

대기압 플라즈마를 이용한 P타입 태양전지 웨이퍼 도핑 연구

윤명수^{1)*} · 조태훈¹⁾ · 박종인¹⁾ · 김상훈¹⁾ · 김인태²⁾ · 최은하¹⁾ · 조광섭¹⁾ · 권기청^{1)*}

¹⁾광운대학교 전자 바이오 물리학과, 서울시, 139-701

²⁾광운대학교 화학과, 서울시, 139-701

Study of P-type Wafer Doping for Solar Cell Using Atmospheric Pressure Plasma

Myoungsoo Yun^{1)*} · Taehun Jo¹⁾ · Jongin Park¹⁾ · Sanghun Kim¹⁾ · In Tae Kim²⁾ · Eun Ha Choi¹⁾ ·
Guangsup Cho¹⁾ · Gi-Chung Kwon^{1)*}

¹⁾Department of Electrical and Biological Physics, Kwangwoon University

²⁾Department of Chemistry, Kwangwoon University

ABSTRACT: Thermal doping method using furnace is generally used for solar-cell wafer doping. It takes a lot of time and high cost and use toxic gas. Generally selective emitter doping using laser, but laser is very high equipment and induce the wafer's structure damage. In this study, we apply atmospheric pressure plasma for solar-cell wafer doping. We fabricated that the atmospheric pressure plasma jet injected Ar gas is inputted a low frequency (1 kHz ~ 100 kHz). We used shallow doping wafers existing PSG (Phosphorus Silicate Glass) on the shallow doping CZ P-type wafer (120 ohm/square). SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) are used for measuring wafer doping depth and concentration of phosphorus. We check that wafer's surface is not changed after plasma doping and atmospheric pressure doping width is broaden by increase of plasma treatment time and current.

Key words: Doping, Atmospheric plasma, Doping profile, Secondary Ion Mass Spectroscopy

1. 서론

태양전지는 반도체의 한 종류로서 P-N접합의 기본적인 구조를 가진다. P-N접합 구조를 만들기 위해서는 P-타입 웨이퍼에 주로 5족 원소인 인(P)을 주입하며 N-타입 웨이퍼에 3족 원소인 붕산(B)을 주입한다. 이렇게 진성반도체에 분순물을 주입하는 공정을 도핑이라 하며 태양전지 제조 공정 중에서 도핑은 태양전지의 종류와 효율을 결정하는 가장 중요한 공정이다. 현재는 퍼니스를 사용하는 도핑 공정이 제일 많이 이용되고 있으나 공정가스에 웨이퍼의 전면이 드러난 상태로 도핑을 하기 때문에 공정의 특성상 웨이퍼의 한쪽 면에만 도핑을 하는 것은 힘들고 옆면과 뒷면의 일부분에도 도핑이 되기 때문에 추후에 모서리를 절연시키는 공정이 추가되어 지며, 고온의 소성로를 사용하여 전가열(Preheat)나 웨이퍼의 온도가 내려갈 때 까지 시간이

걸리므로 공정의 시간이 증가한다. 그리고 레이저를 사용하는 도핑은 국부적으로 고온의 에너지를 사용하기 때문에 선택적인 도핑에는 적용이 가능하나 웨이퍼의 표면손상으로 인하여 전면 도핑에는 적용하기 힘든 부분이 있다¹⁻⁵⁾.

그리하여 새로운 대안으로 대기압 플라즈마를 이용하여 도핑을 하는 방법을 연구하게 되었다. 대기압 플라즈마는 고 에너지 상태로서 전자와 이온, 중성입자, 라디칼로 구성되어 있다. 대기압 플라즈마 제트는 글로우(Glow) 방전영역이 주로 대기압 플라즈마 도핑 진행시 사용되어진다. 대기압 플라즈마 방전은 일정 이상의 절연파괴전압(Breakdown voltage)이 인가되면 일어난다. 방전은 대기압 조건에서 존재하는 전자가 전압에 의해 가속되면서 중성입자와 물리적 충돌을 거쳐 전자증식과정이 일어나고 이 과정이 반복적으로 이루어지면서 전자 생성율과 소멸률이 동일해지면서 플라즈마가 유지되게 된다. 대기압 플라즈마는 고 에너지 상태로서 진공장비가 요구되지 않으며 공정이 간단하며, 높은 파워를 요구하지 않아 유지비용이 저렴하고 경제성이 뛰어나다⁶⁾.

