

Screen printing 태양전지를 위한 Ag 전면전극과 Al 후면전극의 연구

김도완, 이현우, 이은주, 이수홍
 세종대학교 전자공학과

Investigation of Ag front contact and Al back contact for screen printing solar cells

Do-Wan Kim, Hyun-Woo Lee, Eun-Joo Lee and Soo-Hong Lee
 Depart. of Electronics Engineering, Sejong Univ.

Abstract : 일반적으로 screen printing 전극은 양산용 태양전지에 많이 응용되고 있다. 이것은 공정이 진공상태 내에서 이루어지지 않으므로 비교적 간단하게 증착 가능하고, co-firing으로 인한 공정단계의 합축과, 기관의 화학적인 오염이 적으며, 시료를 용도에 따라 다양하게 선택적으로 사용할 수 있고, 많은 수량의 태양전지에 전극을 저비용으로 빠르게 형성할 수 있기에 throughput이 높은 장점이 있다. 하지만 lithography에 의한 전극보다 저항이 높고, uniformity가 낮은 단점이 있다. 본 연구에서는 Ag 전면전극과 Al 후면전극을 형성하고 conventional furnace에서 co-firing하여 열처리조건에 따라서 전극이 최적화된 가장 낮은 저항을 갖도록 하여 단점을 개선하여 보았다.

Key Words : solar cell, screen printing, metal contact, co-firing process

1. 서 론

실리콘 태양전지에서 전극은 전기적인 성능에 핵심을 이루는 부분 중 하나이다. 그 성능은 태양전지의 효율에 핵심인자인 Jsc(short-circuit current density)와 Voc(open circuit voltage), 그리고 FF(fill factor)에 주요변수가 된다. 다양한 전극형성 process 중에서 screen printing process는 비교적 그 공정이 간단하며 저비용의 장점이 있어, 양산용 태양전지에 일반적으로 많이 사용하고 있다[1].

Screen printing은 전극의 ohmic 효과를 높이기 위하여 실리콘과 후면전극 사이의 접합면에 고농도 불순물 도핑 효과를 가져오는 Al BSF(back surface field) 형성[2]에 적합하고, emitter에 직접적으로 연결되는 전면전극은 용도에 따른 paste conductor를 선택하여 ARC(anti-reflection coating)를 병행할 수도 있다. 또한, 기관에 직접적으로 화학적인 공정이 수반되지 않으므로 일반적인 lithography에 따른 화학적 오염에 대한 위험이 없다[1]. 게다가 빠르게 많은 수량의 전극을 printing할 수 있고 co-firing[3]으로 양면전극을 동시에 열처리공정을 할 수 있기 때문에 양산용 태양전지의 throughput에 크게 기여한다.

일반적으로, firing process는 belt-in furnace에서 이루어 지는데, 본 연구에서는 screen printing process로 형성한 전극이 conventional furnace를 이용하여 보다 간결한 공정으로 열처리조건을 잡았다. 이것에 의하여 충분한 ohmic의 역할을 하기 위해 적절한 저항을 갖는 상태[4]가 되고 구조적으로 BSF형성과 안정화된 상태를 만들게 되어 태양전지의 emitter 전면과 substrate 후면에 얼마나 효과적으로 응용될 수 있는가를 알아보았다.

2. 실험

본 실험은 4inch 단결정 Cz p-type (100), resistivity

0.4~1.0Ωcm의 실리콘 기판에 19~20Ω/sq(avg.)의 n+/p emitter를 diffusion process로 형성한 뒤, 그 전후면에 반자동식 screen printer를 이용하여 전극을 형성하였다. 전체적으로 크게 3가지 단계의 process를 거쳐서 전극을 형성하는데, 먼저 후면전극을 형성하여 두 번째 단계까지 진행한 뒤, 다시 처음단계부터 시작하여 전면전극을 형성하고 마지막단계까지 진행하여 공정을 마무리하게 된다. 3단계 과정은 다음과 같이 이루어진다.

먼저 1단계인 indirect printing process는 squeeze를 이용해 mask를 통해 paste가 기판에 물리적으로 직접 전사되는 과정이다. 표 1의 최적화된 공정조건으로 진행하였다. 다음 2단계로 drying process는 paste 상태의 전극형상을 고정시키고 경화를 시키기 위하여, exhaust box내 hot plate에서 대기상태에 Al 후면전극은 275℃로 25초 진행하고 Ag 전면전극은 275℃로 18초를 진행하였다. 이는 변형과 오염을 줄이기 위하여 1단계 직후 이루어져야만 한다. 마지막 3단계인 firing process는 이어서 시편을 15mm×15mm 크기의 미소면적으로 나누고, 각각을 conventional annealing furnace를 이용하여 700~800℃에서 10℃간격, 그리고 N₂ gas 4ℓ/min의 분위기로 1~10분의 시간범위에서 2~3분 간격으로 나누어 co-firing하였다.

표 1. direct printing condition

	Ag front contact	Al back contact
paste model	Ferro 33-462	Ferro 53-100
squeeze shore	60(yellow)	
mask to squeeze	17.0mm	
mask to substrate	5.0mm	
paste viscosity	1200-1600poise	300-500poise
printer speed	50mm/sec	
mask mesh	500mesh	200mesh
printed thickness	17-20μm	30-40μm

전극형성이 끝난 후, 구조적인 test를 위해 taping test, 금속현미경, SEM(scanning electron microscope)로 측정하였고, 전기적인 test를 위해 4-point probe로 평가를 하였다.

