

# N형 양면 수광 태양전지를 위한 레이저 공정의 후면 패시베이션 적층 구조 영향성

김기륜 · 장효식<sup>†</sup>

충남대학교 에너지기술과학 대학원

## Effect of Laser Ablation on Rear Passivation Stack for N-type Bifacial Solar Cell Application

Kiryun Kim and Hyo Sik Chang<sup>†</sup>

Graduate School of Energy Science and Technology, Chungnam National University,  
Daejeon 34134, Republic of Korea

(Received April 27, 2020 : Revised May 8, 2020 : Accepted May 8, 2020)

**Abstract** In this paper, we investigated the effect of the passivation stack with  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , hydrogenated silicon nitride ( $\text{SiN}_x\text{:H}$ ) stack and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , silicon oxynitride ( $\text{SiON}_x$ ) stack in the n type bifacial solar cell on monocrystalline silicon.  $\text{SiN}_x\text{:H}$  and  $\text{SiON}_x$  films were deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition on the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  thin film deposited by thermal atomic layer deposition. We focus on passivation properties of the two stack structure after laser ablation process in order to improve bifaciality of the cell. Our results showed  $\text{SiN}_x\text{:H}$  with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  stack is 10 mV higher in implied open circuit voltage and 60  $\mu\text{s}$  higher in minority carrier lifetime than  $\text{SiON}_x$  with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  stack at Ni silicide formation temperature for 1.8% open area ratio. This can be explained by hydrogen passivation at the  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$  interface and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  layer of laser damaged area during annealing.

**Key words** bifacial solar cell, passivation effect, laser ablation, atomic layer deposition, n type Si.

### 1. 서 론

현재 태양광 산업에서 가장 많이 사용 중인 p형 실리콘 PERC(passivated emitter and rear contact) 태양전지는 20% 효율을 초과 달성하고 있다. 그러나 p형 기반의 실리콘 물성의 특성으로 인하여, 20% 중반 이상의 더 높은 효율을 위해서 n형 태양전지가 대두되고 있다. 대표적인 n형 고효율 태양전지로는 이중 접합 태양전지(HIT, heterojunction with intrinsic thin-layer), TOPCon 태양전지(tunnel oxide passivated contact) 등을 예로 들 수 있다. 또한 직사광 이외에도 반사광으로도 발전 할 수 있는 양면 수광 태양전지 또한 차세대 태양전지로 유망되고 있고 앞으로 그 점유율이 점차 늘어날 전망이다.<sup>1)</sup>

기존 p형 기반의 공정을 사용 시, 붕소를 이용한 에미터 공정과 패시베이션 공정 등의 고효율 공정에서의 어려움을 보여주고 있어서 여러 다른 방안들이 연구되고 있다.<sup>2-4)</sup> Fig. 1는 n형 양면 수광 태양전지 구조의 한 예를 보여준다. n형 태양 전지는 광 열화 현상(LID, light induced degradation)이 적고 금속 불순물이 적어서 효율 향상 측면에서 더 이점을 갖고 있으며, 양면 수광 태양 전지 모듈을 제조 시 더 높은 태양광 모듈 출력을 나타낼 수 있다.<sup>5-7)</sup> 스크린 프린팅을 이용한 p형 PERC 태양전지는 패시베이션 층으로 원자층 증착법으로  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막 또는 열 산화법에 의한 실리콘 산화막( $\text{SiO}_2$ )을 사용하고 그 위에 반사방지막과 전극 배리어 막으로  $\text{SiN}_x\text{:H}$  막이 플라즈마 화학 기상 증착법(PECVD)에 의해 증착

<sup>†</sup>Corresponding author

E-Mail : [hschang@cnu.ac.kr](mailto:hschang@cnu.ac.kr) (H. S. Chang, Chungnam Nat'l 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.

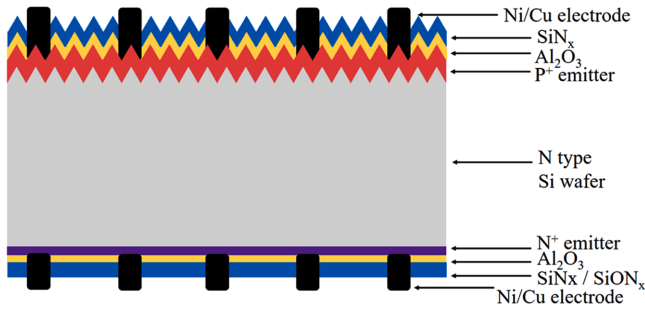


Fig. 1. N type bifacial solar cell structure.

