



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

2010年

2010年 2月

2月

碩士學位 論文

碩士學位論文

스퍼터링 공정조건에 따른 CdTe 박막의 표면 균일도 특성

스퍼터링
공정
조건에
따른
CdTe
박막의
표면
균일도
특성
朴柱善

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

朴 柱 善

스퍼터링 공정조건에 따른 CdTe 박막의 표면 균일도 특성

Surface-uniformity Property of
CdTe Thin Film by Sputtering Process Conditions

2010年 2月

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

朴 柱 善

스퍼터링 공정조건에 따른 CdTe 박막의 표면 균일도 특성

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.

2009年 10月

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

朴 柱 善

朴柱善의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 _____ 印

委員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

委員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

2009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
B. Sputter의 원리	7
C. CdTe 박막의 광특성과 전기 특성	9
III. 실험 및 측정	12
A. 실험 준비	12
1. Sputter의 신뢰성	12
2. CdTe 박막의 제작	18
B. CdTe 박막의 특성 측정	19
1. Ellipsometry를 이용한 두께 및 균일도 측정	19
2. AFM을 이용한 박막의 표면 특성 측정	21
3. 흡광도를 이용한 박막의 광특성 측정	22
4. Hall Effect를 이용한 박막의 전기 특성 측정	23
IV. 결과 및 고찰	24
A. CdTe 박막의 두께 및 표면 균일도 분석	24
B. CdTe 박막의 표면 특성 분석 및 공정조건 선별	28
C. CdTe 박막의 광특성 분석	33
D. CdTe 박막의 전기 특성 분석	35
V. 결 론	37
참고문헌	39

List of Tables

Table. 1 Sputtering Process Condition I	13
Table. 2 Sputtering Process Condition II	18
Table. 3 Process Parameters for Comparison	32

List of Figures

Fig. 2.1 Fundamentals of Semiconductor	3
Fig. 2.2 Structure of CdTe Thin Film Solar Cell	4
Fig. 2.3 Structure of RF-Magnetron Sputtering Method	8
Fig. 2.4 Sputter Equipment	12
Fig. 2.5 FE-SEM Equipment	14
Fig. 2.6 XRD Equipment	14
Fig. 2.7 FE-SEM Image of CdTe Thin Film	15
Fig. 2.8 EDS Analysis of CdTe Thin Film	16
Fig. 2.9 XRD Analysis of CdTe Thin Film	17
Fig. 2.10 Ellipsometry Equipment	19
Fig. 2.11 Measured Range by Ellipsometry	20
Fig. 2.12 AFM Equipment	21
Fig. 2.13 HR UV-VIS-NIR Spectrophotometer Equipment	22
Fig. 2.14 Hall Effect Measurement System	23

Fig. 2.15 Average Thickness of CdTe Thin Film	25
Fig. 2.16 Uniformity of Thickness of CdTe Thin Film	26
Fig. 2.17 Normalized Uniformity of CdTe Thin Film Thickness	27
Fig. 2.18 AFM 3D Image of CdTe Thin Film as Vacuum Pressure	29
Fig. 2.19 AFM 3D Image of CdTe Thin Film as RF-Power	30
Fig. 2.20 Peak to Valley and RMS Roughness	31
Fig. 2.21 Average Absorbance in Visible Ray	34
Fig. 2.22 Hall Mobility and Ohm/sq	36

ABSTRACT

Surface-uniformity Property of CdTe Thin Film by Sputtering Process Conditions

Park, Ju-Sun

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

Dept. of Electrical Engineering.

Graduate School of Chosun University

CdTe thin-film solar cell technology is theoretically well known that it can improve the conversion efficiency and production costs compared to the conventional silicon solar cell technology, due to its optical band gap energy (about 1.4eV) for solar energy absorption, high light absorption capability and low cost requirements for producing solar cells. For low efficiency of the conventional photovoltaic cells with some problems in the fabrication at large-area, CdTe has been widely researched as the suitable material for the commercialization.

In this study, the sputtering method, which can improve the cost-efficiency and mass production of solar cells, was employed to deposit the CdTe thin film on the substrates with the various processing conditions such as vacuum pressure and RF-power. The non-uniformity and surface morphology were analyzed using Ellipsometry and atomic force microscope (AFM) in surface of CdTe thin-films deposited with the various processing conditions. As compare

to non-uniformity and surface-morphology in these processes conditions, it was divided into conditions for good result processes and bad one. Considering each average rates of deposition, these selected processes conditions were deposited again and made a comparative study on optical and electrical characteristics. To compare to optical characteristics, we measured absorbance of CdTe thin films and it is measured Hall Effect to compare for electrical characteristics.

Through the comparison from these results by studying the efficiency influenced by the uniformity and surface characteristics of CdTe thin film on the electrical and optical properties of CdTe thin-film solar cell, it is to find the relationship between the surface-uniformity and the photovoltaic properties of CdTe thin-film solar cell as well as the optimized process conditions for application of CdTe solar cell's fabrication of large area using sputtering.

I. 서론

태양전지는 1958년 벵가드, 익스플로러, 스푸트니크 등 위성에 장착되면서 항공 우주 및 위성통신의 발달과 함께 본격적인 연구가 시작되었다. 1990년대 초 대두되었던 이산화탄소에 의한 온실효과의 심각성과 1997년 일본 교토에서 지구 온난화 방지를 위한 이산화탄소 발생량의 규제를 위한 국제협정등은 그린 에너지의 필요성과 함께 태양전지의 실용화를 서두르는 계기가 되었다.^[1]

그 후 태양전지는 효율 향상과 대면적화, 대량생산화 되면서 생산 단가가 지속적으로 낮아져 산업화에 성공하였다. 최근까지도 태양전지 산업의 90%를 실리콘 태양전지가 차지하고 있지만, 2000년 이후 실리콘 태양전지의 효율이 한계치에 도달하고 갑작스러운 수요 증가로 실리콘 원재료 및 실리콘 기관 수급문제가 발생하였다. 따라서 기존 태양전지의 대부분을 차지하고 있는 벌크형(Bulk) 실리콘 태양전지와 박막형 실리콘 태양전지는 제조 단가가 비싸고 제조 공정 또한 고난도, 고가의 장비로 인해 매우 복잡하기 때문에 이를 대체하기 위한 연구로 화합물(CdTe, CIGS, GaAs 등), 유기물 등을 이용한 태양전지 연구가 활발히 진행되고 있다.

그 중에서도 CdTe 박막 태양전지는 II-VI족 화합물을 이용한 태양전지로서 경제적으로 기존의 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 대안으로 각광받고 있다. CdTe 박막은 높은 광흡수계수로 인해 얇은 박막으로도 가시광 영역에서의 빛을 90% 이상 흡수할 수 있으므로 제조비용을 낮출 수 있는 장점이 있으며, 박막의 증착 방법도 쉽게 여러 가지 방법으로 할 수 있기 때문에 제조 공정을 간단히 할 수 있다. 또한 CdTe 박막의 밴드갭 에너지는 약 1.45 eV로 고효율 박막형 태양전지 제작에 가장 적합한 물질로 태양광 스펙트럼 정합관계에 의해 이론적으로 증명되었다. CdTe 박막의 junction partner로는 격자 불일치가 매우 적은 CdS를 적용하여 n -CdS/ p -CdTe 이중 접합 구조를 구성한다.^[2,3]

CdTe 박막 태양 전지 효율을 극대화하기 위한 연구들로는 낮은 전기비저항을 갖는 후면전극 개발, CdTe/CdS 계면 특성의 최적화, 높은 광투과도와 낮은 전기비저항을 갖는 투명전극 개발 등 여러 가지가 있지만, 가장 중요한 것은 CdTe 박막을 증착하는 것이다. 일반적으로 결정성과 전하 이동도가 우수한 CdTe를 1~6 μm

정도의 두께로 증착하는데 그 증착법 또한 매우 다양하다. 근접승화법(CSS), chemical spraying, 전착법(electrodeposition), screen printing, sputtering법 등이 이용되고 있다. 이러한 방법들로 증착된 CdTe 박막 태양 전지는 10 ~ 16%의 효율을 보이고 있으며, 현재 세계 최고 효율은 근접승화법을 이용하여 만든 것으로 와 16.4%가 보고되었다. 하지만 아직까지 많이 실용화가 되지 못한 이유는 실험실 규모의 소면적 CdTe 박막 태양전지에서는 약 16% 정도의 변환 효율을 보이지만, 상용화에 필요한 대면적 CdTe 박막 태양전지로 제작시 약 10% 정도의 효율밖에 확보하지 못했기 때문이다. 따라서 세계 각국의 산업체들과 연구소에서는 여러 증착법들을 적용하여 CdTe 박막 태양 전지의 대면적화시 발생하는 효율의 저하를 줄이고자 노력하고 있다.^[4-6]

본 논문에서는 sputtering법을 통해 CdTe 박막을 증착하고 박막 표면 균일도를 측정 한 후, 박막 표면 두께의 균일도가 CdTe 박막의 광특성 및 전기적 특성에 미치는 영향을 검토하여 sputtering법을 이용한 CdTe 박막 태양전지의 대면적화에 적용할 수 있는 최적의 CdTe 박막 증착 공정 조건을 찾고자 한다.

