

## 반사방지 특성을 통일시킨 실리콘 질화막 간의 패시베이션 특성 비교

김재은<sup>1</sup> · 이경동<sup>1</sup> · 강윤묵<sup>2†</sup> · 이해석<sup>1†</sup> · 김동환<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 신소재공학과, <sup>2</sup>고려대학교 KU-KIST 그린스쿨

## Comparison of Passivation Property on Hydrogenated Silicon Nitrides whose Antireflection Properties are Identical

Jae Eun Kim<sup>1</sup>, Kyung Dong Lee<sup>1</sup>, Yoonmook Kang<sup>2†</sup>, Hae-Seok Lee<sup>1†</sup> and Donghwan Kim<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

<sup>2</sup>KU-KIST Green School, Graduate School of Energy and Environment, Korea University, Seoul 02841, Korea

(Received November 5, 2015 : Revised December 21, 2015 : Accepted December 22, 2015)

**Abstract** Silicon nitride (SiN<sub>x</sub>:H) films made by plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) are generally used as antireflection layers and passivation layers on solar cells. In this study, we investigated the properties of silicon nitride (SiN<sub>x</sub>:H) films made by PECVD. The passivation properties of SiN<sub>x</sub>:H are focused on by making the antireflection properties identical. To make equivalent optical properties of silicon nitride films, the refractive index and thickness of the films are fixed at 2.0 and 90 nm, respectively. This limit makes it easier to evaluate silicon nitride film as a passivation layer in realistic application situations. Next, the effects of the mixture ratio of the process gases with silane (SiH<sub>4</sub>) and ammonia (NH<sub>3</sub>) on the passivation qualities of silicon nitride film are evaluated. The absorption coefficient of each film was evaluated by spectrometric ellipsometry, the minority carrier lifetimes were evaluated by quasi-steady-state photo-conductance (QSSPC) measurement. The optical properties were obtained using a UV-visible spectrophotometer. The interface properties were determined by capacitance-voltage (C-V) measurement and the film components were identified by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and Rutherford backscattering spectroscopy detection (RBS) - elastic recoil detection (ERD). In hydrogen passivation, gas ratios of 1:1 and 1:3 show the best surface passivation property among the samples.

**Key words** silicon nitride, sin<sub>x</sub>:h, pecvd, passivation, reflectance.

### 1. 서 론

태양전지는 빛 에너지를 전기에너지로 변환시키는 소자로 흡수한 빛의 양이 많을 수록 효율이 높아진다. 태양전지 표면 반사에 의한 광 흡수 감소를 보완하기 위해 흔히 태양전지 표면에 반사방지막을 증착하여 태양전지의 광흡수도를 증가시킨다.<sup>1)</sup> 반사방지막은 일반적으로 plasma enhanced chemical vapor deposition(PECVD)로 증착된 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H, silicon nitride)이 사용된다.<sup>2-4)</sup> 이 때, 반사방지막은 태양전지 표면의 빛 반

사를 낮추는 동시에 박막 자체의 빛 흡수는 적어야 한다.<sup>5)</sup> 반사방지막이 반사하는 빛의 양을 최소화 하기 위해 적절한 굴절율(n)과 반사방지막 두께(d)는 식(1)과 식(2)로부터 얻을 수 있다.

$$n_1 = \sqrt{n_0 \cdot n_2} \quad (1)$$

$$d = \lambda / 4n \quad (2)$$

식(1)서 n<sub>0</sub>는 공기의 굴절율(1.0), n<sub>1</sub>은 실리콘 질화막

<sup>†</sup>Corresponding author

E-Mail : solar@korea.ac.kr (D. Kim, Korea Univ.)

lhseok@korea.ac.kr (H-S Lee, Korea Univ.)

ddang@korea.ac.kr (Y. Kang, Korea Univ.)

© Materials Research Society of Korea, All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(SiN<sub>x</sub>:H)의 굴절을 그리고 n<sub>2</sub>는 실리콘의 굴절율(3.8)이다. 식(1)로부터 구한 실리콘질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 굴절을 이용하여 식 (2)로부터 반사방지막 두께(d)를 얻을 수 있다. 식 (2)에서 d는 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 두께(nm), λ는 입사된 빛의 파장(nm) 그리고 n은 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 굴절율이다. 태양전지 작동에 유용한 빛의 파장에 대해 적절한 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H) 굴절률은 2.0, 두께는 80-100 nm이다.<sup>4,6-7)</sup>

