

기판 세정특성에 따른 표면 패시베이션 및 a-Si:H/c-Si 이종접합 태양전지 특성변화 분석

송준용 · 정대영 · 김찬석 · 박상현 · 조준식 · 송진수 · 왕진석* · 이정철[†]
한국에너지기술연구원 태양광연구단, *충남대학교 전자전파정보통신과

Effect of Cleaning Processes of Silicon Wafer on Surface Passivation and a-Si:H/c-Si Hetero-Junction Solar Cell Performances

Jun Yong Song, Dae Young Jeong, Chan Seok Kim, Sang Hyun Park, Jun-Sik Cho, Jinsoo Song, Jin-Suk Wang* and Jeong Chul Lee[†]

Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research, 71-2, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

*Department of Electronic, Chungnam National University Daejeon, Korea

(2010년 3월 19일 접수 : 2010년 4월 14일 최종수정 : 2010년 4월 14일 채택)

Abstract This paper investigates the dependence of a-Si:H/c-Si passivation and heterojunction solar cell performances on various cleaning processes of silicon wafers. It is observed that the passivation quality of a-Si:H thin-films on c-Si wafers depends highly on the initial H-termination properties of the wafer surface. The effective minority carrier lifetime (MCLT) of highly H-terminated wafer is beneficial for obtaining high quality passivation of a-Si:H/c-Si. The wafers passivated by p(n)-doped a-Si:H layers have low MCLT regardless of the initial H-termination quality. On the other hand, the MCLT of wafers incorporating intrinsic (i) a-Si:H as a passivation layer shows sensitive variation with initial cleaning and H-termination schemes. By applying the improved cleaning processes, we can obtain an MCLT of 100 μ sec after H-termination and above 600 μ sec after i a-Si:H thin film deposition. By adapting improved cleaning processes and by improving passivation and doped layers, we can fabricate a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells with an active area conversion efficiency of 18.42%, which cells have an open circuit voltage of 0.670V, short circuit current of 37.31 mA/cm² and fill factor of 0.7374. These cells show more than 20% pseudo efficiency measured by Suns-V_{oc} with an elimination of series resistance.

Key words solar cells, heterojunction, a-Si:H, H-termination, passivation.

1. 서 론

비정질/결정질 실리콘(a-Si:H/c-Si) 이종접합 태양전지는 기존의 고온 확산공정을 이용한 동종접합 태양전지에 비해 고 효율을 얻을 수 있으며 저온 공정에 의한 제조 비용절감 등 다양한 장점으로 인해 최근 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁻³⁾ HIT(Heterojunction with Intrinsic Thin layer)로 대표되는 a-Si:H/c-Si 이종접합 태양전지는 이미 일본의 산요사에서 상용화가 되고 있으며 그 효율 또한 20% 이상인 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 이종접합 태양전지의 효율은 pn 접합형성을 위해 실리콘 기판표면에 두께 10 nm 이하로 증착되는 비정질 실리콘 박막(a-Si:H)의 기판표면 패시베이션(실리콘 기판에 존재하는 결함을 최소

화 하는 것) 특성에 의해 좌우된다.⁵⁻⁸⁾ 따라서 실리콘 기판표면에 존재하는 결함을 최소화 해 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 비정질 실리콘 박막 증착조건 최적화뿐만 아니라 박막 증착 전 기판 표면의 세정(cleaning) 특성을 최적화 하는 것이 무엇보다 중요한 것으로 보고되고 있다.⁹⁻¹²⁾ 반도체 공정에서 일반적으로 사용되는 RCA 공정은 기판 표면에 존재하는 유기 및 금속 오염물을 효과적으로 제거해 주며 마지막으로 표면에 존재하는 산화막(SiO₂)의 DHF(Diluted Hydrofluoric Acid) 식각공정을 통해 실리콘 표면을 수소로 패시베이션(수소종단 : H-termination) 하게 된다.¹³⁻¹⁹⁾ 실리콘 기판세정 최적화를 통한 이종접합 태양전지 효율향상에 관한 많은 연구가 보고되고 있으나 그 상관관계에 대해서는 연구가 부족한 실정이다.²⁰⁻²²⁾ 본 논문에서는 실리콘 기판세정에 따른 이종접합 태양전지 특성 의존성을 규명하기 위해 다양한 세정공정을 수행하고 그에 따른 실리콘 기판표면 수소

[†]Corresponding author
E-Mail : jcleee@kier.re.kr (J. C. Lee)

종단 특성, 비정질 실리콘 박막의 패시베이션 특성 변화를 분석하고 마지막으로 이러한 특성변화가 이종접합 태양전지의 동작특성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 비저항 1-5 Ωcm, 두께 280 μm를 갖는 n형의(100) 단결정 실리콘 기판을 사용하였다. 먼저 실리콘 기판 슬라이싱 이후 표면에 남아 있는 절단 손상 (saw damage)을 줄이고 실리콘 기판 표면에서의 빛의 반사를 줄이기 위해 화학적인 식각 공정을 수행하였다. 절단손상 제거를 위해 먼저 기판을 80°C의 2% KOH 용액에서 10분간 식각하였고, 그 용액에 다시 IPA 8% 용액을 넣고 80°C에서 30분간 식각하여 표면을 피라미드 구조로 형성하였다. 실리콘 기판의 기본 세정공정은 1970 년대에 Kern과 Puotinen에 의해 발표된 RCA 세정 공정을 사용하였다. RCA1 세정은 NH₄OH : H₂O₂ : H₂O를 1 : 1 : 5비율로 75~80°C에서 10분간 세정하여 유기 물질과 표면에 존재하는 미세입자를 제거하였다. RCA2 세정은 HCl : H₂O₂ : DI를 1 : 1 : 5 비율로 혼합한 것으로 75~80°C에서 10분간 세정하여 잔류 금속 불순물을 제거하였다. 마지막으로 H₂O에 희석된 5% DHF를 사용하여 표면에 존재하는 산화막을 제거하고 실리콘 표면을 수소 종단 처리하였다. 수소종단 처리 직후 자연산화막 생성을 억제하기 위해 진공 반응실로 주입하여 박막을 증착하거나 소수 캐리어수명을 측정하였다. 본 연구에서 실리콘 기