II. 이론적 배경

A. CdTe 박막 태양전지

일반적으로 태양전지는 대면적의 $p-n$ 접합 다이오드로 이루어져 있다. 외부에서 빛이 태양전지에 입사되었을 때 p 형 반도체의 전도대 전자는 입사된 광에너지에 의해 가전자대로 여기된다. 한편 여기된 전자는 p 형 반도체 내부에 한 개의 전자-정공쌍을 생성하게 된다. 이렇게 발생된 전자-정공쌍 중 전자는 $p-n$ 접합 사이에 존재하는 전기장에 의해 n 형 반도체로 넘어가게 되어 외부에 전류를 공급하게 된다. 이 때 p 형 반도체와 n 형 반도체를 서로 결합시켜 접합을 만들고, 전기장은 n 형 반도체에 존재하는 과잉전자는 p 형 반도체로, p 형 반도체에 존재하는 과잉 정공은 n 형 반도체로 확산하게 되며, 확산된 전자-정공의 빈자리는 양이온과 음이온을 띄게 된다. 이 때 소수캐리어의 확산에 의해 재료 내부의 전하 평형 상태가 깨짐으로써 전압차가 생기고, $p-n$ 접합 다이오드의 양극단에 발생된 기전력을 외부 회로에 연결하면 태양전지로서 작용하게 된다.^[7] 그림 2.1은 태양전지에 이용되는 반도체의 기본적인 그림이다.

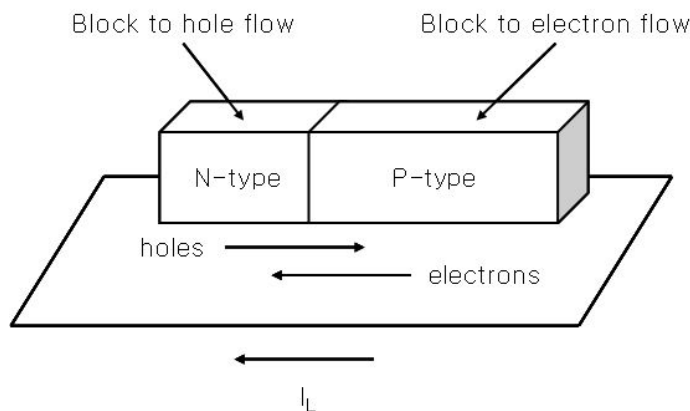


Fig. 2.1 Fundamentals of Semiconductor

이러한 태양전지의 원리를 응용한 것이 CdTe 박막 태양전지이다. CdTe 태양전지의 기본구조는 그림 2.2에서 보는 것과 같이 투명기판(유리, 고분자 필름) 위에 전자를 수집하는 투명전극이 하단부에 코팅되어 있으며 그 위에는 *n*-type CdS(완충층), *p*-type CdTe(광흡수층), 후면전극(ZnTe:Cu, Cu_xTe, Cu_xS등) 순서로 형성되어 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.^[8]

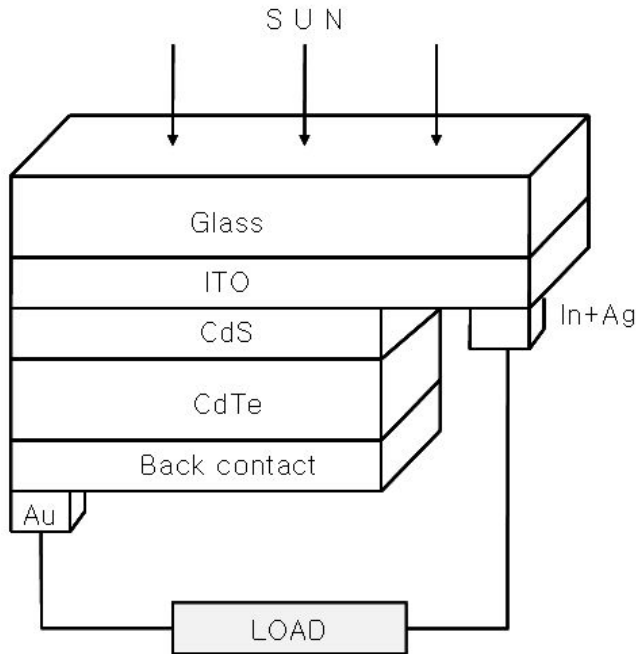


Fig. 2.2 Structure of CdTe Thin Film Solar Cell

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 고분

자 필름은 대부분 높은 열팽창 계수, 가시광 영역에서의 낮은 광투과율, 낮은 유리 전이온도 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 86% 이상의 높은 광투과율, 낮은 표면 평활도(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), CdSnO₄ 등의 대체 전극 개발에 노력하고 있다. 특히 유연기판을 사용할 경우 낮은 공정온도에 대응 가능한 소재 발굴이 시급한 실정이다. 일반적으로 투명전극은 Sputtering, Ion plating, Ion beam evaporator, MOCVD(metal organic chemical vapor deposition) 등의 방법으로 제작한다. 이러한 TCO는 photon trapping 효과를 얻기 위하여 인공적인 방법을 사용하여 표면을 규칙적으로 거칠게 제작하기도 하지만 최근에는 표면도가 우수한 TCO 박막이 사용되는 추세이다.^[9]

TCO 전면전극과 CdTe 광흡수층 사이에 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 광투과층으로써 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, Zn₂SnO₄ 등과 같은 대체 윈도우 층을 개발하기 위한 노력이 시도되고 있다. CdS 완충층을 코팅하는 방법에는 sputtering, chemical vapor deposition(CVD), close-spaced sublimation(CSS), spray pyrolysis, screen printing 등의 방법이 있으나 South Florida 대학에서 개발한 CBD(chemical bath deposition)법이 가장 보편적으로 사

용된다.^[10]

광흡수층인 CdTe(E_g 1.4eV)는 $105\Omega\text{cm}$ 정도의 매우 낮은 비저항 값을 가지며 vacancy와 interstitial 및 이들의 complex 등에 의한 결함 발생으로 전기적, 구조적 특성에 변화를 보인다. 또한 일반 반도체 특성과는 달리 dopant 첨가로 전기전도도 제어에 어려움이 있으며 In 등의 첨가와 열처리를 통한 n -type으로 쉽게 변화하는 것으로 알려져 있다. 특히 다결정 박막 제작 시 높은 에너지 장벽이 형성되어 p -type 도핑이 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 CdTe 박막태양전지 제작은 p - n 동종접합이 아닌 n -type 반도체와 일반적으로 이종접합 구조로 제작된다.^[11]

현재 양산되고 있는 CdTe 태양전지의 광흡수층은 대부분 근접승화법(CSS), vapor transport deposition(VTD), MOCVD, sputtering 법을 이용하고 있으며 일부 chemical spraying, screen printing, 전착법 등이 연구 개발되고 있다. 하지만 각 증착법 마다 장, 단점이 있기 때문에 더 많은 실증 연구가 필요한 현실이다. 그 중에서도 sputtering법의 장점은 넓은 면적에서 균일한 박막두께 증착 가능하며 박막 두께의 조절이 비교적 용이하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 이론적 고찰을 바탕으로 Sputtering법을 적용하여 CdTe 박막의 우수한 태양전지 특성을 나타내는 최적의 공정 조건을 찾는 연구가 시급히 필요하다.

