

태양전지를 위한 다양한 표면 패시베이션(passivation)막들의 연구

이지연*, 이수홍**

성진세미텍 (주) 태양전지 연구 개발 센터*, 세종대학교 전자공학과 전략에너지 연구소**

Investigation of varied surface passivation layers for solar cells

Ji Youn Lee*, Soo Hong Lee**

Photovoltaics R&D Center, Sungjin Semitech Co*.,

Strategic Research Energy Center, Dept. of Electronics Engineering, Sejong University**

Abstract

In this work, we have used different techniques for the surface passivation: conventional thermal oxidation (CTO), rapid thermal oxidation (RTO), and plasma-enhanced chemical vapour deposition (PECVD). The surface passivation qualities of eight different single and combined double layer have been investigated both on the phosphorus non-diffused p-type FZ silicon and on phosphorus diffused emitter of 100 Ω /Sq and 40 Ω /Sq. In the single layer, silicon dioxide (SiO_2) passivates good on the emitter while silicon nitride (SiN) passivates better than on the non-diffused surface. In the double layers, CTO/ SiN 1 passivates very well both on non-diffused surface on the emitter. However, RTO/ SiN 1 and RTO/ SiN 2 stacks are more suitable for surface passivation in solar cells caused by a relatively good passivation qualities and the low optical reflection. Applying these stacks in solar cells we achieved 18.5 % and 18.8 % on 0.5 Ω cm FZ-Si with planar and textured front surface, respectively. The excellent open circuit voltage (V_{oc}) of 675.6 mV is obtained the planar cell with RTO/ SiN stack.

Key Words : Passivation, SiO_2 , SiN , SiO_2/SiN stacks, Solar cells

1. 서론

고효율의 태양전지를 제작하는데 있어서 중요한 기술 중에 하나가 표면의 recombination을 적게 하여 높은 lifetime을 갖도록 하는 것이다. 가장 일반적으로 사용하는 표면 passivation막으로는 실리콘 산화막 (SiO_2)와 질화막 (SiN)이 있다. 실리콘 산화막을 형성하는 방법으로는 CTF (Classical Thermal Furnace)를 이용한 CTO (Classical thermal oxidation)와 RTP (Rapid Thermal Processing)를 이용한 RTO (Rapid thermal oxidation)가 있다. CTO는 주로 고효율의 태양전지 제작에 이용하고 있으며[1,2] RTO는 실행온도

가 매우 짧으면서도 passivation 효과도 큰 것으로 알려져 있다 [3]. 그러나, 실리콘 산화막은 주로 고온에서 처리해야 하는 단점이 있다. 실리콘 질화막은 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)을 이용하여 증착시키는데 실행온도가 낮고 (~ 400 $^{\circ}\text{C}$)이고 증착시간도 비교적 빨라서 대량생산을 목적으로 하는 산업용으로 많이 쓰이고 있다 [4].

본 연구에서는 CTO, RTO와 PECVD를 이용한 다양한 passivation막들의 특성을 살펴보고 이중에서 태양전지에 적합한 막을 선택하여 태양전지를 직접 제작하였고 측정된 parameter들을 비교하고 분석하였다.

2. 실험

2.1 기관 준비와 lifetime 측정

이 실험에 사용한 기관은 4 inch FZ(Float Zone) 1.0 Ωcm 실리콘이다. RCA cleaning 과정을 걸친 기관을 CTO, RTO와 PECVD방법을 이용하여 만든 실리콘 산화막이나 질화막을 인(phosphorus)이 doping 되기 않은 또는 인을 도핑 시킨 기관위에 증착시켰다. passivation의 효과를 증가시키기 위해서 400 °C의 Forming gas (95 % N₂ + 5 % H₂)에 25 분간 후열처리를 했다. Effective lifetime은 MW-PCD (Microwave-detected Photo Conductance Decay)를 이용하여 측정하였다. Effective lifetime을 측정하는 방법은 다음식과 같다.

$$\frac{1}{\tau_{eff}} = \frac{1}{\tau_b} + \left(\frac{W}{2S} + \frac{1}{D_n} \left(\frac{W}{\pi} \right)^2 \right)^{-1}$$

여기서 W는 기관의 두께를, D_n는 분산 계수(Diffusion coefficient)를 의미한다. τ_{eff}와 τ_{bulk}는 각각 effective lifetime과 bulk lifetime을 의미한다. 실험에서 사용한 기관의 bulk lifetime은 2000 μs 이다.