판 표면 패시베이션 및 이종접합 태양전지 제조를 위해 무첨가 비정질 실리콘 박막(i a-Si:H), p형 a-Si:H 및 n형 a-Si:H 박막을 기판 표면에 10 nm 이하의 두께로 증착하였다. I a-Si:H 박막은 SiH₄과 H₂ 가스를 이용해 열선 CVD로 증착하였으며, p형과 n형의 a-Si:H 박막은 13.56MHz의 PECVD를 이용하였으며 도우핑을 위해 H₂ 가스에 희석된 1%의 B₂H₆와 PH₃ 가스를 SiH₄, H₂ 가스와 함께 사용하였다. 생성된 전자의 효과적인 수집과 표면 입사광 반사방지를 위해 두께 80 nm의 ITO 박막을 RF 스퍼터링법으로 증착하였다. 전면 전극으로는 Ag를 세도우 마스크를 이용하여 증착하고 Al를 후면에 증착하여 태양전지를 제조하였다. Fig. 1은 본 연구에서 제조된 a-Si:H/c-Si 이종접합 태양전지의 단면구조 나타낸 것이다.

다양한 기판세정과 박막 증착공정 이후 기판 표면에서의 캐리어 재결합 특성을 관찰하기 위하여 Fig. 2와 같은 QSSPC(Quasi-Steady State Photo-Conductance Technique, 미국 Sinton Consulting 사) 장치를 이용하였다. QSSPC는 실리콘 기판에 플래시 광을 인가하여 생성된 캐리어의 유도전류의 시간변화를 모니터링 함으로써 기판에서의 유효 소수캐리어 수명(effective minority carrier lifetime: MCLT)을 측정한다.²³⁾ 일반적으로 실리콘 기판의 MCLT는 실리콘 기판과 표면에서의 캐리어 재결합에 의해 결정되는데, 대부분의 경우 표면에서의 재결합이 기판의 MCLT를 결정하게 된다.²⁴⁾ 따라서 QSSPC를 이용해 MCLT를 측정하여 실리콘 표면 재결합 속도(surface recombination velocity, S_{eff})를 식 (1)과 같이 구할 수 있는데, 여기서 τ_b는 실리콘 기판내부의 캐리어 수명, ω는 웨이퍼 두께, τ_{eff}는 QSSPC로 측정된 유효 MCLT를 의미한다.²⁵⁾

$$\frac{1}{\tau_{eff}} = \frac{1}{\tau_b} + 2 \frac{S_{eff}}{\omega} \rightarrow S_{eff} \leq \frac{\omega}{2\tau_{eff}} \quad (1)$$

제조된 태양전지의 광전변환특성은 인공태양광원(solar simulator, 일본 Wacom사)을 사용하여 AM 1.5, 1 sun (100 mW/cm²) 조건에서 측정하였으며, 태양전지의 직렬 저항 성분을 제외한 가상효율(Pseudo Efficiency)은 QSSPC와 Suns-V_{oc}를 이용하여 측정하였다.²⁶⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 기판표면 수소종단이 패시베이션에 미치는 영향

본 절에서는 세정 및 DHF를 이용한 수소종단 처리 이후 MCLT 분석을 통한 실리콘 기판 표면 패시베이션 거동을 살펴보고자 한다. Fig. 3(a)는 RCA 및 DHF 공정 이후 기판의 공기중 노출시간에 따른 MCLT 변화를 나타낸 것이다. DHF 공정직후 기판의 MCLT는 약 70μsec

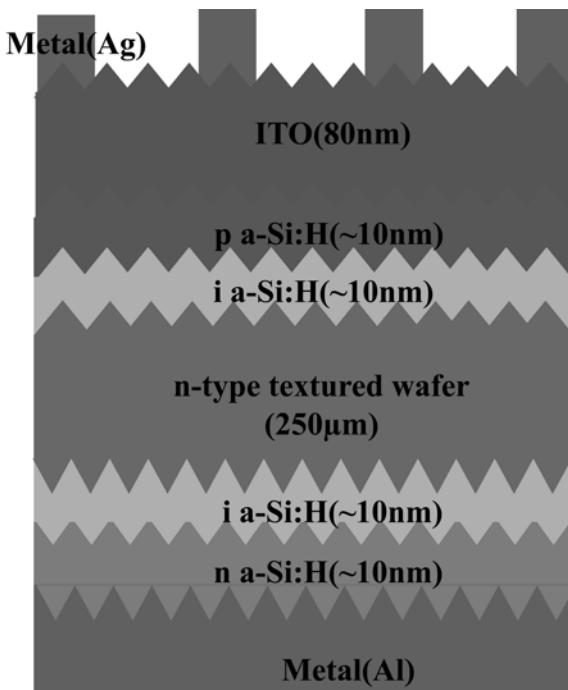


Fig. 1. Schematic structure of a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells.