우리는 본 연구를 통해 실레인(SiH<sub>4</sub>)과 암모니아(NH<sub>3</sub>) 가스 비에 따른 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 패시베이션 특성차이를 비교하고자 한다. 선행된 연구결과들은 단순히 공정 가스 비에 따른 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 태양전지 패시베이션 특성을 비교·평가하였다.<sup>2-3,8-10)</sup> 그러나 패시베이션 최적 조건으로 제시한 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 굴절율이 2.3-3.2 인 경우가 많았다.<sup>3,10)</sup> 이러한 범위의 굴절율은 빛 반사 방지 역할로서 최적의 조건을 갖지 못한다.<sup>4,6-7)</sup> 반사도 차이는 태양전지 성능차이를 발생시키고, pcId를 이용하여 반사도 차이에 의한 태양전지 성능 차이를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 시편들의 굴절율과 두께를 통일시켜 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 빛 반사도를 고정시킴으로써, 모든 막들이 동일한 반사 특성을 갖도록 한 후 패시베이션 특성을 비교·분석하였다.

## 2. 실험 방법

초크랄스키법(czochralski)으로 성장시킨 후 보론(B)을 도핑한, 비저항 5-20 Ω·cm, 두께 650-700 μm, 크기 6 inch의 polished p-type (100) 웨이퍼와 비저항 1-3 Ω·cm, 두께 200 μm, 크기 15.6 × 15.6 cm<sup>2</sup>의 p-type (100) 태양전지용 웨이퍼를 준비하였다. 태양전지용 웨이퍼(200 μm)의 경우 절삭면 식각(saw damage etching, KOH 80 °C, 10 min) 후 3 μm의 요철 구조(texturing, KOH : IPA : DI = 0.8 : 1 : 1 80 °C, 30 min)를 형성하였다.

실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)은 PECVD (TES Co., Ltd, Korea)를 이용하여 증착하였다. 실레인(SiH<sub>4</sub>)과 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 소스가스로 이용하였고, 두 가스의 혼합 비율을 5가지로 달리하여 박막을 증착하였다. 실험 1과 실험 2의 공정 조건을 이용하여 증착한 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 굴절율과 두께 결과를 Table 1(a)와 (b)에 나타내었다. 실험 1은 단순히 가스비만의 변화에 따른 패시베이션 특성을 측정하였다. 실험 1은 챔버 내 압력(pressure)을 1.0 Torr, RF Power를 40 W로 고정하였다. 실레인(SiH<sub>4</sub>)과 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 비율을 달리하여 S1 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 3:1), S2 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 2:1), S3 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 1:1), S4 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 1:2), S5 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 1:3) 5가지의 시편을 제작하였다. 실험 2는 챔버 내 압력(1.0~3.0 Torr) 과

**Table 1.** Ratio of process gas mixture, measured refractive index and thickness of (a) test 1 and (b) test 2.

(a)					
	[SiH <sub>4</sub> ]:[NH <sub>3</sub> ]	SiH <sub>4</sub> (sccm)	NH <sub>3</sub> (sccm)	R.I	Thickness (nm)
S1	3:1	90	30	2.7	89
S2	2:1	60	30	2.4	87
S3	1:1	30	30	2.1	91
S4	1:2	30	60	1.9	83
S5	1:3	30	90	1.9	81
(b)					
	[SiH <sub>4</sub> ]:[NH <sub>3</sub> ]	SiH <sub>4</sub> (sccm)	NH <sub>3</sub> (sccm)	R.I	Thickness (nm)
S6	3:1	60	20	1.95	84
S7	2:1	60	30	1.97	89
S8	1:1	30	30	2.07	84
S9	1:2	30	60	1.98	85
S10	1:3	30	90	1.95	86

RF Power(40~300 W)를, 조정하여 각 시편의 박막 두께를 85 ± 5 nm, 굴절율을 2.00 ± 0.05 로 통일시킨 후 패시베이션 특성을 측정하였다. 반사방지 특성을 통일시킨 후 시편간 패시베이션 특성을 비교한 실험 2에서는 실레인(SiH<sub>4</sub>)과 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 비에 따라 S6 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 3:1), S7 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 2:1), S8 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 1:1), S9 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 1:2), S10 ([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>] = 1:3) 5가지 시편을 제작하였다. 실험 1과 실험 2 모두에서 PECVD의 공정온도는 420 °C, 챔버 내 전극간 거리는 20 mm, 사용된 generator의 radio frequency는 13.56 MHz였다.

