

대면적 태양전지 제작을 위한 a-SiGe:H 태양전지 제작 및 특성 평가

이상권*

*한국폴리텍대학 그린반도체시스템과
sang200194@kopo.ac.kr

Fabrication and Characterization of a-SiGe:H Solar Cells for Large-Area Photovoltaic Cells

Sang-Kwon Lee*

*Dept. of Green Semiconductor System, Korea Polytechnics

요약

본 논문에서는 대면적 태양전지 제작을 위하여 비정질 실리콘 p-i-n 구조를 가지는 박막형 태양전지를 제안하였다. 태양광 흡수층 효율개선을 위하여 광흡수층인 i-층에 a-SiGe:H 추가하였다. a-Si:H에서 a-SiGe:H 박막층이 증가됨에 따라 광학적 밴드갭이 감소하는 것을 확인하였고, 태양광을 흡수하여 캐리어가 증가할 것을 예상하였다. i-층에 a-SiGe:H 추가한 태양전지를 제작하였고, 태양전지 특성 측정 결과 a-SiGe:H 박막층 두께가 90% 수준에서 가장 좋은 특성을 확인하였으며, 3.9% 태양광 효율이 개선됨을 확인하였다.

1. 서론

신재생 에너지는 태양, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 이용하여 전기 에너지를 변화시키는 산업을 말한다. 그 중 태양광발전은 거의 무한대의 가용량을 가진 태양에너지를 이용하여 직접 전기 에너지로 변환시키는 태양전지를 이용한 발전으로 주목받고 있는 산업 중 하나이다.

태양전지에서 중요한 부분은 태양광을 흡수하는 층이 있으며, 흡수층에서 가장 많이 사용하는 소재는 결정질 실리콘(Crystal Silicon) 적용하고 있으며, 태양전지 시장에 약 90% 수준을 차지하고 있다. 그러나 결정질 실리콘 태양전지는 고가의 실리콘 원료를 사용하고, 효율 향상을 위한 복잡한 구조를 가지고 있어 높은 제조 단가가 아직 해결해야 할 문제 중 하나이다.^[1]

반면 비정질 실리콘(Amorphous silicon, a-Si) 태양전지는 유리, 금속, 플라스틱과 같은 저가의 기판에 박막 형태로 태양전지를 제조할 수 있으며, 대면적 태양전지를 제작하여 대규모 태양광발전 산업에도 활용성이 높아 보인다. 2024년 기준 비정질 실리콘(Amorphous silicon, a-Si) 태양전지 시장은 약 176억 달러이며, 연평균 5~8%의 성장률을 보이며, 2023년에는 약 297억 달러로 전망될 예정으로 관심이 높아지고 있다.

Carlson는 태양광 흡수층의 효율 개선을 위하여 a-Si:H 기반 실

리콘 태양전지 구조를 p-i-n 제안하였고, 박막형 태양전지를 제작하였다.^[2] p-i-n 구조의 a-Si:H 박막형 태양전지는 결정질 실리콘 태양전지 구조에 비해 가시광선영역(370~780nm)에서 높은 광 흡수계수를 가질 수 있으며, 낮은 온도에서 제작이 가능하기 때문에 대면적으로 제작할 수 있게 된다.

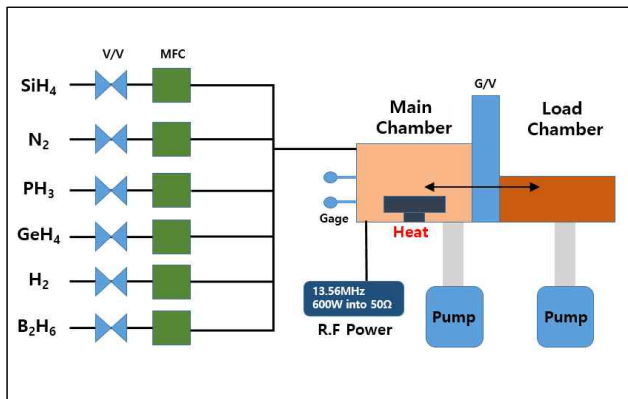
그러나 p-i-n 구조의 a-Si:H 박막형 태양전지는 준안정상태의 포획(Trapping) 준위가 존재하고 있으며, 광 흡수에 의해 생성된 전하운반자가 포획이 되며, 태양전지의 효율을 감소시키는 원인이 된다. 또한 태양광 조사에 의해 포획준위가 증가하며, 열화현상(Light-induced degradation)으로 연결되기 때문에 효율이 감소 되기 때문에 해결해야 할 중요한 과제 중 하나이다. 이 열화 현상은 박막제작시 수소의 농도에 관계가 있으며, p-i-n 구조에서 i-층의 광학적 에너지 밴드갭, 박막의 계면 특성에도 영향을 받는다.

