

BIPV용 건식 및 습식 텍스처링 공정에 의한 다결정실리콘 태양전지 모듈 특성 연구

서일원*, 윤명수, 조태훈, 손찬희, 차성호, 이상두, 권기청**

A Study of Characterization of Multi-Crystalline Silicon Solar Cell Module using by RIE and Wet Texturing for BIPV

Il-Won Seo*, Myung-Soo Yun, Tae-Hoon Jo, Chan-Hee Son, Sung-Ho Cha, Sang-Du Lee and Gi-Chung Kwon**

Abstract

Multi-crystalline silicon solar cells is not exist a specific crystal direction different from single crystalline silicon solar cells. In functional materials, therefore, isotropic wet etching of mc-Si solar cell is easy the acid solution rather than the alkaline solution. The reflectance of wet texturing process is about 25% and the reflectance of RIE texturing process is achieved less than 10%. In addition, wet texturing has many disadvantages as well as reflectance. So wet texturing process has been replaced by a RIE texturing process. In order to apply BIPV, RIE and wet textured multi-crystalline silicon solar cell modules was manufactured by different kind of EVA sheet. Moreover, in case of BIPV, the short circuit current characteristics according to the angle of incidence is more important, because the installation of BIPV is fixed location. In this study, we has measured SEM image and I-V curve of RIE and wet textured silicon solar cell and PV module. Also we has analyzed quantum efficiency characteristics of RIE and wet textured silicon solar cell for PV modules depending on incidence angle.

Key words

Texturing(텍스처링), Module(모듈), EQE(외부양자효율), 반사율(Reflectance), I-V Curve(전류-전압곡선)

(접수일 2013. 5. 27, 수정일 2013. 6. 11, 게재확정일 2013. 6. 11)

* 광운대학교 전자바이오물리학과 (Department of Electrobiological Physics, Kwangwoon University)

■ E-mail : siw@kw.ac.kr ■ Tel : (02)940-5479 ■ Fax : (02)943-3208

** 광운대학교 전자바이오물리학과 (Department of Electrobiological Physics, Kwangwoon University)

■ E-mail : gckwon@kw.ac.kr ■ Tel : (02)940-5479 ■ Fax : (02)943-3208

Nomenclature

q : quantity of electric charge, c
 h : planck's constant, $J \times s$
 c : velocity of light, m/s
 $E_{AMI.5G}$: Irradiance of AM1.5G light, $Wm^{-2}nm^{-1}$

Subscript

$mc-Si$: multi-crystalline silicon
 PV : photovoltaic
 EQE : external quantum efficiency
 RIE : reactive ion etching

BIPV : *building integrated photovoltaic*
SEM : *scanning electron microscope*
EVA : *ethylene vinyl acetate*
CTM : *cell to module*
SDR : *saw damage removal*
PSG : *phosphorus silicate glass*
ARC : *anti reflection coating*
PVB : *poly vinyl butyral*
STC : *standard test condition*

1. 서론

요즘 세계 각국은 에너지와 고갈문제와 일본 방사능 문제와 더불어 신재생에너지원으로써 태양전지가 각광을 받고 있다. 더욱이 탄소 배출규제법 시행에 따라 각국 정부의 지원정책과 맞물려 그 시장규모는 기하급수적으로 확대될 전망이다. 하지만 태양전지의 발전단가는 화력이나 원자력 등에 비하여 월등히 높은 단점으로 인해 현재까지도 저가의 고효율 결정질 실리콘 태양전지를 개발하기 위한 다양한 연구개발이 수행되고 있다.⁽¹⁾

현재 우리나라에서는 태양광발전소로 사용되어지고 있는 현실이다. 이에 건축물 외벽이나, 지붕자재, 창문들과 태양광발전시스템을 통합한 건재 일체형 태양전지(BIPV) 등으로 점차 일반 가정으로 영역을 넓혀 가는 연구가 활발히 진행중이다.⁽²⁾

태양광 발전소의 경우 최적의 방향으로 설치된다. 하지만 BIPV용 태양전지의 경우 건물 외벽이나 지붕 등에 고정되어 설치되므로, 입사각에 따른 발전효율이 중요한 특성이 된다. 다결정 태양전지의 경우 태양전지 전면의 텍스처링 방법에 따라 입사각에 따른 영향을 받게 된다.

일반적으로 습식 텍스처링(Wet texturing) 공정으로 제작되는 단결정 태양전지는 결정 성장 방향의 따라 식각이 이루어진다. 하지만 다결정 실리콘 태양전지의 경우에는 일정한 결정 방향을 가지지 못하여 Wet texturing 공정으로 표면 텍스처 모양을 제어할 수 없다. 이러한 Wet texturing의 대안으로 Laser texturing, RIE texturing, Acid wet texturing 등 많은 방법이 연구되어 왔다. 이중 플라즈마를 이용하는 방법인 RIE texturing의 경우 빠른 공정시간과 비등방성 식각

으로 표면 텍스처 모양을 보다 효과적으로 제어 할 수 있으며, 공정이 간단한 장점이 있다. 1996년도에 17.1% 고효율 다결정 실리콘 태양전지가 일본 Kyocera 사에서 RIE texturing 공정으로 제작되었다.⁽³⁾

