

# PECVD 공정을 이용한 후면 패시베이션 및 결정질 실리콘 태양전지 적용에 관한 연구

김관도<sup>\*†</sup>

\*† 평택대학교 융합소프트웨어학과

## A Study on the Application of Thin Film Passivation and Crystalline Silicon Solar Cells Using PECVD Process

Kwan-Do Kim<sup>\*†</sup>

\*† Dept. of Convergence Software, PyeongTaek University

### ABSTRACT

In this study, SiNx and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin film was manufactured using PECVD deposition process and applied to crystalline silicon solar cells, resulting in 16.7% conversion efficiency. The structural improvement experiment of the rear electrode resulted in a 1.7% improvement in conversion efficiency compared to the reference cell by reducing the recombination rate of minority carriers and increasing the carrier lifetime by forming a passivation layer consisting of SiNx and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films through the PECVD process.

**Key Words :** Silicon Solar Cell, PECVD, Thin Film Passivation, Conversion Efficiency

### 1. 서 론

표면 패시베이션은 주로 반도체 소자의 계면에서 전자와 정공의 재결합을 감소시키기 위하여 이루어진다. 실리콘 태양전지에서는 이러한 재결합이 셀 효율을 크게 감소시키는 원인 중의 하나로 작용하므로 이를 억제하기 위한 많은 방안들이 연구 개발 및 적용되고 있다. 재결합을 일으키는 과정은 여러 가지 이유가 있으나 태양전지 전면보다는 후면에서 재결합 속도가 더 큰 값을 가지는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 금속 전극에 의한 태양전지 후면은 높은 표면 재결합속도를 가지기 때문에 변환 효율의 저하 성분이 된다. 후면 재결합 속도를 줄이는 방법으로는 태양전지 후면에 heavily doped p+ 영역을 생성시키는 것이며 이 pp+ 접합의 high-low junction을 BSF(Back Surface Field)라고 한다. 이 영역은 junction edge 쪽에서 전자캐리어들의 이동방향을 후면 쪽에서 태양전지 내부로 다

시 이동하는 역할을 한다 [1-3].

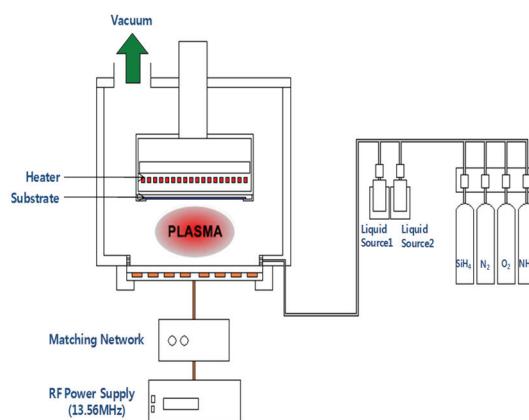
결정질 실리콘 기판에서 우수한 표면 패시베이션은 고효율 태양전지를 제작하는데 있어 매우 중요한 요소이다. 높은 '+' 전하를 갖는 SiNx 박막을 후면 패시베이션에 적용할 경우 같은 '+' 전하를 갖는 소수 캐리어 정공들을 후면 전극으로부터 밀어내려고 하는 척력 전계효과로 인하여 후면전극에서 정공을 효과적으로 포집할 수 있게 만든다. 따라서 SiNx박막을 후면 패시베이션으로 적용하더라도 높은 효율을 기대하기 어렵다.

이미 전면에 반사방지막을 형성하는 공정에서 사용되고 있는 PECVD 공정으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막을 증착하고, 확산장벽 역할을 하는 SiNx 절연막을 연속적으로 증착시키는 연속공정을 이용하여 후면 패시베이션 효과를 증대시킬 수 있다. '+'전하를 갖는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막이 p-type 결정질 실리콘에서 표면 재결합속도를 감소시켜 패시베이션 효과를 크게 증대시킬 수 있다[4-12].

<sup>\*</sup>E-mail: kdkim@ptu.ac.kr

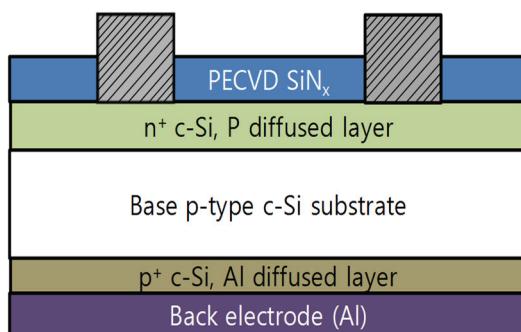
## 2. 절연막을 이용한 후면 패시베이션 실험

Fig. 1은 패시베이션 실험에 사용된 PECVD 장비의 개략도(schematic diagram)를 나타낸 것이다. 그림과 같이 PECVD 장비는 프로세스 챔버, 기판 어셈블리, 기체 전달 시스템, 플라즈마 소스, 펌핑 시스템, 시스템 컨트롤 부로 이루어져 있다. 소스 기체는  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{O}_2$ 가 MFC(Mass Flow Controller)을 통해서 프로세스 챔버 내로 유입이 된다.