Quasi-Steady-State photo-conductance(QSSPC, Sinton Inc., USA)로 소수 반송자 수명(minority carrier lifetime)을 측정하여 제작한 시편의 패시베이션 특성을 평가하였다. UV-visible spectrophotometer(V-630V, Jasco, Japan)를 통해 파장에 따른 시편의 반사도를 측정하여 가중 평균 반사도(weighted reflectance)를 계산하였고, Spectroscopic Ellipsometer(J.A. Woollam Co., Inc., USA)를 통해 얻은 300~1200 nm 범위의 파장에 대한 굴절율(n, refractive index), 흡광계수(k, extinction coefficient) 값으로부터 빛 흡수 계수를 계산할 수 있었다. Fourier Transformation Infrared Spectrometer(FT-IR, Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 시편의 화학적 결합(chemical bonding) 정보를 확인하고 이를 통해 수소 원자 함량을 정성적으로 확인하였다. FT-IR을 통한 수소 원자 함량은 정성적으로 [Si-H]와 [N-H]의 함으로부터 얻어낼 수 있다.<sup>11)</sup>

Rutherford Backscattering Spectroscopy Detection(RBS, NEC pelletron 6SDH-2, 2MV Accelerator)와 Elastic Recoil Detection(ERD, NEC pelletron 6SDH-2)를 통해

실리콘과 질소의 화학식량(stoichiometry)를 확인하였고, 실리콘 질화막( $\text{SiN}_x\text{:H}$ ) 내에 함유된 수소의 양을 정량화하였다. Capacitance-Voltage(C-V, HP4284 LCR meter, HP, USA)을 이용하여 고정양전하(positive fixed charge,  $Q_f$ )를 계산하였고, 이를 통해 실리콘 질화막의 전계효과 패시베이션(field effect passivation) 역할을 확인하고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 실험 1의 조건으로 형성된 시편들의 소수 반송자 수명(minority carrier lifetime)을 나타낸다. 실레인( $\text{SiH}_4$ ) 주입비율이 높아질수록 소수 반송자 수명이 상대적으로 높고, 실험 1의 결과 S1이 가장 좋은 패시베이션 특성을 갖는다(Fig. 1(a)). 그러나 실리콘 질화막( $\text{SiN}_x\text{:H}$ )은 태양전지 구동에 있어서, 패시베이션 뿐만 아니라 빛 반사 방지의 역할도 수행하여야 한다. S1의 굴절율은 2.7로 반사 방지 특성이 최적인 값(2.0)보다 크다. S1~S5 시편들의 반사도 차이는 Fig. 1(b)를 통

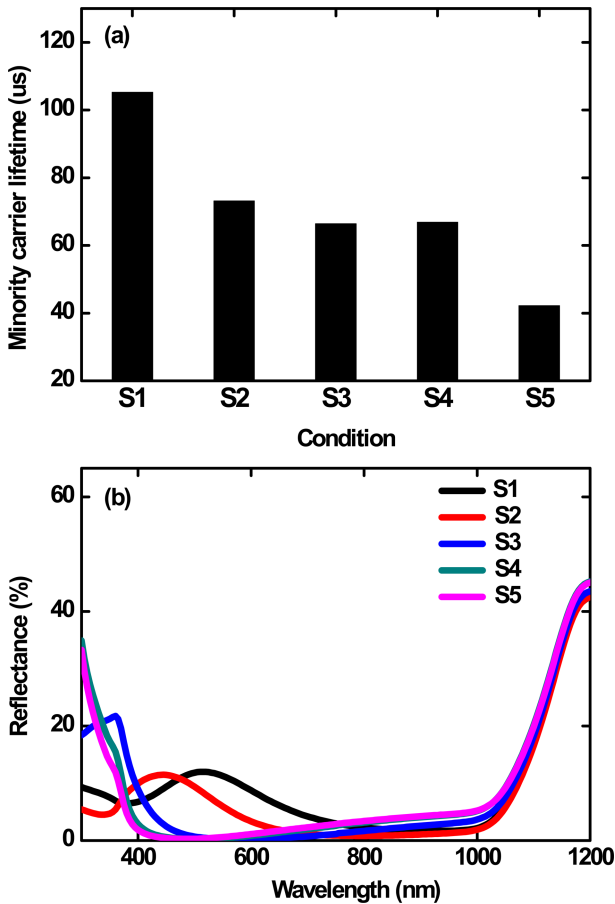


Fig. 1. (a) The minority carrier lifetime obtained by QSSPC and (b) Reflectance measured by UV-visible spectrophotometer as wavelength range from 300 to 1200 nm of test 1 (S1, S2, S3, S4, S5).