본 연구는 저가의 대기압 플라즈마 제트를 개발하였고, 이를

*Corresponding author: gckwon@kw.ac.kr

Received July 18, 2014; Revised September 12, 2014;

Accepted September 13, 2014

통한 선택적 도핑에 관해 연구하였다.

2. 실험

본 연구에서는 Fig. 1에서 보이는 대기압 플라즈마 장치를 개발하여 사용하였다. 플라즈마 소스는 국부적으로 전기장을 발생시키기 위해 바늘 모양의 금속을 사용하였다. 파워는 DC-AC 인버터(~5 kV, 수십 kHz)를 사용하여 플라즈마를 방전하였다.

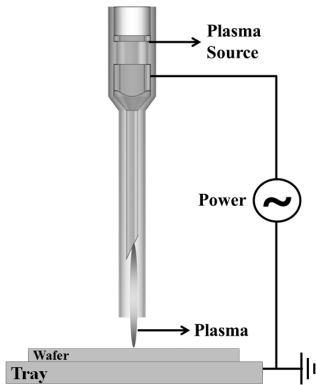


Fig. 1. 플라즈마 도핑 개념도

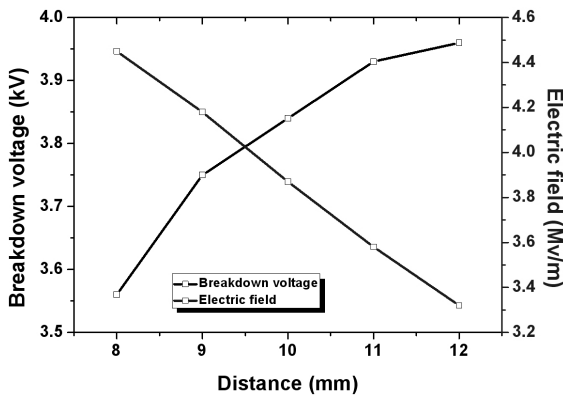


Fig. 2. 거리별 플라즈마 방전 특성

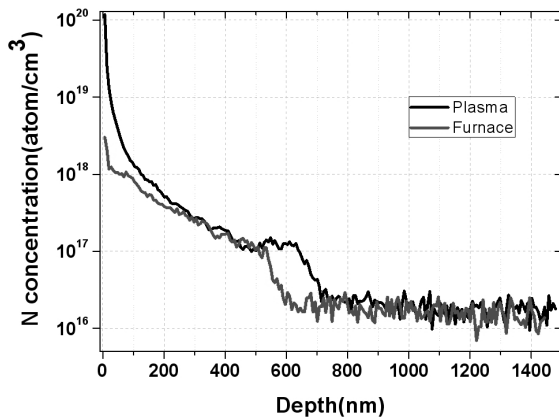


Fig. 3. 질소 프로파일

공정가스는 아르곤 가스를 사용하였으며 MFC로 0.5 lpm의 유량에서 실험하였다. 도핑에 사용된 태양전지 웨이퍼는 초크랄 스키법(Cz)으로 만들어진 180 um 두께의 P-타입의 단결정질 실리콘에 저 농도의 N타입이 도핑된 웨이퍼를 사용하였고, 세정은 아세톤, 에탄올, 증류수를 사용하였으며 도핑 후 잔존하는 도펀트와 석출된 불순물은 불산(HF)으로 제거하였다. 도핑을 위하여 대기압 플라즈마 처리시간을 각각 15 초, 30 초의 조건으로 공정을 진행하였으며 바늘형 전극과 기판 사이에 흐르는 플라즈마 전류는 40 mA, 70 mA로 조절하였다. 도핑프로파일은 이차이온 질량분석법(SIMS : Secondary Ion Mass Spectroscopy)을 통해 측정 및 분석하였고, 프로파일 데이터로 면저항(Sheet resistance)을 계산하였다.