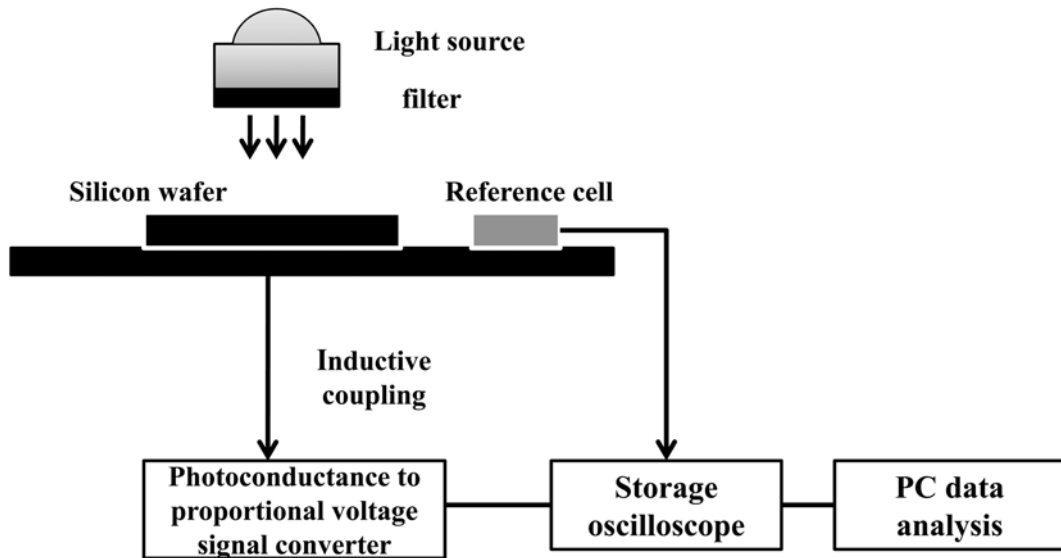


Fig. 2. Schematic of QSSPC measurements.

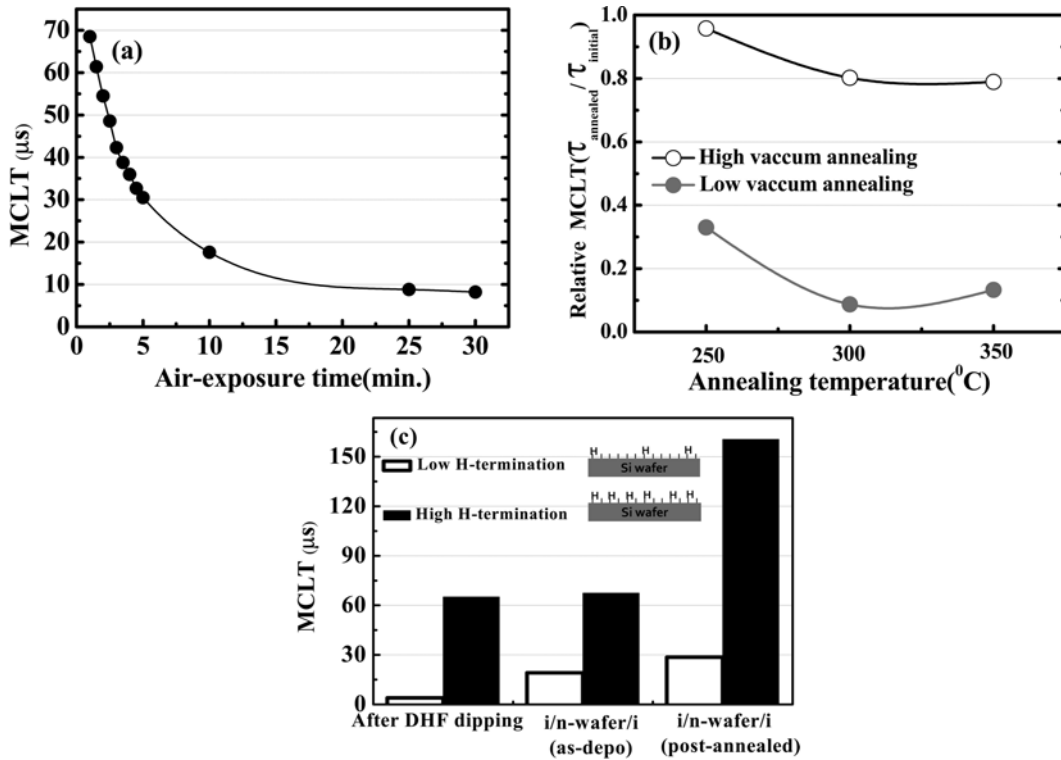


Fig. 3. The MCLT variation of silicon wafers depending on; (a) air-exposure time after DHF dipping, (b) post-annealing conditions and (c) i-a-Si:H layer passivation and initial H-termination properties of wafer.