BIPV용 태양전지 모듈은 전면보호유리, 전면 충전재, 태양전지, 후면 충전재, Back sheet로 구성되어있다. 전면보호유리는 광투과성을 좋게 하기 위해 철분 함량을 0.02% 이하로 낮은 저철분 강화유리를 사용한다. 또한 충전재는 태양전지의 충격 및 습기 침투 등 외부 환경으로 태양전지를 보호하여 수명을 25년이상 유지되도록 하는 소재이고, Back sheet는 외부 환경중 수분의 침투를 적극적으로 막아주고, 일반적으로 적용되고 있는 충전재인 EVA sheet는 색변이 현상을 일으키는 UV 파장의 빛을 막아주는 역할로써 셀의 효율 감소를 방지한다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 Wet texturing 및 RIE texturing에 의한 다결정 실리콘 태양전지를 모듈로 제작하였다. 전면 충전재를 변경하여 태양전지의 전류-전압특성을 셀단계와 모듈단계로 나누어서 측정 및 분석하였다. 그리고 모듈 제작에 의한 CTM loss의 원인을 파악하기 위해 파장에 따른 양자효율을 측정하였다. 또한 SEM image로 Wet texturing 및 RIE texturing 공정을 진행한 태양전지 셀의 표면형상을 확인하였고, BIPV 적용시 태양전지 입사면이 고정되므로 입사각에 따른 EQE를 측정하여 분석하였다.

2. 태양전지모듈제작 및 특성평가

2.1 태양전지모듈제작

2.1.1 Texturing 공정

Texturing 공정은 ARC 공정과 더불어 태양전지의 광포획 기술(Light trapping)을 위해 진행하는데 이는 태양전지의 표면에서의 반사율을 저감시키고, 그에 따라 태양전지 내부에서의 흡수율을 증가시켜 단락전류(I_{sc})를 향상시킨다.

Fig. 1은 태양전지 제작공정 순서를 보여준다. 먼저 p-type 다결정 실리콘 기판의 세정 및 SDR을 진행하였다, 그 후 Texturing 공정을 진행하는데 본 연구에서는 Wet texturing 및 RIE texturing 2가지의 공정방법으로 진행하였다. Texturing

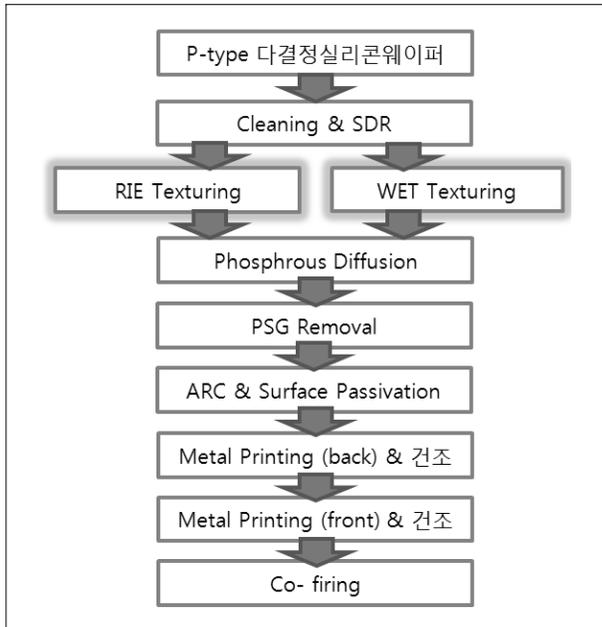


Fig. 1 Solar cells manufacturing process

공정 후 p-n junction formation 공정을 거친 다음 PSG를 제거 하였다. PSG를 제거한 후 Edge isolation 공정을 진행하고, ARC 공정 및 표면 Passivation을 진행하였다. 그다음 공정으로 전극을 형성하는데 후면을 형성한 다음 건조를 시키고, 다시 전면을 형성한 후 건조를 시킨다. 마지막으로 Co-firing 공정을 진행하였다. 다결정 실리콘 태양전지의 Wet texturing 공정은 기존 단결정 실리콘태양전지와 달리 HNO₃와 HF를 사용하여 웨이퍼 표면에 반응시켜 식각한다. 그리고 RIE texturing 공정은 식각용 기체인 SF₆ 혼합가스를 플라즈마 상태로 만들어 웨이퍼표면에 혼합가스의 이온을 충돌시키는 방법으로 식각공정을 진행한다.

2.1.2 단위 모듈 제작

모듈 제작공정은 여러 단계가 있지만 본 실험에서는 6 inch cell 한 장을 가지고 단위모듈을 제작하는 공정이라 4단계로만 진행하였다. 먼저 Cell selection 공정에서 불량 셀을 검출하고, Soldering 공정을 통해 ribbon을 부착하였다. 그 이후 Lamination 공정을 진행하기 위해 ribbon에 맞추어서 셀을 정렬하였고, 육안으로 이물질 및 셀 상태를 확인하는 Lay up 공정을 진행하였다. 마지막으로 진공상태에서 기판에 온도를 가하여 Laminating 공정을 진행하였다.