3. 결과

대기압 플라즈마 도핑공정 진행 중에 바늘형 금속전극과 트레이 판의 전극사이의 거리는 대기압 플라즈마의 방전 특성을 변화시킨다. Fig. 2는 전극사이의 거리에 따른 전기장의 변화값이다. 원통형 금속관과 트레이 판 사이의 거리가 멀어짐에 따라서 전기장이 감소하고, 방전개시전압은 증가하였다. 오실로스코프로 측정한 방전개시전압은 3.5 kV에서 4.0 kV 범위로 변화하였으며, 바늘형 금속전극과 트레이 판 사이의 거리가 가장 짧은 8 mm에서 대략 4.4 MV/m의 전기장과 약 4.0 kV의 방전개시전압을 얻었다. 대기압 플라즈마 도핑 공정 진행시 전극사이의 거리는 8 mm로 고정하여 실험을 진행하였다. 이는 방전시 웨이퍼에 가해지는 온도가 가장 높았기 때문이다. 바늘형 금속전극과 트레이 판사이의 거리가 8 mm이하로 내려갈 경우 플라즈마의 방전 간격이 짧아져 플라즈마 불꽃(Plume)을 조절하기 힘들어 원하는 공정을 진행 할 수가 없다.

대기압에서 발생하는 플라즈마로 대기 중에 가장 많은 비중을 차지하는 질소가 웨이퍼에 불순물로 주입될 수 있는 가능성을 확인하였다. Fig. 3은 퍼니스로 도핑한 웨이퍼와 대기압 플라즈마로 도핑한 웨이퍼에 포함된 질소의 프로파일이다. 비교한 결과를 보면, 대기 중에 제일 많은 양을 차지하고 있는 질소의 경우, 퍼니스로 도핑을 진행한 웨이퍼와 플라즈마 도핑을 통하여 제작한 웨이퍼의 질소 농도가 크게 차이를 보이지 않았다. 이는 아르곤 가스를 이용한 플라즈마 방전으로 대기중에 포함된 질소, 수소, 산소 등이 같이 혼합되어 방전하면서 인 도핑에 영향을 주지 않는다는 것을 확인하였다.

대기압 플라즈마를 이용한 태양전지의 웨이퍼에 도펀트를 도핑하는 것은 플라즈마 방전시 발생하는 국부적인 열에 의한 것으로 추정된다. 첫째는 플라즈마 방전으로 발생하는 기체의 열로서 웨이퍼의 표면에 직접적으로 전달되는 부분이다. 둘째는 전류가 웨이퍼를 통과하여 접지 전극인 트레이로 빠져 나가

