

결정질 실리콘 태양전지 도핑 확산 공정에서 시간과 온도 변화에 의한 Drive-in 공정 연구

이희준*, 최성진**, 명재민*, 송희은**, 유권종**

*연세대학교 대학원 신소재공학과, **한국에너지기술연구원, 태양광센터

Optimization of Drive-in Process with Various Times and Temperatures in Crystalline Silicon Solar Cell Fabrication

*Lee, Hee-jun, **Choi, Sung-jin, **Yu, Gwon-jong, **Song, Hee-eun, , *Myoung, Jae-min

*Dept. of Material Science and Engineering, Graduate School, Yonsei University

** Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research

Abstract

In this paper, the optimized doping condition of crystalline silicon solar cells with $156 \times 156 \text{ mm}^2$ area was studied. To optimize the drive-in condition in the doping process, the other conditions except drive-in temperature and time were fixed. After etching $7 \mu\text{m}$ of the surface to form the pyramidal structure, the silicon nitride deposited by the PECVD had $75 \sim 80 \text{ nm}$ thickness and 2 to 2.1 for a refractive index. The silver and aluminium electrodes for front and back sheet, respectively, were formed by screen-printing method, followed by firing in $400\text{-}425\text{-}450\text{-}550\text{-}850 \text{ }^\circ\text{C}$ five-zone temperature conditions to make the ohmic contact. Drive-in temperature was changed in range of $828 \text{ }^\circ\text{C}$ to $860 \text{ }^\circ\text{C}$ and time was from 3 min to 40 min. The sheet resistance of wafer was fixed to avoid its effect on solar cell. The solar cell fabricated with various conditions showed the similar conversion efficiency of 17.4%. This experimental result showed the drive-in temperatures and times little influence on solar cell characteristics.

Keywords : 확산공정(drive-in process), 결정질 실리콘 태양전지(crystalline silicon solar cell), 면저항(sheet resistance), 반송자 수명(lifetime)

기 호 설 명

R_s	: sheet resistance
$POCl_3$: phosphorous oxychloride
Eff.	: efficiency
V_{oc}	: open circuit voltage
I_{sc}	: short circuit current
FF	: fill factor

1. 서 론

태양전지는 태양으로부터 발생한 빛을 흡수하여 전기 에너지로 변환하는 소자로서 기본적으로 p-n접합 구조를 가지고 있으며, 반도체 소자인 p-n 다이오드와 비슷한 동작 특성을 가지고 있다. 결정질 실리콘 태양전지는 도핑공정을 통하여 p-n 접합을 형성하며 일반적으로 batch형 확산로를 이용한다. 공정온도와 시간 그리고 공정에 사용되는 가스량의 변화를 통해 에미터의 특성을 결정하게 된다.[1] 이러한 에미터의 특성은 태양전지의 전기적 특성에도 큰 영향을 미치게 된다.

도핑 공정은 크게 두 단계로 분리할 수 있다. 도핑소스를 기판 표면에 증착하는 선증착(pre-deposition) 단계와 웨이퍼 내부로 불순물을 확산시키는 확산(drive-in) 단계로 분리할 수 있다.[2] 본 논문에서는 확산단계에서의 공정온도와 시간의 관계를 분석하여 최적화된 확산공정 조건을 연구하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 p형의 결정질 실리콘 웨이퍼는 cz 방법으로 성장되었고 $0.5\sim 3\Omega\cdot\text{cm}$ 의 비저항, $200\mu\text{m}$ 의 두께 그리고 $156\times 156\text{mm}^2$ 의 크기를 갖는다. 실험 순서는 그림 1과 같으며 도핑에서의 확산공정을 제외한 모든 공정은 동일하게 하였다.

