

RF Power변화에 의한 CdTe 박막에 관한 연구

박정철*

A Study on CdTe Thin Film by RF Power Change

Jung-Cheul Park*

요약 본 논문은 스퍼터링 장비를 이용하여 ITO 유리 기판에 CdTe 박막을 RF Power로 변화하면서 CdTe 박막을 증착하였다. 박막의 두께를 측정한 결과, 100W 일 때 1481Å, 150W는 2985Å, 200W는 4684Å로 측정되었다. 그리고 이동도는 100W일 때 8.43cm²/Vs, 150W는 7.91cm²/Vs, 200W는 6.57cm²/Vs로 측정되었다. 시편의 두께와 이동도는 반비례한 한다는 것을 알 수가 있었다. 투과율을 확인한 결과, 100W 일 때 905nm에서 투과율은 84%, 150W는 825nm에서 투과율이 71%, 200W는 874nm에서 77%로 측정되었다. 이것은 시편의 두께가 100W일 때 시편의 두께가 얇았으므로 투과율이 높게 측정되었다. 즉 투과율과 두께의 상관관계를 알 수가 있는 부분이다. RF Power를 변화주어 반치폭과 입자의 크기를 측정한 결과, 반치폭은 100W일 때 0.18, 150W는 0.19, 200W는 0.73으로 계산되었다. 입자의 크기는 100W에서는 8.47Å, 150W에서는 7.98Å, 200W일 때 가장 큰 8.7Å으로 형성된 것으로 확인되었다. 결론적으로 반치폭과 입자 크기는 반비례하는 것을 알 수 있었다.

Abstract This paper deposited CdTe thin films on ITO glass substrates using sputtering equipment while changing RF power. As a result of measuring the thickness of the thin film, 1481Å at 100W, 2985Å at 150W, and 4684Å at 200W. And the mobility was measured as 8.43 cm²/Vs for 100W, 7.91 cm²/Vs for 150W, and 6.57 cm²/Vs for 200W. It can be seen that the thickness and mobility of the thin film are inversely proportional. As a result of confirming the transmittance, the transmittance was 84% at 905nm for 100W, the transmittance was 71% at 825nm for 150W, and 77% at 874nm for 200W. At 100 W, the thickness of the thin film was thin, so the transmittance was measured to be high. In other words, the correlation between transmittance and thickness can be seen. As a result of measuring the FWHM and particle size by changing the RF Power, 100W was calculated as 0.18, 150W was calculated as 0.19, and 200W was calculated as 0.73. The size of the particles was formed at 8.47Å at 100W, 7.98Å at 150W, and 8.7Å, which is the largest at 200W. In conclusion, it was found that the FWHM and particle size were inversely proportional.

Key Words : CdTe, ITO glass, FWHM, mobility, RF Power, transmittance, sputtering,

1. 서론

태양광 에너지 변환발전은 청정에너지 생산을 위한 가장 탁월한 방법이다. 태양광 발전은 1950년대 초부터 대부분의 연구와 상업화는 잘 탐구된 반도체 재료인 실리콘(Si)에 중점 되었다. 오늘날 PV(Photo Voltage) 시장의 약 85%는 결정질 및 다결정질 Si 태

양 전지로 되어있다. 1970년대 초 첫 석유 파동 이후, 과학자들은 재료 사용과 제조비용을 줄이기 위해 박막 태양 전지로 활발한 연구가 진행되었다. 약 30년 동안 CdTe, CuInGaSe₂ (CIGS) 및 염료 감응 태양 전지 (DSSC)를 기반으로 한 태양 전지에 대한 연구가 집중되고 있다. 또한 현재 고효율 태양전지 연구개발은 무독성, 저가의 물질에 대하여 지속적으로 연구하고 있다

* Department of Electronic Engineering, Gachon University (jcpark@gachon.ac.kr)