된다.<sup>8)</sup> p형 PERC 태양전지에서  $Al_2O_3/SiN_x:H$  적층구조는 고온 소성 열처리 과정에서의 blistering이 많이 발생하게 되면 패시베이션 효과가 감소하게 되어  $SiON_x$  박막이 더 안정적인 패시베이션 특성을 보인다.<sup>9)</sup> 열처리 온도 감소 필요성과 전극 미세화 요구로 인하여 도금 공정이 전극형성에 사용되어 지고 있어,<sup>10-11)</sup> 본 연구에서는 n형 양면 수광 태양전지 구조에서 도금 전극 형성 온도 적용에 따른 후면 패시베이션 적층 구조의 특성 변화를 레이저 공정과 함께 조사하였다.<sup>12)</sup>

## 2. 실험 방법

### 2.1 후면 패시베이션 특성 확인

Fig. 2(a)는 n형 양면 수광 태양전지 공정 순서이다. 본 논문에서는 이 중 후면 패시베이션 적층 및 레이저 식각 공정을 다루었다. 먼저 n형 결정질 실리콘 웨이퍼에 80 °C, 10 % KOH 용액을 이용하여서 표면평탄화(SDR, saw damage removal)를 실시하였다. 그 후 RCA(radio corporation of America) 클리닝을 통해 표면의 금속 산화물, 유기물 및 기타 오염원들을 제거하였고, 공정 직

전에는 5 % HF(hydrogen fluoride) 용액을 이용하여서 표면의 산화막을 제거하였다.

Thermal ALD(atomic layer deposition) 장비로  $C_6H_{18}Al_{12}$  (TMA, trimethylaluminum)과  $H_2O$ 를 이용하여서  $Al_2O_3$  박막을 20 nm 두께로 양면으로 증착하였다. 증착 온도는 280 °C에서 진행하였고, pulse 및 purge time은 각각 TMA가 0.5초(pulse), 8초(purge),  $H_2O$ 가 0.2초(pulse), 8초(purge)로 진행하였다.<sup>13)</sup> 후면 박막 증착은 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition) 장비로 진행하였다. 캐리어 가스로  $N_2$ 를 사용하였고  $SiN_x$  증착은  $NH_3$ ,  $SiH_4$ 를 2:1의 비율,  $SiON_x$  증착은  $NH_3$ ,  $SiH_4$ ,  $N_2O$ 를 2:2:1의 비율로 사용하였고 파워는 200 W에서 실행하였다. 양면 박막 증착 후에는 전극 형성을 위한 레이저 식각을 진행하였다. Fig. 2(b)는 기판 위에 증착 된 박막 및 레이저 식각을 실시한 단면을 나타내었다. 개방을 위한 레이저 식각은 나노초 자외선 펄스 레이저로 진행하였으며, 개방 비를 통하여 각각 다른 특성을 확인하였다. 레이저 공정이 끝난 이후에는 RTP(rapid thermal process) 장비를 통해서  $N_2$  분위기 에서 열처리를 진행하였다. 도금 공정 중 Ni 도금에서의 NiSi 형성은 400 ~ 600 °C에서 열처리가 진행된다. 따라서 레이저 식각 공정 후의 열처리는 500 °C에서 진행하였다.<sup>14)</sup>

레이저 식각 후 광학 현미경(OM, optical microscope)과 주사전자현미경(SEM, scanning electron microscope)으로 레이저 식각 프로파일 단면 및 평면을 확인하여 평균적인 측정값으로 개방 비(open area ratio)를 계산 하였다.

각 공정 후에는 패시베이션 특성을 관찰하기 위해서 QSSPC(quasi-steady-state photoconductance) 장비를 이용하여서 개방전압(implied  $V_{oc}$ ,  $iV_{oc}$ ) 및 소수 전하 수명(minority carrier lifetime)을 측정하였다. 각 공정별로 1.

