

플라즈마 도핑을 이용한 결정질 태양전지 에미터층 형성 연구

유동열 · 노시철 · 최정호 · 김정환 · 서화일[†] · 김영철*

[†]한국기술교육대학교 전기전자통신공학과, *에너지신소재화학공학부

A Study on Emitter layer by Plasma Doping for Crystalline Silicon Solar Cells

Dong-Yeol Yu, Si-Cheol Roh, Jeong-Ho Choi, Jeong-Hwan Kim, Hwa-Il Seo[†] and Yeong-Cheol Kim*

[†]Dept. of Electrical & Electronic & Communication Engineering,

*School of Energy & Materials & Chemical Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

In order to grow the crystalline solar cells industry continuously, development of alternate low-cost manufacturing processes is required. Plasma doping system is the technique for introducing dopants into semiconductor wafers in CMOS devices. In photovoltaics, plasma doping system could be an interesting alternative to thermal furnace diffusion processes. In this paper, plasma doping system was applied for phosphorus doping in crystalline solar cells. The Plasma doping was carried out in 1~4 KV bias voltages for four minutes. For removing surface damage and formation of pn junction, annealing steps were carried out in the range of 800~900°C with O₂ ambient using thermal furnace. The junction depth in about 0.35~0.6 μm range have been achieved and the doping profiles were very similar to emitter by thermal diffusion. So, It could be confirmed that plasma doping technique can be used for emitter formation in crystalline solar cells.

Key Words : plasma doping, doping profile, emitter layer, crystalline solar cells

1. 서 론

최근 화석 연료의 고갈과 함께 대체 에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중 태양전지는 무공해 대체 에너지로서 빛을 전기로 변환하는 반영구적 장치로 각광받고 있다[1-2]. 결정질 태양전지는 전체 태양전지 시장의 80% 이상을 차지하고 있으며, 이러한 추세는 당분간 지속될 것으로 예측된다[1-2].

현재 태양전지 산업에서 가장 중요한 두 가지 이슈는 효율 향상과 생산 비용 절감이다. 효율을 높이기 위해 빛의 표면 반사 손실을 줄이는 표면 조직화(surface texturing) 공정, 반사 방지막(Anti Reflection Coating, ARC) 증착, 표면 패시베이션(surface passivation), 태양전지 후면에서의 전자-정공쌍(Electron-Hole Pair, EHP)의 재결합(recombination) 손실을 방지하는 후면 전기장 (Back Surface Field, BSF) 형성, 전·후면 전극

구조 개선 등 다양한 공정에 대한 연구가 이루어지고 있다. 생산 비용 절감은 웨이퍼의 두께 감소 및 공정 단순화를 통해 수율과 생산성을 향상시킬 수 있다.

현재 결정질 태양전지 제조 공정 중 n+ 에미터층을 형성하기 위해 가장 널리 사용되는 방법은 POCl₃ 소스를 이용한 열 확산(thermal diffusion)법이다. 하지만, 열 확산법은 높은 공정온도, 긴 공정시간 등의 단점을 가지고 있으며, 에미터층이 웨이퍼의 전/후면과 측면 모두 형성이 되기 때문에 p-n 접합을 분리하기 위한 측면 분리(edge isolation) 공정이 필요하다. 이는 단위 공정 증가로 태양전지의 제조비용 증가와 생산성 하락을 가져온다. 반면, 플라즈마 도핑은 반도체 CMOS 공정에서 shallow junction을 형성할 때 사용하는 방법으로 도핑 농도 조절이 가능하고 특히 에미터층 형성시 한쪽 면만 불순물 주입이 가능하므로 측면 분리 공정이 필요 없다. 또한 붕소(B) 도핑을 통한 후면 BSF(back side field) 형성 등이 용이해 고효율 셀 제조에 유리하다[3].

본 연구에서는 플라즈마 도핑 방법으로 에미터층을

[†]E-mail : hiseo@kut.ac.kr

형성하고, 그 특성을 비교·분석하여 향후 결정질 태양 전지 제조 공정에 적용하는 방법을 모색하였다.

2. 실험

실험을 위해 Boron 도핑된 p-type(100), 비저항 1-3 $\Omega\text{-cm}$, 두께 약 675 μm 인 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 플라즈마 도핑과 열 확산법으로 형성한 에미터층의 특성을 비교하기 위해 Table 1과 같이 실험을 진행하였다.