B. Sputter의 원리

sputtering법은 불활성 가스(inert gas)를 진공분위기로 이루어진 chamber내로 주입하여 플라즈마를 생성시킨 후 성막하고자 하는 target물질과 충돌시켜 이를 기판(substrate)에 coating시키는 방법이다. 일반적으로 불활성 가스로 Ar을 사용한다. 전형적인 sputter장치의 시스템은 target쪽을 음극으로 하고 기판쪽을 양극로 한다. 전원을 인가하면 주입된 sputtering 가스(Ar)는 음극쪽에서 방출된 전자와 충돌하여 여기되어 Ar^+ 로 되고 이 여기된 가스는 음극인 target쪽으로 끌려서 target과 충돌한다. 이때 여기된 가스 하나 하나는 $h\nu$ 만큼의 에너지를 가지고 있으며 충돌시 에너지는 target쪽으로 전이 된다. 이때 target을 이루고 있는 원소의 결합력을 고에너지 입자의 일함수가 극복할 수 있을 때 target의 원자와 분자가 물리적으로 분리된다. 물리적으로 분리된 원자와 분자는 운동에너지를 가지고 이동하며, target과 기판과의 거리가 자유행정거리 이하일 때 성막된다. 따라서 sputtering시 기판과 target과의 거리는 중요한 인자가 된다. 여기서 인가된 전원이 직류일 경우를 직류 스퍼터링(DC sputtering methode)법이라 하며 일반적으로 전도체의 sputtering에 사용된다. 절연체와 같은 부도체는 교류 전원을 사용하여 박막을 제조한다. 이때 교류전원은 13.56 MHz의 주파수를 가지며, 교류 전원을 인가전원으로 사용하는 스퍼터링 법을 교류스퍼터링(RF sputterig)법이라 한다. RF sputtering법은 다른 디지털 회로에 노이즈의 발생 원인이 될 수 있으므로 시스템적으로 노이즈 필터나 절연체에 의한 차폐와 접지가 중요하다.^[12]

마그네트론 스퍼터링(magnetron sputtering)이란 발생된 플라즈마를 영구자석에서 발생하는 자속에 의해 집진하여 기판에 성막시키는 방법이다. 이러한 집진이 이루어질 경우 발생한 플라즈마는 균일하게 되어 결과적으로 균일한 박막을 제조할 수 있다. 영구자석은 NbFeB계가 주로 사용되며 과거에는 링형태를 여러개 합쳐서 제조하였지만 현재는 평판형태로 제작한다. 이 때 magnetron은 target밑에 놓으며 인가된 전원에 따라 RF·DC magnetron sputtering이라 한다.^[13]

이러한 sputtering법의 장점은 넓은 면적에서 균일한 박막두께 증착 가능하며 박막 두께의 조절이 비교적 용이하고 접착력이 우수하며 다른 증착법에 비하여 보

다 정확한 합금 성분 조절 가능하다는 것이다. 그림 2.3은 이러한 sputtering법의 원리를 나타낸 개략도이다.

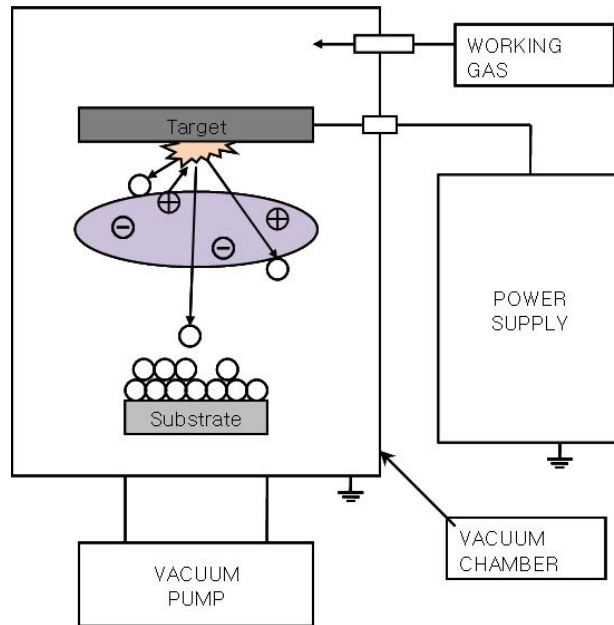


Fig. 2.3 Structure of RF-Magnetron Sputtering Method

C. CdTe 박막의 광특성과 전기 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 자연로그를 취한 값으로써 지수값을 의미한다. 이러한 흡광도가 CdTe 박막 태양전지에 미치는 영향은 광전효과로 설명할 수 있다.^[14-16]

광전효과는 빛과 기전력과의 관계를 결정짓는 것으로서 반도체를 이용한 태양전지의 핵심적인 이론이다. 광은 입자성과 파동성을 갖는 물질로 1923년 Einstein에 의해 판명되었는데 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 에너지를 갖는다. 또 광양자를 전자에 충돌시키면 광양자 중에 입사선과 같은 파장의 성분 이외에 약간 긴 파장이 발생되는데 광자 한 개가 갖는 에너지 E와 진동수 ν 및 파장 λ 와의 관계는 다음 식이 성립한다.

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

윗 식의 의미는 흡수되는 태양광의 양이 많으면 태양광 반도체소자가 활용할 수 에너지가 늘어난다는 것을 의미하며, 이는 곧 CdTe 박막의 흡광도가 높을수록 태양전지의 효율이 좋아짐을 뜻한다.^[17-18]

또한 전기특성 비교를 위해 측정된 Hall effect란 자기장에 놓여진 고체에 자기장과 수직인 전류가 흐를 때, 그 고체 내부에 횡단 방향의 전기장이 생성되는 현상을 이용한 것으로써, 1879년 미국의 물리학자 Edwin H. Hall이 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 반대측에는 반대 전하가 남게 되고 따라서 전위차를 발생시킨다. 적절한 장비를 이용하면 이 전위차를 양 또는 음의 전압으로 측정할 수 있다. 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 비교할 수 있다.^[19-20]

먼저 전하 이동도의 영향은 반도체의 광도전효과로써 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 진성 광도전효과와 금지대 안의 불순물 레벨 준위에 존재하는 전자가 전도대로 이동하여 이루어지는 외인성 광도전효과가 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 금지대를 넘어 전도대로 이동시켜 전자, 정공의 농도가 변한다. 이때 빛을 조사하지 않았을 때 도체의 도전율 σ_0 는 전하를 q , 전자, 정공의 이동도를 각각 μ_n , μ_p 이들의 밀도를 n_0 , p_0 라 하면 다음과 같은 식이 유도된다.^[21]

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

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.

III. 실험 및 측정

A. 실험 준비

1. Sputter의 신뢰성

Sputtering법에 CdTe 박막 증착을 적용시키기 위해서는 보유한 Sputter의 신뢰성을 확인할 필요가 있었다. CdTe 박막 태양전지는 CdTe 박막의 특성이 가장 큰 변수이기 때문에 보유한 sputter로 증착한 박막이 CdTe 박막 태양전지에 사용하기에 적합한지를 판단하기 위한 선행실험이다.

이를 위해 Vacuum Science사의 sputter를 이용하여 기존 참고 논문에서 주로 증착하였던 증착 공정을 적용하여 CdTe 박막을 증착하였다. 이때 target은 미국 LTS Chemical Inc. 사의 순도 99.999%, 직경 2인치 크기의 CdTe target을 사용하였다. 그림 2.4와 표 1에 sputter의 사진과 공정 조건을 나타내었다.



Fig. 2.4 Sputter Equipment

Table. 1 Sputtering Process Condition

Sputtering Process Condition	
Substrate	2 X 2 Silicon Wafer
Pre-sputtering Time	10 min
RF-Power	50 watts
Ar-Gas flow rate	20 sccm
Working pressure	7.5×10^{-3} torr
Sputtering time	35 min
Substrate temperature	20 °C

상기 공정조건으로 확보한 CdTe 박막은 박막 표면의 형상학적 특성을 확인하기 위해 Hitachi사의 S-4800 FE-SEM(field emission-scanning electron microscopy)을 통하여 이미지 촬영을 하였다. 그리고 FE-SEM에 부착되어 있는 EDS(energy dispersive spectroscopy, Horiba)를 통하여 조성비 분석을 하였으며 CdTe 박막의 결정성을 확인하기 위하여 XRD(X-ray diffractometer) 분석을 실시하였다. 그림 2.5와 2.6은 이때 사용된 FE-SEM과 XRD의 장비 사진을 나타낸 것이다.



Fig. 2.5 FE-SEM Equipment



Fig. 2.6 XRD Equipment

신뢰성 확보를 위한 선행 실험 결과 데이터를 분석해보면, 첫 번째로 박막 표면의 형상학적 특성은 그림 2.7을 통해서도 알 수 있듯이 CdTe 태양전지의 박막으로 충분히 활용할 수 있을 정도의 박막의 두께가 확보되고, 결정 상태가 명확함을 확인할 수 있었다. 두 번째로 Cd와 Te의 조성비는 EDS 분석 결과인 그림 2.8을 통

해 약간의 오차는 있지만 50:50임을 확인함으로써 증착 공정시 한 가지 물질로 치우치지 않아 CdTe 화합물이 안정적으로 증착이 됨을 확인할 수 있었다. 세 번째로 그림 2.9를 통해 알 수 있듯이 제작한 CdTe 박막은 cubic 구조와 hexagonal 구조가 혼재되어 있는 다결정으로 분석이 되었다. 이는 기존의 참고 논문에서 다루었던 sputter를 이용한 CdTe 박막 증착에서 보여준 구조와 정확히 일치하는 결과이며 각각의 피크점들이 선명하게 나온 것은 그만큼 결정성이 우수함을 의미한다.