Received July 31, 2023

Revised August 11, 2023

Accepted August 17, 2023

[1]. 1980년대에 전기 도금방식으로 CdTe를 이용하여 태양 전지의 상용화는 성공적이었고, 2000년까지 미국의 본격적인 생산 라인에서 약 11%의 모듈 효율을 가진 약 1.0m²의 태양 전지 패널을 생산 하였다 [2]. 그리고 세계적으로 연구자들은 소규모 실험실 규모의 장치에서는 약 15-16%의 변환효율로 연구되었다[3,4]. CdTe 박막태양전지는 높은 증착속도, 낮은 제조가격과 다양한 제조공정 등의 장점을 가지고 있어 박막 태양전지에 이상적인 물질로 간주되고 있다. 높은 흡수계수와 1.5eV의 직접천이형 에너지 밴드갭(energy bandgap)은 태양전지의 스펙트럼을 고려했을 때 에너지 변환에 매우 적합한 특성을 지니고 있다. 1980년대 후반부터 전 세계적으로 많은 연구그룹과 회사에서 CdTe 태양전지를 연구해 왔으며 소면적, 대면적에서 태양전지의 효율 증가를 기록하였다[5,6,7]. 고효율 태양전지를 제작하는 과정에서 중요한 영향을 주는 변수는 기판과 박막의 접합 특성이며 그리고 버퍼층의 종류에 따라 접합특성이 많은 영향을 받는다. 일반적으로 CdTe 박막의 제작 방법으로는 스프레이법, 스크린 프린팅법, 스퍼터링법, 전해석출법, 근접승화법 등이 있다[8]. 본 논문에서는 CdTe 태양전지를 M.D.S.(multiplex deposition sputter system)를 이용하여 ITO (Indium Thin Oxide) 유리 기판위에 CdTe를 증착하여 제작하였다[9,10]. 제작된 CdTe 박막은 UV-Vis spectrophotometer를 통해 광투과율을 측정하고 XRD(X-ray Diffraction Spectroscopy)를 이용하여 결정구조를 관찰하였고 SEM으로 박막 형상을 측정하여 특성을 분석하였다. 결론적으로 최적의 제작과정을 확인하고자 한다.

2. 실험방법

본 논문은 M.D.S.(Multiplex Deposition Sputter System) 장비를 사용하였고 borosilicate 계열의 Corning Pyrex 7740 유리 위에 ITO를 250nm 증착된 기판으로 사용하였다. ITO 유리 위에 4inch CdTe 타겟(순도 99.65%)을 이용하여 증착하였다. M.D.S. 장비에는 플라즈마 발생 및 박막의 특성 향상을 위해 Mass Flow Controller를 이용하여 O₂, Ar, N₂ 등의 가스 유입을 조절하며, 증착 진행 중 및 증착 후에

열처리를 위한 히터가 홀더 내부에 설치되어 있다. 기판으로는 ITO 유리를 사용하였으며 2×2cm 크기로 자른 후 알코올과 D.I Water(초순수 증류수)로 세척 후 N₂ gas gun으로 건조 시켜주었다. 건조 후 기판은 chuck에 설치를 하고, 챔버를 vent하여 open 후 chuck 지지대(홀더 지지대)에 chuck을 연결 후 로터리 펌프와 Roughing valve를 열어 1×10⁻²[Torr] 이하까지 저진공 상태를 만들어준다. 저진공이 확인되면 터보 펌프의 rpm을 27,000까지 올려준다. 터보 펌프의 초록불이 들어오면 주벨브를 열어 고진공 상태를 만들고, 진공도가 1×10⁻⁶ Torr가 되면 공정압력을 0으로 세팅한다. MFC를 이용해서 Ar 가스를 20sccm으로 흘려주고 공정압력을 7.5×10⁻³[Torr]로 맞춰준다. chuck은 10 rpm의 속도로 회전을 시켜준다. RF Power를 인가하여 플라즈마를 생성 시킨 후 타겟에 묻은 불순물 제거 및 플라즈마 안정화를 위해 pre-sputtering을 진행한다. 이후 셔터를 열어 sputtering을 진행하고, 증착이 완료 되면 RF Power off 후 열처리를 진행하였다. 열처리가 끝난 후 기판은 각종 장비로 구조적, 전기적 특성을 분석한다. UV-Vis Spectrophotometer를 통해 투과율을 측정하였고 Alpha-step(접촉식 표면 단차 측정기)를 통해 증착 두께를 확인하고, SEM를 통해 단면을 측정하였다. XRD를 통해 박막의 결정 구조를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

M.D.S. 장비를 이용하여 ITO 유리 기판위에 CdTe 박막을 증착하였다. 증착 조건으로는 RF Power를 각각 100, 150, 200W로 변화를 주었고 기판온도는 27℃, 증착 시간은 20분, 열처리 온도는 200℃, 열처리 시간은 45분으로 하여 증착하였다. 증착 조건을 표1에 나타냈다.

표 1. RF Power에 따른 CdTe 박막 증착 조건
Table 1. Condition of CdTe thin film deposition with RF Power variation.

