

스퍼터링에 의한 CdTe박막 제조 조건이 CdTe/CdS 태양전지의 특성에 미치는 영향

10-9-10

Effect of Sputtering Conditions for CdTe Thin Films on CdTe/CdS Solar Cell Characteristics

정해원*, 이 천*, 신재혁**, 신성호**, 박광자**

(Hae-Won Jung, Cheon Lee, Jae-Heyg Shin, Sung-Ho Shin, Kwang-Ja Park)

Abstract

Polycrystalline CdTe thin films have been studied for photovoltaic application because of their high absorption coefficient and optimal band gap energy (1.45 eV) for solar energy conversion. In this study, CdTe thin films were deposited on CdS(chemical bath deposition)/ITO(indium tin oxide) substrate by rf-magnetron sputtering under various conditions. Structural, optical and electrical properties are investigated with XRD, UV-Visible spectrophotometer, SEM and solar simulator, respectively. The fabricated CdTe/CdS solar cell exhibited open circuit voltage(V_{oc}) of 610 mV, short circuit current density(J_{sc}) of 17.2 mA/cm² and conversion efficiency of about 5 % at optimal sputtering conditions.

Key Word(중요용어) : CdTe Thin Film (CdTe 박막), Solar Cell(태양전지), Conversion Efficiency(변환효율), RF-Magnetron Sputtering (고주파 마그네트론 스퍼터링), Open Circuit Voltage(개방회로 전압), Short Circuit Current Density(단락전류밀도),

1. 서 론

화합물 반도체는 직접천이형 에너지 밴드갭(E_g)을 지니며 얇은 두께에서도 태양광 에너지를 효과적으로 흡수하므로 박막형 태양전지로 제조하기에 적합한 장점을 가지고 있어 최근들어 많은 연구가 진행되고 있다¹⁾. 이 가운데 II-VI 족 화합물 반도체인 CdTe는 밴드갭 에너지가 1.45 eV로서 1 μ m 두께에서 가시광을 90 % 이상 흡수하는 우수한 광흡수계수를 가지고 있고 이른 에너지변환 효율도 27 %로 태양전지 재료 중 최고 수준을 나타내고 있어 태양전지의 광흡수층으로 널리 이용되고 있다.

CdTe 박막을 이용하여 태양전지를 형성하는 경

우 에너지 밴드갭이 큰 n-형 반도체와 상대적으로 작은 밴드갭을 갖는 p-형 반도체와의 이종접합(heterojunction)의 형태로 제조된다. CdTe와 같은 화합물형 태양전지에서 p-n 접합다이오드를 형성하기 위한 n-형 재료로는 CdS 박막을 대부분 사용하고 있다. 이때 CdS는 ITO, SnO₂ 등과 같은 투명전극층과 함께 태양광을 투과 시키는 창문용 재료의 역할을 하며 CdTe는 p-형 반도체로 투과된 태양광을 흡수하여 빛 에너지를 전기적 에너지로 변환시키는 광흡수층 역할을 한다.

이러한 다결정 CdTe를 이용한 CdTe계 태양전지의 제조방법으로는 진공증착법(vacuum evaporation)²⁾, 전착법 (electrodeposition)³⁾, 스크린프린팅법 (screen-printing)⁴⁾, 근접승화법 (close-spaced-sublimation)⁵⁾, 스퍼터링법 (sputtering)⁶⁾⁻⁷⁾ 등이 있다.

이중 스퍼터링법은 박막제조에 있어서 성분제가 용이하고 진공증착법으로는 제조가 어려운 저증기압의 원소나 화합물의 화학양론비(stoichio-

* : 인하대학교 전기공학과

** : 국립기술품질원 무기화학과

접수일자 : 1997년 4월 7일

심사완료 : 1997년 8월 26일

metry)를 유지하며 증착이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 지금까지의 스퍼터링에 의한 CdTe 박막제조에 관한 연구는 그다지 많지 못하며 국내의 경우 거의 전무한 상태이다. 외국의 경우도 Toledo 대학의 연구팀에 의해 unbalanced와 balanced 형태의 마그네트론을 사용하여 각각 11%와 2% 정도의 광전변환효율을 가지는 태양전지를 제조한 것이 유일한 결과이다⁶⁾.

따라서 본 연구에서는 스퍼터링에 의한 CdTe 박막 제조시 제조공정의 변화를 통한 CdTe 박막의 물성과 전기특성의 변화를 검토하여 최적의 CdTe/CdS 태양전지 제조공정조건을 찾고자 하였다.

