

대면적 비정질 실리콘 태양전지 모듈 개발연구 (RECENT PROGRESS IN LARGE AREA AMORPHOUS SILICON SOLAR CELL MODULES)

정 현 중 윤 경 식 김 대 원* 배 상 순

(주) 유공 대덕기술원 에너지환경연구소

요 약

화학적 증착장치를 이용하여 크기 305mm × 915mm 인 대면적 투명전도 유리기판 위에 비정질 실리콘 태양전지를 제작하였다. p 층 제조 후 SiH₄ 세척과 수소 플라즈마 처리를 하여 i 층에 도핑가스가 침투하는 것을 억제했으며 p-i 계면에 buffer 층을 적용함으로써 소면적 단접합 태양전지에서 개방전압 0.825V, 충실도 0.73, 변환효율 9.5%인 셀을 제작하였다. 또한 a-Si/a-Si 이중접합 태양전지에서는 개방전압 1.59V, 충실도 0.77 인 셀을 제작하였다.

I. 서 론

태양전지 이용확대의 관건인 경제성을 향상시키기 위해 태양전지의 변환효율 증대, 저렴한 대량생산기술 개발, 안정성 제고 등이 추진되고 있다. 비정질 실리콘 태양전지 분야에서는 다중접합의 탠덤 구조가 고효율과 안정성 면에서 주목을 받고 있다. 비정질 실리콘 태양전지 생산방식은 a-Si 박막 제조기술에 따라 나눌 수 있는데 ECD의 roll-to-roll 연속생산 방식, 후지전기의 stepping roll 방식, Chronar 나 APS의 Batch 형 반응실 방식 그리고 일반적인 In-line 형 다중반응실 방식 등이 있다. Batch 형 반응실 방식은 저렴한 비용으로 비정질 실리콘 태양전지를 제조할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 Batch 형 화학 증착(PECVD)장치를 개발하여 단접합 비정질 실리콘 태양전지를 제작하였다. 단일한 반응기를 쓰기 때문에 생길 수 있는 불순물에 의한 i 층의 오염을 억제하기 위해 p-i 계면에 SiH₄ 세척과 수소 플라즈마 처리를 하였다.

II. 실 험

한 번에 크기 305mm × 915mm 인 유리기판 4 장을 장착할 수 있는 Batch 형 PECVD 시스템을 개발하였는데 이 시스템은 ASM America 와 Pacific Western 이 제시한 외벽 가열방식의 Batch 형 LPCVD 시스템과 유사하다. 태양전지 제조용

및 p,i,n 각 층의 물성시험용 기판으로 Libbey-Owens-Ford 사의 SnO₂ 박막이 코팅된 평판유리와 Desag 사의 무알칼리 유리를 사용하였다. 29 개의 셀이 직렬 연결된 모듈을 만들기 위해 SnO₂ 박막 및 a-Si 박막의 식각은 Q-switched Nd:YAG 로 가공하였다. 표 1.은 p-i-n 형 a-Si:H 태양전지를 제조하기 위한 a-Si 각 층의 증착조건을 보인 것이다.

<Table 1> a-Si 각 층의 증착조건

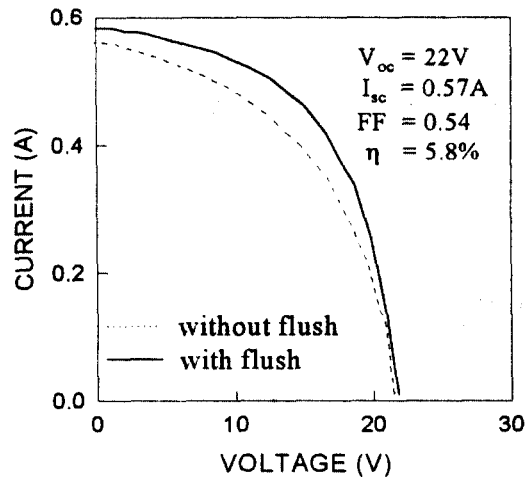
	T _{substrate} (°C)	Flow Rate (sccm)				Pressure (Torr)	RF Power (Watt)
		SiH ₄	H ₂	CH ₄	He		
p-layer	200	32	-	80	20	0.5	100
buffer layer	200	40	-	-	20	0.5	100
SiH ₄ flush	200	100	100	-	-	1	-
H ₂ plasma	200	-	100	-	-	1	100
i-layer	200	80	32	-	-	0.42	30
n-layer	200	8	200	-	-	0.55	150