Sputtering Paramete	Value
RF Power	100 / 150 / 200 W
Ar Gas flow rate	20 sccm
Working Pressure	7.5×10^{-3} Torr
Substrate Temperature	27℃
Sputtering Time	20 min
Annealing Temperature	200℃
Annealing Time	45 min

ITO 유리 위에 p-type CdTe를 증착 하는 실험으로서, RF Power 변화에 따른 불순물 농도, 비저항, 이동도를 Hall effect를 통해 측정하였다. 측정값을 표 2에 나타내었다. 벌크농도가 높을수록 비저항은 증가하였고 이동도는 감소하였다. 그리고 RF Power가 증가할수록 시편의 두께가 증가하였다. 이것은 증착 시간을 일정하게하고 RF Power를 증가시키면 CdTe 타겟에 에너지가 많이 흡수되어 시편의 두께가 증가 된다는 것을 알 수가 있었다. 또한 두께와 이동도는 반비례한 한다는 것을 확인 하였다.

그림 1은 RF Power 변화에 따른 투과율을 측정한 것이다. 투과율을 확인한 결과, 100W 일 때 905nm에서 투과율은 84%, 150W는 825nm에서 투과율이 71%, 200는 874nm에서 77%로 측정되었다. 즉 태양광의 투과율이 최소 71% 이상이므로 태양전지의 p-type에 적용될 수 있다.

표 2. RF Power 변화에 의한 불순물 농도, 비저항, 이동도, 두께

Table 2. Bulk concentration, resistivity, mobility, thickness according to RF power variation.

RF Power [W]	Bulk Con. [cm^{-3}]	Resistivity [Ωcm]	Mobility [cm^2/Vs]	Thickness [Å]
100	1.33E20	0.00557	8.43	1481
150	5.62E19	0.0112	7.91	2985
200	4.56E19	0.0208	6.57	4684

시편의 두께가 100W일 때, 시편의 두께가 얇았으므로 투과율이 높게 측정되었다. 즉 투과율과 두께의 상관관계를 알 수가 있는 부분이다. 또한 태양전지로 사용될 CdTe의 두께를 미리 예측할 수 있는 부분이라고 생각된다.

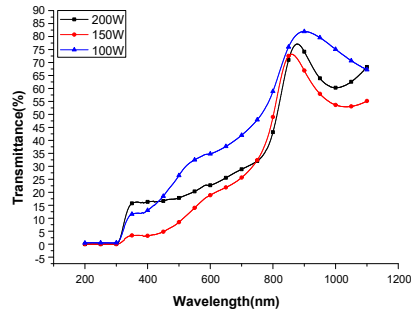


그림 1. RF Power 변화에 따른 투과율
Fig. 1. Transmittance according to RF power variation.

그림 2은 투과율로부터 에너지 밴드갭을 실험적으로 구해진 것을 나타냈다. 박막 표면에서의 반사율을 무시한 경우, 흡수계수와 투과율 사이에는 식(1)처럼 성립된다[9,10].

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (1)$$

α : 흡수계수, T : 광투과율, d : 박막두께

전도대역과 가전자대역이 parabolic한 상태 밀도를 갖는 직접밴드형 반도체인 경우, 광자에너지에 따른 흡수계수는 식 (2)로 표현된다.

$$\alpha = A \frac{(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}}}{h\nu} \quad (2)$$

A: 상수, $h\nu$: 광자에너지, E_g : 에너지 밴드갭

식(2)를 이용하여 $(\alpha \cdot h\nu)^2 - h\nu$ plot의 선형적인 부분에서 광자에너지 축으로 외삽 하여 그 절편으로부터

에너지 밴드갭을 구할 수 있다[9,10]. 이 그래프로부터 계산된 것을 그림 2에 나타냈다. 에너지 밴드갭은 RF Power가 증가함에 따라서 그래프가 완만해지는 경향을 보였으며, 약 1.5eV의 값이 나타나는 것을 확인했다. 이것은 이론적으로 CdTe의 에너지밴드갭은 1.5eV 직접천이형밴드인 것과 일치하였다.

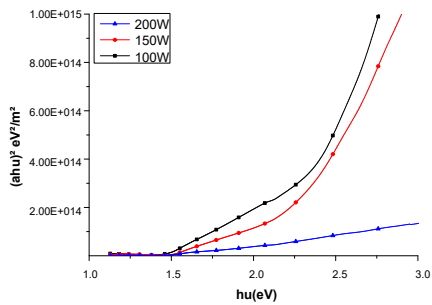


그림 2. RF Power 변화에 따른 에너지 밴드갭
Fig. 2. Energy bandgap according to RF power variation.

