와서 Si 표면에 아주 얇은 산화막($10\sim20\text{\AA}$ 정도)을 형성시킨, 소위 MIS (Metal - Insulator - Semiconductor)형 태양전지는 tunnel 전류에 의하여 다량의 전류가 흐를 수 있으면서 높은 개방전압을 얻을 수 있음이 밝혀져 이 방법의 연구가 여러모로 시도되고 있다.

본 연구에서는 P형의 Si 단결정 위에 형성시킨 산화막(SiO_2)에 Al을 얇게 진공증착시켜 MIS (Metal - Insulator - Semiconductor)형 태양전지를 만들고 이의 전기적, 광학적 특성을 조사하여 태양전지 제작의 최적조건을 구하고 energy 변환효율을 높이는 문제를 고찰하였다.

Si 기관의 화학적 세조

실험에 사용된 Si 기관은 비저항이 $10\sim15\ \Omega\cdot\text{cm}$ 인 (111) 면을 가진 P형 Si-wafer (Monsanto社 製造)를 사용하였다. Si 기관의 표면처리는 태양전지의 좋은 특성을 결정하는 중요한 요인이므로 Si 기관의 표면에 부착된 기름이나 불순물을 제거하기 위하여 먼저 산화막을 형성시킨다.

본 실험에서는 $H_2SO_4 : H_2O_2$ 의 비가 10:1인 용액을 만들어 95°C 에서 6분간 가열한 후 탈이온수(D. I. Water)에 세척한 다음, 다시 불순물을 제거하기 위하여 진한 HNO_3 용액내에서 95°C 의 온도로 6분 동안 가열하여 탈이온수에 세척하며, 마지막 단계로써 Si 기관 위에 형성된 산화막을 제거하기 위하여 48%의 HF 용액으로 10초 동안 etching한 다음 탈이온수로 세척하여 공기중에서 건조시켜 사용하였다.

위와 같이 Si-wafer를 처리하여 불순물이나 산화층이 없는 순수한 Si 면이 되도록 하는 것이 solar cell의 효율을 높이는 가장 중요한 요인이 되고 있다.

Solar Cell의 제작

2 논 문 정

태양전지의 제작은 완전 세조된 Si 기판의 뒷면에 두께가 7000 Å ~ 8000 Å 정도의 Al을 진공증착시켰으며, Al 막과 Si 기판 사이의 ohmic contact를 좋게 하고, 또 Si 기판 앞면에 산화막을 형성시키기 위하여 공기, 질소 또는 산소 속에서 500°C 근방에서 15분동안 가열시켜서 10 ~ 20 Å 정도의 SiO₂ 산화막을 얻었다. 여기에 다시 70 Å 정도의 Al을 산화막 SiO₂ 위에 진공도 6 × 10⁻⁶ torr에서 진공증착하였다.

태양전지는 폭이 0.1mm, 간격이 1mm인 mask를 얻은 상태로 Al을 5000 ~ 10000 Å 정도 진공증착하여 앞면 전극으로 만들었다. 그리고 앞면 전극과 뒷면의 Al막 위에 구리선을 연결한 후 다시 그위에 SiO를 약 700 Å 진공증착한 무반사막을 제작하였다.

본 실험에서 사용된 진공증착기는 Varian製 NRC-3115이고, 막의 두께는 Veeco製 crystal oscillator 두께 조절기를 이용하여 측정하였다.

이와같은 방법으로 제작한 Al/p-Si MIS형 solar cell의 구조를 도시하면 그림 1과 같다. 표면반사율을 줄이기 위하여 무반사막을 만들어 파장영역의 선택성을 높이고록하며, 이때 단락전류는 약 50% 정도 증가하였다.

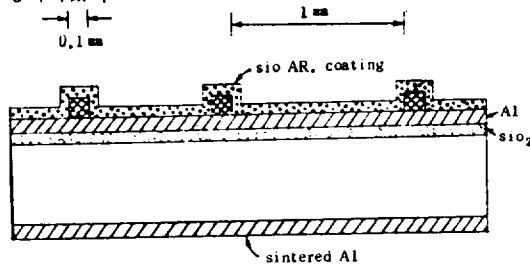


Fig. 1. Schematic diagram of the MIS solar cell structure.

실 험 결 과

Al/p-Si MIS solar cell의 I-V 특성

그림 2는 제작된 Al/p-Si MIS형 태양전지의 oscilloscope상에 나타난 I-V 특성곡선이다. 여기서 광원은 100 W의 백열전등이며, 위 곡선은 광을 비추지 않은 dark 상태이고, 아래곡선은 광을 조사했을 경우이다.