본 논문에서는 p-i-n 구조를 가지는 a-Si:H 태양전지를 제작하였으며, 장파장 흡수를 향상시키기 위하여 광 흡수층인 i-층의 물질을 a-SiGe:H 적용하였다. 또한 i-층의 제작시 Ge(Germanium) 농도의 변화에 대한 전하운반자의 포획준위 형성에 대한 분석을 진행하였고, 태양광 효율 개선에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험 방법

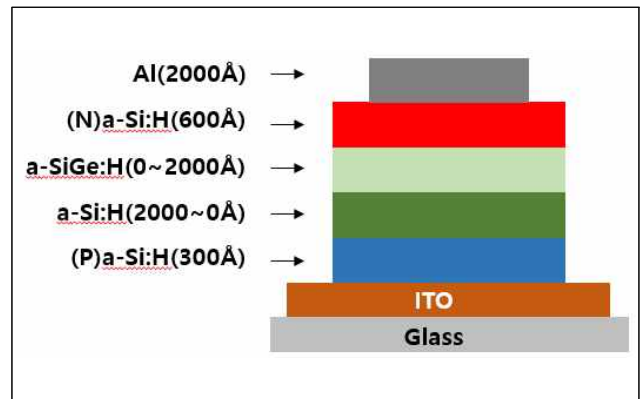
본 논문에서는 p-i-n 구조를 가지는 a-Si:H 태양전지를 PECVD(Plasma Enhance Chemical Vapor Deposition) 방법을 이용하여 박막을 형성하였다.

공정 순서는 먼저 $7\Omega/\square$ 인 ITO Glass를 아세톤으로 세척하였다. Shadow MASK를 이용하여 (P)a-Si:H, a-Si:H, a-SiGe:H, (N)a-Si:H 박막을 PECVD를 이용하여 증착하였다. N형 반도체에 전극을 형성하기 위하여 Al(알루미늄)을 열 증착법(Thermal Evapoartion)을 이용하여 형성 후 태양전지 소자를 제작하였다. 그림 1은 PECVD 장치도에 대한 모식도를 나타내었다.



[그림 1] PECVD 장치도

식도를 나타내었다. (P)a-Si:H 박막은 60sec 동안 증착하였고 300Å 확인하였다. 광흡수층인 i-층의 총 두께는 2000Å으로 고정하였으며 a-Si:H 박막과 a-SiGe:H 박막 각각의 두께 차이를 두며 제작하였다. a-Si:H 박막 증착율은 8Å/sec으로 0~2000Å 제작을 하였고, a-SiGe:H 박막 증착율은 3.7Å/sec으로 0~2000Å 제작을 하였다. (N)a-Si:H 박막은 300sec 동안 증착하였고 600Å 확인하였다. 박막 두께는 알파스텝 장비를 이용하여 측정하였다. 그림 2는 제조된 p-i-n 구조 a-SiGe:H 박막 태양전지를 나타내었다.