2. 실험 방법

스퍼터링에 의한 CdTe 박막 제작을 위하여 사용된 장비는 낮은 가스압력에서도 방전이 가능하며 또한 절연체 박막형성이 가능한 rf balanced 마그네트론 스퍼터를 이용하였다. 챔버 내부는 터보펌프를 이용하여 기본 진공도를 3×10^{-5} Torr 까지 도달하게 한 후 Ar 가스를 도입하여 작업 진공도를 설정하였다. CdTe 박막 제조시 방전의 안정화와 타겟 표면의 흡착수 및 오염층을 제거하기 위하여 10 분이상 presputtering을 수행하였다.

기판으로는 1500 Å 정도 코팅된 투명전도성 유리(ITO, 면저항 $20 \Omega/\square$, 가시광 영역에서 90% 이상의 광투과도) 위에 용액성장법(chemical bath deposition)을 이용하여 CdS 박막을 제조하여 사용하였다.

그리고 전극으로는 Cu 40 Å과 Au 250 Å을 진공증착법을 이용하여 구성하였으며 이와같이 제작된 CdTe/CdS 태양전지의 구조를 그림 1에 나타내었다.

타겟으로는 순도 99.999%, 크기 2 inch ϕ \times 1/4 inchT의 CERAC 사 타겟을 사용하여 아래 공정과 같이 Ar 가스를 도입하여 CdS/ITO가 코팅된 유리위에 CdTe 박막을 제조하였다.

본 실험의 작업조건은 표 1에 표시한 바와 같이 기판온도 200 ~ 400 °C, Ar 가스압을 $1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$ Torr, rf-출력 30 ~ 80 W로 각각 변화를 주어 실험 변수에 따른 CdTe 박막의 물성과 전기적 특성을 관찰하였다.

CdS 층의 산화막 제거를 위하여 hydrazine hydrate 용액처리를 하였으며, CdTe 층을 형성한

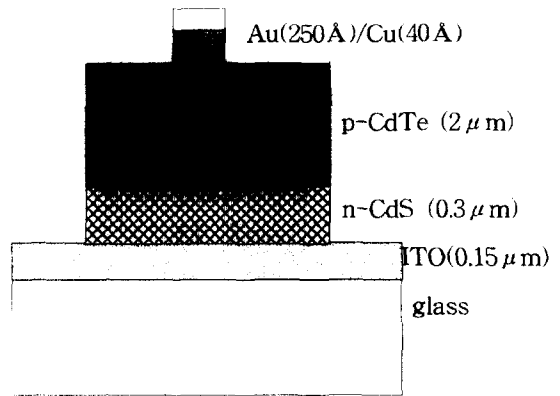


그림 1. CdTe/CdS 태양전지 구조
Fig 1. Structure of CdTe/CdS solar cell

표 1. CdTe/CdS 태양전지 제조조건

Table 1. Fabrication conditions of CdTe/CdS solar cell

실험방법 및 조건	
기판	CdS(용액성장법)/ITO/glass
CdTe 제조	<ul style="list-style-type: none"> • 기판온도 : 200 ~ 400 °C • Ar 가스압 : $1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$ Torr • rf-power : 30 ~ 80 W • 기판과 target의 거리 : 60 mm
CdTe 열처리	Furnace 열처리 <ul style="list-style-type: none"> • 온도 : 400 ~ 500 °C • 분위기 가스 : N₂ • 열처리 시간 : 30분
배선금속	진공증착법 Au (250 Å)/Cu (40 Å)

후 결정립 크기를 향상시키기 위하여 메탄올-CdCl₂ 처리를 하였다. 제작된 CdTe 박막의 물성을 향상시키기 위해 열처리 온도를 400 ~ 500 °C로 변화하면서, N₂ 분위기에서 30분간 열처리를 하였으며, 열처리 조건에 따른 특성변화를 관찰하였다. Au/Cu 금속전극층을 증착시키기 전 산화물층 제거와 금속과의 접촉저항은 낮추기 위해 각각 hydrazine hydrate 용액처리와 chromate처리를 하여 CdTe 표면성분을 Te 과잉의 상태로 만들었다.

제조된 CdTe 박막의 두께는 step profiler (Tencor사 α -step 500)로 측정하였으며 박막의 구조적 특성을 분석하기 위하여 XRD(Rigaku사

Rotaflex Ru-200)를 사용하여 박막의 결정구조와 결정성 그리고 우선성장방향을 측정하였다. 미세조직은 SEM을 사용하여 관찰하였고, 광특성 분석으로는 UV-Visible spectrophotometer를 사용하여 투과도를 측정하였다.