셀 성능을 향상시키기 위해 p-i 계면에 buffer 층을 적용하였다. p 층과 buffer 층의 두께는 각각 150 Å, 100 Å이다. p 층의 증착이 끝난 다음, B₂H₆ 가스와 CH₄ 가스를 차단하고 반응실의 압력이 안정화되면 곧바로 RF 전력을 인가하였다. 한편 batch 형 PECVD 시스템으로 대면적의 안정한 모듈 제조가 가능한 지 확인하기 위해 a-Si/a-Si 이중접합구조의 셀을 제작하였다. 상부 셀과 하부 셀의 i 층 두께는 각각 600 Å, 3,000 Å이다. 두번째 p 층 증착시 오염을 막기 위해 첫번째 n 층 증착후 SiH₄ 세척과 수소 플라즈마 처리를 하였다. 두번째 p 층의 반응가스는 높은 전기전도도를 위해 헬륨 대신 수소로 희석하였다.

금속전극 제조공정에서는 5 장의 기판을 장착할 수 있는 batch 형 진공증착기를 사용하였다. 태양전지 성능을 측정하기 위한 광원으로는 세기가 43 mW/cm² 인 메탈 할라이드 등을 사용하였다. 또한 에너지기술연구소가 보유하고 있는 AM1.5, 100 mW/cm² 규격의 Spire 사 Solar Simulator 로 측정결과를 확인하였다.

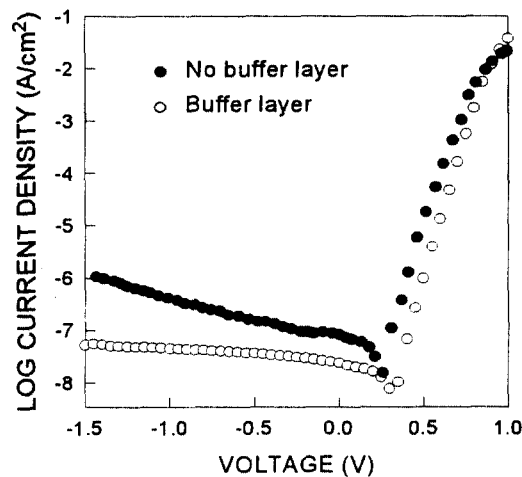
III. 결과 및 논의

그림 1.에서 p-i 계면에 SiH₄ 세척과 수소 플라즈마 처리를 하여 향상된 태양전지 모듈의 성능을 보였다. 충실도, 단락전류, 개방전압이 각각 13%, 14%, 2.3% 향상되어 SiH₄ 세척과 수소 플라즈마 처리를 하지 않은 셀에 비해 변환 효율이 20% 향상되었다.



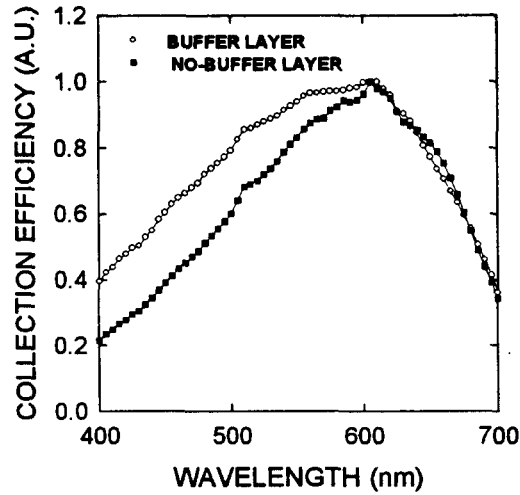
[Fig 1.] SiH_4 세척과 수소 플라즈마 처리에 의한 전기-전압특성 영향

그림 2.에 p-i 계면에 buffer 층 적용 여부에 따른 암전류-전압특성을 보였다. 메탄가스 유량을 줄이는 방법으로 buffer 층의 두께를 100 \AA 으로 하였다. buffer 층이 있는 p-i-n 셀은 buffer 층이 없는 셀에 비해 상대적으로 작은 역전류밀도를 나타내고 있다. buffer 층을 삽입함으로써 투명전도막쪽으로 확산되는 전류를 줄이고, p-i 계면에 있는 결합상태 준위를 통한 전자-정공 재결합 및 생성을 억제할 수 있다.



