

## 다결정 Si 웨이퍼 기판위에 SOD방법을 이용한

### 도핑특성과 태양전지 제작

김희재, 김영국, 황선우, 김동희, 이준신

(주)포톤반도체, (주)포톤반도체, 성균관대학교, 충주대학교, 성균관대학교

#### The fabrication of Solar Cell and Doping Property using SOD Method On the Multi-crystalline Si wafer

Hee-Jae Kim, Young-Kuk Kim, Sun-Woo Hwang, Dong-Hee Kim, Jun-Sin Yi

PSE, PSE, SungKyunKwan Uni., Chungju Uni., SungKyunKwan Uni.

#### Abstract

이 논문에서는 태양전지 공정 중에서 중요시되는 에미터 형성에 대한 방법 중 하나인 SOD기술을 도입하였다. SOD(Spin-On Doping)은 저가형 고효율 태양전지를 개발하기 위하여 연구되고 있는 방법 중의 하나이다. 태양전지 제작을 위해 사용한 기판은 P형 다결정 Si 웨이퍼를 사용하였고, SOD 기술을 적용하여 온도와 시간에 따른 도핑특성의 변화를 실험적으로 연구하였다.

#### Key Words :

#### 1. 서 론

Spinning 기법을 통한 물질로의 도핑, 즉 Spin-On Doping 방법을 이용한 것으로 다결정질 P형 실리콘 웨이퍼에 인(Phosphorus)을 도핑하여 P-N 접합을 생성하게 만드는 테크닉이다. 본 논문에서는 생산단가를 낮추면서 변환효율을 높일 수 있는 방법으로 태양전지 구조의 근간을 이루고 있는 에미터(Emitter) 형성을 위한 도핑방법 중 SOD방법에 대해 연구하였다.

태양전지의 에미터(emitter)의 면저항은 접합깊이와 밀접한 관계를 가지고 있다. SOD 방법으로 PN 접합을 형성하게 되면, 표면 저항으로 도핑 농도를 알 수 있고 도핑된 농도는 도핑된 깊이(junction depth)에 영향을 미치게 된다. 즉, 에미터의 도핑된

깊이가 깊어지면 표면 저항(sheet resistance)이 작아져서 직렬저항을 줄일 수 있게 되고, 높은 개방전압( $V_{oc}$ )를 얻을 수 있지만, 반송자의 이동도가 감소하며, 과도한 불순물의 도입으로 인해 재결합 속도가 매우 커지므로 반송자가 수집되지 못하고 모두 재결합되는 층(dead layer)가 생성된다. 반면에 도핑된 깊이가 얇아져서 표면 저항(sheet resistance)이 커지게 되면 직렬저항이 너무 커져 태양전지의 효율저하에 현저한 악영향을 미치게 된다. 그리고 이러한 손실을 적게 하기 위해서는 finger 와 finger사이의 간격을 줄여야 하며 이는 차광면적(shadowing area)의 증가가 불가피하게 된다. 따라서 적절한 범위에서의 도핑농도를 유지할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 도핑을 하는 방법 중에서 양산의 자동화로 인한 태양전지 저가화와 고효율화를 이루

기 위한 SOD(Spin on Doping)방법을 적용시키기 위해 연구하였다. 논문을 위하여 다결정 실리콘으로 면저항을 최적화하였으며, 100mm×100mm 면적을 가지는 태양전지를 제작하였다.

## 2. 실험

아래 그림1.은 본 논문의 실험 과정을 간략하게 순서도로 나타내고 있다. 첫 번째 실험 단계로는 Multi-Crystalline Si wafer의 표면 결함을 줄이는 단계로 경면(polishing)처리를 했다. 이 공정에 사용된 용액은 21HNO<sub>3</sub>+16H<sub>3</sub>COOH+7HF를 사용하여 2분 동안 처리하였다.