2.2 태양전지제작

그림 1은 본 연구과정에서 제작한 태양전지공정 과정을 보여준다. 크기가 4 inch인 원형 0.5 Ωcm FZ 실리콘 기관을 태양전지 제작에 사용하였다. Invert pyramide 모양으로 texturing한 기관위에 120 Ω/Sq.의 에미터를 형성하였다. RTO를 이용하여 만든 10 nm 두께의 산화막으로 emitter와 후면에 passivation한 다음 PECVD로 실리콘 질소막을 다시 산화막위에 증착시켜 이중층을 형성하였다. PECVD로 금속전극 부분을 에칭(etching)한 다음 전면 금속전극은 Ti/Pd/Ag로 증착시키고 후면은 Aluminium으로 증착시켰다. 금속과 반도체와의 접촉저항을 줄이기 위해서 310 °C에서 25분간 후열처리를 한 다음 빛의 반사를 줄이기 위해서 다시 한번 MgF₂를 표면에 증착시켰다.

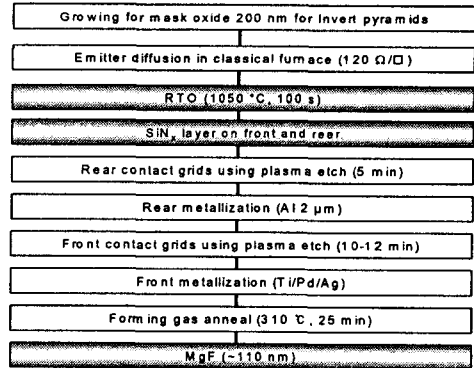


그림 1. RTO/SiN 이중층으로 passivation된 PERC 태양전지의 공정과정

3. 결과 및 고찰

3.1 p-type silicon위에서의 effective lifetime

그림 2는 8개 종류의 단층(single layer) 산화막과 질소막 그리고 산화막과 질소막의 이중층(double layer)으로 passivation된 1 Ωcm FZ-Si의 effective lifetime을 보여준다. 단층막에서 실리콘 질소막이 산화막보다 FZ 실리콘 표면을 더 잘 passivation한다. 실리콘 질소막이 p-type 기관 표면을 더 잘 passivation하는 것은 증착과정에서 수소에 의해 높아진 양전하의 (positive charge)밀도가 에너지 밴드를 invert시키고 양전자를 표면에서 밀어내어 전자와 양전자가 결합하는 재결합(recombination)의 빈도를 줄이게 하기 때문이다.

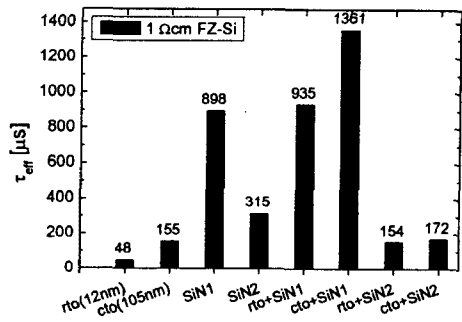


그림 2. 여러 가지 다양한 passivation 막들의 1 Ω cm p-type FZ 실리콘 기관위에서의 effective lifetime

다층막에서는 SiO₂/SiN1막이 SiO₂/SiN2막보다 훨씬 높은 passivation 효과를 보여준다. 다층막인 경우 각 단층의 passivation이 좋은 CTO/SiN1이 1360 μs로 가장 높은 effective lifetime값을 보여준다.

