論文 82-19-5-7

N^+-P/P^+ 多結晶 실리콘 太陽 電池의 製作 및 特性

(Fabrication and Characteristics of N^+-P/P^+ Polycrystalline Silicon Solar Cell)

鄭 鎬 宣*

(Ho Sun Chung)

要 約

비저항은 3～6 Ohm-cm이고 두께는 350～400μm인 다결정 실리콘을 사용하여 n^+-p/p^+ 태양 전지를 제작하였다. 이 전지에 대한 소수 반송자의 수명은 Nd:YAG laser로 측정되었으며 100～150ns 이었다. 전지의 변환 효율은 AM 1에서 4%로 측정 되었다.

Abstract

N^+-P/P^+ solar cells were fabricated by using the polycrystalline silicon wafer with the resistivity of 3 - 6 ohm-cm. minority carrier lifetimes, measured by Nd:YAG laser, were from 100ns up to 150ns. Conversion efficiency measured under AM 1 irradiation, were about 4%.

I. 序 論

태양 전지가 대규모적인 지상용 발전소자로서 실용화 되기 위해서 발전 단가는 현재의 단가보다 적어도 1/100정도로 낮아져야 한다. 현재 단결정 실리콘을 이용한 태양 전지인 경우 그 생산가의 약 30%는 웨이퍼가 차지하고 있다. 이와 같은 단결정 실리콘을 성장시키는데 많은 비용이 들기 때문에 태양 전지용으로서 순도가 좀 떨어진 다결정 실리콘의 성장법과 다결정 실리콘 웨이퍼를 이용한 태양 전지에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1], [2], [3]

다결정 실리콘 n^+-p 태양 전지에 대하여 삼차원적인 반송자 분포와 변환 효율을 계산한데 이어[4] 본 연구에서는 열확산법에 의해 다결정 실리콘 p-n 접합 태양 전지를 제작하고자 한다. 또한 제작된 전지에 대해서 펄스 형태의 빔출력을 갖는 니오다임 레이저(neodyme laser)를 이용하여 소수 반송자의 수명 측정 및 변환 효율 등의 전기적 특성을 조사함을 그 목적으로 한다.

II. 實 驗

전지를 제작하기 위한 다결정 실리콘 웨이퍼(wacker chemistronic 회사 제품)는 사각형 흑연 도가니 속에 용융된 실리콘을 부어 주조된 것으로 그 크기는 10cm×10cm×450μm이고 그 비저항은 5～8 ohm cm인 p형 웨이퍼이다. 웨이퍼를 1cm×1cm 정도로 자른 후 한 폭면을 다이아몬드 가루(15～0.25μm)로 연마하고 96% CH_3COOH: 100% HNO_3 :H_2O : 45% HF = 4 : 6 : 1 : 1 용액으로 부식시켰다. 그림 1은 다결정 실리콘 웨이퍼를 hydrazine hydrate 50cc와 pyro cathecol 1g을 혼합한 용액에 넣어 55℃ 온도로 20분간 부식시킨 후 SEM 사진을 찍은 것이다.그림에서 본 바와 같이 각 그레인들의 방향이 서로 다름을 보여 주고 있다.

1. MOS 캐패시터

*正會員, 慶北大學校 工科大學 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyung-pook National Univ.)

接受日字 : 1982年 5月 17日

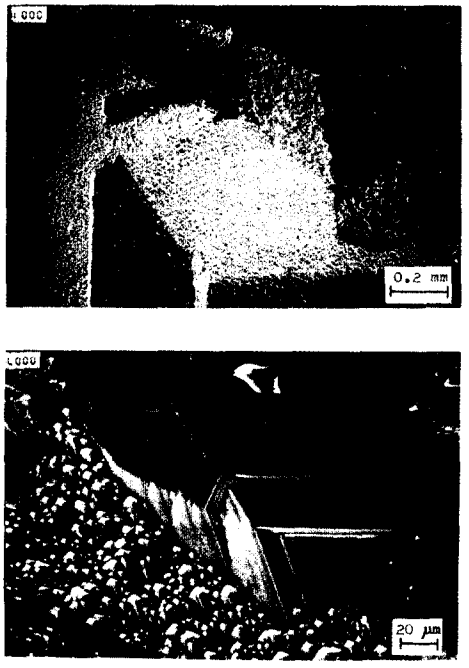

그림1. 다결정 실리콘 웨이퍼의 SEM 사진
Fig. 1. SEM of the polycrystalline silicon wafer.