Table 1. Module structure

셀 이름	모듈 구조
sample A	전면보호유리/Wet/EVA/Back sheet
sample B	전면보호유리/EVA/Wet/EVA/Back sheet
sample C	전면보호유리/PVB/Wet/Back sheet
sample D	전면보호유리/RIE/EVA/Back sheet
sample E	전면보호유리/EVA/RIE/EVA/Back sheet
sample F	전면보호유리/PVB/RIE/Back sheet

Table 1은 3가지 실험조건으로 RIE texturing 및 Wet texturing을 진행한 다결정 실리콘 태양전지 모듈에 전면 충전재를 변화시키면서 제작한 모듈을 나타낸다. 3가지 실험 조건은 전면 충전재를 사용하지 않은 모듈과 전면 충전재를 EVA sheet로 사용한 모듈 그리고 PVB sheet로 사용한 모듈로 제작되었다. 전면 충전재는 처음에는 실리콘수지로 사용되었으나 기포방지과 셀의 균일성을 유지하는데 시간이 많이 소요된다. 요즘에는 PVB sheet와 EVA sheet로 주로 사용되고 있으며, 열차단, 방수, 결합제거 등에서 PVB sheet는 EVA sheet보다 우수하여, 유럽의 고층건물용 BIPV에서는 PVB sheet을 주로 사용한다.

2.2 특성평가

2.2.1 Solar Simulator

태양전지는 태양광을 받아 전력을 생산하는 반도체 소자이며, 단락전류, 개방전압, 최대출력, 곡선인자, 변환효율 등 태양전지의 지표는 태양전지 성능을 결정하는 주요한 인자이다. 이러한 태양전지의 성능 지표는 Solar simulator 이용하여 태양전지가 출력하는 전류-전압 특성을 측정함으로써 확인할 수 있다. IEC 규격에 명시된 태양전지 성능평가 조건을 표준시험조건(STC)이라고 한다. STC는 AM 1.5G 기준 스펙트럼의 광을 태양전지에 조사하고, 그때의 광의 조사강도는 100 mW/cm², 태양전지 측정시 분위기 온도는 25°C가 되는 조건을 말한다.⁽⁶⁾

Fig. 2는 Solar simulator 측정의 기본구조를 나타낸 것이다. 측정 방법은 먼저 Chiller를 이용하여 측정 시간동안 태양전지의 온도를 25°C로 유지시킨다. 그 이후 기준태양전지를 이용하여 Solar simulator의 조사강도인 100 mA/cm²으로 조정된 후 사용한 기준태양전지를 제거하고, 측정대상인

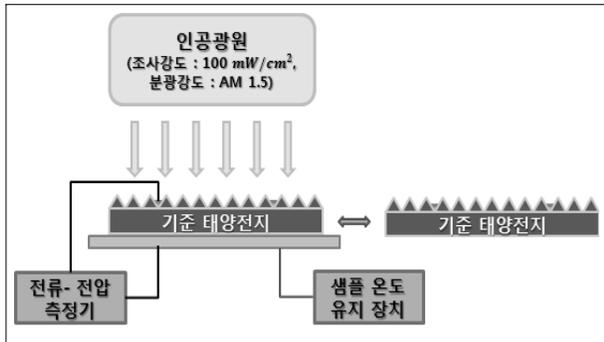


Fig. 2 Scheme of solar simulator

태양전지를 거치한 후, 전류-전압측정기로 태양전지의 전류-전압곡선을 측정하였다.

2.2.2 Angular quantum efficiency measurement system

양자효율이란 입사된 광자(Photon) 수에 대한 얻어지는 전하운반자(Charge carrier) 수의 비율로 정의한다.

Fig. 3은 광 입사각에 따른 양자효율 측정 장치(Angular quantum efficiency measurement system)의 구조를 보여 준다. 이 장치에서 광원은 2개로 단파장영역에서는 Xe lamp를 사용하였으며, 장파장영역에서는 Halogen lamp를 사용하였다. 또한 Optical chopper를 이용하여 입사된 DC 광원을 AC 광원으로 변환하고, 분광기(Monochromator)을 이용하여 AC 광원을 10 nm 이하의 파장간격으로 단색화하여 태양전지에 조사하였다. 광원이 조사된 태양전지는 전류를 생성하고, 생성된 전류는 Transformer를 거쳐 DC noise를 제거하였다. 그리고 Lock-in amplifier를 통해 Spectral response를 측정하여 이를 외부양자효율로 변환하였다. 이후 외부양자효율을 전류밀도(mA/cm^2)로 환산하였다. 양자효율 측정 온도는 STC 인 25°C 에서 측정하였다. 그리고 입사각의 따른