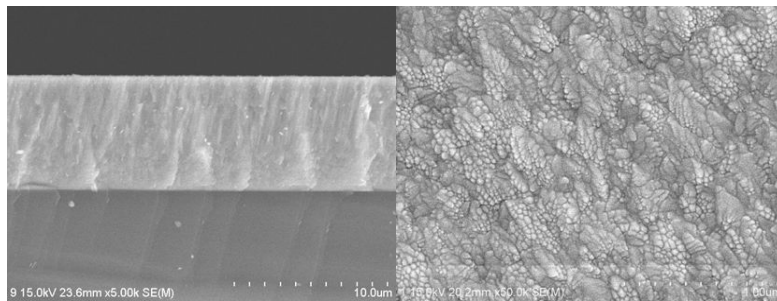


Fig. 2.7 FE-SEM Image of CdTe Thin Film

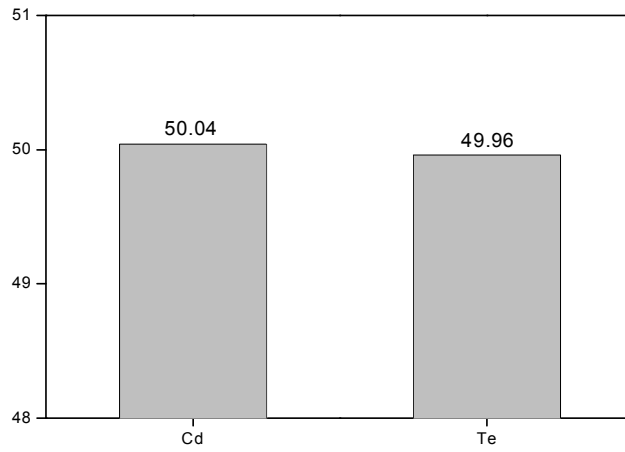
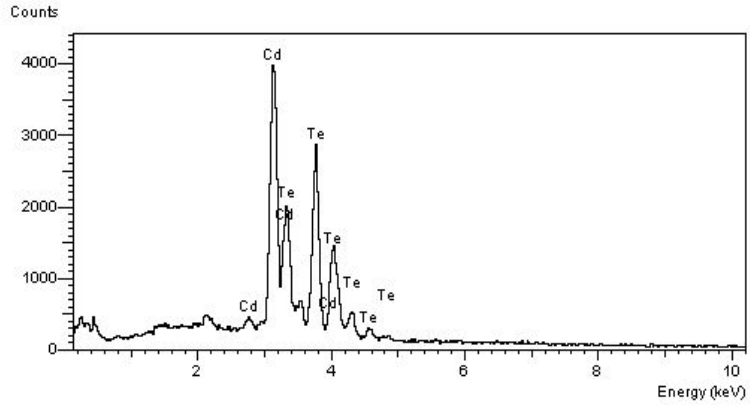


Fig. 2.8 EDS Analysis of CdTe Thin Film

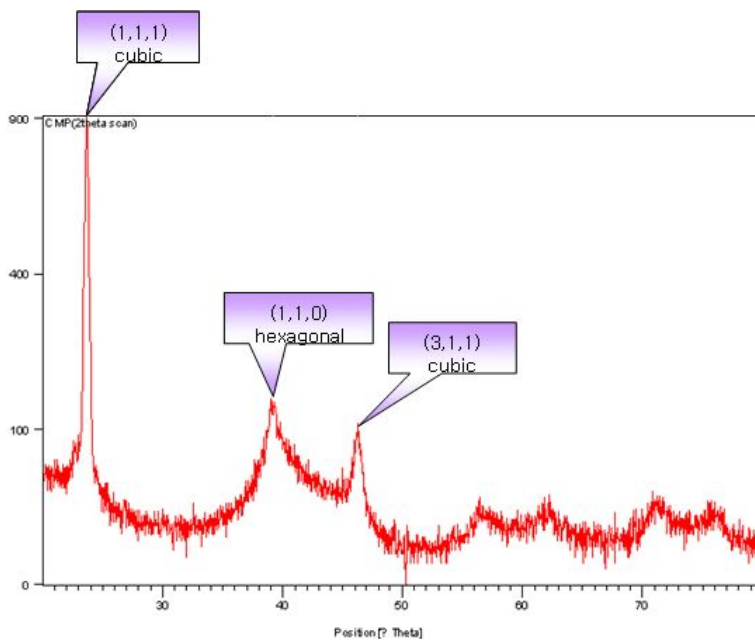


Fig. 2.9 XRD Analysis of CdTe Thin Film

2. CdTe 박막의 제작

Sputtering 공정조건에 따른 CdTe 박막의 균일도가 박막특성에 미치는 영향을 실험하기 위해 sputtering 공정조건을 진공(vacuum pressure)과 출력(RF-power)에 따라 10가지 조건으로 분류하여 CdTe 박막을 제작하였다. 이렇게 제작된 시료들은 뒷절에서 CdTe 박막의 표면 균일도 및 표면 특성에 따라 다시 우수한 공정조건군과 우수하지 못한 공정조건군으로 재선별하여 실험을 진행하게 된다. 표 2는 고정된 공통의 조건과 진공도 및 Rf-출력의 변화를 제시하였다. CdTe 태양전지는 유리기판과 같은 투명한 기판을 사용하지만 CdTe 박막의 균일도 측정을 위한 실험에서 실리콘 웨이퍼 기판을 사용한 이유는 균일도 측정시 기판 영향을 배제하고자 유리기판 보다 표면 평활도가 우수한 기판을 선별했기 때문이다.

Table. 2 Sputtering Process Condition

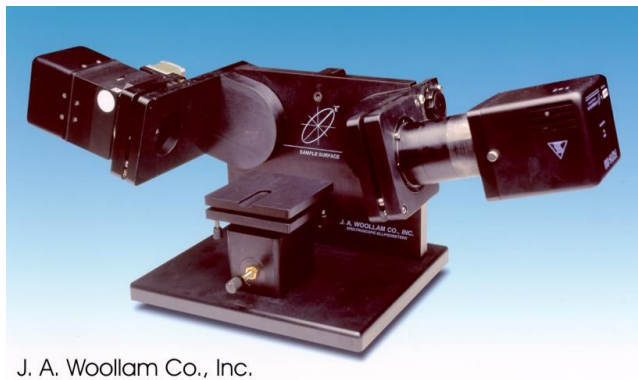
Fixed Condition						
Substrate	2X2 Silicon & Glass					
Pre-Sputtering time	10 [min]					
Ar-Gas flow rate	20 [sccm]					
Sputtering time	8 [min]					
Substrate temperature	20 [°C]					
Variation of Working Pressure at 35[W]						
	1.0×10^{-3} [torr]					
	7.5×10^{-3} [torr]					
	1.0×10^{-2} [torr]					
Variation of RF-Power at 7.5×10^{-3} [torr]						
20 [W]	25 [W]	30 [W]	35 [W]	40 [W]	45 [W]	50 [W]

B. CdTe 박막의 특성 측정

1. Ellipsometry를 이용한 두께 및 균일도 측정

각 공정 조건들의 CdTe 박막의 두께를 측정하기 위해서 J.A Woollam 사의 엘립소미터(M-2000V) 장비를 사용하였다. 엘립소미터는 레이저빔을 사용하며 스펙트로미터와는 다른 원리로 측정한다. 레이저빔은 편광(polarization)되어 있는데, 편광된 빔은 박막이 입혀진 웨이퍼에 특정 각도로 입사되고, 그 빔은 산화막을 통과하여 실리콘과 산화막의 경계에서 반사된다. 박막에 빛이 들어오고 있을 때 빔의 면이 회전하면, 이때 빔이 회전하는 두께와 굴절률을 계산하여 측정하는 것으로 그림 2.10에는 사진을 첨부하였다.

하지만 시료 전체의 평균 균일도를 측정하기에 엘립소미터의 박막 표면의 측정 범위가 협소하고 전체적인 평균값을 구할 수 없기 때문에 그림 2.11과 같은 바둑판 배열 방식으로 시료를 측정함으로써 CdTe 박막 표면 평균 두께를 구하고, 그 평균 두께에 따른 표준 편차 값을 구함으로써 박막의 표면 균일도를 구하였다. 즉 6번을 측정 하여 각 부분별 평균값을 이용하여 구한 표준 편차 값이 작을수록 표면 균일도가 우수함을 뜻한다.



