

Gravure off-set 인쇄법을 적용한 고효율 다결정 실리콘 태양전지

김동주*, 김정모*, 배소익*, 전태현**, 송하철**

*미리넷솔라(djkim@millinetsolar.com), (jmkim@millinetsolar.com), (sibae@millinetsolar.com)
**SSCP(prjun@sscpcorp.com), (ssongha79@sscpcorp.com)

Gravure off-set printing method for the high-efficiency multicrystalline-silicon solar cell

Dong Ju, Kim*, Jung Mo, Kim*, So-ik, Bae*, Tae Hyun, Jun**, Ha-chul, Song**

*Millinetsolar Co., LTD(djkim@millinetsolar.com), (jmkim@millinetsolar.com), (sibae@millinetsolar.com)
**SSCP Co. LTD(prjun@sscpcorp.com), (ssongha79@sscpcorp.com)

Abstract

The most widely used method to form an electrode in industrial solar cells are screen printing. Screen printing is characterized by a relatively simple and well-known production sequence with high throughput rates. However the method is difficult to implement a fine line width of high-efficiency solar cells can not be made. The open circuit voltage(Voc) and the short circuit current density(Jsc) and fill factor(FF) need to be further improved to increase the efficiency of silicon solar cells. In this study, gravure offset printing method using the multicrystalline-silicon solar cells were fabricated.

Gravure off-set printing method which can print the fine line width of finger electrode can have the ability reduce the shaded area and increase the Jsc. Moreover it can make a high aspect ratio thereby series resistance is reduced and FF is increased. Approximately 50 μ m line width with 35 μ m height was achieved. The efficiency of gravure off set was 0.7% higher compare to that of scree printing method.

Keywords : 다결정 실리콘 태양전지(mc-si solar cells), 그라비아오프셋(Gravure off-set printing), 고종횡비(High aspect ratio)

기 호 설 명

Isc	: 단락 전류 (A)
Voc	: 개방 전압 (V)
FF	: 충실도 (%)
Eff.	: 변환 효율(%)
AR	: 종횡비

1. 서 론

현 사회는 이산화탄소 배출량에 따른 환경 오염 문제로 신재생에너지에 대한 인식과 필요성이 확대 되고 있는 가운데 태양광을 이용해 전력을 생산하는 태양전지, 그 종류 중에서도 결정질 태양전지의 변환 효율이 가장 높으며 사용 용도에 따라 널리 보급이 되어 있다. 결정질 태양전지는 원재료의 순도와 성장 방법에 따라 단결정과 다결정으로 나뉜다. 단결정은 순도가 높고 결정결함밀도가 낮아 높은 변환효율을 낼 수 있으나 고가이고 다결정은 상대적으로 순도가 낮으나 저렴한 공정으로 높은 효율을 달성할 수 있는 특성을 가진다.

현재 결정질 실리콘 태양전지 시장의 트렌드는 저가화, 고효율로서 저렴한 재료와 공정 기술을 적용하여 최대의 효율을 생산하는 기술을 가져야지만 경쟁력이 있다. 따라서 본 연구에서는 다결정 실리콘 기판을 이용하여 전극 페이스트의 사용량은 줄이고 변환효율을 높일 수 있는 전극 형성 기법을 적용하여 태양전지를 제조하는 기술을 소개하고자 한다.

2. 실 험

2.1 그라비아 오프셋 전극 형성 방법

태양전지의 전극은 세가지로 전면의 Ag 성분을 사용한 FSG(Front Side Grid), 후면의 Ag 성분의 BSG(Back Side Grid)와 Al 성분

의 BSF(Back surface Field)로 구성 되어 지며 태양전지의 전극 형성 방법으로 널리 사용 되고 있는 기법은 스크린 프린팅법으로 비교적 공정이 간단하고 양산 속도가 빠른 장점이 있는 반면 고효율을 위한 미세 전극 및 저항을 줄일 수 있는 한계가 있다. 태양전지는 전면 전극의 형상이나 패턴의 설계, 전극과 기판과의 접촉 특성에 따라 태양전지의 효율을 극대화 할 수 있는데, 이러한 특성을 만족하기 위해서는 Electrical loss, Optical loss를 최소화하기 위하여 전극 디자인의 최적 설계가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 미세 전극 구현을 통해 수광 면적을 확보 할 수 있고 동시에 전극의 높이를 높게 쌓아 종횡비 값을 증가 시켜 저항을 줄일 수 있는 그라비아 오프셋 방식으로 전극을 형성하였다.

