



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2011年

2月

碩士學位論文

2011年 2月

碩士學位論文

# CdTe 태양전지 박막의 어닐링 조건 최적화

CdTe 태양전지 박막의 어닐링 조건 최적화

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

林 采 炫

林采炫

# CdTe 태양전지 박막의 어닐링 조건 최적화

Annealing Condition Optimization of  
Thin Films for CdTe Solar Cells

2011年 2月 25日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

林 采 炫

# CdTe 태양전지 박막의 어닐링 조건 최적화

指導教授 李 愚 宣

이 論文을 工學碩士學位 申請 論文으로 提出함.

2010年 11月

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

林 采 炫

# 林采炫의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 오금곤 印

委員 朝鮮大學校 教授 백형래 印

委員 朝鮮大學校 教授 이우선 印

2010年 11月

朝鮮大學校 大學院

# 목 차

## ABSTRACT

I. 서 론 .....	1
II. 이론적 배경 .....	3
A. CdTe 박막 태양전지 .....	3
1. CdTe 박막의 물리적 성질 .....	3
2. CdTe 박막 태양전지의 구조 .....	5
3. CdTe 박막 태양전지의 원리 .....	8
B. CdTe 박막의 광특성 및 전기적 특성 .....	10
C. CdTe 박막 태양전지의 I-V 특성 .....	13
III. 실험 및 측정 .....	16
A. 실험 .....	16
1. CdTe 박막의 제작 .....	16
2. CdTe 박막 어닐링 .....	20
B. CdTe 박막의 특성 측정 .....	21
1. 흡광도를 이용한 박막의 광특성 측정 .....	21
2. Hall Effect를 이용한 박막의 전기적 특성 측정 .....	22
3. XRD를 이용한 박막의 결정성 측정 .....	23
IV. 결과 및 고찰 .....	24
A. 광학 특성 분석 .....	24
B. 전기적 특성 분석 .....	27
1. 면저항 분석 .....	27
2. 전하 농도 및 이동도 분석 .....	29

C. XRD 분석 .....	32
V. 결 론 .....	33
참고문헌 .....	35

# List of Tables

Table 1 Physical Properties of CdTe Crystal .....	3
Table 2 Sputtering Process Condition .....	17
Table 3 Annealing Process Condition .....	18



# List of Figures

Fig. 2.1 Energy Band Diagram of n-CdS/p-CdTe Junction Solar Cells .....	8
Fig. 2.2 Terminal Properties of a p-n Junction in the Dark and under Illumination .....	13
Fig. 2.3 Structure of CdTe Thin Film Solar Cell .....	15
Fig. 2.4 Structure of RF-Magnetron Sputtering .....	16
Fig. 2.5 Sputter Equipment .....	17
Fig. 2.6 HR UV-VIS-NIR Spectrophotometer Equipment .....	19
Fig. 2.7 Hall Effect Measurement System .....	20
Fig. 2.8 XRD Equipment .....	21
Fig. 2.9 Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in H <sub>2</sub> Ambient .....	23
Fig. 2.10 Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in O <sub>2</sub> Ambient .....	23
Fig. 2.11 Average Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in H <sub>2</sub> Ambient .....	24

Fig. 2.12 Average Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in O <sub>2</sub> Ambient .....	24
Fig. 2.13 Sheet Resistance of CdTe Thin Film after Annealing in H <sub>2</sub> Ambient .....	26
Fig. 2.14 Sheet Resistance of CdTe Thin Film after Annealing in O <sub>2</sub> Ambient .....	26
Fig. 2.15 Carrier Concentration of CdTe Thin Film after Annealing in H <sub>2</sub> Ambient .....	28
Fig. 2.16 Carrier Concentration of CdTe Thin Film after Annealing in O <sub>2</sub> Ambient .....	28
Fig. 2.17 Carrier Mobility of CdTe Thin Film after Annealing in H <sub>2</sub> Ambient .....	29
Fig. 2.18 Carrier Mobility of CdTe Thin Film after Annealing in O <sub>2</sub> Ambient .....	29
Fig. 2.19 XRD Analysis of CdTe Thin Film after Annealing Treatment with Various Ambient .....	30

# ABSTRACT

## **Annealing Condition Optimization of Thin Film for CdTe Solar Cells**

Lim, Chae-Hyun

Advisor : Prof. Lee, Woo-Sun, Ph D.

Department of Electrical Engineering

Graduate School of Chosun University

CdTe thin film solar cell is attracting a great deal of attention owing to its conversion efficiency and production cost compared to the conventional silicon solar cell. CdTe thin film is also well known that it has the suitable characteristics with the optimal band gap energy (about 1.4eV) for solar energy absorption, high light-absorption capability and low cost requirements for producing solar cells.

CdTe is one of the most convincing materials for thin-film solar cells shaped as the *p*-CdTe/*n*-CdS-doped heterostructure. The conductivity type of sputtering-deposited CdTe thin film was different in my experiments compared to the well-known property.

In this paper, the effects of annealing treatment were investigated on the thin film characteristics including the conductivity type in the hydrogen or oxygen ambients. The effects of hydrogen and oxygen annealing treatment on the electrical and optical properties of CdTe thin film were investigated by

UV-Visible spectrophotometer and Hall effect measurement.

The role of hydrogen and oxygen was examined by some analytical methods including X-ray diffraction (XRD). The optical and electrical properties of CdTe thin film such as optical transmittance, absorption coefficient, carrier mobility, resistivity and carrier density were also measured and analyzed.

Through the comparison of the influences by the annealing process of CdTe thin film in the different ambients on the electrical and optical properties of CdTe thin film, it was confirmed that the ambient condition in the annealing process was effective to the photovoltaic properties of CdTe thin films. The process conditions in the annealing process were also optimized for the improved properties of CdTe solar cell.

# I. 서론

에너지와 환경문제가 점점 심각해지는 최근 태양전지는 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 소자로 그 개발과 응용에 관심이 점점 커지고 있다. 이러한 태양전지는 제 1차 오일쇼크 이후 1970년대 중반부터 실용화를 목표로 일본, 미국을 중심으로 대규모 정부 프로젝트가 시작되었으며, 1980년대 중반까지 다양한 기술이 개발되어 현재까지 실용화가 진행되고 있다.

태양전지를 지상의 동력원으로 실용화하기 위해서는 생산비를 낮춰야 하는데 그 방안으로 크게 두 가지를 연구하고 있다. 첫 번째로는 단결정 태양전지를 고효율로 제작하고 집광장치를 사용하여 최대한의 출력을 얻어내는 것이고, 두 번째는 비정질이나 다결정 태양전지를 대면적으로 제작하여 전지자체의 제조단가를 낮추는 것이다. 후자의 경우, 실용화를 위한 목표 효율을 10%로 설정하고 있다.

지금까지 10% 이상의 효율을 나타낸 재료로 Si, 비정질 Si, GaAs, InP, CuInSe<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>S와 CdTe 등이 개발되었다. 이중 Si를 제외하면 모두 II-IV 또는 III-V족 계통의 화합물 반도체이다. 이중 CdTe 태양전지는 최근에 미국의 NREL을 중심으로 한 연구팀이 투명전극 및 광투과층의 특성개선을 통하여 16.4%의 최고효율을 보고하고 있다.<sup>[1]</sup>

CdTe계 태양전지는 직접천이형 에너지 밴드갭을 지닌 재료로써 얇은 두께에서도 태양에너지를 효과적으로 흡수하며 태양광의 강도가 가장 큰 부분에 해당하는 에너지 밴드갭을 가지고 있다. 이러한 CdTe계 태양전지는 높은 광흡수계수로 인하여 이중접합형태의 구조를 가져야 하고, 광투과층으로서는 CdTe와 격자 불일치가 가장 적은 CdS가 많이 사용된다.<sup>[2-3]</sup> 고효율 CdTe 태양전지를 제조하기 위해서는 빛이 광투과층인 CdS막을 손실 없이 투과해야하고 CdTe와 CdS 계면에서 carrier를 많이 생성해야 하며 생성된 carrier 또한 외부회로로 잘 전달되어야 한다. 광투과층으로 사용되는 CdS의 광투과도가 높아지기 위해서는 치밀하면서도 얇은 막이 사용되어야 하며 이후 CdTe와의 접합 특성을 개선하기 위해 표면 또한 깨끗해야 한다. 광을 흡수하여 carrier를 생성하는 CdTe는 doping 농도를 증가시켜 더 많은 carrier를 생성하도록 해야 한다.

이러한 CdTe 태양전지는 90% 이상의 흡광도를 갖고 있지만 Si계 태양전지의 효율은 22%이상인 것에 비하여 CdTe 태양전지의 효율은 최고 16.4%에 지나지 않는

다. 이러한 문제점은 CdTe 박막에 도핑을 해줌으로써 CdTe 박막의 전하 생성을 증가시켜줄 수 있다. 따라서 CdTe 박막의 흡광도 향상은 어느 정도 한계가 있음을 알 수 있고, 결국 CdTe 박막의 면저항, 전하 농도 및 이동도 등의 전기적 특성을 도핑에 의한 방법으로 향상시킬 필요가 있다고 보인다.

