

論文94-31A-7-12

저가, 고효율 단결정 실리콘 태양전지의 제조

(Fabrication of Low cost, High Efficiency Single Crystal Silicon Solar Cells)

李圭晶*, 金寅式*, 南孝鎭*, 朴哲*

(Kyuchung Lee, In-Sik Kim, Hyo-Jin Nam and Chul Park)

要約

본 연구에서는 저렴한 태양전지용 실리콘 웨이퍼와 paste 등의 재료를 이용하고, 양산에 직접 이용될수 있는 screen printing, spray 공정등을 이용하여 실제로 지상용으로 이용될수 있는 효율이 높으면서 가격이 저렴한 태양전지를 제조하였다. 100 mW/cm²(AM 1.5), 25℃ 의 조건 아래에서 non fire-thru 공정에 의해 제조된 태양전지는 16.48 % 의 변환 효율을 보였으며, fire-thru 공정에 의해 제조된 전지는 15.55 % 의 효율을 나타내었다.

Abstract

Low cost, high efficiency single crystal silicon solar cells for terrestrial applications have been fabricated by using inexpensive materials such as solar grade silicon wafer and pastes, and mass production processes such as screen printing and spray. Under 100 mW/cm² (AM 1.5) and 25℃ conditions, conversion efficiency of 16.48% was obtained by non fire-thru process and 15.55% by fire-thru process.

1. 서론

현재 가장 중요한 에너지원인 석유가 전무한 우리나라의 현실을 볼때 태양광 발전은 신에너지원으로서 특히 중요하다 하겠다. 산유국의 석유수출 제한으로 빛어진 석유파동 이후 석유 대체에너지 개발에 미국, 일본, 유럽등 선진국에서는 상당한 금액의 투자를 해왔으며 태양전지 개발은 그중의 하나이다. 태양전지

의 장점은 공급량이 방대하고 비고갈성이며 깨끗한 에너지원으로 지구의 환경에 전혀 영향을 미치지 않으며, 또 가까운 장래에 상용전원과 경쟁할 수 있는 충분한 경제성을 갖고 있다는 것이다.

1954년 Chapin 등에 의해 실리콘 태양전지가 처음으로 발표된 이후¹⁾ 태양전지는 우주공간이나 지상에서 유효하게 사용되고 있다. 그러나 아직도 대체 에너지로서는 가격이 너무 비싸기 때문에 전력 생산가의 저렴화와 효율의 극대화를 목표로 계속 연구중에 있다.

태양전지의 제조가격은 기판재료 가격과 공정가격으로 나눌수 있다. 기판재료로는 실리콘, III-V 화합물 반도체, II-VI 화합물 반도체 및 기타 적절한 에너지 밴드 갭을 갖는 재료를 이용하는데 이중에서 실

*正會員, 金星 中央 研究所

(GoldStar Central Research Laboratory)

※ 본 연구는 상공자원부의 대체에너지 기술 개발 사업의 사업수행 결과임.

接受日字 : 1993年 12月 2日

리콘으로 만들어지는 태양전지가 가격과 효율면에서 우수하기 때문에 앞으로 대량으로 만들어져 대체에너지로서의 역할을 할 가능성이 크다. 또한 실리콘은 결정구조에 따라 단결정, 다결정, 비정질로 구분되는데 이들 모두 태양전지 재료로서 널리 이용되고 있다. 태양전지를 구조에 따라 구분하면 동종접합형, 이종접합형, 표면장벽형 태양전지 등으로 나눌수 있고, 이러한 구조를 만드는데 필요한 공정가격은 공정에 따라 웨이퍼 세척 및 에칭, 확산, 표면 재결합 방지막 형성, 반사 방지막 형성, 금속전극 형성, 인건비, 장비 등의 감가 상각비 등으로 나누어 볼수 있는데 그중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 금속 전극층 형성에 소요되는 비용으로 Ti/Pd/Ag 의 3층 전극구조의 경우 공정비의 약 40% 정도까지 점유하게 되므로^[2] screen printing 등의 방법을 이용하여 공정가를 낮추면서 효율을 높이는 연구가 계속되고 있다.

본 연구의 목표는 실제로 지상용으로 이용될 수 있는 효율이 높으면서 가격이 저렴한 태양전지의 제조에 있으므로 태양전지용 실리콘 웨이퍼, paste 등의 저렴한 재료를 이용하고, 양산에 직접 이용될 수 있는 screen printing, spray 공정등을 이용하여 연구를 수행하였다. 본 논문은 본 연구에서 사용된 재료와 실험방법, 실험결과에 관하여 논의해 보고 마지막으로 전체적인 요약과 앞으로의 태양전지 제조 개발에 관해 서술하기로 한다.