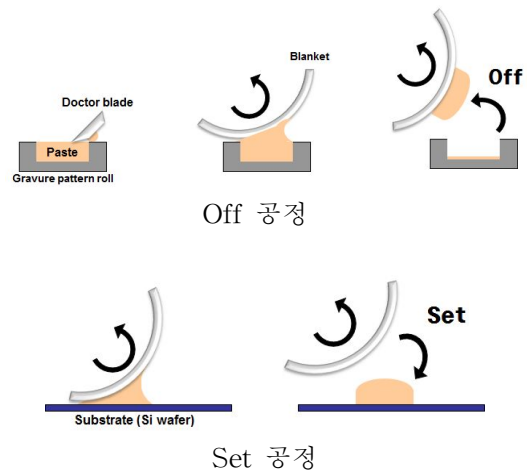


그림 1. 그라비아 오프셋 공정도

2.2 태양전지 제조를 위한 전극 설계

태양전지는 전면 전극의 형상이나 패턴의 설계, 전극과 기판과의 접촉 특성에 따라 태양전지의 효율을 극대화 할 수 있는데⁴⁾, 이러한 특성을 만족하기 위해서는 Electrical loss, Optical loss를 최소화하기 위하여 전극 디자인의 최적 설계가 필수적이다. 전극 디자인 설계 시 고려해야 될 점²⁾은 직렬 저항

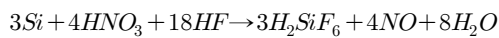
을 줄이기 위해서 전극의 전체 면적과 핑거의 폭은 커야하고 핑거 간의 간격은 좁아야 하지만 전극의 면적이 증가하게 되면 광의 유효 입사면적이 감소하여 광생성 전류가 감소하므로 이런 점을 잘 고려하여 설계해야 한다. 그래서 본 연구에서는 그라비아 오프셋 전극형성 방법으로 전극의 선폭은 좁게 하고 전극간의 간격은 줄여 저항을 최소화하는 전극 패턴을 설계하였다.

표. 1 전극 패턴 설계 비교표

항목	스크린 프린팅	그라비아 오프셋 프린팅
웨이퍼 크기(인치)	6	6
핑거 개수	72	105
버스바선폭(μm)	2	2
핑거선폭(μm)	80	50
핑거간 간격(mm)	2.15	1.52

2.3 태양전지 제조 공정

다결정 실리콘 태양전지 제조 공정은 단결정과 달리 산으로 표면 조직화를 실시하였다.



HNO_3 는 실리콘 표면을 산화시키고 HF 는 산화된 표면을 제거하는 기능을 한다.

확산은 P타입의 기판에 5족의 인산을 스프레이 또는 미스트 방식으로 도포하고 약 90 $^{\circ}\text{C}$ 의 퍼니스에서 14분~15분 정도 불순물을 주입한다. 열 확산 후 웨이퍼 표면에 생긴 phosphosilicateglass(PSG) 산화막은 HF 를 사용하여 제거해 준다. 다음으로 텍스처링을 통해 조직화 된 표면에 빛의 반사를 줄이기

위해서 PECVD 증착 장비가 사용되는데, 이때 사용되는 가스는 SiH_4 와 NH_3 로 약 1:3 비율로 웨이퍼 표면에 증착을 시켜 굴절률을 조절하며 이때 페시베이션 효과도 동시에 얻을 수 있다. 마지막으로 빛의 의해 생성된 전기를 외부로 빼내어 주는 역할을 하는 전극을 만들어 줘야 하는데 후면에 Ag, Al 전극을 스크린프린터로 각각 형성하고 전면에 그라비아 오프셋 프린터를 사용하여 고종횡비 Ag 전극을 만들어 준 다음 3가지의 전극을 한 번에 co-firing하기 위해서 퍼니스에 약 800 $^{\circ}\text{C}$ 로 2분간 열처리를 하고 레이저로 p-n 접합을 분리하여 다결정 태양전지를 제조하였다.