J. A. Woollam Co., Inc.

Fig. 2.10 Ellipsometry Equipment

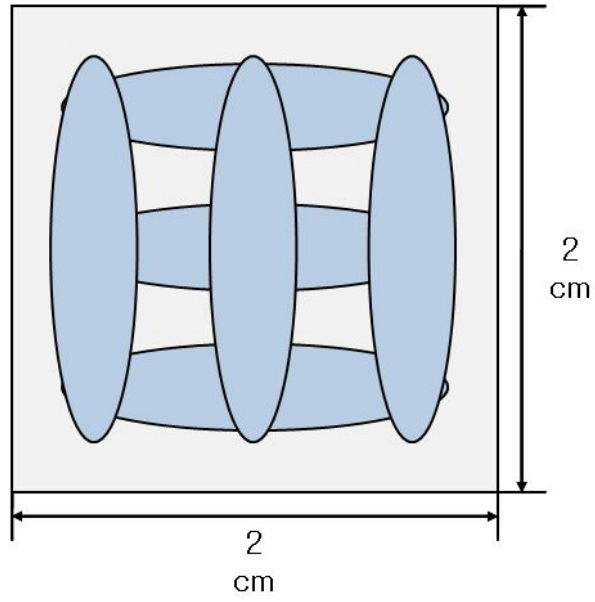


Fig. 2.11 Measured Range by Ellipsometry

2. AFM을 이용한 박막의 표면 특성 측정

박막의 표면 특성을 측정하기 위해서는 AFM(atomic force microscopy)을 사용하여 박막 표면의 RMS roughness와 peak-to-valley 값을 측정하였다. 여기서 RMS Roughness란 박막 표면의 거친 정도를 평균 수치로 나타낸 값으로 작을수록 표면 거칠기가 우수함을 나타낸다. 또한 peak-to-valley는 박막 표면에서 최고점과 최저점간의 차를 나타낸 값으로 역시 작을수록 박막의 표면 상태가 양호함을 의미한다. 그림 2.12에서는 AFM 장비 이미지를 나타내었다.



Fig. 2.12 AFM Equipment

3. 흡광도를 이용한 박막의 광특성 측정

CdTe 박막의 흡광도를 측정하기 위해서 HR-UV-VIS-NIR spectro photometer 를 사용하였으며, 측정 파장의 범위는 CdTe 박막의 주된 광흡수 영역인 가시광 영역으로 국한하였다. HR-UV-VIS-NIR spectro photometer는 시료의 반사도 및 투과도를 측정하는 장비로써 측정 파장의 정확도는 가시광 영역에서 $\pm 0.5\text{nm}$ 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 2.13에서는 HR-UV-VIS-NIR spectro photometer의 사진을 첨부하였다.

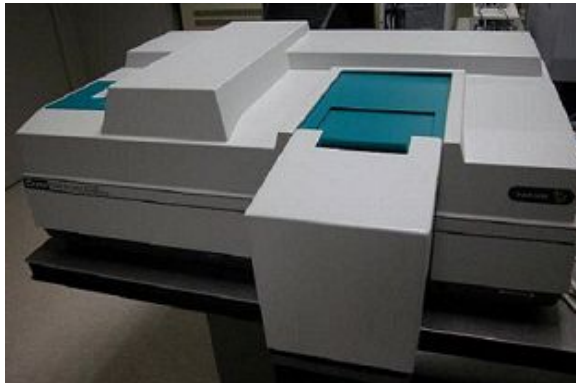


Fig. 2.13 HR UV-VIS-NIR Spectrophotometer Equipment

4. Hall Effect를 이용한 박막의 전기 특성 측정

CdTe 박막의 전기특성 비교를 위하여 Hall effect measurement system를 사용하였다. Hall effect measurement system은 박막의 비저항, 표면 저항, 전하 농도, 전하 형태, 전하의 이동도를 측정할 수 있는 장비로써 측정 온도는 상온이며, 측정 방식은 Van de Pauw, Hall bar로 할 수 있다. 본 논문에서는 CdTe 박막의 표면 저항값과 전하 이동도를 전기특성 비교 분석 데이터로 사용하였다.



Fig. 2.14 Hall Effect Measurement System

IV. 결과 및 고찰

A. CdTe 박막의 두께 및 균일도 분석

앞선 CdTe 박막의 제작 과정에서 제시 하였던 공정조건들로 박막을 증착한 후 엘립소미터를 이용하여 바둑판 배열 식으로 6번 측정된 시료 표면의 박막의 평균 두께를 구한 값을 나타낸 것이 그림 2.15이다. 각 공정조건에 따른 박막 평균 두께는 같은 출력 조건에서는 고진공일수록, 같은 진공도 조건에서는 출력이 높을 수록 박막이 잘 증착되기 때문에 더 두꺼움을 알 수 있다.

그림 2.16은 그림 2.15에서 엘립소미터를 이용하여 6번 측정된 박막 두께의 평균 값에 대한 표준 편차를 구한 것으로 시료 표면의 CdTe 박막 두께의 표면 균일도를 나타내는 척도라고 할 수 있다. 그렇지만 각 공정조건들마다 평균 두께가 다르기 때문에 미치는 영향의 변수를 고려해야만 한다. 이에 시료를 각각의 박막 평균 두께로 박막 두께의 표준 편차를 나누어 줌으로써 평균 두께에 따른 normalizing 값을 구하여 CdTe 박막 표면 균일도의 척도로 사용하였다. 그림 2.17은 normalizing화 한 값을 나타낸 것이다. 이 데이터를 통해 박막 표면 균일도가 우수하게 나타난 스퍼터링 공정조건과 그렇지 못한 공정조건을 구분할 수 있다. 같은 출력의 조건에서 박막 표면 균일도는 대체적으로 고진공일수록 더 우수한 경향을 보였다. 또한 같은 진공도 조건에서 출력에 따른 박막 표면 균일도는 큰 경향성은 찾을 수는 없었지만, 35W와 50W에서 normalization된 표준편차가 작게 나옴으로써 우수한 경향을 보였다.

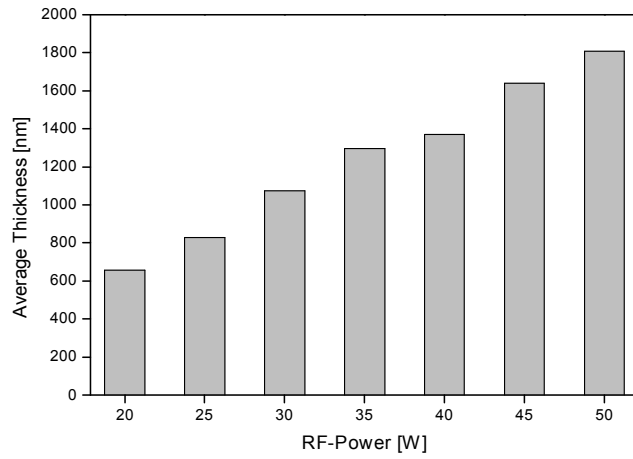
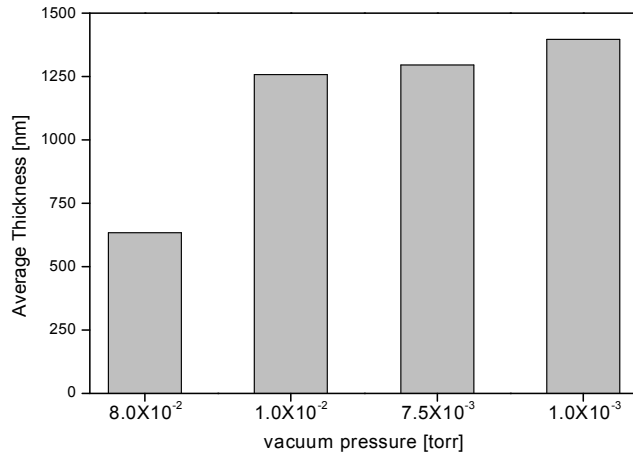


Fig. 2.15 Average Thickness of CdTe Thin Film

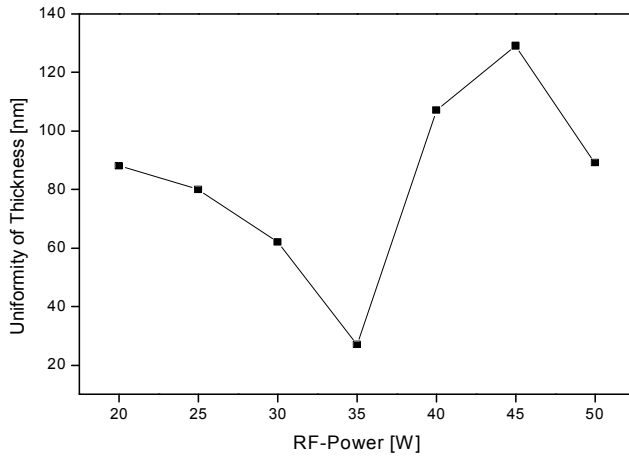
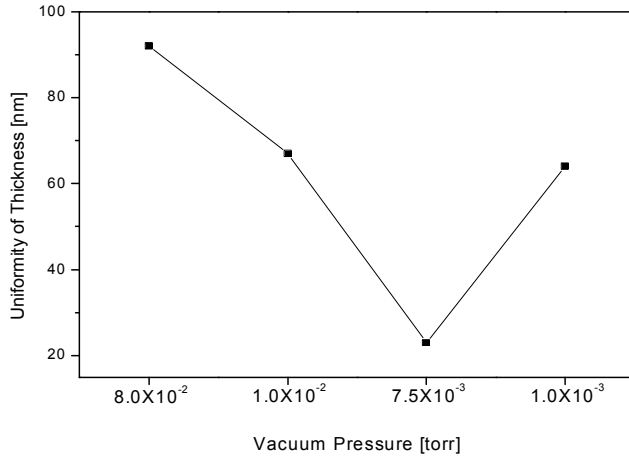