해 확인할 수 있다. Fig. 1(b)는 실험 1의 가스비에 따른 박막의 가중 평균 반사도(weighted reflectance)를 비교한 그래프로, 가스비에 따라 가중 평균 반사도가 5.0%에서 7.6%로 다양하게 나타난다. 특히 태양전지 구동에서 중요하게 여겨지는 450~800 nm 파장대에서는 가중 평균 반사도가 가장 높은 박막과 가장 작은 박막의 수치 차이가 6.4%p이다. 우리는 반사도 차이가 태양전지 구동에 미치는 영향을 계산해 보기 위해 pc1d를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다(Fig. 2). 소자의 특성은 현재 SERC 연구실에서 제작하고 있는 태양전지의 조건을 적용시켜, 소자의 면적  $243.36 \text{ cm}^2$ ,  $60 \text{ ohm/sq}$ 의 전면 에미터(front emitter)를 갖고 후면 전계 구조(back surface field)를 가는 구조를 이용하여 계산하였다. 소자의 반사도는 가중 평균 반사도 계산 결과에서 최대값과 최소값을 갖는 S1과 S3의 파장에 따른 반사도 측정값을 대입하였다. 가중 평균 반사도가 5.0%에서 7.6%로 증가하면  $J_{sc}$ 는  $38.74 \text{ mA/cm}^2$ 에서  $37.38 \text{ mA/cm}^2$ 로 감소하게 되고 제작된 태양전지의 효율은 18.8%에서 18.1%로 0.7%p 감소한다(Table 2). 위 시뮬레이션을 통해 반사도 차이에 의한 태양전지 성능 차이를 확인할 수 있었고, 이를 배제한다면 시편간에 보다 정확한 패시베이션 차이를 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

우리는 굴절율과 두께를 고정하여 반사방지 특성을 통일시킨 후 가스비를 달리하며 실험 2를 진행하였고, 제작된 시편들의 굴절율과 두께 결과는 Table 1(b)와 같다. Fig. 3(a)는 가스비에 따른 반사도를 나타내었으며, 가중평균 반사도는 5.4~5.9%의 범위를 갖는다. 이 결과의 최대값과 최소값의 차이인 0.5%p의 가중 평균 반사도 차이가 태양전지 효율에 미치는 영향을 확인하기 위

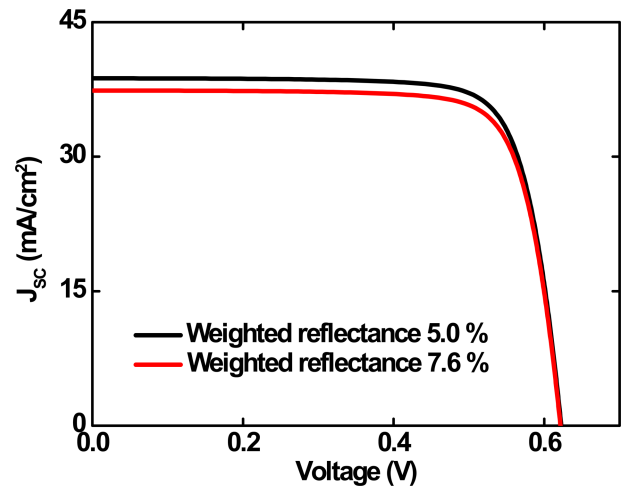
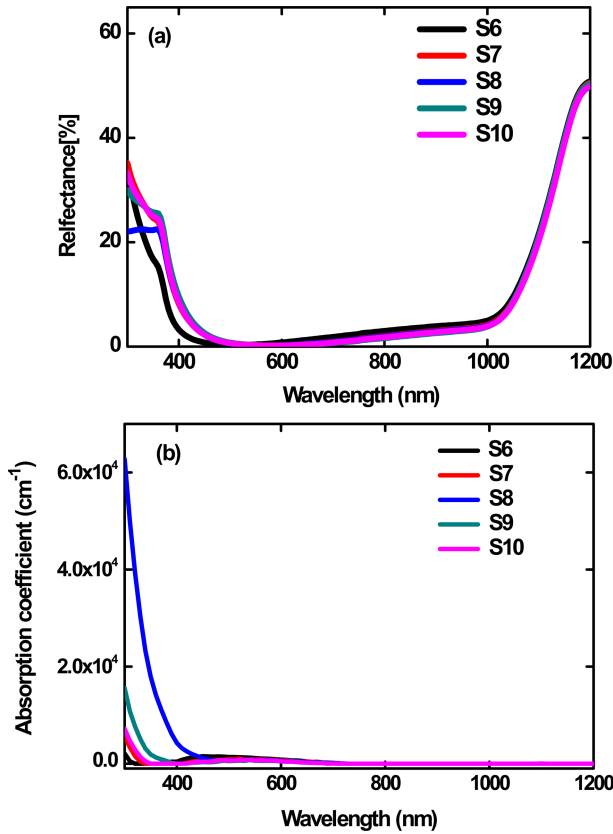


Fig. 2. Comparison of the short circuit current density-voltage curves calculated by pc1d for two distinct weighted reflectance (5.0% and 7.6%).

**Table 2.** Short circuit current density  $J_{sc}$ , open circuit voltage  $V_{oc}$ , fill factor FF and efficiency of sample S1 and S3 from I-V curve (Fig. 2.) simulated by pc1d. Assumed wafer has  $243.36 \text{ cm}^2$ , 60 ohm/sq front emitter and bsf structure.