따라서 본 논문에서는 CdTe 박막에 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 분위기에서의 어닐링을 한 후, 박막의 광학 및 전기적 특성을 측정하고 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 어닐링이 CdTe 박막의 광학 및 전기적 특성에 미치는 영향을 검토하며 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 어닐링을 이용하여 도핑효과로 인한 특성변화를 관찰하고 CdTe 박막 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있는 최적의 CdTe 박막 어닐링 조건을 찾고자 한다.

## II. 이론적 배경

### A. CdTe 박막 태양전지

#### 1. CdTe 박막의 물리적 성질

CdTe는 태양광 스펙트럼에 대해서 강한 광휘를 나타내는 파장대의 빛을 흡수할 수 있는 적절한 밴드갭(1.45eV)을 가지고 있으며, 밴드갭 이상의 에너지를 갖는 태양광에 대해서 높은 광흡수도를 나타내는 직접천이형 반도체이다.<sup>[4-5]</sup> 따라서, CdTe는 두께 1~2 $\mu\text{m}$ 내에서 모든 광흡수가 일어나기 때문에 비정질 Si, CIS (CuInSe<sub>2</sub>) 등과 함께 박막형으로 제작 가능한 태양전지재료로서 인식되고 있다.<sup>[6]</sup>

CdTe는 단결정의 경우 대기압에서 징크블렌드(Zinkblende) 구조를 갖는다. Kittel의 분류에 따르면 입방정 공간 그룹  $F_{43m}(Td_2)$ 에 속하는 물질로 두 개의 면심입방 격자가 체심의 1/4만큼 벗어나 겹쳐있는 구조이며 격자 상수  $a$ 는 0.6481nm이다. 침입형 사이트 반경으로 팔면체 사이트는 0.0949nm이며 사면체 사이트 0.0515nm이다. Cd의 이온반경은 0.097nm이고 Te의 이온반경은 0.21nm이다. 표 1에 CdTe의 물리적 특성을 요약하였다.

Table 1 Physical Properties of CdTe Crystal

Parameter	CdTe (Zinc blende)
Band gap (eV, at 300K)	1.45 eV
Electron affinity (eV)	4.28 eV
Lattice parameter (nm)	$a = 0.6481$ nm
Effective mass of electron ( $m_n^*/m_e$ )	0.111
Effective mass of holes ( $m_p^*/m_e$ )	0.13 for light hole 1 for heavy hole
Electron mobility ( $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ )	1050
Hole mobility ( $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ )	80
Thermal conductivity ( $\text{W}/\text{K} \cdot \text{cm}$ )	0.075
Temperature coefficient of expansion ( $\times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , at 300K)	4.9
Dielectric constant (nm)	0.6481

또한, CdTe는 물질의 합성이 쉽다는 장점이 있다. 현재까지 다양한 방법, 즉 근접승화법, 진공증착법, 전착법, screen printing, spray pyrolysis, 스퍼터링, MOCVD 등의 방법이 사용되고 있다.



## 2. CdTe 박막 태양전지의 구조

CdTe 태양전지는 기본적으로 광투과층인 CdS와 이중접합을 기본으로 하며 전면 투명전극과 배면전극으로 구성된다. CdTe 태양전지의 기본구조는 투명기판(유리, 고분자 필름) 위에 전자를 수집하는 ITO(투명전극)이 하단부에 코팅되어 있으며 그 위에는 *n*-type CdS(광투과층), *p*-type CdTe(광흡수층), Cu(배면전극), Au(후면전극) 순서로 형성되어 있다. 최근에는 금속 후면전극 대신 투명전극(TCO, Transparent Conductive Oxide)를 사용하는 예도 있다. 이러한 CdTe 박막 태양전지는 이중접합 구조인 CdS와 CdTe의 격자 불일치가 매우 적어 안정적인 것으로 알려져 있다. 유리 기판을 통해 입사된 가시광은 CdS를 통과한 후 CdTe 층에서 광을 흡수하게 되고, 흡수된 광은 전자, 정공으로 분리되어 상하부 전극을 통해 수집되는 구조를 가진다.<sup>[7]</sup>

CdTe 박막 태양전지 구조에서 기판으로 사용되는 소재로는 유리, 박막형 SUS & Cu, 고분자 필름으로 분류할 수 있다. 유리 기판은 일반적으로 사용되어 온 소재로서 300°C 이상의 고온 공정에 충분히 견디나 유연 박막태양전지 제작을 위해서는 높은 유리전이온도를 가지는 고분자 필름소재를 사용해야 한다. 이러한 고분자 필름은 대부분 높은 열팽창 계수, 가시광 영역에서의 낮은 광투과율, 낮은 유리전이온도 값 등으로 인해 300°C 이상의 높은 온도에 견디는 소재가 필요하게 되었다. 최근 우수한 내열특성의 투명한 PI(Polyimide) 등의 소재가 개발됨으로써 유연 CdTe 박막태양전지 개발이 시도되고 있다.

전면전극으로 사용되는 투명전극은 통상 높은 광투과율(86% 이상), 낮은 표면평활도(2nm 이하), 낮은 저항치(11Ω/sq) 등을 만족하는 FTO(Fluoride doped tin oxide), ITO(Indium tin oxide) 등의 소재를 사용하여 왔다. FTO의 경우 우수한 내열성, 내구성, 전기적 특성으로 인해 대표적인 태양전지용 투명전극으로 각광 받았으나 높은 공정 온도로 인해 최근에는 AZO(Al-doped Zinc Oxide), IZO(Indium Zinc Oxide), ZnO(Zinc Oxide), CdSnO<sub>4</sub> 등의 대체 전극 개발에 노력하고 있다. 특히 유연기판을 사용할 경우 낮은 공정온도에 대응 가능한 소재 발굴이 시급한 실정이다. 일반적으로 투명전극은 스퍼터링, Ion Plating, Ion Beam Evaporator,

MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 등의 방법으로 제작한다. 이러한 투명전극은 Photon Trapping 효과를 얻기 위하여 인공적인 방법을 사용하여 표면을 규칙적으로 거칠게 제작하기도 하지만 최근에는 표면도가 우수한 투명전극이 사용되는 추세이다.<sup>[8]</sup>

투명전극과 CdTe 광흡수층 사이에 완충층으로 사용되는 CdS는 박막 성장 시 과잉의 Cd로 인해 발생하는 S의 정공이 도너로 작용하여 Dopant를 첨가하지 않고도 비교적 낮은 저항치를 쉽게 얻을 수 있다. 그러나 CdS는 태양전지 내에서 전기장이 거의 발생되지 않고 소수캐리어 수명이 매우 작아서 광전압 반응에 기여하지 못하여 빛을 최대한 투과시키는 역할인 윈도우 층으로서 두께 100nm 이내로 형성하여야 한다. 이는 좁은 밴드갭( $E_g=2.4$  eV)으로 인해 투과되는 광의 일부가 흡수되어 태양전지의 효율 감소를 초래하게 된다. 따라서 더 큰 밴드갭과 우수한 광투과율을 가지는 윈도우 층 소재 개발이 필요하게 되었다. 이에  $CdS_{1-x}O_x$ ,  $Zn_2SnO_4$  등과 같은 대체 윈도우 층을 개발하기 위한 노력이 시도되고 있다. CdS 완충층을 코팅하는 방법에는 스퍼터링, CVD(Chemical Vapor Deposition), CSS(Close-Spaced Sublimation), Spray Pyrolysis, Screen Printing 등의 방법이 있으나 South Florida 대학에서 개발한 CBD(Chemical Bath Deposition)법이 가장 보편적으로 사용된다.<sup>[9]</sup>

### 3. CdTe 박막 태양전지의 원리

태양전지는 크게 태양열전지와 태양광전지로 나뉜다. 태양열전지는 태양광의 적외선이나 가시광선이 투명체를 통과하여 일반 금속으로 형성된 흡수체에 흡수되면 진동운동이나 전자운동이 일어나고 이 운동에너지가 유체에 전달되면 그 유체 분자의 진동운동과 회전운동을 유발시켜 열에너지 형태로 저장하고 이용하는 장치이다. 반면, 본 실험에서 논하는 태양광전지는 무한의 태양에너지를 전기에너지로 변화시키는 장치이다.

1839년 프랑스의 물리학자 에드몬드 베쿠렐(Edmond Becquerel)이 태양전지의 작동원리를 최초로 현상적으로 관찰한 것을 서두로, 1870년대 하인리히 헤르쯔(Heinrich Hertz) 등에 의해 여러 고체들에서 이러한 현상이 연구되어, 당시 약 1 ~ 2%의 변환효율로 생산된 전기를 관찰하였다. 본격적인 태양전지 연구의 계기가 된 것은 1940년대 초크랄스키 공정(Czochralski Process)의 발달이었으며, 1954년에 벨 연구소에서는 이 공정을 이용해 6%의 변환효율을 갖는 단결정 실리콘 태양전지를 개발하였다.

