

후면전극형 실리콘 태양전지 제조기술 개발

김 대원¹⁾, 이 건영²⁾, 조 은철^{3)*}, 박 상욱⁴⁾, 문 인식⁵⁾, 이 규열⁶⁾, 유재희⁷⁾

Development of Manufacturing Processes of Crystalline Silicon Back Contact Solar Cells

Daewon Kim, Keonyoung Lee, Eunchel Cho, Sangwook Park, Insik Moon, Kyuyeol Lee, Jaehee Yu

Key words : Solar cell(태양전지), Silicon(실리콘), Back Contact(후면전극)

Abstract : (바탕채 9pt) A rear contact solar cell has a potential merit of efficiency improvement by a low shading loss in front surface, a simplified module assembly, and a higher packing density. Among the rear contact solar cells, MWT, metallization wrap through MWT solar cells that have the bus bars on the back side and the front side metallization is connected to the back through metal filled laser fired holes in the silicon wafer. This approach has the advantages of a much more uniform appearance. The first fabrication of MWT using a multicrystalline silicon modules in our group showed 12.28% on 125mm x 125mm active area.

Subscript

MWT: metallization wrap through

EWT: emitter wrap through

MWA: metallization wrap around

1. 서 론

현재 태양전지 시장의 95% 이상을 점유하고 있는 실리콘 태양전지의 향후 기술적인 과제는 셀의 고효율화, 기관인 실리콘 웨이퍼의 박형화 등에 의해 제조원가를 떨어뜨리는 것이다. 태양전지의 응용시장은 일본과 독일시장을 중심으로 하는 계통연계형 발전으로, 일반 주택과 공공건물에 태양전지가 채용되는 건물일체형 태양전지의 보급이 확대됨에 따라 건축 환경과 조화를 이룰 수 있는 태양전지의 개발도 요구되고 있다.

일반 실리콘 태양전지가 셀의 전면(前面)과 후면(後面)에 양(+) 또는 음(-)의 버스바(bus bar) 전극이 있다. 반면에 후면전극형(Back Contact 또는 rear contact) 실리콘 태양전지는 셀의 후면에 양극과 음극이 모두 위치한다. 후면전극형 실리콘 태양전지는 셰이딩 로스(shading loss)의 저감 및 이미터(emitter) 영역의 확대에

의한 변환효율의 향상과 모듈 조립공정의 단순화, 태양전지의 packing density 향상에 의한 원가절감과 균일한 외관에 의한 건축환경과의 조화도 기대할 수 있다.^[1-3]

후면전극형 실리콘 태양전지는 점접합(Point Contact), MWT, EWT, MWA 등 다양한 구조를 통해 실현할 수 있으며 점접합 및 MWT 구조가 현재 상용화되어 있다. 점접합 구조는 변환효율이 높지

-
- 1) 삼성SDI(주) 중앙연구소
E-mail : daewon63.kim@samsung.com
Tel : (031)288-4390 Fax : (031)288-4304
 - 2) 삼성SDI(주) 중앙연구소
E-mail : ky69.lee@samsung.com
Tel : (031)288-4567 Fax : (031)288-4304
 - 3)* 삼성SDI(주) 중앙연구소
E-mail : eunchel.cho@samsung.com
Tel : (031)288-4389 Fax : (031)288-4304
 - 4) 삼성SDI(주) 중앙연구소
E-mail : s.wook.park@samsung.com
Tel : (031)288-4391 Fax : (031)288-4304
 - 5) 삼성SDI(주) 중앙연구소
E-mail : insik.moon@samsung.com
Tel : (031)288-4395 Fax : (031)288-4304
 - 6) 삼성SDI(주) 중앙연구소
E-mail : kylee71@samsung.com
Tel : (031)288-4394 Fax : (031)288-4304
 - 7) 삼성SDI(주) 중앙연구소
E-mail : jh8460.yu@samsung.com
Tel : (031)288-4393 Fax : (031)288-4304

만 고품위의 단결정 기판이 요구되며, MWT 구조는 점접합 구조에 비해 변환효율은 낮지만 다결정 실리콘 웨이퍼와 같은 저렴한 기판과, 기존의 상용화 공정을 사용하여 구현할 수 있다는 장점이 있다. 본고에서는 MWT 구조의 결정질 실리콘 태양전지를 구현하기 위한 요소기술을 다루고자 한다.