Fig. 2.16 Uniformity of Thickness of CdTe Thin Film

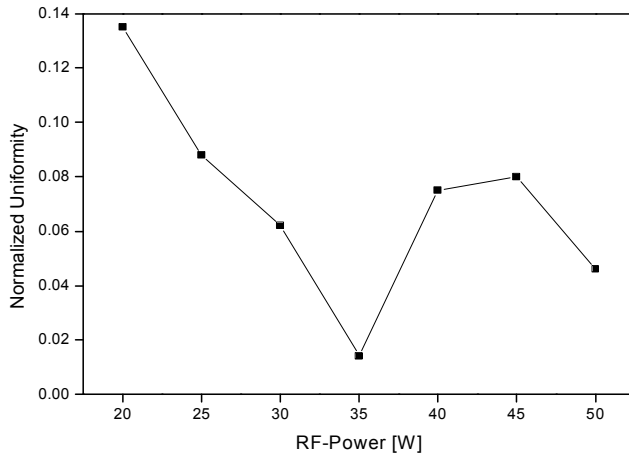
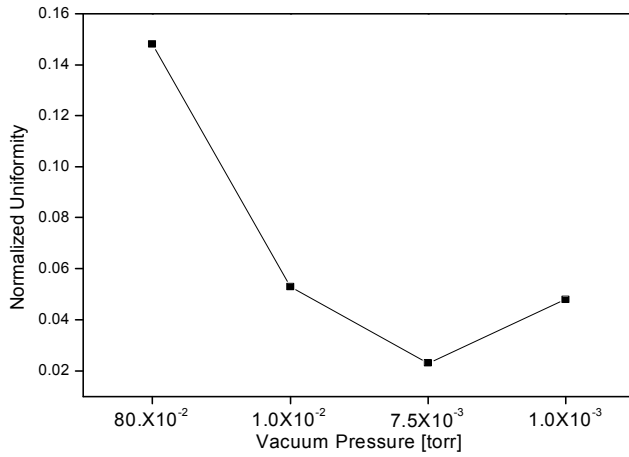


Fig. 2.17 Normalized Uniformity of CdTe Thin Film Thickness

B. CdTe 박막의 표면 특성 분석 및 공정조건 선별

AFM은 박막의 표면 이미지를 3D 이미지로도 확인할 수 있으며, 여러 박막의 표면 상태를 정량적으로 확인할 수 있는 장비이다. 그림 2.18은 동일한 출력의 공정 조건에서 다른 진공도에 의해 증착된 CdTe 박막의 3D 이미지를, 그림 2.19는 동일한 진공도 조건에서 각각의 출력에 의해 증착된 CdTe 박막의 3D 이미지를 나타낸 그림이다. 하지만 3D 이미지를 육안으로 박막의 표면 상태를 식별하기에는 한계가 있기 때문에 여러 가지 박막 표면 특성을 통해 비교를 할 수 있지만 본 논문의 연구 주제와 연관성이 있는 요소인 RMS roughness와 peak-to-valley 값의 정량적인 비교를 통해 박막 표면 특성의 우수함을 판별하였다. 그림 2.20은 각 증착 공정 조건에서의 RMS roughness와 peak-to-valley 값을 나타낸 것이다. 이 결과를 통해 알 수 있는 것은 동일한 출력 조건에서의 RMS roughness와 peak-to-valley 값들은 진공도가 더 고진공일수록 낮게 나타남으로써 CdTe 박막의 표면 상태가 우수한 경향성을 보였다. 또한 동일한 진공도 조건에서는 특정한 경향성은 나타나지 않았지만 출력이 35W와 50W일 때 가장 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다.

이를 토대로 앞절에서 다루었던 CdTe 박막 두께의 표준 편차의 Normalization 값들과 각 증착 공정 조건에서의 RMS roughness와 peak-to-valley 값들의 비교를 통해 박막 표면 균일도와 박막 표면 특성이 우수하게 증착이 되는 sputtering 공정 조건과 그렇지 못한 공정 조건의 비교 리스트를 선별하였다. 표 3은 비교리스트를 진공도와 출력에 따라 분류한 것이다.