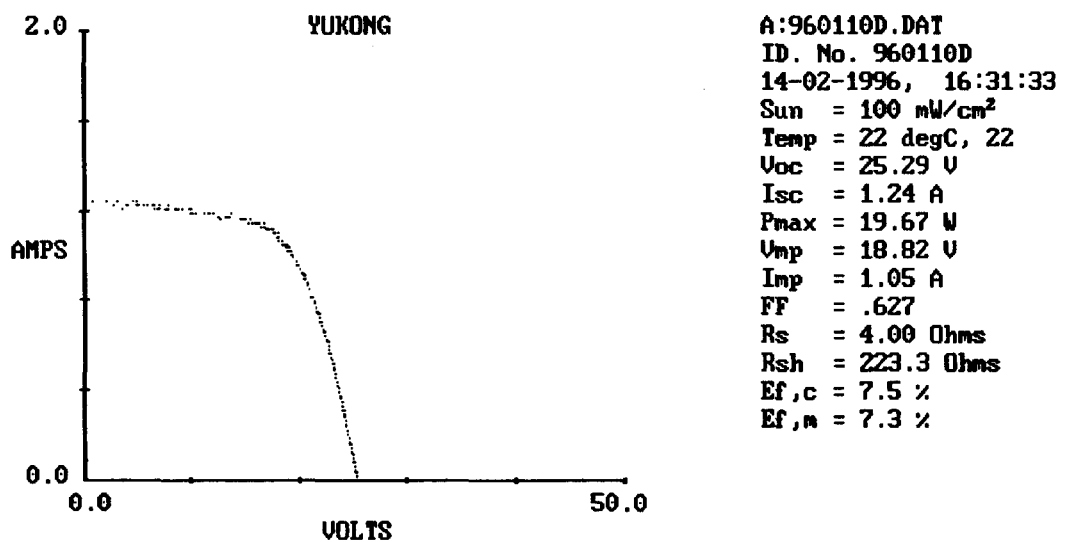
[Fig. 2] buffer 층 유무에 따른 a-Si:H p-i-n 태양전지의 암전류-전압 특성

그림 3.은 buffer 층의 유무에 따른 셀의 분광특성을 나타낸 것이다. buffer 층을 삽입함으로써 청색쪽의 특성이 상당히 우수해졌다. 이것은 buffer 층의 삽입으로 p-i 계면에서 재결합이 줄어들었기 때문이라 볼 수 있다.



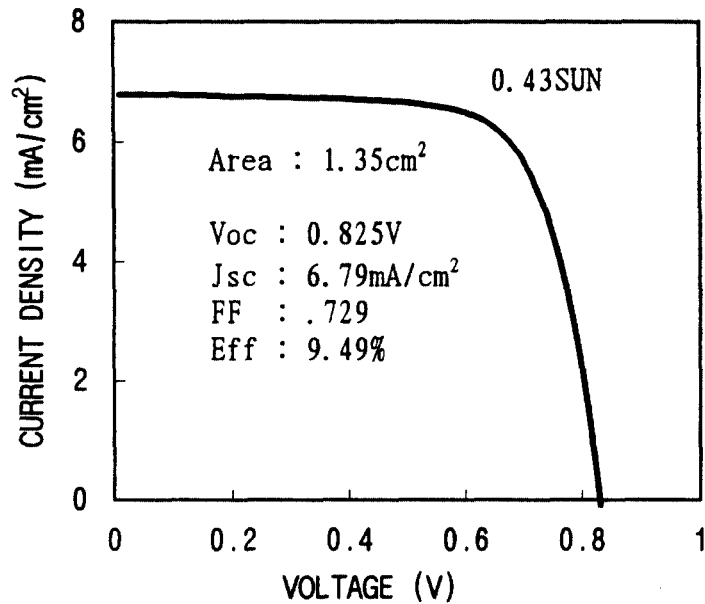
[Fig. 3] p-i 계면에 buffer 층 삽입에 따른 a-Si:H p-i-n 태양전지의 분광특성 영향

buffer 층을 적용하여 제작한 태양전지 모듈을 에너지기술연구소의 Spire 사 Solar Simulator 에서 변환효율 측정된 결과 7.3%가 확인되었으며 광전류-전압특성이 그림 4 에 나와 있다.