의 값을 가지는데 이는 자연산화막이 존재하는 기관의 5 μ sec에 비해 높은 값으로 DHF 공정에 의해 실리콘 표면이 수소로 패시베이션 되었기 때문이다. 수소종단된 기관의 공기중 노출시간이 증가할수록 MCLT는 약 10분까지 급속히 감소하다 10 μ sec 이하에서 포화되는 특성을 보이는데, 이는 공기중에 O₂와 실리콘 웨이퍼의 Si가 서로 반응하여 SiO₂가 생성되거나 실리콘과 결합하

고 있는 수소원자의 탈착에 의한 것으로 분석된다. DHF 수소종단 후 실리콘 표면의 결손결합(dangling bonds) 감소에 의해 기관의 MCLT 증가를 가져왔는데, 비정질 실리콘 박막 증착전 기관 표면의 Si-H 결합을 최대한 유지하는 것이 중요하다. Fig. 3(b)는 DHF 수소종단된 실리콘 기관을 진공도가 높은 반응실(10⁻⁶ Torr 이하) 및 낮은 반응실(~10⁻² Torr)에서 각각 온도별로 열처리 한 직

후 MCLT 변화를 비교한 것이다. 고 진공에서 열처리 한 기판의 경우 온도가 증가할수록 MCLT는 초기에 비해 상대적으로 감소하지만 80% 수준을 유지하는 반면, 저 진공의 경우 초기 MCLT 대비 40%로 급속한 감소현상을 보이고 있다. 저진공 열처리 공정 이후 기판의 MCLT 감소 원인으로는 Fig. 3(a)에서 언급하였듯이 반응실 내부의 잔류 산소에 의한 자연산화막 생성 및 수소 탈착을 들 수 있으며 이는 기판의 온도가 증가할수록 더욱 급속히 기판표면 패시베이션 특성을 감소시키는 원인으로 작용함을 알 수 있다. Fig. 3(c)는 실리콘 기판의 초기 수소종단 특성이 a-Si:H 박막 증착후 패시베이션에 미치는 영향을 분석한 것이다. 먼저 기판 세정공정을 달리하여 수소종단을 제어하고 수소결합의 정도가 높고 낮은 두 종류의 기판양면에 동일하게 열선 CVD를 이용하여 두께 10 nm의 a-Si:H 박막을 증착하고 MCLT 변화를 비교하였다. Fig. 3(c)의 첫 번째 두 막대는 DHF 처리 직후 기판의 MCLT로서 10 μ sec 이하의 낮은 수소결합을 갖는 기판과 60 μ sec 이상의 높은 수소결합을 갖는 기판에 i a-Si:H 박막을 증착할 경우 첫 번째 기판의 MCLT는 20 μ sec로 다소 상승한 반면, 두 번째 기판은 큰 변화를 보이지 않는다. 그러나 i a-Si:H 박막이 증착된 시료를 200 $^{\circ}$ C 진공 열처리 할 경우 두 번째 기판의 MCLT 값이 초기 대비 약 2배 상승함을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 우리는 박막 증착 전 기판의 초기 수소종단 특

성에 따라 a-Si:H 박막의 기판 패시베이션 특성이 좌우됨을 알 수 있으며, 박막 증착 후 높은 계면 패시베이션 특성을 얻기 위해서는 박막 증착전 실리콘 기판 표면의 수소 패시베이션을 증가시키는 것이 중요함을 알 수 있다. 또한 a-Si:H 박막 증착후 열처리 공정에 의한 MCLT 증가는 열 에너지에 의해 미처 실리콘 결손결함 패시베이션에 참여하지 못한 수소원자의 재배열에 의한 것으로 보여지는데,²⁷⁾ 초기 수소결합이 낮은 기판의 경우 열처리 후에도 MCLT는 큰 증가를 보이지 않는데 반해, 수소결합이 높은 기판의 경우 열처리 공정에 의해 높은 MCLT 상승효과를 보이고 있다.

3.2 세정공정에 따른 기판표면 패시베이션 특성

본 절에서는 서로 다른 세정공정을 거친 세 종류의 기판 양면에 n(p)형 또는 i형 a-Si:H 박막을 증착한 후 MCLT 변화를 분석하고자 한다. 앞 절에서 언급한 표면 텍스처링한 동일한 실리콘 기판의 세정공정만을 달리하여(CP-1, CP-2, CP-3) 초기 기판표면 상태를 제어하였는데, 여기서 CP-3는 CP-1과 CP-2에 비해 좀 더 개선된 세정공정을 거친 시료이다. Fig. 4(a)와 (b)는 세 가지 실리콘 기판의 세정 직후, p(n) a-Si:H 박막 증착 후, ITO 박막 증착 후 MCLT와 SRV 변화를 비교한 것이다. 기판세정과 초기 DHF 처리 직후 CP-1과 CP-2의 MCLT가 약 10 μ sec로 낮은 반면, 개선된 세정공정을 거친 CP-