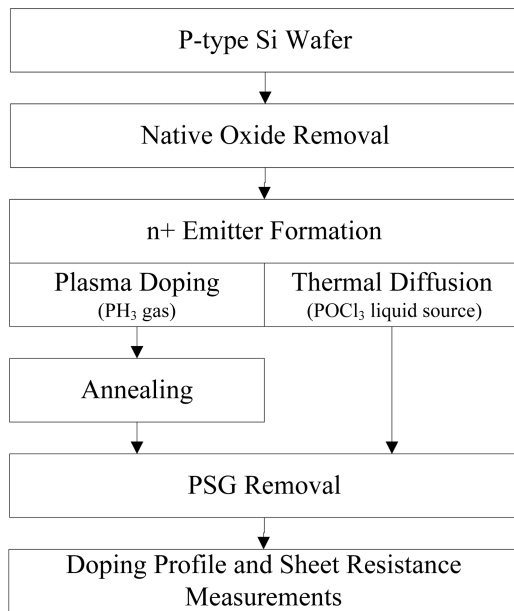
에미터 형성 전에 모든 샘플들은 자연 산화막 제거를 위해 DHF(HF:H₂O = 1:10) 용액에 약 10초간 처리하였다.

플라즈마 도핑은 PH₃ gas를 사용하여 1~4KV bias voltage에서 각각 4분 동안 도핑하였고, 도펀트 활성화와 표면 손상 제거, 접합 깊이 형성을 위해 800~900°C 온도에서 각각 10분간 어닐링 공정을 진행하였다. 비교를 위해 열 확산법을 사용해 에미터층을 형성하였다. POCl₃ 액체 source를 사용하여, 839°C 온도에서 약 60 Ω/\square 의 면저항을 갖도록 하였다.

어닐링 공정 중 발생한 PSG(Phosphorus Silicate Glass)는 불순물을 포함하고 있기 때문에 DHF 용액에서 2분간 처리하여 제거하였다[4].

도핑 농도와 접합 깊이 측정은 이차 이온 질량 분석(Secondary Ion Mass Spectroscopy, SIMS)을 사용하였다.

Table 1. Experimental processes.



3. 결과 및 고찰

3.1. 바이어스 전압에 따른 도핑 프로파일

Fig. 1은 바이어스 전압에 따른 도핑 프로파일을 나타내고 있다. 바이어스 전압을 1KV, 2KV, 3KV, 4KV, 1KV+2KV+3KV+4KV로 변화시켜 각 4분간 도핑한 결과, 도핑 농도와 깊이가 유사함을 알 수 있다. 인가된 바이어스 전압이 높을수록 표면 결함이 증가하며 이는 어닐링 공정 후 도펀트 활성화에 효율적이지 못한 결과를 가져 올 수 있다. 또한, 결함이 많은 실리콘 표면은 어닐링 시 도펀트의 out-diffusion 되는 양이 늘어나 표면 저항이 증가하게 된다[3]. 따라서, 도핑 농도와 깊이가 유사하기 때문에 표면 결함을 줄이기 위해 가장 낮은 1KV 바이어스 전압으로 실험을 진행하였다.

3.2. 어닐링 조건에 따른 도핑 프로파일

어닐링 공정의 목적은 플라즈마 도핑 시 발생하는 표면 결함을 제거하고, 도펀트의 확산과 활성화를 위해서이다[3]. 어닐링 방식으로는 Tube furnace와 RTP(Rapid Thermal Process)를 사용하는 방법이 있는데 본 실험에서는 Tube furnace를 사용하였다.

3.2.1 어닐링 분위기에 따른 도핑 프로파일

어닐링 공정 시 분위기에 의한 변화를 관찰하기 위하여 O₂, N₂, 그리고 O₂와 N₂의 혼합 분위기에서 각각 실험을 하였다.