제작된 CdTe/CdS 태양전지의 I-V곡선 및 효율 측정을 위하여 Xenon lamp를 광원으로 사용한 태양전지 평가장치(solar simulator)를 이용하였다. 이 장치에서는 photometer(Newport 1815-C)를 이용하여 광량을 측정한다. 다음 PC를 이용하여 한 번은 A.M. 1.0, 광원의 세기 100 mW/cm^2 조건에서 태양전지 평가장치를 컨체로 광조사시(illumination)의 I-V곡선을 측정한다. 후 태양전지 평가장치를 끄고 광을 조사하지 않았을 경우의 I-V곡선을 그려서 V_{oc} , I_{sc} , fill factor값을 얻을 수 있었다. 측정방법은 제작된 태양전지를 투과층인 CdS/ITO 층 방향으로 광이 입사하도록 시편을 고정시켰으며 전지의 전극부분을 태양전지 평가장치와 연결시킨 후 probe station을 이용하여 측정하였다. 바이어스 전압은 negative voltage(-0.5 V)에서 positive voltage(+1.5 V)로 변화시키면서 측정이 가능하도록 programable bipolar power supply를 사용하였고 단락전류와 개방전압은 HP 34410A multimeter로 측정하였다. 측정결과는 GPIB 카드로 PC와 연결시켜 자체 제작한 I-V 측정 프로그램으로 결과를 샘플링 하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 물성평가

Rf-스퍼터링으로 제조한 CdTe박막의 기판온도, 열처리 조건 등에 따른 결정구조, 미세조직, 광학적 특성의 변화를 관찰하였다.

1) 박막제조 및 결정구조의 관찰

Rf-출력 및 Ar 가스압에 따른 CdTe 박막의 성장속도를 관찰하기 위한 실험을 행하였다. 우선 rf-출력 증가에 따른 성장속도 변화를 관찰하기 위해 rf-출력을 30 W에서 부터 10 W 간격으로 80 W까지 증가시켰다. 그 결과 성장속도가 25 nm/min에서 180 nm/min으로 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 그림 2는 rf-출력 45 W, 타겟과 기판과의 거리 6 cm인 조건에서, Ar 가스압에 따른 성장속도의 변화를 기판온도 200 °C와 400 °C에 대하여 나타낸 것이다. Ar 가스압이 증가함에 따라 $1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$ Torr의 낮은 Ar

가스압 범위에서는 CdTe 박막의 성장속도가 증가하였다. 하지만 그 이상의 Ar 가스압에서는 높은

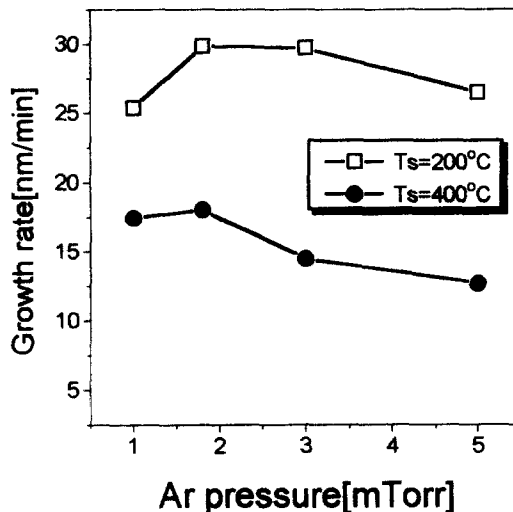


그림 2. Ar 가스압에 따른 성장속도 변화

Fig 2. Variations of growth rate with Ar pressure (rf-power : 45 W, distance : 6 cm)

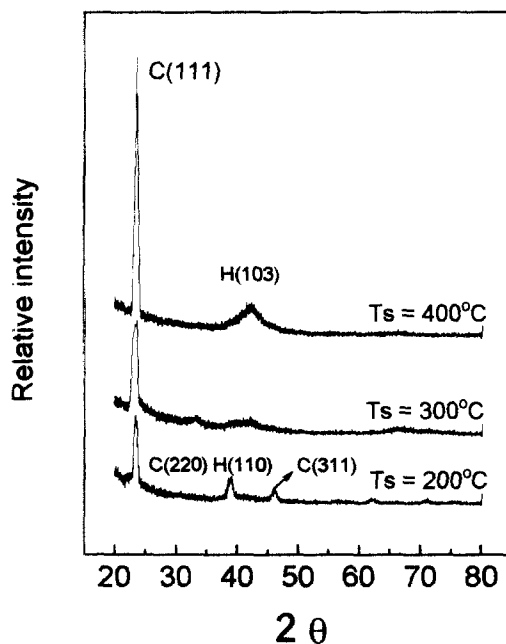


그림 3. 기판온도에 따른 X-선 회절분석

Fig 3. Variations of X-Ray diffraction patterns with substrate temperature (rf-power : 45 W, distance : 6 cm, Ar 가스압 : 1 mTorr)

Ar 가스압으로 인한 Ar 입자와의 충돌로 스퍼터링 입자의 평균자유행로가 감소되어 박막의 성장속도가 감소하였다. 또한 기판온도가 증가함에 따라 높은 기판온도에서는 낮은 기판온도에 비해 상대적으로 낮은 막 성장속도를 나타내었다.

