

결정질 실리콘 태양전지의 스크린 프린팅 공정 최적화 연구

백태현*, 홍지화**, 최성진***, 임기조*, 유권종****, 송희은****

*충북대학교 대학원 전기공학학과(baek_th@naver.com, kjlim@cbnu.ac.kr), **충북대학교 대학원
반도체공학과(hongji8884@hanmail.net), ***충남대학교 대학원 전자전파정보통신공학과(sjchoi@kier.re.kr)
****한국에너지기술연구원(y-gj@kier.re.kr, hsong@kier.re.kr)

Optimization of Screen Printing Process in Crystalline Silicon Solar Cell Fabrication

Tae-Hyeon Baek*, Ji-Hwa Hong**, Sung-Jin Choi***, Kee-Joe Lim*,
Gwon-Jong Yu****, Hee-eun Song****

*Dept. of Electrical Engineering, Chungbuk National University(baek_th@naver.com, kjlim@cbnu.ac.kr)
**Dept of Semiconductor Engineering, Chungbuk National University(hongji8884@hanmail.net)
***Dept of Semiconductor Engineering, Chungnam National University(sjchoi@kier.re.kr)
****Korea Institute of Energy Research(y-gj@kier.re.kr, hsong@kier.re.kr)

Abstract

In this paper, we studied the optimization of the screen printing method for crystalline silicon solar cell fabrication. The 156 * 156 mm² p-type silicon wafers with 200 μ m thickness and 0.5-3 Ω cm resistivity were used after texturing, doping, and passivation. Screen printing method is a common way to make the c-Si solar cell with low-cost and high-efficiency. We studied the optimized condition for screen printing with crystalline silicon solar cell as changing the printing direction (finger line or bus bar), finger width, and mesh angle. As a result, the screen printing with finger line direction showed higher finger height and better conversion efficiency, compared with one with bus bar direction. The experiments with various finger widths and mesh angles were also carried out. The characteristics of solar cells was obtained by measuring light current-voltage, optical microscope and electroluminescence.

keywords : 결정질 실리콘 태양전지(Crystalline silicon solar cell), 전극 형성(Metallization), 전면 금속전극(Grid line)

기 호 설 명

S	: Shadowing loss
EL	: Electro luminescence
Eff	: Efficiency
V_{oc}	: Open-circuit voltage
I_{sc}	: Short-circuit current
FF	: Fill-Factor
SiN_x	: Silicon nitride
R_s	: Series resistance
L-IV	: Light-current-voltage

1. 서 론

결정질 실리콘 태양전지에서 스크린 프린팅(screen printing)은 전극 형성이 쉽고 가격이 저렴하여 보편적으로 사용되고 있다. 이러한 스크린 프린팅을 이용한 전극 형성은 인쇄 방식과 전극 패턴의 설계, 인쇄 후 전극의 열처리 조건 등이 cell의 특성에 영향을 미칠 수 있다. 본 실험에서는 전면 전극의 인쇄 방향과 패턴에서 finger의 폭, mesh angle에 따른 태양전지의 특성을 비교하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 두께 $200 \mu m \pm 10 \mu m$, 6인치 p-type의 다결정 실리콘 웨이퍼를 사용하였고 표면 조직화 공정에서는 질산(HNO_3)과 불산(HF), 초산(CH_3COOH)을 이용하여 한쪽 면을 $3 \mu m$ 씩 식각해서 총 $6 \mu m$ 를 식각했다.

도핑 공정에서는 $POCl_3$ 용액을 스스로 이용한 인(phosphorus) 확산으로 emitter층을 형성하였고, 면저항(sheet resistance)은 48-53 Ω/\square 였다.

반사방지막은 PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition)장비를 이용하여 질화실리콘(SiN_x)막을 70nm의 두께로 증착하였고 이 때 굴절률은 2.2이었다.

전극형성은 스크린 프린팅을 이용했으며 전면에는 은(Ag), 후면에는 알루미늄(Al) 페

이스트를 사용하였다. 본 연구의 중심인 전극의 패턴은 finger 폭과 mesh angle을 변화시켜 3가지 조건으로 가변하였고 전극의 건조과정은 150~200°C에서 수행하였다. 건조과정 이후 소성로에서 저항성 접촉을 형성하였다. 마지막으로 누설전류 방지를 위해서 레이저를 이용한 측면분리를 실행했다.

전면 grid line의 높이와 면적을 측정하기 위해서는 OM(optical microscope)을 사용하였고, 인쇄 과정에서 finger의 끊김 현상과 인쇄 상태를 확인하기 위해 EL(electro luminescence)을 측정하였다.

