

배면전극을 갖는 Si pin 태양전지 (Si pin Solar Cell with Rear Electordes)

이지현, 김윤희, 정진철, 김민영*, 장지근
단국대학교 전자공학과, *천안외국어대학 산업전산과

Abstract

비저항이 $500\Omega\text{-cm}$, 두께가 $250\sim 300\mu\text{m}$ 인 p(100) Si 웨이퍼를 이용하여 배면전극을 갖는 새로운 Si pin 태양전지를 설계·제작하였다. dark상태와 $60\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 자연광에서 제작된 전지의 전기·광학적 특성을 측정한 결과, 전지의 직렬저항과 포화전류는 각각 20Ω 과 $1.6\mu\text{A}$ 로, 개방전압과 단락전류는 0.45V 와 10.3mA 로, 충실도는 0.44 로 나타났다. 제안된 구조에서 전지의 두께를 최적화할 경우, 보다 높은 효율 특성이 기대된다.

1. Introduction

태양전지(solar cell)는 광기전력 효과(photovoltaic effect)를 이용하여 태양으로부터 오는 빛의 에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 transducer이다.^{1, 2)} Solar cell의 재료로는 여러 종류가 있으나 공정 기술적인 측면과 에너지 변환효율을 고려하여 Si 반도체가 가장 많이 이용되고 있다. 현재 상업적으로 이용되고 있는 단결정 Si 태양전지의 효율은 약 15% 정도에 이르고 있으며 지금까지 전지의 효율개선을 위해 BSF(back surface field)구조^{3, 4)}, HLE(heavy doping effects)구조⁵⁾, textured 구조⁶⁾, tandem junction⁷⁾ 구조 등 여러 가지 구조의 태양전지들이 개발되어왔다.

본 연구에서는 배면에서의 전극배치, textured surface 와 front surface field의 원리를 종합한 새로운 구조의 Si pin 태양전지를 설계, 제작하였다.

이 구조는 입사광의 광반사 손실을 줄이기 위한 antireflection layer와 textured 표면을 갖는다. 일반 태양전지는 광이 입사되는 면에 전극구조를 배치하여 입사광의 차광면적이 존재하나 배면에 전극을 배치할 경우, 입사광의 차광면적이 제거되며 배면전극은 입사광의 광반사막으로 동작하여 반도체 내에서 빛의 흡수율을 높일 수 있다. 또한 전지의 기판으로 p-웨이퍼를 이용함으로써 광생성된 캐리어의 확산길이(diffusion length)를 증대시킬 수 있으며 textured 표면아래 p'-diffusion영역은 front surface field를 제공하고 있다.

2. Experimental Procedure

단위 cell의 크기를 1.25cm^2 로 설계하여 n'-확산마스크, p'-확산마스크, texturization 마스크, contact 마스크, 전극마스크를 준비하였으며 가공상의 기계적 강도를 유지하는 범위 내에서 i(또는 p-)영역의 두께를 최소로 나타내기 위해 비저항이 $500\Omega\text{-cm}$, 두께가 $250\mu\text{m}$ 인 p(100) Si 웨이퍼를 기판으로 사용하였다. 소자제작 과정에서는 먼저 Si 웨이퍼를 산화한 후, 뒷면을 KOH 용액에서 비등방성 에칭기술로 texturizing하고 recleaning을 실시하였다. 이후 웨이퍼상에 산화막을 새로 형성하고 봉소(B)를 확산($R_s=60\Omega/\square$, $X_j=2.5\mu\text{m}$)하였으며, 뒤이어 뒷면의 산화막을 보호한 상태에서 인(P)을 확산($R_s=4.5\Omega/\square$, $X_j=3\mu\text{m}$)하였다.

다음으로, 뒷면의 산화막을 모두 제거하고 열산화법을 통해 약 1000\AA 의 SiO_2 막을 AR막(antireflection layer)으로 형성하였다. 공정의 마지막 단계로, Al 전극을 형성하고 금속-반도체간의 긴밀한 오염성 접촉을 위한 alloy 공정(450°C ; 10min ; N_2)을 실시하였다. Fig. 1은 제작된 소자의 단면구조이며, Fig. 2는 textured back surface의 사진이다.