II. 재료의 선택 및 실험방법

1. 재료의 선택

효율에 영향을 주는 중요한 재료로는 기판재료, 금속재료, 광반사 방지막재료 등을 들 수 있다. 본 실험에서는 Czochralski (CZ) 방법에 의해 성장된 결정방위는 (100) 이고 비저항은 4-5Ω-cm 이며, 두께는 400 μm 인 약 10 X 10cm² 크기의 저렴히 만들어진 태양전지용 p 형 단결정 실리콘 웨이퍼를 선택하였다.

태양전지의 전극은 실리콘위에 입혀지므로 이때 전극은 실리콘과 전기적으로 융성 접촉을 이루어야 하고 접착력이 좋아야 하며 납땀이 가능하여야 한다. 이런 금속으로는 Ti/Pd/Ag의 3층전극이 가장 좋다고 인정되고 있지만^[3] 박막으로 입힐때 가격이 너무 비싸지므로 전지 제조 가격면에서 가장 저렴하며 또 위의 조건들을 만족시키는 Ag paste 를 이용하여 screen printing 방법에 의해 전극을 형성시켰다. P+ back surface field (BSF)는 Al paste 를 이용하였다.

광반사 방지막 형성은 표면 반사율을 줄여주며 표면에서의 재결합을 줄이므로 파장영역의 선택성을 좋게하여 준다. 광반사 방지막 재료로는 SiOx, SnOx, Si₃N₄, TiO₂, Ta₂O₅ 등이 있는데 본 실험에서는 양산에 적합하여 가장 많이 이용되고 있는 TiO₂ 를 spray 방법을 이용하여 형성시켜 주었다. TiO₂ 재료로는 titanium isopropoxide 를 이용하였고 diluent 로 n-butyl acetate 를 이용하여 1 : 1 로 섞은 용액을 사용하였다.

2. 전지 그리드 설계

본 실험에서 사용한 그리드 패턴은 그림 1 과 같다. 전체 태양전지 크기는 10 X 10cm² 인데 모서리가 rounding 되어 있기 때문에 전체면적은 97.58cm² 이고 여기에 나타난 전면 전극모양의 길이는 가로, 세로 각각 96mm 이다. 전면의 그리드 핑거 폭은 얇은것은 0.2mm, 굵은것은 2mm, 그리드와 그리드 사이의 거리는 4mm 로 하여 전체전극 면적이 태양전지 면적의 약 8.5 % 로 설계하였다. BSF 패턴은 가로, 세로 길이가 각각 97mm 이고, 뒷면 전극은 가로, 세로 각각 93mm 이고 그리드 핑거 폭은 얇은것이 0.2mm, 굵은것이 2mm, 그리드와 그리드 사이의 거리는 3mm 로 하고 바둑판 모양으로 설계하여 전체 전극 면적이 태양전지 면적의 14.5% 로 하였는데 뒷면은 빛이 흡수되지 않으므로 이런 파라미터가 중요하지 않고 다만 Ag paste 의 양을 절약하는 목적과 뒷면에 표면재결합 방지막을 형성시켜 출대 효과를 보는 목적을 들 수 있다. 이 공정에서 screen printing 방법에 쓰이는 mesh size 는 200으로 하였다.

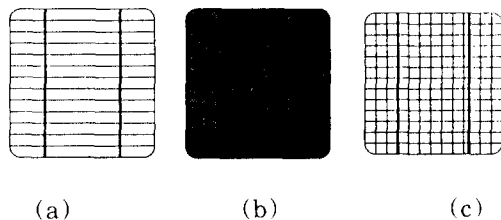


그림 1. 전면전극, BSF층, 후면전극의 패턴
 (a) 전면전극 (b) BSF 층 (c) 후면전극
 Fig. 1. Patterns of frontside electrode, BSF layer and backside electrode.
 (a) Frontside electrode (b) BSF layer (c) Backside electrode.

3. 실험방법

본 실험에서 사용한 제조공정을 그림으로 도시하면

그림 2 와 같다. (a)는 전극을 전면전극 형성을 해준 후에 광반사 방지막을 행하는 non fire-thru 공정이고, (b)는 광반사 방지막 형성후 이것을 뚫고 들어가 전극이 형성되는 fire-thru 공정을 나타낸 것이다.