이러한, 태양광 전지의 작동원리는 전기에너지를 빛 에너지로 변환시키는 발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)나 레이저 다이오드(Laser Diode)와 반대라고 생각하면 되며, 기본적으로  $p-n$  접합 다이오드가 사용된다.<sup>[4]</sup> 그림 2.1은 태양전지의 작동원리를 에너지밴드 다이어그램(Energy Band Diagram)으로 나타낸 모식도이다. 열적 평형상태에서  $p$ -type 반도체와  $n$ -type 반도체의 접합으로 이루어진 다이오드에서는 캐리어(Carrier)의 농도 구배에 의한 확산으로 전하 불균등 분포가 생기고 이로 인해 전기장이 형성되어 확산의 효과를 상충한다. 즉, 농도 구배에 의한 확산과 전기장에 의한 드리프트(Drift)의 기여로 생기는 전류의 크기는 같고 방향이 반대여서 전류의 차이는 0이 된다.

이 다이오드에 빛을 가했을 경우, 그 물질의 전도대(Conduction Band)와 가전자대(Vallence Band) 사이의 에너지 차이인 밴드갭 에너지(Band Gap Energy) 이상으로 충분히 큰 빛 에너지가 들어오면 이 빛에너지를 받아서 전자들은 가전자대에서 전도대로 천이한다. 이 때 전도대로 천이한 전자들은 자유롭게 이동할 수 있게 되

며, 가전자대에는 전자들이 빠져나간 자리에 정공(Hole)이 생성된다. 이 발생된 과잉의 캐리어(Excess Carrier)들은 전도대 또는 가전자대 내에서의 농도차이에 의해서 확산하게 된다. 이때  $p$ -type 반도체에서 여기된 전자들과  $n$ -type 반도체에서 만들어진 정공을 각각의 소수 캐리어(Minority Carrier)라고 부르며, 마찬가지로  $p$ -type 반도체에서 다수 캐리어인 정공이 또  $n$ -type 반도체에서는 전자가 발생한다. 이때 다수 캐리어로서 전자와 정공은 에너지 장벽(Energy Barrier)에 의해 흐름의 방해를 받지만  $p$ -type의 소수 캐리어인 전자는  $n$ -type 쪽으로,  $n$ -type의 소수 캐리어인 정공은  $p$ -type 쪽으로 각각 이동할 수 있다. 마이너리티 캐리어의 확산에 의해 재료 내부의 중성전하(Charge Neutrality)가 깨짐으로써 전압 차(Potential Difference)가 생기고 이때  $p$ - $n$  type의 양극단에 발생된 기전력을 외부 회로에 연결하면 전지로서 작용하게 된다.

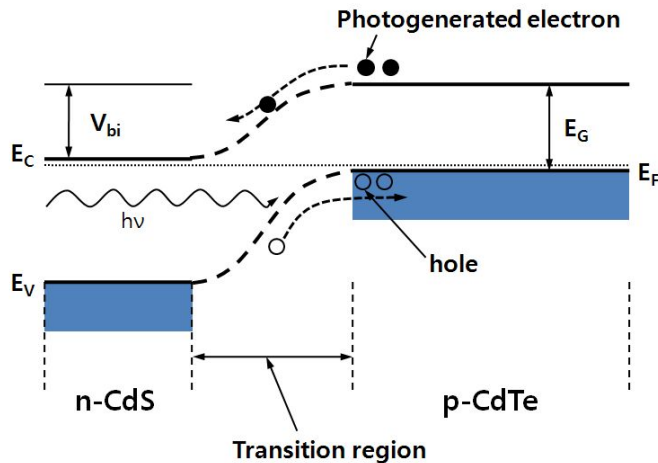


Fig. 2.1 Energy Band Diagram of  $n$ -CdS/ $p$ -CdTe Junction Solar Cell

## B. CdTe 박막의 광특성 및 전기적 특성

광특성 비교를 위해 각 공정 조건에 따른 CdTe 박막의 흡광도를 측정하였다. 흡광도란 박막이 얼마나 빛을 잘 흡수할 수 있는지를 수치로 나타낸 척도이다. 흡광도를 구하는 공식은 Lambert's law 로서 설명할 수 있다.

$$A = \log_{10}(T) \quad (2-1)$$

윗 식에서 A는 흡광도, T는 광투과도를 의미한다. 즉 흡광도는 광투과도에 로그를 취한 값으로써 지수값을 의미한다. 이러한 흡광도가 CdTe 박막 태양전지에 미치는 영향은 광전효과로 설명할 수 있다.<sup>[10-12]</sup>

광전효과는 빛과 기전력과의 관계를 결정짓는 것으로서 반도체를 이용한 태양전지의 핵심적인 이론이다. 광은 입자성과 파동성을 갖는 물질로 1923년 Einstein에 의해 발견되었는데 이러한 현상은 전자와 광의 충돌에 의해 광의 방향이 변하게 된다는 Compton효과에 의해 입증된 바 있다. 이 입자를 보통 광자(Photon)라 하며 전자, 정공과는 달리 중성 특성이 있고 에너지도 갖는다. 또 광양자를 전자에 충돌시키면 광양자 중에 입사선과 같은 파장의 성분 이외에 약간 긴 파장이 발생되는데 광자 한 개가 갖는 에너지 E와 진동수  $\nu$  및 파장  $\lambda$ 와의 관계는 다음 식이 성립한다.

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (2-2)$$

윗 식의 의미는 흡수되는 태양광의 양이 많으면 반도체가 활용할 수 에너지가 늘어난다는 것을 의미하며, 이는 곧 CdTe 박막의 흡광도가 높을수록 태양전지의 효율이 좋아짐을 뜻한다.<sup>[13-14]</sup>

또한 전기특성 비교를 위해 측정된 Hall effect란 자기장에 놓여진 고체에 자기장과 수직인 전류가 흐를 때, 그 고체 내부에 횡단 방향의 전기장이 생성되는 현상을 이용한 것으로서, 1879년 미국의 물리학자 에드윈 H. 홀이 발견했다.

그 전기장, 즉 홀장은 자기장에 의해 전류의 구성 성분인 양 또는 음의 입자들에 가해지는 힘의 결과이다. 전류가 양의 입자들의 이동이든지, 음의 입자들의 역방향의 이동이든지, 또는 2가지의 혼합 상태이든지 간에, 직교된 자기장은 이동하는 전하들을 자기장 및 전류의 방향에 모두 수직을 이루는 동일한 축방향으로 변위시킨다. 도체의 한 측면에 전하가 누적되면 반대축에는 반대 전하가 남게 되고 따라서 전위차를 발생시킨다.

적절한 계기를 이용하면 이 전위차를 양 또는 음의 전압으로 측정할 수 있을 것이다. 이 홀 전압의 부호는 전류를 흐르게 하는 것이 양전하인지 음전하인지를 결정한다. 한방향으로의 양공들의 이동과 그 역방향으로의 전자들의 이동으로 전류가 흐르게 되는 반도체에서, 홀 전압의 부호는 어떤 유형의 전하 운반자가 지배적인지를 보여준다. 홀 효과는 또한 전류 반송자의 밀도 및 운동의 자유도(기동성) 측정과, 더불어 자기장상의 전류의 존재 여부 감지에도 사용될 수 있다.

도체를 가로질러 생성되는 홀 전압은 전류와 자기장과 특정 전도체 자체의 특성에 비례하며, 물체의 두께에 반비례한다. 다양한 물질들은 각기 다른 홀 계수를 갖기 때문에, 동일한 조건의 규격과 전류 및 자기장하에서도 상이한 홀 전압이 생성된다. 홀 계수는 실험에 입각하여 결정되며 온도에 따라 달라질 수 있다. 이러한 홀효과를 이용하여 본 연구에서는 전하 이동도, 표면 저항을 측정함으로써 전기특성이 CdTe 박막 태양전지에 미치는 영향을 비교하였다.<sup>[15-16]</sup>

먼저 전하 이동도의 영향은 반도체의 광도전 효과로써 설명할 수 있다. 광도전 효과란 빛을 어떤 물질에 입사시켰을 때 그 물질의 도전율이 증가하는 현상을 말한다. 이 현상을 에너지 밴드 이론상으로 구분하면 가전자대의 캐리어가 전도대로 이동하는 진성광도전효과와 금지대 안의 불순물 레벨 준위에 존재하는 전자가 전도대로 이동하여 이루어지는 외인성광도전효과가 있다.