그림 3은 rf-출력 45 W, Ar 가스압 1×10^{-3} Torr의 조건에서 기판온도를 200, 300, 400 °C로 변화하며 제조된 박막의 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 스퍼터링법에 의해 제조된 CdTe 박막은 기판온도가 200 °C에서는 cubic phase와 hexagonal phase가 혼재되어 있지만 기판온도가 증가할수록 c(111)에 해당하는 피크의 강도가 상대적으로 증가하였다. 이는 스퍼터링에 의해 상온에서 제조된 CdTe 박막의 경우 cubic phase와 hexagonal phase가 존재하지만 기판온도가 증가함에 따라 이러한 hexagonal phase의 양은 감소하여

기판온도가 약 400 °C인 경우에는 주로 cubic phase를 포함한다고 보고한 X. Li⁸⁾ 등의 연구결과와 일치한다.

2) 미세조직 변화 관찰

CdTe 박막의 전기적 특성은 결정립(grain)의 크기에 영향을 받게 된다. 광 흡수층인 CdTe 박막 내에서의 carrier life time 및 이동도는 입계에 존재하는 trap density에 영향을 받으므로 박막의 결정립 크기가 증가하면 입계를 줄일 수 있어 전기적 특성의 향상을 기대할 수 있다.

그림 4는 기판온도가 200 °C, 300 °C, 400 °C 일 때의 CdTe 박막의 표면을 SEM을 이용하여 관찰한 것이다. 그 결과 높은 기판온도(400 °C)에서 제조된 CdTe 박막은 낮은 기판온도(200 °C)에서 제조된 것에 비해 결정립의 크기가 0.3 μm 에서 1 μm로 커지는 것을 관찰 할 수 있다.

그림 5는 열처리 온도변화와 CdCl₂ 처리에 따른 CdTe 박막의 미세구조를 관찰한 결과이다. 기판온도 300 °C에서 제조된 CdTe 박막은 열처리온도 증가에 따라 결정립의 크기가 증가하는 것을 알 수 있으며, 높은 열처리 온도(450 °C)에서는 CdCl₂ 처리를 함으로써 결정립의 크기가 약 5 μm 까지 커지는 것을 알 수 있었다. 이는 본 연구팀에서 진공증착법으로 제조된 CdTe박막의 연구결과와 유사하다⁹⁾.

3) 광학적 특성 관찰

직접천이형 다결정 반도체에서 광흡수는 광이 가지고 있는 에너지가 반도체의 밴드갭 이상이 되어야만 이루어지게 되며 이 때의 전자-정공 쌍형성은 재료의 미세구조, 결합성분 등에 관련되어 있다.

CdTe는 창문용 재료인 CdS(에너지 밴드 갭 2.4 eV)를 투과한 광이 약 1 μm의 두께에서도 충분히 흡수될수 있을 정도의 큰 광흡수계수를 가진다. CdTe 박막의 두께변화에 대한 광흡수율을 측정하기 위하여 두께가 각각 0.5, 1.0, 2.0 μm인 시료에 대하여 400 ~ 900 nm대의 광을 조사한 결과를 그림 6에 나타내었다. 그 결과 두께가 1.0 μm 이상에서는 충분한 광흡수가 일어나는 것을 알 수 있었다. 그러나 박막의 두께가 1.0 μm 의 경우에는 부분적인 pin-hole 이 발생하는 경우가 있어 회로를 구성할 경우 단락(short)이 일어나기 때문에 2 μm두께로 전지를 제작하였다.

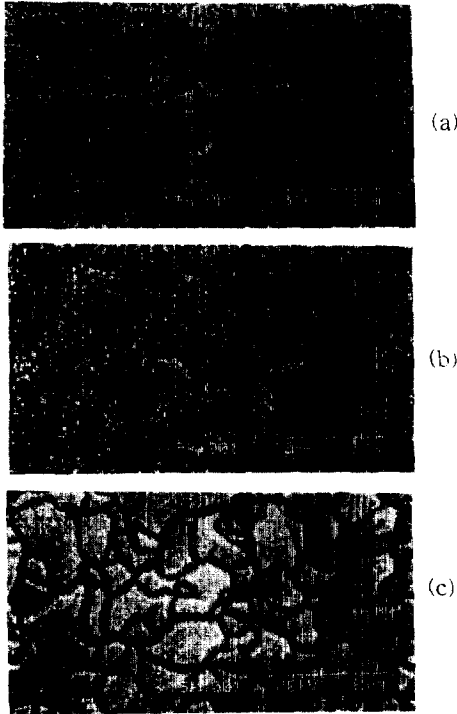


그림 4. 기판온도에 따른 CdTe 박막의 표면 SEM 사진

Fig 4. SEM photographs of CdTe thin film surface with substrate temperature
 (a) T_s = 200 °C (b) T_s = 300 °C
 (c) T_s = 400 °C (rf-power : 45 W, distance : 6 cm, Ar 가스압 : 1 mTorr)