1) Non fire-thru 공정

Non fire-thru 에서는 첫공정으로 재료의 선택 항에서 언급된 실리콘 웨이퍼를 이용하여 KOH 용액에서 damage 층을 제거해주고 texture 표면을 만들어준후 세척을 해주는 것으로 시작한다. 다음 공정은 인화산 공정인데 본 실험에서는 phosphorus solid source 를 이용하여 860, 880, 900℃ 에서 각각

30 분 동안 확산공정을 거쳐 면저항이 각각 35, 25, 17 Ω/\square 인 p-n 접합을 형성시켜 비교하여 보았다. 인화산 공정후에 웨이퍼 전, 후면에 있는 산화막을 제거하고 곧 screen printing 을 해주었다.

P⁺ BSF 형성은 Al paste 로 screen printing 하고 10 분간 안정화 시킨후 120℃ 오븐에서 15 분 간 건조 시켰다. BSF 효과는 주로 개방전압에 나타나는데 screen printing 으로 할때는 Al 두께가 중요하다. 45 μ m 이상으로 할때는 두께에 별로 영향을 받지 않으므로^[4] 본 실험에서는 Infrared belt furnace 를 이용하여 belt speed 를 10inch/min 로 하며 750℃ 에서 Al 의 두께를 약 50 μ m로 BSF 를 형성시켜 주었다. 전, 후면 전극형성은 Ag paste 를 각각 screen printing 한후에 10분씩 안정화 시키고 120 μ m 오븐에서 15 분씩 건조시킨 직후에 열처리를 해주는데, 이 공정이 모든 태양전지 제조공정 중에서 가장 중요한 공정이 된다. 전, 후면 co-firing 은 belt speed 를 17.5 inch/min 로 하고 590, 620, 650, 680 μ m 의 4 가지 온도에서 열처리 하였다.

전, 후면 전극형성이 끝나면 가장 간단한 태양전지의 형태가 되므로 일단 측정을 해 볼 수 있다. 다음 단계로 TiO₂ 를 코팅하여 광반사 방지막을 형성하는데 TiO₂ 는 spray 방법으로 코팅 시켰다. 저렴하게 TiO₂ 를 코팅 시키는 방법으로는 spray 와 spin-on 을 들 수 있는데 본 실험에서 spray 를 이용한 이유는 웨이퍼가 texturization 되어 있기 때문에 spin-on 으로는 균일하게 코팅 시킬수 없기 때문이다.^[5] Titanium isopropoxide 와 n-butyl acetate를 1: 1 로 섞은 용액을 이용하여 약 400℃ 로 고정된, texture 된 웨이퍼 위에 직접 spray 시켜 주었다. 광반사 방지막의 최적 두께를 알아보기 위해 두께를 450, 550, 650, 750, 850Å 으로 변화 시키며 태양전지 파라미터의 변화를 살펴보았다.

전면확산 공정중에 웨이퍼의 전, 후면이 phosphorus source 에 노출되므로 p-n 접합이 웨이퍼 전체에 형성된다. 뒷면 접합은 BSF 형성 공정으로 문제가 없으나 edge 의 접합을 제거해주지 않으면 누설전류 때문에 전기적 특성이 떨어지므로 edge 의 side junction 을 제거해 주어야 한다. 이것을 제거하는 방법으로는 wet etching, mechanical grinding, laser scribing, plasma etching 등이 있는데^[6] 본 실험에서는 mechanical grinding 방법을 이용하여 side junction 을 제거시켜 준후 측정을 하였다.

그림 3은 이 공정에 의해 제조된 태양전지의 구조를 나타낸 것이다.

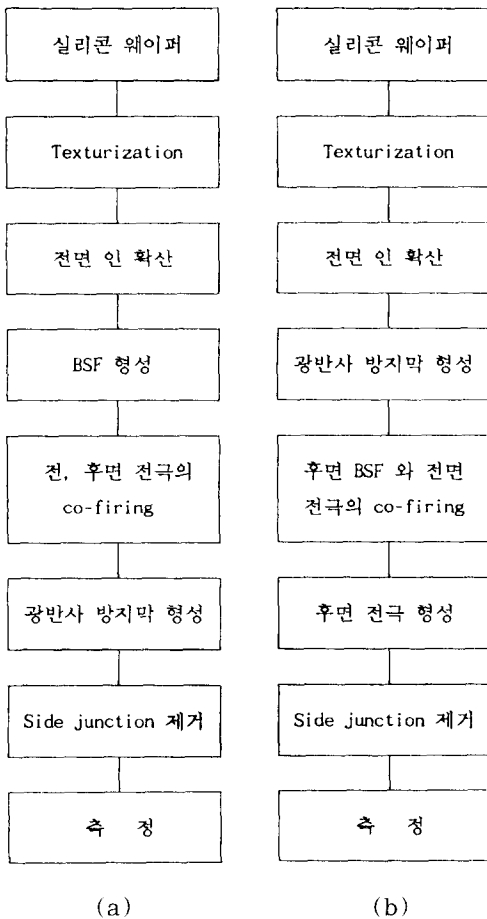


그림 2. 단결정 실리콘 태양전지의 제조 공정도

- (a) Non fire-thru 공정
- (b) Fire-thru 공정

Fig. 2. Process flows of single crystal silicon solar cells.