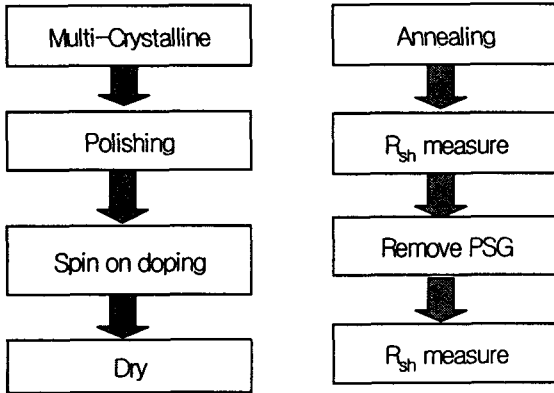


그림 1. Flow chart for detail process sequence of large area SOD multi-crystalline solar cell

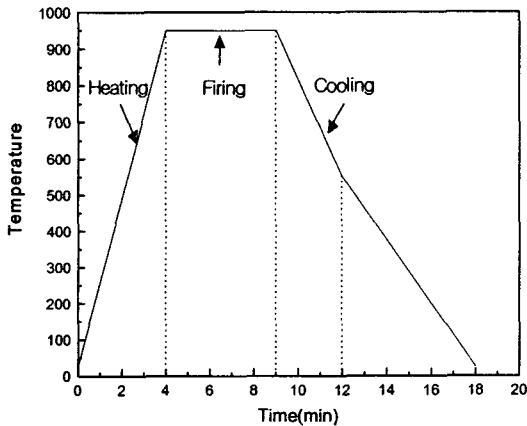


그림 2. A typical RTP profile during SOD emitter diffusion

다음 과정으로는 표면에 형성된 자연 산화막을 제거하기 위해서 BHF(Buffer HF)에 30초 동안 담궈서 처리한 후 Spinner를 이용한 SOD(Spin-On-Doping)방법으로 Diffusion source인 P509를 사용하였다. 여기서 Spinner의 속도는 3000rpm, 시간은 20초 동안 실험하였고, 그 다음 공정으로 오븐(Oven)에서 170℃ 온도에 20분 동안 건조시켰다. 이 과정을 마친 후에 RTP(Rapid Thermal Process)장비를 사용하여 확산 온도(diffusion temperature)를 900℃에서 950℃까지 변화시키면서 시간에 따른 도핑농도의 변화를 알아보았다. 이후에 열처리 과정에서 발생한 PSG Layer를 제거하기 위하여 BHF(Buffer HF)용액에 2분간 담궈 처리하였고, 4 point probe measurement를 이용하여 측정된 면저항(Sheet Resistance) 값으로 도핑의 최적조건을 연구하였다. 위의 실험과정들을 그림 1, 그림 2에서 간략하게 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 3에서는 다결정 Si-wafer (Ptype) 위에 인(Phosphorous)을 RTP(Rapid Thermal Process)를 이용하여 도핑(doping)한 후 열처리 시간과 온도에 따른 면저항(sheet resistance)의 변화를 나타내고 있다.

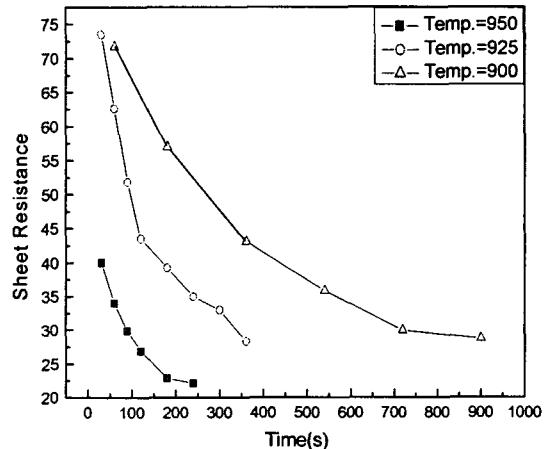


그림 3. Sheet Resistance as diffusion temperature and time (Multi-crystalline silicon)

위의 그림에서 볼 수 있듯이 확산 시간이 길어지고 또한 온도가 높아짐에 따라서 면저항 특성이 낮

아지는 경향성을 보이고 있다. 태양전지의 효율 특성이 좋은 에미터 면저항으로 28Ω/cm<sup>2</sup>을 얻기 위하여 950℃에서 90s 동안 열처리를 하였을 때 28~30 Ω/cm<sup>2</sup>를 실험적으로 얻을 수 있었다.