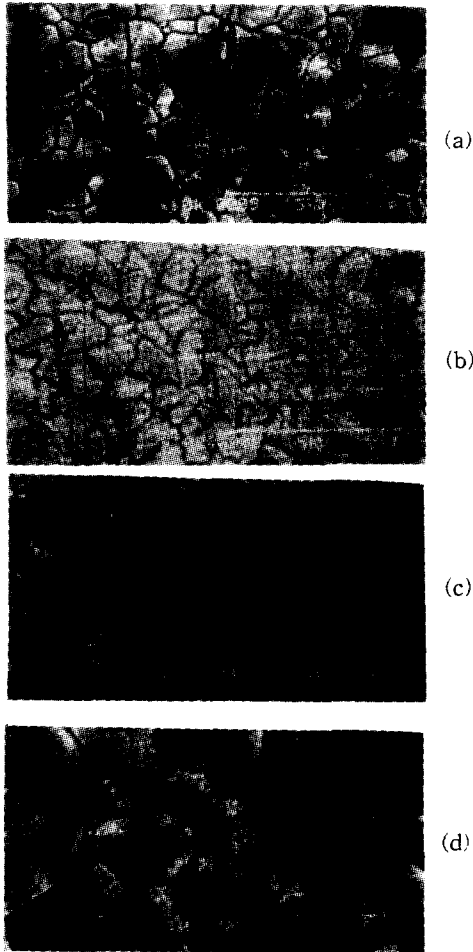


그림 5. 열처리 온도 및 CdCl₂ 처리에 따른 CdTe 박막의 표면 SEM 사진

Fig 5. SEM photographs of CdTe thin film surface with annealing temperature and CdCl₂ treatment

(a) T_a = 400 °C (no CdCl₂) (b) T_a = 450 °C (no CdCl₂) (c) T_a = 400 °C (with CdCl₂) (d) T_a = 450 °C (with CdCl₂)
(rf-power : 45 W, distance : 6 cm, Ar 가스압 : 1 mTorr, T_s : 300 °C)

(2) 태양전지 구성 및 전지특성 평가

태양전지 특성의 평가인자로는 태양전지 효율과 연관된 개방전압, 단락전류, 충전인자 등의 특성인자 외에 전지의 전류-전압 곡선으로부터 얻어낼 수 있는 직렬저항등이 있다.

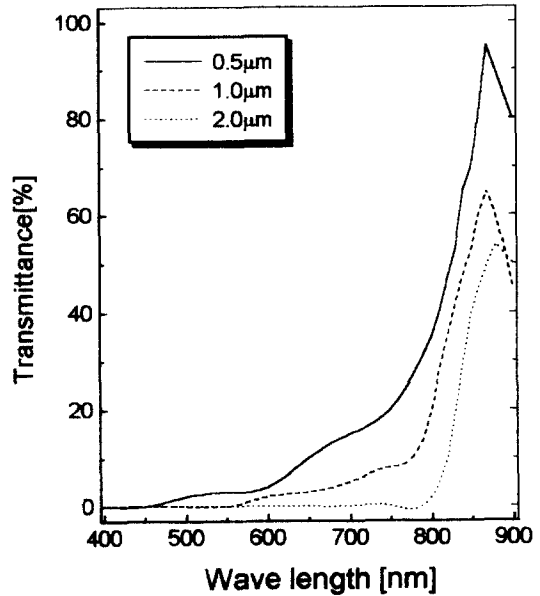


그림 6. CdTe막 두께에 따른 광투과율의 변화

Fig 6. Variations of optical transmission spectra with film thickness

(rf-power : 45 W, distance : 6 cm, Ar 가스압 : 1 mTorr, T_s : 300 °C)

1) 태양전지의 직렬저항

고효율의 태양전지 제조에 있어서 고려해야 할 전기적 특성중의 하나는 투명전도막과 전극사이에서 측정된 전지 전체의 직렬저항이다. 이 직렬저항에 영향을 주는 요인으로는 CdS와 CdTe 계면사이의 저항과 CdTe 내부저항 그리고 CdTe와 전극간의 접촉저항이 있다. CdTe/CdS/ITO 전지 구성할 경우 ITO와 CdS 각각의 내부저항과 계면저항은 무시할 정도로 작다. CdTe/CdS 태양전지의 직렬저항은 1 V 에서 2 V 까지 전압을 인가하였을 경우 광조사시(illumination)의 전류와 비조사시(dark)의 전류의 변화량을 측정하여 이 때의 기울기로 부터 구하였다.