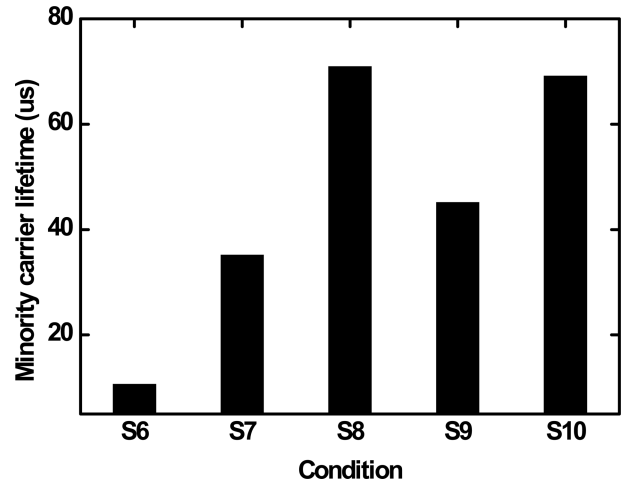
	[SiH <sub>4</sub> ]:[NH <sub>3</sub> ]	Weighted reflectance (%)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF (%)	Efficiency (%)
S1	3:1	7.6	37.38	0.622	78.00	18.1
S3	1:1	5.0	38.74	0.623	77.98	18.8



**Fig. 3.** (a) Reflectance measured by UV-visible spectrophotometer as wavelength range from 300 to 1200 nm and (b) absorption coefficient calculated from spectroscopic ellipsometer measurement of test 2 (S6, S7, S8, S9, S10).

해 pc1d 시뮬레이션을 이용하여  $J_{sc}$ 와 효율차이를 계산해 보았다.  $J_{sc}$ 는  $0.1 \text{ mA/cm}^2$ 의 차이를 보였고, 이 크기는 측정의 오차 범위 내의 수준으로, 5개 조건의 시편이 동일한 반사방지 특성을 갖는다고 생각할 수 있다. 단파장 영역(300~500 nm)에서 시편 간에 약간의 반사 정도 차이가 보이는데, 이는 Fig. 3(b)의 흡수 계수 차이에 기인한 것으로 여겨진다.

Fig. 4는 실험 2의 소수 반송자 수명을 측정된 결과이다. 암모니아(NH<sub>3</sub>) 주입비율이 높을수록 소수 반송자 수명이 높아지는 경향이 보인다. 실레인(SiH<sub>4</sub>)과 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 가스비([SiH<sub>4</sub>]:[NH<sub>3</sub>])가 1:1 과 1:3 인 S8과 S10이 소수 반송자 수명이 높게 나타나고, 가스비가 3:1 인 S6의 소수 반송자 수명이 가장 낮다. 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)에 포함된 수소함량에 따른 수소 패시베이션



**Fig. 4.** Comparison of the minority carrier lifetime of S6, S7, S8, S9 and S10 measured by QSSPC.

**Table 3.** Positive fixed charge  $Q_f$ , interface state density  $D_{it}$  and flat band voltage  $V_{FB}$  obtained by C-V measurement for S6, S7, S8, S9 and S10.

	[SiH <sub>4</sub> ]:[NH <sub>3</sub> ]	$Q_f$ (cm <sup>-2</sup> )	$D_{it}$ (eV·cm <sup>-2</sup> )	$V_{FB}$ (V)
S6	3:1	$7.61 \times 10^{12}$	$8.40 \times 10^{11}$	-25.4
S7	2:1	$6.54 \times 10^{12}$	$4.13 \times 10^{11}$	-26.8
S8	1:1	$6.75 \times 10^{12}$	$6.82 \times 10^{11}$	-18.9
S9	1:2	$7.22 \times 10^{12}$	$3.41 \times 10^{11}$	-30.3
S10	1:3	$6.88 \times 10^{12}$	$3.50 \times 10^{11}$	-36.0

(hydrogen passivation) 효과에 의해 소수 반송자 수명이 결정되고,<sup>2)</sup> 이를 FT-IR과 ERD측정을 통해 확인해 보았다.

Table 3은 C-V 측정법을 이용하여 얻은 가스비에 따른 고정전하량( $Q_f$ , fixed positive charge) 계산 값이다. 고정전하량은 태양전지 표면에서 발생하는 전계 효과 패시베이션(field effect passivation)을 보여준다. 고정전하량이 형성되면 전기적 효과로 인해 전자와 정공의 분리가 더 효율적으로 발생한다.<sup>1,12,13)</sup> 보통 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)은  $1.0 \times 10^{11} \sim 5.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  범위의 고정전하량을 갖는다.<sup>12)</sup> C-V 측정결과 S6~S10의 5가지 시편은 모두  $Q_f$  값이  $10 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  이상으로 나타난다. 고정전하량이  $3.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  이상이 되었을 때 태양전지 효율에 미치는 영향이 포화되는 것으로 보고 되고 있고,<sup>12)</sup> 따라서 5가지 시편들이 전계 효과 패시베이션으로부터 받게 되는 차이는 크지 않을 것으로 보인다.

