

One-step diffusion으로 형성된 선택적 에미터 결정질 실리콘 태양전지에 관한 연구

정경택*, 양오봉*, 유권종**, 이정철**, 송희은**

*전북대학교 반도체·화학공학부(jeongkt@kier.re.kr, obyang@jbnu.ac.kr),
**한국에너지기술연구원(y-gj@kier.re.kr, jlee@kier.re.kr, hsong@kier.re.kr)

Crystalline Silicon Solar Cell with Selective Emitter Using One-step Diffusion Process

Jeong, Kyeong-Taek*, Yang, O-Bong*, Yu, Gwon-Jong**, Lee, Jeong-Chul**, Song, Hee-eun**

*School of Semiconductor and Chemical Engineering, Chonbuk National University
**Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research

Abstract

Recent studies in crystalline silicon solar cell fabrication have been focused on high efficiency and low cost. However, the rising of the cost results in additional processes to approach high efficiency. The fabrication process also becomes complicated with additional technologies. In this paper, we studied the selective emitter formation with phosphorous paste to improve the conversion efficiency. Selective emitter formations like two-step diffusion or etch-back method require at least one more step compared in the conventional line since heavily and lightly doped area was needed to form separately. However, one-step diffusion process is the method diffusing heavily and lightly doped area at the same time only with additional screen-printing step. This study lays the foundation for the simple way to form the selective emitter.

Keywords : Crystalline silicon solar cell, Selective emitter, One-step diffusion process, Phosphorous paste

기 호 설 명

V_{oc}	: 개방전압
J_{sc}	: 단락전류밀도
FF	: 곡선인자(Fill Factor)
R_{series}	: 직렬저항
R_{shunt}	: 병렬저항

1. 서 론

미래의 에너지원으로써 태양광 산업이 주목받기 시작하면서 결정질 실리콘 태양전지에 대한 수요 및 공급시장이 점차 커지고 있다. 그러나 기존 공정(conventional process)으로 생산되는 결정질 실리콘 태양전지는 최고효율의 한계를 가지고 있기 때문에 효율향상을 위한 공정 기술의 개발과 적용에 대한 연구가 많이 이뤄지고 있다. 하지만 고효율 달성을 위한 추가 공정은 제작 비용의 상승을 초래한다.

현재 효율향상을 위해 가장 많이 적용되고 있는 기술은 선택적 에미터를 적용한 공정이다. 선택적 에미터는 기존 태양전지에 적용되는 단일 에미터와 달리 전극부에는 heavily doped 영역을, 비전극부에는 lightly doped 영역을 형성하여 각 영역을 효율적으로 이용하기 위한 구조이다. 전극부에서는 불순물 확산 깊이를 크게 한 heavily doped 영역을 형성하여 전면 전극과 에미터 사이의 접촉 저항을 낮추고 극부적인 개방전압(V_{oc})의 상승효과를 기대할 수 있다. 반대로 비전극부에서는 불순물 확산 깊이를 작게 한 lightly doped 영역을 형성하여 표면에서의 재결합을 줄이고 이로 인한 단락전류밀도(J_{sc})의 상승효과를 얻을 수 있다.

이러한 선택적 에미터를 형성하는 방법은 크게 two-step diffusion 방식과 etch-back 방식으로 나뉘게 된다. Two-step diffusion 방식은 heavily doped와 lightly doped 각각의 영역을 따로 형성하는 방법으로 2번의 도

핑 공정을 필요로 한다.[1,2] Etch-back 방식은 heavily doped 영역을 형성한 뒤 비전극부의 에미터를 식각하여 lightly doped 영역을 형성하는 방법이다.[3,4] 두 방식 모두 선택적 에미터를 형성하기 위한 공정시간이 길고 복잡한 공정이 추가된다는 단점이 있다.

이 실험에서는 one-step diffusion 방식을 활용하여 선택적 에미터를 형성함으로써 앞에서 언급된 단점들을 보완하고자 하였다. One-step diffusion 방식은 heavily doped와 lightly doped 영역을 동시에 형성하는 방법으로 한 번의 도핑 공정으로 선택적 에미터 구조를 형성할 수 있는 장점이 있다. 또한 스크린 프린팅 방법을 이용한 인(phosphorus) 페이스트 인쇄 및 건조 공정만 추가됨으로써 기존 결정질 태양전지 제조 공정에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 인 페이스트와 $POCl_3$ 를 이용하여 one-step diffusion 방식을 적용한 선택적 에미터 구조의 단결정 태양전지를 제작하여 그 특성을 관찰해보았다.