- (a) Non fire-thru process
- (b) Fire-thru process.

2) Fire-thru 공정

Fire-thru 는 non fire-thru 공정과 거의 같은데 그림 2 (b) 와 같이 광반사 방지막을 먼저 해준후 BSF 와 전면전극을 co-firing 해줄때 광반사 방지막 위에 해주기 때문에 온도가 non fire-thru 때보다 높게된다. 이 온도 변화는 750, 770, 790, 810℃ 에서 belt speed 를 25 inch/min 로 하고 관찰 하였다. 후면 전극 열처리는 650℃, 17.5 inch/min 에서 행하였다. 그림 4 는 이 공정에 의해 제조된 태양전지의 구조를 나타낸 것이다.

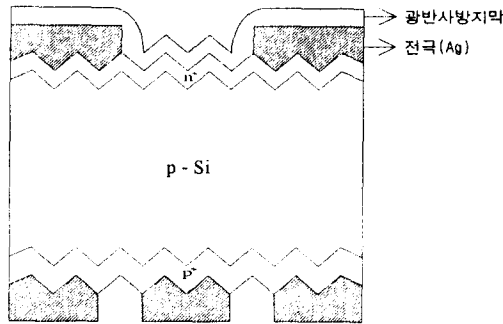


그림 3. Non fire-thru 공정에 의한 태양전지의 구조

Fig. 3. Solar cell structure by non fire-thru process.

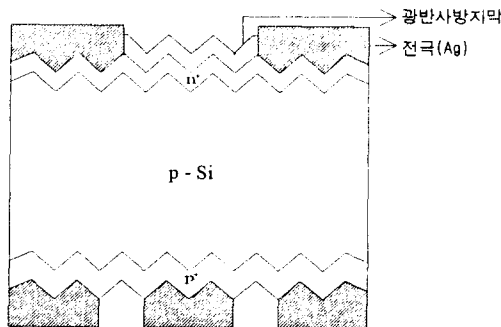


그림 4. Fire-thru 공정에 의한 태양전지의 구조
Fig. 4. Solar cell structure by fire-thru process.

III. 결과 및 고찰

1. 태양전지 파라미터의 측정 및 결과

1) 확산 파라미터의 측정

본 실험에서는 phosphorus solid source 를 이용

하여 p-n 접합을 형성하였는데 860, 880, 900℃ 의 확산온도에서 각각 30 분 동안 확산시켰다. 이에따른 면저항은 4 point probe 로 측정한 결과 각각 35, 25, 17 Ω/□를 나타내었고, 접합깊이와 표면농도는 spreading resistance meter 로 측정한 결과 각각 0.35, 0.4, 0.5μm 와 3×10^{19} , 6×10^{19} , $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 임을 알 수 있었다.

일반적으로 박막기술을 이용할때는 전면의 p-n 접합깊이는 0.2μm 정도가 최적으로 알려져 있지만 [7] 후막기술을 이용할때는 최적깊이가 0.8μm 라는 보고도 있으며 [8] 최적깊이는 전면의 금속 paste 성분, 전면 그리드 패턴, 전면전극의 열처리 온도 등에 따라 달라지기 때문에 최적조건을 잘 선택하여야 한다 [9-10] 본실험에서는 확산온도를 달리하여 3 가지의 다른 면저항의 영향을 살펴 보았다.

2) 광반사 방지막 파라미터의 측정

태양전지 표면에서의 빛 반사를 줄여주고 특정한 파장영역의 선택성을 증가시켜 주기 위해서 광반사 방지막을 해주는데, 빛의 반사를 줄이기 위해서는 굴절률이 N_1 인 광반사 방지막 재료의 표면에서 반사되는 빛과 굴절률이 N_2 인 실리콘 표면에서 반사되는 빛이 파괴적 간섭을 일으켜야 한다. 이 간섭조건은 $N_1 d = \lambda/4$ 일때 일어나며 $N_1 = (N_2 \times N_3)/2$ 일때 완전해 진다. 여기서 d 는 광반사 방지막의 두께이며 λ 는 입사파장이고, N_3 는 태양전지 module 의 encapsulant(ethylene vinyl acetate resin)의 굴절률이다. N_3 값이 약 1.5 정도이고, N_2 는 3.5 에서 4 정도이므로 N_1 은 약 2.3-2.4 정도가 적합하다. 그러므로 선택파장이 6000 Å 일때 파괴간섭에 의한 광반사 방지막의 두께는 약 650 Å 정도가 된다. Spray coating system 을 이용하여 약 400℃ 로 고정된 웨이퍼 위에 titanium isopropoxide 와 n-butyl acetate 를 1 : 1 로 섞은 용액을 이용하여 형성된 TiO_2 의 두께와 굴절률은 ellipsometer 로 측정되었다.