2. 후면전극형 태양전지 설계

스크린 프린팅 태양전지가 전면(-) 전극, 후면에(+) 전극으로 분리되어 있는 반면 (Fig.1 a), 후면전극형 태양전지는 (+), (-) 전극 모두 태양전지의 후면에 위치한다. 다결정 실리콘을 이용한 MWT 태양전지는 Fig. 1(b)와 같이 전면에 형성한 에미터로부터 발생하는 전류의 효과적인 수집을 위하여, (-) 전극의 일부는 미세한 금속전극 형태로 전면에 존재할 수 있다. 따라서 전면에 위치한 (-) 전극과 버스바를 연결시키는 통로를 만들기 위해 웨이퍼에 작은 hole을 형성한다. 버스바는 전류를 수집·운송하는 통로의 역할을 하며, 다른 태양전지와 연결을 위해 금속 리본이 위치하는 곳이다.

2.1 전면전극 패턴

전면 전극선(metal finger 또는 grid)은 전극에 의한 광손실(shading loss)과 에미터 면저항에 의한 전기적 저항을 우선적으로 고려하여 패턴을 설계해야 한다. 버스바가 전면에 없는 MWT cell의 특징을 살리기 위해서는 hole을 지나는 X축 방향(또는 Y축 방향)으로 금속전극이 필요하지만, 프린팅 공정 중에 hole내를 금속 페이스트(paste)로 채우기 위해서 격자무늬의 패턴을 Fig. 2와 같이 구현한다. 전면전극선이 줄어들수록 전극에 의해 발생하는 dead area가 줄어들고 전기적 저항이 늘어나며, 전극선이 늘어나면 전기적 저항은 작으나 광손실은 커진다. 이 경우 셰이딩 로스가 급격히 늘어나 MWT 구조의 효과가 없어지므로 전극선 간격을 늘여야 한다. 그러나 변환효율이 아닌 설치시의 외관을 중시할 경우 여러 가지 형태의 패턴이 가능하다. 본 연구에서는 금속전극의 폭을 100 μm 으로, 가로와 세로 전극간의 간격을 3mm로 설정하였다.

전면의 전극선과 후면의 (-) 버스바를 연결하기 위해 Fig. 3과 같이 기판의 양끝에서 25mm 떨어진 곳에 200 μm 의 직경을 갖는 hole들을 3mm 간격으로 설계하였다.

