

양면동시증착 열선-CVD를 이용한 a-Si:H/c-Si 이종접합 태양전지 제조

정대영 · 송준용 · 김경민 · 이희덕* · 송진수 · 이정철[†]

한국에너지기술연구원 차세대전지원천기술센터, *충남대학교 전자전파정보통신과

Fabrication of a-Si:H/c-Si Hetero-Junction Solar Cells by Dual Hot Wire Chemical Vapor Deposition

Dae Young Jeong, Jun Yong Song, Kyung Min Kim, Hi-Deok Lee*,
Jinsoo Song, and Jeong Chul Lee[†]

KIER-UNIST Advanced Center for Energy, Korea Institute of Energy Research, Korea

*Department of Electronic, Chungnam National University, Korea

(2011년 10월 30일 접수 : 2011년 11월 9일 최종수정 : 2011년 11월 10일 채택)

Abstract The a-Si:H/c-Si hetero-junction (HJ) solar cells have a variety of advantages in efficiency and fabrication processes. It has already demonstrated about 23% in R&D scale and more than 20% in commercial production. In order to further reduce the fabrication cost of HJ solar cells, fabrication processes should be simplified more than conventional methods which accompany separate processes of front and rear sides of the cells. In this study, we propose a simultaneous deposition of intrinsic thin a-Si:H layers on both sides of a wafer by dual hot wire CVD (HWVCD). In this system, wafers are located between tantalum wires, and a-Si:H layers are simultaneously deposited on both sides of the wafer. By using this scheme, we can reduce the process steps and time and improve the efficiency of HJ solar cells by removing surface contamination of the wafers. We achieved about 16% efficiency in HJ solar cells incorporating intrinsic a-Si:H buffers by dual HWCVD and p/n layers by PECVD.

Key words solar cell, heterojunction, hot-Wire CVD, passivation, co-deposition.

1. 서 론

이종접합(Hetero-junction : HJ) 태양전지는 기존의 고온 확산공정을 이용하는 동종접합(Homo-junction) 태양전지와는 달리 결정질 실리콘 기판 전후면에 약 10 nm 두께의 수소화된 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막을 증착한 구조로 높은 광전변환효율과 저온 공정 등의 장점으로 인해 활발한 연구가 이루어지고 있다.¹⁻³⁾ HJ 태양전지는 일본의 산요(Sanyo)사에서 상용화에 성공하여 20% 이상의 변환효율을 갖는 제품을 생산중에 있다.⁴⁾ HJ 태양전지의 변환효율을 결정짓는 중요한 요소로서 기판 표면 세정과⁵⁻⁸⁾ a-Si:H 박막 증착에 의한 패시베이션 특성 개선을 들 수 있다.⁹⁻¹²⁾ a-Si:H 박막 증착법으로 PECVD (Plasma enhanced chemical vapor deposition),^{13,14)} VHF-CVD (very high frequency DVD),^{15,16)} ECR-CVD (electron cyclotron resonance CVD),¹⁷⁾ 열선-CVD¹⁸⁻²¹⁾ 등이 많이 사용되고 있

다. 열선-CVD법은 기존의 글로우 방전 CVD (glow discharge CVD)법과는 달리 열에너지만으로 증착가스를 분해하므로 플라즈마에 의한 막의 손상문제가 없으며 열선의 확장만으로 대면적 박막증착이 가능한 장점을 가지고 있다. 그러나 상용화 측면에서 양면 대칭구조를 갖는 HJ 태양전지는 네 번의 a-Si:H 증착공정과 두 번의 투명전도막(Transparent conductive oxide, TCO) 증착공정을 거치게 되므로 초기 장치 투자비용 및 높은 공정비용의 문제점을 안고 있다. 본 논문에서는 HJ 태양전지의 제조공정을 획기적으로 개선하기 위한 방법으로 양면 동시증착 열선-CVD 장치를 제작하고 a-Si:H 박막의 기판 패시베이션 특성을 비교 분석하였으며 태양전지에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 양면 동시증착 열선-CVD 장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 양면 동시증착 열선-CVD 장치의 개념도와 사진을 각각 나타낸 것이다. 열선과 기

