

논문 95-4-1-08

CBD 방법에 의한  $CdS_{1-x}Se_x$  박막의 열처리에 따른 광전기적 특성

홍광준, 최승평, 이상열, 유상하, 신용진, 이관교, 서상석, 김혜숙  
 윤은희, 김승욱, 신영진\*, 정태수\*, 신현길\*, 김택성\*, 문종대\*\*, 전승룡\*\*\*

Study on Growth and Opto-Electrical Characterization of  $CdS_{1-x}Se_x$   
 Thin Film using Chemical Bath Deposition Method.

K.J.Hong, S.P.Choi, S.Y.Lee, S.H.You, Y.J.Shin, K.K.Lee, S.S.Suh, H.S.Kim,  
 E.H.Yun, S.U.Kim, Y.J.shin\*, T.S.Jeong\*, H.K.Shin\*, T.S.Kim\*, J.D.Moon\*\*, S.L.Jeon\*\*\*

## 요 약

Chemical bath deposition 방법으로 다결정  $CdS_{1-x}Se_x$  박막을 세라믹 기판 위에 성장시킨 다음 온도를 변화시켜 열처리하고 X-선 회절 무늬를 측정하여 결정 구조를 밝혔다.

550°C로 열처리한 시료의 X-선 회절 무늬로부터 외삽법으로 구한 격자 상수는 CdS의 경우  $a_0=4.1364\text{\AA}$ ,  $c_0=6.7129\text{\AA}$  였으며 CdSe인 경우는  $a_0=4.3021\text{\AA}$ ,  $c_0=7.0142\text{\AA}$  였다.

Van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 운반자 농도와 이동도의 온도 의존성을 연구하였다. 광전도 셀의 특성으로 스펙트럼 응답, 감도( $\gamma$ ), 최대 허용 소비전력 및 응답시간을 측정하였다.

## Abstract

Polycrystalline  $CdS_{1-x}Se_x$  thin films were grown on ceramic substrate using a chemical bath deposition method. They were annealed at various temperature and X-ray diffraction patterns were measured by X-ray diffractometer in order to study  $CdS_{1-x}Se_x$  polycrystal structure using extrapolation method of X-ray diffraction patterns for the CdS, CdSe samples annealed in  $N_2$  gas at 550°C it was found hexagonal structure which had the lattice constant  $a_0=4.1364\text{\AA}$ ,  $c_0=6.7129\text{\AA}$  in CdS and  $a_0=4.3021\text{\AA}$ ,  $c_0=7.0142\text{\AA}$  in CdSe, respectively.

Hall effect on these samples was measured by Van der Pauw method and then studied on carrier density and mobility depending on temperature.

We measured also spectral response, sensitivity( $\gamma$ ), maximum allowable power dissipation and response time on these samples.

조선대학교 물리학과  
 (Department of Physics, Chosun University)

\* 전북대학교 물리학과  
 (Department of Physics, Jeonbuk National University)

\*\* 동신대학교 물리학과  
 (Department of Physics, Dong shin University)

\*\*\* 동아전문대학, 영암  
 (Dong A Collage, Young am)

<접수일자 : 1995년 1월 16일>

\*본 논문은 1993년도 조선대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구 출판되었음.

## I. 서 론

$CdS_{1-x}Se_x$ 는 II-VI족 화합물 반도체로서 상온에서 띠 간격이 2.42 eV에서 1.72 eV의 에너지를 가지며 직접 에너지 띠 간격을 갖는 고감도의 광전도체로  $CdS_{1-x}Se_x/CdTe$ ,  $CdS_{1-x}Se_x/CuS_{1-x}Se_x$ 의 태양전지의 광투과 물질로 각광을 받고 있으며 광전도 cell로 연구 되어 왔다.<sup>[1]~[6]</sup>