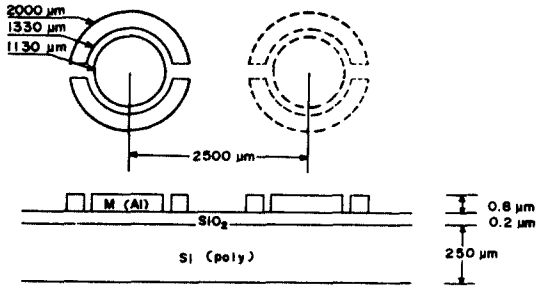

그림2. MOS 케패시터의 구조
Fig. 2. Structure of the MOS capacitor.

C-V 특성을 이용하여 도우핑 밀도를 구하기 위하여 그림 2와 같이 1 cm × 1 cm의 웨이퍼에 16개의 케패시터를 제작하였다. 금속 전극의 넓이는 1 mm² 이고 SiO_2 층의 두께는 2000Å 정도로 되게 하였다.

2. n^+-p/p^+ 전지

다결정 실리콘 웨이퍼를 TCE, 아세톤 및 H_2SO_4 : H_2O= 4 : 1 용액과 DI 워터로 세척한 후 웨이퍼를 1100℃에서 50분간 wet oxidation 한 후 30분간 dry oxidation을 하여 실리콘 산화막 두께가 5000A 정도가 되게 하였다. 뒷면만의 산화막을 제거한 후 뒷면에 p^+층을 형성시키기 위해서 B_2O_3를 알곤 분위기에서 980℃에서 20분간 프리디포지션하고 1150℃에서 산소 분위기에서 50분간, 알곤 분위기에서 10분간 드라이브-인 시켜 주었다. 이때 뒷면의 접합 깊이는 2～3 μm 정도이다. 앞면의 산화막을 제거한 후 뒷면은 밀랍(apiezon)으로 보호하고 앞면에 n^+를 형성시켜 주었다. n^+형성은 950℃에서 5분간 질소와 산소를 흘려준 후 $O_2+N_2+POCl_3$에서 5분간 프리디포지션시키고 O_2+N_2 분위기에서 5분간 드라이브-인 시켜 주었다. 포스포러스 그라스를 제거한 후 광반사 방지막으로 800Å의 SiO_2 막을 형성시켜 주면서 열처리도 동시에 하여 주었다. 이때 앞면 접합 깊이는 0.3～0.4 μm이다. 전지의 앞뒷면의 전극은 Cr 과 Au 의 이중 전극을 형성시켜 주었으며 앞면의 그리드 모양은 그림 3과 같으며, 그리드에 해당된 SiO_2 층은 사진 식각 방법으로 부식 시켰다. 전극 증착후 500℃에서 H_2+N_2 분위기로 20분간 열처리하여 주었다.

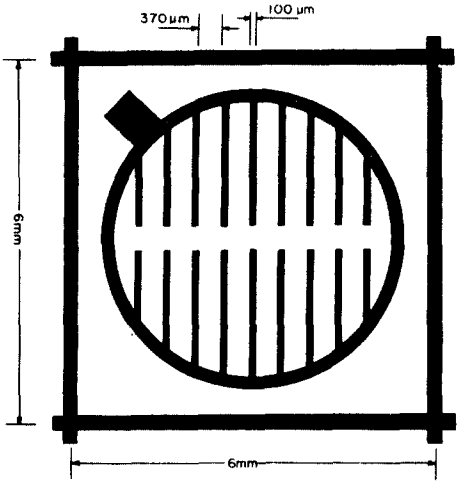

그림3. n^+-p/p^+ 다결정 실리콘 태양 전지의 그리드 패턴
Fig. 3. Grid pattern of the n^+-p/p^+ polycrystalline silicon solar cell.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. C-V특성

이론적인 케패시터의 값과 측정된 케패시터의 값을 비교하여 도우핑 밀도를 결정할 수 있다. 신호의 주

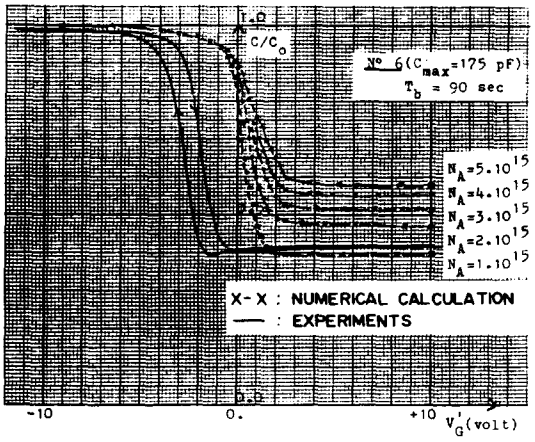

그림4. C-V 특성에 대한 계산치와 측정치의 비교

Fig. 4. Comparison of the calculated and the measured values for the C-V characteristics.