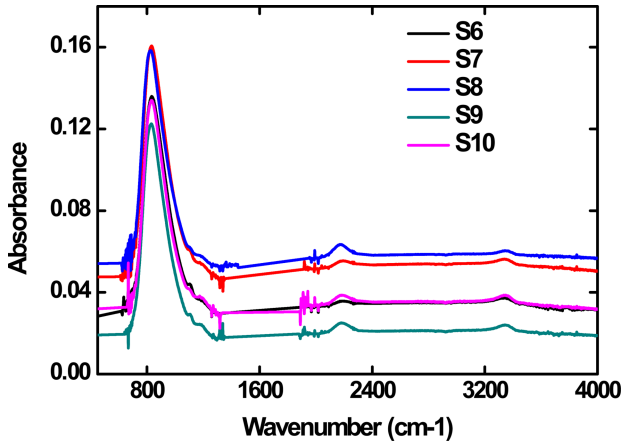


Fig. 5. Absorbance band measured by FT-IR for S6, S7, S8, S9 and S10 as wavenumber range from 600 to 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

PECVD 공정을 통해 챔버 내에서 무작위하게(randomly) 증착되는 실리콘 질화막( $\text{SiN}_x\text{:H}$ )은 실리콘과의 계면에 존

Table 4. Chemical bonding density of [Si-N], [Si-H] and [N-H] from FT-IR measurement. Chemical bonding density is obtained from peak area.<sup>11)</sup> [Si-H]+[N-H] means qualitative content of hydrogen content in  $\text{SiN}_x\text{:H}$ .<sup>11)</sup>

	[SiH <sub>4</sub> ]:[NH <sub>3</sub> ]	[Si-N]	[Si-H]	[N-H]	[Si-H]+[N-H]
S6	3:1	18.6	0.28	0.31	0.59
S7	2:1	18.7	0.31	0.35	0.66
S8	1:1	18.4	0.75	0.35	1.10
S9	1:2	18.7	0.54	0.40	1.04
S10	1:3	18.4	0.59	0.46	1.05

재하는 수소함량이 패시베이션 성능을 결정한다.<sup>11)</sup> 그리고 실리콘 불포화 결합(dangling bond)과 수소와의 결합은 실리콘 질화막( $\text{SiN}_x\text{:H}$ ) 증착 원료인 실레인( $\text{SiH}_4$ )과 암모니아( $\text{NH}_3$ )가 이온화되어 다양한 형태로 결합을 이루는 과정에서 형성된다. 실리콘/실리콘 질화막 계면( $\text{Si}/\text{SiN}_x\text{:H}$ )에 형성되는 수소와의 결합밀도는 FT-IR 측정을 통하여 알 수 있다. Fig. 5에 FT-IR 측정 그래프를 나

