

소성조건에 따른 Gravure Off-set 태양전지의 전기적 특성변화

김정모, 김동주, 배소익  
미리넷솔라(주)

Electric property changes of Gravure Off-set solar cells according to firing conditions

Jung-mo Kim, Dong-ju Kim, So-ik Bae  
Millinetsolar Co., Ltd.

**Abstract** - 결정질 실리콘 태양전지에서 전극 형성 공정은 Voc(Open-circuit voltage), Isc(Short-circuit current), Rser(Series resistance), Rshunt(Shunt resistance), FF(Fill factor) 특성에 영향을 주기 때문에 매우 중요하다. 하지만 paste와 선 공정에서의 조건에 따라 특성이 바뀌기 때문에 소성 공정을 최적화하기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 Gravure Off-set printing 방식을 이용하여 결정질 실리콘 기판 표면에 미세 전극 형성 공정을 하고 소성 조건 최적화를 위해 peak 온도와 ramp-up 속도를 변화시켜 각 조건별 특성을 비교하였다. Peak 온도가 커질수록, contact resistance의 감소에 따라 Rser가 줄어들었다. 본 연구를 통해 Voc는 619mV, FF는 77.9%로 측정되는 Gravure Off-set 태양전지에 최적화된 소성 공정 조건을 확보하였다.

다. 각 소성조건에 따른 온도 profile은 Datapaq system을 이용해 측정되었다. 소성 후 태양전지의 전기적 특성을 측정하기 위해 HALM 사의 I-V tester를 통한 데이터를 비교해 각 조건별 특성 변화를 알 수 있었다. 각 태양전지의 접촉저항 측정은 Probe 구조의 탐침을 이용하여 표면에 직접 접촉하여 부분별 potential을 측정하는 Corescan 장비를 이용하였다.

2.2 실험결과

소성온도 ramp-up 속도가 미치는 영향을 조사하기 위해 belt-type furnace에 6개 zone의 온도를 <표 1>과 같이 변경하였다. peak 온도는 736.6 °C, 741.4 °C, 767.3 °C 이며, 600 °C 이상 용융 지속시간은 4.05 sec, 3.85 sec, 3.70 sec이다.

1. 서 론

현재 Ag paste를 이용한 전면 전극을 형성 시 Screen printing을 주로 이용하며, emitter와 Ag 전극간의 ohmic contact을 위해 소성 공정을 진행하고 있다.[2] 그러나 Screen printing은 screen mask의 pattern에 의존되어 전사되므로 미세한 선폭을 구현하는 것에 한계가 있다. 이는 수광 면적이 손실되어 Isc 값이 줄어들게 되고 변환 효율의 저하를 야기시킨다. 이에 반해 Gravure Off-set printing은 Roll to roll 방식으로 paste가 finger의 형태로 grooving 된 Gravure roll에서 Blanket roll로 전사되며(off process) 이를 다시 wafer로 전사시키는(set process) 방식이다. 선폭 50µm이하, 높이 35µm 이상의 높은 aspect ratio의 전극을 형성함으로써 수광 면적의 극대화와 선지향의 감소로 기존 Screen printing 방식보다 약 0.5% 이상 높은 효율을 얻을 수 있었다. 그러나 이와 같은 방법으로 고효율 solar 태양전지를 만들기 위해서는 소성조건과 Gravure off-set paste와의 조정이 필요하다. 소성조건에 따라 전, 후면에 형성되는 Glass frit layer의 두께가 영향을 받을 수 있기 때문이다. 이는 실리콘과 Ag 전극간의 contact resistance에 영향을 주어 Rser와 같은 중요한 특성을 조절할 수 있다[1]. 이번 실험에서는 소성온도의 ramp-up 속도와 용융 지속시간을 조정하여 동일한 조건으로 제작된 태양전지의 소성조건에 따른 특성변화를 비교 및 분석하였다. 이 결과를 토대로 Gravure off-set 태양전지 양산에 적용될 수 있는 소성 공정을 확립하였다.