3) 전기적 파라미터의 측정

태양전지 특성중 가장 중요한 파라미터인 단락전류 밀도 (Jsc), 개방전압 (Voc), 충실도 (FF), 효율 (η)은 I-V measurement system 을 이용하여 100 mW/cm² 의 인공조명을 조사하였을때 25℃ 의 일정한 온도에서 측정되었다. 그림 5 는 non fire-thru 경우의 Jsc, Voc, FF, η를 전, 후면 co-firing 온도와 면저항의 변화에 대해 비교한 것이며 그림 6 은 광반사 방지막의 두께 변화에 따른 Jsc 의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 최고효율은 880℃ 에서의 확산과 650℃ 에서의 열처리를 행한,

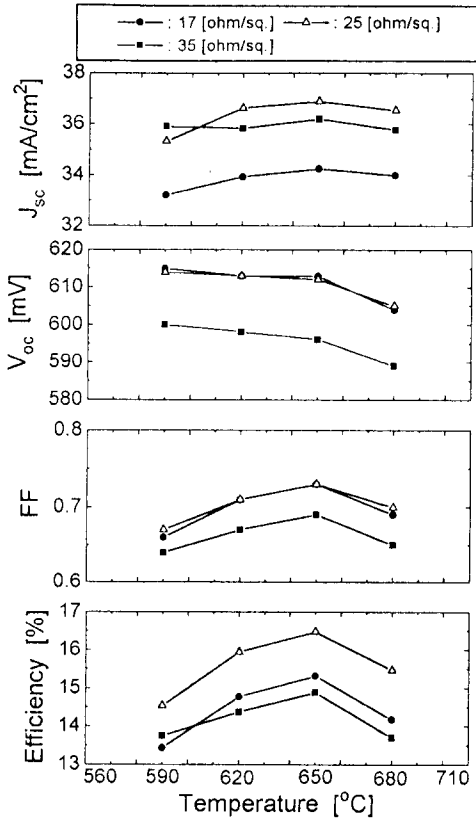


그림 5. Non fire-thru 공정에서 전, 후면 co-firing 온도와 면저항 변화에 따른 태양전지의 특성

Fig. 5. Solar cell characteristics by various co-firing temperatures and sheet resistivities in non fire-thru process.

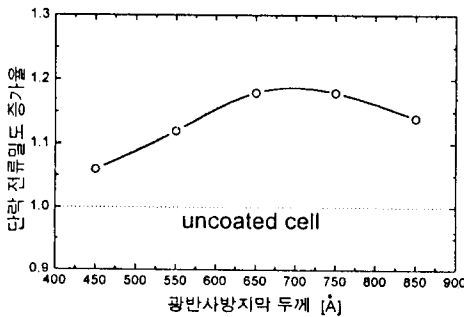


그림 6. 광반사 방지막 두께 변화에 따른 Jsc 의 증가도

Fig. 6. Jsc increase by various antireflection coating thicknesses.

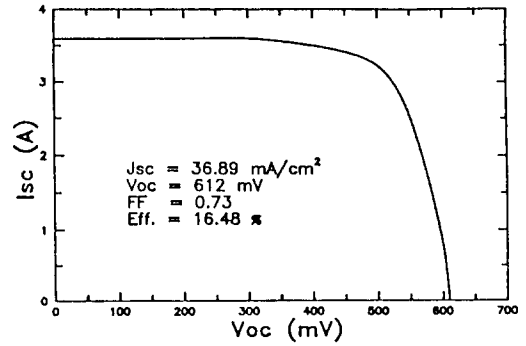


그림 7. Non fire-thru 공정에 의한 태양전지의 I-V 특성곡선

Fig. 7. I-V curve of solar cell by non fire-thru process.

