

단결정 실리콘 태양전지의 후면 전극형성에 관한 비교분석

권혁용¹, 이재두¹, 김민정¹, 이수홍^{1,a}

¹ 세종대학교 그린전략에너지기술연구소

Analysis of the Formation of Rear Contact for Monocrystalline Silicon Solar Cells

Hyuk Yong Kwon¹, Jae Doo Lee¹, Min Jeong Kim¹, and Soo Hong Lee^{1,a}

¹ Green Strategic Energy Research Institute, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

(Received May 17, 2010; Revised June 18, 2010; Accepted June 22, 2010)

Abstract: Surface recombination loss should be reduced for high efficiency of solar cells. To reduce this loss, the BSF (back surface field) is used. The BSF on the back of the p-type wafer forms a p⁺ layer, which prevents the activity of electrons of the p-area for the rear recombination. As a result, the leakage current is reduced and the rear-contact has a good Ohmic contact. Therefore, the open-circuit-voltage (Voc) and fill factor (FF) of solar cells are increased. This paper investigates the formation of the rear contact process by comparing aluminum-paste (Al-paste) with pure aluminum-metal(99.9%). Under the vacuum evaporation process, pure aluminum-metal(99.9%) provides high conductivity and low contact resistance of 4.2 mΩcm, but It is difficult to apply the standard industrial process to it because high vacuum is needed, and it's more expensive than the commercial equipment. On the other hand, using the Al-paste process by screen printing is simple for the formation of metal contact, and it is possible to produce the standard industrial process. However, Al-paste used in screen printing is lower than the conductivity of pure aluminum-metal(99.9) because of its mass glass frit. In this study, contact resistances were measured by a 4-point probe. The contact resistance of pure aluminum-metal was 4.2 mΩcm and that of Al-paste was 35.69 mΩcm. Then the rear contact was analyzed by scanning electron microscope (SEM).

Keywords: Rear contact, Back surface field (BSF), Rear recombination, Silicon solar cell, Al-paste

1. 서론

미래 대체에너지에 대한 신재생에너지의 관심도가 높아짐에 따라 태양광 시장이 급약적인 성장이 이뤄지고 있다. 현재 사회에서는 그의 따른 실리콘 태양전지의 상업화와 고효율에 대한 관심이 집중되고 있다.

본 연구에서는 단결정 실리콘 웨이퍼를 이용하여, 보다 효율을 향상시킬 수 있는 방법 중 하나로 후면 재결합 속도를 줄이고, 직렬저항의 감소와 개방전압

(open-circuit voltage)의 상승으로 충전률 (fill factor : FF)을 향상시킴으로써 태양전지의 효율 향상에 도움이 되는 p⁺ layer 즉, 후면전계 (back surface field : BSF)를 형성 [1,2]하였다. 실험은 현재 상업용으로 가장 널리 사용되고 있는 스크린 프린팅 (screen printing)방법을 이용하여 Al-paste를 후면 전극으로 형성하는 것과 vacuum evaporation 장비를 이용하여 aluminum (99.9%)을 후면에 증착한 후 conventional tube furnace를 사용한 firing으로 후면전계 (back surface field : BSF)를 형성하였다. 형성된 후면전계

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

는 4-point probe와 전자 현미경 (scanning electron microscopy : SEM)으로 촬영하여 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

본 실험을 위해 붕소 (boron)로 doping된 p-type 단결정 실리콘 웨이퍼(100) CZ기판으로 비저항 $0.7 \sim 1.2 \Omega \cdot \text{cm}$ 에 두께는 약 $500 \mu\text{m}$ 를 사용하였다. 이후 표면 반사율을 줄이기 위한 방법으로 염기성 용액인 KOH와 IPA(2-isopropyl-alcohol)를 이용하여 약 $10 \mu\text{m}$ 크기의 random pyramid를 생성하였고, emitter 형성을 위해 고체 인 (phosphorus solid source P_2O_5) source 를 이용하여 conventional tube furnace에서 약 850°C 에서 50 분간 공정으로 $50 \Omega/\text{sq}$ 면저항의 n^+ emitter를 형성 하였다. 이 과정에서 일반적으로 PSG (phosphorus silicate glass) [3]라고 알려진 산화막이 실리콘 표면에 성장한다. PSG층은 원하지 않는 불순물을 석출하여 포함하고 있기 때문에 확산 공정 후에 제거하였다. 표면 passivation으로는 실리콘 산화족인 O_2 를 분위기 속에서 가열하면서 SiO_2 를 만들었다. 산화막 층을 얇게 형성시키면 충분한 passivation효과를 얻을 수 없기 때문에 conventional tube furnace를 사용하여 $900 \sim 1000^\circ\text{C}$ 에서 8시간 동안의 공정으로 약 1100 \AA 의 산화막을 형성하였다. 이후, 후면전계 (back surface field : BSF) 형성을 위해 vacuum evaporation 방법과 스크린 프린팅 (screen printing)법을 이용하였다. 스크린 프린팅 방법으로 Al-paste를 인쇄시 너무 얇으며 BSF효과가 나타나지 않고, 너무 두꺼우면 웨이퍼가 휘게 되는 점을 감안하여 표 1의 조건으로 전극을 형성시켰다.