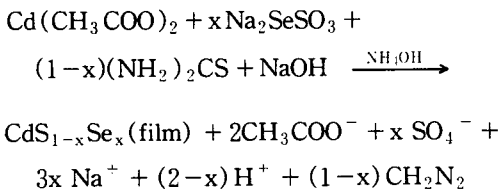
다결정  $CdS_{1-x}Se_x$  박막은 진공증착,<sup>[7]</sup> hot wall

epitaxy,<sup>[8]</sup> e-beam 증착,<sup>[9]</sup> spray법,<sup>[10]</sup> 용액 증착법 등으로 제조될 수 있다. 이 방법 가운데 용액 증착법인 chemical bath deposition (CBD) 방법은 제조 공정이 간단하고 넓은 면적으로 제작하기가 용이하고 화학 당량적 조성을 만족하며 재현성을 높이는데 이점이 있다. 본 연구에서는 CBD 방법으로 다결정 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막의 x mole비를 변화시키면서 유리 기판 위에 성장시킨 다음, 온도를 변화시키면서 열처리하고 X-선 회절 무늬를 측정하여 결정구조를 밝히고, Van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 운전자 농도, 이동도 및 비저항을 측정하였다. 또한 광전도 셀로서의 응용성을 알아보려고 스펙트럼 응답을 측정하고, 10 lx와 1000 lx 사이의 감도(sensitivity : $\gamma$ ), 최대허용소비전력(maximum allowable power dissipation :M.A.P.D), 광전류(photocurrent :pc)와 암전류(dark current :dc)의 비 pc/dc값, 응답시간을 측정하였다.

## II. 실험

### 1. CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 다결정 박막 성장

CBD 방법으로 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 다결정 박막을 성장하기 위한 용액을 다음과 같이 만들었다. Cd(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> 1M 수용액, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CS 1M 수용액, Na<sub>2</sub>SeSO<sub>3</sub> 1M 수용액, NaOH 1M 수용액, NH<sub>4</sub>OH 및 증류수를 x의 mole비에 따라 비이커에 넣고 교반기(corning, pc-101)로 충분히 교반시켜 수용액을 만들었다. slide glass (corning, 2948)를 (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)용액속에 담그고 중성 세제와 증류수로 세척하였다. 이와 같이 세척한 slide glass를 수용액속에 수평하게 놓고 중탕기 속에 넣어 90°C로 60분간 가열하면 x의 값에 따라 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막이 성장되는데 화학 반응식은 다음과 같다.



이렇게 성장한 박막을 N<sub>2</sub> 분위기에서 350°C에서 100°C 간격으로 650°C까지 60분간 열처리하였다. weight 방법으로 측정된 열처리 전의 박막 두께는 ~2.7862  $\mu\text{m}$ 였고 열처리 후의 두께는 ~2.7793  $\mu\text{m}$ 였다.

### 2. Hall 효과

Hall 효과를 측정하기 위해 저온 장치 속에 cell을 고정하고 cell에 인가되는 전기장에 수직으로 2KG의 전자석을 놓고 cell의 온도를 293 K에서 33 K까지 변화시키면서 Van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하였다.

### 3. 광전도 셀 특성

#### 3-1. 감도( $\gamma$ )

광전도 cell의 감도는 광전도면에 입사하는 조명의 세기와 cell의 출력 사이의 관계이다. 감도는 빛을 쬐었을 때의 전류와 cell의 저항으로 표시되는 것이 관례이다. tungsten lamp를 광원으로 하여 조도를 2 lx에서 1000 lx까지 변화시켜 cell의 저항 변화를 multimeter (philips, PH 2528)로 측정하였다.

조도와 저항의 관계에서 선형의 구배를  $\gamma$  특성이라 부르며

$$\gamma_a^b = \tan \theta = \frac{\log R_a - \log R_b}{\log b - \log a} = \frac{\log(R_a/R_b)}{\log(b/a)}$$

로 나타낸다.

단 R<sub>a</sub>와 R<sub>b</sub>는 조도를 a lx와 b lx로 쬐일 때 cell의 각각 저항 값이다.

