

스핀 도핑을 이용한 단결정 실리콘 태양전지 확산 공정 최적화

여인환¹, 박주억¹, 김준희¹, 조해성¹, 임동건^{1,a}

¹ 한국교통대학교 전자공학과

Optimizing of Diffusion Condition in Spin on Doping for c-Si Solar Cell

In Hwan Yeo¹, Ju Eok Park¹, Jun Hee Kim¹, Hae Sung Cho¹, and Donggun Lim^{1,a}

¹ Department of Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 380-702, Korea

(Received February 28, 2013; Revised April 22, 2013; Accepted April 24, 2013)

Abstract: Rapid thermal processing (RTP) abruptly decreases the time required to perform solar cell processes. RTP were used to form emitter of crystalline silicon solar cells. The emitter sheet resistance is studied as a function of time and temperature. The objective of this study is reduction of doping process time with same performance. Emitter diffusion was carried out by using a spin on doping and a RTP. Rapid thermal diffusion was performed in the temperature range of 700~750°C for 1m 30s~15 m. Thermal budgets yielded a 50 Ω/sq emitter using a P509 source. To reduce process time and get high efficiency, rapid thermal diffusion by IR lamp was employed in air atmosphere at 700°C for 15 m.

Keywords: Solar cell, RTP, Emitter

1. 서론

최근 화석연료 고갈과 화석연료 사용으로 인한 환경오염 발생으로 친환경적이면서 이를 대체할 수 있는 에너지 개발에 주력하고 있다. 그 중 하나인 태양전지는 한번 설치하면 20년 이상 오래 사용할 수 있고 환경오염이 발생하지 않는 장점이 있다. 하지만 높은 단가로 인해 설치에 제한을 받는다. 이를 해결하기 위해 저가이면서 고효율 태양전지의 제작개발이 필요하다. 태양전지에 있어 도핑은 광 생성된 전자,

정공 쌍을 분리하기 위해서 매우 중요한 요소이다. 도핑 시 불순물의 농도가 너무 높으면 광 생성된 캐리어의 수명이 짧아지고 불순물의 농도가 너무 낮으면 광 생성된 캐리어의 수명은 길어지지만 직렬저항이 높아져 캐리어의 수집에 안 좋은 영향을 미치게 된다 [1]. 따라서 면저항을 최적화하는 것이 중요하다. 또한 도핑 깊이도 단파장 영역에서 빛 흡수에 영향을 주기 때문에 도핑 층을 얇게 형성하여 단파장 대역의 빛을 최대한 많이 흡수하는 것이 효율 향상에 중요한 요소이지만 도핑 깊이를 너무 얇게 하면 불순물 농도 조절에 어려움이 있고, 전극 형성 시 누설 성분에 대한 영향도 고려해야 하므로 도핑 깊이도 최적화 하는 것이 중요하다 [2]. 따라서 결정질 실리콘 태양전지 제작 시 면저항 50 Ω/sq, 도핑 깊이 0.5 μm를 갖는 것이 좋다. SOD 공정은 산업에서 널리 쓰이는 POCl₃ 확산공정에 비해 빠른 시간에 공정이 가능

