

Ni/Cu 전극을 적용한 고효율 실리콘 태양전지의 제작 및 특성 평가

Ni/Cu Metallization for High Efficiency Silicon Solar Cells

이은주¹, 이수홍^{1,a}

(Eun-Joo Lee¹ and Soo-Hong Lee^{1,a})

Abstract

We have applied front contact metallization of plated nickel and copper for high efficiency passivated emitter rear contact(PERC) solar cell. Ni is shown to be a suitable barrier to Cu diffusion as well as desirable contact metal to silicon. The plating technique is a preferred method for commercial solar cell fabrication because it is a room temperature process with high growth rates and good morphology. In this system, the electroless plated Ni is utilized as the contact to silicon and the plated Cu serves as the primary conductor layer instead of traditional solution that are based on Ti/Pd/Ag contact system. Experimental results are shown for over 20 % PERC cells with the plated Ni/Cu contact system for good performance at low cost.

Key Words : Solar cell, Ni, Cu, Contact

1. 서론

고효율 결정질 실리콘 태양전지의 여러 가지 구조 중에서 PERC(Passivated emitter and rear cell) 구조는 태양전지 후면에 passivation을 위한 산화막 층을 형성하고, 부분적으로 산화막을 열어 전극과 기판을 접촉시키는 방법이다[1]. 이와 같은 구조의 태양전지는 후면 전극 영역의 우수한 passivation 효과와 전극 설계의 최적화에 따른 Voc(open circuit voltage), Jsc(short circuit current), FF(fill factor)와 같은 cell parameter의 향상으로 높은 효율을 얻을 수 있다.

태양전지의 효율을 최대화하기 위해서는 그 전기적 광학적 손실을 최소화 시켜야 한다. Ohmic 손실의 가장 중요한 요인인 series resistance

(R_{series})는 기판과 전극 물질 사이의 저항, 에미터의 면저항, 기판의 저항, 상부 전극의 저항, 그리드의 저항 등 여러 가지 저항 성분으로 구성되어 있다. 태양전지에서의 R_{series} 는 FF와 단락전류(short circuit current)를 감소시켜 결과적으로 output power를 감소시킨다. R_{series} 의 주요 구성 성분 중의 하나가 바로 접촉저항이며, 낮은 접촉저항을 갖는 전극 시스템을 사용하는 것이 ohmic 손실을 줄이는 방법이라고 할 수 있다[2].

일반적으로 고효율 실리콘 태양전지의 전극은 증착법으로 형성하는 Ti/Pd/Ag를 사용한다. 이와 같이 형성하는 전극은 진공장비를 사용하고, 재료 자체가 매우 고가인 점을 감안하면 태양전지 제작 비용을 높이는 주요 요인 중 하나라 할 수 있다. 따라서, 값이 저렴하면서도 태양전지의 성능을 그대로 유지시킬 수 있는 우수한 전극 형성 방법 및 재료를 개발하는 것이 필요하다. 태양전지 전극 형성 방법에는 sputtering, evaporation, screen printing, plating 등이 있다. 이와 같은 전극을 형성하는 여러 가지 방법 중에 도금법(plating)은 제작이 용이하고 저렴하며, 대량 생산이 가능할 뿐만

1. 세종대학교 전자공학과 전자기에너지연구소
(서울시 광진구 군자동 98)

a. Corresponding Author : shl@sejong.ac.kr

접수일자 : 2004. 8. 24

1차 심사 : 2004. 10. 14

심사완료 : 2004. 11. 5

아니라 형성되는 금속의 순도가 높아 다양한 전자 제품 제작에 적용되고 있다. 특히 Ni과 Cu는 도금법으로 쉽게 형성이 가능한 재료로서 각종 전자제품 제작에 널리 적용되고 있으며, 태양전지 분야에서는 무전해 도금방법으로 BCSC(Buried contact solar cell)의 함몰 전극에 적용되어 그 성능을 입증한 바 있다. Ni은 약 400~600 °C에서 열처리한 경우 Nickel silicide를 형성하여 실리콘 기판과 Cu 전극 사이에서 접착력이 좋게 하기 때문에 기판과 전극의 기계적 및 전기적 특성을 향상시킨다[3]. 또한 Cu가 기판으로 확산되는 것을 막아주는 역할을 한다. 또한 NiSi의 저항은 약 $14 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로서 TiSi_2 (13~16 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)와 유사하다[4]. Cu의 경우 저항이 약 $1.67 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 매우 낮기 때문에 전극으로 적합하고, 전기 도금법을 적용하여 원하는 두께로의 형성이 용이하다. 또한 Ni, Cu는 Ti, Pd, Ag 등의 금속에 비해 매우 저렴하여 태양전지 제작에서 공정 비용을 줄일 수 있다.

본 연구에서는 PERC 구조를 갖는 고효율 단결정 실리콘 태양전지에 도금법을 적용하여 Ni/Cu 전극을 형성하였다. 그림 1에 도금법으로 형성한 Ni/Cu 전극 구조를 일반적인 Ti/Pd/Ag 전극 구조와 비교하여 나타내었다.