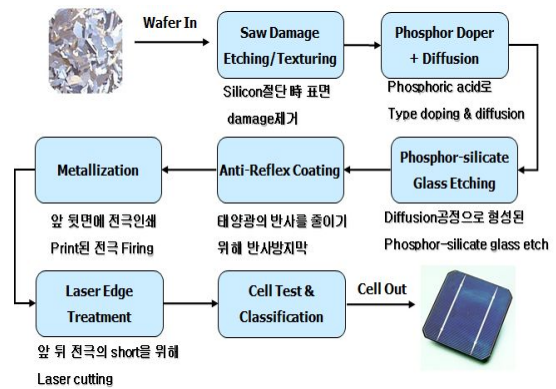


그림 2. 태양전지 제조 공정도

3. 결 과

그라비아오프셋 프린터를 사용하여 기존 스크린 프린터 공정 대비 태양전지에서 변환 효율을 상승시키는 요인을 실험 결과를 통해 알아보았다.

3.1 전극 morphology

그라비아 오프셋 전극 형성법은 타 기법과 비교하여 가장 다른 점은 미세 선폭을 구현함과 동시에 멀티프로세스가 가능하다는 점이다. 예를 들어 스크린 프린팅법은 전극 디자인이 새겨진 스크린 매쉬에 스퀴지로 밀어

주는 메카니즘이기 때문에 오픈된 패터닝에
 충전성을 파악할 수 없고 스크린 부착에 의
 한 전이불량으로 미세 선폭 구현이 어렵고¹⁾
 단일 공정이기 때문에 전극의 높이를 높게
 쌓기에는 한계가 있다. 일반적인 스크린프린
 팅 기법으로 구현할 수 있는 선폭은 약 80~
 90 μm , 높이는 15~25 μm 수준 정도이다.

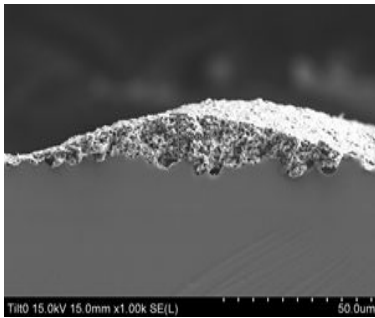


그림 3. 스크린 프린팅 전극 이미지

반면 그라비아오프셋 프린팅 기법을 적용한
 전극은 페이스트의 전이 특성, 블랭킷 러버
 의 두께와 용제 흡습성, off 및 set의 압력,
 그라비아 롤의 패턴부 깊이를 제어하여 선폭
 은 최대 30 μm 이하, 높이 40 μm 까지 구현이 가
 능 했고 일반적으로 선폭 45~55 μm , 높이 30
 ~40 μm 의 morphology 특성을 확인하였다.

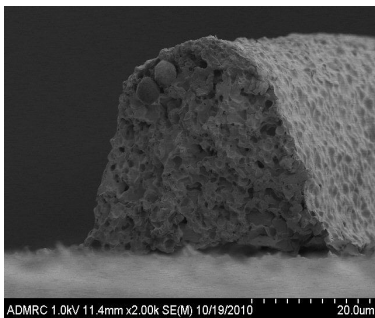


그림 4. 그라비아 오프셋 프린팅 전극 이미지

3.2 Resistance & Co-Firing condition

태양전지의 소성 특성은 전극 페이스트와
 면저항의 따라서 조건을 달라진다⁵⁾. 본 실험

을 위해 사용한 기관의 면저항은 60~70 Ω/\square
 SRP(spreading resistance profiling) 분
 석을 통해 확인할 결과 에미터층의 두께는
 약 0.2~0.25 μm 임을 확인할 수 있었다.