표1. 실험순서 및 공정조건

실험순서	실험		
표면조직화	질산(HNO_3), 불산(HF), 초산(CH_3COOH)		
도핑	POCl3 (면저항 48-53 Ω/\square)		
반사방지막	PECVD SiN_x (굴절률2.2)		
후면 프린팅 건조	Al paste		full pattern
전면 프린팅 건조	Ag paste	건조 온도 150-200°C	finger width : 100 μm spacing : 2.4mm mesh angle 22.5°
			finger : 80 μm spacing : 2.4mm mesh angle : 22.5°
			finger : 80 μm spacing : 2.4mm mesh angle : 30°
소성	400-425-450-550-880도		
측면 분리	532nm laser		
측정방법	Optical microscope Electro luminescence L-IV		

3. 실험결과 및 고찰

본 논문에서는 스크린 프린팅을 이용한 전극 형성에서 스퀴지의 이동방향, finger 폭, mesh angle을 가변함으로써 공정 조건을 최적화하고자 하였다. 각각의 가변 조건에 따른 실험 결과 및 태양전지 특성 분석은 다음과 같다.

3.1 스퀴지의 인쇄방향 가변

그림 1과 같이 스퀴지의 이동방향을 A와 B의 방향으로 바꾸어 전면 전극을 인쇄하였다. A 방향은 bus bar 방향으로 스퀴지를 이동한 경우이고, B 방향은 finger 방향으로 이동시켰다.

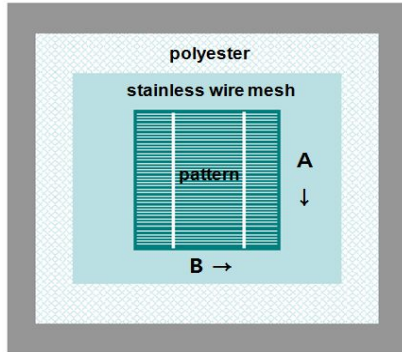


그림 1. 스크린 프린팅에서 스퀴지의 인쇄방향 도식도

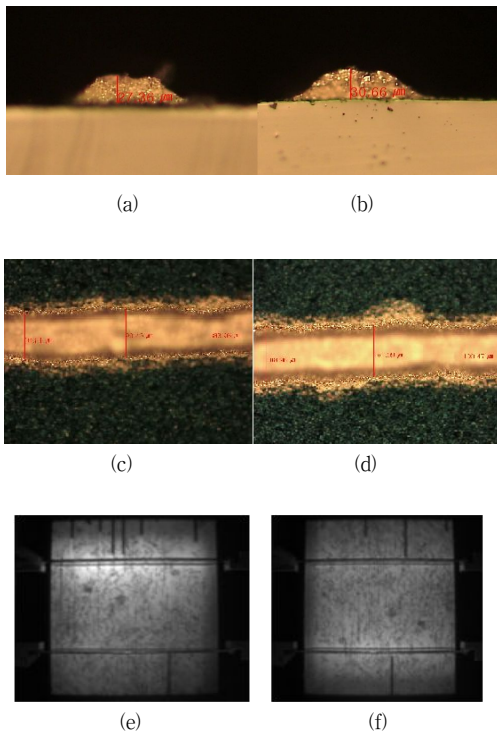


그림 2. 스퀴지 이동방향 가변과 함께 제작한 태양전지의 OM (a-d)과 EL (e,f), A방향으로 인쇄하였을 때 finger 높이 (a)과 폭 (c), EL (e), B방향으로 인쇄했을 때 finger 높이 (b)와 폭 (d), EL (f)

표 2. 스퀴지 인쇄방향에 따른 전기적특성 변화

#	인쇄 방향	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	FF (%)	Eff (%)	R_s (m Ω)
1	A	7.962	0.604	78.1	15.4	0.007
2		8.042	0.608	78.5	15.8	0.007
3		7.995	0.608	78.7	15.7	0.007
4	B	8.050	0.607	78.9	15.8	0.006
5		8.031	0.607	79.2	15.9	0.006
6		8.028	0.607	78.9	15.8	0.006

그림 2는 스크린 프린팅으로 전극 형성 후 건조와 소성 과정을 거친 태양전지의 optical microscope 측정 결과를 보여준다. 같은 조건의 태양전지를 3개 제작하여 평균값을 얻었다. 스크린 프린팅 제판은 finger 폭 100 μm , spacing 2.4 mm, mesh angle 22.5도로 설계하였다. A방향으로 인쇄한 경우의 평균 finger의 폭은 93.1 μm , 높이는 26.1 μm 이며 B방향으로 인쇄했을 때의 finger의 평균 폭은 103.1 μm , 높이는 28.4 μm 으로 측정되었다. A와 B의 다른 방향으로 인쇄하였을 때 전극의 높이는 비슷하였으나, B방향으로 인쇄하였을 때 전극이 더 넓게 퍼짐을 알 수 있었다.

