

# CdS/CdTe 이종접합 태양전지의 전기적특성

송우창\*, 이재형\*, 남준현\*, 박용관\*  
\* 성균관대학교 전기공학과

## Electrical Characteristics of CdS/CdTe Heterojunction Solar Cells

Song Woo-Chang, Lee Jae-Hyoung, Nam Jun-Hyun, Park Yong-Kwan  
Dept. of Elec. Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

### Abstract

In this paper, electrical properties CdS/CdTe heterojunction solar cell prepared by electron beam evaporation method were investigated. Crystal structure of CdS films deposited at substrate temperature of 50~250°C was hexagonal type with preferential orientation of the (002) plane parallel to the substrate. Optical transmittance of the CdS film is increasing and resistivity is decreasing with increasing substrate temperature. CdS/CdTe Solar cell characteristics were improved by increasing of substrate and annealing temperature. However, low efficiency due to small  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$  below 0.3 mA/cm<sup>2</sup> and 430 mV are observed. Low efficiency is contributed to be high resistance of CdTe films and contact.

### 1. 서론

태양전지를 지상의 동력원으로 실용화하기 위해서는 경제성 및 안정성을 확보해야만 하는데 이러한 조건들을 충족시킬 수 있는 태양전지 구조로 박막형 태양전지가 가장 유망하다고 볼 수 있다. 박막형태로 태양전지를 제작할 경우 비싼 반도체 재료를 박막화하여 제조가격을 절감할 수 있다. 이러한 박막형 태양전지를 제조하기 위한 여러 반도체 재료들 가운데 특히 II-VI족 화합물 반도체가 가장 가능성 있는 재료로 평가되고 있다.

II-VI족 화합물 반도체를 이용하여 변화효율이 좋은 태양전지를 만들기 위해서는 광흡수층 재료의 에너지 금지대폭은 1.4[eV]전후가 적당하며 이 값에 가까운 금지대폭을 갖는 것으로는 CdTe가 있다. 한편 CdTe 와 함께 이종접합을 형성할 광투과층의 물질로 가장 보편적으로 사용되고 있는 것은 CdS를 비롯하여 ITO, ZnO등이 있지만 이종 CdS는 에너지 대역폭이 2.42[eV]로서 태양광의 대부분을 통과시킬 뿐 아니라 CdTe와 더불어 이종접합을 형성할 경우 금지대폭의 차가 크고, 두 반도체의 격자정수 및 열팽창계수의 정합이 좋으며 접합근방의 에너지 스파이크도 없다는 점 때문에 태양전지의 광투과층으로 활발히 연구되고 있는 물질 가운데 하나이다.

CdS 및 CdTe박막의 제조방법으로는 진공증착법<sup>1-3)</sup>, 스크린프린팅/소결법<sup>4)</sup>, 스퍼터링<sup>5)</sup> 과 전착법(electrodeposition)<sup>6)</sup>, 근접 승화법(close-spaced

sublimation)<sup>7)</sup>등 여러가지가 있는데 이종 진공증착법의 경우 박막제작이 용이할뿐만 아니라 저가격이면서 대면적의 지상용 태양전지를 제작할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 간단하면서도 증착방법이면서도 종래의 저항성 가열 증착법을 보완할 수 있는 전자빔 증착법을 이용하여 CdS/CdTe 박막형 태양전지의 제작하고 태양전지의 특성 변화를 고찰하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 CdS/CdTe 태양전지 제작

CdS/CdTe 이종접합 태양전지를 제작하기 위한 기판으로는 ITO glass를 Trichloroethylene, acetone, ethylalcohol 순으로 20분간 초음파 세척하였고, D.I. water로 rinse한 후 건조기에서 물기를 제거한 후 사용하였다.

CdS 및 CdTe의 증착에 사용된 증착기로는 전자빔 진공증착기로서 시편제작을 위해 chamber내를 10<sup>-7</sup>[torr] 이하로 배기한 후 전압을 4[KV] 정도로 유지시키고, 전류를 조절하여 7×10<sup>-6</sup>[torr]의 증기압으로 tungsten crucible로부터 CdS와 CdTe를 증발시켜 각 층을 제조하였다. 이때 증착속도는 10[A/sec]를 유지하여 CdS층은 1[μm], CdTe층은 약 2[μm]의 두께로 증착하였고, 기판의 온도는 CdS층의 경우 200[°C]를 유지하고 CdTe층의 경우 100[°C]에서 400[°C]까지 변화시켰다.