반도체에 전압을 인가하고 빛을 조사시키면 광자는 공유결합의 전자와 충돌하여 자유롭게 이동할 수 있는 전도 전자를 발생시키고 전자 발생지역에는 정공이 남으므로 한 개의 광자에 의해 전자, 정공 한 쌍의 캐리어가 발생된다. 즉 광자는 전자를 가전자 대에서 금체대를 넘어 전도대로 이동시켜 전자, 정공의 농도가 변한다. 이때 빛을 조사하지 않았을 때 도체의 도전율  $\sigma_0$ 는 전하를  $q$ , 전자, 정공의 이동도

를 각각  $\mu_n$ ,  $\mu_p$  이들의 밀도를  $n_0$ ,  $p_0$ 라 하면 다음과 같은 식이 유도된다.<sup>[17]</sup>

$$\sigma_0 = q(\mu_n n_0 + \mu_p p_0) \quad (2-3)$$

즉, 전하 이동도가 높다는 것은 반도체 내에서 도전율이 증가함으로써 CdTe 태양전지 효율을 높일 수 있음을 의미한다. 또한 표면 저항도 낮을수록 내부적인 전기적 손실이 적기 때문에 태양전지 효율이 더 증가함을 알 수 있다.

## C. CdTe 박막 태양전지의 I-V 특성

태양전지의 특성에 대해 말할 때 일반적으로 I-V 특성곡선으로 설명하는데 빛을 받지 않는 상태(Dark)와 빛을 받는 상태(Light)에서 일반적인 태양전지의 전류-전압곡선을 그림 2.2에 나타내었다. 빛이 없는 상태에서 태양전지는 그림 2.2와 같이 보통의  $p-n$  접합 다이오드와 동일한 I-V 특성곡선을 갖는다. 순방향 바이어스(Forward Bias)에서는 전류가 잘 흐르며 역방향 바이어스(Reverse Bias)에서는 전류가 잘 흐르지 못하여 정류작용을 하는데 이때 전류는 역 포화전류(Reverse Saturation Current)에 이른다. 전압과 전류와의 관계식은 다음과 같다.

$$I = I_0 \left( \exp\left(\frac{eV_A}{kT}\right) - 1 \right) \quad (2-4)$$

$I_0$ 는 포화 전류로서 다음의 식으로 표현된다.

$$I_0 = A \left( \frac{qD_e n_i^2}{L_e N_a} + \frac{qD_h n_i^2}{L_h N_D} \right) \quad (2-5)$$

여기서,  $V_A$  : 인가전압       $D_e, D_h$  : 소수캐리어의 확산도

$n_i$  : 진성캐리어 수       $N_A, N_D$  : 도펀트 수

식 (2-5)에 소수 캐리어 확산거리에 관한 식  $L = \sqrt{D\tau}$ 을 대입하면

$$I_0 \propto \sqrt{\frac{D}{\tau}} \quad (\because L_e = \sqrt{D_e \tau_e}, L_h = \sqrt{D_h \tau_h}) \quad (2-6)$$

여기서,  $\tau$  : 여기 된 전자와 Hole이 재결합이 일어날 때까지 걸리는 시간

위와 같이 되고  $I_0$ 값이  $\tau$ 에 반비례하고  $\tau$ 값은 재료내부의 재결합 Center의 개수와 관계가 있다. 이것이 적을수록  $\tau$ 가 길어져 여기 된 캐리어들이 먼 거리까지 확산하여 전지의 효율을 높일 수 있다.



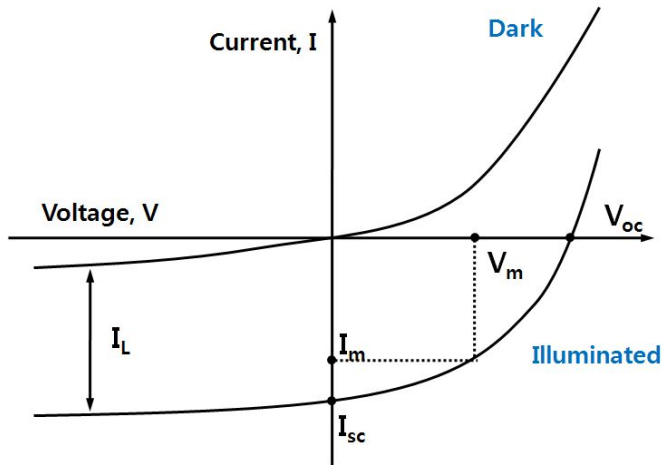


Fig. 2.2 Terminal Properties of a p-n Junction  
in the Dark and Under Illumination

빛을 흡수하면 태양전지 내부에 과잉 캐리어들의 흐름이 생겨 I-V 특성곡선은 그림 2.2의 아래 곡선과 같고 관계식은 다음과 같다.

$$I = I_0 \left( \exp\left(\frac{eV_A}{kT}\right) - 1 \right) - I_L \quad (2-7)$$

$I_L$ 은 역방향으로 흐르는 소수 캐리어들의 흐름에 의한 것으로 음의 부호를 띠며 다음과 같이 나타낸다.

$$I_L = qAG(L_e + W + L_h) \quad (2-8)$$

여기서, A : 다이오드의 단면적      G : 과잉 캐리어 발생율

L : 전자 또는 정공의 확산 거리    W : 고갈 영역의 크기

같은 재료에서 빛에 의해서 생기는 전류량을 증가시키기 위해서는 재료상수인 G 값보다 W와 L 값이 좌우하는데 이 중 W 값이 더 중요한 요소이다.

### III. 실험 및 측정

#### A. 실험

##### 1. CdTe 박막의 제작

CdTe 박막은 스퍼터링법으로 증착하였다. 스퍼터링법은 Working 가스를 진공분 위기로 이루어진 챔버내로 주입하여 성막하고자 하는 타겟 물질과 충돌시켜 플라즈마를 생성시킨 후 이를 기판에 코팅시키는 방법이다. 일반적으로 사용되는 Working 가스는 불활성 가스(Inert Gas)인 Ar을 사용한다. 스퍼터장치의 시스템은 타겟쪽을 음극으로 하고 기판쪽을 양극로 한다. 전원을 인가하면 주입된 스퍼터링 가스(Ar)는 음극쪽에서 방출된 전자와 충돌하여 여기되어  $Ar^+$ 로 되고 이 여기된 가스는 음극인 타겟쪽으로 끌려서 타겟과 충돌한다.

이때 여기된 가스분자 하나하나는  $h\nu$ 만큼의 에너지를 가지고 있으며 충돌시 에너지는 타겟쪽으로 전이되며 이때 타겟을 이루고 있는 원소의 결합력과 전자의 일함수를 극복할 수 있을 때 타겟의 물질은 방출된다. 방출된 타겟의 물질은 전자의 자유행정거리만큼 부상하고 타겟과 기판과의 거리가 자유행정거리 이하일 때 타겟의 물질은 성막된다.

따라서 스퍼터링시 기판과 타겟과의 거리는 중요한 인자가 된다. 여기서 인가된 전원이 직류일 경우를 직류스퍼터링법(DC Sputtering Methode)라 하며 일반적으로 전도체의 스퍼터링에 사용된다. 부도체는 교류 전원을 사용하여 박막을 제조한다. 이때 교류전원은 13.56 MHz의 주파수를 가지며 이를 RF(Radio Frequency)라 한다. 이러한 교류 전원을 인가전원으로 사용하는 스퍼터링 법을 교류스퍼터링(RF Sputterig)법이라 한다. RF 스퍼터링법은 다른 디지털 회로에 노이즈의 발생 원인이 될 수 있으므로 시스템적으로 노이즈 필터나 절연체에 의한 차폐와 접지가 중요하다.<sup>[18]</sup>

마그네트론 스퍼터링(Magnetron Sputtering)이란 발생된 플라즈마를 영구자석에서 발생하는 자속에 의해 집진하여 기판에 성막시키는 방법이다. 이러한 집진이 이루어질 경우 전체가 발생한 플라즈마는 균일하게 되어 결과적으로 균일한 박막

을 제조할 수 있다. 영구자석은 NbFeB계가 주로 사용되며 과거에는 링형태를 여러개 합쳐서 제조하였지만 현재는 평판형태로 제작한다. Magnetron은 타겟 밑에 놓으며 인가된 전원에 따라 RF·DC Magnetron Sputtering이라 한다.<sup>[19]</sup>

이러한 스퍼터링법의 장점은 넓은 면적에서 균일한 박막두께 증착 가능하며 박막 두께의 조절이 비교적 용이하고 다른 증착법에 비하여 보다 정확한 합금 성분 조절 가능하다는 것이다. 그림 2.3은 CdTe 태양전지의 구조를 나타낸 것이고, 그림 2.4는 스퍼터링법의 구조를 나타낸 것이다.