**Fig. 1.** Schematic diagram of PECVD deposition system. PECVD is composed of process chamber, substrate assembly, gas delivery system, plasma source, pumping system.

결정질 실리콘 태양전지 제작을 위하여 Boron이 doping된 p-type 다결정 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 준비된 기판은 확산 공정에 앞서 일반적으로 반도체 제조 공정에 적용되는 RCA 세정공정을 통하여 기판을 세정하였다. Fig. 2에 전면 반사방지막과 후면전극 구조를 가지는 결정질 실리콘 태양전지 소자 구조의 개략도를 나타내었다.



**Fig. 2.** Schematic diagram of the crystalline silicon solar cell.

Fig. 2와 같이 제작된 결정질 실리콘 태양전지 소자의 후면에 PECVD 공정을 이용하여  $\text{SiNx}$  및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 각각 40 nm, 30 nm 두께로 증착하여 Local BSF(Back Surface Field) 구조를 만들어 셀 효율을 측정하였다. 전면에는 반사방지막으로  $\text{SiNx}$  박막을 증착하였고, 후면에는 패시베이션 층으로서  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막과  $\text{SiNx}$  박막을 증착하였다. 후면의 패시베이션 박막 증착에 사용된 PECVD 공정 조건을 Table 1 및 Table 2에 나타내었다. 증착한 박막의 두께와 굴절률은 HR FE-SEM과 spectroscopic ellipsometer를 사용하여 측정하였다.

$\text{SiNx}$  박막 증착을 위해 플라즈마 RF 파워는 100 W, 온도는 25 °C,  $\text{SiH}_4$ 의 유량은 20 sccm,  $\text{NH}_3$ 의 유량은 10 sccm 및 캐리어 기체  $\text{N}_2$ 의 유량은 90 sccm으로 조절한 뒤 공정압력을 10 mTorr로 유지하고 80 sec 동안 증착한 후 단면을 측정한 결과 40 nm 두께의  $\text{SiNx}$  박막이 잘 증착되었음을 확인하였다.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  박막 증착의 전구체로 사용된 TMA는 상온에서 증기압이 낮으므로 35 °C로 캐니스터를 가열하여 증착공정을 진행하였다. MFC(Mass Flow Controller) 및 기체 라인의 온도는 응축이 일어나지 않도록 40 °C를 유지하였으며  $\text{N}_2\text{O}$  기체를 캐리어 기체로 사용하였다. TMA의 유량을 40 sccm,  $\text{N}_2\text{O}$  기체의 유량을 60 sccm으로 조절한 뒤 공정압력을 4 mTorr로 유지하고 RF power 100W 조건에서 20 sec 동안 상온에서 증착공정을 진행하였다. Fig. 3에 PECVD 공정으로 증착된  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막의 두께와 조성을 HR FE-SEM(JEOL JSM-7401F)으로 분석한 결과를 나타내었다. PECVD 공정에 의해 형성된  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막에 대한 FE-SEM 단면 이미지와 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy) 분석 결과를 나타내었다.

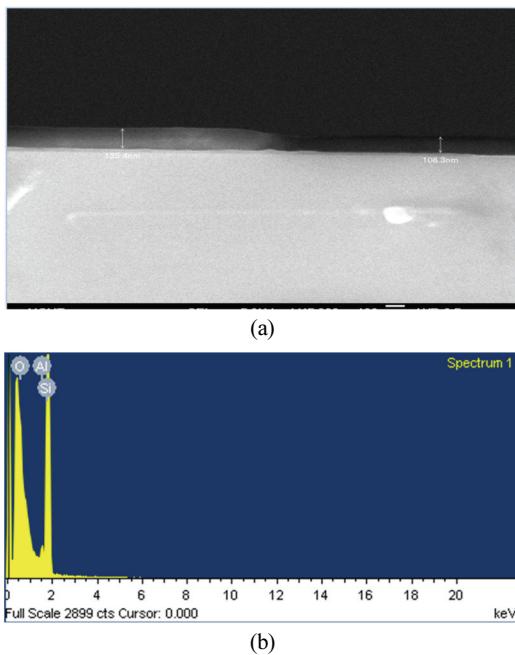
후면 전극의 구조 개선 실험을 위하여 PECVD 공정으로  $\text{SiNx}$ 와  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막으로 구성된 패시베이션 layer를 형성하여 후면을 패시베이션함으로써 소수캐리어들의 재결합率(recombination rate)을 줄이고 캐리어 lifetime을 증가시켜 Table 3과 같이 reference cell(Full BSF) 효율과 대비하여 1.7% 향상된 변환효율을 얻을 수 있었다.