전극으로 전면은 ITO 투명전극을 이용하였고, 뒷면은 Te와 Cu를 약 2000[A]씩 진공 증착한 후 진공중에서 30분간 열처리하여 그 특성변화를 조사하였다.

그림 1은 위와같은 방법으로 제작된 CdS/CdTe 태양전지의 구조이다.

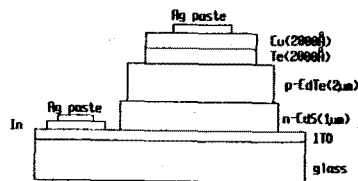


Fig. 1 Structure of CdS/CdTe solar cell

## 2.2 측정

증착된 박막의 비저항은 four-point법을 이용하여 측정하였고, 가시광선 영역에서의 광투과율은 spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 또한 제작된 박막의 구조적 특성을 조사하기 위해 X선 회절검사를 하였다.

제작된 태양전지의 순방향 및 역방향 전류-전압 특성을 측정하기 위해 전류는 Picoammeter로, 전압은 Electrometer를 이용하여 모든 빛을 차단한 상태에서 각각 측정하였다. 또한 태양전지의 광전류-전압 특성은 silicon pyrometer로 빛의 세기를  $50[mW/cm^2]$ 으로 조절하여 측정하였다. 이때 광원으로는 Xenon lamp를 사용하였고, 측정중 태양전지에 걸리는 바이어스 전압은 기판 저항을 사용하여 조절하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 CdS박막의 특성

진공증착된 CdS박막의 기판온도에 따른 결정구조를 조사하기 위하여 X-선 회절 검사를 하였고 그 결과를 그림 2와 3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 제조된 시편은 기판온도 및 열처리 온도에 관계없이 hexagonal 구조를 가지며 (002)면에 대응되는 방향으로 우선방위를 가지며 성장했음을 관찰할 수 있었다. 열처리 온도 변화에 따른 X-선 회절의 경우 기판온도를 변화시켰을 경우와는 달리 (004)면을 비롯한 여러면에 대응하는 peak이 관찰되었다. 이것은 열처리에 의해 (002)면방향 이외의 여러 방향으로 결정성장이 이루어지며 결과적으로 다결정질 형태로 박막이 형성되었음을 알 수 있다.

기판온도 및 열처리 온도에 따른 CdS박막의 가시광 영역에서의 광투과율을 그림 4와 5에 나타내었다. 또한 이러한 광투과율 곡선으로부터 실험적으로 구한 optical bandgap을 그림 6, 7에 나타내었다. 기판온도에 따른 가시광영역에서의 광투과율은 200[ $^{\circ}C$ ]에서 부과특성이 가장 양호하며 흡수단 부근에서의 광투과도는 기판온도에 따라 증가함을 알 수 있다. 또한 기판온도가 증가할수록 optical bandgap은 증가하는 경향을 보인다. 한편 열처리 온도를 변화시켰을때 흡수단 근처에서의 투과율은 열처리 온도에 따라 증가함을 관찰할 수 있다.

그림 8, 9는 제작된 CdS박막의 기판온도 및 열처리 온도에 따른 비저항을 나타낸 것이다. 기판온도가 100[ $^{\circ}C$ ]인 경우에는 상당히 높은 비저항 값을 가지는데 기판온도가 증가할수록 비저항은 급격히 감소하여 150[ $^{\circ}C$ ]일 때 가장 낮은 비저항을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 200[ $^{\circ}C$ ] 이상의 온도에서는 다시 증가함을 관찰할 수 있는데 그 원인은 donor로서 작용하는 과잉 Cd의 양이 기판 온도 증가에 따라 감소하여 결과적으로 캐리어 농도의 감소 때문인 것으로 생각된다. 열처리 온도에 따른 비저항의 경우 열처리 온도가 350[ $^{\circ}C$ ]일때 가장 낮은 값을 갖는데 이는 X-선 회절결과에서 알 수 있듯이 결정성의 향상으로 인해서 캐리어의 trapping현상을 막아주기 때문으로 생각된다.