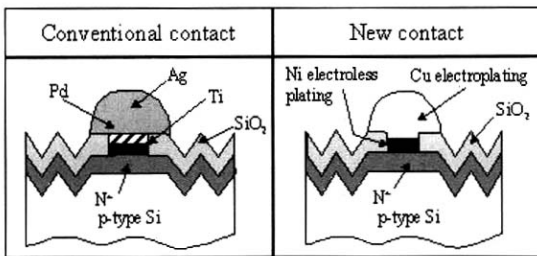


그림 1. 일반적인 Ti/Pd/Ag 전극 구조와 도금법으로 형성한 Ni/Cu 전극 구조의 개략도.

Fig. 1. Schematic diagram of the conventional Ti/Pd/Ag contact system and new Ni/Cu contact system for PERC cell.

2. 실험

PERC 태양전지는 전면을 inverted pyramid 형태로 texturing하고, 후면을 passivation한 후에 부분적으로 silicon과 metal 접촉을 통해 전극을 형성하는 구조이다. PERC 구조의 태양전지 전극으로 Ni/Cu를 적용하였다. 기판은 비저항 $0.5 \Omega\text{cm}$, 두

께 $500 \mu\text{m}$, (100) 방향의 FZ p-type silicon wafer를 사용하였다. 먼저 silicon wafer 표면을 texturing 하기 위해 inverted pyramid를 형성하였다. Pyramid 형성을 위한 silicon etching법으로 이방성 식각 용액인 KOH 용액을 사용하였다. 전면에 emitter 영역을 형성하기 위해 phosphorus를 확산시켜 PN 접합을 형성하였다. 후면에 실리콘 산화막을 형성하고, contact pattern을 형성하여 부분적으로 산화막을 식각하였다. Emitter 전극을 형성하기 위해 전면에 산화막을 grid 형태로 patterning하였고, 산화막 식각에 의해 열린 silicon 기판에 Ni 막을 무전해도금법으로 형성하였다. Ni 무전해도금층 위에 Cu 전극을 전해도금법으로 두껍게 형성하였다. 전극 형성 후에 cell을 forming gas 분위기에서 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 열처리 하여 nickel silicide를 형성하였다.

제작한 태양전지의 도금된 전극의 형태 및 표면을 SEM image로 관찰하였다. 또한 전극의 접촉 저항을 측정하기 위해 표준 TLM (transmission line model) 방법을 사용하였다. TLM법은 일반적으로 metal과 semiconductor의 contact 특성 평가에 사용되며[5], 측정을 위해 그림 2와 같이 pattern을 제작하였다.

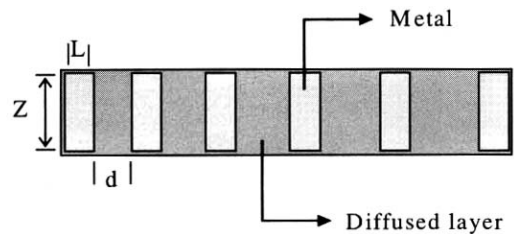


그림 2. Contact 저항 측정을 위한 TLM pattern.

Fig. 2. The test pattern of TLM method.

3. 결과 및 고찰

Cu/Ni/Si과 Ag/Pd/Ti/Si의 접촉저항을 TLM 방법으로 측정하였다. 그림 3과 같이 Cu/Ni/Si 전극의 경우 contact resistivity가 약 $3.5 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ 으로, Ag/Pd/Ti/Si 구조의 전극 contact resistivity가 $7.3 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ 인 것에 비해 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 접촉 저항 측면에서 볼 때 고효율 태양전지의 전극으로서 NiSi가 적합한 것으로 생각된다.

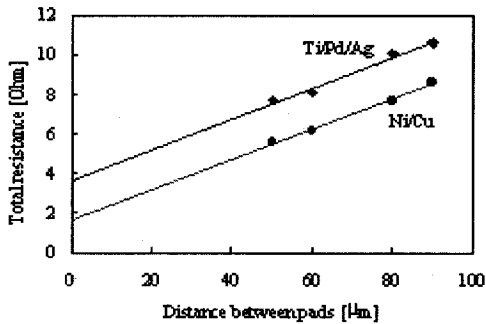
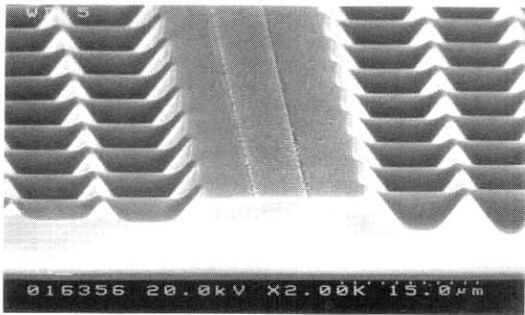
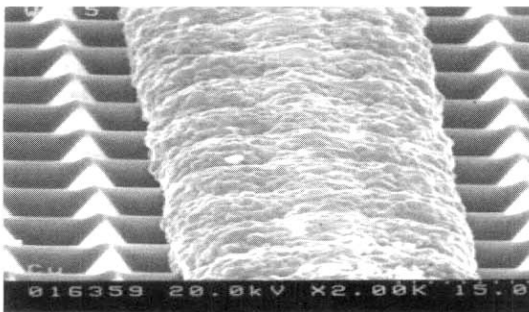


그림 3. Ni/Cu와 Ti/Pd/Ag의 total resistance 측정.
 Fig. 3. Total resistance measurement of Cu/Ni/Si and Ag/Pd/Ti/Si contact.