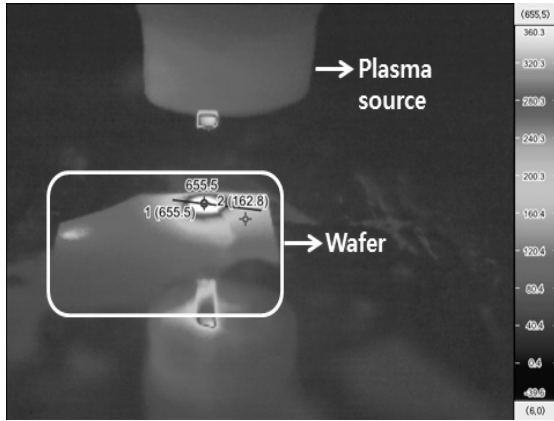


Fig. 4. 대기압 플라즈마가 입사되는 부분의 웨이퍼 온도

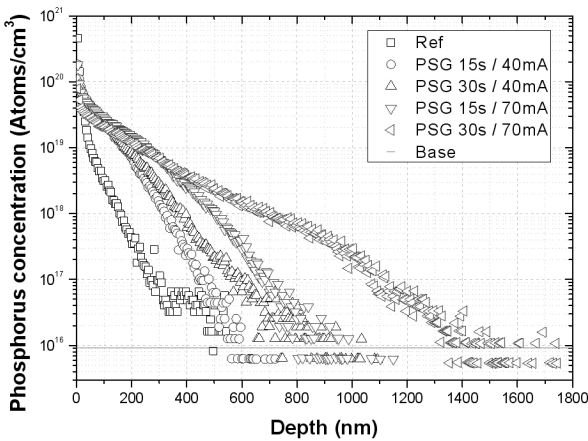


Fig. 5. 인의 도핑 프로파일

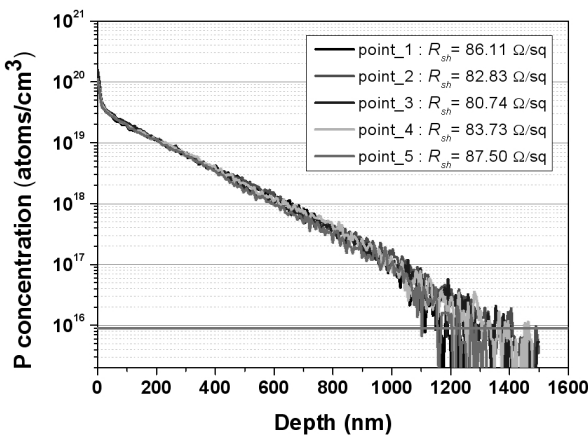


Fig. 6. 위치에 따른 플라즈마 도핑 프로파일 균일도

면서 발생하는 웨이퍼 내부에 발생하는 열이다. 웨이퍼의 표면 온도는 플라즈마 방전시 유입되는 가스에 의한 쿨링효과로 웨이퍼의 내부보다 온도가 낮게 측정 된다.

Fig. 4는 대기압 플라즈마로 인하여 발생된 웨이퍼의 온도를 적외선(IR) 카메라로 측정한 결과이다. IR 카메라는 열을 가지고 있는 물체가 방사하는 약 8 ~ 10 μm 의 적외선 영역 광원으로

온도를 측정한다. 그러나 대기압 플라즈마 방전에서 발생하는 플라즈마 광원의 파장은 1 μm 미만의 빛이 방출되기 때문에 적외선 카메라로 대기압 플라즈마의 직접적인 온도를 측정할 수가 없다. 도펀트 도핑 공정에서 웨이퍼에 플라즈마가 접촉되면서 발생하는 열을 웨이퍼에서 방사되는 적외선 광원으로 웨이퍼의 온도를 측정 하였다. 위의 이미지는 아르곤 0.5 lpm 유량의 조건에서 방전시킨 다음 웨이퍼의 표면 온도를 측정한 것이다. 일반적으로 웨이퍼 PN 접합용 도핑 공정에 사용되고 있는 퍼니스는 800 ~ 1000도 사이에서 도핑이 이루어진다. 대기압 플라즈마를 이용한 도핑은 플라즈마가 직접적으로 접촉하여 웨이퍼 표면에서 방사되는 최고 온도가 655도로서 퍼니스의 온도 보다 낮은 것을 알 수가 있다. 그러나 웨이퍼에 주입하는 가스의 유량과 도펀트로 이용되는 물질로 인하여 웨이퍼 표면 온도가 웨이퍼 내부의 온도보다 낮아, 실제 웨이퍼 표면의 온도는 약 900도 이상으로 추정된다. 위의 IR 이미지를 통하여 대기압 플라즈마를 이용한 도핑 공정은 열을 통해서 이루어지는 열확산법의 한가지 방법인 것으로 추정된다.

Fig. 5는 대기압 플라즈마를 이용하여 선택적 도핑(Selective emitter)을 진행한 웨이퍼의 SIMS결과이다. 대기압 플라즈마 도핑공정은 얇은 접합(Shallow junction)이 된 P-타입의 웨이퍼로서 PSG(Phosphorus Silicate Glass)가 형성되어져 있는 웨이퍼를 사용하였다. 플라즈마 처리 시간은 15s와 30s로 조절하고 플라즈마의 전류는 40 mA와 70 mA로 조절 하여 선택적 도핑 공정을 진행하였다. SIMS결과를 보면 알 수가 있듯이 대기압 플라즈마 공정으로 도핑깊이가 500 nm ~ 1400 nm까지 깊어진 것을 확인하였다. 대기압 플라즈마로 웨이퍼를 통과하는 플라즈마 전류가 증가할수록, 플라즈마의 처리시간이 증가할수록 도핑깊이가 깊어지는 것을 확인할 수가 있다. 플라즈마 처리시간에 변화를 주었을 때 보다 플라즈마 전류의 값을 변화시켜 주었을 때 도핑깊이의 변화가 더 큰걸로 보아 대기압 플라즈마 도핑 시 플라즈마 처리시간보다는 플라즈마 전류가 도핑프로파일에 더 큰 영향을 끼침을 알 수 있었다. 이를 통해 대기압 플라즈마를 사용하는 도핑 공정은 플라즈마 처리시간이나 플라즈마 전류에 따라 도핑의 깊이를 조절 할 수 있다는 것을 확인하였다.