3. 결과 및 고찰

먼저 구조적인 test를 한 결과를 살펴보면, taping test에서 760~800°C의 온도범위에서 1분 동안 co-firing을 한 시편들은 부분적으로 전극의 박리가 일어났다. 그 외의 나머지 경우들은 모두 단단히 고정되어 아무런 문제가 나타나지 않았다. 박리가 나타난 시편들은 검토해본 결과, 일정온도 이상에서 짧은 시간의 열처리과정에서는 quartz boat가 접촉부의 복사열을 뺏으면서 열의 분포가 고르지 못하여 생기는 문제로 판단되었다.

그림 1.a)는 최적화된 전극의 단면을 금속현미경을 이용하여 500~1,000배로 관찰한 모습이다. 750°C에서 5~10분의 열처리된 전극의 표면은 많은 양의 불순물이 날아간 뒤 금속의 고유광택과 수십 μm의 덩어리를 형성하는 모습이 나타나며, 전면전극은 9~12 μm, 후면전극은 30~40 μm의 두께를 유지하는 결과를 볼 수 있었다.

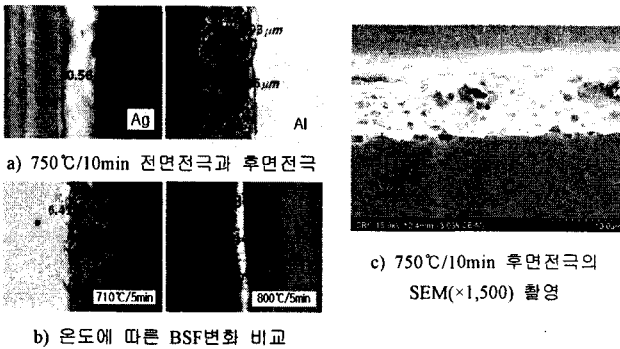


그림 1. 시편 단면의 측정 결과

그림 1.b)는 실리콘표면이 열처리로 인해 conductor가 drive-in되면서 bulk영역이 만들어지면서 형성되는 BSF의 외형변화를 보여주고 있다. 700°C에 가까울수록 BSF는 띄엄띄엄 일정하지 않게 형성되었으나 750°C이상부터 800°C로 갈수록 BSF는 깊어지며 3~4 μm의 깊이로 고르게 분포되는 모습을 확인할 수 있었다. 또한 그림 1.c)의 SEM 측정결과에서는 후면전극이 표면에 자리 잡은 모습을 보여주며, 10%미만의 오차범위로 전극의 uniformity가 안정화된 것을 볼 수 있다.

전극이 ohmic 효과가 좋기 위해서는 낮은 저항 값을 가져야한다[4]. 그림 2는 후면전극을 4-point probe로 측정한 결과이다. 전체적으로 10분 공정으로 갈수록 저항이 낮아지는 경향을 보였으며, 10분을 초과하여 열처리를 할 경우, 전극이 변질되어 측정이 불가능했다. 후면전극은 750°C/10min 조건에서 14mΩ/sq로 가장 낮은 면저항이 나타났다. 전면전극은 전반적인 온도에서 2.0~2.2[mΩ/sq]의 면저항이 측정되었다.

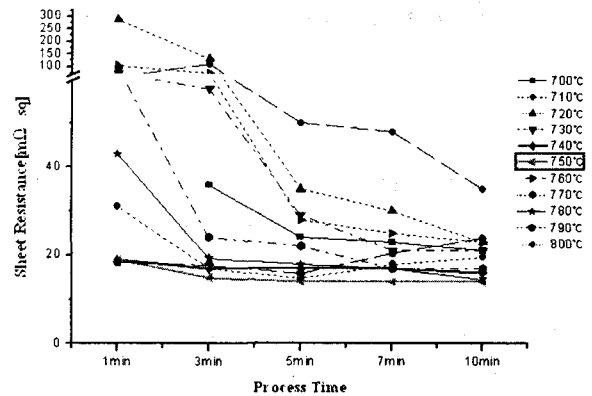


그림 2. AI 후면전극의 열처리조건별 면저항 분포

4. 결론

일반적으로 screen printing에 의해 만들어진 Ag 전면전극과 AI 후면전극의 면저항은 각각 0.3~3mΩ/sq, 15mΩ/sq 값을 갖는다[1]. 본 연구에서는 2mΩ/sq와 약 14mΩ/sq의 안정적인 결과를 얻어내는데 성공적이었으며, 구조적으로도 각각 9~12 μm와 30~40 μm의 두께를 가지며, 표면이 비교적 uniform하며 단단히 고정된 전극과, 비교적 고르게 분포된 3~4 μm 두께의 안정된 AI BSF가 얻어졌다. 이는 열처리에 의해 의존되며, 최종적으로 최적화는 750°C/10min의 co-firing process로 이루어졌다.

screen printing process에서 전극은 belt-in furnace를 이용하여 열처리하는 것으로 보편화되어있다. 하지만 본 연구에서는 conventional furnace를 이용하여 co-firing을 하였기 때문에, 보다 공정횟수가 적고 간결하며, 비교적 짧은 공정시간과 저비용 공정으로써 생산성이 매우 높은 장점을 살려 최적화되었기 때문에 그 의미가 크다고 볼 수 있다. 전극의 uniformity와 line resolution의 보완에 대한 연구를 지속하여 태양전지에 적용시킨다면 태양전지의 생산성과 성능개선에 높게 기여할 것으로 전망된다.

감사의 글

본 과제는 서울시 산학연 협력사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] P. Doshi, J. Mejia, K. Tate, and A. Rohatgi, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 44, No. 9, p. 1417-1424, 1997.
- [2] A. Kaminski et al., Solar Energy Materials & Solar Cells 72, p. 373-379, 2002.
- [3] Michael L. Timmons et al., The 24th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p. 111~114, 2004.
- [4] C. Ballif et al., Applied. Physics Letters, Vol. 82, No. 12, p. 1878-1880, 2003