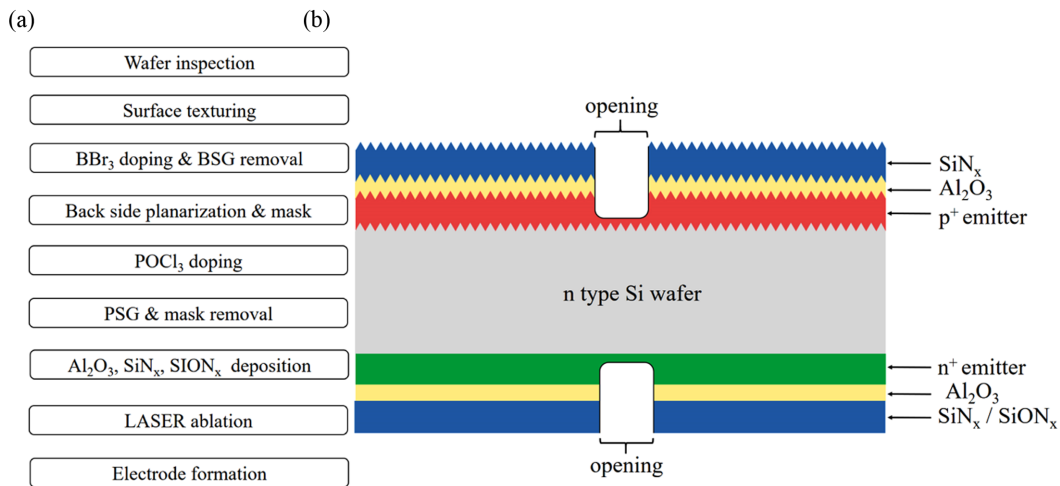


Fig. 2. (a) n type bifacial solar cell process and (b) structure of passivation layer with laser ablation

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막 증착, 2. SiN<sub>x</sub> 및 SiON<sub>x</sub> 박막 증착, 3. 레이저 식각, 4. 열처리 공정 후에 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 레이저 공정 조건

n형 웨이퍼에 레이저 세기를 1.1 W, 1.4 W, 1.6 W 로 변화 시킨 후 레이저 식각을 진행한 평면을 나타내었다. Fig. 3(a)에서는 레이저 세기 증가에 따른 식각 면적을 나타내었다. 각각 28.9 μm, 30.9 μm, 32.2 μm, 두께를 확인 할 수 있었다. 또한 레이저 파워(PWF)에 따른 레이저 세기 그래프를 Fig. 3(b)에 정리하였다.

n형 웨이퍼에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 양면으로 20 nm, 후면에 SiON<sub>x</sub>를 160 nm, SiN<sub>x</sub>를 120 nm 증착 한 후 레이저 식각을 실시하였고 그 두께를 Fig. 4(a), 4(b)에 나타냈다. 전극 간의 간섭을 피하기 위해서 레이저 사이 간격은 1 mm 로 설정하였다. 레이저 파워는 PWF 200부터 PWF 300 까지 10 단위로 변화를 시켰으며 전류를 31.4 A, 31.9 A, 32.4 A, 32.9 A 로 변화시켜서 식각 된 면적을 확인하였고 그에 따른 개방 비를 계산하였다.

그 결과 레이저 파워가 증가함에 따라서는 선편이 일정한 수치로 증가하지만 전류가 증가함에 따라서는 선편이 크게 증가하기보다는 실리콘이 더 많이 식각되는 양상을 확인하였다.

#### 3.2 개방 비와 패시베이션 효과 확인

n형 웨이퍼에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막을 양면으로 20 nm 증착하고, 후면에 SiON<sub>x</sub> 박막을 160 nm 증착 하였다. 실리콘 기판에 전극 형성 면적이 적은 선편에서는 도금 공정을 진행하기가 어렵다.<sup>15)</sup> 따라서 도금 전극 형성이 가능한 면적의 개방 비를 위한 실험 결과 1.8 % 에서 최적의 조건을 확인하였고 개방 비 1.8 % 부터 2.2 %, 2.5 %로 조건을 변경하여서 식각을 진행 하였다. 그 후 열처리를 진행 한 후 개방 전압과 소수 전하 수명을 측정하였고 Fig. 5에 정리하였다. 개방 비가 증가함에 따라서 패시베이션 면적이 감소하게 됨으로 패시베이션 효과가 감소하는 것을 확인 하였다.