인쇄 방향에 따른 태양 전지의 light current-voltage (LIV)특성을 표2에 나타내었다. A방향으로 인쇄 했을 때보다 B방향으로 인쇄 했을 때의 단락전류(I_{sc}), fill factor(FF), 광변환 효율(e_{ff})이 증가하였고, 단락전류의 증가는 직렬저항(R_s)의 감소로 인한 결과로 보인다. [1] 이는 B방향으로 인쇄하였을 때 전극의 접촉 면적이 넓어지기 때문에 이로 인한 직렬 저항의 감소로 여겨진다. 직렬저항(R_s)은 emitter 층의 저항, 금속과 반도체 사이의 접촉 저항, 금속 grid-line의 저항, 반도체 저항 등에 의해 영향을 받는다[2]. 스크린 프린팅 인쇄 공정에서는 금속과 반도체 사이의 접촉저항과 grid line 저항에 변화를 주어 직렬저항(R_s)의 차이를 유발할 수 있다.[3] B방향으로 인쇄하였을 때 전극은 더 넓게 인쇄되었지만, 이로 인한 shadowing loss에 의한

광변환 효율의 감소보다 접촉 저항 감소에 따른 단락전류의 증가가 더 크게 나타나 효율은 B 방향으로 인쇄했을 때가 더 높게 나타난 것이다.

3.2 Finger width 가변

Finger 폭이 태양전지의 광변환 효율에 미치는 영향을 알아보기 위해서 finger의 폭을 각각 80 μm , 100 μm 로 가변하여 실험하였다. 실험 3.1에서 얻은 결과를 토대로 인쇄방향은 B 방향으로 하였다. Finger의 폭 변화에 따른 광원손실의 차이는 아래의 식 (1)을 통해서 계산할 수 있으며, 결과는 표 3에 나타냈듯이 finger 폭이 80 μm 에 비해 100 μm 로 증가시켰을 때 shadowing loss가 14% 증가함을 알 수 있었다.

$$S = \frac{\text{gridline 면적}}{\text{cell 전체 면적}} \times 100\% \quad (1)$$

표 3. Finger width 변화에 따른 shadowing loss

Finger width	Shadowing loss(%)
80 μm	6.33
100 μm	7.20

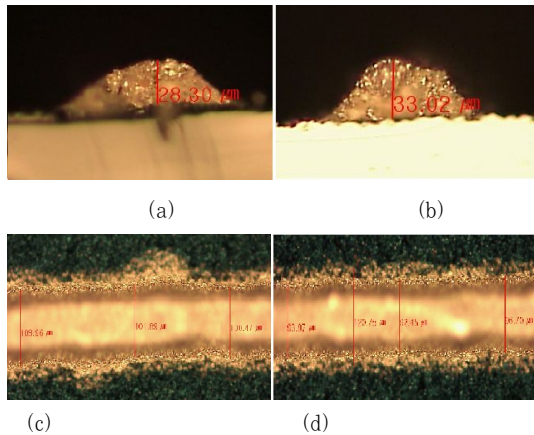


그림 3. OM로 측정된 finger 높이와 폭; 100 μm 일 때 높이 (a)와 폭 (c), 80 μm 일 때 높이 (b)와 폭 (d)

표 4. Finger width 가변에 따른 태양전지의 전기적특성

#	width (μm)	Isc (A)	Voc (V)	FF (%)	Eff (%)	Rs (m Ω)
1	80 μm	8.248	0.612	78.9	16.4	0.006
2		8.237	0.612	78.6	16.3	0.006
3		8.192	0.612	78.8	16.2	0.006
4	100 μm	7.976	0.610	78.1	15.6	0.006
5		8.089	0.611	78.1	15.9	0.006
6		8.105	0.612	78.0	15.9	0.006

그림 3은 finger 폭을 가변하면서 제작한 태양전지의 OM 측정 결과를 보여준다. 하나의 조건에서 각각 3개의 태양전지를 제작하였고, OM 측정 결과 평균 높이는 finger width가 80 μm 인 제판을 사용하였을 때 29.6 μm , finger width가 100 μm 인 제판을 사용하였을 때 28.4 μm 로 비슷했으며 평균 finger 폭은 finger width가 80 μm 인 제판을 사용하였을 때 95.1 μm , 100 μm 인 제판을 사용하였을 때 103.1 μm 를 얻었다. 그 결과로 Finger width가 80 μm 인 제판을 사용하였을 때 I_{sc} 와 FF의 증가로 효율이 증가하였다. 이와 같은 효율 증가는 shadowing loss가 감소하고 이에 따라 빛을 받는 면적이 늘어났기 때문으로 여겨진다.[4]

