

FTO 투명전극에 따른 박막 실리콘 태양전지 특성평가

김성현¹, 김윤정¹, 노임준^{1,2}, 조진우¹, 이능현³, 김진식⁴, 신백균²
 전자부품연구원¹, 인하대학교², 경원대학교³, 국방기술품질원⁴

Characterization of thin film Si solar cell with FTO transparent electrode

S.H. Kim¹, Y.J. Kim¹, I.J. No^{1,2}, J.W. Cho¹, N.H. Lee³, J.S. Kim⁴, P.K. Shin²
 Korea Electronics Technology Institute¹,
 INHA Univ.², Kungwon Univ.³, DTaQ⁴

Abstract - We deposited SnO₂F thin films by atmospheric pressure chemical vapor deposition(APCVD) on corning glass. SnO₂F films were used as transparent conductive oxide (TCO) electrode for Si thin film solar cells. We have investigated structural, electrical and optical properties of SnO₂F thin films and fabricated thin film Si solar cells by plasma enhanced CVD(PECVD) on SnO₂F thin films. The cells were characterized by I-V measurement using AM1.5 spectra. Conversion efficiency of our cells were between 5.61% and 6.45%.

점밀도가 적은 비저항이 큰 조건에서 증착하였다. 마지막으로 n층의 경우 SiH₄와 PH₃ 가스를 주입하여 50 mTorr에서 수십 nm 증착하였다. 각 층은 RF power 100W, 기판온도 300℃로 유지하였으며 이때 플라즈마의 엑시톤 주파수는 13.56 Mhz를 사용 하였다. 실리콘 증착이 끝난 후 후면전극인 Al을 증착하기 위하여 공기중에 노출된 실리콘 박막의 native oxide를 제거하기 위해 불산에 담근 후 후면전극인 Al을 증착하기 위해 thermal evaporator를 이용해 증착하였다.

1. 서 론

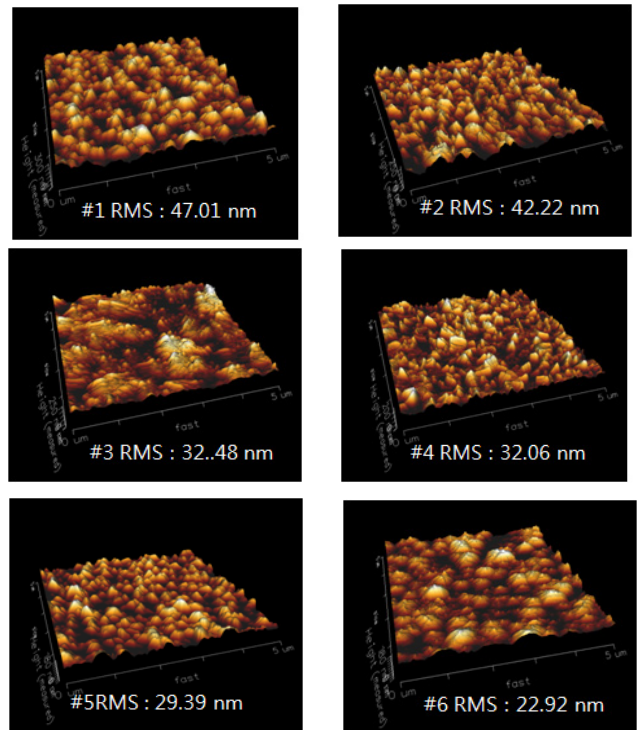
최근 지구온난화에 따른 친환경에너지인 녹색에너지에 관한 관심이 커지고 있으며, 특히 그 중에서 태양전지는 자원이 무한하며, 반 영구적인 수명을 가지고 있기 때문에 미래 에너지 문제를 해결할 수 있는 에너지 원으로 주목받고 있다[1]. 반도체 및 디스플레이기술을 통해 박막 태양전지 시장의 끊임없이 성장하고 있으며 이로 인해 투명전극에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 투명전극은 주로 박막 실리콘 태양전지의 전면전극으로 사용되며 그 역할은 입사된 빛을 산란하거나 박막실리콘 계면 사이에서 backreflector 역할을 감당한다[2]. 이러한 투명전극은 높은 전기전도도, 낮은 광학적 흡수 손실 등이 요구되며 텍스처링 효과에 따라 빛을 산란시키고 가둘 수 있는 능력이 달라지기 때문에 태양전지의 효율에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다[3]. 본 연구에서는 이러한 투명전극을 Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition (APCVD)를 이용하여 유리기판에 증착 하였으며, 증착된 투명전극의 광학적, 전기적 특성을 살펴 보았다. 그리고 증착된 투명전극 위에 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)을 이용하여 P-I-N 비정질 박막 실리콘 태양전지를 제작하였으며, 태양전지의 전기적 특성을 파악하여 투명전극이 박막 실리콘 태양전지에 미치는 영향을 분석하였다.