여기서 가로축은 0.1 V/div, 세로축은 10 mA/div이며, 이때 조사한 광의 세기는 50 mW/cm²이었다. 이 결과는 비교적 좋은 정류특성을 보이고 있다.

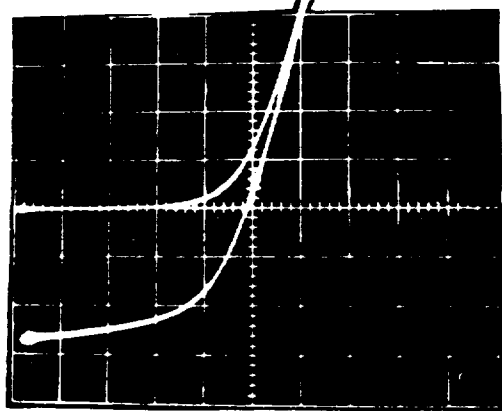


Fig. 2. I-V characteristics of Al/p-Si solar cell in the dark and under illumination.

그림 3은 제작된 solar cell의 dark 상태에서 순방향 전압을 걸었을 때의 $\ln I-V$ 의 전기적 특성은 실온에서 transistor curve tracer 및 electrometer를 사용하여 측정하였으며, 그림 3은 X-Y recorder를 사용하여 세밀하게 조사한 결과이다. 여기서 $\ln I-V$ 곡선은 그림에서 보는 바와 같이 저전압 영역과 고전압 영역으로 구분할 수 있다. 저전압 영역에서는

$$I_D = I_{D0} \left\{ \exp \left(\frac{qV}{n k T} \right) - 1 \right\}$$

$$I_{D0} = I_0 \exp \left(\frac{-E_g}{\beta k T} \right)$$

의 공식이 잘 맞으며, 여기서 I_{D0} 는 포화암전류, n 는 diode quality factor인데, 제작된 태양전지의 n 의 값을 직선부분에서 구하였더니 $n = 1.66$ 을 얻었다. 또 E_g 는 energy gap의 크기 I_0 와 β 는 상수이다.

고전압 영역에서의 순방향 전류는 대체로 온도와는 독립으로

$$I_D = \exp(\alpha V)$$

로 주어진다.

Al/p-Si MIS형의 $1/C^2-V$ 특성

그림 4는 junction capacitance를 상온(300°K)에서 측정하여 그 인가전압 V에 따른 $1/C^2$ 의 변화

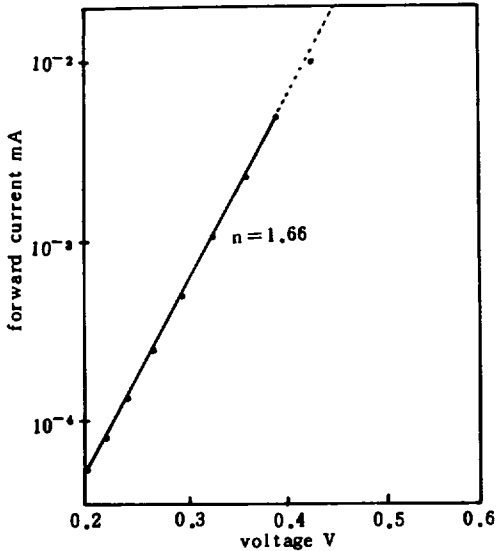


Fig. 3. Dark forward I-V characteristic at 300°K of MIS solar cell.

를 표시하였다. 여기서 C를 측정하기 위해 Hewlett Packard의 universal bridge를 이용하였다.

Schottky junction capacitance와 인가전압과의 관계는

$$\frac{1}{C^2} = \frac{1}{S^2} \frac{2(V_b - V)}{q \epsilon_0 \epsilon_s N_D}$$

로 표시된다. 여기서 V_b 는 built-in voltage, N_D 는 donor 밀도, S는 접합면적, ϵ_s 는 비유전율이다.

그림 4에서 횡축을 자르는 점이 built in voltage V_b 이며, 그 값은 0.57 V이다. 이 값은 개방전압 $V_{oc} = 0.45$ V보다 다소 큰 값을 보여주고 있다.