### 3.2 태양 전지의 특성

그림 10과 11은 기판 및 열처리 온도에 따른 태양전지의  $V_{oc}$ 와  $I_{sc}$ 값의 변화를 나타낸 것인데 낮은  $V_{oc}$ 와  $I_{sc}$ 로 인해 매우 미약한 전지특성을 보이고 있으나 기판온도 및 열처리에 따라 증가함을 알 수 있다. 이와같은 실험 결과가 나타나는 이유는 증착된 CdS 및 CdTe박막내 dangling bond나 수분 또는 기타 불순물이 열처리로 인해 다수 제거되고, 결정 성장이 촉진되는 등의 박막 자체

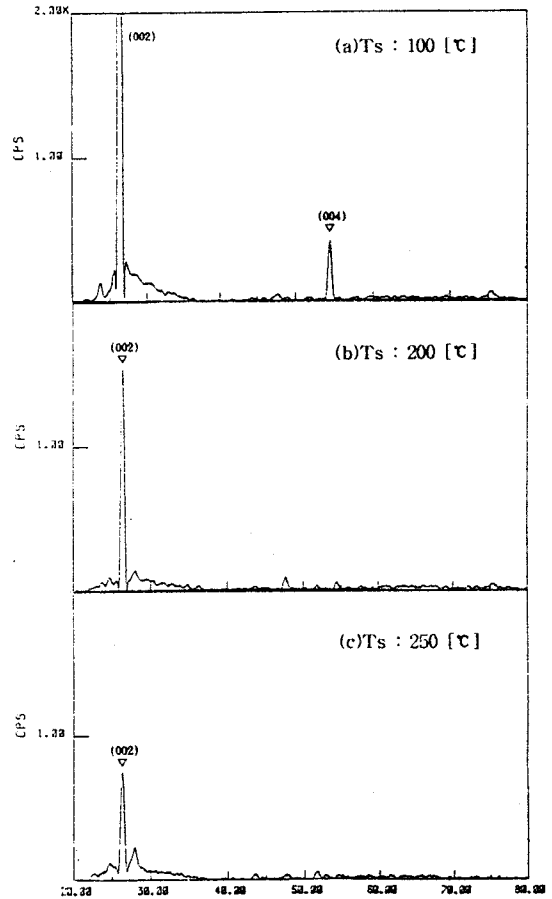


Fig. 2 XRD for various substrate temperature

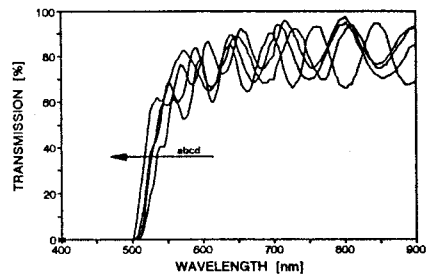


Fig. 4 Transmission of CdS thin film for various substrate temperature

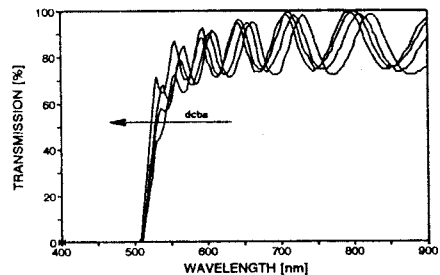


Fig. 5 Transmission of CdS thin films for various annealing temperature

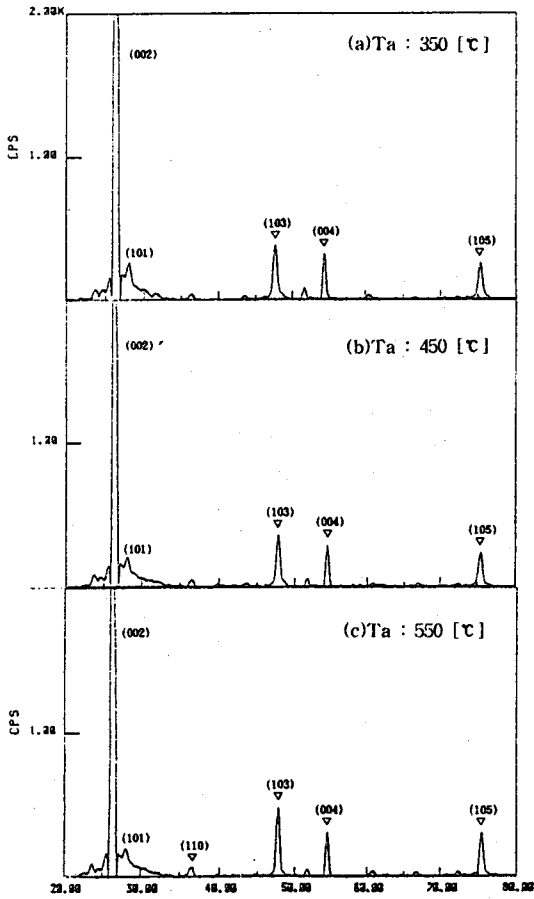


Fig. 3 XRD pattern for various annealing temperature

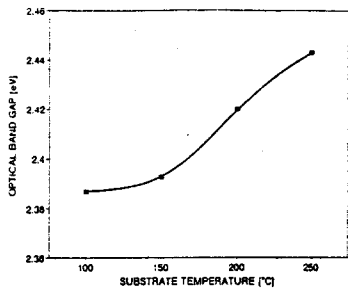


Fig. 6 Optical bandgap for various substrate temperature

의 특성 향상을 들 수 있으며, 또한 diode 접합이 열처리에 의해 좋아지기 때문이라 생각된다. 그러나 이들 그림에서 알 수 있듯이 열처리가 진행됨에 따라  $V_{oc}$  및  $I_{sc}$ 가 증가하는 등의 전기 특성이 좋아지다가, 300[°C] 부근에서 최대값을 보인 후 계속 온도를 올려 열처리를 하면 이러한 열처리 효과가 감소한다.