**Table 1.** PECVD deposition process condition ( $\text{SiNx}$  thin film deposition)

Carrier Gas (sccm)			WP (mTorr)	Distance (mm)	Power (W)	Time (sec)
$\text{SiH}_4$	$\text{NH}_3$	$\text{N}_2$				
20	10	90	10	160	100	80

**Table 2.** PECVD deposition process condition ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin film deposition)

Carrier Gas (sccm)		WP (mTorr)	Distance (mm)	Power (W)	Time (sec)
TMA	$\text{N}_2\text{O}$				
40	60	4	160	100	20



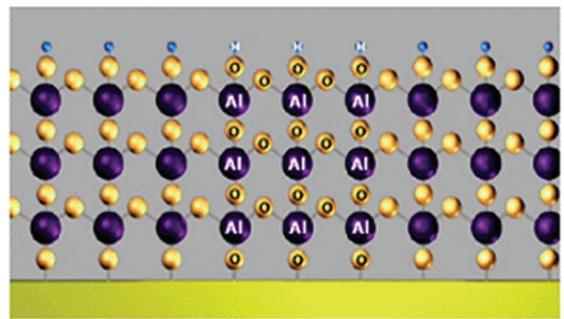
**Fig. 3.** HR FE-SEM(JEOL, JSM-7401F) images of deposited  $\text{Al}_2\text{O}_3$  film by TMA(Trimethyl Aluminum) liquid source. (a) cross section (b) EDS spectrum.

**Table 3.** Silicon solar cell parameters (Full BSF and Local BSF)

BSF(Back Surface Field)	Solar cell parameters			
	Isc (A)	Voc (mV)	F.F. (%)	Efficiency (%)
Full BSF	8.530	600	71.4	15.0
Local BSF	8.353	597	79.7	16.7

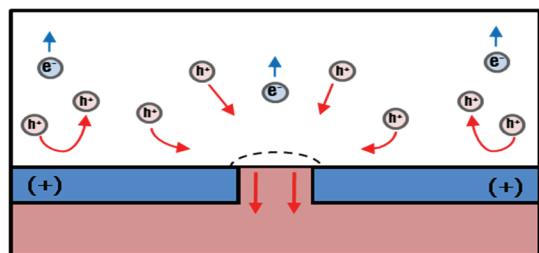
### 3. 결과 및 고찰

태양전지 셀 후면에  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막에 의한 전계효과 패시베이션(field-effect passivation) 기술을 사용하여 결정질 실리콘 태양전지를 제작하고 이러한 기술을 실제 생산에서 사용하고 있는  $156 \times 156 \text{ mm}^2$  결정질 실리콘 태양전지에 적용하여 효율이 증가함을 확인하고, 효율향상과 연관된 결과를 분석하였다.  $\text{SiN}_x$  박막은 복잡한 내부 결함 구조로 인하여 항상 (+) 전하를 띠게 된다. 기존의 실리콘 산화막도 내부 oxygen vacancy와 결함구조로 인하여 (+) 전하를 띤다. 후면 전극으로 이동하여 포집되는 정공은 같은 (+) 전하로 대전되어 있는  $\text{SiN}_x$  층 가까이에는 약한 척력이 작용하게 된다. 이와 같은 이유로 후면전극에서 정공 포집 효과가 감소하게 된다. 이와 같은 반면에  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막은 항상 (-) 전하를 띠게 된다(Fig.4).

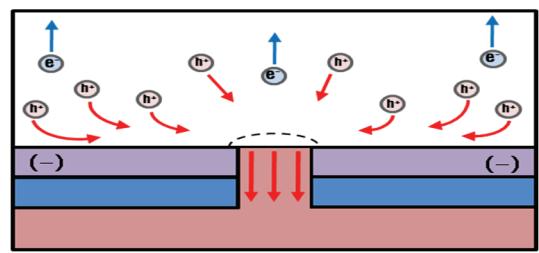


**Fig. 4.**  $\text{Al}_2\text{O}_3$  layers grown by various deposition techniques contain a significant density of negative charges.