그림 7은 rf-출력 45 W, Ar 가스압 1×10^{-3} Torr의 조건에서 기판온도를 250 ~ 400 °C의 범위에서 변화를 시켰을 경우, 기판온도에 따른 직렬저항의 변화를 광조사시와 비조사시의 상태에 대하여 각각 나타낸 것이다. 기판온도가 200 °C에서 350 °C까지 증가되면 광조사시의 직렬저항은 $28 \Omega \text{cm}^2$ 에서 $15 \Omega \text{cm}^2$ 으로 감소 하였으며 350 °C 이상의 기판온도에서는 오히려 직렬저항이 증가 되었다.

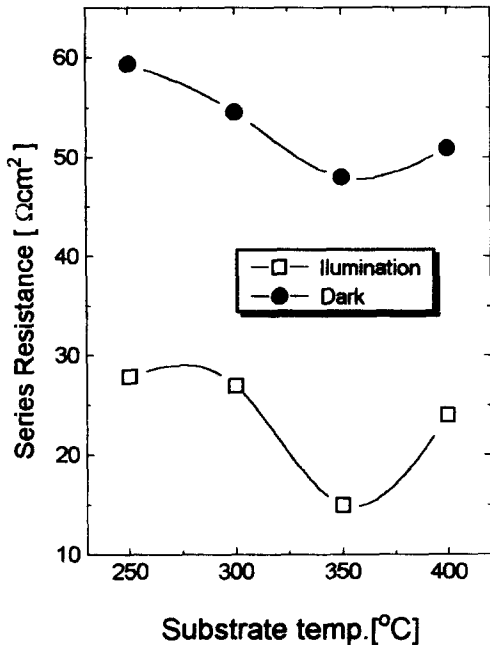


그림 7. 기판온도에 따른 직렬저항값의 변화
 Fig 7. Variations of series resistance with substrate temperature
 (rf-power : 45 W, distance : 6 cm, Ar 가스압 : 1 mTorr)

기판온도의 증가에 따른 직렬저항의 감소는 그림 4의 결과와 같이 기판온도가 상승함에 따라 CdTe 박막의 결정립 크기가 증가하였기 때문이다. 하지만 너무 높은 기판온도(400 °C)에서의 직렬저항의 증가는 CdS 박막의 Cd나 S성분이 CdTe 박막으로 확산되어 CdTe 박막의 내부 저항이 증가되었기 때문이라 사료된다.

2) 태양 전지 특성 평가

CdTe 박막의 제조공정 조건변화가 태양전지 특성에 미치는 영향중 기판온도에 의한 영향을 관찰하기 위해 우선 기판온도를 250 ~ 400 °C로 변화를 주어 이 때의 전지특성의 변화를 관찰하였다. 그 결과, 그림 8과 같이 개방전압은 250 °C 에서 약 400 mV 로 낮은 값을 나타내었고 기판온도를 300 °C 이상으로 증가 하였을 경우에는 약 550 mV 정도의 값을 나타내며 큰 차이가 보이지 않았다. 그러나 단락전류밀도는 기판온도의 증가와 함께 300 °C까지는 증가하지만 그 이상의 온도에서는 다시 감소하였다. 충전인자(fill factor)는 350 °C에서 최대 45 %를 나타내었다.

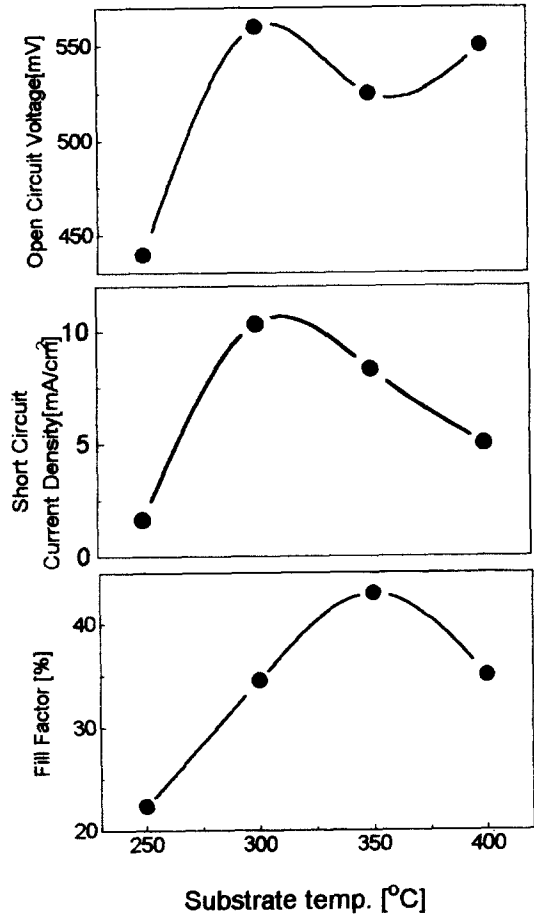


그림 8. 기판온도에 따른 개방전압, 단락전류밀도, 충전인자의 변화
 Fig 8. Variations of V_{oc} , J_{sc} and fill factor with substrate temperature
 (rf-power : 45 W, distance : 6 cm, Ar 가스압: 1 mTorr)