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

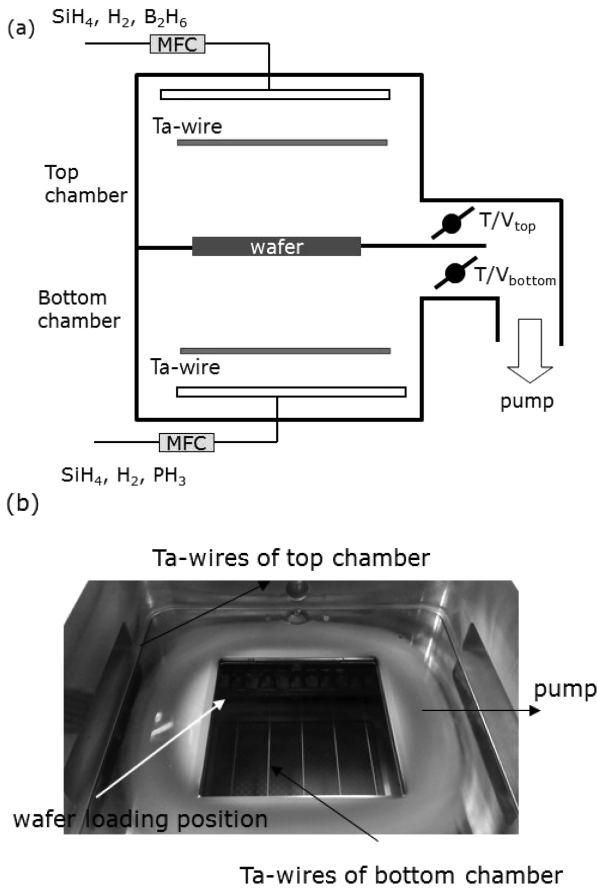


Fig. 1. (a) Schematic drawing of dual hot wire chemical vapor deposition system and (b) Photograph of chamber inside.

판이 로딩되는 히팅블록으로 구성된 기존의 열선-CVD 장치와는 달리 기판을 중심으로 열선이 상하 대칭구조로 위치하고 있어 a-Si:H 박막의 동시증착이 가능한 구조이다. 즉, 반응실 가운데 실리콘 기판을 지지하고 상하의 반응가스가 혼합되지 않도록 하는 거치대가 위치하고 있으며, 기판을 중심으로 상하 대칭으로 열선과 샤워헤드가 위치하도록 제작되었다. 상하부 반응실의 가스 분위기 및 증착 조건을 제어하기 위해 각각의 열선 전원장치, 가스유량계(MFC) 및 압력조절장치 등을 독립적으로 사용하였다. 직경 0.5 mm 탄탈륨(Tantalum) 열선의 온도는 광학 고온계(optical pyrometer)를 사용하여 측정하였다. Fig. 1(b)는 제작된 양면동시증착 열선-CVD 장치의 사진으로 실리콘 기판은 왼쪽의 준비실에서 로봇팔로 이송되어 주 반응실 가운데 위치하게 된다. 양면 증착 구조상 바닥면이 뚫린 형태이며 하측에 열선과 가스 샤워헤드가 위치하고 반대로 상측에 열선과 가스 샤워헤드가 위치하는 대칭의 구조를 갖는다. Fig. 2는 본 연구에서 제조된 HJ 태양전지 단면구조 (a)와 다섯 종류의 태양전지 제조흐름도 (b)를 각각 나타낸 것이다. HT-01과 HT-02는 상

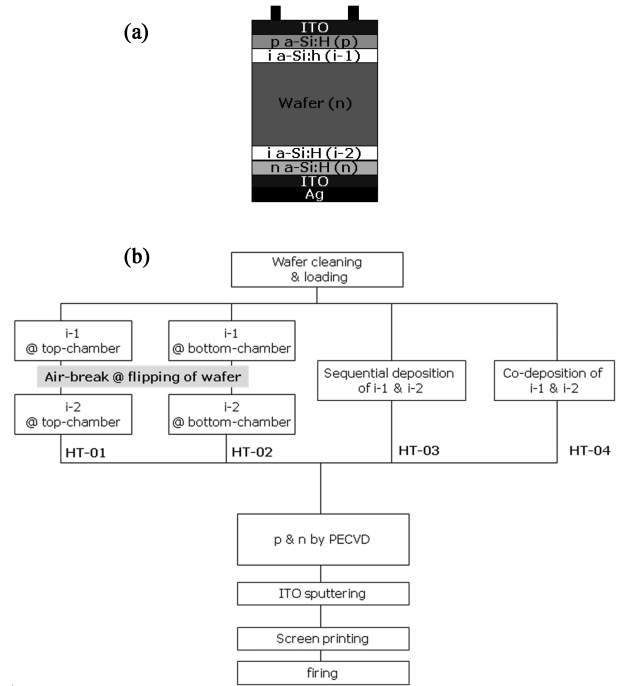


Fig. 2. (a) Cross section structure of a-Si:H/c-Si hetero-junction solar cells and (b) process sequence investigated in this study.