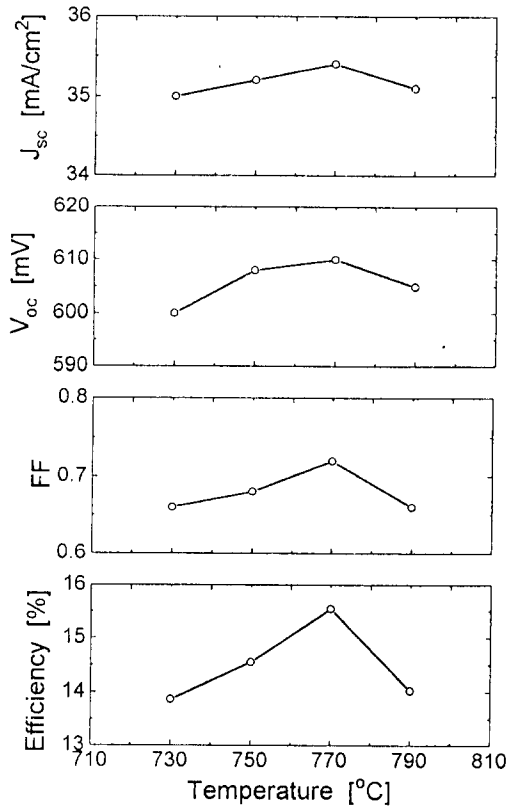


그림 8. Fire-thru 공정에서 co-firing 온도변화에 따른 태양전지의 특성

Fig. 8. Solar cell characteristics by various co-firing temperatures in fire-thru process.

광반사 방지막의 두께가 650 Å인 시료로서 16.48 %의 효율을 나타내었는데 I-V 특성곡선은 그림 7과 같다. Fire-thru 인 경우 co-firing 온도변화에 따른 태양전지의 특성변화를 그림 8에 나타내었는데 최고효율은 면저항이 25 Ω/□이고 광반사 방지막의 두께가 650 Å 일때 770°C에서 열처리를 행한 시료로 15.55%의 효율을 나타내었다. 그림 9는 이것에 대한 I-V 특성을 나타낸 것이다.

2. 논의

1) 인 확산의 영향

최저 확산 깊이는 전면의 금속 paste 성분, 전면 그리드 패턴, 전면 전극의 열처리온도 등에 따라 달라지기 때문에 최적조건을 잘 선택하여야 하는데⁹⁻¹⁰⁾ 본 실험에서는 확산온도를 달리하여 3가지의 다른 조건의 영향을 살펴보았다. 확산온도가 높을수록 접합 깊이가 깊어지고 표면농도가 증가한다.

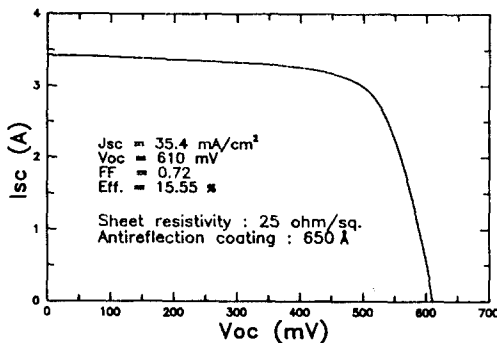


그림 9. Fire-thru 공정에 의한 태양전지의 I-V 특성곡선

Fig. 9. I-V curve of solar cell by fire-thru process.

그림 5에서와 같이 접합깊이가 깊을수록 Jsc는 감소하고 Voc는 증가한다. Jsc의 감소는 접합깊이가 깊어질수록 dead layer가 깊어지기 때문이며 Voc의 증가는 접합깊이가 깊을수록, 즉 면저항이 작을수록 직렬저항과 누설저항이 감소하기 때문이라 판단되는데 17 Ω/□와 25 Ω/□인 경우에는 Voc의 큰 차이는 없었다. FF도 Voc와 같이 직렬저항과 누설저항이 감소할수록 증가하므로 면저항이 작을수록 증가한 것으로 생각된다. 결국 본 실험에서는 25 Ω/□의 면저항을 갖는 확산조건으로 최고효율을 얻을수 있었다.

2) Non fire-thru 공정에서 전, 후면 열처리 온도에 의한 영향

전, 후면 열처리 온도에 의한 태양전지의 특성은 그림 5에서처럼 최적 열처리 온도는 650°C로 나타났다. Jsc는 열처리 온도 변화에 별 영향이 없었으며 Voc는 열처리 온도가 높아질수록 조금씩 감소하고 FF는 650°C에서 최고치를 나타내었다. Voc의 감소는 온도의 증가에 따라 누설전류가 증가하기 때문이라 생각되며, 최적온도 이하의 온도에서 FF의 감소는 전극과 실리콘의 접촉저항이 좋지않아 직렬저항의 증가 때문이며 최적온도 이상의 온도에서의 감소는 누설전류의 증가 때문인 것으로 판단된다. 결국 본 실험으로는 650°C에서 36.89 [mA/cm²]의 Jsc, 612 [mV]의 Voc와 0.73의 FF를 얻은 시료가 16.48%로 최고의 변환 효율을 나타내었다.