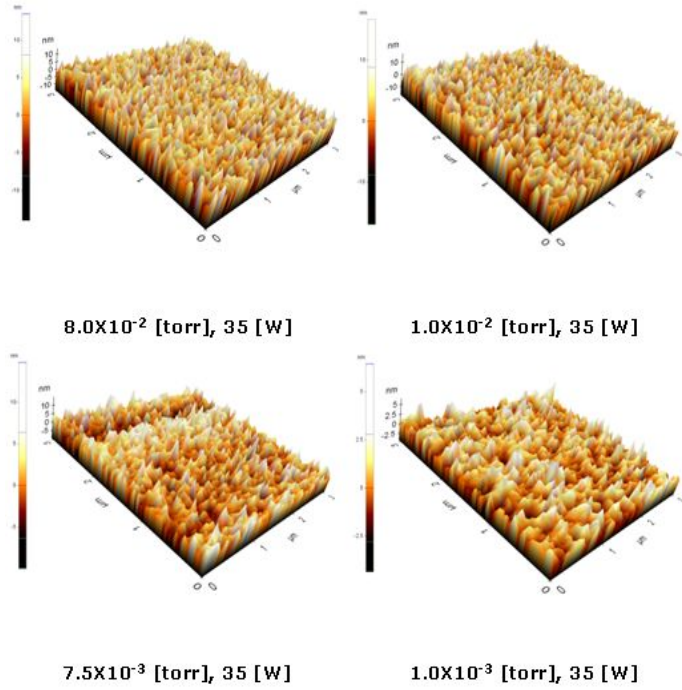


Fig. 2.18 AFM 3D Image of CdTe Thin Film as Vacuum Pressure

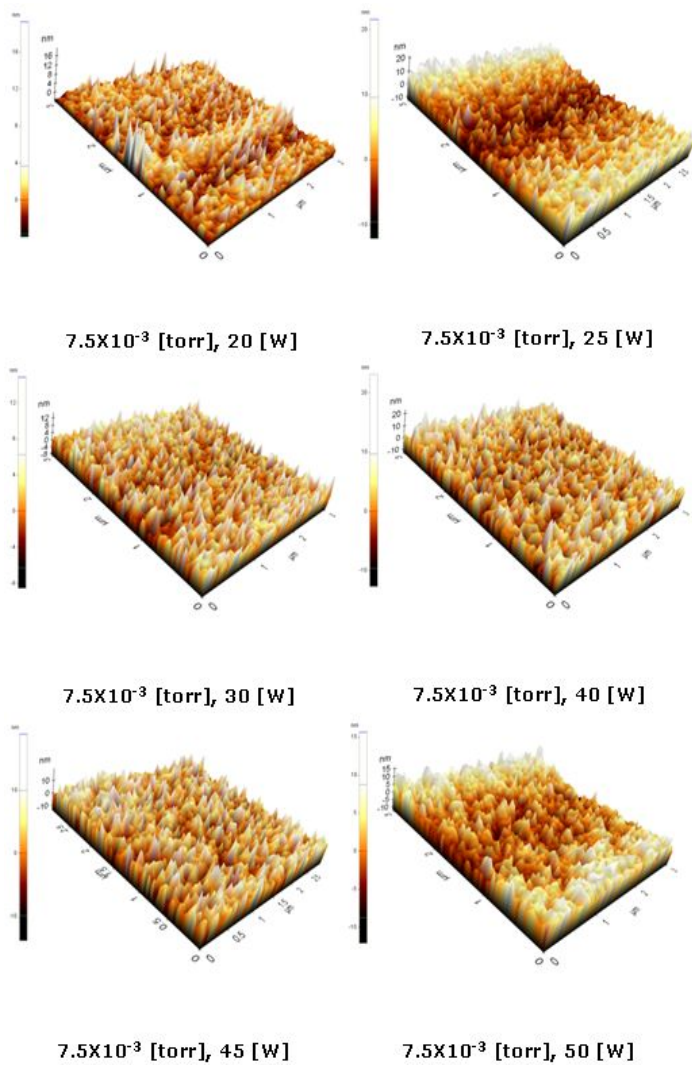


Fig. 2.19 AFM 3D Image of CdTe Thin Film as RF–Power

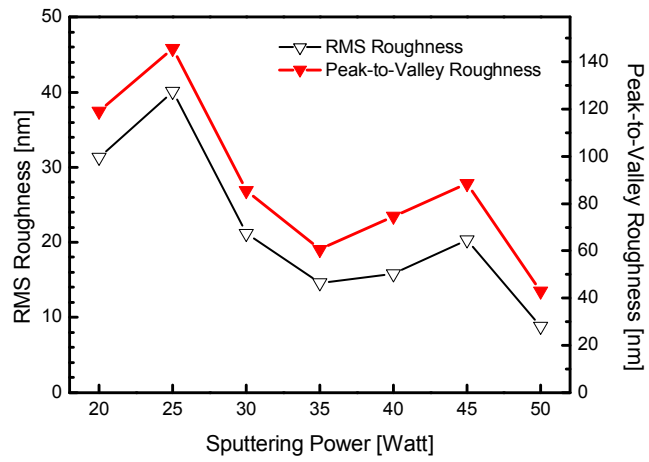
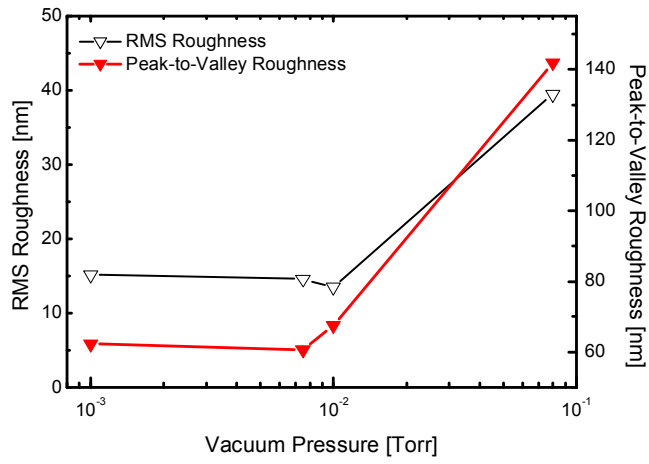


Fig. 2.20 Peak to Valley and RMS Roughness

Table. 3 Process Parameters for Comparison

Variation of vacuum pressure (at RF-Power 35W)	Variation of RF-Power (at vacuum Pressure 7.5×10^{-3})
1.0×10^{-3} [torr]	50 [W]
7.5×10^{-3} [torr]	35 [W]
8.0×10^{-2} [torr]	25 [W]

C. CdTe 박막의 광특성 분석

그림 2.21은 앞 절에서 선별한 비교 리스트에 있는 공정 조건들의 투과도를 측정하고 흡광도를 산출하여 가시광 영역에서의 평균 흡광도를 측정한 결과이다. 흡광도란 광투과도에 자연로그를 취한 것으로, 그 크기가 클수록 빛이 투과되는 양이 적고 흡수되는 빛의 양이 많음을 의미한다.

데이터 결과에 따르면, 진공도에 따른 분류에서는 7.5×10^{-3} [torr]의 진공도에서 평균 흡광도가 약 5.5 정도였으며, 진공도 8.0×10^{-2} [torr]에서는 5에도 못미치는 결과값을 얻었다. 또한 출력에 따른 분류에서는 25W에서 최저값을 나타냈다. 이는 흡광도가 지수값에 대한 비교인 것을 감안하면, 큰 차이를 나타냄을 알 수 있다. 이를 토대로 결과를 분석하자면, 7.5×10^{-3} [torr]의 진공도와 35W의 출력에서 가장 높은 평균 흡광도를 보임으로써 광특성이 가장 우수한 공정 조건임을 판단할 수 있다.

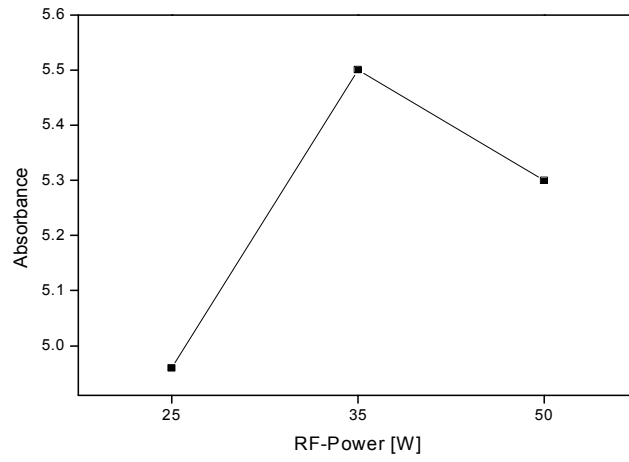
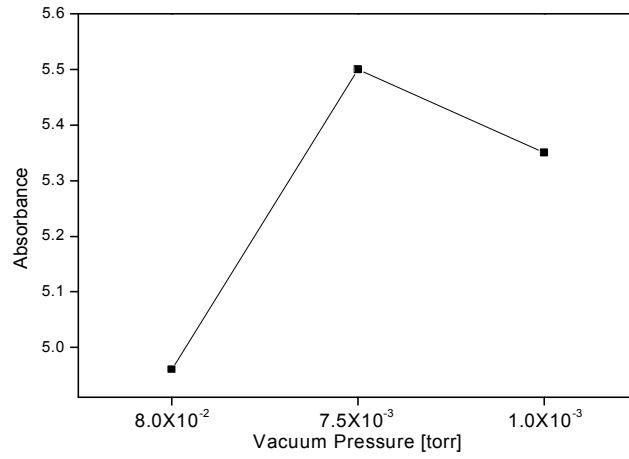


Fig. 2.21 Average Absorbance in Visible Ray

D. CdTe 박막의 전기특성 분석

Hall Effect의 측정을 통해 얻어진 CdTe 박막의 전하 이동도 및 표면 저항을 분석해 본 결과 같은 RF-Power 조건에서는 가장 고진공인 1.0×10^{-3} [torr]에서 전하 이동도가 42.2 [$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$]로 가장 높게 측정되었으며, 표면 저항 또한 6.599 [Ω/sq]가 가장 낮게 나타났다. 전하 이동도가 높다는 의미는 이론적 배경에서도 다루었듯이 전기적인 유전율이 높아져 전기 전도성이 우수함을 나타내며, 표면 저항이 낮은 것은 전기적 손실을 줄일 수 있음을 의미하므로 1.0×10^{-3} [torr]에서 전기특성에 가장 우수한 공정조건임을 알 수 있다. 그러나 동일한 진공도에서는 출력의 크기와는 특별한 경향성이 없이 각 조건들이 별반 차이를 보이지 않았지만, 대체적으로 전하 이동도와 표면 저항값을 비교해보았을 때 가장 높은 출력인 50W의 공정 조건이 우수한 것으로 판단된다.

이러한 결과를 종합적으로 분석해보면 진공도는 더 고진공일수록, 출력은 더 고출력일수록 전하 이동도와 표면 저항에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 유추할 수 있다. 하지만 더욱 정확한 분석을 위해서는 더 많은 비교군의 실험을 통한 연구가 요구되어진다고 판단된다.

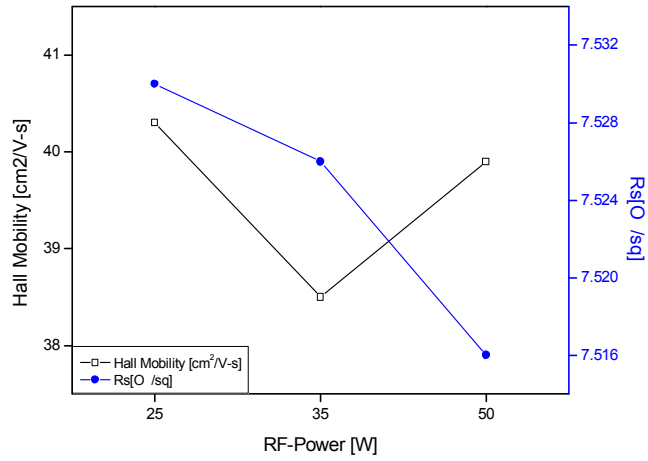
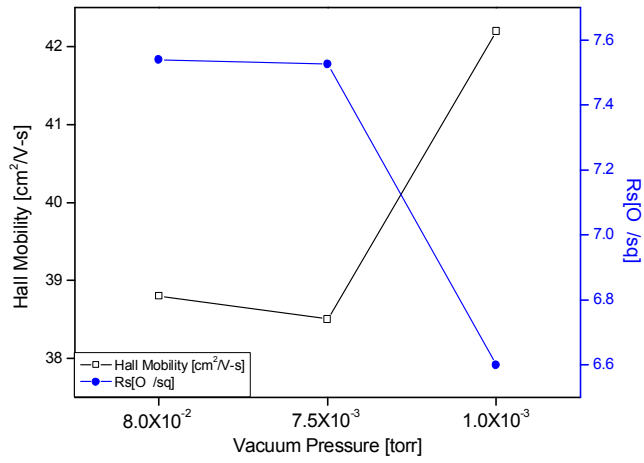