하부 반응실에서 각각 증착되는 a-Si:H 박막의 특성과 태양전지에 미치는 영향을 비교하기 위한 것으로서 p와 n a-Si:H 박막은 플라즈마 증착장치(plasma enhanced chemical vapor deposition; PECVD)를 이용하여 제조하였다. HT-03과 HT-04는 i a-Si:H 박막의 증착방법을 서로 다르게 한 것으로서 HT-03은 상부 i a-Si:H를 먼저 증착하고 하부 i a-Si:H를 다음에 증착하는 순차증착법(sequential deposition)을 HT-04는 상하부 i a-Si:H를 동시증착(co-deposition)한 것이다.

2.2 박막 증착 및 태양전지 제조

실험에 사용된 기판은 1~5 Ω·cm 비저항, 180 μm 두께를 갖는 n형 단결정 실리콘(100)을 사용하였다. 먼저 실리콘 기판 슬라이싱 후 기판 표면에 남아 있는 절단 손상(Saw damage)과 절삭 시 생성되는 유기물을 제거하기 위해 80°C의 2% KOH용액에서 10분간 식각한 후, 총 용액의 8%에 해당하는 IPA를 첨가하여 30분간 식각하여 표면을 피라미드 구조로 텍스처링 하였다. 이후 기판 세정을 위하여 반도체공정에서 널리 사용하는 RCA 세정 공정을 거쳤다. RCA 세정 공정은 크게 네 부분으로 나누어 진행되었다. RCA-1 공정으로 NH₄OH:H₂O₂:H₂O를 1:1:5의 비율로 80°C에서 10분간 세정하여 텍스처링에서 제거하지 못한 유기물과 표면에 존재하는 미세입자들을 제거하였다. RCA-2는 실리콘 기판에 남아 있는 잔류 금속 불순물을 제거하는 공정으로 HCl:H₂O₂:H₂O를 1:1:5

Table 1. Deposition conditions of a-Si:H thin-films by dual HWCVD.

		H ₂ (sccm)	SiH ₄ (sccm)	B ₂ H ₆ (sccm)	P _g (mTorr)	T _r (°C)	t _d (sec)
Top	i a-Si:H	25	10		10	1730~1750	30~90
	p a-Si:H	20	5	3	10	1730~1750	30~90
bottom	i a-Si:H	25	10		10	1730~1750	30~90
	n a-Si:H	20	5	5	10	1730~1750	30~90

Table 2. Deposition conditions of p- and n-type a-Si:H layers by PECVD.

	H ₂ (sccm)	SiH ₄ (sccm)	B ₂ H ₆ (sccm)	PH ₃ (sccm)	rf power (W)	P _g (mTorr)	t _d (sec)
p a-Si:H	10	6	3	-	6	300	30~90
n a-Si:H	10	6	-	5	6	300	30~90

의 비율로 80°C, 10분 동안 진행하였다. 다음으로 전처리 공정에서 제거하지 못한 실리콘기판의 불순물을 제거하기 위해 Piranha 세정 공정을 진행하였다. 이 공정은 H₂SO₄:H₂O₂를 2:1의 비율로 혼합한 후 120°C에서 10분간 진행되었는데 공정 시 실리콘 기판 표면에 고 순도의 산화 막을 생성시키고 표면을 친수성으로 만들어 다음 세정공정을 원활히 해 주는데 목적이 있다. 마지막으로 H₂O에 5%로 희석된 DHF (Dilute HF)를 사용하여 실리콘 기판 표면에 생성된 고 순도의 산화 막을 제거하고 실리콘 표면을 수소종단(H-termination) 처리하여 세정을 마무리하였다. 수소종단 직후 자연산화 막 생성과 공기에 의한 재 오염을 방지하기 위하여 열선-CVD의 준비실을 통해 실리콘 기판을 주입한 다음 1×10⁻⁶ Torr까지 진공 배기하였다. 다음으로 실리콘 기판 표면 패시베이션 및 HJ 태양전지 제작을 위해 i a-Si:H 박막을 SiH₄(순도 99.999%)와 H₂ 가스를 MFC를 통해 반응실 내부로 주입시키고, 자동압력 조절장치를 사용해 반응실 내부의 압력을 제어하였다. Table 1은 양면동시증착 열선-CVD장치를 이용한 a-Si:H 박막의 증착조건을 나타낸 것이다. 상하부 반응실의 압력은 10 mTorr, 열선온도는 1730~1750°C로 일정하게 유지하였으며, 증착시간을 30~90 초로 변화시켜 박막의 두께를 제어하였다. Table 2는 HJ 태양전지 전면 에미터와 후면 BSF층 증착을 위한 PECVD 증착조건을 각각 나타낸 것이다. pn접합 형성후 생성된 전자의 수집을 증가시키고 입사광의 반사를 줄이기 위해 80 nm 두께를 갖는 ITO층을 RF스퍼터링 방식으로 전 후면에 증착하였다. 전극으로 저온소성용 Ag 페이스트를 사용하여 전면에는 입사광을 증가시키고 효율적인 전자 수집을 위해 grid 모양으로 스크린 프린팅하였고 후면에는 직렬저항을 줄이기 위해 전면 프린팅하여 이중접합 태양전지를 제작하였다. a-Si:H 박막의 두께는 진폭과 위상차를 구하여 두께를 측정하는 엘립소미터(ellipsometer, J.A. Woollam VASE)를 이용하여 측정하였다. 박막의 암