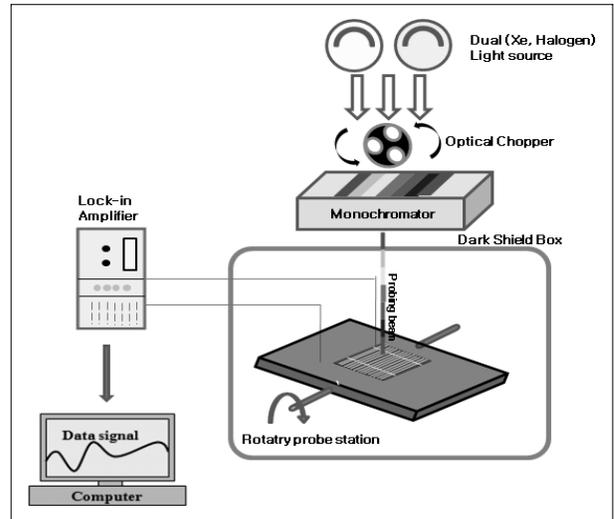


Fig. 3 Angular quantum efficiency measurement system

양자효율을 측정하기 위해 태양전지 수직축(Z축)과 입사광의 각도로 10도 간격별 회전하는 Rotary probe station을 제작하였다. 또한 양자효율 측정 장치에 장착되어 있는 적분구를 이용하여 반사율도 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 RIE와 Wet texturing을 진행한 다결정실리콘태양전지를 10,000배인 배율에서 측정한 SEM image이다. (a)는 RIE texturing된 태양전지의 측면 image이고, (b)는 Wet texturing된 태양전지의 측면 image이다. 또한 (c)는 RIE texturing된 태양전지의 평면 image이고, (d)는 Wet texturing된 태양전지의 평면 image이다. Wet texturing 대비 RIE texturing 공정은 플라즈마에 의해 미세표면 텍스처링 모양을 형성하여, Fig. 5의 (b)에 보이는바와 같이, 반사율을 전

Table 2. I-V characteristics of solar cell using solar simulator

공정구분	전면충진재 구분	셀 이름	개방전압(V_{oc})	단락전류(I_{sc})	전류밀도(J_{sc})	곡선인자(FF)	효율
Wet texturing	없음	sample A	0.595 V	8.59 A	35.29 mA/cm^2	78.34%	16.45%
	EVA sheet	sample B	0.595 V	8.51 A	34.96 mA/cm^2	78.19%	16.26%
	PVB sheet	sample C	0.592 V	8.60 A	35.33 mA/cm^2	77.85%	16.28%
RIE texturing	없음	sample D	0.594 V	8.89 A	36.53 mA/cm^2	78.34%	16.99%
	EVA sheet	sample E	0.593 V	8.92 A	36.65 mA/cm^2	78.13%	16.98%
	PVB sheet	sample F	0.598 V	8.90 A	36.57 mA/cm^2	78.06%	17.07%

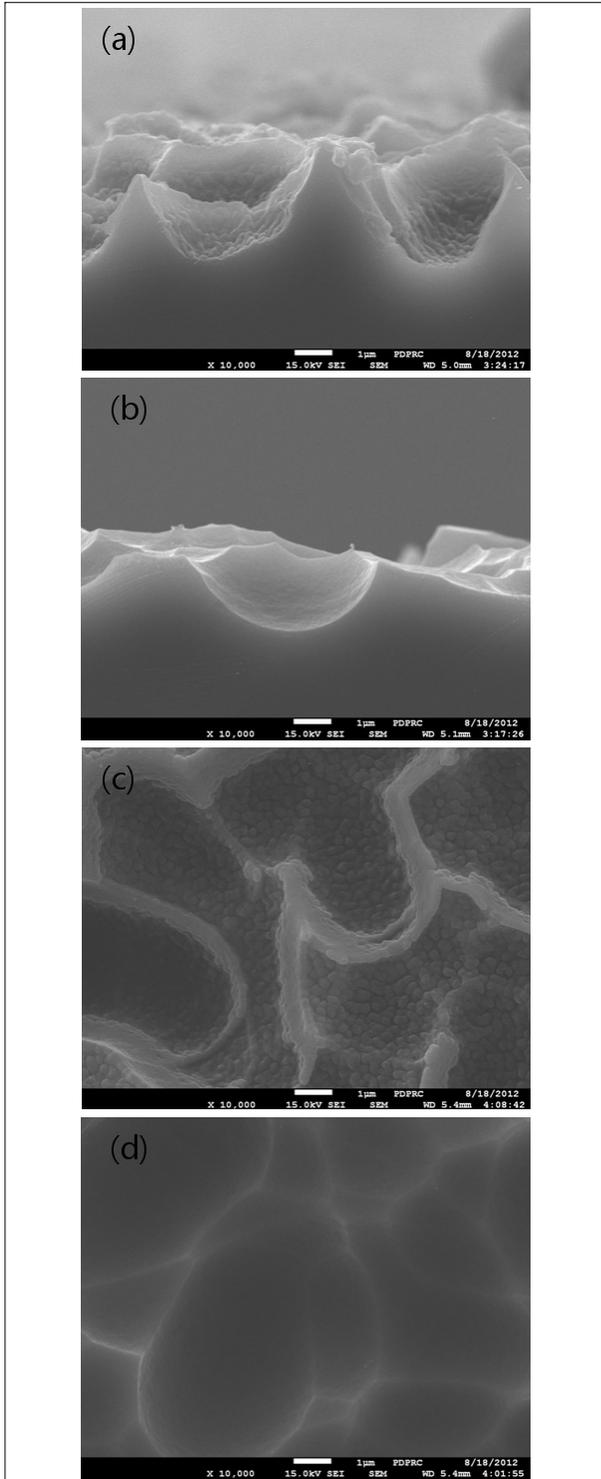


Fig. 4 SEM image :

- (a) Side view of wafer surface by RIE textured mc-Si solar cell,
- (b) Side view of wafer surface by wet textured mc-Si solar cell,
- (c) top view of wafer surface by RIE textured mc-Si solar cell,
- (d) top view of wafer surface by wet textured mc-Si solar cell