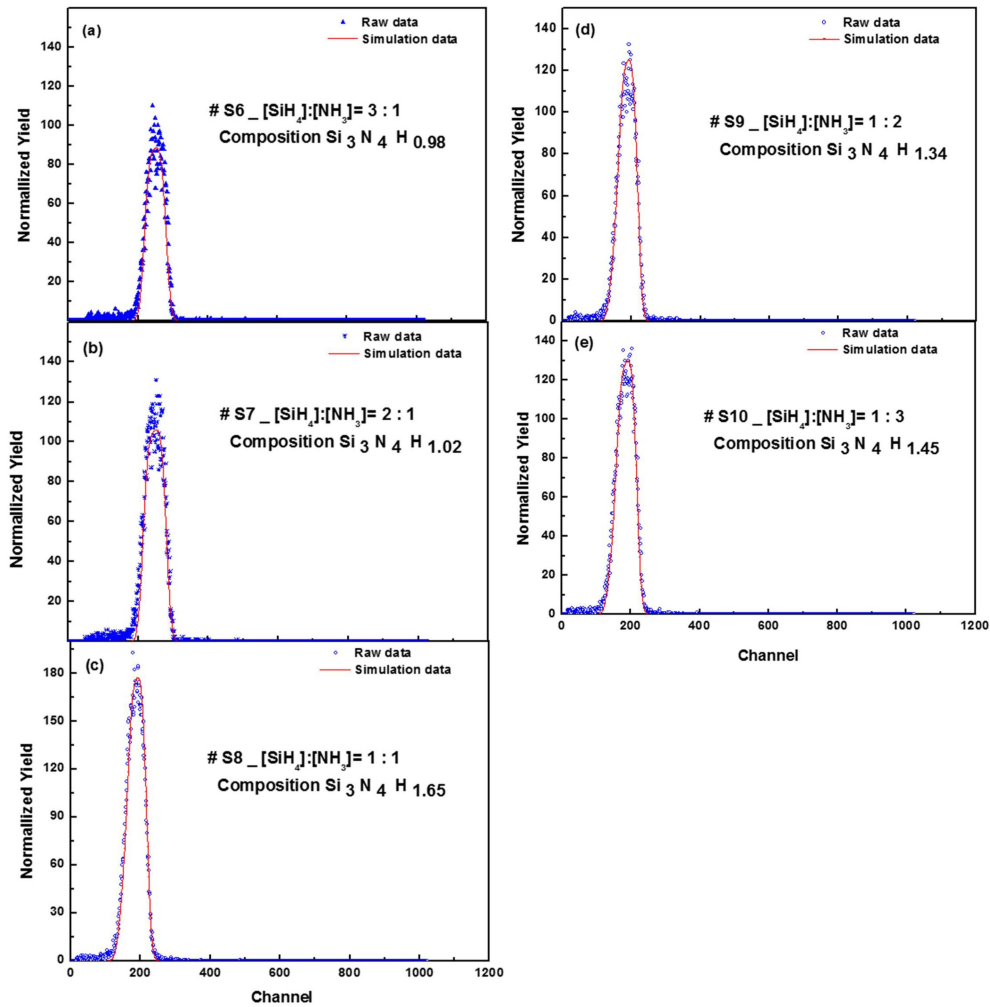


Fig. 6. Quantitative hydrogen concentration of (a) S6, (b) S7, (c) S8, (d) S9 and (e) S10 from normalized yield data measured by ERD.

**Table 5.** Stoichiometry of  $\text{SiN}_x\text{H}$  measured by RBS and hydrogen concentration calculated from ERD.

	[SiH <sub>4</sub> ]:[NH <sub>3</sub> ]	Si <sub>x</sub> N <sub>y</sub> H <sub>z</sub>			[H] (atom/cm <sup>3</sup> )
		x	y	z	
S6	3:1	3	4	0.98	$1.09 \times 10^{22}$
S7	2:1	3	4	1.02	$1.14 \times 10^{22}$
S8	1:1	3	4	1.65	$1.75 \times 10^{22}$
S9	1:2	3	4	1.34	$1.45 \times 10^{22}$
S10	1:3	3	4	1.45	$1.54 \times 10^{22}$

타내었다. 400~4000 cm<sup>-1</sup>의 파수(wave number) 범위에서 측정하였고, [Si-N] 결합의 피크(peak) 위치는 830 cm<sup>-1</sup>, [Si-H]는 2180 cm<sup>-1</sup>, [N-H]는 3340 cm<sup>-1</sup>이다.<sup>11)</sup>

Fig. 5에서 830 cm<sup>-1</sup>의 피크 면적으로부터 [Si-N]의 화학결합밀도(chemical bonding density)를 계산해낼 수 있다.<sup>11)</sup> 같은 방법으로 2180 cm<sup>-1</sup>, 3340 cm<sup>-1</sup>의 피크 면적으로부터 [Si-H], [N-H] 각각의 화학결합밀도를 얻을 수 있고, 이는 Table 4에 정리하였다. [Si-H] 결합 밀도는 표면 패시베이션의 지표로, Fig. 4에서 소수 반송자 수명이 높았던 시편일수록 [Si-H] 결합 밀도가 높음을 확인할 수 있었다. [Si-H]와 [N-H]의 화학결합밀도로부터 실리콘/실리콘 질화막 계면(Si/SiN<sub>x</sub>:H)에 존재하는 수소함량을 정성적으로 얻을 수 있고,<sup>2,11)</sup> 이로부터 얻어진 실리콘/실리콘 질화막 계면(Si/SiN<sub>x</sub>:H)에 존재하는 수소농도는 Table 4에 나타내었다. Table 4의 수치와 Fig. 4를 비교하면, 실리콘/실리콘 질화막 계면(Si/SiN<sub>x</sub>:H)의 수소함량이 클수록 시편의 소수 반송자 수명이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 실리콘과 실리콘 질화막 계면(Si/SiN<sub>x</sub>:H)에 존재하는 수소결합이 실리콘 표면의 표면 패시베이션에 중요한 역할을 하는 것을 의미한다.<sup>1,14)</sup>