전도도(dark conductivity)와 광 전도도(photo conductivity)는 간격 0.8 mm인 Ag co-planar 전극을 막 위에 형성하여 측정하였다. 증착방법에 따른 실리콘 기판 표면의 패시베이션 특성을 분석하기 위하여 QSSPC (Quasi-Steady State Photo-Conductance Technique, Sinton Consulting Co., USA) 측정장치를 이용하였다. QSSPC는 a-Si:H 박막이 증착된 실리콘 웨이퍼 기판에 광을 조사하여 실리콘 벌크 내부에서 생성된 캐리어에 의한 유도전류 시간 변화를 감지하여 기판에서의 소수캐리어 수명(Minority Carrier Lifetime : MCLT)을 측정한다.²²⁾ 일반적인 MCLT는 실리콘 기판과 표면에서의 캐리어 재결합에 의해 결정되지만, 대부분 표면에서의 재결합이 기판의 MCLT를 결정하게 된다.²³⁾ 그러므로 QSSPC를 사용하여 실리콘 기판 표면 재결합 속도(Surface recombination velocity, S_{eff})는 식-(1)과 같이 구할 수 있다.²⁴⁾

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

τ_b: 실리콘 기판내부의 캐리어 수명

w: 웨이퍼 두께

τ_{eff}: 측정된 유효 MCLT

제조된 HJ 태양전지 광전변환 특성은 인공태양광원장치(Solar simulator, Wacom, Japan)를 이용하여 AM 1.5, 1 sun (100 mW/cm²) 조건에서 측정하였으며, spectral response 장치(PV Measurement Inc., USA)를 이용하여 태양전지의 파장별 응답특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 상하부 반응실에 따른 특성분석

양면동시증착 열선-CVD는 그 구조의 특성상 기판을 기준으로 하여 기판의 위쪽을 상측 반응실, 기판의 아래

Table 3. Material properties of intrinsic a-Si:H prepared at top and bottom chamber.

	Dep. Rate (Å/sec)	Eg (ev)	Dark conductivity (S/cm)	Photo conductivity (S/cm)	Photo sensitivity
Top (HT-01)	2.5	2.02	1×10^{-09}	1×10^{-6}	1×10^3
Bottom (HT-02)	2.15	1.82	1×10^{-09}	9×10^{-6}	9×10^4

Table 4. Effective minority carrier lifetime as function of passivation schemes. (unit: μsec at $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$)

	i/wafer/i as deposited	i/wafer/i annealed	p/i/wafer/i/n	ITO/p/i/wafer/i/n/ITO
Top (HT-01)	40	35	38	60
Bottom (HT-02)	150	130	110	150