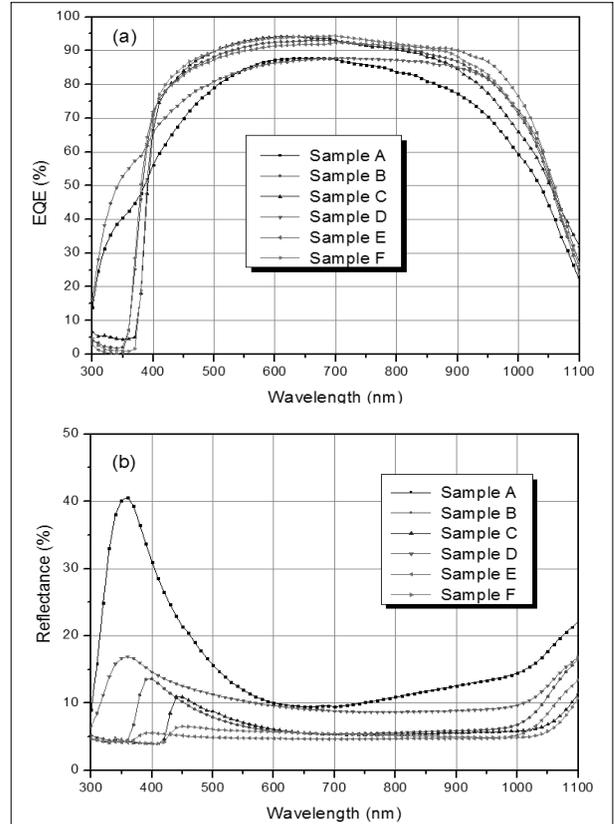


Fig. 5 (a) EQE graph by mc-Si solar cell, (b) Reflectance graph by mc-Si Solar cell

체적으로 저감시키는데 특히 단파장영역의 반사율이 크게 저감된다.

Table 2는 Solar simulator로 RIE와 Wet texturing이 진행된 다결정실리콘태양전지 셀들의 대한 개방전압(V_{oc}), 단락전류(I_{sc}), 단락전류밀도(J_{sc}), 곡선인자(FF), 그리고 변환효율을 나타낸다.

RIE texturing된 태양전지 셀의 평균효율은 17.01% 이고, Wet texturing된 태양전지 셀들의 평균효율은 16.33% 이다. 이는 RIE texturing된 태양전지 셀의 평균효율이 Wet texturing된 태양전지 셀보다 0.68% 만큼 크다.

Texturing 공정은 반사율 저감에 의한 광포획효과로 단락전류가 증가한다. RIE texturing 태양전지 셀들의 평균단락전류는 8.90 A이고, Wet texturing 태양전지 셀의 평균단락전류는 8.56 A이다. 결론적으로 반사율이 낮은 RIE texturing으로 진행된 태양전지 셀들이 Wet texturing으로 진행된 태양전지 셀들보다 0.34 A만큼 단락전류가 크다.

Table 3은 Solar simulator로 RIE와 Wet texturing으로 진행한 다결정실리콘태양전지 모듈의 대한 개방전압(V_{oc}), 단락전류(I_{sc}), 단락전류밀도(J_{sc}), 곡선인자(FF), 그리고 변환효율 데이터이다.

RIE texturing된 태양전지 모듈의 평균단락전류와 평균변환효율은 각각 8.41 A, 15.31%이고, Wet texturing된 태양전지 모듈의 평균단락전류와 평균변환효율은 각각 8.35 A, 14.94%이다.

결론적으로 RIE texturing된 태양전지 모듈에 대한 단락전류의 평균은 Wet texturing된 태양전지 모듈에 대한 단락전류의 평균보다 0.06 A만큼 큰 것을 확인하였다. 이는 셀보다 모듈에서 차이가 약 5.8배 이상 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 변환 효율의 평균도 RIE texturing된 태양전지 모듈이 0.37% 높다. 이는 셀보다 모듈에 차이가 약 1.8배 정도 높다.

또한 CTM loss의 경우 sample B (전면보호유리/EVA/Wet/EVA/Back sheet)가 -3.89%로 제일 낮았다. 그리고 RIE texturing된 태양전지의 CTM Loss의 평균은 -11.28%이고, Wet texturing된 태양전지의 CTM loss의 평균은 -9.67%이다. 이로써 셀에서 모듈로 제작하였을 때 RIE texturing된 태양전지가 Wet texturing된 태양전지보다 -1.61%만큼 감소폭이 큰 것을 확인하였다.

Fig. 5는 파장에 따른 EVA sheet의 영향을 확인하기 위해

양자효율 측정 장치로 측정된 RIE와 Wet texturing된 다결정실리콘태양전지 모듈들의 양자효율 및 반사율 그래프이다. Table 4는 측정된 양자효율과 반사율 그래프로 식 (1)을 사용하여 각각 얻은 단락전류밀도(J_{sc})과 단락전류손실밀도(J_{loss})을 나타낸다.

$$J_{sc} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} EQE(\lambda) \cdot \frac{q\lambda}{hc} \cdot E_{AM1.5G}(\lambda) d\lambda \quad [\text{mA/cm}^2] \quad (1)$$

$$J_{loss} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) \cdot \frac{q\lambda}{hc} \cdot E_{AM1.5G}(\lambda) d\lambda \quad [\text{mA/cm}^2] \quad (2)$$