일반적으로 다결정 박막형 태양전지 재료에서 전기특성을 저하시키는 원인으로는 소자의 높은 직렬저항을 고려할 수 있는데 본 연구에서 제조된 소자의 직렬저항 값은 AM1.0 조건에서  $10^2 \Omega$  정도로 매우 높은 값을 보이고 있

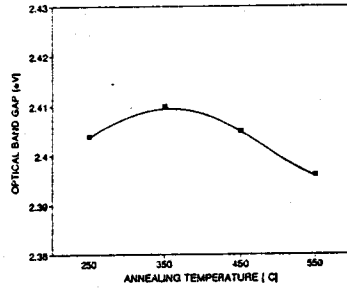


Fig. 7 Optical bandgap of CdS thin film for various annealing temperature

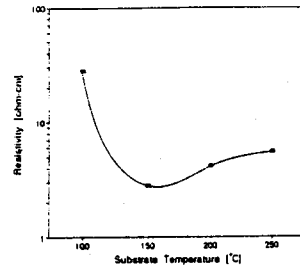


Fig. 8 Resistivity of CdS thin films for various substrate temperature

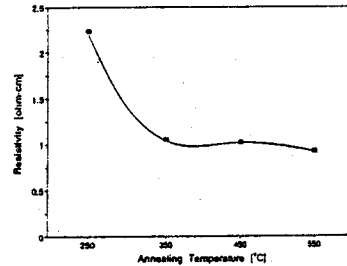


Fig. 9 Resistivity of CdS thin films for various annealing temperature

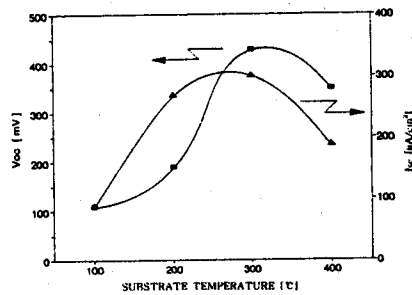


Fig. 10 Substrate temperature dependence of  $I_{sc}$  and  $V_{oc}$

으며 CdTe박막과 CdTe/contact 부분에 원인이 있는 것으로 사료된다. 이중 CdTe 박막층에 의한 전기특성 저하의 요인으로는 미세한 결정립의 크기와 높은 결합밀도, 비화학양론적 화학물형성등을 고려할 수 있는데 이러한 요인들은 증착된 CdTe박막의 제조조건에 따라 변화한다.

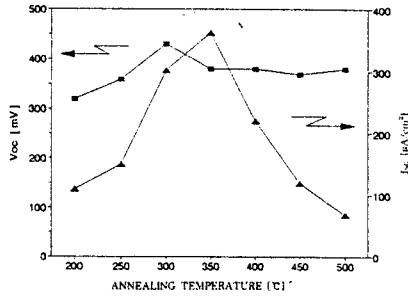


Fig. 11 Annealing temperature dependence of  $J_{sc}$  and  $V_{oc}$

또한 CdTe/contact부분의 경우 CdTe의 높은 일함수로 인해 ohmic contact을 형성하기가 어렵다는 문제점 때문에 주로 화학적 에칭에 의해 CdTe박막 표면을 p'-region으로 만드는 방법을 시도하고 있지만 본 연구에서는 Te와 Cu를 진공증착하고 열처리에 의해 Te층의 Te를 CdTe층으로 확산시킴으로써 CdTe박막 표면을 p'-region으로 만드는 방법을 시도하였고 상당한  $J_{sc}$ 에서의 증가를 관측할 수 있었다.

