

# RTP 와 PECVD을 이용한 저가의 표면 passivation 막들의 특성연구

이지연\*, 이수홍\*\*

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

## Cost-effective surface passivation layers by RTP and PECVD

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 investigated the application of rapid thermal processing (RTP) and plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD) for surface passivation. Rapid thermal oxidation (RTO) has sufficiently low surface recombination velocities (SRV)  $S_{eff}$  in spite of a thin oxides and short process time. The effective lifetime is increasing with an increase of the oxide thickness. In the same oxide thickness, The effective lifetime is independent on the process temperature and time.  $S_{eff,max}$  is exponentially decreased with increasing oxide thickness.  $S_{eff,max}$  can be reduced to 200 cm/s with only 10 nm oxide thickness. On the other hand, three different types of SiN are reviewed. SiN1 layer has a thickness of about 72 nm and a refractive index of 2.8. Also, The SiN1 has a high passivation quality. The effective lifetime and SRV of 1  $\Omega$  cm Float zone (FZ) silicon deposited with SiN1 is about 800 s and under 10 cm/s, respectively. The SiN2 is optimized for the use as an antireflection layer since a refractive index of 2.3. The SiN3 is almost amorphous silicon caused by less contents of N2 from total process. The effective lifetime on the FZ 1  $\Omega$ cm is over 1000  $\mu$ s.

**Key Words** : Passivation, SiO<sub>2</sub>, SiN, RTP, Solar cells

### 1. 서 론

에너지 자원이 부족한 우리나라에서 최근 대체 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 그중에 하나가 바로 태양에너지를 전기에너지로 직접 변화시키는 장치인태양전지이다. 태양전지는 무공해 청정에너지이며 시스템 구성이 간편하고 반영구적인 수명을 가진다. 이 장점들에도 불구하고 태양전지의 시장 성장이 늦어지는 이유는 제조단가가 다른 에너지원 보다 비싸기 때문이다. 이 제조단가를 낮추는 것이 앞으로 우리가 해야하는 과제이다. 제조단가를 낮추는 방법으로는 다결정용 실리콘 재료의 사용, 대량생산, 태양전지의 효율 증가 등이 있다. 태양전지

의 효율을 증가하는 방법에서 주목할만한 방법 중에 하나가 표면 패시베이션 (surface passivation) 이다. 고효율의 태양전지 생산에 사용한 정통적인 표면 패시베이션 방법은 CTP(Classical Thermal Passivation)을 이용한 실리콘 산화막 (SiO<sub>2</sub>)이다. 이 방법으로 태양전지의 효율을 20 % 올릴 수 있었다 [1]. 그러나 이 방법은 고온에서 오랜 시간동안 처리하여야 하기 때문에 대량생산의 어려움이 있고 단결정 실리콘인 경우는 큰 문제가 없으나 다결정 태양전지에서는 오히려 내부에 있는 오염물질 (contamination)을 고온에서 활성화시켜 기판 (wafer)의 lifetime을 감소시켜 효율을 떨어뜨리는 단점이 있다.

이런 단점의 보완하는 passivation으로 대두된 방법이 바로 RTP (Rapid Thermal Processing) 을 이용한 실리콘 산화막과 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)을 이용한 산화 질소막 (SiN)이다. RTP는 열원으로 할로젠 램프를 사용하므로 공정온도를 급속도로 빠르게 온도를 올릴 수 있어서 공정시간 또한 단축시킬 수 있다 [2,3]. 반면, PECVD는 공정 온도가 상당히 낮고 (300~500 °C) 공정시간도 비교적 짧다 [4]. 본 연구에서는 저가 대량생산에 적합한 이 두 방법을 이용한 표면 passivation의 성질을 살펴 보았다.

## 2. 실험

### 2.1 RTP을 이용한 SiO<sub>2</sub>

그림 1은 이 실험에서 사용한 RTP furnace의 평면도를 보여준다. 이 furnace는 대기압에서 작동하며 reactor는 빛의 반사도를 높이기 위해 금으로 도금하였다. 1.5 kW짜리 텅스텐 할로젠 lamp를 heating 재료로 사용하여 온도를 단시간에 올릴 수 있도록 하였다. 실험에 사용하는 가스들인 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 또는 Ar 등은 뒤쪽에서 앞쪽으로 흐르게 하였다. 기판은 4인치까지 공정이 가능하다. 공정 온도(Process temperature) 측정은 Pyrometer나 Thermocouple wire로 할 수 있도록 되어 있다. Pyrometer는 파수가 2.7 μm인 wave를 이용하여 온도를 측정한다. 본 연구에서는 ramping up과 down 속도를 50 °C/s로 고정시키고 rapid thermal oxidation (RTO)을 위한 실험 온도의 변화 범위는 900~1050 °C이고 실행시간은 60~180 s로 하였다.