그림 3는 CdTe 박막을 XRD로 분석한 결과이다. RF Power에 상관없이 2θ 가 23.74부근에서 (1,1,1) cubic 구조의 피크를 확인할 수 있었으며, CdTe 이외의 불순물은 포함되지 않았음을 확인할 수 있었다[11]. 즉, RF power가 증가하여도 (111)면으로 우선방위가 되었다는 것을 확인 할 수가 있었다. 즉 RF power가 증가하여도 소스로 부터 증발된 원자들의 운동에너지가 일정하게 기판에서 안정한 c축 방향으로의 확산이 충분히 이뤄지기 때문인 것으로 예상된다. 또한 제작과정에서 CeTe 박막에는 불순물이 전혀 없이 증착된 것을 알 수 있었다.

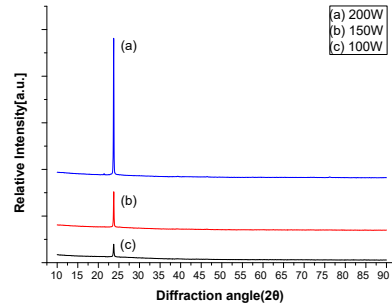
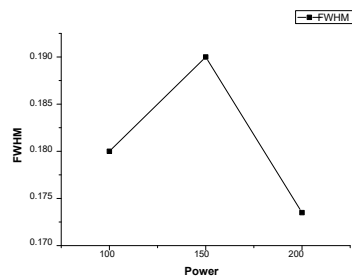


그림 3. RF Power 변화에 따른 XRD
Fig. 3. XRD according to RF power variation.

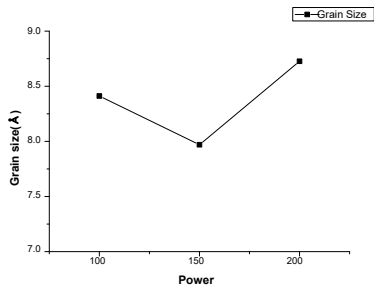
그림 4는 XRD 결과를 토대로 FWHM을 측정하여 입자 크기를 식 (3)에 의해 계산된 결과를 나타냈다 [12].

$$t = \frac{0.9\lambda}{B \cos\theta_B} \quad (3)$$

여기서 λ 는 X-ray의 파장을 의미하며, B는 반치폭 (FWHM), θ_B 는 최대 피크에서의 회절각을 의미한다. 반치폭의 경우, 100W는 0.18, 150W는 0.19, 200W는 0.73으로 계산되었다. 입자의 크기는 100W에서는 8.47Å, 150W에서는 7.98Å, 200W일 때 가장 큰 8.7Å으로 형성된 것으로 확인되었다. 결론적으로 반치폭과 입자 크기는 반비례하는 것을 알 수 있었다.



(a)FWHM

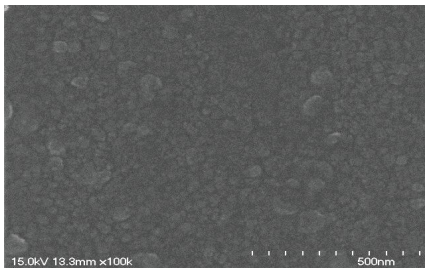


(b) grain size

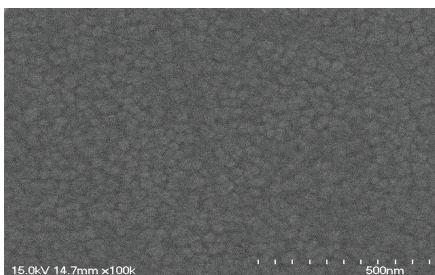
그림 4. RF Power 변화에 따른 반치폭과 입자크기
(a) FWHM (b) grain size

Fig. 4. FWHM and grain size according to RF power variation.

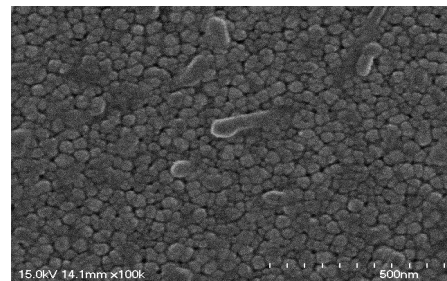
그림 5은 RF Power 변화에 따른 박막의 표면을 관찰한 사진이다. 200W일 때 100W와 150W 보다 입자가 크고 균일하며 조밀하게 증착 되어 밀도가 큰 것을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. RF Power 변화에 따른 SEM

Fig. 5. SEM according to RF power variation.