2. 실험방법

이 실험에서는 쇼크랄스키법으로 제작된 두께 $200\pm 10\mu m$, 비저항 $0.5\sim 3\Omega\cdot cm$, 크기 $156\times 156\text{ mm}^2$ 의 p-type 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용하여 태양전지를 제작하였다. 표면 조직화 공정은 KOH와 IPA(Isopropyl alcohol) 혼합용액을 사용하여 한 면당 $7\sim 8\mu m$ 씩 식각하여 랜덤 피라미드 구조를 형성하였다.

One-step diffusion 공정의 첫 단계로 인(P) 페이스트를 전면 전극과 동일한 패턴의 제판을 이용하여 웨이퍼 한쪽 면에 스크린 프린팅 방법을 이용하여 도포한 후 건조 공정을 수행하였다. 이후 도핑 퍼니스를 이용하여 $880^\circ C$ 에서 인 페이스트를 확산시켰다. 동일 도핑 퍼니스에서 온도를 $790^\circ C$ 로 낮춘 후 $POCl_3$ 를 pre-deposition시키고 $825^\circ C$ 에서 drive-in 단계를 진행하였다. 다시 말해 $POCl_3$

의 주입 없이 인 페이스트에 함유된 인 불순물 원자를 확산시켜 면저항 $50\Omega/\square$ 정도의 heavily doped 영역을 형성한 후 온도를 낮춰 후속 공정에서의 추가 확산을 제어한 다음 POCl_3 을 이용하여 면저항 $100\Omega/\square$ 정도의 lightly doped 영역을 형성하였다.

도핑 공정 후 5%로 희석된 불산(HF) 용액을 이용하여 웨이퍼 표면에 형성된 PSG(phospho-silicate glass)층과 인 페이스트 잔유물을 제거하였다.

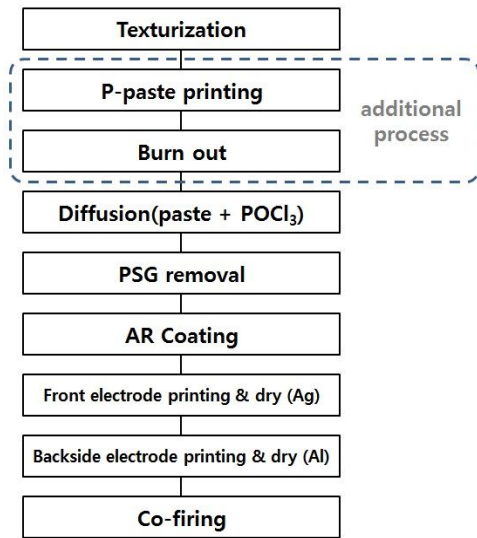


그림 1. One-step diffusion을 이용한 태양전지 제작 공정 순서

이 후 반사방지막을 형성하기 위해 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)를 이용하여 질화실리콘(SiN_x)막을 80nm 두께로 증착하였다.

전·후면 전극을 형성하기 위해 전면에는 은(Ag) 페이스트를, 후면에는 알루미늄(Al) 페이스트를 사용하여 스크린 프린팅 방법으로 전극을 형성하였다. 이 때 전면 전극은 인 페이스트를 인쇄한 제판과 동일한 제판을 이용하였다.

전극을 형성한 이후 belt furnace를 이용하여 전·후면 전극을 동시 소성(co-firing)하

였고 532nm Q-Switched Nd:YVO_4 레이저를 사용하여 측면 분리를 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 논문에서는 인 페이스트를 사용한 one-step diffusion 공정을 적용한 선택적 에미터 구조의 태양전지를 제작하였고, 비교를 위해 POCl_3 만을 사용하여 선택적 에미터의 heavily doped 영역과 동일한 면저항을 갖는 단일 에미터 구조의 태양전지를 또한 제작하였다.

Sun-simulator를 이용하여 서로 다른 에미터 구조를 가지는 두 종류의 태양전지의 특성을 관찰하였으며 결과는 표 1과 같다.