<표 1> 조건별 소성 profile

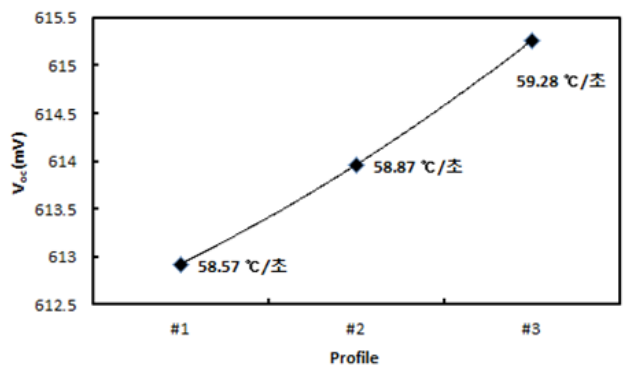
Profile	#1	#2	#3
Peak 온도(°C)	736.6	741.4	767.3
양의 기울기(°C/초)	58.57	58.87	59.28
음의 기울기(°C/초)	-50.20	-50.00	-57.94
용융 지속시간(600°C 이상)	4.05	3.85	3.70

BSF층 두께의 증가는 후면에 형성된 소성 전의 Al층의 두께와 온도의 증가에 따른 BSF층의 불순물 농도에 의존한다. 온도 ramp-up 속도가 높아짐에 따라 BSF층의 두께가 증가할 뿐만 아니라, 균일도도 향상되었다. 즉, 온도 ramp-up 속도가 높아짐에 따라, texturing된 기판의 BSF층이 더 균일해지고 Al과 Si 사이의 더 나은 접촉이 형성되어 <그림 1>에서와 같이 더 높은 Voc를 얻을 수 있었다[3].

2. 본 론

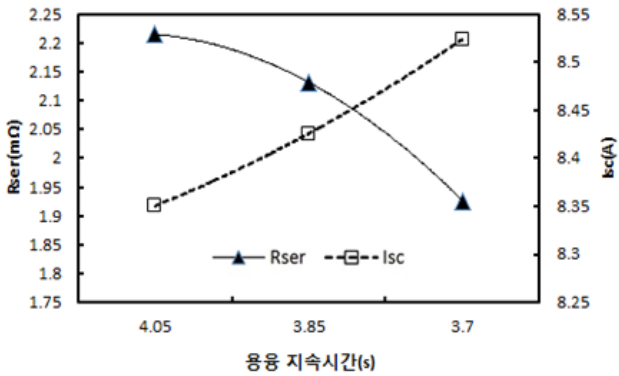
2.1 실험방법

소성 profile을 최적화하기 위해 6개의 firing zone 온도를 설정하였다. 각 zone의 belt speed와 온도 범위를 변화시키면서 각 zone에서의 지속 시간과 온도를 조사하였으며, 156 mm × 156 mm 크기의 다결정 p-type 실리콘 기판을 사용하였다. 다결정 실리콘 기판의 특성상 grain boundary 분포에 따라 특성이 달라지기 때문에 실험에 사용된 모든 태양전지는 동일한 grain boundary를 가진 재료를 사용해 실험하였다[1]. 모든 기판은 wet process를 이용하여 saw damage-removal 및 texturing 공정을 진행하였다. Phosphoric acid(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)를 dopant로 사용하였으며, furnace를 사용하여 diffusion 공정을 진행하였다. PECVD 장비를 이용하여 실리콘 표면에 SiNx 층을 증착하여 ARC(Anti-Reflection Coating)를 형성하였다. 후면전극의 경우 Screen printer로 형성하였다. BSG(Back Side Grid)가 AgAl paste를 사용하여 먼저 printing 되었고, belt type dryer에서 건조 후 Al paste를 사용하여 BSF(Back Surface Field)를 printing하고 건조하였다. 그리고 Ag paste를 Gravure off-set printing 공정을 이용하여 선 폭 약 50 µm, 높이 약 38 µm의 finger를 형성하였다. 소성조건에 대한 특성변화를 보기 위해 먼저 6개 zone의 온도를 변경하여 Peak 온도와 ramp-up speed가 다른 3개의 소성조건을 설정하였



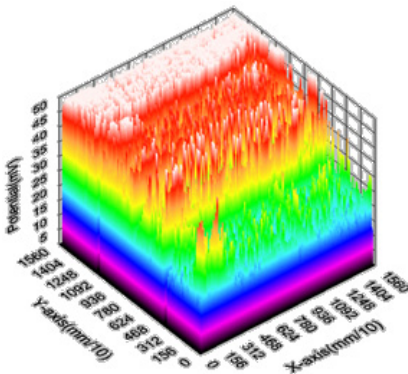
<그림 1> Ramp-up 속도별 Voc 변화

600 °C 이상 용융지속 시간이 길어질수록 contact resistance가 줄어드는 경향을 보였다. 이는 glass frit의 높은 유동성 때문에 용융시간이 길어질수록 glass frit층이 너무 두꺼워져서 효과적인 tunneling이 이루어지지 않아 <그림 3>의 corescan 측정 결과에서 보이듯 contact resistance의 증가로 나타나게 된다. 이와 같은 결과는 <그림 2>와 같이 Rser의 증가로 이어져 FF와 Isc의 감소로 나타나게 된다[4].