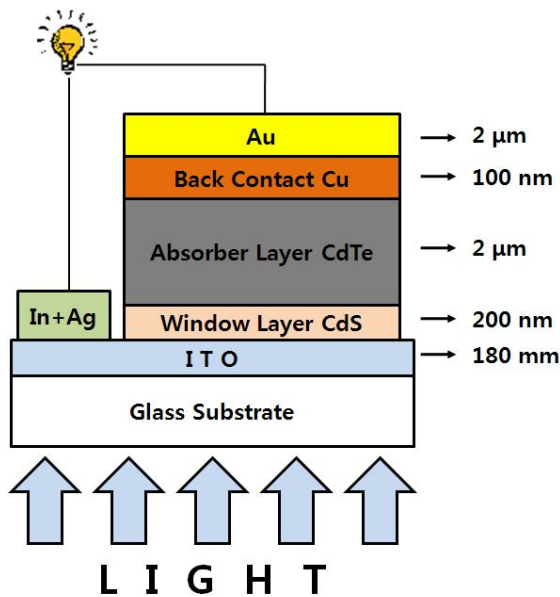


Fig. 2.3 Structure of CdTe Thin Film Solar Cell

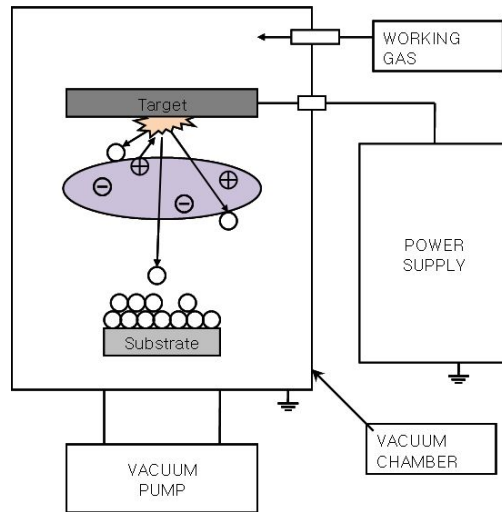


Fig. 2.4 Structure of RF-Magnetron Sputtering

본 실험에서는 CdTe 타겟으로는 미국 LTS Chemical Inc. 사의 순도 99.999%, 직경 2인치 크기의 CdTe 타겟을 사용하였고, 기판은 1 cm × 1 cm 크기로 Glass 를 사용하였다. 그림 2.5와 표 2에 본 실험에서 사용된 스퍼터장비 설비와 공정조건을 나타내었다.



Fig. 2.5 Sputter Equipment

Table 2 Sputtering Process Condition

Sputtering Process Condition	
Substrate	1 × 1 cm Glass
Pre-Sputtering Time	10 min
RF-Power	50 watts
Ar-Gas Flow Rate	20 sccm
Working Pressure	$7.5 \times 10^{-3}$ torr
Deposition Time	35 min
Substrate Temperature	25 °C

## 2. CdTe 박막 어닐링

어닐링 조건에 따른 CdTe 박막의 광학 및 전기적 특성변화를 실험하기 위해 어닐링 조건을 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 각각 20, 40, 60, 80 [cc/min]으로 분류하고 비교군으로 Air 분위기에서 어닐링한 CdTe 박막을 제작하였다. 이렇게 제작된 시료들은 CdTe 박막의 광학 및 전기적 특성에 따라 다시 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>에서 우수한 공정 조건군과 비교군으로 제작한 Air 분위기에서 어닐링한 것으로 재선별하여 XRD 분석을 통하여 CdTe 박막 어닐링이 결정성에 영향을 주는지도 관찰하였다. 본 실험의 어닐링 조건을 표 3에 나타내었다.

Table 3 Annealing Process Condition

Fixed Condition			
Substrate		1 × 1 cm Glass	
Annealing Time		60 min	
Annealing Temperature		400°C	
Classification as Gas			
H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Air	
Classification as Gas Flow Rate			
20 cc/min	40 cc/min	60 cc/min	80 cc/min

## B. CdTe 박막의 특성 측정

### 1. 흡광도를 이용한 박막의 광학 특성 측정

CdTe 박막의 흡광도를 측정하기 위해서 HR-UV-VIS-NIR Spectrophotometer (Cary500Scan, Varian Co.)를 사용하였으며, 측정 파장의 범위는 CdTe 박막의 주된 광흡수 영역인 가시광 영역(380~770nm)으로 국한하였다. HR-UV-VIS-NIR Spectrophotometer는 시료의 반사도 및 투과도를 측정하는 장비로써 측정 파장의 정확도는 가시광 영역에서  $\pm 0.05\text{nm}$ 로 대단히 정확한 계측 장비에 속한다. 또한 측정 온도는 상온이며, 사용 광원은 Tungsten-halogen, Deuterium lamp 등을 사용하는 장비이다. 이렇게 구해진 광투과도를 이론적 고찰에서 설명하였던 Lambert's Law에 적용하여 흡광도를 구하고 가시광 영역에서의 평균 흡광도를 산출하였다.

그림 2.6에서는 HR-UV-VIS-NIR Spectrophotometer의 사진을 첨부하였다.

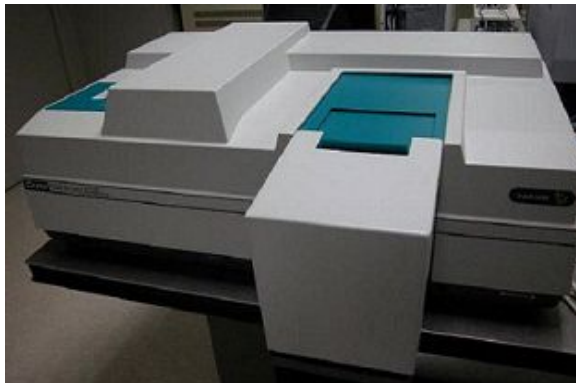


Fig. 2.6 HR UV-VIS-NIR Spectrophotometer Equipment

## 2. Hall Effect를 이용한 박막의 전기적 특성 측정

CdTe 박막의 전기특성 비교를 위하여 Hall Effect Measurement System (HL5500PC, Accent Optical Technology Ltd.)를 사용하였다. Hall Effect measurement system은 박막의 비저항, 표면 저항, 전하 농도, 전하 형태, 전하의 이동도를 측정할 수 있는 장비로써 측정 온도는 상온이며 측정 방식은 반 더 포 (Van de Pauw), 홀 바(Hall bar)로 할 수 있다. 본 논문에서는 CdTe 박막의 표면 저항값과 전하 이동도를 전기특성 비교 분석 데이터로 사용하였다.



Fig. 2.7 Hall Effect Measurement System



### 3. XRD를 이용한 박막의 결정성 측정

XRD(X-ray Diffraction)는 물질의 내부 미세구조를 밝히는데 매우 유용한 수단이다. 결정에 X선을 조사하면 결정층의 각각의 원자에 의하여 산란된 X선이 서로 더해지며, X선이 단색일 경우 각각의 원자에 의해 산란된 X선이 서로 간섭하여 특정방향에 강한 회절 X선이 생긴다. X선이  $\alpha$  각도로 입사되어  $\beta$  각도로 산란될 때, 표면상에  $\chi$  만큼 떨어진 2점에서의 X선의 경로차는  $\chi(\cos\alpha - \cos\beta)$ 가 되며, 행로차가 파장의 정수배  $n\lambda$ 와 같은 경우 강해지며, 표면상에서의 산란 X선이 동일 위상이 되려면  $n\lambda = 0$ 이 되며,  $\alpha = \beta$ 가 얻어진다. 따라서 한층의 표면에서 최대 강도를 얻을 수 있는 간섭현상은 입사각과 산란각이 같을 때이다.

본 실험에서는 이러한 그림 2.8의 XRD(PANalytical, X'pert-PRO-MPD)를 이용하여  $H_2$ ,  $O_2$  분위기에서의 어닐링이 CdTe 박막의 결정성에 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 측정을 하였다. 이때 가속 전압은 40kV, 전류는 30mA, X-ray는 Cu-K $\alpha$  Radiation=0.15406nm이며, 산란각은 20°~60°의 회절각( $2\theta$ )범위에서 X-선 회절 분석을 하였다.



Fig. 2.8 XRD Equipment

## IV. 결과 및 고찰

### A. 광학 특성 분석

CdTe 박막을 HR-UV-VIS-NIR Spectrophotometer로 투과도를 측정하고 흡광도를 산출하여 가시광 영역에서의 흡광도를 측정한 결과를 그림 2.9와 그림 2.10에 나타내었다. 가시광 영역에서의 평균값을 도출하여 그림 2.11과 2.12에서 다시 나타내었다. 흡광도란 광투과도에 로그를 취한 것으로, 그 크기가 클수록 빛이 투과되는 양이 적고 흡수되는 빛의 양이 많음을 의미한다.

H<sub>2</sub> 분위기에서 어닐링 후 CdTe 박막의 가시광 영역대 흡광도 평균을 도출하여 본 결과 어닐링 조건에 따라 20 [cc/min]에서 최고의 흡광도인 2.73(약 99.82%)로 Air 분위기에서의 흡광도인 2.64(약 99.77%)보다 우수한 흡광도였고, 60 [cc/min]에서 최저의 흡광도인 1.75(약 98.22%)로 나왔다. O<sub>2</sub> 분위기에서 어닐링 후 CdTe 박막의 가시광영역대의 평균 흡광도를 보면 20 [cc/min]에서 3.01(약 99.99%)로 Air 분위기에서보다 우수한 흡광도였고, 40 [cc/min]에서 1.76(약 98.26%)로 최저치를 보였다.