Fig. 2.22 Hall Mobility and Ohm/sq

V. 결론

CdTe 박막의 대면적 증착시 박막이 불균일하게 증착되는 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 스퍼터링법을 적용하여 스퍼터링 공정조건에 따른 박막의 표면 균일도 거동 및 표면 균일도가 CdTe 박막의 광특성 및 전기특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

첫 단계로서 스퍼터 증착시 가스압 진공도와 출력이 박막 표면 균일도에 미치는 영향에 대해 실험을 수행하였다. 엘립소미터를 이용하여 측정된 박막 두께의 표준편차를 구함으로써 CdTe 박막 표면 균일도를 도출할 수 있었으며 이를 통해 가스압 진공도가 더 고진공일수록, 출력이 더 높을수록 CdTe 박막 표면 형상이 더 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 박막 표면 특성을 나타내는 요소인 RMS roughness와 peak-to-valley 값들을 AFM으로 측정한 결과를 통해서도 고진공일수록 출력이 더 높을수록 CdTe 박막 표면 균일도가 더 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

이를 통해 얻어진 스퍼터링 공정조건에 따른 CdTe 박막의 표면 균일도는 각 공정들마다 직접비교를 하여 표면 균일도가 우수한 조건과 그렇지 못한 조건으로 선별하였다. 이는 표면 균일도가 확연히 차이나는 조건들의 흡광도와 Hall Effect 비교를 통해 표면 균일도가 CdTe 박막의 광특성과 전기특성에 미치는 영향을 확인하기 위함이다. 먼저 가시광 영역에서의 선별된 조건들의 평균 흡광도를 비교한 결과 고진공, 고출력에서 흡광도가 더 높게 나타났다. 즉 박막 표면 균일도가 우수한 공정조건들이 광흡수 정도가 더 좋음을 의미한다. 그리고 Hall Effect를 통해 얻은 전하 이동도와 표면 저항값에서 진공도에 따른 결과 값은 더 고진공일수록 전하 이동도가 높고 표면 저항이 낮게 측정됨으로써 전기적인 특성이 더 좋은 것으로 측정되었다. 하지만 출력에 따른 결과에서는 전하 이동도와 표면 저항값 모두 공정 조건들 간에 큰 차이점을 보이지 않았으며, 그 이유는 출력이 직접적으로 박막의 전기특성에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

결국 가스압 진공도와 출력이 높을수록 증착되는 CdTe 박막 표면 균일도 및 표면 특성이 향상되고 박막 표면의 균일도와 특성이 좋을수록 광특성 및 전기특성에 긍정적인 영향을 미친다는 결론을 얻을 수 있었다.

마지막으로, 본 실험에서 측정하였던 데이터 값들을 통해 가장 이상적인 sputtering 공정 조건을 분석해보면 박막표면 균일도의 Normalization 값, 표면의 RMS roughness와 peak-to-valley 값, 가시광 영역에서의 평균 흡광도가 가장 좋았던 출력 조건인 35W에 전하 이동도와 표면 저항값이 가장 우수한 가스압 진공도 조건인 1.0×10^{-3} [torr]임을 분석할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 목표하였던 CdTe 박막의 대면적화에 적용할 수 있는 스퍼터링법의 최적 공정조건은 출력 35W에 가스압 진공도 1.0×10^{-3} [torr]로 확보할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 박승창 “태양광 전지와 태양열 활용 기술 및 시장의 최근 동향 분석” 전자부품연구원, pp. 1-17 (2004. 8)
- [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] Yanfei Gu, Xiaomin Li, Weidong Yu, Xiangdong Gao, Junliang Zhao, Chang Yang, “Microstructures, electrical and optical characteristics of ZnO thin films by oxygen plasma-assisted pulsed laser deposition”, Journal of Crystal Growth 305 (2007) 36-39
- [5] 안병태 “CdTe 박막태양전지 기술동향” 한국태양에너지학회지, 제4권, 3호, pp. 33-39 (2005. 8)
- [6] 김재하, “박막형 태양전지 기술 및 산업동향” 전자통신동향분석, 2008. 12, pp.2-3.
- [7] 윤재호 “화합물 박막 태양전지” 물리학과 첨단기술, pp. 20-24 (2008. 7/8)
- [8] Osamu Ikki, RTS Corp., The Photovoltaics industry, today and tomorrow, Japan (2007)
- [9] 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_{1-x}Mn_xS nanocrystalline films”, Materials Research Bulletin, Volume 43, Issue 12, 1 December 2008, Pages 3245-3251
- [10] 조영화 “나노태양전지” 심층정보분석보고서, (2003. 12)
- [11] IEA/PVPS Task 1, “Trends in photovoltaic applications: Survey reports of selected IEA countries between 1992 and 2006”, Report IEA-PVPS T1-15 : 2006, Aug. (2007)
- [12] 신성호 “스퍼터 기술의 연구동향” 전기전자재료학회, 제11권, 11호, pp. 165-173 (1998)
- [13] 정재인, 정우철, 임태균, 전중환 “고성능 마그네트론 스퍼터링 소스의 제작 및 특성 평가” RIST, 제1권, 17호, pp. 20-28 (2003)
- [14] K. Kuriyama, T. Katoh “Optical band gap of filled tetrahedral semiconductor LiZnP”, American Physical Society, Vol.37, No.12, pp. 7140-7142 (1998. 4)
- [15] M.H.Lee et al., “Pyroelectric Sensors”, Journal of Electroceramics, pp. 229-242 (1998)

- [16] 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)
- [17] T.R. MacGuire, R. J. Gambino, and R. C. O’Handley “The hall Effect and its Application”, pp. 137 (Plenum, NewYork, 1980)
- [18] A. Fert and A. Hamzic “The hall Effect and its Application”, pp. 77 (Plenum, NewYork, 1980)
- [19] Kyung-Hoon Yoon, Donghwan Kim, National survey report of PV power applications in Korea, May (2008)
- [20] 김동화 “센서의 기초 물성론”(2002. 5)
- [21] 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

감사의 글

길면 길고 짧다면 짧은 2년의 석사학위과정은 부족한 저에게 많은 것을 배울 수 있게 해주었으며, 여러 교수님들과 선후배들과의 대학원 생활은 사회생활을 할 수 있는 밑거름이 될 수 있었던 것 같습니다.

도움과 격려를 주신 분들이 너무 많아 어떻게 말로써 감사의 표현을 다 할 수 있을까 싶지만, 진심으로 깊은 감사를 드리고 싶습니다. 먼저 이 논문을 쓸 수 있도록 지도와 격려를 아끼지 않으신 지도교수님이신 이우선 교수님께 먼저 감사드립니다. 또한 논문심사를 위해 고생하신 오금곤, 조금배 교수님 및 전기공학과 모든 교수님들께 감사의 말씀을 전합니다.

실험실 생활과 공부에 많은 조언과 세밀한 부분까지 도움을 주신 김남훈 박사님, 고필주 선배님, 최권우 선배님, 최연옥 선배님께도 감사드리며, 대학원 생활에 있어 항상 힘이 되어 주었던 동기 보현이와 대승이에게도 고맙다는 말을 전합니다. 또 대학원 생활하는 동안 격려와 도움을 많이 준 용선이형과 대학원 선후배들에게도 고맙다고 말하고 싶습니다.

마지막으로, 언제나 저를 믿어 주시고 묵묵히 지켜봐 주시는 부모님께 정말 죄송스럽고 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 그리고 옆에서 항상 힘이 될 수 있도록 응원해준 여자친구 난희에게도 너무 고맙고 사랑한다고 말해주고 싶습니다.

이 밖에도 많은 분들께 감사를 드리며, 모든 분들이 행복하고 건강하시길 진심으로 빌겠습니다.

2010년 2월
박주선 올림

저작물 이용 허락서

학 과	전기공학과	학 번	20087091	과 정	석사
성 명	한글 : 박 주 선 한문 : 박 柱 善 영문 : Park Ju-sun				
주 소	광주광역시 남구 사동 121-11				
연락처	010-9592-2419	E-mail	ppppp505@hanmail.net		
논문제목	한글 : 스퍼터링 공정조건에 따른 CdTe 박막의 표면 균일도 특성				
	영문 : Surface-uniformity Property of CdTe Thin Film by Sputtering Process Conditions				

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()

2010년 2월

저작자: 박 주 선 (인)

조선대학교 총장 귀하