a. Corresponding author: dglim@ut.ac.kr

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하고, 도핑농도 및 프로파일 조절이 용이하다는 장점이 있다 [3]. 또한 양산장비 구축 측면에서 가격이 저렴하며 안정된 장비구축이 가능하다. 본 연구는 $POCl_3$ 확산 공정 방식보다 저렴하고 빠르게 공정할 수 있는 SOD 방법을 최적화함으로써 태양전지 제작 시 비용을 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 실리콘 웨이퍼는 초크랄스키 방법으로 성장시킨 p-type 웨이퍼로서 두께 200 μm , 비저항 1.5 Ωcm 인 다이아몬드 와이어를 이용하여 절단한 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 먼저 실리콘 웨이퍼를 아세톤, 메탄올, 초순수의 순서로 초음파 세척을 하고, 세척된 웨이퍼를 HCl과 HF 용액으로 세정을 하여 유기물 및 금속불순물과 산화막을 제거하였다 [4]. 세정된 웨이퍼를 NaOH 2%, IPA 7.5% 비율의 용액에서 80 $^{\circ}C$ 를 유지하면서 35분 간 표면조각화를 하였다. 그 후에 웨이퍼에 P509 액체 소스를 도포한 후에 200 $^{\circ}C$ 에서 10분 간 건조한 뒤 열처리를 해주었다. 열처리는 50 Ω/sq 를 형성하는 조건에서 공정을 진행하였다 [5]. 열처리 후에 도핑 깊이는 주사전자현미경 (SEM)과 이차이온질량분석 (SIMS)을 이용하여 도핑 프로파일을 분석하였다. SEM을 이용하여 도핑층을 분석하기 위해 HF : HNO₃ : CH₃COOH 용액을 이용하여 선택적 식각을 통하여 단차를 형성한 후 분석을 하였다.

그림 1에 실험 방법을 나타내었다.

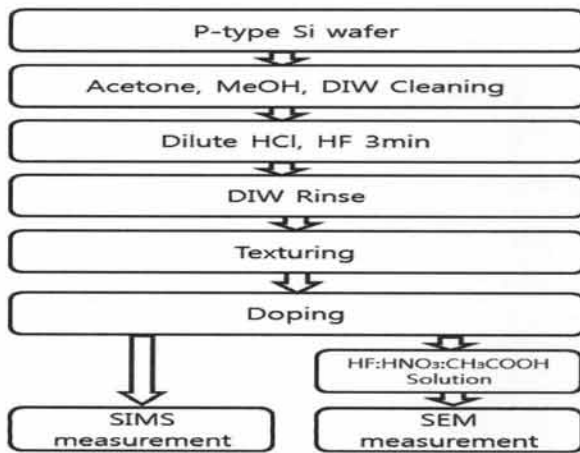


Fig. 1. Process flow chart of doping.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 면저항 50 Ω/sq 을 형성하는 공정 조건을 온도 변화에 따른 공정 시간 변화를 나타낸 것이다.

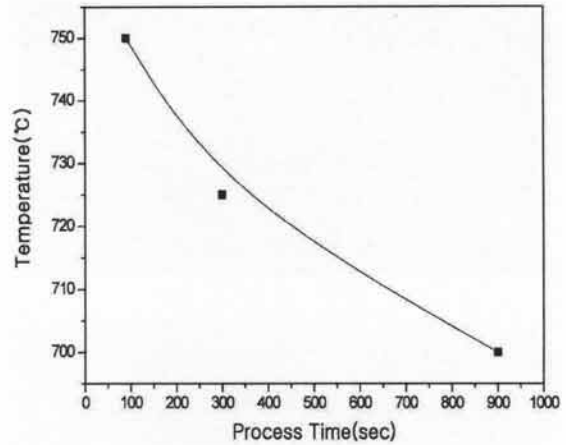


Fig. 2. Process conditions of doping.

위 그림에서 볼 수 있듯이 50 Ω/sq 를 형성하기 위해서는 온도가 낮을수록 시간이 오래 걸리는 것을 확인할 수 있다. 도핑 열처리 조건은 50 Ω/sq 형성 조건인 700 $^{\circ}C$ 15분, 725 $^{\circ}C$ 5분, 750 $^{\circ}C$ 1분 30초에서 열처리를 진행하였다.

그림 3은 공정 조건에 따른 도핑된 깊이를 선택적 식각공정을 진행한 후 SEM으로 관측한 사진이다.