쪽을 하측 반응실로 나눌 수 있다. 이로 인해 기판을 기준으로 하여 상부 반응실과 하부 반응실에서 증착된 박막은 서로 다른 특성을 가질 수 있다. 따라서 본 절에서는 상하부 반응실에서 각각 증착된 i a-Si:H 박막의 특성변화와 태양전지에 미치는 영향을 비교분석하고자 한다. Table 3은 상측 반응실과 하측 반응실에서 유리기판 위에 각각 증착된 실리콘 박막의 물성 비교한 것이다. 상부 반응실의 박막 증착속도는 2.5 Å/sec로 하부 반응실 2.15 Å/sec에 비해 높은 값을 가진다. 동일조건에서 상하부 박막의 증착속도 차이는 다양한 원인에 의해서 기인된 것으로서 열선가열시 처짐현상에 따른 열선-기판거리 변화와 열선에 의해 분해된 전구물질(precursors)의 배기 속도 및 방향, 열선 복사열에 의해 기판표면이 받는 열 에너지를 중요한 변수로 들 수 있다. 상하부 반응실에서 증착조건에 따른 i a-Si:H 박막의 물성과 c-Si 기판 표면 패시베이션 특성에도 영향을 미친다. Table 3에서 비교하였듯이, 하부 반응실에서 증착된 i a-Si:H 박막의 암전도도는 $1 \times 10^{-10} \text{S/cm}$ 로 상부 반응실의 $1 \times 10^{-9} \text{S/cm}$ 보다 10배 정도 낮은 값을 보이며 광 전도도와 광 감응도 또한 우수한 특성을 나타내었다. Table 4에서와 같이 하부 반응실에서 기판의 양면에 증착한 (전면 증착 후 뒤집어 후면 증착) i a-Si:H 박막의 MCLT는 150 μsec 로서 상부 반응실 40 μsec 에 비해 높은 값을 나타내었다. 이후 태양전지 제작을 위하여 PECVD로 기판의 양면에 p형과 n형 비정질 실리콘을 각각 증착하였다. HT-01은 38 μsec 로 증가하였으나 HT-02는 110 μsec 로 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 증착시 PECVD의 플라즈마에 의한 손상으로 보여지나 HT-01의 상대적으로 낮은 MCLT에 대해서는 그 영향이 미미한 것으로 판단된다. 마지막으로 반사방지막과 효과적인 캐리어의 수집을 위해 양면에 TCO층으로 ITO (Indium Tin Oxide)를 스퍼터링 방식으로 증착하였다. 이렇게 박막증착공정을 끝낸 태양전지 기판은 HT-01은 60 μsec , HT-02는 150 μsec 의 MCLT 값을 보여주었다. ITO 공정후 MCLT의 증가는 ITO의 반사방지 효과와 스퍼터링시 기판에 예열처리(150°C)를 하는데 그 예열처리로 인해 비정질 실리콘 박막 안정화와

a-Si:H/c-Si의 계면특성 향상에 의한 것으로 분석된다. 이상의 결과로부터 양면 동시증착 열선-CVD의 하부 반응실에서 증착된 i a-Si:H 박막의 물성이 상부 반응실에 비해 우수하며 이는 기판의 MCLT 변화로 나타남을 알 수 있다.

Fig. 3은 HT-01, -02 공정을 이용해 제작된 HJ 태양전지의 특성을 비교한 것이다. Fig. 3(a)는 광 조사시 I-V 특성곡선과 태양전지 특성치(Table)를 비교하여 나타낸 것으로서, Table 3에서 높은 MCLT를 가진 HT-02의 개방전압이 0.644V로 HT-01의 0.619V보다 높은 값을 나타내었다. 이는 높은 MCLT가 태양전지의 개방전압에 그대로 반영되는 것을 의미한다. 충진율 또한 HT-01은 69.53%, HT-02는 72.24%로 HT-02가 높은 값을 보여준다. HT-02의 개방전압과 충진율이 높은 것은 앞서 설명하였듯이 하부 반응실에서 증착된 i a-Si:H 박막의 우수한 물성과 그에 따른 기판 패시베이션 특성향상에 따른 것이다. 이중접합 태양전지 dark I-V 특성곡선에서 역방향 바이어스 전압영역에서의 누설전류는 a-Si:H과 실리콘 기판계면에서의 결함밀도와 밀접한 관계가 있다. 하부 반응실에서 제조된 태양전지의 역방향 누설전류가 하부전지에 비해 낮은 값을 갖는 것은 하부 반응실에서 증착된 a-Si:H 박막의 기판표면 패시베이션 특성이 우수함을 의미하며 이러한 결과는 태양전지의 개방전압 및 충진율 특성과도 잘 일치한다.

반면 단락전류밀도는 HT-01에서 36.16 mA/cm²로 HT-02 34.81 mA/cm²에 비해 다소 높은 값을 나타내었다. Fig. 3(b) 외부양자효율 비교로부터 알 수 있듯이 HT-01은 HT-02 태양전지에 비해 350~1200 nm 전 파장영역에서 높은 응답특성을 보이고 있다. HJ 태양전지 단락전류 밀도는 a-Si:H 박막의 두께에 크게 의존하므로 본 연구에서는 동일한 i a-Si:H 두께를 갖는 HJ 태양전지를 제조하기 위해 상하부 반응실의 증착시간을 다르게 하여(Table 3에서와 같이 상하부 반응실의 증착속도가 다름) 박막을 증착하였다. 그러나 미세한 두께 차이로 인해 단락전류밀도 차이가 발생한 것으로 분석된다.