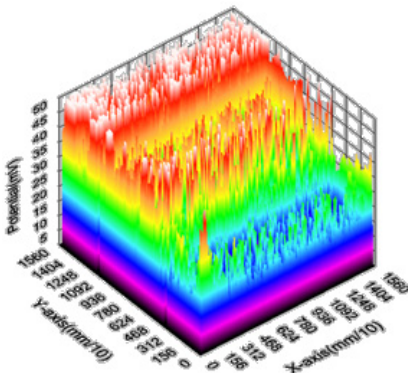


〈그림 2〉 용융 지속시간별 Rser, Isc 변화

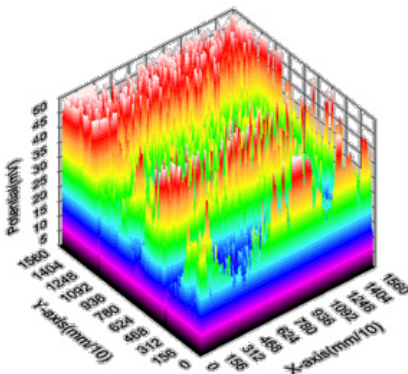
(a)



(b)



(c)



〈그림 3〉 용융 지속시간별 Contact resistance  
(a) 4.05s, (b) 3.85s, (c) 3.7s

### 3. 결 론

이 연구에서 Voc와 FF를 증가시키기 위해 소성온도 및 시간조건을 바꾸어 주면서 각 특성을 비교하였다. ramp-up 속도를 증가시키고 용융 지속시간을 줄인 결과, 기판에 열적 스트레스의 효과로 인한 악화를 줄

임으로서 더 높은 Voc를 얻었다. ramp-up 속도를 높임으로써 후면 전극의 형태가 low porosity를 보여주었다. 또한 BSF층에 균일하게 형성된 glass frit층도 높은 Voc를 얻는데 도움을 준다. 용융 지속시간을 다르게 주어 glass frit layer의 두께를 줄여줌으로써 Ag와 Si 계면 간의 contact resistance를 줄여 Rser값을 낮출 수 있었다. 이와 같은 방법으로 Voc는 619mV, FF는 77.9%, 효율 17% 이상의 Gravure Off-set 태양전지에 최적화된 소성 공정 조건을 확보해 양산에 적용할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 "지식경제부", "한국산업기술진흥원", "대경광역경제권 선도산업지원단"의 "광역경제권 선도산업 육성사업"으로 수행된 연구결과입니다.(과제번호 : T1210902)

### [참 고 문 헌]

- [1] Taeyoung Kwon, Sungchul Kim, Dohyeon Kyung, Woowon Jung, Sunyong Kim, Yongwoo Lee, Youngkuk Kim, Kyungsoo Jang, Sungwook Jung, Myungchul Shin, Junsin Yi, "The effect of firing temperature profiles for the high efficiency of crystalline Si solar cells", Solar Energy Materials & Solar Cells, 94, 823 - 829, 2010
- [2] M.M. Hilali, "Development of screen-printed silicon solar cells with high fill factors on 100 O/sq. emitters", IEEE Trans. Electron Devices 51 (6), 948 - 955, 2004
- [3] V. Meemongkolkiat, M. Hilali, A. Rohatgi, "Investigation of RTP and belt fired screen printed Al-BSF on textured and planar back surfaces of silicon solar cells", in: 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 2003
- [4] Mohamed M. Hilali, Srinivasan Sridharan, Chandra Khadilkar, Aziz Shaikh, Ajeet Rohatgi and Steve Kim, "Effect of glass frit chemistry on the physical and electrical properties of thick-film Ag contacts for silicon solar cells", Journal of Electronic Materials Volume 35, 2041-2047, 2006