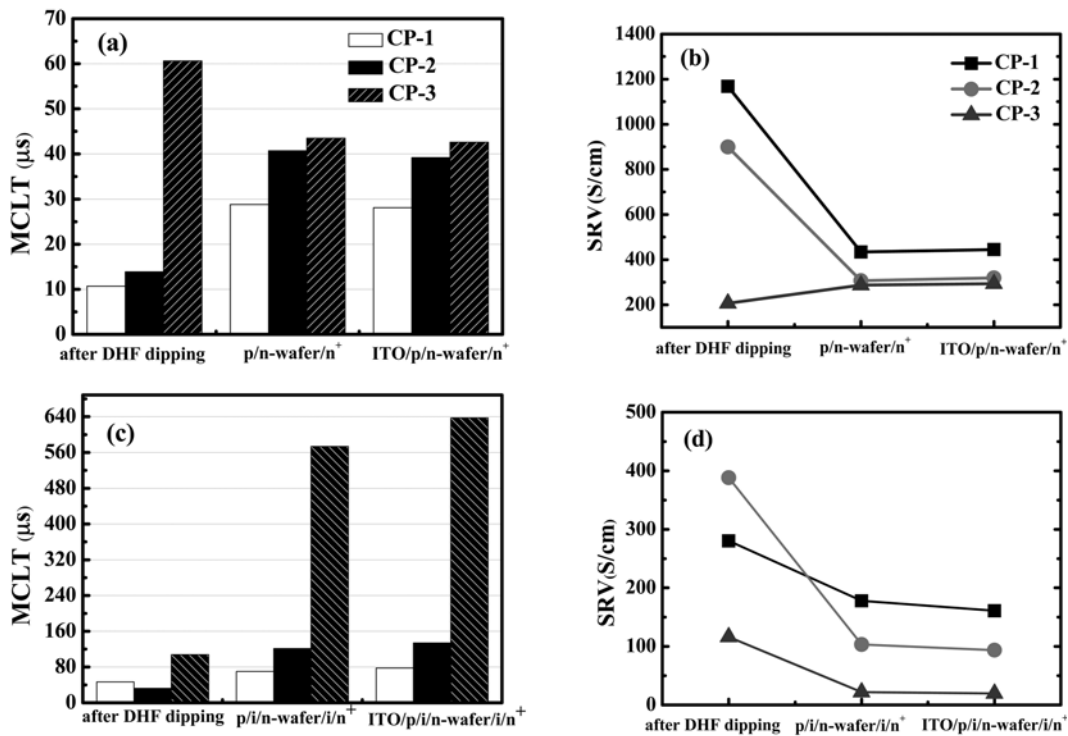


Fig. 4. The variation of MCLT and SRV of silicon wafers depending on cleaning processes ; (a), (b) p(n) a-Si:H used as passivation layer and (c), (d) i a-Si:H as passivation layer.

3 기판은 60 μ sec의 높은 값을 보임을 알 수 있다. 그러나 기판 양면에 두께 10 nm의 p a-Si:H 에미터와 n a-Si:H 후면 전계층(back surface field)을 형성한 후 CP-1과 CP-2의 MCLT는 다소 증가하는 반면 CP-3는 오히려 감소하여 CP-1, CP-2와 유사한 값을 보이고 있으며 이러한 경향은 두께 80 nm의 ITO 박막을 전면에서 증착한 직후에도 동일함을 알 수 있다. 일반적으로 실리콘 기판 표면에 존재하는 결손결합을 줄이기 위해 양질의 SiO₂, SiN_x:H, a-Si:H 박막을 사용하는데,²⁸⁻³⁰ 박막의 특성에 따라 표면 패시베이션 특성이 좌우된다. 특히 a-Si:H 박막의 경우 불순물이 도우핑 되지 않은 i a-Si:H 박막이 p나 n형의 a-Si:H 박막에 비해 실리콘 기판 패시베이션 특성이 우수한 것으로 보고되고 있다.³¹) 그림 3(a)와 (b)에서 p(n) a-Si:H 박막 증착 후 CP-3 기판의 MCLT 감소는 박막 증착시 보론(B)과 포스퍼(P) 도우핑 원소에 의한 계면 패시베이션 특성 감소로 분석된다. 결과적으로, 세 가지 웨이퍼 세정에 따라서 p(n) a-Si:H 박막을 패시베이션 층으로 사용할 경우 초기 수소종단 특성과는 달리 기판의 패시베이션 특성에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 반면, 패시베이션 특성이 우수한 i a-Si:H 박막을 사용할 경우 초기 수소종단에 따라 기판의 MCLT 및 SRV의 큰 변화를 관찰할 수 있었다. Fig. 4(c)와 (d)는 i a-Si:H 박막을 웨이퍼 양면에 패시베이션 층으로 사용하였을 때 MCLT와 그에 따른 SRV 변화를 비교한 것이다. 초기 DHF 처리 직후 MCLT는 CP-3가 100 μ sec로 가장 높으며, CP-1과 CP-2는 40 μ sec로 상대적으로 낮은 값을 갖는다. 동일한 조건에서 두께 10 nm의 i a-Si:H를 기판 양면에 증착하고 순차적으로 p와 n a-Si:H, ITO 박막을 증착할 경우 MCLT의 큰 변화를 확인할 수 있다. Fig. 4(a), (b)에서와 같이 p(n) a-Si:H 박막을 패시베이션층으로 사용하였을 때와는 달리 고품질의 i a-Si:H를 사용할 경우 CP-3의 MCLT가 500 μ sec 이상으로 초기 대비 크게 상승하였으며, 그에 따른 SRV는 19.6 cm/s로 매우 우수한 패시베이션 특성을 나타내었다. 반면, 초기 수소종단 특성이 낮은 CP-1과 CP-2 기판의 경우 i a-Si:H 박막 증착후 MCLT가 소폭 상승하는 특성을 보였주었다. 이상의 결과로부터 우리는 기판의 초기 수소종단과 a-Si:H 박막 증착에 따른 패시베이션 거동을 이해할 수 있는데, 박막 증착전 높은 수소종단 특성은 이후 증착된 a-Si:H 박막의 실리콘 표면 패시베이션에 결정적인 역할을 하지만 패시베이션 층으로 사용되는 박막의 품질에 따라 초기 수소종단 효과도 크게 달라짐을 알 수 있다. 즉, 비교적 패시베이션 품질이 낮은 p(n) a-Si:H 박막을 사용할 경우 초기 기판 수소종단 특성과는 상관없이 기판의 MCLT 및 SRV 특성은 낮게 나타나며, 양질의 i a-Si:H 박막을 사용할 경우 초기

수소종단 특성이 우수할수록 높은 패시베이션 특성을 확보할 수 있다.