표 1. 선택적 에미터를 적용한 태양전지의 측정결과

(A) 선택적 에미터를 적용한 태양전지			
	평균	최고	최저
$V_{OC}(V)$	0.614	0.620	0.606
$J_{SC}(mA/cm^2)$	35.41	35.75	35.12
FF(%)	73.6	76.7	68.2
$R_{series}(m\Omega)$	0.008	0.008	0.010
$R_{shunt}(\Omega)$	5.47	7.43	4.22
Eff.(%)	16.0	16.4	15.1

(B) 단일 에미터를 적용한 태양전지			
	평균	최고	최저
$V_{OC}(V)$	0.623	0.624	0.623
$J_{SC}(mA/cm^2)$	35.70	35.76	35.58
FF(%)	78.5	79.2	77.8
$R_{series}(m\Omega)$	0.006	0.006	0.006
$R_{shunt}(\Omega)$	11.19	21.19	6.56
Eff.(%)	17.5	17.7	17.4

표 1에서 볼 수 있듯이 선택적 에미터를 적용한 태양전지의 특성이 단일 에미터를 적용한 태양전지에 비해 좋지 않음을 확인할 수 있다. 이는 공정 중 발생한 결함에 의한 것으로 형성된 heavily doped 영역과 전극과의 정렬(alignment)이 잘 이루어지지 않았기 때

문으로 여겨진다. 인 페이스트와 은 페이스트를 스크린 프린팅하기 위해 사용한 제판의 핑거폭은 $100\mu\text{m}$ 였다. 핑거의 폭을 동일하게 사용한 이유는 그림 2의 (a)에서와 같이 인 페이스트의 점도는 2~3 Pa.s로 매우 낮기 때문에 프린팅과 드라이 공정을 거치는 짧은 시간 동안에도 웨이퍼 표면에 상당량 퍼지기 때문에 그 위에 은 페이스트를 올리기 위한 면적을 확보하는데 큰 문제가 없기 때문이다.

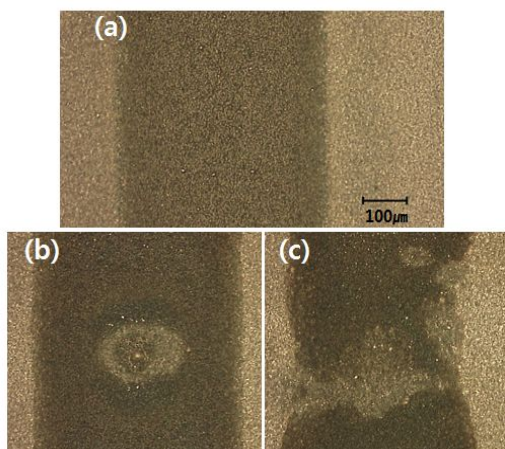


그림 2. 실리콘 웨이퍼 위에 인 페이스트를 스크린 프린팅 한 후 형성된 핑거의 표면 OM 이미지 (a) 균일하게 형성된 표면, (b),(c) 웨이퍼 표면 구조나 물리적 변수에 의해 균일하지 않게 형성된 표면

하지만 그림 2.(b),(c)와 같이 웨이퍼 표면 구조나 그 외의 물리적 변수에 의해 페이스트 도포 면적은 영향을 받을 수 있다. 수치적으로 전극 핑거폭보다 넓게 heavily doped 영역을 형성하였다 하더라도 인 페이스트를 프린팅한 후 후속 공정을 위해 스크린 프린팅 장비에서 이탈되었던 웨이퍼를 전극 형성을 위해 다시 장비로 가져올 때의 웨이퍼 상태는 불산 용액처리를 하여 더 이상 인 페이스트의 흔적을 육안으로 볼 수 없기 때문에 제판과 웨이퍼를 재정렬 시킬 때 heavily doped 영역과 전면 전극 사이의 불일치가 발생하였을 것으로 판단된다.

선택적 에미터 태양전지에서 효율이 저하된 다른 요인으로서는 diffusion 특성 제어가 잘 이뤄지지 않았기 때문일 것이다. 선택적 에미터를 형성한 후에는 4 point probe를 이용한 면저항 측정이 어렵기 때문에 동일한 조건으로 넓은 면적을 확산시킨 사전 실험을 통해 형성될 선택적 에미터 각 부분의 면저항을 추측할 수 밖에 없었다. 하지만 라이프타임 스캐닝을 통해 선택적 에미터의 구조가 잘 형성되었는지의 여부를 확인해 볼 수 있다. 그림 3은 Semilab 社의 WT-2000PVN을 이용하여 라이프타임을 측정된 결과이다.