Al-paste 속에는 다량의 유기물 및 휘발성 물질이 포함되어 있어 Si-웨이퍼 표면과 Al의 접촉을 방해하게 된다. 이를 제거하기 위하여 hot plate를 이용하여 200°C 이상 고온의 온도에서 수 초간 baking작업을 하였다. 이후 BSF층 형성 [4]을 위해 conventional tube furnace를 이용하여 그림 1의 순서로 firing 하였다.

Paste내의 solvent 제거를 위해 $0 \sim 150^\circ\text{C}$ 에서 drying을 한 후, organic binder 제거를 위하여 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 에서 burn-out을 진행하였다. 마지막으로 firing이 진행되어 기판과의 접착력을 활성화시키고 보다 높은 전도성을 이끌어 내기 위한 단계로 표 2의 조건으로 firing을 하였다 [5].

Vacuum evaporation 방법으로는 저항열을 이용하는 thermal evaporator를 사용하였다. 표 3은 Al에 대한 specification이다.

Table 1. Condition of forming the rear contact.

paste model	Ferro.Al 53-120
squeeze shore	70(red)
mask to squeeze	16.0 mm
mask to substrate	5.0 mm
paste viscosity	300-500 poise
print speed	40 mm/sec
mask mesh	200 mesh
printed thickness	$34 \mu\text{m}$

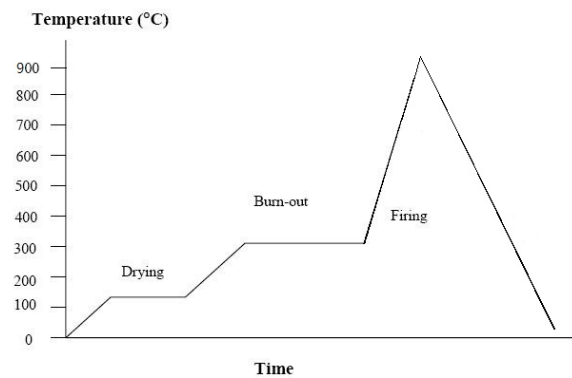


Fig. 1. Firing flowchart.

Table 2. Condition of forming the BSF (screen printing).

온도(°C)	시간(sec)	
810	60	80
870	60	80
900	60	80

Table 3. Aluminum specification.

	Al back contact
P.O #	DSO-KI-660
Order #	Cust. DASOM RMS
Material	Aluminum pellets
Size	1/4" dia. X 1.4" thick.
Purity	99.999%

Thermal evaporation은 2240°C 의 고온에서 공정을 하므로 고온에서도 견딜 수 있는 boat가 필요하다. 따라서 본 실험에서는 녹는 점 $3,410^\circ\text{C}$ 고온의 열에도 견딜 수 있는 전체 길이 100 mm, 홈 길이는 50 mm의 텅스텐 boat를 사용하였다. 텅스텐 boat 양쪽에 전극을 연결해서 전류를 흘려주면 텅스텐에서 열저항이

Table 4. Condition of forming the BSF (vacuum evaporation).

온도(°C)		시간(min)	
600	20	30	40
700	20	30	40
800	20	30	40

Table 5. Resistivity, conductivity, sheet resistance of Al & Al-paste.

Material	Rp (mΩ · cm)	전기전도도 (s/cm)	면저항 (mΩ/sq)
Aluminum(99.9%)	4.2	23.8	12.2
Al-paste	35.69	28.02	14.7

발생되어 boat 위 소스를 녹이고 이것이 증착된다. 증착속도는 filament에 공급하는 전류량을 조절함으로써 si-wafer 후면에 약 0.5 μm 두께의 전극을 형성하였다.

이후 screen printing 때와 마찬가지로 BSF층 형성을 위해 conventional tube furnace를 이용하여 firing 하였다. 조건은 표 4와 같다.

3. 결과 및 고찰

표 4는 4-point probe를 이용하여 aluminum과 Al-paste의 각각의 비저항 값 및 면저항을 측정하였다. 표 5에서와 같이 aluminum(99.9%)이 다량의 유기물을 포함하고 있는 Al-paste에 비해 약 31.49 mΩ · cm의 차이를 보였다. 면저항은 aluminum(99.9%)와 Al-paste 모두 10 mΩ/sq대로 비교적 도핑이 잘된 것을 볼 수 있다.