이 결과로 부터 기판온도를 300 °C로 고정하고 Ar 가스압의 변화가 전지 특성에 미치는 영향을 관찰하기 위해 Ar 가스압을 $1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$ Torr로 변화하며 실험한 결과를 그림 9에 나타내었다. 그 결과 Ar 가스압이 5×10^{-3} Torr 일때에 개방전압, 단락전류, 충전인자가 모두 최대값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

열처리 온도 변화에 따른 전지특성을 관찰한 결과 열처리온도가 낮은 (400 °C) 경우에는 증착된 박막의 재결정화정도가 매우 낮았으며, 반면 너무 높은 온도(500 °C)에서는 박막에 pin-hole과 같은

손상이 발생하여 우수한 전지특성이 나타나지 못하였다. 이 결과로부터 450 °C의 열처리온도가 최적조건이라는 것을 알 수 있었다.

이상의 실험결과로부터 최적의 제조조건인 기판온도 300 °C, Ar 가스압 5×10^{-3} Torr, rf-출력 45 W 에서 제조된 CdTe/CdS 태양전지를 450 °C로 열처리하여 이의 태양전지특성을 측정하였다. 그 결과 0.07 cm²크기의 전극에서 개방전압 610 mV, 단락전류밀도 17.2 mA/cm²의 태양전지를

얻을 수 있었다.

다음의 식 (1)은 태양전지의 변환효율을 계산하는 식이다.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \tag{1}$$

$$= \frac{V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{in}} \times FF \times 100 [\%]$$

이 식을 이용하여 충전인자(fill factor) 47.5 % 와 약 5 %의 전체 평균 광전변환효율을 얻을 수 있었다. 이 변환효율은 같은 방법으로 얻어진 기존의 연구결과⁶⁾와 비교하면 우수한 값이다.

4. 결 론

본 연구에서는 rf-마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 CdTe 박막을 제작하였다. 이 때 제조조건인 변화가 CdTe 박막의 전기적, 광학적, 결정구조학적으로 미치는 영향과 n-CdS/p-CdTe 이종접합 태양전지의 개방전압과 단락전류 및 광전변환효율의 변화를 관찰하였으며 그 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. X-선 회절분석의 결과 스퍼터링에 의해 제조된 CdTe 박막은 낮은 기판온도(200 °C)에서는 hexagonal phase와 cubic phase가 나타나고, 기판온도가 증가함에 따라 hexagonal phase의 양은 감소하고 cubic phase양이 증가됨을 알 수 있다.
2. 광흡수층으로써의 CdTe는 1 μm정도의 두께이상에서는 충분한 광흡수가 이루어진다.
3. CdTe 박막은 기판온도의 증가 및 열처리를 통하여 결정립(grain)의 크기가 커지며, 고온(450 °C)에서의 열처리시 CdCl₂ 처리의 효과로 결정립의 크기는 더욱 커지게 된다.
4. 제작조건의 변화를 주어 실험한 결과 CdTe/CdS 태양전지의 제조를 위한 최적조건은 기판온도 300 °C, Ar 가스압 5×10^{-3} Torr, rf-출력 45 W, 열처리 온도 450 °C였다. 이와 같은 최적의 제조조건에서 제조된 태양전지는 개방전압 610 mV, 단락 전류밀도 17.2 mA/cm², 충전인자(fill factor) 47.5 %, 광전변환효율 약 5 %를 나타내었다.