3) 광반사 방지막 두께의 영향

앞에서 설명한 것처럼 선택과장이 6000 Å 일때 파괴간섭에 의한 광반사 방지막의 최적 두께 d는 약 650 Å 정도가 된다. 이 두께에 따른 태양전지의 특성변화를 살펴보기 위하여 TiO₂의 두께를 450, 550, 650, 750, 850 Å으로 변화시켜 보았다. 두께 측정은 texture된 웨이퍼로는 측정이 되지 않으므로 polish된 웨이퍼로 같은 조건에서 spray 한후 ellipsometer로 측정하였는데 광반사 방지막 두께간의 변화를 보기위해 그 전단계까지 제조된 태양전지중에서 Jsc, Voc, FF가 같은 전지들로만 광반사 방지막을 형성해주고 측정, 비교하였다. 광반사 방지막의 두께 변화에 따른 Voc, FF의 변화는 거의 없었고 Jsc는 큰 변화가 있었다. 이 결과는 그림 6과 같으며 광반사 방지막의 두께가 약 650-750 Å, 굴절률이 2.3 정도일때 Jsc가 약 18% 정도 향상됨을 알 수 있었다.

4) Fire-thru 공정에서 열처리 변화에 의한 영향

Fire-thru 공정에서는 면저항, 광반사 방지막의 두께 등 열처리 공정만 제외하고 non fire-thru와 같은 조건에서 태양전지를 제조하였다. 열처리 공정에서는 BSF와 전면 전극을 co-firing 해주었고 나중에 후면 전극 열처리를 행하였다. 그림 8은 이 결과를 나타낸 것으로 열처리 온도변화에 따라 Jsc는 비슷한 값을 나타냈으며 Voc, FF는 770°C에서 최고치를 나타내었다. 최적온도보다 낮은 온도에서 Voc의 감소는 BSF 형성온도가 낮기 때문이고 높은 온도에서는 누설전류의 증가 때문인 것으로 생각된다. 최적온도 이하에서 FF의 감소는 전극과 실리콘의 접촉저항이 좋지않아 직렬저항의 증가 때문이며 최적온도 이상에서의 감소는 누설전류의 증가 때문인 것으로 판단된다. 결국 fire-thru 공정에서 최고효율은 770°C에서 열처리한 전지로 Jsc = 35.4

[mA/cm²] . Voc = 610 [mV] . FF = 0.72 로 15.55 %의 효율을 나타내었다.

5) 앞으로의 방향

지금까지의 연구수행 결과 약 15-16 % 정도의 태양전지를 제작 하였는데 표면 재결합 방지막의 형성, 이중 반사 방지막의 형성, 전면 전극 접촉면적의 감소, 이로 인한 전면 확산깊이의 감소 등의 공정을 첨가, 보완 함으로써 저렴히 제작하며 효율을 20 % 정도까지 올릴수 있으리라 생각된다. 또한 다결정 실리콘 웨이퍼를 이용한 태양전지도 제조공정이 단결정과 거의 동일하므로 단결정과 같이 실제 지상용으로 쓰기 위해 효율을 올리며 가격을 저렴히 만드는 태양전지로 단결정과 같이 도전해야 될것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 양산체재로 태양전지를 제조할때 가장 중요한 사항인 저가 제조 공정을 이용하며 효율을 높이는 제조에 중점을 두어 실험을 수행하였다. CZ 방법에 의해 성장된 결정방위는 (100) 이고 비저항은 4-5 Ω-cm 이며 두께는 400 μm인 약 10 X 10 cm² 크기의 태양전지용 p 형 단결정 실리콘 웨이퍼를 이용하여 texturization 시킨후 phosphorus solid source를 이용하여 860, 880, 900℃ 에서 30분간 확산하여 p-n 접합을 얻은후 BSF 층을 형성하고 전, 후면 전극처리 한후 광반사 방지막 등을 행한 non fire-thru 공정과 광반사 방지막을 먼저 형성하고 BSF 와 전면전극의 열처리를 동시에 행하는 fire-thru 공정을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 내릴수 있었다.