#### 3.3 SiN<sub>x</sub>, SiON<sub>x</sub> 박막 특성 비교

n형 웨이퍼에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막을 양면으로 20 nm 증착 하

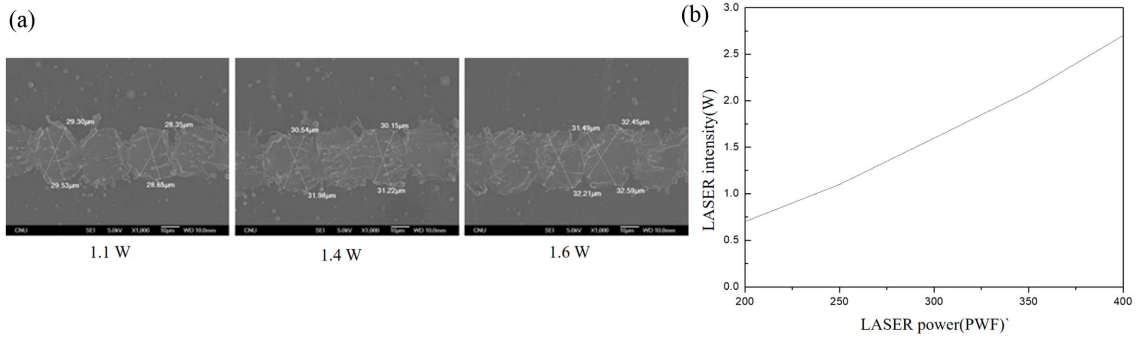


Fig. 3. (a) SEM top view image of laser ablation and (b) laser watt by power factor

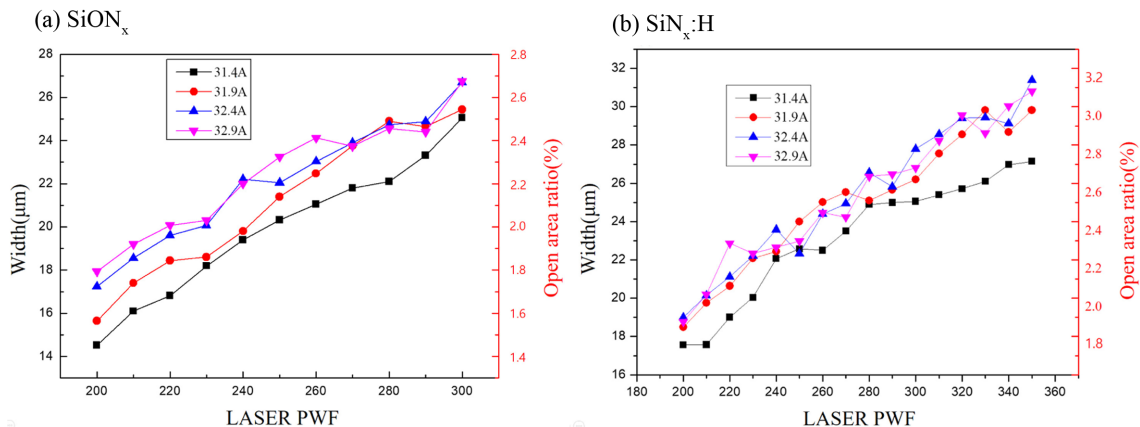


Fig. 4. Line width and open area ratio of (a) SiON<sub>x</sub> layer and (b) SiN<sub>x</sub>:H layer stack as a function of laser power

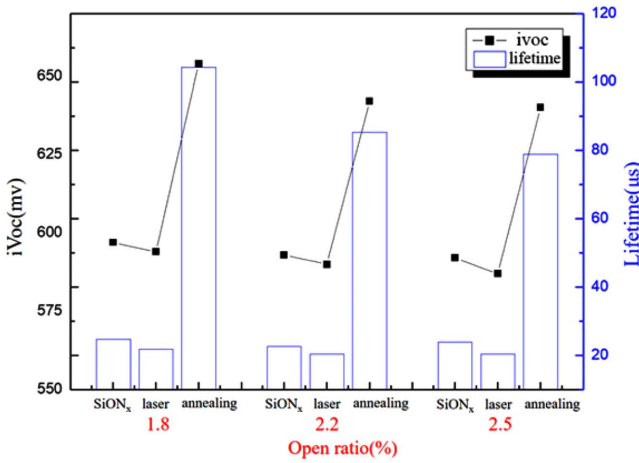


Fig. 5. passivation properties as a function of open area ratio

고, 후면에 SiON<sub>x</sub> 박막을 160 nm, SiN<sub>x</sub> 박막을 120 nm 각각 증착한다. 그 후 개방 비를 1.8%로 레이저 식각을 실시하고 열처리를 진행 한 후 공정 후에 개방 전압과 소수 전하수명을 측정하였고 그 변화를 Fig. 6으로 정리하였다.

열처리 공정 후 SiON<sub>x</sub> 박막에서 개방 전압 및 소수 전하 수명이 666 mV, 339.1 μs임을 확인했고, SiN<sub>x</sub> 박막에서 676 mV, 402.52 μs를 확인했다.