다결정 실리콘 웨이퍼에 도핑 특성을 단결정 실리콘 웨이퍼에 도핑한 특성을 면저항을 측정하여 비교하였다. 같은 온도와 시간에서 비교하여 보면 단결정 실리콘 웨이퍼에서 보다 높은 면저항 특성을 나타냈다. 이러한 현상은 다결정 실리콘 웨이퍼의 결정입계(grain boundary)를 따라서 인(P)이 단결정 실리콘 웨이퍼보다 더 쉽게 도핑이 되었다고 유추할 수 있다.

ID	Middle	Right	Left	Up	Down	Uniformity
950-1	26	24	235	22	22	166
950-2	30	30	27	28	29	130
950-3	41	35	35	34	37	279
950-4	25	25	22	24	23	130
950-5	45	44	44	42	43	114
950-6	35	33	32	29	32	217

표 1. 다결정 실리콘 웨이퍼에서의 에미터층 면저항 균일도(950℃)

위의 표 1은 다결정 실리콘 웨이퍼위의 에미터층의 도핑균일도를 4분 탐침법(4 point probe)을 사용하여 면저항을 측정하여 3%이하의 균일도 오차를 얻을 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 태양전지(Solar Cell)의 에미터를 형성하기 위하여 SOD(Spin-On-Doping) 방법을 사용하였다. 이 방법을 통해서 도핑을 할 때 최적의 도핑농도를 결정하기 위해 RTP 장비를 사용하여 열처리 온도와 시간에 따른 면저항 특성을 4분 탐침법으로 측정하여 알아보았다. 실험을 통하여 다결정 실리콘 웨이퍼위에 Diffusion Source(P)를 이용하여 950℃에서 90s 동안 열처리를 할 때 28Ω/cm<sup>2</sup>의 에미터(emitter)의 면저항(sheet resistance)치를 얻을 수 있었다. 그리고 단결정 실리콘과 다결정 실리콘 웨이퍼를 같은 시간, 온도에서 SOD방법으로 도핑하였을 때 다결정 웨이퍼의 도핑 농도가 더 낮아지는 것을 실험적으로 알 수 있었다. 실험을 통해 얻어진 도핑의 균일도(uniformity)는 3%이하의 값들로 매우 균일하게 도핑되었음을 알 수 있다. 최적의 도핑농도로 추정되는 28Ω/cm<sup>2</sup>의 에미터 면저항값을 가지는 샘플로 태양전지를 제작하였다.

전극은 스크린 프린터를 사용하여 형성하였다. 이렇게 제작된 다결정 태양전지의 효율은 11.2%를 나타내었다.

#### Reference

- [1]. D. Ruby et al, "High-efficiency silicon solar cells by RTP", Appl. Phys. Lett., Vol. 65, No. 16, p. 2087, 1999
- [2]. U. Gangopadhyay, H. Saha and S.K. Lahir, "Spin on diffusion for silicon solar cell fabrication", J. IETE. Vol. 34, No. 6, p. 450, 1998
- [3]. C. S. Lim, "Optimization of doping process on P-type wafer using Spin-on Technique", ICSE96 Proc., 1996.
- [4]. S. Bourdais, "Comparative study of rapid and classical thermal phosphorous diffusion on polycrystalline silicon thin films", Solar Energy Materials & Solar Cells 65, p.487-489, 2001
- [5]. D. Ruby et al, "High-efficiency silicon solar cells by RTP", Appl. Phys. Lett., Vol. 65, No. 16, p. 2087, 1994.
- [6]. D. Mathiot, A. Lachiq, A. Slaoui, S. Nol, J.C. Muller and C. Dubois, "Phosphorus diffusion from a spin-on doped glass (SOD) source during rapid thermal annealing", Material Science in Semiconductor Processing, Vol. 1, p. 231, 1998