먼저 웨이퍼의 표면조직화를 위하여 텍스처 공정을 진행하였다. 알칼리용액인 KOH

와 IPA(iso propyl alcohol) 그리고 DI water를 혼합하여 웨이퍼 표면을 피라미드 형태로 식각하였다. 그리고 UV-VIS/NIR spectrophotometer를 이용하여 반사도를 측정하였으며, 그 결과 300-1200nm 파장 영역에서 약 15%의 반사도가 측정되었다.

p-n 접합을 형성하기 위하여 batch 타입의 확산로를 이용하였다. 선증착 단계에서의 공정온도는 790도이며 도핑소스인 $POCl_3$ 과 O_2 는 4:1로 주입하였다. 확산단계에서의 공정조건은 표1과 같으며 공정온도와 시간을 변화시켜 모두 4개의 조건을 적용하였다. 확산공정 후 $50\Omega/\text{sq}$ 의 면저항을 목표로 4개의 공정조건들을 조절하였고 이러한 조건들은 선행된 실험을 통하여 도출하였다. 캐리어 가스로 질소를 사용하였고 확산단계에서 보통 주입되는 산소는 주입하지 않았으며, 이는 4개의 확산시간 조건이 각각 다르기 때문에 산소주입 시간에 따른 영향을 배제하기 위함이다. 도핑공정 후 표면에 PSG(Phosphorous silicate glass)라는 산화막이 형성된다. 이 산화막은 실리콘 내에 있던 불순물이 석출되어 있으므로 보통 제거를 하며 10%의 HF를 이용하였다. 그리고 PSG 제거 후 4 point probe와 WCT-120을 이용하여 면저항과 반송자 수명(carrier lifetime)을 측정하였다.

도핑공정 후 $SiNx$ (질화실리콘)을 증착하기 위하여 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)를 사용하였고 공정가스의 비율은 $SiH_4:NH_3:Ar=1:2:25$ 이며 530초 동안 증착하였다. Ellipsometer를 이용하여 막의 두께와 굴절률을 측정하였고 800\AA 과 2.1의 값이 각각 측정되었다.

전극 형성은 스크린프린팅 방법으로 하였으며, 전면전극 물질로 은(Ag) 페이스트(paste)를 사용하였고 사용된 패턴은 핑거(finger) 간격 2.4mm, 핑거 폭 $100\mu\text{m}$ 그리고 bus bar 폭 2mm를 갖는다. 후면전극 물질은 알루미늄(Al) 페이스트를 사용하였다.

전극 형성 후 실리콘 기판과 전극의 저항성

접촉(Ohmic contac)을 형성시키기 위하여 inline belt furnace를 사용하여 소성 공정을 진행하였다. 소성공정의 온도 조건은 400-425-450-550-850도이고 175IPM(inch per minute)의 벨트속도로 공정을 진행하였다.

소성 공정 후 532nm Q-switch Nd-YVO₄ laser를 사용하여 측면에 형성된 p-n접합 부분을 분리 하였다. 이는 측면에서의 누설전류를 방지하기 위함이다.

태양전지 제작 후 변환효율, 개방전압, 단락전류 밀도 그리고 곡선인자와 같은 전기적 파라미터 값을 분석하기 위해 Pasan사의 sun simulator를 이용하여 light I-V 측정을 하였다.



그림 1. 태양전지 제작공정 순서

표 1. 도핑공정 중 확산단계에서의 실험조건

조건 no.	확산 조건
조건 1	828℃, 40min.
조건 2	840℃, 20min.
조건 3	848℃, 10min.
조건 4	860℃, 3min.

3. 결과 및 분석

표 1의 조건에 따라 도핑공정을 진행한 후 면저항을 측정하였다. 면저항 측정결과는 그림 2와 같으며 4개의 조건에서 거의 비슷한 값이 측정되었다. 50Ω/sq를 목표로 실험하였으나 이에 조금 못 미치는 49Ω/sq값이 측정되었고 이는 실험상의 오차범위 내에 포함된다.