Fig. 7은 SiN<sub>x</sub>:H, SiON<sub>x</sub> 박막 증착과 열처리 후의 SIMS(secondary ion mass spectrometry) 측정 H, Al 프로파일을 나타낸다. Fig. 7(a)는 SiN<sub>x</sub>:H 박막이 열처리 후에 실리콘 기판과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막 계면에서 수소의 함량이 상승한 것을 확인할 수 있다. SiN<sub>x</sub>:H 박막 증착 공정에서는 SiH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> 가스를 사용하고, SiON<sub>x</sub> 공정에서는 위 세 가스 이외에도 N<sub>2</sub>O 가스를 사용하여 공정을 진행한다. 이는 공정 중에서는 Si-O 결합(bond energy : 108 kcal/mol)이 Si-N 결합(bond energy : 77 kcal/mol)보다 먼저 반응을 일으키기 때문에 SiON<sub>x</sub> 공정 중 NH<sub>3</sub> 반응 발생 빈도는 상대적으로 감소하고, 막 내에 수소의 함량이 낮아져서, 박막의 수소 함유량은 낮아진다.<sup>16-17)</sup> 스크린 프린팅 공정을 이용한 고온 공정(800 °C)과는 다르게,<sup>9)</sup> 도금 전극에 의한 500 °C 정도이하의 온도에서는 blistering이 적게 나타나기 때문에 수소의 계면 패시베이션 특성이 중요하게 된다. 그러므로, SiN<sub>x</sub>:H 박막에 있는 수소가 실리콘 계면으로 확산되면서 레이저 공

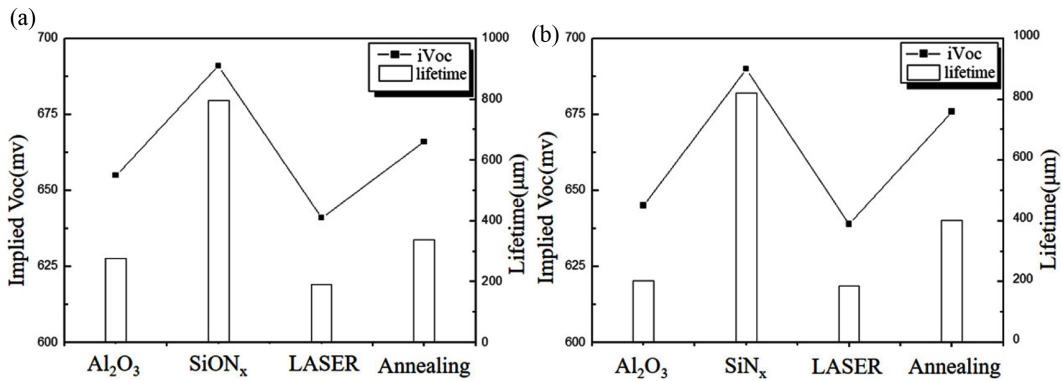


Fig. 6. passivation effect of (a) SiON<sub>x</sub> layer and (b) SiN<sub>x</sub> layer as a function of process step

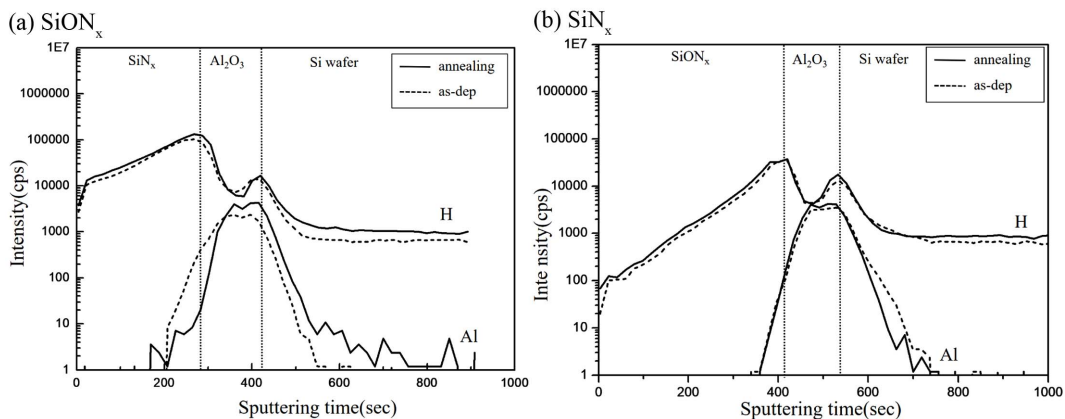


Fig. 7. SIMS Al, H profile with as-deposited and annealed conditions of (a) SiON<sub>x</sub> layer and (b) SiN<sub>x</sub> layer