양자효율의 경우에는 Wet texturing된 태양전지에서는 EVA sheet를 전면충진재로 사용한 모듈이 35.74 mA/cm²으로 가장 높았으며, RIE texturing된 태양전지에서는 PVB sheet를 사용한 모듈이 36.19 mA/cm²으로 가장 높았다. 두 시트의 차이는 세 영역으로 나누어 설명할 수 있다. 첫번째 360~420 nm 영역은 PVB sheet가 광을 흡수하여 태양전지에서 입사된 광에 의한 전자가 생성되지 않아서, 양자효율은 매우 낮다. 두번째는 420~700 nm 영역으로 PVB sheet를 사용한 모듈에서 양자효율 측정값이 높게 나타났다. 그리고 800~1,100 nm인 세번째 영역은 반대로 PVB sheet를 사용

Table 3. I-V characteristics of PV module using solar simulator

공정구분	전면충진재 구분	셀 이름	개방전압(V_{oc})	단락전류(I_{sc})	전류밀도(J_{sc})	곡선인자(FF)	효율	CTM Loss
Wet texturing	없음	sample A	0.591 V	7.77 A	31.92 mA/cm ²	72.91%	13.75%	-19.63%
	EVA sheet	sample B	0.602 V	8.66 A	35.58 mA/cm ²	73.10%	15.65%	-3.89%
	PVB sheet	sample C	0.597 V	8.63 A	35.46 mA/cm ²	72.93%	15.43%	-5.50%
RIE texturing	없음	sample D	0.599 V	7.90 A	32.46 mA/cm ²	73.91%	14.37%	-18.23%
	EVA sheet	sample E	0.602 V	8.65 A	35.54 mA/cm ²	73.58%	15.74%	-7.87%
	PVB sheet	sample F	0.606 V	8.69 A	35.70 mA/cm ²	73.24%	15.84%	-7.76%

Table 4. Short circuit current density obtained from EQE and loss of short circuit current density obtained from reflectance for mc-Si solar cell

셀 이름	sample A	sample B	sample C	sample D	sample E	sample F
공정 구분	Wet texturing			RIE texturing		
전면충진재 구분	없음	EVA sheet	PVB sheet	없음	EVA sheet	PVB sheet
외부양자효율에 의한 단락전류밀도(mA/cm ²)	32.66	35.74	35.57	34.52	36.07	36.19
반사율에 의한 단락전류 밀도 손실(mA/cm ²)	6.09	3.09	2.76	4.46	2.29	2.41

한 모듈에서 낮게 나타나는데 이는 PVB sheet가 EVA sheet와 달리 빛을 흡수하는 것으로 유추할 수 있다. 그리고 전면층 진재를 사용하지 않은 모듈에서는 높은 반사율로 인하여 전반적으로 외부양자효율이 낮게 측정됨을 확인 할 수 있었다.

반사율에 의한 단락전류밀도 손실은 RIE texturing된 태양전지에서 평균 3.05 mA/cm^2 이고, Wet texturing된 태양전지에서는 평균 3.98 mA/cm^2 으로 RIE texturing된 태양전지가 낮게 나타난다.

RIE texturing된 태양전지에서는 EVA를 전면 층진재로 사용한 sample E가 2.29 mA/cm^2 으로 가장 낮았고, Wet texturing된 태양전지에서는 PVB를 사용한 sample C가 2.76 mA/cm^2 로 가장 낮았다. 둘 차이는 셀 상태에서의 반사율로 설명할 수 있다. 셀 상태에서 Wet texturing된 태양전지의 경우 단파장영역의 반사율이 RIE texturing된 태양전지보다 높다. 그런데 EVA sheet의 경우 300~360 nm 파장까지 흡수하고, PVB sheet는 300~420 nm 파장까지 흡수하여, 반사율의 차이를 가져온다. 또한 800~1,100 nm 영역에서는 전반적으로 PVB sheet를 층진재로 사용한 모듈에서 높게 나타난다.

EVA sheet가 없는 경우 반사율이 전체적으로 증가해 Wet texturing된 태양전지에서는 6.06 mA/cm^2 로 가장 높으며, RIE texturing된 태양전지에서도 4.46 mA/cm^2 으로 가장 높았다.

이로써 전면 층진재는 셀을 보호하는 것뿐만 아니라 전 파장대역에서 태양전지 모듈의 반사율을 낮추는데 기여하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6의 (a)와 (b)는 각각 기본형(전면보호유리/EVA/Cell/EVA/Back sheet)구조의 RIE와 Wet texturing된 결정질 실리콘 태양전지를 입사각에 따른 양자효율을 측정한 그래프이다. Table 5은 식 (1)을 이용하여 입사각에 따른 양자효율 그래프를 전류 밀도로 환산하였고, Fig. 7의 (a)는 환산한 값의 대한 그래프이고, (b)는 환산된 값을 1로 Normalization 한 그래프이다.