각 시편들의 화학적 특성차이를 살펴보기 위해 RBS를 측정하였고, ERD 측정을 통해 실리콘/실리콘 질화막 계면(Si/SiN<sub>x</sub>:H)에 존재하는 수소함량을 보다 정량적으로 측정·계산해 보았다. Table 5에 RBS와 ERD를 이용하여 측정하고 계산한 결과들을 나타내었다. RBS 측정결과 S6~S10의 실리콘(Si)과 질소(N) 조성비는 화학양론을 만족하는 실리콘 질화막(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)과 동일한 3:4로 유사하였다. ERD를 이용하여 측정하고 계산한 각 시편의 실리콘/실리콘 질화막 계면(Si/SiN<sub>x</sub>:H)에 존재하는 수소원자의 농도는 Fig. 6과 같다. 5개의 시편에 대한 수소함량은 S6부터 S10까지 차례로 0.98, 1.02, 1.65, 1.34, 1.45의 비율을 가지며, 정량적 수소원자량은 차례로  $1.09 \times 10^{22}$  atom/cm<sup>3</sup>,  $1.14 \times 10^{22}$  atom/cm<sup>3</sup>,  $1.75 \times 10^{22}$  atom/cm<sup>3</sup>,  $1.45 \times 10^{22}$  atom/cm<sup>3</sup>,  $1.54 \times 10^{22}$  atom/cm<sup>3</sup>이다. Table 5와 Fig. 4의 비교를 통해 시편의 수소함량이 높을수록 패시베이션 특성이 높게 나타남을 확인할 수 있다. ERD

를 통해 분석한 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 정량적 수소함량을 통해 정성적으로 확인하였던 수소함량의 패시베이션 효과를 한번 더 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

태양전지에 증착된 반사방지막의 패시베이션 최적화 조건을 찾기 위한 실험을 진행하였다. 패시베이션 특성 평가에 보다 집중하기 위하여 가스 비에 따른 실리콘 질화막(SiN<sub>x</sub>:H)의 반사 방지 특성을 통일시켰다. 반사 방지 특성은 박막들의 굴절율과 두께를 일치시킴으로써 통일시킬 수 있었다. 실레인(SiH<sub>4</sub>)과 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 가스비가 1:1, 1:3 인 S8과 S10에서 우수한 패시베이션 특성을 보였다. 이 두 조건에서 패시베이션 특성이 높은 원인은 FT-IR과 ERD를 이용하여 분석하였다. 이를 통해 실리콘/실리콘 질화막 계면(Si/SiN<sub>x</sub>:H)에 존재하는 수소농도를 정성적, 정량적으로 측정·계산할 수 있었고, 시편간 패시베이션 특성 차이는 수소 함량 차이에 의한 수소 패시베이션 효과 차이에 의한 것으로 확인되었다. 패시베이션 성능이 우수하게 나타난 S8과 S10에서 높은 수소함량을 보였다.

## Acknowledgements

This work was supported by the New & Renewable Energy Core Technology Program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) granted financial from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (No. 20133010011760) and by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government(MSIP) (2015, University-Institute cooperation program).

## References

1. M.A.Green, Silicon Solar Cells Advanced Principles & Practice, p.32-54, University of New South Wales, Centre for Photovoltaic Devices and Systems, Sydney, (1995).
2. J.-F. Lelievre, E. Fourmond, A. Kaminski, O. Palais, D. Ballutaud and M. Lemiti, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **93**, 1281 (2009).
3. A. Cuevas, M. J. Kerr and J. Schmidt, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, (2003).
4. F. Duerinck and J. Szlufcik, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **72**, 231 (2002).
5. S. Dutttagupta, F. Ma, B. Hoex, T. Mueller and A. G. Aberle, Energy Procedia, **15**, 78 (2012).
6. A. E. Amrani, I. Menous, L. Mahiou, R. Tadjine and A.

- Lefgoum, *Renew. Energy*, **33**, 2289 (2008).
7. M. A. Green, *Solar Cells*, p.161-164, B. Barbara, Prentice-Hall, Inc., USA, (1982).
  8. M. J-Szymacha, P. Boszkowicz and K. T-Smiech, *Thin Solid Films*, **520**, 1308 (2011).
  9. J. D. Moschner, J. Henze, J. Schmidt and R. Hezel, *Prog. Photovot: Res. Appl.*, **12**, 21 (2004).
  10. Y. Wan, K. R. McIntosh and A. F. Thomson, *AIP Advances*, **3**, 032113 (2013).
  11. H. Mackel and R. Ludemann, *J. Appl. Phys.*, **92**, 2602 (2002).
  12. K. D. Lee, Y. D. Kim, S. S. Dahiwal, H. Boo, S. Park, S. J. Tark and D. Kim, *J. Korean Vac. Soc.*, **21**, 29 (2012).
  13. A. G. Aberle, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, **8**, 473 (2000).
  14. B. L. Sopori, X. Deng, J. P. Benner, A. Rohatgi, P. Sana, S. K. Estreicher, Y. K. Park and M. A. Roberson, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **41/42**, 159 (1996).