이상의 결과로부터 양면 동시증착 열선-CVD장치에서

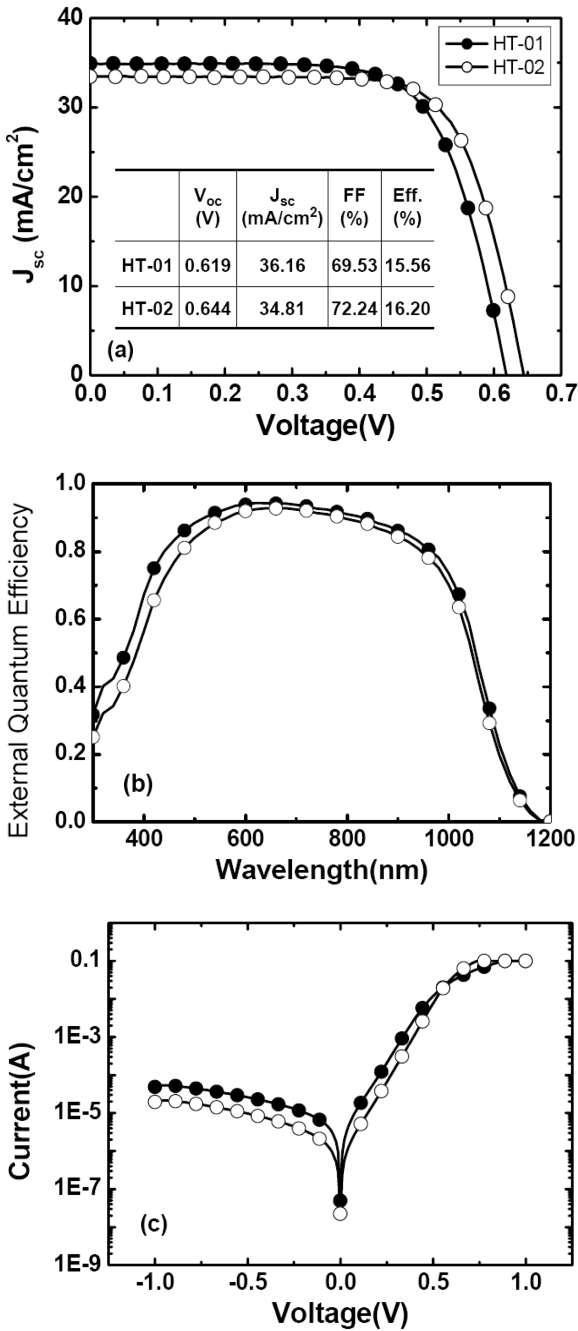


Fig. 3. (a) Illuminated I-V curves, (b) dark I-V and (c) EQE of HT-01 and HT-02 HJ solar cells.

상하부 반응실간 박막의 물성 및 증착속도의 미세한 차이는 보이나 증착조건의 최적화를 통해 상하부 반응실 모두 고 효율의 HJ 태양전지 제조가 가능할 것으로 판단된다.

3.2 증착방법에 따른 특성분석

열선-CVD의 경우 증착 중 진공상태로 인해 고온으로 가열된 열선에 의해서 발생한 복사열로부터 기판이 가열

되는 자동가열 현상을 배제할 수 없다. 단면 증착은 열선이 증착되는 면에만 위치하고 있으나 양면 증착은 열선이 증착되는 기판의 양면에 위치하고 있기 때문에 그 영향에 대해 분석하고자 한다. Table 5는 증착 방법에 따른 박막의 특성 및 그 패시베이션 특성을 비교분석하여 나타낸 것이다. HT-03은 먼저 상부 반응실에서 i a-Si:H 박막을 증착하고 다음으로 하부 반응실에서 박막을 순차적으로 증착한 것이다. 상부반응실 증착시 하부 반응실은 동일하게 가스와 압력을 유지하고 열선의 전력만을 공급하지 않음으로써 상부증착이 가능하게 하였으며, 하부 반응실 또한 동일한 방법을 사용하였다. 반면 HT-04에서는 상하부 반응실의 열선을 동시에 가열하여 i a-Si:H 박막을 기판의 양면에 동시에 증착하였다. 순차 증착한 HT-03의 박막 두께는 상측 4.97 nm, 하측 4.62 nm이고 동시에 증착한 HT-04의 박막 두께는 상측 6.10 nm, 하측 5.90 nm로 상측의 박막 증착 속도가 더 높았다. 이는 양면동시 증착 장비의 특성상 열선의 복사열로만 기판이 가열되는데 한쪽 면만 가열되는 것과 반대로 두 면이 동시에 가열될 때 기판의 온도가 높아서 증착속도가 높은 것과 관계가 있다. 또 다른 원으로는 앞서 언급하였듯이 열선-기판거리와 전구물질의 배기 방향을 들 수 있다. 증착방법에 따른 패시베이션 효과는 i a-Si:H 박막만 증착하였을 때 HT-03은 4.4 μsec, HT-04는 24.1 μsec로 큰 차이를 보이지 않았다. p, n a-Si:H 박막 형성후 HT-03의 MCLT는 28.2 μsec, HT-04의 MCLT는 26.6 μsec로 순차증착된 박막의 MCLT가 다소 상승하였다. 이후 기판의 양면에 ITO를 증착하였을 때는 HT-03은 60.5 μsec, HT-04는 55.2 μsec로 비슷한 MCLT를 나타내었다. 이상의 결과로부터 양면 열선-CVD를 이용해 i a-Si:H 박막을 기판 양면에 증착할 경우 증착방법에 따른 박막의 특성과 계면 패시베이션 특성변화는 크지 않은 것으로 분석되었다. 그러나 전체적으로 MCLT가 낮은 문제점을 개선하기 위해서는 2-1절에서 살펴보았듯이 상부 반응실의 조건 최적화가 필요할 것으로 보인다.