3.3 Mesh angle 가변

실험 3.1과 3.2 실험에서 보았듯이 스크린 프린팅 공정에서 인쇄방향은 B의 방향인 경우와, finger width는 80 μm 일 경우에 더 높은 효율을 보였다. 이번 실험에서는 인쇄시 mesh angle의 변화에 따른 효율 변화를 보기 위한 실험을 수행하였고 인쇄방향은 B 방향, finger 폭은 80 μm 을 사용하였다.

다음은 Mesh angle을 22.5°와 30°로 가변하여 mesh angle이 인쇄 상태와 효율에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

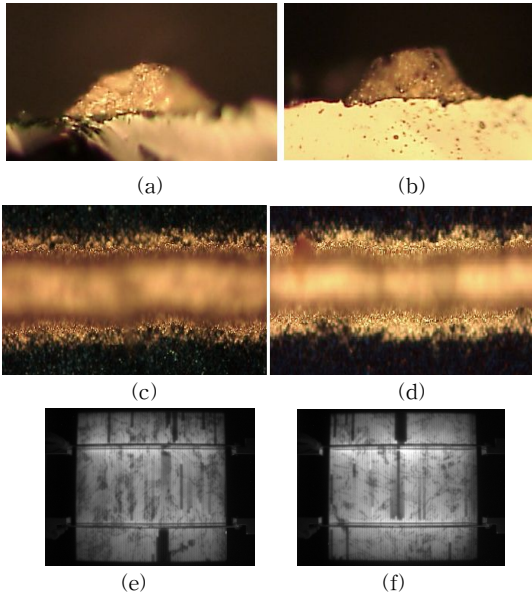


그림 4. 태양전지의 finger 높이 (a, b)와 폭 (c, d), EL 이미지(e, f), mesh angle이 22.5° (a,c,e), 30° (b, d, f)

표 5. Mesh angle 가변에 따른 태양전지의 전기적특성

#	Mesh angle	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	FF (%)	Eff (%)	R_s (m Ω)
1	22.5°	8.212	0.612	75.8	15.6	0.007
2		8.225	0.609	75.5	15.6	0.007
3		8.201	0.609	77.3	15.9	0.006
4	30°	8.259	0.610	76.9	15.9	0.006
5		8.258	0.611	77.2	16.0	0.006
6		8.292	0.612	77.2	16.1	0.007

그림 4는 mesh angle을 가변 하였을 때 얻은 태양전지의 OM과 EL 측정 결과를 보여준다. OM 측정에서 mesh angle 변화에 따라 finger 높이는 29.1 μm 와 28.0 μm 로 거의 비슷하였으며, 마찬가지로 finger 폭도 95.1 μm 와 93.2 μm 로 거의 비슷했다.

다음은 EL 측정을 통해서 mesh angle변화에 따른 인쇄 상태의 양호함을 확인하고자 하였다. EL 측정결과 mesh angle변화에 따른 태양전지의 인쇄상태 또한 거의 비슷하게 나타났다.

하지만 표 5에서 볼 수 있듯이 mesh angle이 30도 일 때가 22.5도로 인쇄했을 때 보다 단락전류(I_{sc})와 fill factor(FF), 광변환 효율(e_{ff})이 더 높은 값을 보였다.

5. 결 론

본 연구로부터 결정질 실리콘 태양전지 제작에서 스크린 프린팅 공정시 같은 pattern을 사용하더라도 인쇄방향이 변함에 따라 인쇄상태와 태양전지의 전기적 특성에 영향을 미치며 finger 방향으로 인쇄하는 것이 더 좋은 특성을 지님을 알 수 있었다.

Finger width의 가변 실험에서는 shadowing loss의 차이에 따른 광흡수 차이로 인한 단락전류(I_{sc})의 변화가 나타났고 이에 따라 광변환 효율에도 변화가 나타났다.

Mesh angle의 가변 실험에서는 mesh angle이 인쇄상태에 크게 영향을 주진 않지만 단락전류(I_{sc})와 광변환 효율(e_{ff})에 영향을 주었다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 신재생에너지기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이준신, 김경해, 「태양전지공학」, 도서출판 그린, pp.56
2. Vikrant A. chaudharim" losses in solar cell", May 2006
3. P.N vinod, J. Mater. sci: Mater Electron. 18, 805-810(2007).
4. 이준신, 김경해, 「태양전지공학」, 도서출판 그린, pp.400~405