3.3 세정공정에 따른 a-Si:H/c-Si 이종접합 태양전지 특성

본 절에서는 앞서 Fig. 4에서 살펴본 기판 세정공정(CP-1, 2, 3)에 따른 a-Si:H/c-Si 이종접합 태양전지 특성의존성을 분석하고자 한다. 동일한 기판의 세정공정만을 달리하여 태양전지를 제조하였으며, 구조는 Fig. 1에 나타내었듯이 Ag/ITO(80 nm)/p a-Si:H(10 nm)/i a-Si:H(10 nm)/n c-Si wafer/i a-Si:H(10 nm)/n a-Si:H(10 nm)/Al로 세정공정과 i a-Si:H 유무에 따른 태양전지 특성을 비교분석하였다. 태양전지는 동일하게 4 cm × 4 cm 기판에 1 cm² 태양전지 9개를 제조하여 평균적인 특성을 분석하였다. Fig. 5(a)는 기판세정 및 i a-Si:H 유무에 따른 이종접합 태양전지의 개방전압(V_{oc}) 특성변화를 비교한 것이다. 앞서 Fig. 4에서 살펴보았듯이 세정공정에 따른 기판 패시베이션 특성에서 p(n) a-Si 박막을 패시베이션 층으로 사용하였을 경우 각 세정공정별로 MCLT와 SRV에서 큰 변화가 없었으며, 이에 따라 태양전지의 개방전압 또한 CP-1, 2, 3에 대해 각각 0.56V, 0.58V, 0.59V로 큰 차이를 보이지 않았다. 이와는 반대로 i a-Si 박막을 패시베이션 층으로 사용할 경우 MCLT 특성변화와 동일한 경향으로 각 세정별 개방전압은 0.59V, 0.62V, 0.67V로 큰 차이를 나타내었다. 이는 기판 세정에 따른 초기 수소종단 특성 및 a-Si:H 박막의 품질에 따른 기판과 박막 계면에서의 패시베이션 특성 변화가 태양전지의 V_{oc} 특성에 직접적인 영향을 주었기 때문이다. Fig. 5(b)는 단락전류 밀도로서 i a-Si:H 박막을 사용하지 않은 태양전지의 전류밀도가 박막에서의 광 흡수 감소효과에 의해 높은 값을 보이고 있다. 충진율(fill factor)은 태양전지에 존재하는 직렬 저항에 의해서 결정되는데, 직렬저항의 경우 실리콘, 투명전도막, 금속 그리드 전극 자체 또는 계면 저항에 의해서 결정되며, 병렬저항은 기판과 박막 계면에서의 누설전류에 의해서 결정되게 된다.³²⁻³³) Fig. 5(c) 솔라 시뮬레이터로 측정된 태양전지 충진율의 경우 투명전도막과 전면 그리드 전극의 특성이 최적화 되지 않아 비교적 높은 저항을 가지며 이러한 직렬저항이 태양전지 충진율에 영향을 미쳐, 기판세정 및 패시베이션 특성에 따른 충진율 의존성을 정확하게 분석하기가 어렵다. 따라서 Fig. 5(e)와 같이 Suns-V_{oc} 장치를 이용하여 태양전지에 존재하는 직렬저항 성분을 제거한 가상(pseudo) 충진율을 측정함으로써 계면특성과의 상관성을 분석할 수 있었다. p(n) a-Si:H 박막을 사용한 태양전지의 경우 가상 충진율은 0.70~0.75로 CP-1, 2, 3 시료에서 모두 낮은 값을 보이는 반면, i a-Si:H 박막을 패시