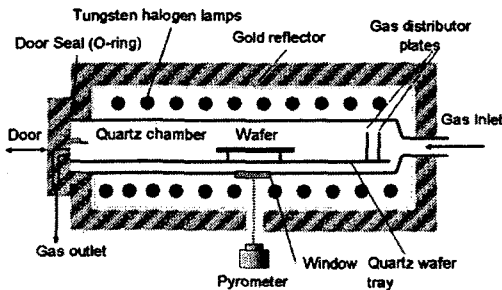


그림 1. RTP furnace의 단면도

### 2.2 PECVD을 이용한 SiN

그림 2은 SiN막을 공정하는데 사용한 PECVD의 단면도이다. 이 PECVD의 reactor 크기는 10 inch 이고 가스들을 플라즈마 상태로 만드는데 진동수가 13.56MHz인 에너지원을 사용하였다. 흘러주는 가스의 종류와 양에 따라 만들어진 SiN막의 성질이 달라진다. 이 실험에서 가스들의 양과 power를 변화시키면서 세 종류의 SiN막의 특성을 조사하였고 표 1에 SiN막을 만드는데 사용한 공정 가스들과 Parameter들의 변화범위를 표시하였다.

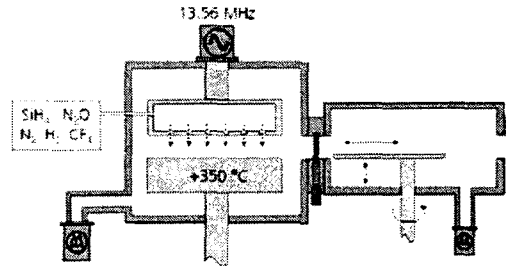


그림 2. SiN에 사용되는 PECVD의 단면도

표 1. 다른 성질을 가지는 3 종류의 실리콘 질화막 (SiN)에 사용한 매계변수(Parameter)의 변화 범위

Parameter	Ranges
process Temperature [°C]	350
SiH <sub>4</sub> [sccm]	4-30
N <sub>2</sub> [sccm]	100-2000
H <sub>2</sub> [sccm]	300-500
Pressure [mTorr]	800
Power [W]	30-60
Time [min]	9

### 2.3 실험 준비와 lifetime 측정

이 실험에 사용한 기판은 4 inch 실리콘 FZ(Float Zone) 1.0 Ωcm이다. RCA cleaning 과정을 걸친 기판을 RTP와 PECVD에 processing한 다음 passivation의 효과를 증가시키기 위해서 400 °C의 Forming gas(95 % N<sub>2</sub> + 5 % H<sub>2</sub>)에 25분간 후열처리를 한다. Lifetime은

MW-PCD (Microwave-detected Photo Conductance Decay)를 이용하여 측정하였다. Effective lifetime을 측정하는 방법은 다음과 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 기판의 두께를, D<sub>n</sub>는 분산 계수 (Diffusion coefficient)를 의미한다. τ<sub>eff</sub>와 τ<sub>bulk</sub>는 각각 effective lifetime과 bulk lifetime을 의미한다. 실험에서 사용한 기판의 bulk lifetime은 2000 μs 이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 RTO에 의한 단층 SiO<sub>2</sub>

그림 3는 실행시간과 온도에 따른 실리콘 산화막의 두께와 그에 따르는 effective lifetime의 변화를 보여준다. 실리콘 산화막의 두께는 실행시간과 실행온도에 비례한다. 공정온도가 1050 °C 이상이고 시간이 120 s 이상이면 실리콘 산화막의 두께를 10 nm 이상 형성할 수 있음을 보여준다. Effective lifetime은 또한 실리콘 산화막의 두께에 비례한다. 실리콘 산화막이 같은 두께를 갖는 경우 실행 온도와 시간에 거의 무관하게 같은 effective lifetime을 가진다.

그림 4는 bulk lifetime을 2000 μs로 가정하였을 때의 실리콘 산화막의 두께에 따른 최고 표면재결합속도 (maximum surface recombination velocity, S<sub>eff,max</sub>)를 나타낸다. RTP에 의한 실리콘 산화막은 짧은 공정시간에도 불구하고 좋은 passivation 효과를 가진다. 산화막 두께가 7 nm 이하인 경우는 S<sub>eff</sub>가 산화막 두께에 따라 기하급수적으로 (exponentially) 감소하고 7 nm 이상인 경우는 접차적으로 감소한다. 산화막 두께가 10 nm 이상이면 S<sub>eff,max</sub>값을 250 cm/s로 낮출 수 있었다. CTO를 사용하는 경우 1050 °C에서 10 분이상의 공정시간이 소요되는 반면 RTP에서는 120 s만에 이 두께에 도달할 수 있다.