(a)



(b)

그림 4. 태양전지에 적용된 Ni/Cu 전극의 SEM images (a) 전극 pattern에 무전해 도금된 Ni 층, (b) Ni 층 위에 전기 도금한 Cu 전극.

Fig. 4. SEM images of the Ni/Cu contact system for solar cell. (a) Electroless plated Ni layer and (b) electroplated Cu film on the Ni layer.

그림 4에서 Ni/Cu 전극을 갖는 PERC cell의 표면을 SEM으로 관찰하였다. 그림 (a)는 태양전지 전극 pattern에 Ni를 무전해 도금한 상태이며, (b)는 무전해 도금한 Ni 층 위에 Cu를 전기 도금한 것이다. 도금법은 용액 조성, 온도, 첨가제, 전류밀도 등에 따라 도금막의 질과 도금속도가 달라지기 때문에 각 parameter의 적절한 제어가 필요하다. 그림과 같이 Si 기판위에 Ni 무전해 도금막과 Ni 도금막 위에 Cu 층이 모두 균일하게 형성되었으며, 각 도금 조건의 제어를 통해 도금속도를 조절하였다.

Ni/Cu 전극을 채택한 태양전지의 성능을 light I-V curve 측정을 통해 평가하였다. 표 1에 일반적인 Ti/Pd/Ag 전극을 채택한 경우와 도금법으로 형성한 Ni/Cu 전극을 채택한 경우의 cell parameter를 측정하여 나타내었다. 각 cell은 전극 형성을 제외한 모든 공정이 동일하게 진행되었다. Ni/Cu 전극을 적용한 PERC cell의 경우 Voc는 664 mV, Jsc는 38 mA/cm², FF는 79.8 %, AM1.5 조건에서 효율 20.19 %로 평가되었다. 일반적인 Ti/Pd/Ag 전극을 적용한 cell과 비교하면, 각 parameter가 큰 차이 없이 거의 유사한 결과를 나타내었으며, 전체적인 효율은 오히려 높은 것을 알 수 있다.

표 1. Ni/Cu전극과 Ti/Pd/Ag 전극을 갖는 PERC 태양전지의 cell parameter.

Table 1. Output characteristics of high efficiency PERC cells with Ni/Cu and Ti/Pd/Ag contact system.

	Ni/Cu	Ti/Pd/Ag
Cell Area (cm ²)	4	4
V _{oc} (mV)	664.4	662.9
J _{sc} (mA/cm ²)	38.1	37.7
FF (%)	79.81	80.46
Eff (%)	20.19	20.13

4. 결론

본 연구에서는 Ni/Cu 전극을 적용한 PERC 구조의 고효율 단결정 실리콘 태양전지를 제작하고, 특성을 평가하였다. Ni/Cu 전극의 태양전지는 AM1.5 조건에서 20.19 %의 광전변환효율을 얻었다. 도금법으로 형성된 Ni/Cu 전극의 경우 일반적

으로 증착법을 적용하는 Ti/Pd/Ag 전극에 비해 상대적으로 기판과의 접촉저항이 낮은 것을 알 수 있었으며, cell 성능도 우수한 것으로 평가되었다.

감사의 글

This work was supported by the Nano-Program of Korean Ministry of Science and Technology.

참고문헌

- [1] Andrew W. Blaker, Aihua Wang, Adele M. Milne, Jianhua Zhao, and Martin A. Green, "22.8 % Efficient Silicon Solar Cell", Appl. Phys. Lett. 55 (13), p. 1363, 1989.
- [2] 조은철, 조영현, 김동섭, 이수홍, 지일환 "실리콘 태양전지의 개발현황", 전기전자재료학회논문지, 8권, 3호, p. 362, 1995.
- [3] Daniel L. MEIER and Dieter K. Schroder, "Solar cell contact resistance-A review", IEEE Transactions on electron devices, Vol. ED-31, No. 5, p. 647, 1984.
- [4] Yaozhi Hu and Sing Pin Tay, "Spectroscopic Ellipsometry Investigation of Nickel Silicide Formation by Rapid Thermal Process", J. Vac. Sci. Technol. A16 (3), p. 1820, 1998.
- [5] S. P. Murarka, "Silicides for VLSI Applications", Academic press, 1983.
- [6] G. K. Reeves and H. B. Harrison, "Obtaining the specific contact resistance from transmission line model measurements", IEEE Electron Device Letters, EDL-3 (5), p. 111, 1982.