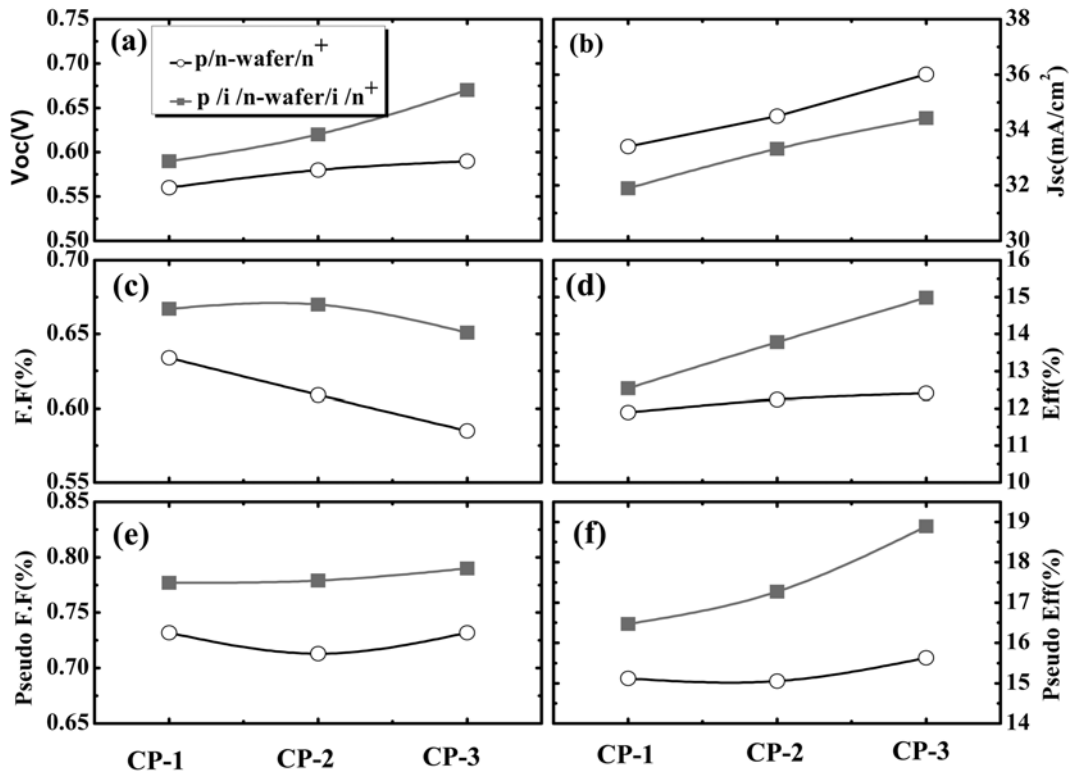


Fig. 5. Characteristics of a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells depending on silicon wafer cleaning processes ; (a) open circuit voltage, (b) short circuit current density, (c) fill factor, (d) efficiency, (e) pseudo fill factor and (f) pseudo efficiency.

패시베이션층으로 사용한 태양전지의 가상 충전율은 0.77~0.80으로 높은 값을 나타내었다. Fig. 5(d)와 (e)는 인공태양광원과 Suns-V_{oc}를 이용해 각각 측정된 태양전지의 효율을 나타낸 것으로 두 경우 모두 i a-Si:H을 패시베이션층으로 사용할 경우 높은 광전 변환효율을 보임을 알 수 있다. 또한 p(n) a-Si:H 박막을 사용할 경우 태양전지의 변환효율은 초기 기판 세정공정에 상관없이 일정한 값을 보이는 반면, i a-Si:H 박막을 사용한 태양전지의 변환효율은 세정공정 개선에 의해 초기 수소종단 특성이 높을수록 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 6은 개선된 기판 세정공정과 ITO 직렬저항 최소화를 통해 제조된 a-Si/c-Si 이중접합 태양전지의 광전변환특성으로 3×3cm² 면적에서 개방전압 0.670V, 충전율 0.7374, 단락전류밀도 37.31 mA/cm²로 18.42%의 높은 변환효율을 갖는 태양전지를 제조할 수 있었다. 단위박막, 계면, 전극 그리드에서의 직렬저항 성분이 여전히 존재함을 Suns-V_{oc} 측정결과로부터 알 수 있는데, 제조된 태양전지의 직렬저항 성분을 최소화 할 경우 20% 이상의 고효율 태양전지 제조가 가능할 것으로 분석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 실리콘 기판표면 수소종단이 패시베이

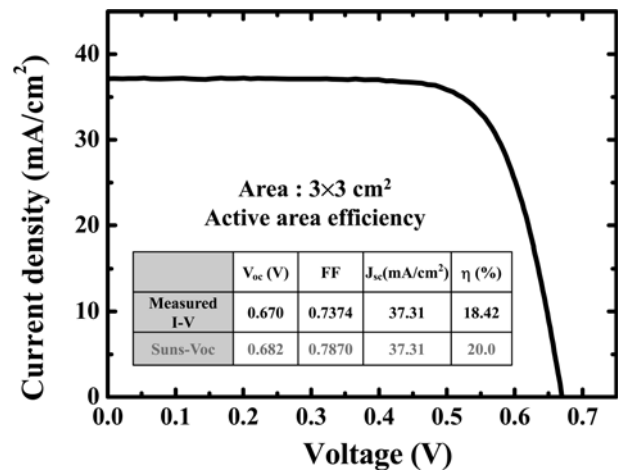


Fig. 6. Illuminated I-V curves and parameters of a-Si:H/c-Si hetero-junction solar cell incorporating improved cleaning processes, doped a-Si:H and TCO layers.

션에 미치는 영향과 세정공정에 따른 기판표면 패시베이션 특성 및 그에 따른 a-Si:H/c-Si 이중접합 태양전지 특성을 조사하였다. 실리콘 기판의 초기 수소결합의 정도를 제어하여 열선 CVD를 이용해 a-Si:H 박막을 증착하고 패시베이션 특성을 분석하였다. 그 결과 박막 증착 후 초기 수소결합이 높은 기판일수록 MCLT가 증가하였는데, 이로써 계면 패시베이션 특성을 향상시키기 위