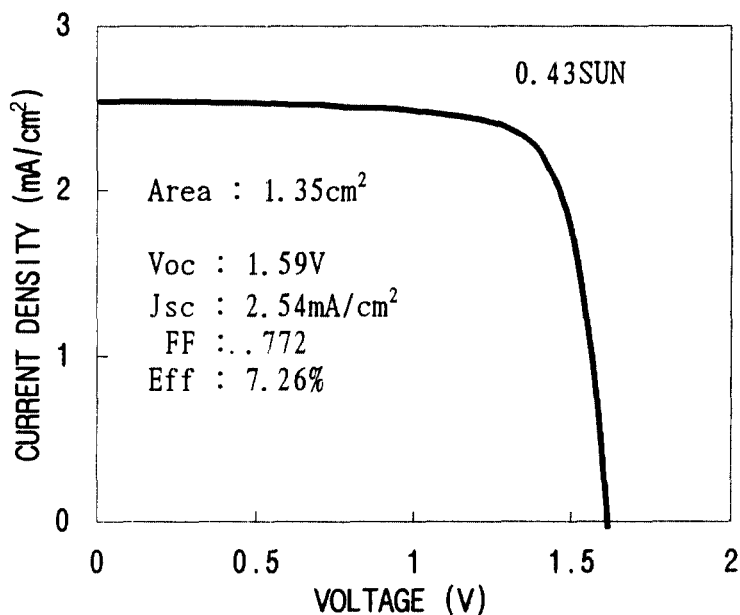


[Fig. 4] Solar Simulator 로 측정된 a-Si:H 태양전지 모듈의 광전류-전압특성

그림 5에서 면적 1.35 cm^2 인 셀의 광전류-전압특성을 보였다. p-i 계면에 buffer 층 삽입, SiH_4 세척과 수소 플라즈마 처리를 적용함으로써 43 mW/cm^2 세기의 광원 아래서 개방전압 0.825 V , 단락전류밀도 6.79 mA/cm^2 , 충실도 0.73 , 변환효율 9.5% 인 단접합 태양전지를 제작하였다.



[Fig. 5] p-i 계면에 buffer 층, SiH_4 세척과 수소 플라즈마 처리를 적용한 a-Si:H p-i-n 태양전지의 광전류-전압특성



[Fig.6] a-Si:H p-i-n/p-i-n 태양전지의 광전류-전압특성.

앞의 그림 6에서 면적 1.35 cm^2 인 a-Si/a-Si 이중접합구조 태양전지의 광전류-전압특성을 나타내었다. 이 셀은 43 mW/cm^2 세기의 광원 아래서 개방전압이 1.59V, 충실도가 0.77, 변환효율이 7.3%이다. 현재 효율은 높다고 할 수 없지만 최근 장비개조를 통해 반응가스 흐름을 개량하여 a-Si 박막 두께 균일도가 $\pm 25\%$ 에서 $\pm 10\%$ 로 향상되는 등 제조공정 최적화를 통해 점차 대면적 모듈의 변환효율이 소면적 셀의 변환효율에 근접해 가리라 기대된다.

IV. 결 론

한번에 크기 $305\text{mm} \times 915\text{mm}$ 인 기판 4장을 장착할 수 있는 Batch형 PECVD 시스템을 개발하였으며 이 장치에서 p층 증착후 p-i 계면에 buffer층 삽입, SiH_4 세척과 수소 플라즈마 처리를 적용함으로써 변환효율 9.5%인 a-Si:H p-i-n 태양전지를 제작하였다. batch형 PECVD 시스템으로 대면적의 안정한 모듈 제조가 가능한지 확인하기 위해 a-Si/a-Si 이중접합구조로 제작하여 개방전압이 1.59V, 충실도가 0.77, 변환효율이 7.3%인 셀을 제작하였다.

V. 감사의 글

이 연구사업은 통산산업부 G-7 과제의 하나로 경희대학교 물리학과 장진교 수와의 긴밀한 협력관계 및 에너지자원기술개발지원센터의 지원 아래 수행되었다.

참고문헌

- 1) M. Izu et. al., "Manufacturing of Triple-Junction 4ft^2 a-Si Alloy PV Modules", Proceedings of 23rd IEEE PVSC, 1993, pp. 919-925.
- 2) K. K. Schuegraf, Handbook of Thin-Film Deposition Process and Techniques, (Noyes Publications, 1988), pp. 132-137.
- 3) A. A. Langford et. al., "Infrared Absorption Strength and Hydrogen Content of Hydrogenated Amorphous Silicon", Phys. Rev. B, Vol.45, 1992, pp. 13367-13377.
- 4) S. S. Hegedus, "The Open Circuit Voltage of Amorphous Silicon p-i-n Solar Cells", 20th IEEE PV Specialists Conf. 1988, pp. 12-107.