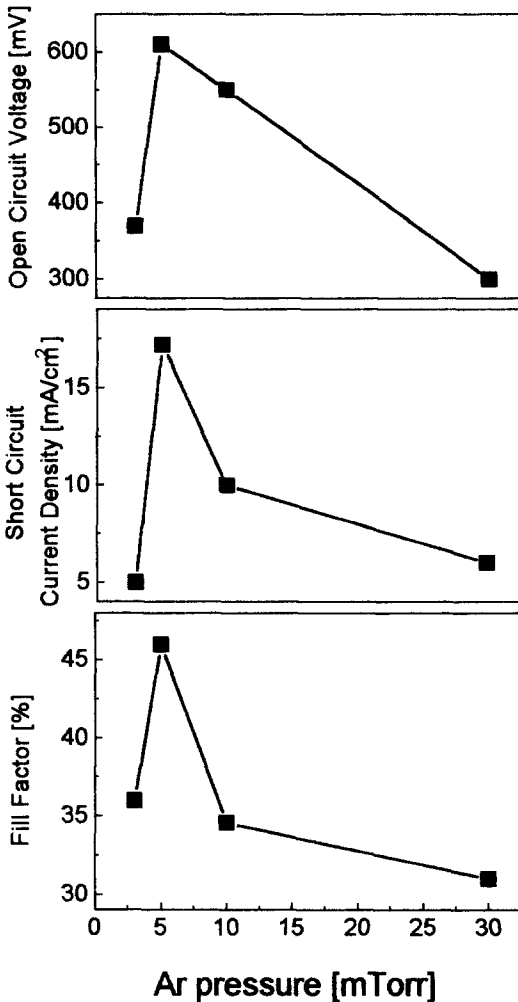


그림 9. Ar 가스압에 따른 개방전압, 단락전류밀도, 충전인자의 변화

Fig 9. Variations of V_{oc} , J_{sc} and fill factor with Ar pressure
(rf-power : 45 W, distance : 6 cm, T_s : 300 °C)

5. 참고 문헌

1. H.J.Moller, "semiconductor for Solar Cell", Artech House, pp.285-290, 1992
2. Hiroshi Uda, Soiji Ikegami and Hajimu Sonomura, "Effects of Substrate Temperature on the Photovoltaic Properties of a CdS/CdTe Solar Cell" Jpn. J. Appl. Phys., pp.2003-2007, 29(10) 1990
3. Makoto Takahashi, Kohei Uosaki and Hideaki Kita, "Effects of Heat Treatment on the Composition and Semiconductivity of Electrochemically Deposited CdTe Films", J. Appl. Phys., pp.4292-4295, 58(11) 1985
4. Hirishi Uda, Hitoshi Matsumoyo, Kiyoshi Kuribayashi, Seiji Ikegami, "Effects of Resistivity of CdS Sintered Film on Photovoltaic Properties of Screen Printed CdS/CdTe Soalr Cell", Jpn. J. Appl. Phys., pp1832-1836, 22(12), 1983
5. C. Ferekids and J. Britt, "CdTe Solar Cells with Efficiencies over 15%", Technical Digest of 7th The International Photovoltaic Science and Engineering Conference, p509 (1993)
6. A. Copaam, M. Shao and A. Fisher, "Effects of Magnetic Field Configuration on RF Sputtering for CdS/CdTe Solar Cells", MRS Proceeding of Spring, 1996
7. G. S. Sanyal, A. Mondal, K. C. Mondal, B. Ghosh, H. Saha and M. K. Mukherjee, "A Comparative Study of CdTe Films Prepared by Different Techniques", Solar Energy Materials, pp395-404, 20, 1990
8. X. Li, T. A. Gessert, R. J. Matson, J. F. Hall and T. J. Coutts, "Microstructural study of sputter-deposited CdTe thin films", J. Vac. Sci. Technol., pp.1608-1613, 12(4), 1994
9. 김현수, 염근영, 신성호, 박정일, 박광자, "다결정 CdTe 박막의 열처리에 따른 물성변화에 관한 연구", 한국재료학회지, pp.389-396, 5 (4), 1995



정혜원

1992년 3월-1996년 2월 인하대학교 전기공학과(학사). 1996년 1월-현재 국립기술품질원 무기화학과 위촉연구원. 1996년 3월-현재 인하대학교 전기공학과 석사과정.



이 천

1960년 6월 11일생. 1982년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 1985년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 3월 일본 오사카대학 전기공학과 졸업(공학). 1992년 4월 일본 이화학연구소 연구원. 1993년 10월 KIST Brain Pool 연구원. 현재 인하대학교 전기공학과 조교수. 본 학회 편수위원.



신재혁

1985년 3월-'89년 2월 한양대학교 무기재료공학과 졸업. 1990년 3월-'92년 2월 동 대학교 대학원 무기재료공학과 졸업(석사). 1992년 3월-'96년 2월 동 대학교 대학원 무기재료공학과(공학). 1996년 3월-'97년 1월 한양대학교 Post-Doc. 1997년 2월 현재 국립기술품질원 무기화학과 공업연구원.



신성호

1982년 2월 한양대학교 공업화학과 졸업. 1984년 2월 동 대학교 대학원 졸업(석사). 1992년 2월 동 대학교 대학원(공학) 1991년 12월-현재 국립공업기술원.



박광자

1942년생. 서울대학교 화학과 졸업(1966년 이학사, 1973년 석사). 1991년 아주대학교 공업화학과 공학박사. 1982년-85년 문교부 도서편찬심의회 위원. 1985년-현재 한국표면공학회 이사. 1988년-현재 공업표준심의회 위원. 1991년-현재 통상부 공업기반기술개발전문위원회 위원. 현재 국립기술품질원 무기화학과장.