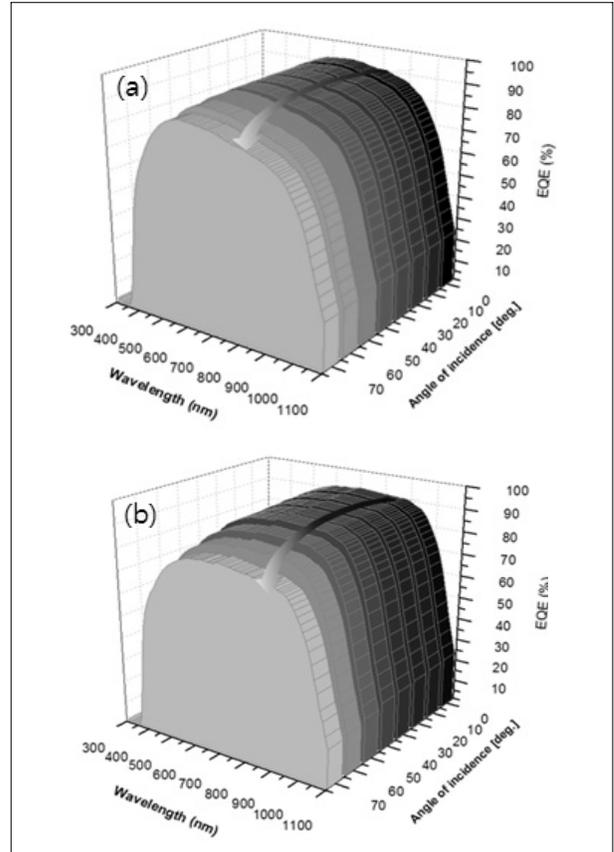


Fig. 6 EQE Graph by angle of incidence, (a) Wet textured mc-Si solar cell (b) RIE textured mc-Si solar cell

Fig. 6과 7에서 보는 바와 같이 Wet texturing된 태양전지는 전체적으로 각도에 따라 비슷하게 떨어지고, RIE texturing된 태양전지는 60도 부터 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7의 (a)와 (b)를 보면 RIE texturing된 태양전지의 전류밀도와 Normalization이 역전되는 구간은 60도 이후이다.

또한 Wet texturing된 태양전지의 단락전류밀도는 태양전지표면과 광의 입사각이 수직인 0도 대비 전체 입사각에 대한 단락전류의 평균값은 4.32% 감소하였고, RIE texturing된 태양전지에서는 4.36% 감소하였다. 그리고 Wet texturing

Table 5. Short circuit current density depend on EQE by angle of incidence for sample B and E

Process	Incident Angle(degree)	0	10	20	30	40	50	60	70
Wet texturing	sample B(mA/cm^2)	35.74	35.49	35.43	35.07	34.64	34.15	33.56	32.63
RIE texturing	sample E(mA/cm^2)	36.07	35.95	35.76	35.56	35.49	34.52	33.26	31.51

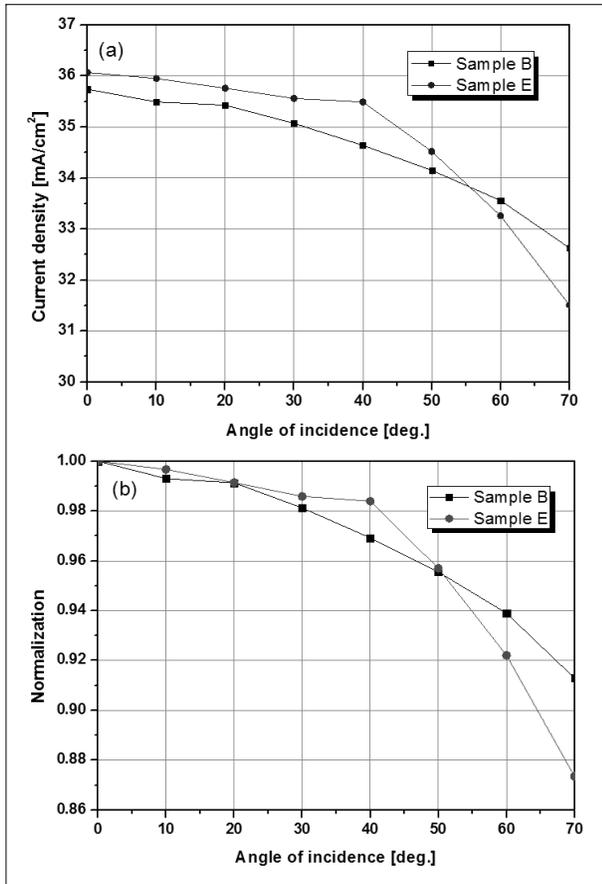


Fig. 7 Current density by angle of incidence (a) and Normalization by angle of incidence (b) for sample B and sample E

된 태양전지의 입사각별 단락전류 밀도는 0도 대비 70도에서 9.53% 감소하였고, RIE texturing된 태양전지에서는 14.47% 감소하였다. 이는 태양전지가 BIPV 적용 시 각도에 따른 감소폭이 적은 Wet texturing된 다결정 실리콘 태양전지가 유리함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 BIPV 적용을 위한 RIE와 Wet texturing을 한 다결정 실리콘 태양전지 모듈을 제작하였다. 또한 제작한 모듈을 양자효율 및 반사율, 기본형에 대한 입사각에 대한 양자효율을 측정 분석하였고, 제작한 모듈과 제작하기 전인 셀 단계에서의 전류-전압특성을 측정 분석하였다.