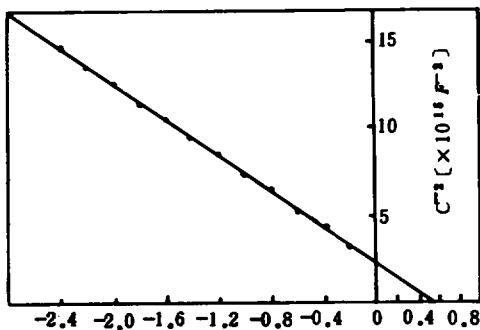


Fig. 4. Plots of $1/C^2$ vs. V for Al/p-Si MIS solar cell at 300°K

Photospectral response

그림 5는 일정한 광자수를 가지고 있는 Al/p-Si MIS solar cell의 입사광의 파장에 따른 광전류의 photospectral 반응을 나타내고 있으며, 광전류의 진폭은 광전류의 최대치를 1로 잡아 규격화시킨 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와같이 photospectral 반응은 4000 Å에서 12000 Å의 넓은 파장 영역에 걸쳐서 퍼져 있다. 그리고 이 태양전지의 최대 광전류를 가지는 파장은 7000 Å 근방이다.

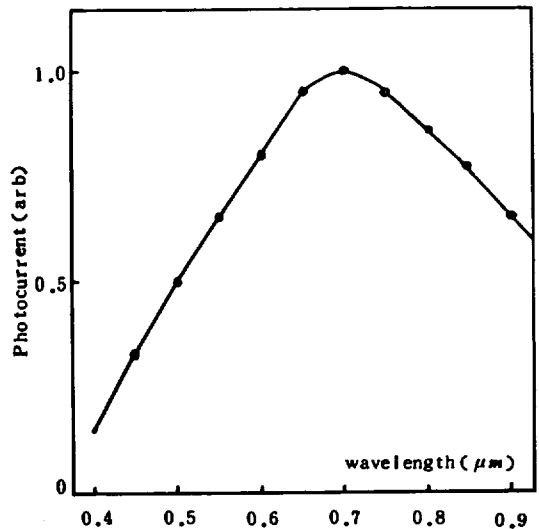


Fig. 5. Spectral response.

태양전지의 특성

그림 6은 미국 NASA에서 배부된 AM1 상태의 solar simulator를 사용하여 98 mW/cm²의 W-lamp를 광원으로 하여 X-Y recorder에 의해서 측정된 short circuit current (I_{sc})와 open circuit voltage (V_{oc})와의 관계를 나타낸 curve이다.

이로부터 태양전지의 충실도 (fill factor, FF)와 에너지 변환효율 (energy conversion efficiency, η)

4 논 문 집

은 다음과 같이 정의된다.

즉

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{H_i \cdot S} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{H_i \cdot S}$$

$$H_i = \int_0^1 M(\nu) h\nu d\nu$$

여기서 I_m , V_m 은 그림 6에서 얻어지는 I-V 특성 곡선에서 최대전력점에서의 부하전류, 부하저항 양단에 걸리는 전압강하이고, H_i 는 일사강도이다. 그리고 $M(\nu)$ 는 단위시간, 단위면적에 떨어지는 진동수(ν)에 대한 광자밀도, S 는 태양전지 앞면의 유효광입사면적이다.

본 실험에서는 격자 전극을 포함한 면적으로 $S = 1\text{cm}^2$ 이었다. 그림 6과 위의 식으로 얻은 값으로 V_{oc} (개방전압)는 0.45 V, I_{sc} (단락전류)는 27.2 mA 임을 알 수 있으며, 이로부터 계산된 fill factor (FF)는 0.7, energy conversion efficiency (η)는 8.8%가 된다. 효율을 높이기 위하여 앞으로 직렬저항을

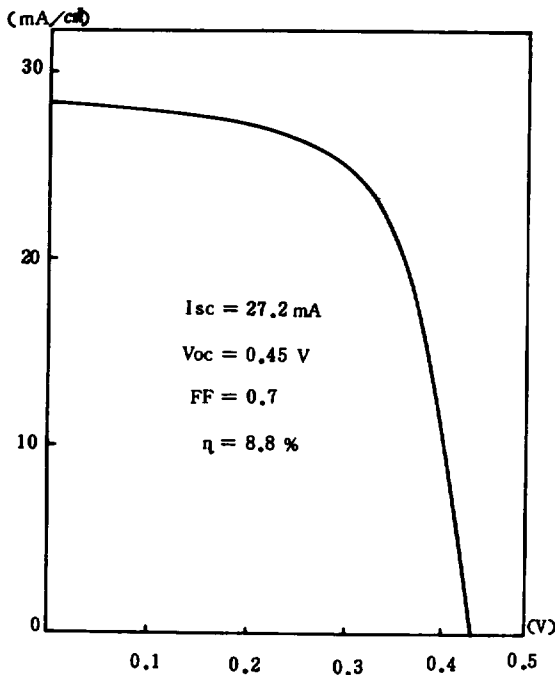


Fig.6. Power curve for Al/p-si MIS solar cell under AMI simulated sunlight of 98mw/cm²