정에 의한 실리콘 기판 손상을 패시베이션 하는 것으로 판단된다.<sup>9)</sup> Fig. 7(b)는 SiON<sub>x</sub> 박막의 적층 경우에는 열처리 이후에 수소의 변화가 많지 않다. 그 결과 열처리 공정 후에 SiN<sub>x</sub>:H 박막이 SiON<sub>x</sub> 박막 보다 10 mV, 80 μs 만큼 더 좋은 특성을 보이는 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

n형 양면 수광 태양전지와 도금 전극 형성 조건에서의 레이저 공정에 따른 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiN<sub>x</sub>:H과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiON<sub>x</sub> 박막 적층에서의 패시베이션 특성을 고찰하였다. SiN<sub>x</sub>:H 박막 적층 조건이 레이저 공정과 열처리 후에 SiON<sub>x</sub> 박막 적층 경우에서보다 iVoc 10 mV 더 좋은 패시베이션 특성을 나타내었다. 이는 실리콘사이드 공정 온도에서의 열처리 진행시 SiN<sub>x</sub>:H 박막 내의 수소가 실리콘으로 확산되는 것을 SIMS 프로파일로 확인하였다. 양면 수광 태양전지를 제조를 위한 레이저 식각 공정에서 유발된 실리콘 기판 계면의 수소 패시베이션 역할이 중요하다는 것을 나타낸다.

#### References

1. M. Rudiger, S. Fisher, J. Frank, A. Ivaturi, B. S. Richards, K. W. Kramer, M. Hermle and J. C. Goldschmidt, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **128**, 57 (2014).
2. C. Zhang, H. Shen, L. Sun, J. Yang, S. Wu and W. Lu, *Energies*, **13**, 1388 (2020).
3. M. Raghuvanshi, A. Laterne, J. L. Perchec, P. Pareige, E. Cadel, S. Gall and S. Duguay, *Prog. Photovoltaics*, **23**, 1724 (2015).
4. D. Pysch, A. Mette, A. Filipovic and S. W. Glunz, *Prog. Photovoltaics*, **17**, 101 (2009).
5. W. P. Mulligan, D. H. Rose, M. J. Cudzinovic, D. M. D. Ceuster, K. R. McIntosh, D. D. Smith and R. M. Swanson, in *Proc., 19th EPVSEC*, p.387 (2004).
6. A. Hubner, A. G. Aberle and T. Hezel, *Appl. Phys. Lett.*, **70**, 1008 (1997).
7. R. Hezel, *Prog. Photovoltaics*, **11**, 549 (2003).
8. K.-H. Cho, Y. J. Cho, H. S. Chang, K.-J. Kim and H. E. Song, *J. Korean Phys. Soc.*, **67**, 995 (2015).
9. K. H. Cho, Y. J. Cho and H. S. Chang, *J. Koran Ceram. Soc.*, **51**, 197 (2014).
10. M. S. Jeong, S. J. Choi, H. S. Chang, J. I. Lee, M. G. Kang, D. H. Kim and H. E. Song, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55** (2016).
11. G. M. Kim, Y. J. Cho and H. S. Chang, *Korean J. Mater. Res.*, **29**, 228 (2019).
12. J. Schmidt, A. Merkle, R. Brendel, B. Hoex, M. C. M. van de Sanden and W. M. M. Kessels, *Prog. Photovoltaics*, **16**, 461 (2008).
13. P. Jaffrennou, A. Uruena, J. Das, J. Penaud, M. Moors, A. Rothschild, B. Lombardet and J. Szlufcik, *Proceedings of the 26th World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion* (2011).
14. F. F. Zhao, J. Z. Zheng, Z. X. Shen, T. Osipowicz, W. Z. Gao and L. H. Chan, *Microelectron. Eng.*, **71**, 104 (2004).
15. J. Dupuis, E. Fourmond, J. F. Ielièvre, D. Ballutaud and M. Lemiti, *Thin Solid Films*, **516**, 6954 (2008).
16. M. I. Alayo, I. Pereyra, W. L. Scopel and M. C. A. Fantini, *Thin Solid Films*, **402**, 154 (2002).

#### <저자소개>

##### 장효식

충남대학교 에너지과학기술대학원 교수

##### 김기륜

충남대학교 에너지과학기술대학원 학생