그림 3에서 열처리 조건을 700 $^{\circ}C$ 15분으로 진행하였을 경우 123 nm의 깊이로 도핑이 되었고 725 $^{\circ}C$ 5분, 750 $^{\circ}C$ 1분 30초에서 열처리를 하였을 경우 각각 192 nm, 221 nm의 깊이로 온도가 낮고 도핑 시간이 길수록 도핑 깊이가 깊어지는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 열처리 조건에 따른 프로파일 차이를 SIMS를 이용하여 분석한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 SIMS를 이용하여 분석할 경우 도핑된 영역의 깊이뿐만 아니라 깊이에 따른 분순물의 분포도를 정량 분석할 수 있는 것을 볼 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 온도가 높고 열처리 시간이 길수록 도핑 깊이가 깊다는 것을 확인할 수 있고, 반대로 온도가 낮고 열처리 시간이 길수록 도핑 깊이가 깊다는 것을 확인할 수 있다.

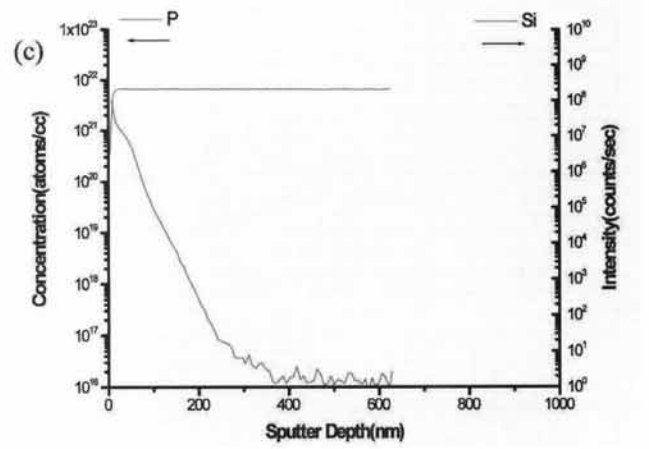
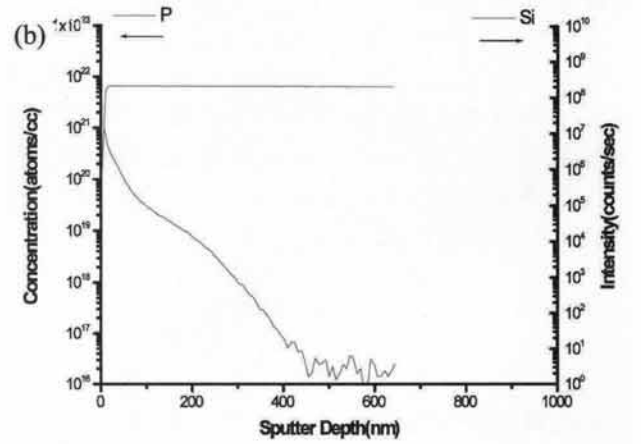
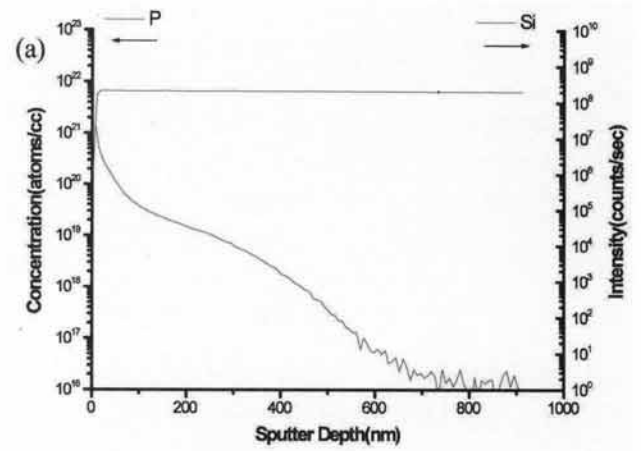
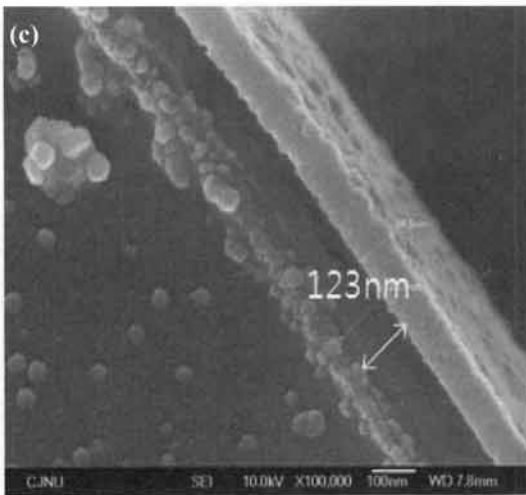
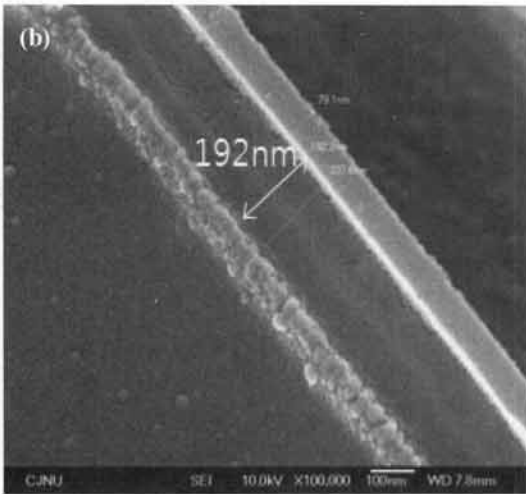
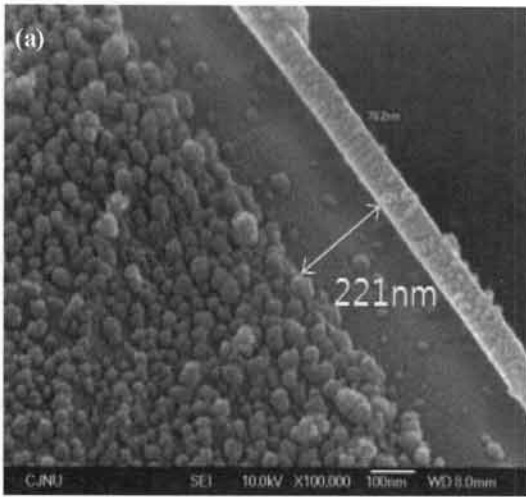