3. Results and Discussion

Fig. 3은 제작된 전지의 순방향 바이어스 상태에서 암전류-전압 특성곡선이다. 이 특성 곡선에서 Y축 상의 절편 값과 기울기를 통해 계산된 포화전류밀도(J_0)는 $1.36 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이고, 이상계수(η)는 약 2로 나타나고 있다. Fig. 4는 $60 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 의 자연광 아래에서 측정된 photocurrent-voltage 특성곡선이다. 이 그림에서 개방전압(V_{oc})은 0.45 V로, 단락전류(I_{sc})는 10.3 mA로, 충실도는 0.44로 나타나고 있으며, $\eta = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{P_{in} A}$ 의 관계식을 통해 계산된 전지의 전력변환 효율은 2.2%로 나타나고 있다.

또한 $R_s = 2 \left[\frac{V_{oc}}{I_{sc}} - \frac{A_p}{I_{sc}^2} - \frac{nkT}{q} \frac{1}{I_{so}} \right]^{-1}$ 의 관계식을 통해 계산된 직렬저항은 20Ω 로 나타나고 있다.

본 실험에서 높은 직렬저항, 높은 역포화 전류, high ideality factor 등은 모두 전지의 효율 특성에 나쁜 영향을 미치고 있는데 이러한 낮은 효율 특성은 현재로서 전지두께가 최적화되어 있지 않고 공정환경에 크게 영향을 받는 것으로 판단된다. 제안된 구조에서 우수한 효율특성을 얻기 위해서는 전지 두께의 최적화 연구 및 좋은 공정환경에서의 소자제작이 필수적이다.

4. Conclusion

태양전지의 효율증대를 위해서는 빛의 흡수율과 캐리어의 집속효율을 높여야 한다. 이를 위해 금속 전극에 의한 차광 면적 제거, 표면 광반사율 억제, 광생성된 캐리어를 드리프트 이동시킬 수 있는 전계영역의 확대, 직렬 저항 감소 등에 대한 조치가 필요하다.

본 연구에서는 배면에서의 전극배치, texturized surface와 front surface field의 원리를 이용한 새로운 구조의 Si pin 태양전지를 설계·제작하였다. 이 구조는 기본적으로 높은 효율특성이 기대되나 현재까지는 공정의 기술적, 환경적 요인 등으로 인해 좋은 효율특성을 얻지 못하고 있다. 앞으로 전지의 두께를 최적화 할 경우 제안된 구조의 효율특성은 크게 개선될 것으로 기대된다.

Reference

- [1] 장지근, "오염성 확산영역과 표면전하 축적층을 이용한 새로운 고효율 HLE태양전지의 개발에 관한 연구", 연세대학교 대학원 박사학위 논문, (1984).
- [2] Edward S. Yang, Fundamentals of Semiconductor Devices, McGraw Hill Inc., (1978).
- [3] Jerry G. Fossum, "Physical Operation of Back Surface Field Silicon Solar Cells," IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 24, No.4, April (1977).
- [4] Jerry G. Fossum, et al., "Physics Underlying the Performance of Back Surface Field Solar Cells," IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 27, No. 4, April (1980).
- [5] C. T. Sah, et al., "A high Low Junction Emitter Structure for Improving Si Solar Cell Efficiency," IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 25, No. 1, Jan. (1978).
- [6] R. A. Arndt, J. F. Allison, J. G. Haynos, and A. Meulenber, Jr., "Optical Properties of the COMSAT Non-Reflective Cell," Conf. Rec. 11th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., IEEE, New York, 40. (1975).
- [7] W. T. Matzen, S. Y. Chiang, and B. G. Carbajal, "A Device Model for the Tandem Junction Solar Cell," IEEE Trans. Electron Devices, ED-26, 1365 (1979).
- [8] Gerardo L. Araujo, et al., "A New Method for Experimental Determination of the Series Resistance of a Solar Cell," IEEE Tras. on Electron Devices, vol. 29, Np. 10, Oct. (1982).