해서는 초기 수소종단 특성을 향상시키는 것이 중요함을 알 수 있다. 또한 세정공정에 따라 기판 양면에 p(n)형 또는 i형 a-Si:H 박막 증착후 MCLT의 변화 및 SRV를 관찰하였다. p(n) a-Si:H 박막 증착 후 수소종단에 따른 패시베이션 특성에는 큰 차이가 없었으나 i a-Si:H 박막 증착 후에는 MCLT 및 SRV에서 큰 변화를 나타냈다. 여기서 우리는 수소종단 특성이 실리콘 표면 패시베이션에 결정적인 역할을 하지만 증착되는 박막의 품질에 따라 패시베이션 특성이 크게 변화될 수 있음을 알 수 있다. 이에 따라 p(n) a-Si:H 박막을 패시베이션층으로 사용한 태양전지의 변환효율은 초기 세정공정에 상관없이 일정하지만, i a-Si:H 박막을 사용한 태양전지의 변환효율은 수소종단 특성이 높을수록 높게 나타났다. 기판세정, a-Si:H 박막 최적화를 통한 계면결함 최소화를 통해 18.42%의 이중접합 태양전지를 제조할 수 있었으며, 투명전도막 및 그리드 전극의 저항을 최소화 할 경우 20% 이상의 고효율화가 가능함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. M. Tanaka, M. Taguchi, T. Matsuyama, T. Sawada, S. Tsuda, S. Nakano, H. Hanafusa and Y. Kuwano, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, 3518 (1992).
2. M. Tanaka, S. Okamoto, S. Tsuge and S. Kiyawa, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, **1**, 955 (2003).
3. Y. Matsumoto, G. Hirata, H. Takakura, H. Okamoto and H. Hamakawa, *J. Appl. Phys.*, **67**, 6538 (1990).
4. Y. Tsunomura, Y. Yoshimine, M. Taguchi, T. Baba, T. Kinoshita, H. Kanno, H. Sakata, E. Maruyama and M. Tanaka, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.*, **93**, 670 (2009).
5. S. Dauwe, J. Schmidt and R. Hezel, in Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, Louisiana (IEEE, Piscataway, NJ, 2002), p.1246.
6. M. W. M. van Cleef, J. K. Rath, F. A. Rubinelli, C. H. M. van der Werf, R. E. I. Schropp and W. F. van der Weg, *J. Appl. Phys.*, **82**, 6089 (1997).
7. M. Taguchi, K. Kawamoto, S. Tsuge, T. Baba, H. Sakata, M. Morizane, K. Uchihashi, N. Nakamura, S. Kiyama and O. Oota, *Prog. Photovoltaics.*, **8**(5), 503 (2000).
8. N. Jensen, R. M. Hausner, R. B. Bergmann, J. H. Werner and U. Rau, *Prog. Photovoltaics.*, **10**(1), 1 (2002).
9. H. Angermann, W. Henrion, A. Röseler and M. Rebien, *Mater. Sci. Eng., B* **73**, 178 (2000).
10. H. Angermann, J. Rappich, L. Korte, I. Sieber, E. Conrad, M. Schmidt, K. Hübener, J. Polte and J. Hauschild, *Appl. Surf. Sci.*, **254**, 3615 (2008).
11. H. Angermann, J. Rappich, I. Sieber, K. Hübener and J. Hauschild, *Analytical and Bio analytical Chemistry*, **390**, 1463 (2008).
12. H. Angermann, L. Korte, J. Rappich, E. Conrad, I. Sieber, M. Schmidt, K. Hübener and J. Hauschild, *Thin Solid Films*, **516**, 6775 (2008).
13. W. Kern, *J. Electrochem. Soc.*, **137**(6), 1887 (1990).
14. Y. A. Chabal, G. S. Higashi, K. Raghavachari and V. A. Burrows, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A7**(3), 2104 (1989).
15. H. J. Lewerenz and T. Bitzer, *J. Electrochem. Soc.*, **139**(2), L21 (1992).
16. Y. J. Chabal, G. S. Higashi, K. Raghavachari and V. A. Burrows, *J. Vac. Sci. Technol.*, **7**(3), 2104 (1989).
17. G. W. Trucks, K. Raghavachari, G. S. Higashi and Y. J. Chabal, *Phys. Rev. Lett.*, **65**, 504 (1990).
18. S. Watanabe, N. Nakayama and T. Ito, *Appl. Phys. Lett.*, **59**, 1458 (1991).
19. G. S. Higashi, Y. J. Chabal, G. W. Trucks and K. Raghavachari, *Appl. Phys. Lett.*, **56**, 656 (1990).
20. H. Angermann, W. Henrion, M. Rebien and A. Röseler, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **83**, 331 (2004).
21. H. Angermann, J. Rappich, L. Korte, I. Sieber, E. Conrad, M. Schmidt, K. Hübener, J. Polte and J. Hauschild, *Appl. Surf. Sci.*, **254**, 3615 (2008).
22. H. Angermann, L. Korte, J. Rappich, E. Conrad, I. Sieber, M. Schmidt, K. Hübener and J. Hauschild, *Thin Solid Films*, **516**, 6775 (2008).
23. R. Sinton and A. Cuevas, *Appl. Phys. Lett.*, **69**(17), 2510 (1996).
24. Y. S. Kim, C. I. Drowly and C. Hu., 14th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., San Diego, CA, January 1980, p. 560.
25. I. Martin, M. Vetter, A. Orpella, J. Puigdollers, A. Cuevas and R. Alcubilla, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 2199 (2001).
26. R. A. Sinton and A. Cuevas, 16th European PVSEC, 1152 (2000).
27. M. Z. Burrows, U. K. Das, S. Bowden, S. S. Hegedus, R. L. Opila and R. W. Birkmire, in proceedings of the Materials Research Society Symposium, San Francisco, CA, 1066 (2008).
28. Z. Chen, S.K. Pang, K. Yasutake and A. Rohatgi, *J. Appl. Phys.*, **74**, 2856 (1993).
29. A. G. Aberle and R. Hezel, *Prog. Photovoltaics.*, **5**, 29 (1997).
30. M. R. Page, E. Iwaniczko, Y. Xu, Q. Wang, Y. Yan, L. Roybal, H. M. Branz and T. H. Wang, Proceedings of the 4th IEEE WCPEC, Hawaii, 1485 (2006).
31. K. Pierza, W. Fuhsa and H. Mella, *J. Non-Cryst. Solids*, **114**, 651 (1989).
32. S. Bowden and A. Rohatgi, in proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, 1802 (2001).
33. F. Einsele, P. J. Rostan, M. B. Schubert and U. Rau, *J. Appl. Phys.* **102**, 094507 (2007).