Fig. 3. SEM images of doping depth (a) 700°C 15 m, (b) 725°C 5 m, (c) 750°C 1 m 30s.

Fig. 4. SIMS profiles (a) 700°C 15 m, (b) 725°C 5 m, (c) 750°C 1 m 30s.

Table 1. Doping depth measurements.

Measurement method	SIMS	SEM	Deviation
Doping condition			
750°C 1 m 30s	238 nm	123 nm	115 nm
725°C 5 m	390 nm	192 nm	198 nm
700°C 15 m	562 nm	221 nm	341 nm

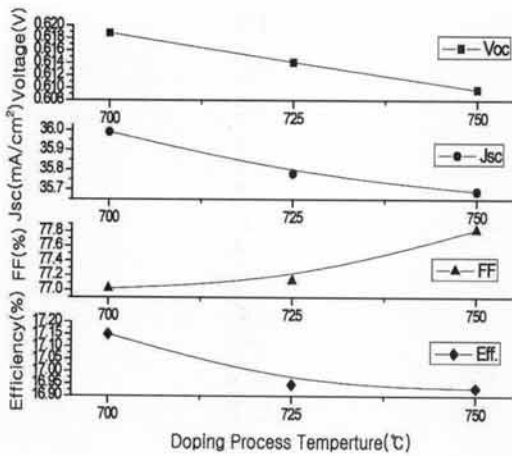


Fig. 5. Cell parameter.