1. 860, 880, 900℃ 중에서 880℃ 에서 30분간 확산한 시료 (면저항은 25 Ω/□, 접합깊이는 0.4 μm) 가 제일 좋은 효율을 나타내었다.
2. Non fire-thru 공정에 의해 태양전지를 제조할 때 전, 후면 전극의 co-firing 최적온도는 650℃ 이었고, fire-thru 공정에서 후면 BSF 와 전면 전극의 co-firing 최적온도는 770℃ 이었다.
3. 광반사 방지막의 두께는 650-750 Å 정도로 입혀 주었을때 Jsc가 약 18% 정도 증가하여 최고의 효율을 얻을수 있었다.
4. 본 실험에서 제작한 태양전지는 non fire-thru 공정의 경우 Jsc = 36.89 [mA/cm²] , Voc = 612 [mV] , FF = 0.73으로 16.48 %의 효율을 나타내었고, fire-thru 의 경우 Jsc = 35.40 [mA/cm²] , Voc = 610 [mV] , FF = 0.72 로 15.55 %의 변환 효율을 나타내었다.

감사의 글

태양전지용 실리콘 웨이퍼를 공급하여 주신 실트론의 김호중 부장님, 정연득 과장님, 김홍국 과장님과 태양전지의 초기 측정을 허락하여 주신 한국 에너지 기술 연구소 태양광 연구팀의 송진수 박사님, 윤경훈 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

參考文獻

- [1] D.M. Chapin et al., "A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power," *J. Appl. Phys.*, vol 25, pp. 676-677, 1954.
- [2] L. Frisson et al., "Screen printed metallization of silicon solar cells," *Electrocompon Sci. and Technol.*, vol. 7, pp. 107-111, 1980.
- [3] 강진영등, "고효율 태양전지 (I) - N+PP 전지의 제조및 특성," 전자공학회지, 제 18권, 3 호, pp 42-51, 1981.
- [4] K. Okamoto et al., "Rapid firing of printed pastes for BSF solar cell under high intensity light source," *IEEE Photovoltaic Specialist Conf.*, pp. 818-823, 1982.
- [5] J.H. Wohlgemuth et al., "Development of a new low cost antireflective coating technique for solar cells," *IEEE Photovoltaic Specialist Conf.*, pp. 809-812, 1982.
- [6] R.E. Thomas et al., "Semi-automatic, volume production of silicon solar cells," *Can J. Physics*, vol. 65, pp. 892-896, 1987.
- [7] M.A. Green, "Recent progress in crystalline and polycrystalline silicon solar cells," *5th International Photovoltaic Sci. and Eng. Conf.*, pp. 603-605, 1990.
- [8] G.C. Check et al., "Thick-film metallization for solar cell applications," *IEEE Trans. on Elec. Dev.*, vol ED-31, pp. 602-609, 1984.
- [9] K. Firor, "Effect of processing parameters on thick film inks used for solar

cell front metallization." *Solar Cells*,
vol. 5, pp. 87-100. 1981-1982.
[10] T. Nakajima, "Ohmic contact of

conductive siver paste to silicon solar
cells." *Int. J Hybrid Microelectron.*,
vol. 6, pp. 580-586, 1983.

著 者 紹 介



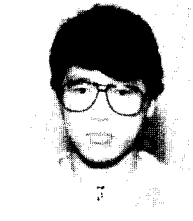
李圭晶(正會員)

1982年 2月 성균관대 전자공학과
(공학사). 1984年 2月 연세대 전
자공학과 (공학석사). 1990年 3월
미국 Georgia Tech 전기공학과
(M.S.). 1990年 3월 ~ 현재 금
성중앙연구소 선임연구원. 주관심
분야는 Solar Cells, Microsensors 등임.



金寅式(正會員)

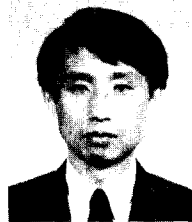
1985年 2월 광운대 전기공학과
(공학사). 1987年 8월 광운대 전
기공학과 (공학석사). 1988年 8월
~ 현재 금성중앙연구소 주임연구
원. 주관심 분야는 센서소자 및
Memory 소자 등임.



南孝鎭(正會員)

1985年 2월 한양대 금속공학과
(공학사). 1988年 2월 한국과학기술원
재료공학과 (공학석사).
1988年 1월 ~ 1994年 2월 금성
중앙연구소 선임연구원. 현재 한
국과학기술원 전자재료공학과 박

사과정 재학중. 주관심 분야는 Ferroelectric RAM
및 IR sensor 등임.



朴 哲(正會員)

1983年 2월 서울대 물리학과 (이
학사). 1985年 2월 서울대 물리학
과 (이학석사). 1993年 2월 서울
대 물리학과 (이학박사). 현재 금
성중앙연구소 책임연구원. 주관심
분야는 Printhead 등임.