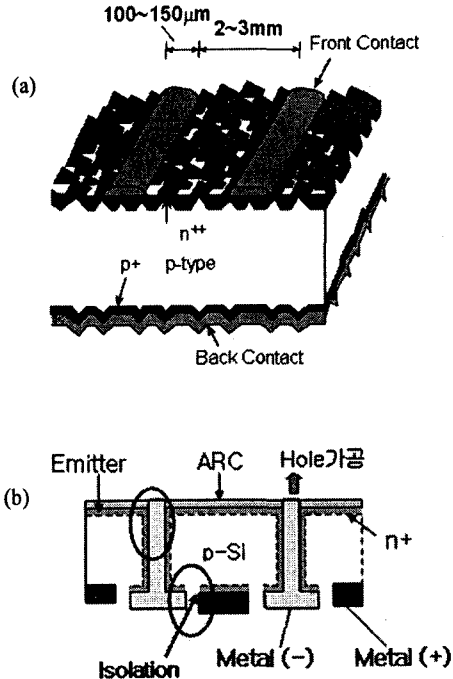


Fig.1 태양전지의 구조 (a) 일반적인 스크린 프린팅 태양전지, (b) MWT 태양전지

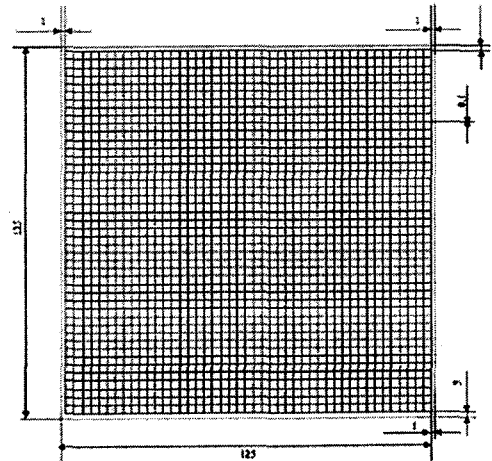


Fig. 2 전면 Silver 전극 pattern

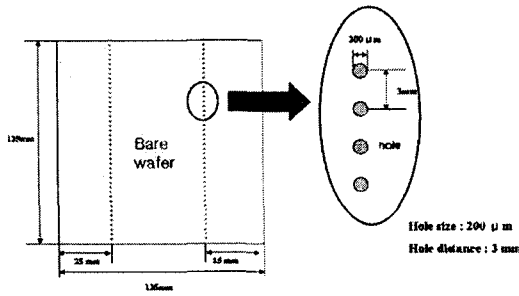


Fig. 3 Hole가공 spec

2.2 후면전극 패턴

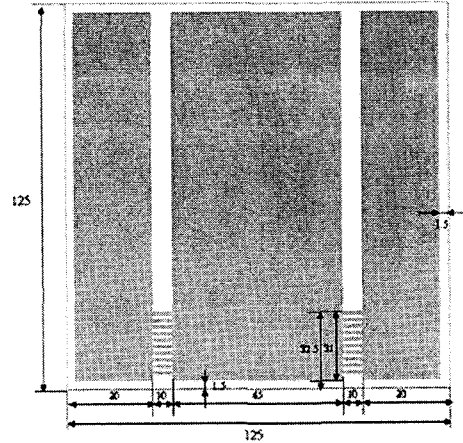
후면전극의 전극설계의 핵심은 후면에 (+), (-) 전극 모두가 존재하므로, 최적의 면적 비율로 위치를 나누고 두 전극사이의 간격을 설정해야 한다. 하지만 (+) 전극으로 사용되는 Al 전극은 열처리 후에 형성되는 Al-Si alloy가 후면전계(back surface field)의 역할을 하여 효율 향상에 도움을 주므로 Al 전극의 면적을 최대화해야 높은 효율을 얻을 수 있다. 전극면적을 확보하기 위해 간격을 줄이면, 식각으로 양 전극을 분리한다고 해도 실리콘 기판을 통해 누설전류가 발생하게 된다. 따라서 전극 면적 확보와 shunt 저항 확보를 위해 최적의 거리를 전극 설계에 반영해야 한다. 그러나 (-) 전극 면적이 크게 작아질 경우 전극 저항이 커져 전기적 손실이 커지므로 적절한 분배가 필요하다. 일반적으로 솔더링을 고려하여 (-) 전극은 두 줄의 pad 형태이므로 (+) 전극은 3등분된다. 하지만 (+) 전극도 하나의 전기적 준위를 갖기 위해서로 연결 돼야 한다. 본 연구에서 사용된 후면의 (+)전극의 Al과 (-)전극의 Ag 패턴을 각각 그림 4 (a)와 (b)에 표현하였다.