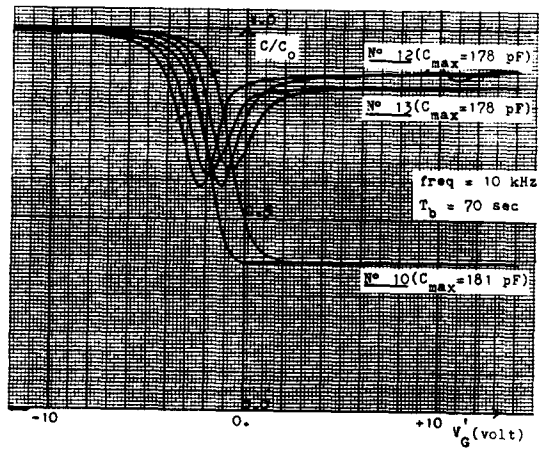

그림5. MOS 캐패시터 no. 10, no. 12, no. 13 에 대한 C-V 특성

Fig. 5. C-V characteristics for the capacitor no. 10, no.12, and no.13.

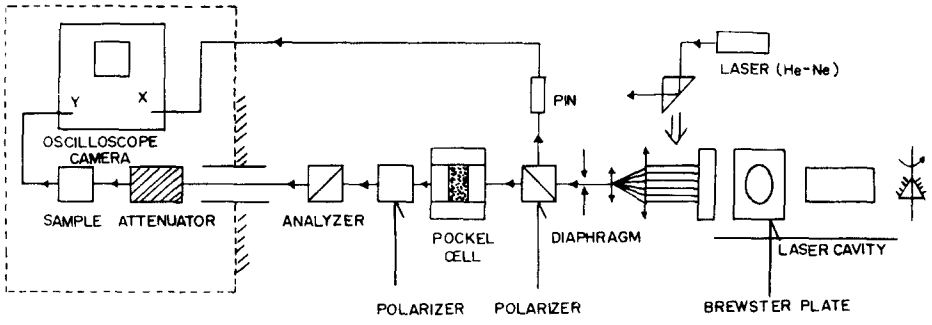

그림6. 소수 반송자의 수명 측정장치

Fig. 6. Equipment of minority carrier lifetime measurement.

파수가 낮은 경우의 캐패시터는 쉽게 구하여지지만[5] 높은 주파수의 신호에 대한 캐패시터는 등가 전송선 모델로 가정하여 간단한 Riccati 식을 풀면 된다.[6] 본 연구에서 이 Raccati 식을 계산기를 이용하여 Runge-Kutta 및 Adams-Moultons[7] 방법으로 풀었다. MOS 캐패시터의 이론적인 값과 신호 주파수 10KHz에서 C-V 특성 곡선을 그림 4 에 비교하였다. 악셉터 덴시티는 $1\times10^{15}\sim3\times10^{15}$ 원자/cm^3 으로 추정되었다.

그림 5 는 3 개의 캐패시터에 대한 신호 주파수 10KHz 에서의 C-V 특성이다. no. 12와 no. 13은 주파수가 10 KHz 인데도 낮은 주파수 특성이 나타났다. 이는 그레인 바운더리가 소수 반송자의 수명에 영향을 미치므로 단결정인 경우의 C-V특성과 상이함을 알 수 있다.