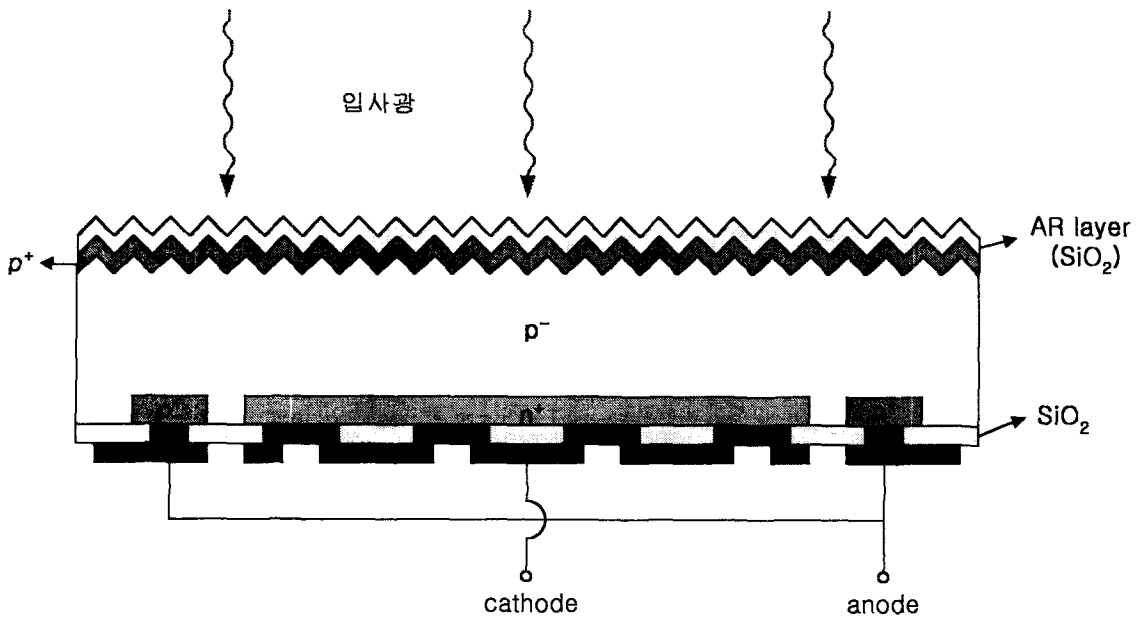


Fig. 1 Cross section of the solar cell.

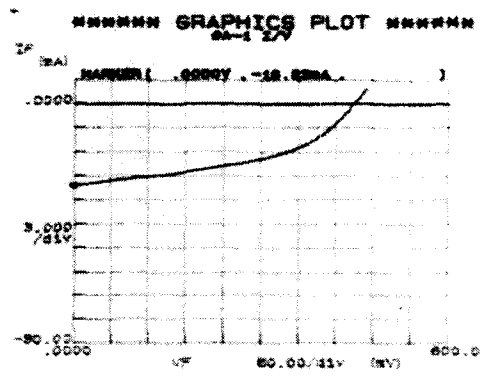
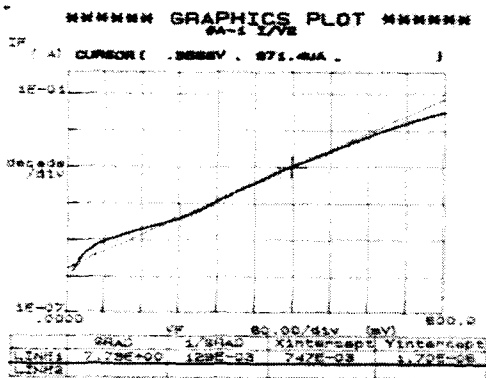


Fig. 2 Dark current-voltage characteristic. Fig. 3. Photocurrent-voltage characteristic.

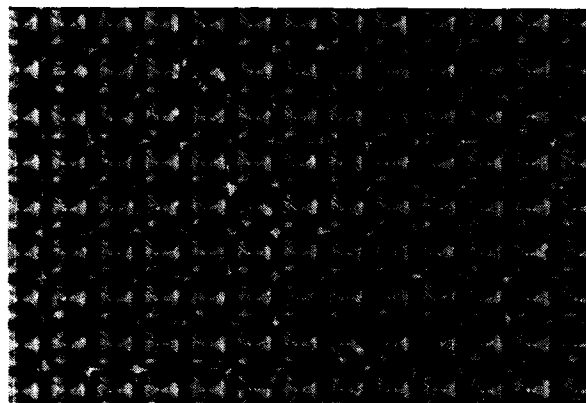


Fig. 4 Photograph of the textured back surface.