### 4. Spectral response

광전도 cell 표면에 단색광을 쬐어 흐르는 광전류와 단색광의 관계를 말하며 광전류 spectrum을 말한다. 이러한 spectrum response는 가시광(VIS ray)과 적외선광(IR ray)에 대해 민감하고 넓은 파장 분포를 가져야 한다.

spectral response를 측정하기 위해 광전도 cell에 D.C 전원을 연결하고 단색광을 cell에 조사하여 나오는 광전류를 lock-in-amplifier (PAR, 5208)로 증폭한 후, X-Y 기록계 (MFE, 815M)로 기록하였다. 이 때 할로겐 램프(650W)에서 나오는 빛을 light chopper (PAR, 192)를 거쳐 monochromator(Jarrell Ash, 82-020, 0.5m)로 분광하여 단색광으로 사용하였다. 사용한 회절 격자는 (Jarrell Ash, 82-000 f:0.5m series용) 1180 grooves/mm ( $\lambda = 190 \sim 910\text{nm}$ )였다.

### 5. 최대 허용 소비 전력

광전도 cell에 일정한 세기의 빛을 쬐이고 직류 인가 전압을 변화시킬때 흐르는 전류(illumination current)와의 관계가 선형으로 유지된다. 광원으로는 tungsten lamp를 사용하면서 빛의 조도를 500, 800, 1000 lx로 고정하고, 공급 전압을 1 V에서부터 증가시킬때 선형을 이루다가 편향되기 시작한다. 이와 같이 선형이 편향되기 직전의 값을 mW로 표시하여 최대 허용 소비 전력(Maximum allowable power dissipation : M.A.P.D.)이라고 부른다. 이때 조도는 조도계 (HS, HS-LA)로 측정하고 전류는 multimeter (philips, PM 2528)로 측정하였다.

6. Response Time

response time은 광전도 cell에 빛이 조사된 후 전류의 peak 값이 63%가 될때까지 요구되는 시간 (rise time)과 빛이 제거된 후 peak 값의 37%로 감소하는데 걸리는 시간(decay time)으로 구분된다. 이 decay time을 carrier의 수명이라 한다. CdS, CdSe는 n형 반도체이므로 들뜬 전자의 수명을 측정해야 한다. 광전도 cell에서 들뜬 전자의 수명을 측정하기 위하여 광원인 tungsten lamp에서 나오는 빛을 chopper를 거쳐 cell에 조사하였고 흐르는 광전류를 오실로스코프(GS.7040A)

에 연결하여 시간에 따라 변하는 광전도도의 변화를 측정하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막의 구조

CBD 방법으로 성장하여 열처리한 CdS, CdSe 박막의 X-선 회절 무늬도를 그림 1과 2에 보였다. CdS 박막의 550 °C에서 열처리한 시료에서 (10 $\bar{1}$ 0) (10 $\bar{1}$ 1)과 (11 $\bar{2}$ 0)면의 peak 세기가 크게 나타나고 (10 $\bar{1}$ 2) (10 $\bar{1}$ 3) (20 $\bar{2}$ 2) (20 $\bar{2}$ 1) (21 $\bar{3}$ 0) (21 $\bar{3}$ 1) (21 $\bar{3}$ 3)면 등이 450 °C에서 열처리한 시료보다 커지다가 650 °C로 열처리한 시료에서는 이면들의 peak의 세기가 감소하는 경향이 있다. CdSe 박막도 550 °C에서 열처리한 시료에서 (10 $\bar{1}$ 0) (0002) (10 $\bar{1}$ 1) (11 $\bar{2}$ 1) (10 $\bar{1}$ 2) (10 $\bar{1}$ 3) (11 $\bar{2}$ 0) (10 $\bar{1}$ 3) (2020)면등의 peak 세기가 가장 크게 나타났다. 따라서 550 °C로 열처리한 경우가 최적 상태로 보인다. 그림 1, 2의 550 °C로 열처리한 시료의 (hkl)값은 면간격 d에 의한 값이 JCPDS card와 일치하는 값들이어서 육방정계로 성장되었음을 알 수 있었다.