그림 12는 기판온도 300[°C], 열처리온도 300[°C]에서 제조된 시편의 순방향 및 역방향 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 제조된 시편은 양호한 정류 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 제조된 n-CdS/p-CdTe 태양전지의 특성을 기존의 연구결과와 비교해 볼 때 480[mV]의 Voc값을 나타내므로 p-n이종접합은 형성됨을 보이나 0.3[mA/cm²]이하의 낮은  $J_{sc}$  값으로 인해 미약한 전지효율을 보이고 있다. 이같이 낮은  $J_{sc}$ 값은 많은 결정립계의 영향과 midgap 재결합 센터 및 계면상태에 의해 발생하는 광여기된 전자의 trapping증가에 기인한다고 사료된다. 이와 같은 전지특성의 저하는 CdS와 CdTe 각층의 doping, 접합부근의 결정형상 개선, 저저항의 ohmic contact 형성등을 통해 개선될 수 있을 것으로 생각된다.

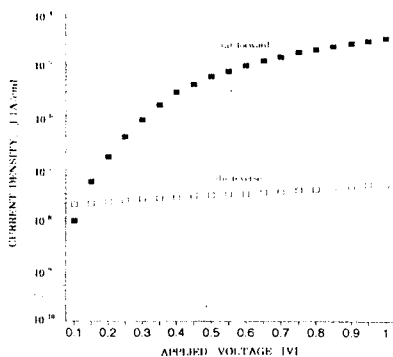


Fig. 12 Dark J-V characteristics of solar cells

#### 4. 결론

(1) 진공증착된 CdS박막의 기판온도에 따른 결정구조는 기판온도 및 열처리 온도에 관계없이 hexagonal 구조를

가지며 (002)면에 대응되는 방향으로 우선방위를 가지며 성장했음을 관찰할 수 있었다. 또한 열처리에 의해 (002)면 방향 이외의 여러 면방향으로의 결정성장이 이루어짐을 알 수 있었다.

(2) 열처리된 기판온도에 따른 가시광영역에서의 광투과율은 기판온도 200[°C]에서 투과특성이 가장 양호하며 흡수단 부근에서의 광투과도는 기판온도에 따라 증가하였다. 또한 흡수단 근처에서의 투과율은 열처리 온도에 따라 증가함을 관찰할 수 있다.

(3) 기판온도가 증가할수록 비저항은 급격히 감소하여 150[°C]일 때 가장 낮은 비저항을 나타내었다. 열처리 온도에 따른 비저항의 경우 열처리에 의해 감소함을 관찰할 수 있었다.

(4) 본 실험에서 제작된 n-CdS/p-CdTe 태양전지는 낮은  $J_{sc}$ 와  $V_{oc}$ 로 인해 미약한 전지특성을 보이고 있으나 기판온도 증가와 열처리에 따라 전지특성이 향상됨을 관찰할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. T. Minami, H. Nanto, H. Sato and S. Takata, Thin Solid Films, 164, 275 (1988)
2. B. Gottlieb, R. Koropec, r. Arce, R. Crisalle and J. Ferron, Thin Solid Films, 199, 13 (1991)
3. G. Frank, E.Kauer, H. Kostlin, F.J. Schmitte, Proc. SPIC, 324, 58 (1982)
4. Y. Tomita, T. Kawai and Y. Hatanaka, Jpn., J. Appl. Phys., Vol.32, pp.1923, 1993
5. S.K. Das and G. Morris, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol.28, pp.305, 1993
6. J. Woodcock, A. Turner, M. Ozsan and J. Simmers, Proc. 22nd IEEE Photovoltaic Specialists Conf., pp.842, 1991
7. N. Migata and H. Kitahara, Thin Solid Films, Vol.125, pp.339, 1985
8. H. Uda, S. Ikegami and H. Sonomura, J. J. Appl. Phys., 29 2003 (1990)

본 연구는 한국 전력공사와 기초전력공학 공동연구소가 주관하는 전력기술기초연구 지원사업에 의한 연구비로 수행되었음을 알립니다.  
과제관리번호 94-065