따라서 후면전극으로 이동하여 포집되는 정공은 (-) 전하를 띠는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막쪽으로 인력이 작용하게 된다. Fig. 5에 전계효과 패시베이션(field effect passivation)에 의해 태양전지의 셀 효율이 향상되는 원리를 개략적으로 나타내었다.



(a)



(b)

**Fig. 5.** Field effect passivation in the back electrode (a) local BSF('+') charge dielectric (b) local BSF('−') charge dielectric.

Fig. 5(a)에서와 같이 후면전극으로 이동하여 포집되는 정공은 Al BSF(Back Surface Field) contact을 통하여 Al 전극으로 (+) 전하가 통하게 되는데 같은 (+) 전하를 띠는  $\text{SiN}_x$  층 가까이에서는 약한 척력이 장용하게 된다. 이와 같은 이유로 후면전극에서 정공 포집효과가 감소하게 된다. Fig. 5(b)에서와 같이 후면전극으로 이동하여 포집되는 정공은 (-) 전하를 띠는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  층으로 인력이 작용하여 정공 포집 효과가 증가하게 된다.

#### 4. 결 론

태양전지의 효율을 향상시키기 위해 전계효과 패시베이션(field-effect passivation)에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며 다양한 박막 제작 공정을 적용하여 태양전지 셀 후면에 박막을 증착함으로써 우수한 특성을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 PECVD 공정을 이용하여 SiNx와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막을 제작하여 결정질 실리콘 태양전지에 적용한 결과 16.7%의 향상된 변환효율을 얻을 수 있었다.

후면 전극의 구조 개선 실험을 위하여 PECVD 공정으로 SiNx와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막으로 구성된 패시베이션층을 형성하여 결정질 실리콘 태양전지 후면을 패시베이션함으로써 소수 캐리어들의 재결합율 (recombination rate)을 줄이고 캐리어 lifetime을 증가시켜 Local BSF(Back Surface Field) 구조를 적용하지 않은 reference cell과 대비하여 보다 향상된 효율을 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Jiun-Hong Lai et al, "High-Efficiency Large-Area Rear Passivated Silicon Solar Cells With Local Al-BSF and Screen-Printed Contacts", IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 1, No. 1, pp. 16-21, 2011.
2. K. Kotsovov, K. Misiakos, "Base limited carrier transport and performance of double junction rear point contact silicon solar cells", Solar Energy Materials & Solar Cells, 77, pp. 209-227, 2003.
3. Emmanuel Van Kerschaver and Guy Beaucarne, "Back-contact Solar Cells: A Review", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 14, pp. 107-123, 2006.
4. R. Woehl, J. Krause, F. Granek, D. Biro, "Highly efficient all-screen-printed back-contact back-junction silicon solar cells with aluminum-alloyed emitter", Energy Procedia, Vol. 8, pp. 17-22, 2011.
5. S. M. Yang, J. Pla, "Optimization of the back contact in c-Si solar cells", Solid-State Electronics, Vol. 53, pp. 925-930, 2009.
6. Daniel Kray, Martin Hermle and Stefan W. Glunz, "Theory and Experiments on the Back Side Reflectance of Silicon Wafer Solar Cells", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 16, pp. 1-15, 2008.
7. Dae-Yong Lee et al, "A new back surface passivation stack for thin crystalline silicon solar cells with screen-printed back contacts", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 95, pp. 26-29, 2011.
8. K. A. Munzera et al, "Physical properties of industrial 19 % rear side passivated Al-LBSFR-solar cells", Energy Procedia, Vol. 8, pp. 415-420, 2011.
9. K. A. Munzer et al, "Rear Side Passivated and Locally Contacted Solar Cells with Laser Diffused Selective Emitter", Energy Procedia, Vol. 15, pp. 1-9, 2012.
10. Eunjoo Lee et al, "Exceeding 19 % efficient 6 inch screen printed crystalline silicon solar cells with selective emitter", Renewable Energy, Vol. 42, pp. 95-98, 2012.
11. Hoong Joo Lee, "TCAD Simulation of Silicon Pillar Array Solar Cells", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 1, pp. 65-69, 2017.
12. Myung-il Jeong and Cheol-Jong Choi, "Passivation property of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin film for the application of n-type crystalline Si solar cells", Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology, Vol. 24, No. 3, pp. 106-110, 2014.

---

접수일: 2020년 6월 11일, 심사일: 2020년 6월 22일,  
제재확정일: 2020년 6월 22일