2. 소수 반송자의 수명

소수 반송자의 수명을 측정하기 위해 펄스 레이저를 사용하였다. 이 장치에서 가장 중요한 부분으로서 니오다임 레이저 (CILAS VD-162)는 분당 한번 정도 빛을 내며 최대 에너지는 3 Joule이다. 레이저 빔의 넓이는 0.5cm^2 이고 빔은 삼각형 펄스형이며 에너지가 절반되는 빔폭 $T_{\frac{1}{2}}=30$ns이다. 레이저의 파장은 1.06μm ($h\nu=1.178$ev)이다. 레이저를 이용한 소수 반송자 수명을 측정하는 장치의 구성도는 그림 6 과 같다. PIN 다이오우드(CG530)은 오실로스코프에 동기 신호를 얻기 위한 것이고 여러 개의 빛 감쇄기를 이용하여 입사광의 강도에 따라 반송자 수명을 측정하였다. 광전류의 응답은 기억 장치를 포함한 오실로스코프(tekt-

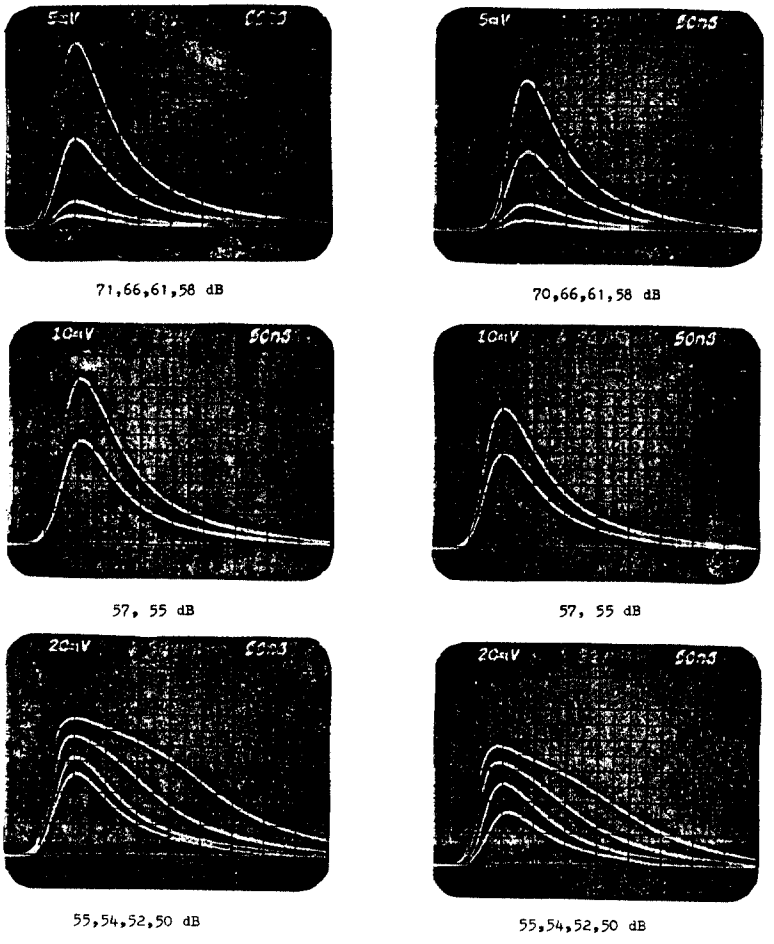

그림7. 다결정 실리콘 태양 전지에 대한 펄스 레이저의 강도에 따른 광전 응답

Fig. 7. Photovoltaic response depending upon pulse laser intensity for the polycrystalline silicon solar cell.

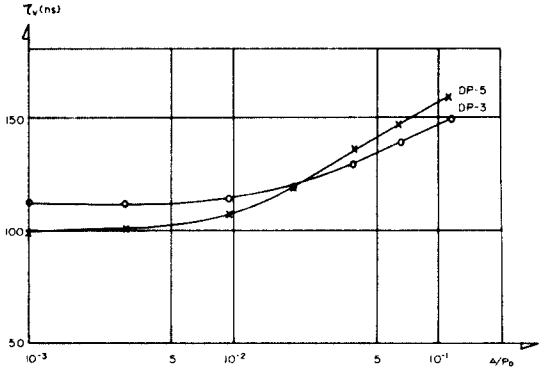

그림8. 레이저 빔의 주입에 대한 소수 반송자의 수명의 변화

Fig. 8. Variation of the minority carrier lifetime with the injection level.

ronix 7633)과 카메라를 사용하였다. 그림 7은 태양 전지 DP－3과 DP－5에 대한 입사광의 크기에 따른 광전류의 응답을 보인 것이다. 이들 사진에서 구한 소수 반송자 수명을 입사광의 크기에 따라 그림 8에 보였다. 입사광의 정도에 따라 수명은 100～150ns로 측정되었다. 입사광이 아주 많은 경우 그림 7에서 보인 바와 같이 광전류 응답이 포함되어 값을 읽을 수가 없었다.