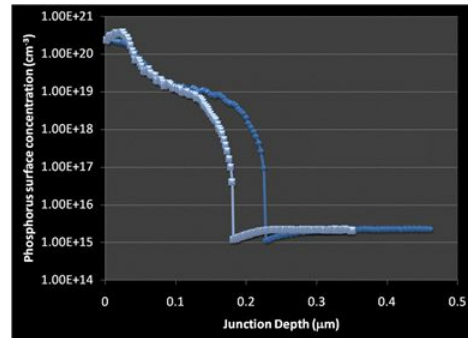


그림 5. SRP junction depth data

앞에서 언급한 바와 같이 그라비아 오프셋 프
 린팅 기법의 장점은 고종횡비(High Aspect
 Ratio)로 전극을 만들 수 있기 때문에 빛의
 수광 면적을 늘임과 동시에 전극간의 간격을
 최소화하고 기관과 전극간의 접촉 저항을 최
 소화하여 직렬저항을 작게 할 수 있다. 그리
 고 에미터의 두께와 전극간의 접합 시에 야
 기 될 수 있는 단락 문제를 고려하여 열처리
 온도와 시간 조건 변경 실험과 correscan으
 로 접촉 저항 특성 평가를 통해 약 75
 0 $^{\circ}\text{C}$ ~800 $^{\circ}\text{C}$ 조건에서 그라비아 오프셋 프린팅
 기법으로 만든 고종횡비 전극의 특성 조건임
 을 확인할 수 있었다.

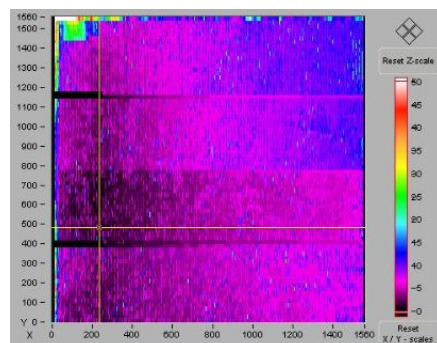


그림 6. 접촉 저항

3.3 전기적 특성

그라비아 오피셋 프린팅 기법으로 만든 전극이 태양전지의 변환 효율에 미치는 영향을 평가하기 위해서 온도 25°C, 태양광 스펙트럼 AM1.5 일 때 조사 강도는 1000W/m² 조건의 태양전지 테스트³⁾를 사용하였고 고종황비의 전극이 변환 효율에 미치는 요소를 확인하기 위해서 스크린으로 전극을 형성한 태양전지를 함께 비교하였다. 일반적으로 태양전지의 변환효율을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{input}} = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{input}} \cdot FF$$

두 가지의 인쇄 형성 기법을 공정하게 평가하기 위해서 동일 그레이의 6인치 다결정 실리콘 태양전지를 사용하였다. 그림 8.9는 스크린 프린팅 전극 형성 방법으로, 그림 9.10은 그라비아 오피셋 프린팅 법으로 태양전지의 전기적 특성을 평가 한 것으로 전기적 특성 중 가장 차이를 보이는 요소는 Isc가 스크린이 8.43A, 그라비아 오피셋이 8.57로 약 0.15A의 차이를 보였고 FF는 각각 76.42%, 78%로 약 1.5 이상의 차이가 났다. 따라서 이 변수들의 차이로 인해서 변환효율이 스크린이 16.19%, 그라비아 오피셋이 16.89%로 약 0.7%의 차이를 보였다.