Fig. 2는 어닐링 분위기에 따른 도핑 프로파일을 나타내고 있다. O₂ 분위기에서 가장 높은 도핑 농도와 접합 깊이를 볼 수 있는데, 이는 어닐링 시 산소와 실리콘의 결합으로 인해 수nm 두께의 산화막이 형성되어 phosphorus 도펀트가 out-diffusion되는 것을 억제 하였

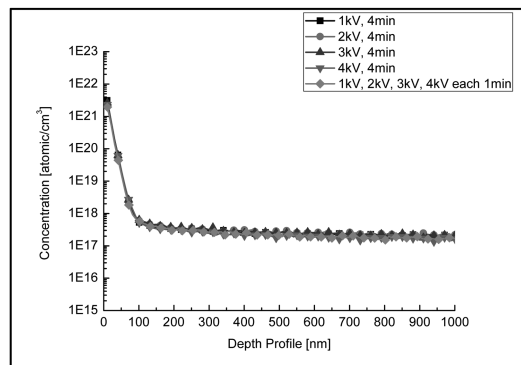


Fig. 1. Phosphorus doping profile according to bias voltages.

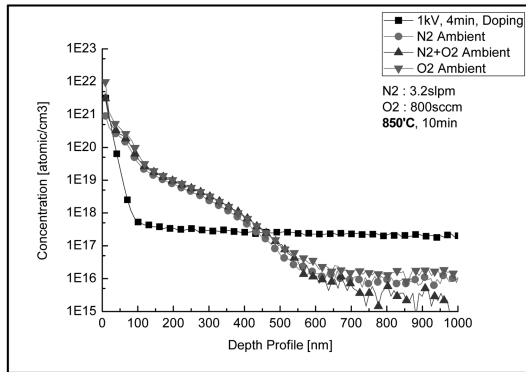


Fig. 2. Phosphorus doping profile according to annealing ambient.

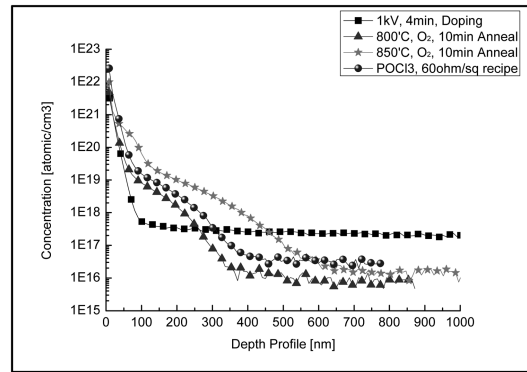


Fig. 4. Comparison of phosphorus doping profile as a function of annealing temperature and $POCl_3$.

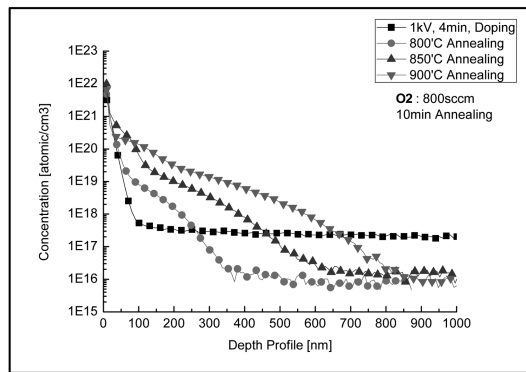


Fig. 3. Phosphorus doping profile according to annealing temperature.

기 때문에 생각 된다[3]. 또한, 고온의 O_2 분위기에서 어닐링 처리 시 성장한 산화층이 불순물 분리계수 (segregation coefficient, m)에 의해 도펀트를 배척하므로 산화층 아래의 실리콘에 축적되고 계면에서 최대가 된다[5].

3.2.2 어닐링 온도에 따른 도핑 프로파일

어닐링 온도에 따른 변화를 관찰하기 위해 O_2 분위기에서 800, 850, 900°C의 온도로 각각 10분간 진행하였다. Fig. 3은 어닐링 온도에 따른 도핑 프로파일을 나타내고 있다. 이 결과에서 알 수 있듯이 어닐링 처리를 한 샘플들의 도펀트가 실리콘 내부로 확산되고, 온도가 높을수록 접합 깊이도 깊어지는 것을 확인할 수 있다.

3.3. 열 확산법 도핑과 플라즈마 도핑 비교

현재 양산에서 가장 널리 사용되고 있는 결정질 태

Table 2. Sheet resistance as a function of doping conditions.

	850°C Annealing	$POCl_3$ Doping
Sheet Resistance, R_{sh} (Ω/\square)	64.22	64.19

양전지의 도핑 방법은 $POCl_3$ 소스를 사용하여 열 확산로에서 형성하는 것으로, 면저항 50~60 Ω/\square 를 기준으로 했을 때, 접합 깊이 0.4~0.5 μm 를 형성한다[4]. 따라서 열 확산법 도핑과 플라즈마 도핑의 비교를 위해 면저항과 도핑 프로파일을 측정 하였다.