H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Air 분위기 즉, 모든 조건에서의 CdTe 박막의 흡광도를 비교해보면 최고는 O<sub>2</sub> 분위기에서 20 [cc/min]의 조건으로 약 99.99%였고 최저는 H<sub>2</sub> 분위기에서 60 [cc/min]의 조건으로 약 98.22%였다. 그리고 Air 분위기를 포함한 모든 공정 조건에서 CdTe 박막의 이론적 흡광도인 90% 이상이 되어 모든 조건에서 좋은 흡광도를 보이고 있고 표준편차는 0.66으로 아주 작게 관찰되었다.

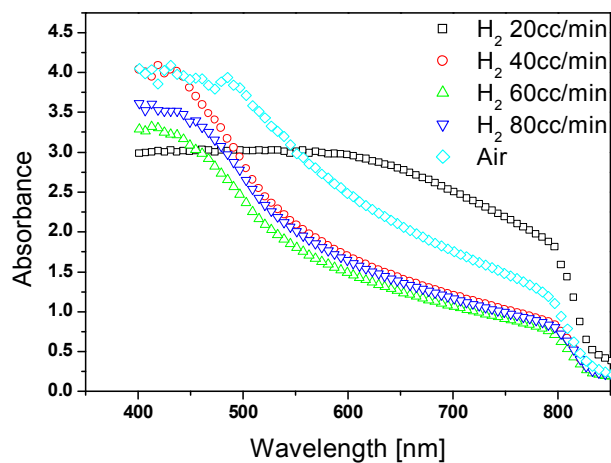


Fig. 2.9 Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in H<sub>2</sub> Ambient

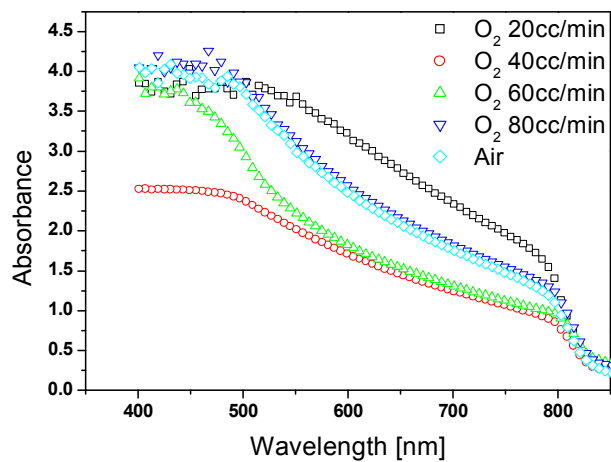


Fig. 2.10 Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in O<sub>2</sub> Ambient

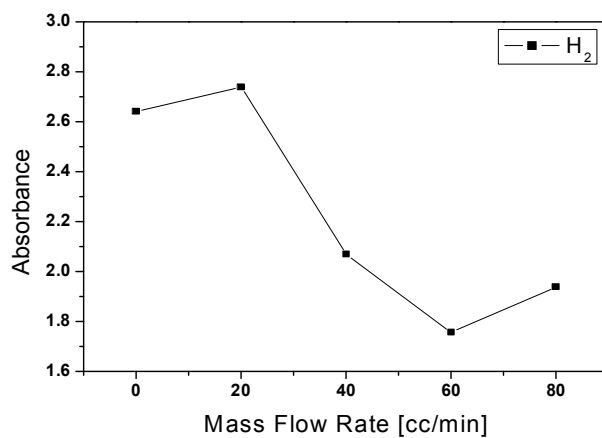


Fig. 2.11 Average Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in H<sub>2</sub> Ambient

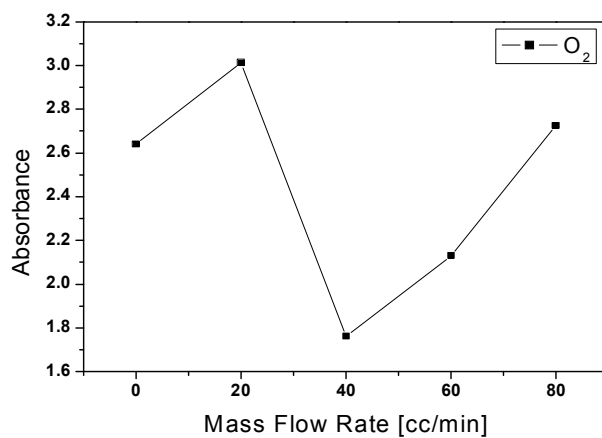


Fig. 2.12 Average Absorbance of CdTe Thin Film after Annealing in O<sub>2</sub> Ambient

## B. 전기적 특성 분석

### 1. 면저항 분석

그림 2.13은 H<sub>2</sub> 분위기에서 분압변화에 따른 비저항의 결과로서 40 [cc/min]에서 25.68[Ω/sq]로 가장 높고 이후 가스 분압이 높아짐에 따라 점점 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 그림 2.14는 O<sub>2</sub> 분위기에서 분압변화에 따른 면저항의 결과로서 40 [cc/min]까지 39.36[Ω/sq]로 증가하다 60 [cc/min]에서 7.85[Ω/sq]로 급격히 낮아짐을 관찰할 수 있다. 표면 저항이 낮다는 것은 전기적 손실을 줄일 수 있음을 의미하므로 H<sub>2</sub>에서는 80 [cc/min]에서 16.33[Ω/sq]으로, O<sub>2</sub>에서는 60 [cc/min]이 7.85[Ω/sq]로 가장 우수한 공정조건임을 알 수 있다.

이러한 결과를 종합적으로 분석해보면 H<sub>2</sub>의 경우 가스분압이 높아질수록 면저항에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 유추할 수 있고, O<sub>2</sub>의 경우는 80 [cc/min]에서 다시 높아져서 분압이 높을수록 좋아진다고 볼 수 없다. 하지만 더욱 정확한 분석을 위해서는 더 많은 비교군의 실험을 통한 비교가 요구되어 진다고 판단되고, 전하 이동도와 연관해서 고찰해 볼 필요가 있다.

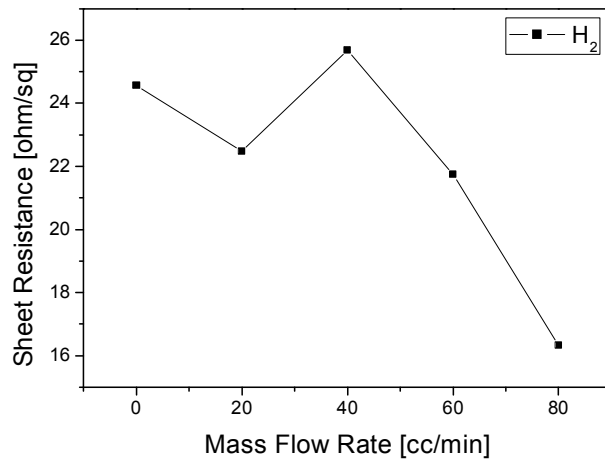


Fig. 2.13 Sheet Resistance of CdTe Thin Film after Annealing in H<sub>2</sub> Ambient

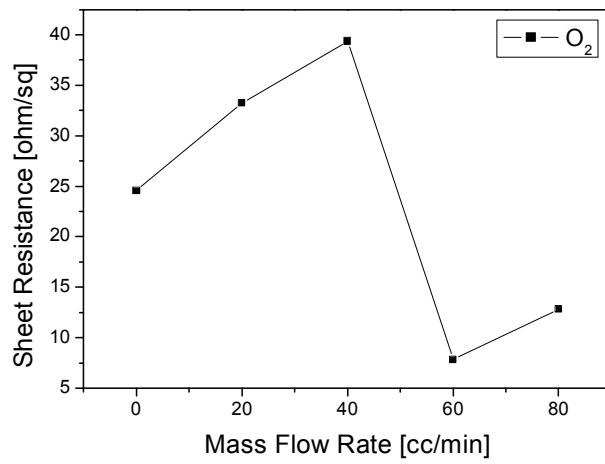


Fig. 2.14 Sheet Resistance of CdTe Thin Film after Annealing in O<sub>2</sub> Ambient

## 2. 전하 농도 및 이동도 분석

전하 이동도가 높다는 의미는 이론적 배경에서도 다루었듯이 전기적인 유전율이 높아져 전기 전도성이 우수함을 나타내며, 전하 농도가 높다는 것은 단위 체적당 분포하는 전하가 많다는 것을 의미한다. 즉 전하 농도가 너무 높으면 전하가 밀집되어 전하이동에 방해가 되는 요소가 될 수 있다. 또한 전하 농도가 너무 낮으면 전하를 공급해주지 못하는 문제점도 있다. 보통의 경우 전하 이동도가 높은 것이 전기적 특성이 우수하다고 할 수 있다.

이때 H<sub>2</sub> 분위기에서는 80 [cc/min]에서 229 [cm<sup>2</sup>/V·s]로 가장 좋은 특성이 나타났고, O<sub>2</sub>분위기에서는 20 [cc/min]에서 591 [cm<sup>2</sup>/V·s]로 전하이동도는 높지만 전하 농도가 너무 낮아 가장 좋다고 볼 수 없고 그다음으로 전하이동도가 높은 40 [cc/min]에서도 캐리어농도가 낮기 때문에, 캐리어 농도가 높으면서 전하 이동도 또한 우수한 60[cc/min]에서 212 [cm<sup>2</sup>/V·s]로 가장 좋은 특성이라 할 수 있다.