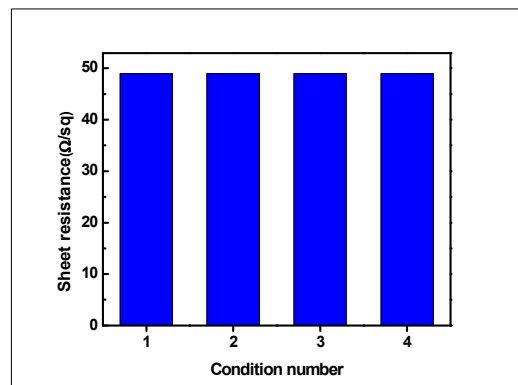


그림 2. 확산 조건에 따른 면저항

그림 3은 태양전지 공정 별 반송자 수명을 나타낸 그래프로 각 공정진행 후 측정하였다. 표면조직화 공정 후 반송자수명은 기판의 상태나 실험조건이 동일하여 비슷한 값이 나타났다. 도핑공정 후 측정한 반송자 수명도 거의 일치하는 값이 측정되었다. 확산단계에서의 공정조건을 온도, 시간 변화에 따라 4가지로 나누어 실험하였으나 동일한 반송자 수명을 보였다. 이는 저온의 장시간 공정과 고온의 단시간 공정이라는 가변조건이 있었으나, 비슷한 면저항을 가지는 에미터이기 때문에 이러한 결과를 얻을 것으로 예측된다. 반사방지막 증착 후 측정한 반송자 수명은 전체적으로 약간 감소하나 4개의 조건들을 비슷한 결과를 얻었다. 반송자 수명이 감소하는 이유는 SiNx 증착과정에서 표면에 damage를 남기기 때문이다. 소성 공정 후 전체적으로 반송자 수명이 증가하며, 이는 SiNx에 포함되어 있는 수소가 실리콘 내부

로 확산하여 표면과 벌크에서 passivation 효과를 일으키기 때문이다.[3] 4개의 확산공정 조건온도에 따라 약간의 반송자 수명 차이를 보이나 이는 측정 상 오차범위 내에 포함되며 태양전지의 전기적 특성에 큰 영향을 미치지 못하는 수준이다.

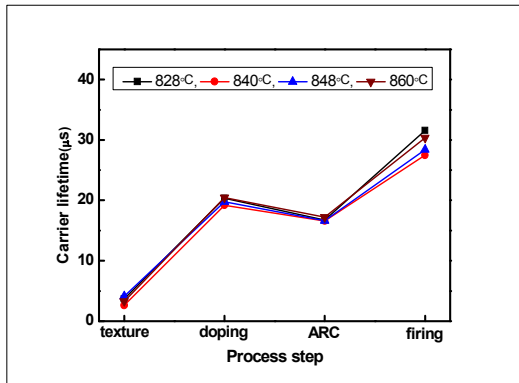


그림 3. 태양전지 공정에 따른 반송자 수명

표 2는 확산 공정에서 4개의 다른 조건으로 제작된 태양전지의 전기적 파라미터 값(단락 전류 밀도, 개방전압, 곡선인자, 광 변환효율)이다. Light I-V 측정을 통해 얻은 결과이며 4개의 조건에 관계없이 모든 파라미터에서 비슷한 값이 측정되었다.

그림 4는 표 3의 내용을 그래프로 나타낸 것으로 태양전지 light I-V 측정결과이다. 동일한 면저항을 가지는 에미터에 대해 다른 확산온도와 시간을 적용하여 4가지의 공정 조건을 적용하였으나 그림 4와 같이 비슷한 단락전류 밀도, 개방전압, 곡선인자, 광 변환효율이 측정되었다.

4개의 조건에서 비슷한 단락전류 밀도가 측정된 것은 단락전류 밀도와 밀접한 관계를 가지는 반송자 수명 측정 결과가 비슷하였기 때문이다. 그리고 비슷한 면저항을 가지는 에미터이므로 p-n 접합 깊이가 비슷하여 개방전압 역시 같은 경향성을 보인 것으로 예측된다. 비슷한 면저항을 가지는 에미터라 할지라도 다른 접합깊이를 가질 수 있으나