Fig. 4는 HT-03, -04 공정을 이용한 HJ 태양전지의 광조사시 I-V 특성(a)과 외부양자효율 변화(b)를 비교한 것이다. 순차증착법으로 제조된 HT-03은 개방전압이 0.640 V로 동시증착 법으로 제조된 HT-04의 0.622 V보다 다소 높은 값을 나타내었다. 반면 충전율은 HT-03에서는 69.20%, HT-04에서는 72.70%로 동시증착법에서 그 수치가 향상됨을 알 수 있다. HT-03, -04 태양전지의 개방전압과 충전율 차이의 직접적인 원인은 i a-Si:H 박막의 증착방법(순차 또는 동시)에 의한 것이라기 보다는 p, n-a-Si:H, ITO, 스크린 프린팅, 열처리 공정 등 후속공정의 영향으로 분석된다. 단락전류밀도의 경우 동시증착된 HT-04가 다소 낮은 값을 나타내었으며, 외부 양자효율에서도 전 파장영역

Table 5. Comparisons of sequential and simultaneous deposition of i a-Si:H.

		Thickness (nm)	Eg (eV)	MCLT(μsec)		
				i/wafer/i	p/i/wafer/i/n	ITO/p/i/wafer/i/n/ITO
HT-03 (sequential)	Top	4.97	1.856	4.4	28.2	60.5
	bottom	4.62	1.857			
HT-04 (simultaneous)	Top	6.10	1.823	24.1	26.6	55.2
	bottom	5.90	1.787			

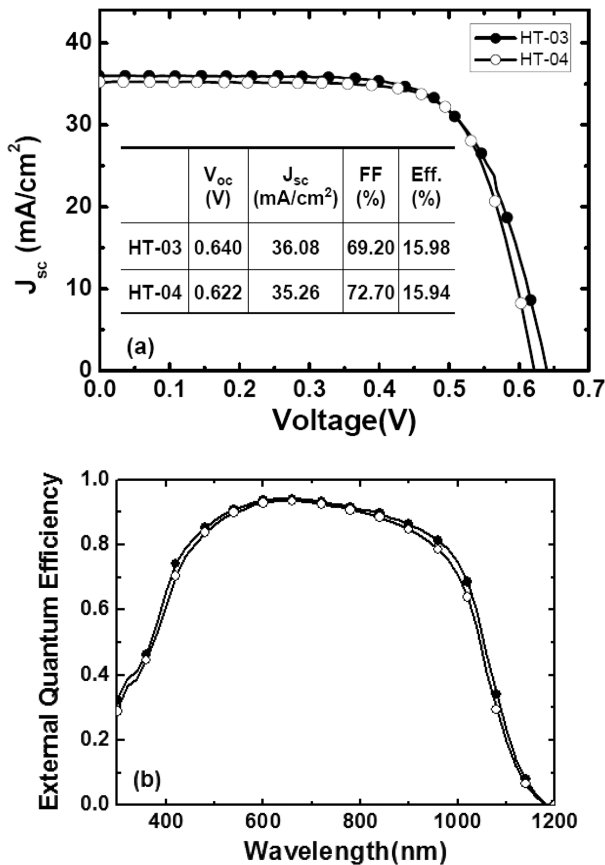


Fig. 4. (a) Illuminated I-V curves and (b) EQE of HT-03 and HT-04 HJ solar cells.

에서 HT-03에 비해 낮은 응답특성을 갖는 것으로 보아 i a-Si:H 박막의 두께영향에 의한 것으로 분석된다. 동시증착법으로 제조된 HT-04의 광전변환효율은 15.9%로 순차증착 법으로 제조된 HT-03의 16.0%와 유사한 특성을 나타내었으며, 증착조건 및 박막 특성을 개선 할 경우 고효율의 태양전지 제조가 가능할 것으로 분석된다.