2.1.3 Characterization

증착된 SnO₂F 박막의 특성평가를 위해 Jasco(V-670)를 이용 투과율과 반사율을 측정하였으며, JPK AFM을 이용하여 표면조도를 관찰하였다. 그리고 면저항을 측정하기 위해 4-point 프로브를 사용하였다. 또한 제작된 박막 실리콘 태양전지의 특성평가를 위해 Entertec TL Co.LTD사의 standard 1.5G를 이용하여 셀의 전기적 특성을 평가하였다.

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 TCO 특성



2. 본 론

2.1 실험방법

2.1.1 TCO 증착

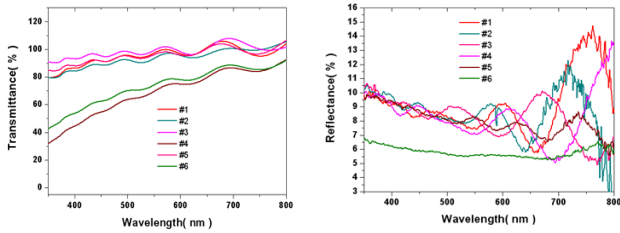
SnO₂F 박막을 증착시키기 위한 기판으로 상업용 코닝글래스(Eagle 2000)를 이용하였다. 기판은 아세톤(10분)-메탄올(10분)-이소프로필 알콜(10분)-DI water(10분)의 순서로 각각 Ultra sonic을 이용하여 세척하였고 질소가스를 이용하여 건조하였다. 세척을 마친 기판을 APCVD 반응기내 홀더에 고정시킨 후 촉매제인 TTC(Tin tetrachloride)와 H₂O를 주입하고 도핑가스로 HF를 혼합하여 SnO₂F 박막을 증착하였다. 이때의 서셉터의 온도는 20℃ 승온하여 500-600℃의 온도를 유지하였다. 이때 온도를 20℃씩 증가시키면 6개의 샘플을 제작하여 실험하였다.

2.1.2 Si 박막 태양전지 제작

본 실험에는 p-i-n 순서로 박막실리콘 태양전지를 제작하였다. 각 층의 독립된 챔버를 사용하였으며 p층의 경우 SiH₄와 B₂H₆ 가스를 주입하여 50 mTorr에서 증착하였고, i층의 경우 SiH₄와 H₂를 희석하여 결

〈그림 1〉 증착 온도에 따른 SnO₂의 AFM 이미지
 (#1) 600℃ (#2) 580℃ (#3) 560℃
 (#4) 540℃ (#5) 520℃ (#6) 500℃

그림 1은 APCVD 를 이용해 증착된 SnO₂:F의 roughness를 AFM을 통해 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 RMS 값은 온도가 감소함에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 투명전극의 RMS는 22-47 nm 크기를 보이는 것으로 확인되었다.



(a) 투과율 (b) 반사율

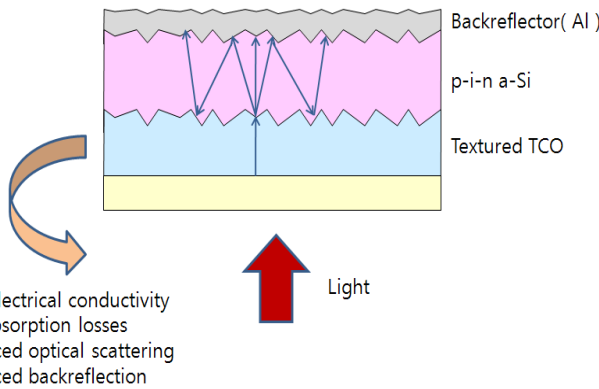
<그림 2> SnO₂:F 의 투과율과 반사율

그림 2는 UV-Visible Photospectrometer를 이용하여 가시광 영역인 350-800 nm 파장에서 SnO₂:F 투명 전도막의 반사율과 투과율을 측정할 결과를 보여준다. 측정결과 평균적으로 반사율은 10% 이하에서 비슷하게 형성되었고 투과율은 평균 80-90%특성을 보이는 것으로 이는 기존의 Asahi glass에서 판매되는 글래스 보다 더 좋은 특성을 보이는 것으로 확인할 수 있었다.