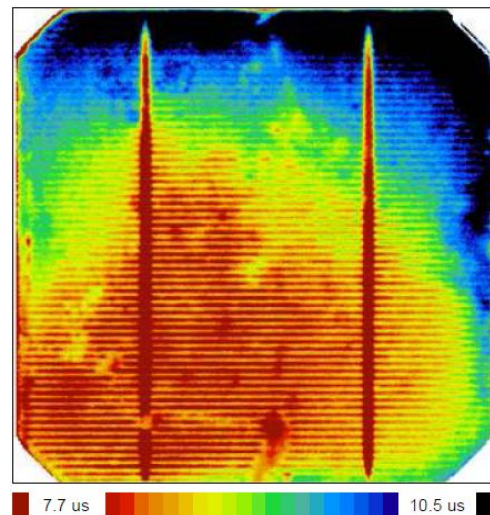


그림 3. 인 페이스트를 이용하여 그리드 패턴 형성 후 라이프타임 스캐닝 이미지

그림 3에서 볼 수 있듯이 선택적 에미터 구조가 전체적으로 균일하게 형성되지 않았음을 볼 수 있다. 이로 인해 소성 공정을 통해 전극과 에미터를 접촉시킬 때 에미터 층의 두께 차이로 인해 접촉 특성이 균일하지 않게 되고 이는 표 1에서와 같이 단일 에미터 구조에 비해 선택적 에미터의 특성이 저하된 원인으로 작용할 수 있다.

또한 스크린 프린팅 방법으로 인 페이스트를 도포하였을 때 전체적으로 균일하게 도포되지 않았기 때문으로 여겨진다. 이는 앞서

언급한 도핑 특성에도 영향을 미칠 수 있다. 인 페이스트에 관한 다른 연구에 의하면 인 페이스트의 도핑 특성은 확산 온도, 확산 시간, 인 페이스트의 농도에 의해 영향을 받으며 특히 확산 온도와 농도에 크게 영향을 받음을 알 수 있다.[5,6] 점도가 낮은 인 페이스트의 특성상 프린팅 공정 시 패턴을 통해 토출되는 페이스트의 양이 일정하지 않을 수 있고 이는 곧 페이스트 농도의 차이를 발생시켜 diffusion 특성에도 영향을 끼쳤을 것으로 여겨진다.

4. 결 론

본 연구는 선택적 에미터를 형성함에 있어 기존의 복잡한 공정이 아닌 단순화 된 one-step diffusion을 적용하여 태양전지를 제작하였을 때의 특성을 알아보기 위해 진행되었다.

하지만 선택적 에미터 구조를 갖는 태양전지를 제작함에 있어 전극과 에미터와의 어긋난 정렬과 인 페이스트의 diffusion 특성이 갖는 문제점으로 인하여 태양전지 제작 후 효율 향상을 얻을 수는 없었다. 전극과 에미터의 정렬을 위해서 double printer장비를 사용한다면 문제점을 해결할 수 있을 것으로 여겨진다. 인 페이스트의 diffusion 특성에 관해서는 추후 연구를 해결 방법을 찾게 된다면 경제성을 갖는 고효율 선택적 에미터 태양전지 제작에 기여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Felix Book, Bernd Raabe, Giso Hahn, "Two Diffusion Step Selective Emitter: Comparison of Mask Opening by Laser or Etching Paste", *Proc. 23rd EPVSEC*, Valencia, 2008
2. Ching-Hsi Lin, Chien-Hua Lung, Yang-Fang Chen, Yu-Wei Tai, Wei-Chih, Hsu, "Fabrication of single diffusion step selective emitter solar cells", *Photovoltaics International journal* 2010
3. D.S. Ruby, P. Yang, M. Roy, S. Narayanan, "Recent progress on the self-aligned, selective emitter silicon solar cell", *Proc. 26th PVSC*, Sept 1997, pp. 39-42
4. Helge Haverkamp, Amir Dastgheib-Shirazi, Bernd Raabe, Felix Book, Giso Hahn, "Minimizing the electrical losses on the front side: Development of a selective emitter process from a single diffusion", *33rd IEEE PVSC*, May 2008
5. Jalal Salami, Ben Cruz, Aziz Shaikh, "Diffusion Paste Development For Printable IBC And Bifacial Silicon Solar Cells", *Proc. 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Hawaii, May 2006, pp. 1323-1325
6. Shota Suzuki, Marwan Dhamrin, Naoki Ban, Ghamdan Aldaby, Keisuke Ogawa, Hidenori Suzuki, Shuhei Yoshida, Kazuya Furuichi, Koichi Kamisako, "Novel Phosphorus Screen-printed Emitter For Crystalline Silicon Solar Cell Fabrication", *Solar Energy Materials and Solar Cells* 74, 2002, pp.155-163