Fig. 4는 열 확산법 도핑과 플라즈마 도핑의 phosphorus 도핑 프로파일을 비교한 것이다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 $POCl_3$ 소스를 사용한 샘플이 약 0.45 μm 정도의 접합 깊이를 형성 하였다. 800°C에서 어닐링 처리한 샘플이 약 0.35 μm , 850°C에서 어닐링 처리한 샘플은 약 0.6 μm 정도의 접합 깊이를 형성 하였다. 플라즈마 도핑 후 어닐링한 샘플은 $POCl_3$ 샘플과 비슷한 도핑 프로파일을 보임을 알 수 있다. 따라서 플라즈마 도핑 방법이 $POCl_3$ 소스를 사용한 열 확산로 방식을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2는 도핑 조건 별 면저항을 측정한 결과이다. 플라즈마 도핑 후 어닐링 처리한 샘플의 면저항이 64.22 Ω/\square , 열 확산법으로 형성한 샘플의 면저항이 64.19 Ω/\square 로 측정되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 플라즈마 도핑 방법을 적용하여 결정질 실리콘 태양전지의 에미터층을 형성 하고, 기존의 열 확산로 방식과 비교 · 분석 하였다.

바이어스 전압을 변화시키며 도핑한 결과, 1~4 KV 범위에서 유사한 도핑 프로파일을 보였다. 플라즈마 도핑 후 어닐링을 통해 주입된 도펀트가 실리콘 내부로 확산되고, 온도가 증가할수록 접합 깊이가 깊어졌다.

어닐링 온도 800~850°C에서 POCl_3 도핑과 유사한 도핑 프로파일을 보였으며, 이를 바탕으로 향후 결정질 태양전지 제조 공정에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

“이 논문은 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 지원 프로그램의 지원에 의하여 수행되었음.”

참고문헌

1. Korea Institute of Energy Research, “2011 workshop of association for research on PV”, KIER, pp. 1-122, 2011.
2. Korea Photovoltaic Industry Association, “PV World Forum 2011: 1st Day-Conference Data Book”, Infothe, pp. 9-188, 2011.
3. Seung Woo Do, “Formation and Characteristics of a Shallow Junction using Plasma Doping”, Kyungpook National University, pp.24-29, 53-56, 2010.
4. Y. H. Kim and J. S. Lee, “Introduction to Solar Cell Production”, Dooyangsa, pp. 9-313, 2009.
5. Seoul National University, “The catalytic process”, Seoul National University publishing department, 2002.
6. Yong Hyun Lee, “N⁺/P⁺ poly counter doping and 30nm shallow junction formation using Plasma Immersion Ion Doping(P²D)”, Kyungpook National University, pp.14-26, 2008.
7. N.Q.Khanh, I. Pinter, Cs. Ducso, M. Adam, E. Szilagyi and I. Barsony, “Ion beam analysis of plasma immersion implanted silicon for solar cell fabrication”, Nucl. Instr. And Meth. in Phys. Res. B 112, pp.259-262, 1996.
8. Kamaruzzaman Sopian, Nowshad Amin, Nilofar Asim and Saleem H. Zaidi, “Plasma Implantation for Emitter and Localized Back Surface Field (BSF) Formation in Silicon Solar Cells”, European Journal of Scientific Research, Vol.24 No.3, pp.365-372, 2008.
9. Yuji Komatsu, Giuseppe Galbiati, Machteld Lamers, Peter Venema, Malcolm Harris, Arno F. Stassen, Christine Meyer, Menno van den Donker and Arthur Weeber, “Innovative Diffusion Processes for Improved Efficiency on Industrial Solar Cells by Doping Profile Manipulation”, 24th EUPVSEC, 2009.
10. T. Janssens, N. E. Posthuma, Van Kerschaver, K. Baert, P. Choulat, J.L. Everaert, J. Goosens, W. Vandervorst and J. Poortmans, “Advanced Phosphorus Emitters for High Efficiency Si Solar Cells”, IEEE, 2009.

접수일: 2011년 11월 10일, 심사일: 2011년 12월 5일,
 게재확정일: 2011년 12월 15일