<표 1> SnO₂:F 박막의 면저항

Sample	#1	#2	#3	#4	#5	#6
sheet resistance (Ω/□)	10.36	13.26	9.9	5.37	16.15	9.57

표 1 에 SnO₂:F 박막의 면저항 값을 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 비교적 낮은 면저항 값을 나타내고 있으며 태양전지의 텍스처링 효과를 갖는 투명전극으로 이용이 충분히 가능한 것을 확인할 수 있다.



<그림 3> Si solar cell 구조

<표 2> 태양전지의 전기적 특성

Samples	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Voc(V)	0.63	0.63	0.66	0.65	0.68	0.64
Jsc(mA/cm ²)	14.89	14.46	15.29	14.36	15.28	15.23
FF	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.63
Eff(%)	6.22	5.83	6.46	5.83	6.45	6.14

그림 3은 본 연구에서 제작한 Si 박막 태양전지의 구조를 나타낸 그림으로 SnO₂:F 박막 자체가 가지고 있는 구조적 텍스처링 효과와 전도성 그리고 투명도를 충분히 활용한다면 태양전지의 효율향상을 위해 크게 기여할 수 있다는 것을 나타내고 있다. 표 2 는 Solar simulator를 이용해 태양전지의 효율을 측정할 결과를 나타내었다. 제작된 태양전지는 평균 6% 이상의 높은 효율을 보였으며 SnO₂:F 박막의 증착시 온도에 따라 효율은 약간씩 차이를 보였다. 곡선인자의 경우 면저항이 증가하면서 약간 증가하는 경향성을 나타내었으며 효율의 경우 투명전극의 투과도가 상대적으로 높을수록 좋은 결과가 나온다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 표면조도가 높다고 해서 실제 제작된 박막 실리콘 태양전지 효율에 미치는 영향이 작고 제작되는 셀 구조에 따라 표면조도 값을 달리 해야 함을 알 수 있었다.

3. 결 론

APCVD 를 이용하여 태양전지의 투명전극으로 쓰일 SnO₂:F 박막을 증착하였다. AFM 을 통한 박막의 roughness 는 온도가 증가함에 따라 RMS 값이 높아지는 특성을 보였다. 또한 투과율과 반사율 특성평가에서는 투과율은 평균 80% 이상 반사율은 10% 미만으로 태양전지의 투명전극으로서 이용되기 적합한 특성을 보였다. 박막의 전기적 특성평가를 위한 면저항 측정에서 비교적 낮은 면저항 특성을 확인할 수 있었다. 이와 같은 SnO₂:F 투명전극의 좋은 특성들로 인하여 높은 전도성 낮은 흡수손실 향상된 빛의 산란 등으로 높은 변환 효율을 기대할 수 있는 Solar cells 을 제작 하였다. Solar simulator 를 이용한 효율 측정 결과 샘플에 따라 최대 1% 이상 차이가 나고 곡선인자의 경우 면저항의 영향을 받아 면저항이 클수록 작아지는 경향이 있음을 알 수 있었다. 또한 투명전극의 RMS 값이 40 nm 이상인 것보다 29-32 nm일때 전류밀도가 상대적으로 높아진다는 사실을 확인할 수 있었다. 전체적 효율을 살펴 볼때 투과율이 가시광 영역에서 80% 이상일때 효율이 상대적으로 높게 나오는 것을 알 수 있었다. 결과적으로, 우리는 평균 6% 이상의 높은 변환효율을 보이는 solar cells 을 제작 하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Maria Jurzecka, "RF PE CVD deposition of amorphous a-SixNy:H layers for application in solar cells", VACUUM, 82, 1128, 2008
 [2] Seung Yeop Myong, "Silicon-based thin film solar cells fabricated near the phase boundary by VHF PECVD technique", Solar Energy Materials and Solar Cells, 92, 639, 2008
 [3] F. Edelmal, "Structure of PECVD Si:H films for solar cell applications", Solar Energy Materials & Solar Cells, 77, 125, 2003