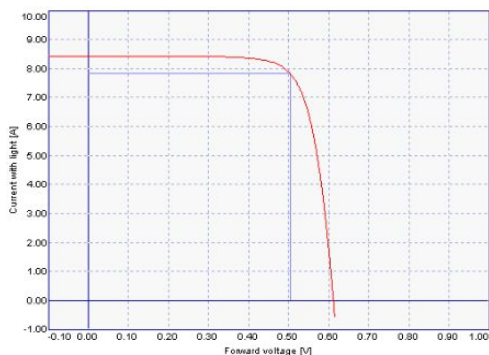


그림 7. 스크린 프린팅 I-V curve

Results: [Q1] Forward voltage with light (corrected to 1000.0 [W/m ²] and 25 [°C])			
16.188	[%] Eta	7.817	[A] Impp
76.42	[%] FF	0.5040	[V] Umpp
8.4316	[A] Isc	3.939	[W] Pmpp
0.6114	[V] Uoc	8.4003	[A] Isc not corrected
8.247	[A] Ivid1	0.6200	[V] Uoc not corrected
7.873	[A] Ivid2	1.483	[Ohm*cm ²] Rser
0.4500	[V] Uvid1	46879.439	[Ohm*cm ²] Rshunt
0.5000	[V] Uvid2	999.0	[W/m ²] Irradiance (Isc)
20.38	[°C] T Monitor Cell	1002.7	[W/m ²] Irradiance (Mpp)
21.1497	[°C] T Cell	1006.0	[W/m ²] Irradiance (Uoc)
Results 'IEC method'			
	[Ohm*cm ²] Rser		[W/m ²] Irradiance (Isc)

그림 8. 스크린 전기적 특성

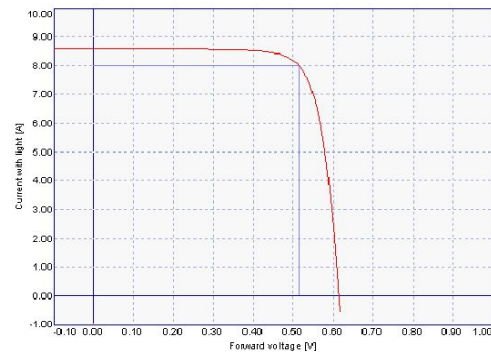


그림 9. 그라비아 오피셋 프린팅 I-V curve

Results: [Q1] Forward voltage with light (corrected to 1000.0 [W/m ²] and 25 [°C])			
16.893	[%] Eta	8.003	[A] Impp
78.00	[%] FF	0.5137	[V] Umpp
8.5747	[A] Isc	4.111	[W] Pmpp
0.6146	[V] Uoc	8.5366	[A] Isc not corrected
8.446	[A] Ivid1	0.6204	[V] Uoc not corrected
8.174	[A] Ivid2	1.287	[Ohm*cm ²] Rser
0.4500	[V] Uvid1	30190.252	[Ohm*cm ²] Rshunt
0.5000	[V] Uvid2	997.4	[W/m ²] Irradiance (Isc)
20.94	[°C] T Monitor Cell	1000.8	[W/m ²] Irradiance (Mpp)
22.4093	[°C] T Cell	1003.6	[W/m ²] Irradiance (Uoc)
Results 'IEC method'			
	[Ohm*cm ²] Rser		[W/m ²] Irradiance (Isc)

그림 10. 그라비아 오피셋 전기적 특성

4. 결론

스크린 프린팅 전극 형성 방법과 그라비아 오피셋 전극 형성 방법으로 6인치 다결정 실리콘 태양전지를 제조하여 특성의 차이를 비교해 보았다. 그 결과 그라비아 오피셋 전극 형성 방법이 미세 선폭 구현으로 빛의 수광 면적

증가로 인해서 I_{sc} 가 상승하였다. 그와 동시에 전극의 높이를 높게 만들 수 있기 때문에 AR이 약 0.6~0.7로서 직렬 저항 감소로 인한 FF가 상승하였다. 즉, 상기 전기적 특성의 상승효과로 인해 그라비아 오프셋 전극 형성법으로 제작한 다결정 실리콘 태양전지의 변환 효율이 약 0.7% 상승함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Solar&Energy, 태양전지용 Metal Paste 기술 및 시장 전망(2010~2013), 2010.8.
2. 이준신, 김경해 “태양전지공학” 도서출판 그린, 2007
3. 김경해, 이준신 “태양전지 실무 입문” 두양사, 2008
4. Ansgar Mette, “New Concepts for Front Side Metallization of Industrial Silicon Solar Cells”
5. Abasifreke Ebong, “Limitations of metallization to manufacturable low-cost & high-efficiency crystalline solar cells”, Metallization workshop, October 1 2008