3. 태양전지 제작

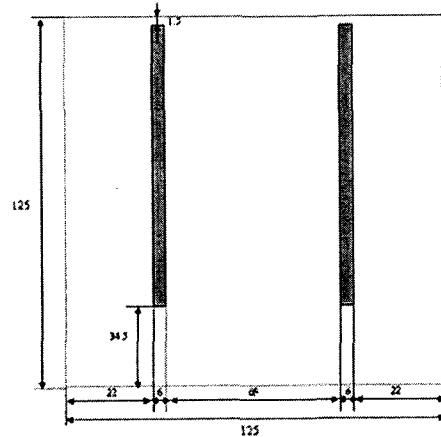
3.1 Laser drilling 공정개발

MWT 태양전지는 전면 전극과 후면 버스바가 연결된 구조를 갖고 있으므로 연결 통로인 hole의 형성이 필수적이다. 실리콘 기판의 두께가 300 μm인 경우 부서지기 쉬우므로 기계적인 방법보다는 고풍력 레이저를 이용하여 순식간에 형성하는 것이 기판 파손 우려가 적을 뿐 아니라 양산측면에서도 유리하다. Fig. 5는 280 μm 실리콘 웨

이퍼에 직경 150 μm의 hole을 가공한 결과이다. 0.4초 이하의 짧은 시간에 하나의 hole 가공이 가능하며, 작업 시 발생하는 용융되어 증발하는 실리콘 파편들은 레이저 헤드 및 작업대의 배기구를 통해 흡입되므로 웨이퍼 상에 잔류물(debris)이 남아 있지 않음을 확인할 수 있었다.



(a) (+)전극 aluminium pattern



(b) (-) 전극 silver pattern

Fig. 4 후면의 전극패턴

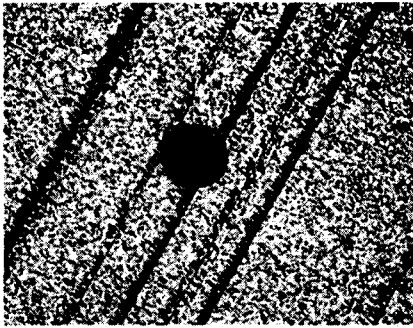
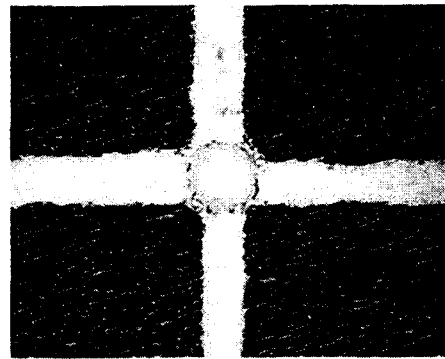


Fig. 5 High power laser에 의해 형성된 hole의 광학 사진. 홀 직경 약 150 μm .



(b) 전면전극 printing 결과후 전면사진
Fig. 6 다결정 실리콘기판위에 Inter-connection printing의 결과

3.1 Printing 공정 개발

전극이 기판의 전 후면에 동시에 존재하는 MWT 태양전지의 전면에서 수집된 전자는 전면의 금속전극선과 hole을 통해 후면의 버스바로 전달된다. 이러한 전류의 흐름이 원활히 이루어지기 위해서는 전면의 금속전극선과 후면의 버스바가 hole을 통해 연결되어야 한다. 이를 inter-connection printing이라고 하며, 이를 위해서는 우선 hole과 finger line이 정렬되어야 하고, printing시 hole에 금속 페이스트가 채워져야 한다. Hole과 금속선의 정렬 방법으로는 hole과 금속선의 정렬 위한 align mark를 이용하거나 hole 가공시의 정렬 기준과 printing 공정시의 정렬 기준을 일치시키는 두 가지 방법이 있다.



(a) Wafer 후면 Ag 전극 printing후 전면사진

Hole을 금속 페이스트로 채우기 위해서 후면의 Ag pad printing의 조건을 이용하여 해결하였다. 페이스트가 hole에 채워지려면 점도가 있는 페이스트가 충분한 시간을 갖고 hole 안쪽으로 흘러들어가는 printing 조건이 되어야 한다. 또한 사출되는 양도 많아야 한다. 하지만 전면 finger printing의 경우 사출되는 양이 많아질 경우 선폭이 넓어지는 문제가 발생하고, 이 조건은 광손실이 증가하여 이용할 수 없었다. 따라서 후면 pad printing시 snap-off와 squeeze의 속도를 최소로 하여 printing 하였다. 그 결과 hole의 대부분이 페이스트로 충전되는 결과를 얻었다. 이후 전면의 금속선과 hole의 정렬은 별도의 alignment mark 없이 두 번째 방법을 이용하여 이 문제를 해결하였다.(Fig. 6) 금속전극의 선폭은 140~160 micrometer였다.