[그림 2] 제조된 p-i-n 구조 a-SiGe:H 박막 태양전지 모식도

[표 1] (P)a-Si:H, a-Si:H, a-SiGe:H, (N)a-Si:H 박막 공정조건

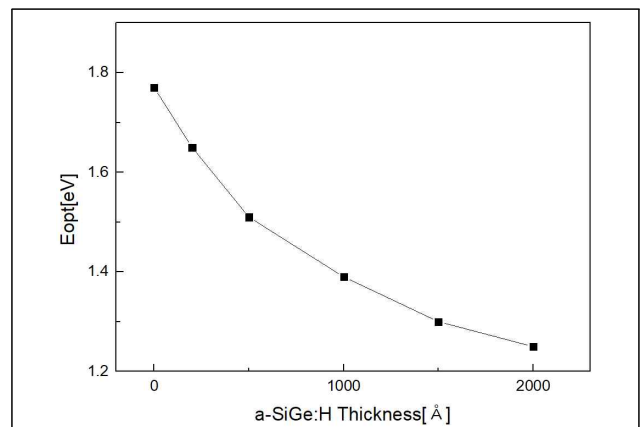
Parameter	(P)a-Si:H	a-Si:H	a-SiGe:H	(N)a-Si:H
Gas	SiH ₄ /B ₂ H ₆	SiH ₄ /H ₂	SiH ₄ /H ₂ /GeH ₄	SiH ₄ /PH ₃
Flow [sccm]	100/30	100/100	100/100/60	100/20
R.F Power [W]	100	150	150	100
Temper. [°C]	250	250	250	250
Working Pressure [mTorr]	750	750	750	750
Deposition rate[Å/sec]	5	8	3.7	2

표 1은 PECVD를 이용하여 (P)a-Si:H, a-Si:H, a-SiGe:H, (N)a-Si:H 박막을 형성하는 공정 조건을 나타내었다. 이때 90% He 희석된 SiH₄, 97% H₂ 희석된 B₂H₆ 사용하였다. Power는 R.F 13.56MHz, 기판 온도는 250°C, Working Pressure 750mtorr 조건으로 공정을 진행하였다.

그림 2는 완성된 p-i-n 구조를 가지는 a-SiGe:H 태양전지 모

3. 결과

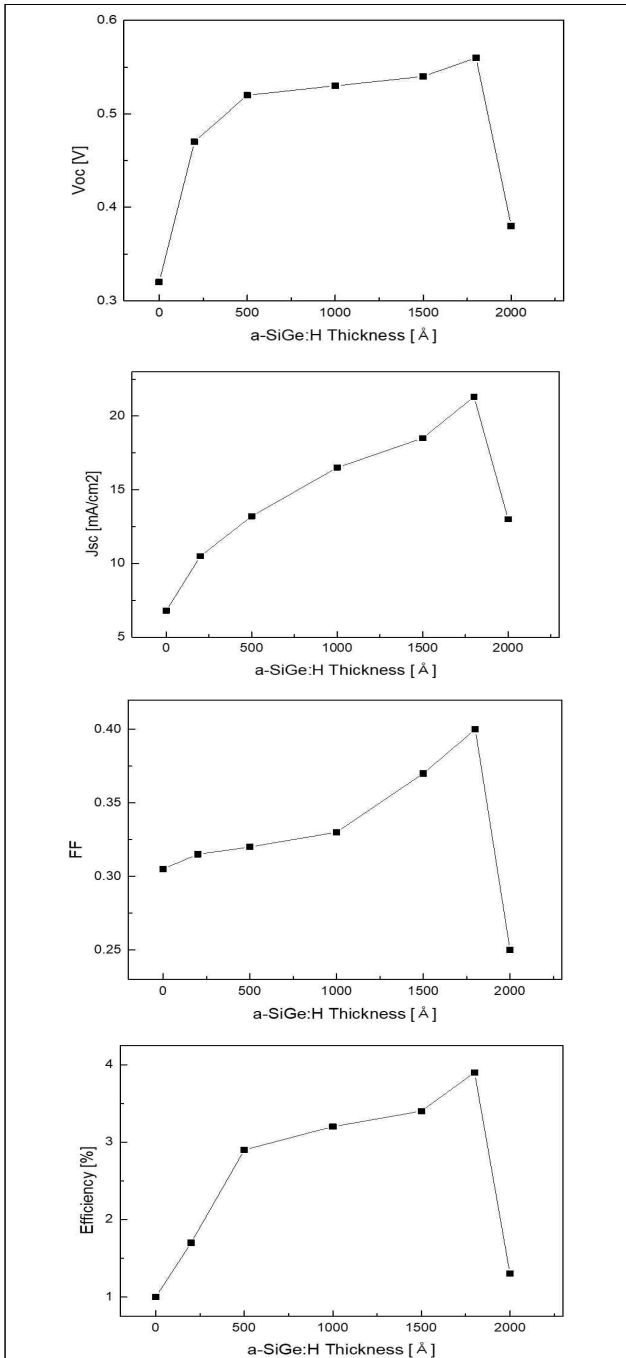
본 논문에서는 광 흡수층인 a-Si:H 대하여 a-SiGe:H 증착되는 시간에 따라 투과율을 측정하였고, 광학적 밴드갭의 변화를 평가하였다. 이때 측정에 사용한 장비는 UV/Vis Spectro-photometer을 사용하였다.