본 실험에서 같은 소성조건을 적용하여 실험한 결과 저항성접촉 성분과 관련이 있는 FF 값이 거의 일치하는 것으로 보아 4가지 도핑 조건에 의해 비슷한 p-n 접합 깊이를 형성한 것으로 보인다.[4] 광 변환효율은 개방전압과 단락전류 밀도가 비슷한 값이 유지됨으로써 비슷한 값을 보여준다.[5]

표 2. Sun simulator 측정 결과

조건	J _{sc} (mA/cm ²)		V _{oc} (mV)		FF (%)		Eff. (%)	
	best	avg.	best	avg.	best	avg.	best	avg.
1	35.1	35.1	624	624	79.5	79.4	17.4	17.4
2	35.1	35.0	625	624	79.6	79.4	17.4	17.3
3	35.1	35.1	624	624	79.6	79.5	17.4	17.4
4	35.0	35.0	621	621	79.6	79.4	17.2	17.2

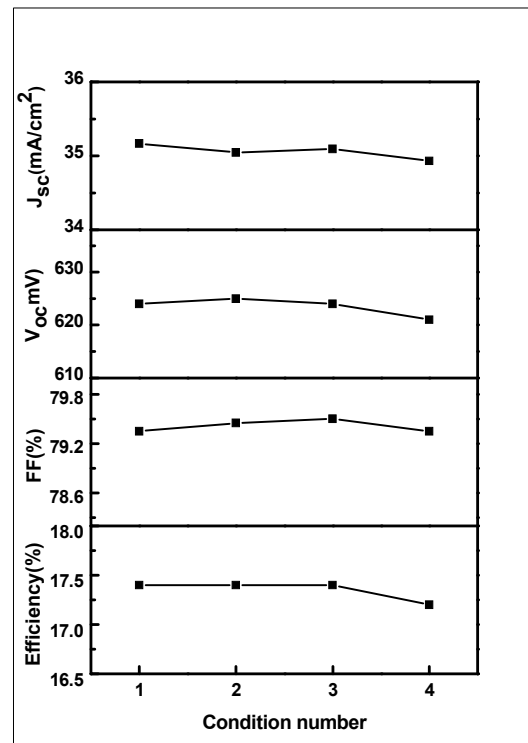


그림 4. 실험 조건에 대한 light I-V 측정 결과

4. 결 론

본 연구는 동일한 에미터를 형성하는데 있어 도핑과정 중 확산단계에서의 공정온도와 시간변화를 통해 태양전지의 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

확산단계에서의 4가지 공정조건에 의해 제작된 시료들의 반송자 수명, 개방전압, 단락 전류밀도, 곡선인자 그리고 광 변환효율에서 모두 비슷한 결과 값이 측정되었다. 이는 비슷한 에미터를 형성하는데 있어 도핑공정에서의 확산온도와 시간의 변화를 통해 다양한 공정을 적용할 수 있다는 사실을 의미하며, 또한 비슷한 특성의 에미터를 각각 다른 공정조건을 적용하여 형성했다라도 공정조건에 대한 영향보다는 에미터에 의한 영향에 의해 태양전지의 특성이 변화됨을 예측할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. D. Bouhafs, A. Moussi, M. Boumaour, S.E.K. Abaidia, L. Mahiou, N⁺ silicon solar cells emitters realized using phosphoric acid as doping source in a spray process, *Thin Solid Films* 510, 2006, 325-328.
2. 이준신, 김경해, 태양전지 공학, 도서 출판 그린, pp. 138~139, 2007.
3. B.L. Sopori et al, KHydrogen in silicon: A discussion of diffusion and passivation mechanisms, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 41/42, 1996, 159-169.
4. M. Hilali, J.W. Jeong, A. Rohatgi, D.L. Meier, and A.F. Carroll, Optimization of Self-Doping Ag Paste Firing to Achieve High Fill Factor on Screen-Printed Silicon Solar Cell with a 100 Ω /sq. Emitter, 29th IEEE PVSC, New Orleans, May 2002.
5. S. Zh. Karazhanov, Temperature and doping level dependence of solar cell performance

including excitons, *Solar Energy Materials & Solar cell* 63, 2000, 149-163.