면저항 분석까지 종합적으로 분석해보면 H<sub>2</sub> 분위기에서는 80 [cc/min]의 조건이 면저항, 전하이동도 모두 우수하여 가장 좋은 조건으로 꼽을 수 있고 O<sub>2</sub>의 경우 60 [cc/min]에서 면저항, 전하 이동도 모두 우수한 조건으로 선정할 수 있다.

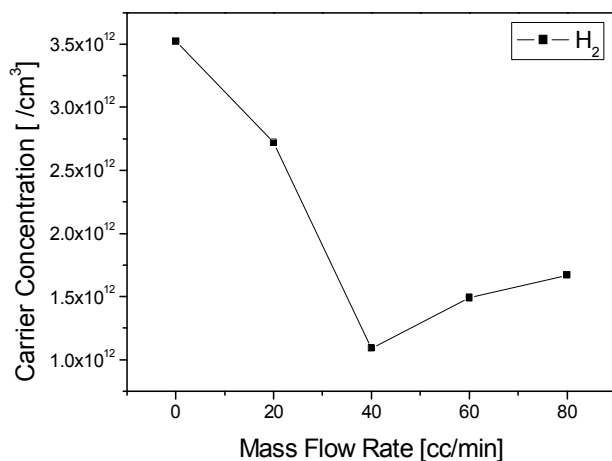


Fig. 2.15 Carrier Concentration of CdTe Thin Film after Annealing in H<sub>2</sub> Ambient

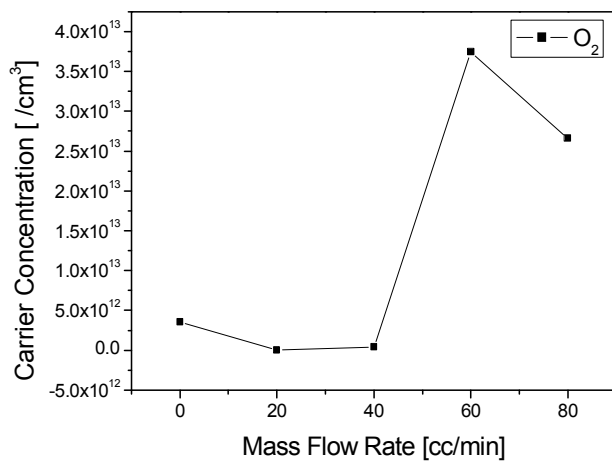


Fig. 2.16 Carrier Concentration of CdTe Thin Film after Annealing in O<sub>2</sub> Ambient



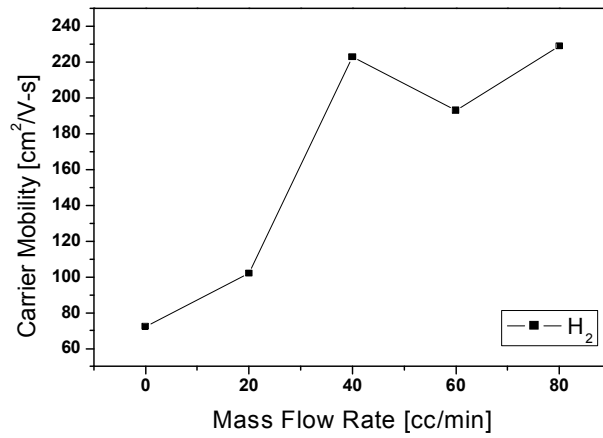


Fig. 2.17 Carrier Mobility of CdTe Thin Film after Annealing in H<sub>2</sub> Ambient

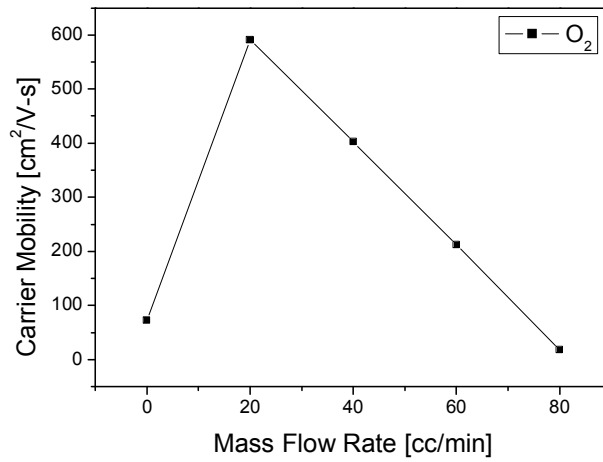


Fig. 2.18 Carrier Mobility of CdTe Thin Film after Annealing in O<sub>2</sub> Ambient

### C. XRD 분석

CdTe 박막의 결정성을 알아보기 위해 XRD 분석을 하였다. 조건은 가속전압과 전류값이 각각 40kV, 30mA,  $2\theta$ 는  $20^\circ \sim 60^\circ$ 로 하였다. 그림 2.19의  $O_2$ , Air,  $H_2$  분위기에서 어닐링 후 박막의 결정성을 나타내고 있으며 모든 조건에서 Cubic 구조와 Hexagonal 구조가 혼재되어있는 다결정으로 분석이 되었다. 이는 기존의 스퍼터를 이용한 CdTe 박막 증착에서 보여준 구조와 정확히 일치하는 결과이다.

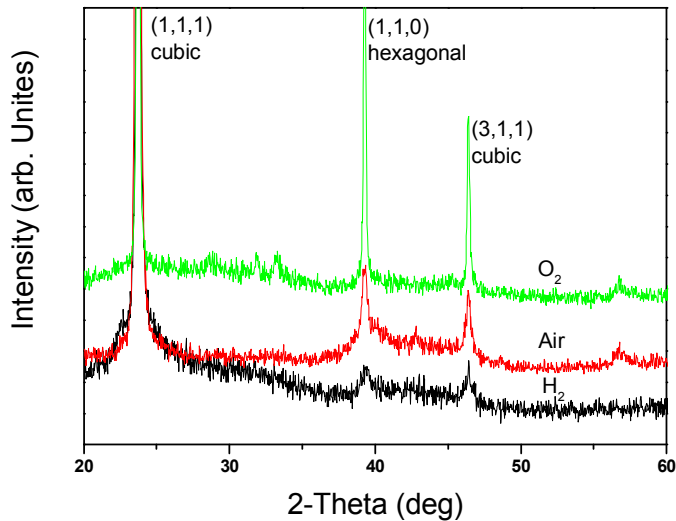


Fig. 2.19 XRD Analysis of CdTe Thin Film after Annealing Treatment with Various Ambient

## V. 결론

CdTe 태양전지는 Si계 태양전지에 비해 가격이 매우 저렴하지만 효율이 떨어진다는 단점이 있다. 즉, CdTe 박막은 약 90%이상의 높은 흡광도인데 반해 에너지 변환효율이 낮다는 걸 의미한다. 이러한 문제점은 CdTe 박막에 도핑을 해줌으로써 CdTe 박막의 전하 생성을 증가시켜줄 수 있다. 본 논문에서는 CdTe 박막에 어닐링을 적용하여 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>를 도핑 해줌으로써 CdTe 박막의 전하 생성을 증가시켜 에너지 변환효율을 향상시키고자 했다. 결국 어닐링 공정조건에 따른 CdTe 박막의 광학 및 전기적 특성에 미치는 영향에 대해 연구하고 또한 최적의 어닐링 조건을 찾고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. H<sub>2</sub> 어닐링이 CdTe 박막의 광학 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 어닐링 후 CdTe 박막의 흡광도를 측정하여 가시광영역대에서 평균을 도출하여 본 결과 어닐링 조건에 따라 20 [cc/min]에서 최고의 흡광도인 2.73(약 99.8%)로 나왔고, 60 [cc/min]에서 최저의 흡광도인 1.75(약 98.25%)로 나왔다. CdTe 태양전지의 흡광층인 CdTe층의 흡광도가 높다는 것은 빛을 많이 흡수하여 그만큼 전기에너지로 변환된다는 것을 의미하므로 광학 특성으로만 본다면 20 [cc/min]이 최적의 공정 조건임을 확인하였다.

2. O<sub>2</sub> 어닐링 후 CdTe 박막의 가시광영역대의 평균 흡광도를 보면 20 [cc/min]에서 3.01(약 99.9%)로 최고치를 보였고, 40 [cc/min]에서 1.76(약 98.3%)로 최저치를 보였다. 따라서 O<sub>2</sub> 어닐링 후 광학 특성에서는 20 [cc/min]이 최적의 공정조건임을 확인하였다.