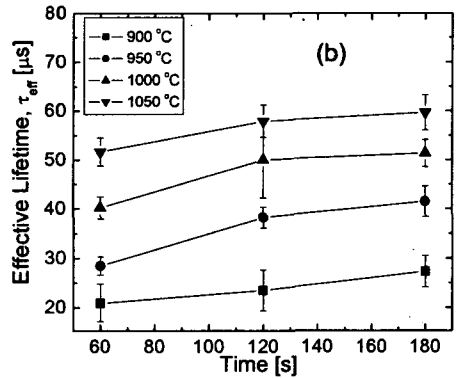
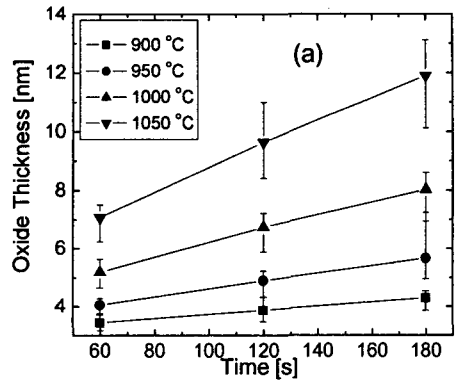


그림 3. 공정시간에 따른 (a) SiO<sub>2</sub>의 두께와 (b) effective lifetime. 사용한 기판은 FZ 1 Ωcm 실리콘이다.

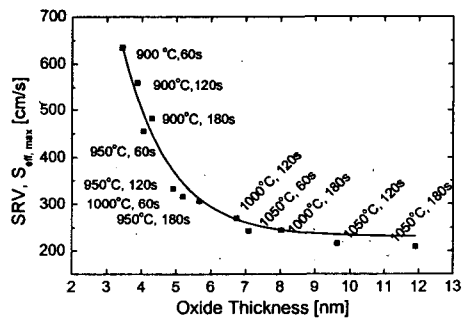


그림 4. SiO<sub>2</sub> 두께에 따른 최대 표면재결합속도 (surface recombination velocities)

### 3.2 PECVD에 의한 단층 SiN

그림 5는 이 실험에서 사용한 세 종류의 실리콘 질화막에 대한 effective lifetime을 보여준다. SiN1 질화막은 공정가스 중 SiH<sub>4</sub>를 많이 흘려 주어서 실리콘이 막에 많이 들어가 있다. SiN1 질화막의 두께는 70-74 nm이고 굴절률(refractive index)은 2.8이다. SiN1막의 effective lifetime은 900 μs에 이르고 S<sub>eff</sub>는 10 cm/s보다 낮다.

SiN2는 두께가 54 nm에서 64nm로 기판의 가운데가 바깥쪽보다 두껍게 증착되었고 굴절률은 2.2이다. SiN2의 effective lifetime은 350 μs으로 적지만 굴절률 면에서는 태양전지 제작에서 빛의 반사율을 줄이기 위해 사용하는 반사 방지막(antireflective coating)으로 적합하다.

SiN3는 N<sub>2</sub>가스를 공정과정에서 적게 사용하여 질화막이기는 보다는 amorphous 실리콘에 가깝다. 두께는 45 nm에서 56 nm이고 굴절률은 3.7로 상당히 높다. Effective lifetime은 1000 μs으로서 상당히 높은 passivation의 성질을 가진다. 태양전지 공정과정에서 꼭 필요한 후열 처리 후 effective lifetime이 100 μs로 적어져 태양전지용 passivation으로는 적합하지 않다.

소막들의 성질을 보여주었다. RTP는 120 s안에 두께가 10 nm인 산화막을 형성할 수 있으며 S<sub>eff</sub> 값도 250 cm/s까지 내릴 수 있었다. PECVD를 이용한 3가지 종류의 질화막의 특성을 보여주었다. 질화막은 낮은 온도에서 공정되며 가스의 조절에 따라 effective lifetime과 굴절률등을 조절할 수 있었다.

### 감사의 글

이 실험에 도움을 준 독일 Fraunhofer Institute 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] R. Singh, J. Appl. Phys., 63, pR59, 1988
- [3] P. Dish, J. Moschner, J. Jeong, A. Rohatgi et a., 26th IEEE PVSEC, p87, 1997
- [4] A. G. Aberle, Sol. Ener. Mater. & Sol. Cells, 65, p239, 2001

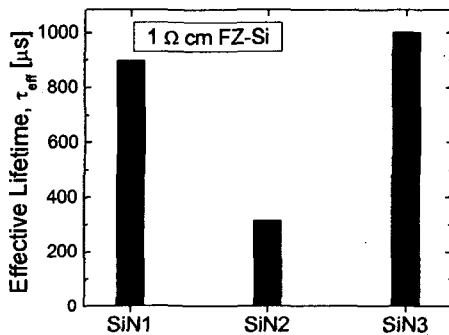


그림 5. 3가지 다른 종류의 실리콘 질화막의 Effective Lifetime

### 4. 결론

저가용 차세대 passivation 방법으로 RTP를 이용한 실리콘 산화막과 PECVD를 이용한 실리콘 질