4. 결론

본 논문은 ITO 유리 기판을 이용하여 태양전지를 제작하기 위한 선행조건으로 CdTe 박막을 증착할 때 최적의 제작조건을 찾기 위해 실험을 하였다. 실험에 사용된 장비는 multiplex deposition sputter system이고 RF Power를 변화 주어서 CdTe 박막을 증착하였다.

RF Power를 100,150,200W로 증가할수록 시편의 두께가 증가하였다. 또한 두께와 이동도는 반비례한 한다는 것을 확인 하였다. 투과율을 확인한 결과, 100W 일 때 905nm에서 투과율은 84%, 150W는 825nm에서 투과율이 71%, 200W는 874nm에서 77%로 측정되었다. 즉, 시편의 두께가 100W일 때 시편의 두께가 얇았으므로 투과율이 높게 측정되었다. RF Power를 변화주어 반치폭과 입자의 크기를 측정한 결과, 반치폭은 100W일 때 0.18, 150W는 0.19, 200W는 0.73으로 계산되었다. 입자의 크기는 100W에서는 8.47Å, 150W에서는 7.98Å, 200W일 때 가장 큰 8.7Å으로 형성된 것으로 확인되었다. 결론적으로 반치폭과 입자 크기는 반비례하는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 M.D.S.장비를 이용하여 CdTe 박막을 제작한 결과, 태양전지에 사용하기에 적합한 제작조건으로 간주된다.

REFERENCES

[1] M.Dharmadasa, A.E.AlamHow“How to Achieve Efficiencies beyond 22.1% for CdTe-Based Thin-Film Solar Cells” Energies, Vol.15, pp.2-23, 2022

[2] D.Cunningham, M. Rubcich, D. Skinner,“ Cadmium telluride PV module manufacturing at BP Solar”, Prog. Photovolt. 10, pp. 159-168, 2002

[3] C . S . F e r e k i d e s , D . M a r i n s k i y , V . Viswanathan,B.Tetali,V.Palekis, P.Selvaraj, D.L.Morel, “High efficiency CSS CdTe solar cells”, Thin Solid Film. pp.520-526. 2000,

[4] X.Wu, J.C.Keane, R.G.Dhere, C.DeHart, D.S.Albin, A.Duda, T.A.Gessert, S. Ashar, D.H.Levi, P.Sheldon,“ 16.5% efficient CdS/CdTe polycrystalline thin film solar cells”, In Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, pp. 995-1000, 2001

[5] I.M.Dharmadasa, A.A.Ojo, “Unravelling complex nature of CdS/CdTe based thin film solar cells”. J. Mater. Sci. Mater. Electron, 28, pp.16598-16617. 2017

[6] A. A. Ojo, I. M. Dharmadasa, “15.3% efficient graded bandgap solar cells fabricated using electroplated CdS and CdTe thin films”, Sol. Energy, Vol.136, pp.10-14. 2016

[7] N.Amin, K.S.Rahman,“Close-Spaced Sub-limation(CSS): A Low-Cost, High-Yield Deposition System for Cadmium Telluride(CdTe)”, Thin Film. Sol. Cells , Vol. 361. pp.123-130,2017

[8] A.E.Alam, O.I. Olusola, D.L.Loch, K. Shukla,W.M.Cranton,I.M. Dharmadasa, “Electrodeposition of ternary compounds for novel PV application and optimisation of electrodeposited CdMnTe thin-films”. Sci. Rep. pp.10- 19, 2020,

[9] D.H.Lee, J.C.Park, “A Study on CdS Deposition using Sputtering“,The Journal of Korea Institute of Information&Electronic Communication Technology, Vol.13 No.4, pp.293~297, 2020

[10] D.H.Lee, J.C.Park,“A Study on the

Characteristics of CdS Thin Film by RF Power Change”, The Journal of Korea Institute of Information & Electronic Communication Technology, Vol.14, No.2 pp.122-127,2021

[11] H. M. Ali, M. H. MustafaOptimization physical properties of CdTe /Si solar cell devicesfabricated by vacuum evaporation“, Chalcogenide Letters, Vol.20,No.6,pp.431-437,2023

[12] M.Y. A. M. Yunin, N. M. Adenam, W. M. Khairul, A. H. Yusoff, H. K. Adli, “Effect of Stability of Two Dimen -sional(2D) Aminoethyl Methacrylate Perovskite Using Lead-Based Materials for Ammonia Gas Sensor Application”, Polymers, Vol.14, pp.2-22, 2022

저자약력

박정철 (Jung-Chuel Park)

[정회원]



- 2000년 명지대학교 전자공학과 공학박사
- 1993년 ~현재 가천대학교 전자공학과 교수

〈관심분야〉 신재생에너지