3. H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Air 분위기 즉, 모든 조건에서의 CdTe 박막의 광학 특성을 고려하면 최고는 O<sub>2</sub> 분위기에서 20 [cc/min]의 조건으로 약 99.9%였고 최저는 H<sub>2</sub> 분위기에서 60 [cc/min]의 조건으로 약 98.25%였다. 그리고 Air 분위기를 포함한 모든 분위기에서 CdTe 박막의 이론적 흡광도인 90% 이상이 되어 모든 조건에서 좋은 흡광도를 보이고 있고 표준편차는 0.66으로 아주 작다는 결론을 도출하였다.

4. H<sub>2</sub> 분위기에서 CdTe 박막의 전기적 특성변화는 80 [cc/min]의 조건에서 면저항이 16.33 [ $\Omega$ /sq]로 Air 분위기에서의 면저항 24.56 [ $\Omega$ /sq]보다 감소하였고, 전하이동도의 경우도 80 [cc/min]의 조건에서 299 [ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ]로 Air 분위기에서의 전하이동도 72.2 [ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ]에 비해 상당히 많은 증가량을 보였다. 특히 이 경우는 분압이 증가하면 특성 또한 좋아지는 경향성이 나타났다. 면저항과 전하이동도를 고려한 전기적 특성으로 볼 때, H<sub>2</sub> 분위기에서는 80 [cc/min]에서 최적의 조건임을 확인하였다.

5. O<sub>2</sub> 분위기에서는 60 [cc/min]의 조건에서 면저항이 7.85 [ $\Omega$ /sq]로 Air 분위기에서의 면저항 24.56 [ $\Omega$ /sq]에 비해 감소하였고, 전하 농도를 고려한 전하이동도는 60 [cc/min]에서 212 [ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ]로 Air 분위기에서의 전하이동도 72.2 [ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ]에 비해 증가하였다. 면저항과 전하이동도를 고려한 전기적 특성으로 볼 때, O<sub>2</sub> 분위기에서 60 [cc/min]의 조건이 적합한 어닐링 조건임을 확인하였다.

6. 광학 및 전기적 특성을 종합적으로 고려하여 최적의 어닐링 조건을 분석해 보면 광학 특성인 흡광도는 전체적으로 편차도 심하지 않았고 더욱이 모두 아주 높은 흡광도가 나타나서 CdTe 태양전지의 효율 향상의 최적의 어닐링 조건을 선정하는데 전기적 특성에 비해 결정적 Factor라 하기 힘들다. 하지만 전기적 특성인 면저항, 전하이동도는 Air 분위기와 비교해 최대 4배 차이가 나는 것을 확인할 수 있었고 결과적으로 H<sub>2</sub> 분위기에서 80 [cc/min]의 조건과 O<sub>2</sub> 분위기에서 60 [cc/min]의 조건이 최적조건임을 분석할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 목표였던 CdTe 박막의 에너지 변환효율을 증대시킬 수 있는 어닐링 조건의 최적 공정 조건은 H<sub>2</sub> 분위기 80 [cc/min]과 O<sub>2</sub> 분위기 60 [cc/min]으로 확보할 수 있었다.

화합물 박막형 태양전지인 CdTe 태양전지의 흡광층인 CdTe 박막에 요구되는 특성인 전자와 정공의 이동도가 높아야 하며, 흡광도가 높아야 됨을 감안할 때 본 논문의 연구결과에 따르면 어닐링 공정으로 인하여 CdTe 박막의 캐리어 이동도는 증가하는 결과를 나타내었으며 어떠한 공정조건에서도 만족할 만한 흡광도를 나타남을 보였다. 이러한 결과를 감안하여 볼 때 CdTe 태양전지의 흡광층인 CdTe 박막에 어닐링을 적용하였을 경우 기존의 박막보다 광학 및 전기적 특성이 향상되어 소자 제작시 소자 효율 또한 향상되어지는 결과를 가져올 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] X. Wu, S. Asher, D. H. Levi, D. E. King, Y. Yan, T. A. Gessert, and P. Sheldon, *J. Appl. Phys.*, 89(2001) 4564.
- [2] 윤재호, 안병태, 김동환 “CdTe 박막 태양전지의 기술동향” 세라미스트, 제8권, 5호, pp. 47-52 (2005. 10)
- [3] Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, and Wilhelm Warta, “Solar Cell Efficiency Tables (Version 31),” *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 2008, Vol.16, pp.61.67.
- [4] A. L. Fahrenbruch and R. H. Bube, “Fundamentals of Solar Cells”, Academic Press, New York London (1983)
- [5] K. Durose and D. P. Halliday, *Journal of Crystal Growth* 197, 733 (1999)
- [6] Kenneth Zanio, *Cadmium Telluride, Semiconductors and Semimetal Series* Vol. 13, Academic Press, New York, (1978)
- [7] Osamu Ikki, RTS Corp., *The Photovoltaics industry, today and tomorrow, Japan* (2007)
- [8] D. Sreekantha Reddy, K. Narasimha Rao, K.R. Gunasekhar, N. Koteeswara Reddy, K. Siva Kumar and P. Sreedhara Reddy, “Annealing effect on structural and electrical properties of thermally evaporated Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S nanocrystalline films”, *Materials Research Bulletin*, Volume 43, Issue 12, 1 December 2008, Pages 3245-3251
- [9] 조영화 “나노태양전지” 심층정보분석보고서, (2003. 12)
- [10] K. Kuriyama, T. Katoh “Optical band gap of filled tetrahedral semiconductor LiZnP”, *American Physical Society*, Vol37, No12, pp. 7140-7142 (1998. 4)
- [11] M. H. Lee et al., “Pyroelectric Sensors”, *Journal of Electroceramics*, pp, 229-242(1998)
- [12] D. Czekaj, A. Lisinska-Czekaj, M.F.Kuprianov and Yu. N. Zakharov “Pyroelectric Properties of the Multi-component Ferroelectric Ceramic Materials”, *Journal of the European Ceramic Society* 19, pp 1149-1152

- (1999)
- [13] T. R. MacGuire, R. J. Gambino, and R. C. O'Handley "The hall Effect and its Application", pp. 137 (Plenum, NewYork, 1980)
  - [14] A. Fert and A. Hamzic "The hall Effect and its Application", pp. 77 (Plenum, NewYork, 1980)
  - [15] Kyung-Hoon Yoon, Donghwan Kim, National survey report of PV power applications in Korea, May (2008)
  - [16] 김동화 "센서의 기초 물성론"(2002. 5)
  - [17] E.R. Shaaban, N. Afify and A. El-Tahera, "Effect of film thickness on microstructure parameters and optical constants of CdTe thin films", Journal of Alloys and Compounds, Volume 482, Issues 1-2, 12 August 2009, Pages 400-404
  - [18] 신성호 "스퍼터 기술의 연구동향"전기전자재료학회, 제11권, 11호, pp. 165-173 (1998)
  - [19] 정재인, 정우철, 임태균, 전중환 "고성능 마그네트론 스퍼터링 소스의 제작 및 특성 평가"RIST, 제1권, 17호, pp. 20-28 (2003)

## 감사의 글

2년이라는 세월은 짧지만 저에게 있어서 2년의 석사학위 과정은 많은 배움과 앞으로의 사회생활의 첫걸음이 되었고, 세상을 보는 안목을 키우는데 많은 도움이 되었습니다.

그 동안 부족했던 저를 옆에서 지켜보고 지도해 주신 많은 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

먼저 이 논문을 쓰기까지 많은 지도와 관심을 아끼지 않으신 지도교수님이신 이우선 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 논문심사를 위해 수고해 주신 오금곤, 백형래 교수님 및 전기공학과 모든 교수님들께 감사드립니다.

이 논문을 쓰는데 조그만 부분까지 조언을 해주신 김남훈 교수님께 감사를 드리며, 실험실 생활과 공부에 많은 조언을 해주신 최권우 선배님, 고필주 선배님, 최연옥 선배님, 박주선 선배님께도 감사드리며, 항상 동고동락한 동기들인 류승한과 신승호에게도 고맙다는 말을 전합니다. 또 대학원 생활하는 동안 격려와 도움을 많이 준 조용선 선배님을 비롯한 많은 대학원 선후배들에게도 감사드립니다.

마지막으로 언제나 저의 든든한 산이 되어주신 저의 부모님께 사랑한다는 말을 전합니다. 그리고 항상 뒤에서 격려를 해준 형, 누나, 매형, 형수에게도 감사하다는 말을 전합니다. 언제나 옆에서 힘이 되어주신 모든 분들께 감사드리며 항상 건강하고 행복하시길 진심으로 빌겠습니다.

2011년 2월

임채현 올림

## 저작물 이용 허락서

학 과	전기공학과	학 번	20097065	과 정	석사
성 명	한글 : 임 채 현    한문 : 林 采 炫    영문 : Lim Chae-Hyun				
주 소	광주광역시 남구 월산2동 193-1				
연락처	010-6413-9753	E-mail	creep1ch@naver.com		
논문제목	한글 : CdTe 태양전지 박막의 어닐링 조건 최적화				
	영문 : Annealing Condition Optimization of Thin Film for CdTe Solar Cells				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 -  
조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다            음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ○ )    반대(    )

2011년 2월

저작자: 임 채 현 (인)

**조선대학교 총장 귀하**