[그림 3] a-SiGe:H 두께 변화에 대한 광학적 밴드갭

그림 3은 a-SiGe:H 두께 변화에 대한 광학적 밴드갭 특성을 나타낸 그래프이다. 태양광은 $h\nu - E_g$ 만큼의 에너지를 포톤(Phonon)형태로 광 흡수층에 전달하는데, 그림 3 그래프에서는

a-SiGe:H 두께가 증가할 수로 E_g 작아지는 것을 확인 할 수 있으며, 태양광 에너지를 더 많이 흡수하여 캐리어 수를 증가할 수 있을 것으로 판단하였다.



[그림 4] a-SiGe:H 두께 변화에 대한 태양전지 특성

다음으로 p-i-n 구조를 가지는 a-SiGe:H 태양전지 특성을 측정하였다. 측정은 태양광 스펙트럼을 나타낼 수 있는 제논 램프와 Air-mass 필터를 이용한 Solar simulator(XEC-301S) 사용하였다.

그림 4는 i-구조에서 a-SiGe:H 두께 변화에 대한 태양전지의 각 특성, Voc(개방전압), Jsc(전류밀도), FF(충진율), Eff(효율)

에 대한 내용을 나타낸 그래프이다. i-구조에서 a-SiGe:H 두께가 1800 Å 증가되었을 때 0.56V로 확인하였다. 또한 전류밀도와 충전율도 a-SiGe:H 두께가 1800 Å에서 가장 우수한 특성임을 확인하였다. 또한 이 두께 조건에서 태양광 효율 특성은 3.9%로 a-Si:H 특성 대비 약 26% 개선됨을 확인하였다. 이는 a-SiGe:H 두께가 증가할수록 태양광의 장파장영역에 광흡수도가 증가하였을 것으로 판단된다.

i-구조에서 a-SiGe:H를 흡수층으로 사용하는 2000 Å 경우 태양전지 특성이 감소하는 것을 확인하였는데, 이는 i-n 구조의 계면에 특성이 나빠져서 재결합 또는 캐리어 이동을 방해했을 것으로 판단이 된다.

4. 결론

본 논문에서는 대면적 박막형 태양전지를 제작하기 위하여 a-Si:H 기반 실리콘 태양전지 구조를 p-i-n 제안하였다. 또한 태양광 흡수층의 효율 개선을 위하여 광흡수층으로 사용하는 i-층에 a-SiGe:H 박막을 추가하여 광흡수도를 개선하는 방법을 적용하였다. 실험결과 a-Si:H 내 a-SiGe:H 박막 두께 비중이 늘어날수록 광학적 밴드갭 특성 낮아지는 것을 확인하였다. 태양전지 i-층에 a-SiGe:H 박막 두께가 증가할수록 태양전지 특성이 개선되는 것을 확인하였으며, i-층 두께 2000 Å에서 90% a-SiGe:H 박막 두께 경우 태양전지 효율이 약 3.9% 개선됨을 확인하였다. 그러나 i-층 전체가 a-SiGe:H 박막으로 광흡수층을 적용할 경우 태양전지 특성은 감소하였으며, 이는 태양전지 구조 변경, 계면 특성 변경에 따라 캐리어 이동을 방해한 것으로 판단이 된다. 본 논문에서는 박막 계면 특성에 대한 분석이 부족하였으며, 태양광 파장에 대한 태양전지 효율 특성 등 추가적인 실험이 필요한 것으로 판단이 된다.

참고문헌

- [1] “세계의 비정질 실리콘 태양전지 시장(2020-20230년)”, Global information, 2025년 6월
- [2] D. E. Carlson, C. R. Wronski, “Amorphous silicon solar cells”, Applied Physics Letters, vol. 28, pp. 671-673, 1976.
- [3] S. Jakschik, U. Schroeder, T. Hecht, M. Gutsche, H. Seidl, J. W. Bartha, “Crystallization behavior of thin ALD-Al2O3 Film” The Solid Films, 2003, 425 216-220.