Fig. 6은 위치별 대기압 플라즈마로 도펀트를 도핑한 도핑 프로파일이고, Table 1은 위치별 대기압 플라즈마로 도핑한 접합 깊이(Junction depth), 표면농도, 면저항을 나타낸다. 대기압 플라즈마 도핑 공정으로 진행한 웨이퍼의 위치별 도핑 균일도를 알아보기 위해 5개의 위치에서 도핑된 SIMS 결과로 얻은 면저항으로 도핑균일도를 확인하였다. 면저항 값을 보면 알 수가 있듯이 도핑 균일도가 4.1%로서 퍼니스를 사용하여 도핑된 웨이퍼보다 나쁘지 않음을 알 수가 있다. 텍스처링된 웨이퍼를 사용하기 때문에 텍스처의 높이와 모양에 따라서 방전특성이 미세하게 변화하여 균일도가 조금 달라지는 것이라 판단된다.

Table 1. 위치에 따른 플라즈마 도핑의 전기적 특성

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Junction depth (nm)	1310	1165	1152	1221	1348
Surface concentration (atom/cm ³)	1.07 × 10 ²⁰	1.39 × 10 ²⁰	1.60 × 10 ²⁰	1.20 × 10 ²⁰	1.01 × 10 ²⁰
Sheet resistance (Ω/sq)	86.11	82.83	80.74	83.73	87.5
Doping uniformity (%)	4.1				

4. 결론

본 연구를 통하여 기존의 도핑방법이 아닌 대기압 플라즈마를 이용하는 새로운 도핑방법을 연구하였다. 대기압 플라즈마를 사용하기 때문에 전기적 특성인 방전개시전압과 전기장을 측정하여 공정 조건을 선택하였으며, 저 농도 도핑이 되어진 P 타입 웨이퍼를 사용하여 선택적 도핑을 진행하였다. 대기압 플라즈마를 사용한 선택적 도핑은 플라즈마 처리시간이 길어지고 플라즈마 전류가 높아질수록 도핑깊이가 깊어지고 면저항 특성이 향상됨을 확인하였다. 대기압 플라즈마를 사용하여 선택적 고농도 도핑 시 도핑깊이는 저 농도 도핑 된 깊이인 500 nm 이상의 깊이를 확보 할 수 있었고, 선택적 도핑 시 고농도 영역의 면저항이 형성 가능함을 확인하였다. 대기압 플라즈마 도핑 시 플라즈마 처리시간보다는 플라즈마 전류가 도핑프로파일에 더 큰 영향을 끼침을 알 수 있었다. 향후 고효율 태양전지 제작을 위해

서는 최적의 플라즈마 처리시간과 전류로 면저항과 전극 폭을 고려해 도핑 폭을 제어할 수 있는 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 신재생 에너지기술개발 사업(No.20113020010080), (No.20135020910050), (No.20133030010910) 일환으로 수행되었습니다.

References

1. B. Li, L. Wang, B. Kang, P. Wang, and Y. Qiu, "Review of recent progress in solid-state dyesensitized solar cell, solar energy Materials and Solar cells", vol. 99, pp. 549-573, 2006.
2. J. S. Lee, K. H. Kim, "Solar cell Engineering", (Green, 2007), pp. 22-229.
3. Harald Kerp, Jalal Salami, Gorka Bueno, Knuth Albertsen, Juan Calos Jimeno, Aziz Shaikh. 15th International Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005.
4. D. Ruby et al "High efficiency silicon solar cells by RTP", Appl. Phys. Lett, Vol. 65, No.16, p. 2087, 199.
5. 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.
6. G. S. Cho, H. G. Lim, J. H. Kim, D. J. Jin, G. C. Kwon, E. H. Choi, and H. S. Uhm, "Cold Plasma Jets Made of a Syringe Needle Covered With a Glass Tube", IEEE Trans. PLASMA SCI. 39, 1234 (2011).