표 1에 SEM을 이용하여 도핑 깊이를 측정된 것과 SIMS를 이용하여 도핑 깊이를 측정된 것을 비교하여 나타내었다. SEM을 이용한 선택적 식각 방법은 정확하지는 않지만 경향성은 파악할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 온도가 낮고 열처리 시간이 길어질수록 SIMS와 SEM의 분석 값의 차이가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 SEM을 통한 측정 방법은 도펀트 농도가 10^{19} 이상에서만 식각이 되는데 열처리 온도가 낮고 시간이 길어질수록 도핑 깊이도 깊어지고 도펀트 프로파일도 깊게 퍼지지만 도펀트 농도가 10^{19} 이상으로 깊이 있게 퍼지지 않으면서 편차가 커지게 된다.

그림 5는 도핑 조건에 따른 셀 효율의 변화를 나타낸 것이다. 도핑 조건 외에 나머지 모든 조건은 동일하게 진행하였다 [6].

그림 5에서 확인할 수 있듯이 도핑 공정 시 온도가 낮고 공정 시간이 길수록 개방전압, 전류밀도, 효율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 도핑 공정 온도가 낮고 시간이 길수록 반송자 수명이 증가하기 때문이다. 선택적 식각을 이용해 도핑 깊이를 측정하는 SEM 분석 방법과 SIMS를 이용한 도핑 프로파일 분석 방법은 값의 차이는 나지만 두 방법 모두 경향성은 파악할 수 있다. 따라서 분석이 복잡하고 오래 걸리는 SIMS를 대신해 선택적 식각 방법을 이용한 SEM 측정 방법은 정확하지는 않지만 도핑 깊이의 경향성을 파악하는데 있어서 좋은 방안이라고 판단된다. 본 연구에서 700°C 15분 공정에서 가장 좋은 셀 특성을 확인할 수 있었다. 이는 열처리 시간이 길수록 반송자 수명이 증가하기 때문에 개방전압, 전류밀도 등이 높아져 효율이 향상된다.

4. 결론

결정질 실리콘 태양전지에서 pn 접합 형성 시 도핑 깊이와 프로파일은 중요한 요소이므로 분석이 중요하다. 본 연구에서는 $50 \Omega/\text{sq}$ 를 형성하는 3가지 조건을 선택적 식각 방법을 이용한 SEM 분석과 SIMS를 이용하여 도핑 프로파일을 분석하였다. SIMS를 통해 도핑 깊이뿐만 아니라 도핑 프로파일을 분석하였고 SEM을 통해 정확한 도핑 깊이는 아니지만 도핑 깊이의 경향성은 분석할 수 있었다. 본 연구를 통해 도핑 공정 조건에 따라서 도펀트 프로파일이 변한다는 것을 확인하였고, 700°C에서 15분 동안 도핑한 샘플에서 개방전압 0.619 V, 단락전류 35.99 mA/cm², 충실도 77% 효율 17.15%의 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

한국기계연구원 부설재료연구소의 2012 주요사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

REFERENCES

[1] R. R. King, R. A. Sinton, R. M. Swanson, *Trans. Electron Dev.*, 37, 365 (1990).
 [2] A. Cuevas and M. Balbuena, *20th Photovoltaic Specialists Conference* (Las Vegas, U.S.A., 1988) p. 429.

- [3] B. Bazer-Bachi, E. Fourmond, P. Papet, L. Bounaas, O. Nichiporuk, N. Le Quang, and M. Lemiti, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 105, 137 (2012).
- [4] J. Knobloch, S. Glunz, D. Biro, W. Warta, E. Shaffer, and W. Wettling, *25th IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (Washington, U.S.A., 1996) p. 377.
- [5] Metz A Hezel R. *11th International Photovoltaic Science and Engineering Conference* (Sapporo, Japan, 1999) p. 587.
- [6] B. J. Oh, I. H. Yeo, and D. G. Lim, *J. KIEEME*, 258, 236 (2012).