그림 2는 스크린 프린팅 (screen printing)으로 Al-paste를 전극으로 형성시킨 후 conventional tube furnace를 이용하여 firing 한 후 전자 현미경 (scanning electron microscopy : SEM)으로 촬영한 단면 사진이다. 그림 2로부터 Al과 Si 사이에 후면전계 (back surface field : BSF)가 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

그림 3은 thermal evaporator를 이용하여 증착한 Al을 firing한 후 Al-BSF를 확인하기 위하여 전자 현미경 (scanning electron microscopy : SEM)으로 촬영한 단면 사진이다. 그림 3과 마찬가지로 Al과 Si 사이에 후면전계 (back surface field : BSF)가 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

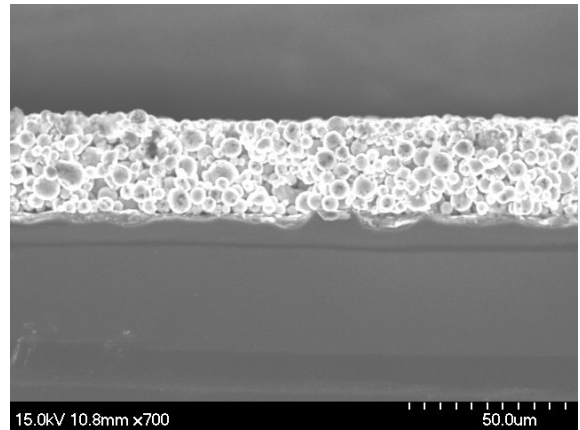


Fig. 2. Screen printing using the Al-paste, 900°C, 60 sec.

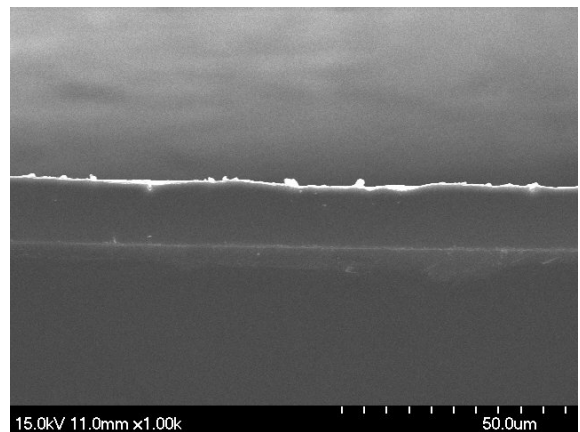


Fig. 3. Thermal evaporator using the pure-Al, 800°C, 40 min.

4. 결론

본 연구에서는 효율을 보다 향상시킬 수 있는 방법 중 하나인 BSF층 형성을 aluminum(99.9%)와 Al-paste를 이용하여 각각 비교하였다. 본 연구에서는 스크린 프린팅 (screen printing)을 이용하여 Al-paste를 후면에 printing하여 후면전극을 형성하였고 각각의 조건으로 firing한 후 전자 현미경 (scanning electron microscopy : SEM)으로 확인한 결과 900°C, 60 sec에서 가장 이상적인 Al-BSF층이 형성(그림 2)된 것을 확인 할 수 있었다. 스크린 프린팅 (screen printing)을 이용하여 Al-paste로 후면전극을 형성하

는 것은 paste에 다량의 유기물 및 휘발성 물질이 포함하고 있어 전기전도도가 비교적 낮다는 단점이 있으나 비교적 적은 공정시간과 자동화가 가능한 공정이란 점으로 양산용으로 적합하다는 장점이 있다.

Vacuum evaporation을 이용하여 후면전극을 형성한 경우, 각각의 조건으로 firing한 후 전자 현미경(scanning electron microscopy : SEM)으로 확인한 결과 800°C, 40 min에서 Al-BSF가 비교적 좋게 형성(그림 3)된 것을 볼 수 있었다. Vacuum evaporator를 이용한 Al증착은 비저항이 작고 전기전도도가 좋아 개방전압 및 곡선인자의 상승으로 좋은 효율을 기대할 수 있다는 장점이 있으나, 고가인 진공 장비와 재료비가 필요하고 공정 시간이 비교적 길다는 단점으로 상업용으로 사용하기에는 비교적 적합하지 않다. 하지만 공정조건을 개선함으로써 그 차이를 좁힌다면

앞으로 양산에 적용함으로써 더 좋은 효율이 나올 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] J. G. Fossum, *IEEE Trans. Electron. Devices* **ED-24**, 322 (1977).
- [2] Z. Makaró, G. Battistig, Z. E. Horváth, J. Likonen, and I. Bársony, *Vacuum* **50**, 481 (1998).
- [3] C. S. Chen and D. K. Schroder, *J. Appl. Phys.* **71**, 5858 (1992).
- [4] A. Morales-Acevedoa, G. Santanaa, A. Martela, L. Hernandez, *Solid-State Electron.* **43**, 2075 (1999).
- [5] J. del Alamo, J. Eguren, and A. Luque, *Solid-State Electron.* **24**, 415 (1981).