4. 결 론

본 논문에서는 열선-CVD의 기존 한 방향 증착에서 벗어나 양면 증착 장치를 제작하여 증착 방향, 증착 법에 따라 a-Si:H 박막을 증착하고 조건변화에 따른 막의 특

성변화 및 HJ 태양전지 영향을 비교 분석하였다. 동일한 증착 조건하에서 기판이 열선에 위치하는 방향에 따라 특성에 중요한 변수로 작용하였는데, 상층 반응실의 빠른 성막 속도는 계면 불안정과 전기적 특성에 영향을 주었다. 또한 증착의 방법에 따라 열선 복사열에 의한 기판에 성막 되는 박막의 특성이 달라지는 것을 알 수 있었다. 양면동시증착 법의 비정질 실리콘 박막 최적화를 통해 광전변환효율 15.9%의 이종접합 태양전지를 제작할 수 있었으며, 추가적으로 기판의 예열, 패시베이션 효과를 상승 시킬 경우 공정 횟수 및 시간 단축, 공기 노출에 의한 자연산화막 생성 방지의 이점을 살려 저가의 고효율 태양전지를 제작이 가능할 것으로 기대된다.

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, in *Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, **1**, 955 (2003).
3. Y. Matsumoto, G. Hirata, H. Takakura, H. Okamoto and Y. 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. Energ. Mater. Sol. Cell.*, **93**, 670 (2009).
5. S. Dauwe, J. Schmidt, and R. Hezel, in *Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (New Orleans, Louisiana, May, 2002)*, p.1246. DOI : 10.1109/PVSC.2002.1190834.
6. H. Angermann, W. Henrion, A. Röseler and M. Rebien, *Mater. Sci. Eng. B*, **73**, 178 (2000).
7. 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).
8. H. Angermann, J. Rappich, I. Sieber, K. Hübener and J. Hauschild, *Anal. Bio Chem.*, **390**, 1463 (2008).
9. H. Angermann, L. Korte, J. Rappich, E. Conrad, I. Sieber, M. Schmidt, K. Hübener and J. Hauschild, *Thin Solid Films*, **516**, 6775 (2008).
10. 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).
11. M. Taguchi, K. Kawamoto, S. Tsuge, T. Baba, H. Sakata, M. Morizane, K. Uchihashi, N. Nakamura, S. Kiyama and O. Oota, *Progr. Photovolt. Res. Appl.*, **8**(5), 503 (2000).
 12. N. Jensen, R. M. Hausner, R. B. Bergmann, J. H. Werner and U. Rau, *Progr. Photovolt. Res. Appl.*, **10**(1), 1 (2002).
 13. I. Beckers, N. H. Nickel, W. Pilz and W. Fuhs, *J. Non-Cryst. Solid.*, **227-230**, 847 (1998).
 14. T. Kaneko, M. Wakagi, K. Onisawa and T. Minemura, *Appl. Phys. Lett.*, **64**(14), 1865 (1994).
 15. J. Meier, P. Torres, R. Platz, S. Dubail, U. Kroll, J. A. Anna Selvan, N. Pellaton Vaucher, Ch. Hof, D. Fischer, H. Keppner, A. Shah, K. -D. Ufert, P. Giannoulès and J. Koehler, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **420**, 3 (1996).
 16. F. Finger, P. Hapke, M. Luysberg, R. Carius, H. Wagner and M. Scheib, *Appl. Phys. Lett.*, **65**(20), 2588 (1994).
 17. H. L. Hwang, K. C. Wang, K. C. Hsu, T. -R Yew and J. J. Loferski, *Progr. Photovolt. Res. Appl.*, **4**, 165 (1996).
 18. E. C. Molenbroek, A. H. Mahan and A. Gallagher, *J. Appl. Phys.*, **82**(4), 1909 (1997).
 19. H. Matsumura, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37**(6A), 3175 (1998).
 20. J. Cifre, J. Bertomeu, J. Puigdollers, M. C. Polo, J. Andreu and A. Lloret, *Appl. Phys. Mater. Sci. Process.*, **59**, 645 (1994).
 21. H. Wiesmann, A. K. Ghosh, T. McMahon and M. Strongin, *J. Appl. Phys.*, **50**, 3752 (1979).
 22. R. A. Sinton and A. Cuevas, *Appl. Phys. Lett.*, **69**(17), 2510 (1996).
 23. Y. S. Kim, C.I. Drowly and C. Hu., in *Proceedings of the 14th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (San Diego, CA, January 1980)* p. 560.
 24. I. Martin, M. Vetter, A. Orpella, J. Puigdollers, A. Cuevas and R. Alcubilla, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 2199 (2001).