3.2 Emitter위에서의 effective lifetime

그림 3에서 100 Ω/Sq.와 40 Ω/Sq.인 emitter를 passivation한 경우의 effective lifetime을 보여준다. 표면 저항이 100 Ω/Sq. emitter 표면에서 실리콘 산화막은 p-type 기판표면과 비교할 때 emitter 표면을 더 잘 passivation 한다. RTO와 CTO에 의한 산화막으로 passivation된 emitter에서의 effective lifetime은 p-type 기판에서보다 각각 4배와 2배 증가하였다. 반면, 질화막은 p-type 실리콘 표면에서보다 emitter 표면에서 passivation 효과가 3배 이상 감소했다. Emitter 표면에서 SiO₂/SiN1 이중층은 passivation 효과가 p-type 표면에서 보다 3배 이상 줄어든 반면 SiO₂/SiN2는 오히려 2배 이상 증가 하였다. 그러나 표면 저항이 높은 40 Ω/Sq.에서 passivation 막의 종류와 상관없이 낮은 passivation 효과를 보였다. 표면에서 높은 doping 농도(concentration)를 가지는 경우 Auger recombination이 지배적으로 작용하여 lifetime을 낮게 한다. 또한, 빛의 반사율은 단층 질화막 SiN2와 RTO/SiN2인 경우 각각 12 %와 13 %로 낮게 측정되었고 passivation 효과가 좋은 CTO/SiN1과 CTO/SiN2막은 반사율이 50 %이상인 것으로 측정 되었다.

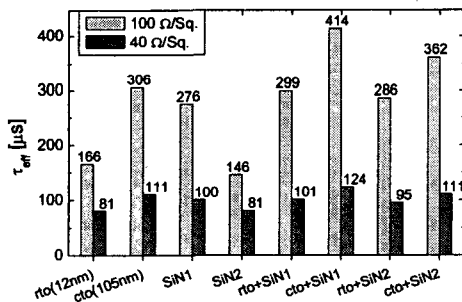


그림 3. 여러 가지 다양한 passivation 막들의 100 Ω/Sq. 와 40 Ω/Sq. emitter 위에서의 effective lifetime

3.3 태양전지 결과

앞에서 실험한 lifetime과 반사율의 실험 결과로부터 태양전지에 적합한 passivation막들 중에서 반사율은 비교적 높고 passivation 효과도 큰 RTO/SiN1은 태양전지 후면에, 반사율은 적고 pasivation 효과는 좋은 RTO/SiN2는 태양전지 전면에 증착시켰다. 표 1은 이 실험에서 제작한 다양한 형태의 태양전지들에 대한 측정 결과들을 보여준다. 전면과 후면을 CTO 방법으로 passivation한 전지인 NRP2 2_4와 No51_5는 reference 태양전지이다.

표 1. 태양전지의 다양한 구조와 실험 결과

Cell	No2_3	No8_2	NRP2 2_4	No51_5
Resistivity [Ω cm]	0.5	0.5	0.5	0.5
Front structure	planar	Invert pyramids	planar	Invert pyramids
Front passivation	RTO/SiN2/MgF	RTO/SiN2/MgF	CTO	CTO
Rear passivation	RTO/SiN1	RTO/SiN1	CTO	CTO
Contact grids	Plasma etch	Plasma etch	Chemistry etch	Chemistry etch
V _{oc} [mV]	675.6	662.4	678.5	675.7
J _{sc} [mA/cm ²]	35.1	36.8	32.3	37.9
Fill Factor [%]	78.1	77.2	80.7	80.6
η [%]	18.5	18.8	17.7	20.1

Texturing이 되지 않은 평평한 전지인 경우 산화막과 질소막으로 전면과 후면을 passivation한 RTO/SiN stack전지가 18.5 %로 CTO reference 전지의 효율보다 높게 나타났다. 개방전압 (open-circuit voltage) V_{oc}는 3.0 mV 정도 낮지만 단락전류 (short current density) I_{sc}는 1.9 mA/cm² 증가 하였다. 이 결과는 RTO/SiN2/MgF₂의 반사율이 CTO막보다 적어 많은 빛을 흡수하기 때문이다.