3.2 태양전지의 제조

다결정 실리콘 기판을 사용하여 Fig. 6과 같이 hole 가공을 한 후 태양전지를 제작하였다. 태양전지의 제조공정은 damage remove, 인(phosphorus)의 확산, 실리콘 질화막의 증착, 금속전극 형성의 순서로 이루어진다. 위의 그림에서 제시하였듯이 hole간 간격은 3mm, 후면의 silver pad의 간격은 6mm, 전면 finger는 격자무늬로 간격 3mm, 선폭 150 micrometer였다. 전극 printing은 후면 Ag pad, 후면 Al 전극, 전면 finger pattern의 순으로 진행하였고, paste dry 공정 후 contact firing 공정을 거쳐 셀을 완성하였다.

Table 1 제작한 후면전극형 다결정 태양전지 효율 및 parameters

Jsc [mA/cm ²]	Voc [mV]	FF [%]	효율 [%]	Pmax
31.2	608	65.4	12.28	1.93

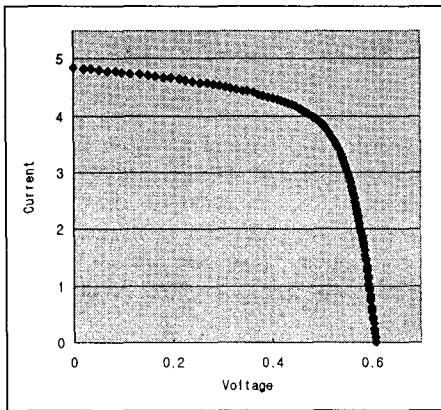


Fig. 7 제작된 MWT 태양전지의 I-V 곡선

4. 결론

기판의 품위가 떨어지는 다결정 실리콘 기판을 이용하여 후면전극형의 MWT 태양전지를 제조하였다. MWT 태양전지의 제조를 위한 전극설계를 완료하였으며, 스크린 인쇄공정을 이용하여 전면의 전극선과 후면의 버스바를 직경 150 μm의 hole을 이용하여 연결하는 공정을 개발하였다. MWT 태양전지 구조로 처음 제작된 태양전지의 제작결과가 12.28%의 변환효율을 보여주었다. 이는 일반적인 다결정 태양전지의 변환효율(15% 내외)보다 낮은 수치이고, I-V 특성곡선으로부터 shunt resistance가 낮은 것이 주요 요인이다. 이는 후면에서 두 전극간의 isolation이 제대로 이루어지지 않은 결과로 판단되며, isolation이 제대로 이루어지고 전극설계를 최적화하면 효율이 대폭 향상될 것으로 예상된다. 특히, 전면전극의 grid 폭을 조절하여 shading loss를 줄이면 더욱 높은 변환효율이 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업자원부 신재생에너지기술개발사업의 지원을 받아 이루어졌습니다.

References

- [1] A. Schönecker, D. Eikelbom, P. Manshanden, M. Goris, P. Wyers, S. Roberts, T. Bruton, W. Jooss, K. Faika, A. Kress, R. Kirhn, W. Neu, H. Knauss, P. Fath, F. Ferraua, R. V. Nacci, E. Van Kerschaver, S. De Wolf, J. Szlufcik, O. Leistiko, A. Jmgensen, S. W. Glunz, J. Dicker, D. Kray, J. Sölter, S. Schäfer, 2002, Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp.106-109, IEEE
- [2] E. Van Kerschaver, C. Allebè, B. Devreese, L. Frisson, J. Szlufcik, 2002, Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp.78-81, IEEE
- [3] E. Van Kerschaver, S. De Wolf, J. Szlufcik, 2000, Proceedings of 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 209-212, IEEE