줄이고, 또 built-in voltage 한계 때문에 V_{oc} 가 떨어지는 것을 개량하면 효율을 높일 수 있다고 생각된다. 또 이론적으로 barrier height를 band gap 까지 높일 수 있으면 p-n junction과 같은 효율을 얻을 수 있다고 주장하고 있으며 한편으로는 interfacial layer을 만들어 장벽 높이를 높이려는 시도가 있다. 또한 이론적인 면에서 η 값을 높임으로써 효율을 높이려는 시도가 있다.

적 요

비저항이 10 ~ 15 Ω·cm이고, 결정면이 (1 1 1) 인 p-Si 기판위에 산화막 SiO₂를 형성시키고, 그 위에 Schottky barrier 금속으로써 Al을 증착시킨 후 MIS형 solar cell을 제작하였다.

여기서 Si-wafer의 세척과정이나, 열처리를 잘하면 상당히 좋은 정류특성을 가진 diode를 만들 수 있다는 가능성이 있음을 본 실험을 통해서 알 수 있다. 또 Si 경계면에서의 광반사를 방지하고 되도록 많은 입사광선을 흡수하도록 하기 위하여 무반사막으로 SiO를 사용하였는데, 이것을 약 700 Å 정도 증착함으로써 단락전류가 약 50%정도 증가하였다.

AMI 상태의 태양광선 모의장치 아래서 이 태양전지는 개방전압 V_{oc} 는 0.45 V, 단락전류 I_{sc} 는 27.2 mA, 충실도 FF가 0.7, 그리고 energy 변환효율 η 가 8.8%였다.

앞으로 Si-wafer의 세척방법과 산화막을 균일하게 형성시키는 과정이 개선되면 보다 간편하고, 저렴하게 energy 변환효율을 높일 수 있는 solar cell 제작이 가능할 것이다.

인 용 문 헌

- D. Bonnet and H. Rothenhorst, Conference Record of the 9th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p.139 (1972).
- M. V. Schneider, Bell Syst. Tech. J. 45, 1611 (1966).
- M. Wolf. Energy Conversion 11, 63 (1971).

- W. A. Anderson, A. E. Delahoy, and R. A. Milano, *J. Appl. Phys.* 45, 3913 (1974)
- E. J. Charlson and J. C. Lien, *J. Appl. Phys.* 46, 3982 (1975).
- W. A. Anderson, S. M. Verson, A. E. Delahoy, J. K. Kim and P. Mathe, *J. Vac. Sci. Technol.* 13, 1158 (1976).
- D. R. Lillington, W. G. Townsend, *Appl. Phys. Lett.* 31, 471 (1977).
- W. A. Anderson, A. E. Delahoy, J. K. Kim, S. H. Hyland, and S. K. Dey, *Appl. Phys. Lett.* 33, 588 (1978).
- 李相潤 Si-Schottky 장벽형의 태양전지 제작에 관한 연구. 경북대학교 물리. 화학연구소 p.27. (1981년 6월)
- Martin, A. Green: *Appl. Phys. Lett.* 33, 178 (1978).
- P. Panayotatos and H. C. Card: *Solid State Elec.* 23, 41 (1979).
- 한국전자기술연구소 연구보고서 (1979).
- 羅炳旭의 2人. 경북대학교 논문집. 30, 235 ~ 238. (1980).
- Tetsuya Arizumi and Masataka Hirose: *J. J. Appl. Phys.* 8, 749 (1969).
- E. Ahlstrom and W. W. Garner, *J. Appl. Phys.* 33, 2602 (1962).
- S. M. Sze, *Phys of Semi. Devices.* (Wiley, New York), 363 (1969).
- H. J. Hovel, *Semiconductors and Semimetal*, vol. 11, Solar Cells, Academic, Press.
- A. L. Fahrenbruch and J. Aranovich, *Topics in Applied Physics*, vol. 31, Solar Energy Conversion: 248 (1975).
- E. H. Rhoderick, *J. Phys. J. Appl. Phys.* 3, 1153 (1970).
- H. C. Card and E. H. Rhoderick, *J. Phys. J. Appl. Phys.* 4, 1598 (1971).