CTM loss의 경우 RIE texturing을 한 다결정 실리콘 태양전지가 Wet texturing을 한 다결정 실리콘 태양전지보다 평균적으로 높았다. 이는 RIE texturing을 한 태양전지의 셀 단계에서는 단파장영역의 반사율이 크게 줄어 태양전지 내부의 단파장영역의 흡수율은 증가한다. 그에 따라 단락전류는 증가하고, 또한 효율도 증가한다. 하지만 모듈제작시 사용되는 EVA sheet와 PVB sheet가 단파장영역을 흡수한다. 이는 RIE texturing을 한 태양전지의 증가되어진 효율을 다시 감소시킨다. 하지만 셀 단계에서의 효율이 RIE texturing을 한 태양전지가 Wet texturing을 한 태양전지보다 효율이 크게 높아 CTM loss의 차이에도 모듈제작 후 RIE texturing을 한 태양전지가 효율은 여전히 높다.

또한 입사각에 따른 측정에서도 효율감소폭도 RIE texturing을 한 다결정 실리콘 태양전지가 Wet texturing을 한 다결정 실리콘 태양전지보다 크다. 따라서 단락전류에 의한 CTM loss와 입사각에 따른 단락전류밀도 측면에서 Wet texturing 공정이 유리하다. RIE texturing 공정이 셀단계에서는 단락전류 및 효율은 높지만 모듈 공정 후 그 차이는 감소하는 것을 확인하였다.

향후 셀 단계에서 Wet texturing 대비 RIE texturing 공정이 전반적으로 단락전류와 효율이 높은 장점을 모듈단계에서도 유지해야한다. 즉 RIE texturing을 한 태양전지의 CTM loss 및 입사각에 대한 전류밀도 감소폭을 줄이는 연구로써 전면 충전재의 재료를 개발하거나, 기존의 상용화되지 않는 재료로 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동 기술개발사업(No. C0036739) 및 2012년도 정부(지식경제부)의 지원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 신재생 에너지기술개발 사업(No. 20113020010080)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] 오병진, 여인환, 김민영, 임동건, 2012. “결정질 실리콘 태양 전지의 Ag 촉매층을 이용한 나노 텍스처링 공정에 관한 연구” 한국전기전자재료학회, Vol. 25, No. 1, pp. 314-318.
- [2] 류춘덕, 서영석, 오민석, 김희서, 2011. “초고층 건축물의 BIPV시스템 설계를 위한 일사량 분석의 관한연구”, 한국건축친환경설비학회논문집, Vol. 5, No. 4, pp. 30-235.
- [3] Shuich Fujii, Yuko Fukawa, Hiroaki Takahashi, Yosuke Inomata, Kenichi Okada, Kenji Fukui, Katsuhiko Shirasawa, 2001 “Production technology of large-area multicrystalline silicon solar cells”, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol.65, No.1-4, pp. 269-275.
- [4] King, D. L., Quintana, M. A., Kratochvil, J. A., Ellibee, D. E., Hansen, B. R. 1998. “Photovoltaic module performance and durability following long-term field exposure”, AIP Conference Proceedings, Vol. 462, pp. 565-571.
- [5] Reicha, N. H., van Sarka, W. G. J. H. M., Alsemaa, E. A., Lofc, R. W., Schroppc, R. E. I., Sinkeb, W. C., Turkenburga, W. C. 2009. “Crystalline silicon cell performance at low light intensities”, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 93, No. 9, pp. 1471-1481.
- [6] 강정욱, 손찬희, 조광섭, 유진혁, 김정식, 박창균, 차성덕, 권기청, 2012. “광 입사각이 BIPV에 적용되는 단결정 또는 비정질 실리콘 태양전지의 양자효율에 미치는 영향”, 한국진공학회지, Vol. 21, No. 1, pp. 62-68.

서 일 원



2010년 광운대학교 전자물리학과 이학사

현재 광운대학교 전자바이오물리학과 석사과정
(E-mail : siw@kw.ac.kr)

윤 명 수



2009년 광운대학교 전자물리학과 이학사
2011년 광운대학교 전자물리학과 이학석사

현재 광운대학교 전자바이오물리학과 박사과정
(E-mail : yms41775@naver.com)

조 태 훈



2010년 광운대학교 전자물리학과 이학사
2012년 광운대학교 전자물리학과 이학석사

현재 광운대학교 전자바이오물리학과 박사과정
(E-mail : nicete@kw.ac.kr)

손 찬 희



2003년 고려대학교 물리학과 이학사
2005년 고려대학교 물리학과 이학석사수료
2012년 광운대학교 전자물리학과 이학박사

현재 주성엔지니어링(주) J-Cell Team 과장
(E-mail : chanhee.son@jusung.com)

차 성 호



2009년 한양대학교 전기공학과 공학석사

현재 주성엔지니어링(주) 스마트개발 그룹 수석부장
(E-mail : sungho.cha@jusung.com)

이 상 두



1999년 한국항공대학교 항공재료공학과 공학사

현재 주성엔지니어링(주) Solar R&D 부장
(E-mail : sangdu.lee@jusung.com)

권 기 청



1994년 한국과학기술원 물리학과 이학석사
2000년 한국과학기술원 물리학과 이학박사

현재 광운대학교 전자바이오물리학과 부교수
(E-mail : gckwon@kw.ac.kr)