Texturing된 태양전지인 경우, RTO/SiN전지가 CTO 전지보다 parameter값들이 낮게 측정되었다. 특히 V_{oc}와 FF (fill factor)는 상당히 낮은 값을 나타내었다. 감소의 원인을 찾기 위해 RTO/SiN전지와 CTO전지의 파장에 따른 EQE (external quantum efficiency)와 IQE (internal quantum efficiency)를 측정하여 그림 4에 나타내었다. RTO/SiN 전지를 보면 파장이 700 nm인 곳에서부터 IQE 곡선이 CTO 전지보다 낮기 시작하는데

이 구간은 전지의 bulk lifetime과 관련된 구간이다. IQE 곡선으로부터 분산 길이 (diffusion length) L_{eff} 을 계산한 결과 RTO/SiN 전지는 270 μm 에서 370 μm 를 CTO cell은 1120 μm 에서 1250 μm 로 나타났다. 분산길이의 감소는 parasitic shunt와 관계있는 것으로 추정된다 [5, 6]. 이 parasitic shunt는 산화막인 경우에는 표면 위 양전하가 많이 분포되어 있지 않아 효과가 없지만 질화막인 경우는 표면에 분포되어 있는 양전하에 의해 에너지 밴드가 inversion되어 전자가 표면에 많이 쌓이게 되고 이 전자들이 n+층처럼 작용하게 된다. 이 n+층과 금속사이의 parasitic shunt가 V_{oc} , J_{sc} , and FF을 감소시키는데 중요한 역할을 한다고 생각되어 진다.

4. 결론

본 연구에서 여러 가지 다양한 종류의 passivation막에 대한 성질을 알아보았다. 실리콘 산화막은 emitter 표면을 p-type 실리콘 표면보다 더 잘 passivation하고 반면 실리콘 질화막은 p-type 실리콘 표면을 emitter 표면보다 더 잘 passivation하는데 효과적인 것으로 나타났다. 또한 산화막과 질화막을 겹쳐 증착시킨 이중층인 RTO/SiN을 이용한 경우는 p-type과 emitter 표면에서 좋은 passivation 효과를 보여주었다. 태양 전지에 이 RTO/SiN을 이용한 경우 texturing이 없는 평면인 전지에서 18.5 % 효율을 texturing이 있는 전지에서는 18.8 %의 높은 효율을 보여주었다.

감사의 글

이 실험에 도움을 준 독일 Fraunhofer for solar energy systems 연구소의 Stefan Glunz에게 감사드린다.

참고 문헌

- [1] M. A. Green, A. W. Blaker, S.R. Wenham, S. Narayanan, M. R. Willson, et. al., 18th IEEE PVSEC, 1985, p61
- [2] J. Knobloch, S. W. Glunz et al., 25th IEEE PVSC, p405, 1996
- [3] P. Doshi and A.Rochatgie, IEEE Trans. Electron Devices 45, p1710, 1998
- [4] A. G. Aberle, Sol. Ener. Mater. & Sol. Cells, 65, p239, 2001
- [5] C.B. Honsberg, S. B. Ghazati, A. U. Ebong, Y. H. Tang, 25th IEEE PVSC, p401, 1996
- [6] S. Dauwe, Littelstaedt, A Metz and R. Hezel, 17th EPSEC, p339, 2001

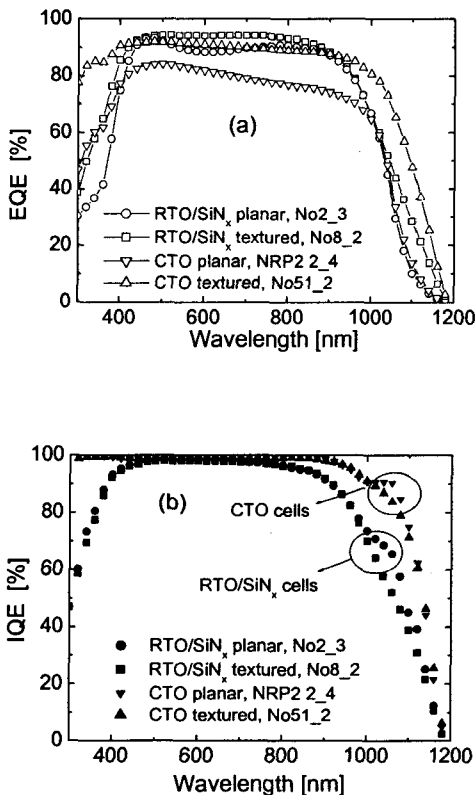


그림 4. RTO/SiN stack와 CTO 태양전지의 (a) EQE와 (b)IQE 비교