3. 변환 효율

그림 8은 전지 CPS－3에 대한 여러 가지 입사광의 강도에 따른 전압 전류 특성 곡선을 나타냈다. 여기에 사용된 광원은 인공 태양 장치를 사용하였다. 개방전압, 단락전류, 충실도 및 변환 효율은 표 1에 정리 되었다. 단락전류는 입사광의 강도에 대해서 선형적으로 증가하나 개방전압과 충실도는 변화가 적었다.

효율은 AM 1에서 4% AM 0에서 4.3% 정도였다.

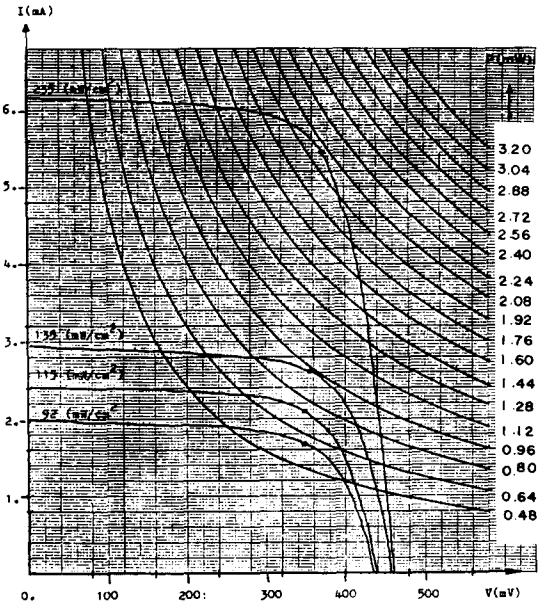

그림9. 인공 태양 빛의 강도에 따른 전지의 I-V특성

Fig.9. I-V characteristics of the solar cell with simulated sunlight intensity.

표 1. 본 실험에서 제조한 태양 전지의 특성

Table 1. Characteristics of solar cells fabricated in the experiment.

Input Power Density (mW/cm²)	Voc (mV)	Jsc (mA/cm²)	F·F	3 (%)
92	432	12.22	0.693	3.97
115	440	14.93	0.696	3.98
135	456	18.02	0.711	4.26
235	460	38.02	0.716	5.31

Ⅳ. 結 論

본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 다결정 실리콘 MOS 캐패시터의 C-V 특성은 웨이퍼의 그레인 바운더리 상태에 따라 다르며 1㎠인 웨이퍼 내에서 어떤 캐패시터는 10KHz에서 저주파 특성이 나타났다.

2) P-n 접합 태양 전지의 베이스에 대한 소수 반송자의 수명은 펄스 레이저로 측정 되었으며 그 수명은 100~150ns이었다.

3) n^+-p/p^+형 다결정 실리콘 태양 전지의 변환 효율은 AM 1에서 4% AM 0에서 4.3% 이었다.

앞으로의 과제는 그레인 바운더리에 대한 더 많은 연구가 있어야겠으며 그레인 바운더리를 패시베이션 하기 위한 확산(diffusion) 방법을 개발하여 효율을 높이는 동시에 생산가를 낮추어야 할 것이다.

參 考 文 献

[1] T. H. Distefano and J. J. Cuomo, "Reduction of grain boundary recombination in polycrystalline silicon solar cells", *Applied Physics Letters*, vol. 30, no. 7, April 1977.

[2] E. Fabre, Mme Y. Baudet, "Polycrystalline silion solar cell", Photovoltaic Solar Energy Conference, Luxembourg, pp. 178-186, 1977.

[3] H. Fischer, *Silicon Solar Cells from Polcrystalline Material*, Energy Conference, Luxembourg, pp. 52-75, 1977.

[4] 정호선 : "다결정 실리콘 n^+-p 태양 전지의 computer model," 전자공학회지, 제18권 제6호, pp. 30-37, 1981.

[5] A. S. Grove, et al, "Investigation of thermally oxidised oxidised silicon surface using metal-oxide-semiconductor structures", *Solid-State Electronics*, vol. 8, pp. 145-163, 1965.

[6] R. F. Pierret et C. T. Sah, "Quantitative analysis of the effects of steady state illumination on the MOS-capacitor (1)theory", *Solid-State Electronics*, vol. 13 pp. 269-288, 1970.

[7] S. D. Conte and Carl de Boor, *Elementary Numerical Analysis*. McGraw-Hill, Inc., 1980.