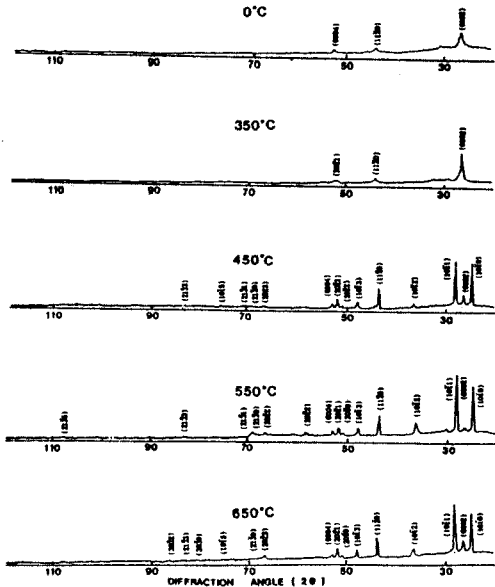


그림 1. 0°C ~ 650°C에서 열처리한 CdS 박막의 X-선 회절도  
Fig. 1. X-ray diffraction pattern of CdS thin film annealed from 0°C to 650°C

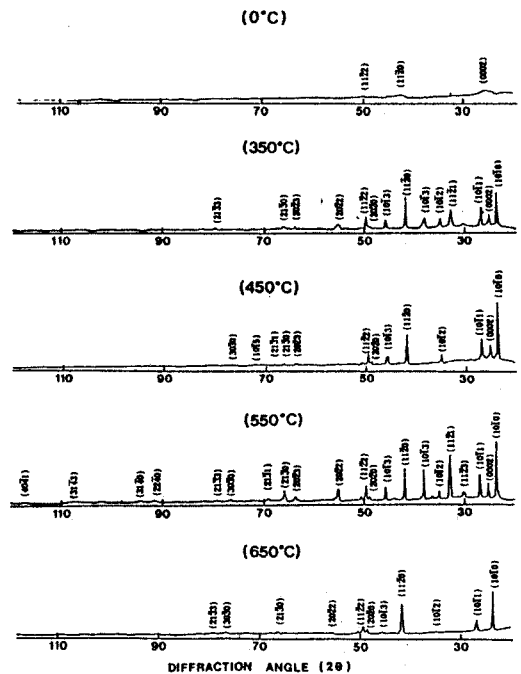


그림 2. 0°C ~ 650°C에서 열처리한 CdSe 박막의 X-선 회절도  
Fig. 2. X-ray diffraction pattern of CdSe thin film annealed from 0°C to 650°C

격자 상수 a 와 c 값을 결정하기 위하여 면간격 d 와 Miller 지수 hkl, 격자 상수 a, c와 관계식

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

으로부터 각면에서의 a와 c값은 먼저 구하고 이 값들을 측정된 회절각  $\theta$ 에 대하여

Nelson - Riley 관계식

$$f(\theta) = k \left( \frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right) \text{ 을 이용하여}$$

외삽법<sup>(11)</sup>으로 구한 a와 c값은 CdS인 경우 a=4.1364Å, c=6.7129Å였으며 CdSe인 경우 a=4.3021Å, c=7.0142Å였다.

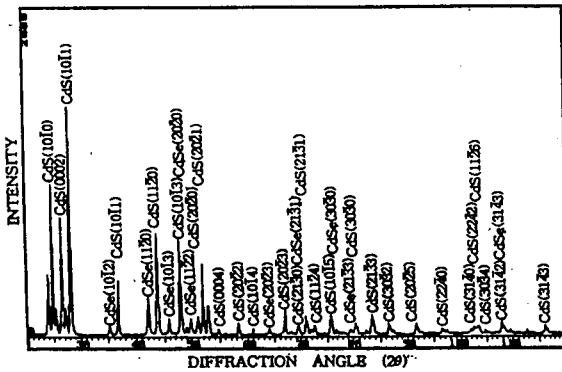


그림 3. 550°C에서 열처리한 CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub> 박막의 X-선 회절도

Fig. 3. X-ray diffraction pattern of CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub> thin film annealed at 550°C

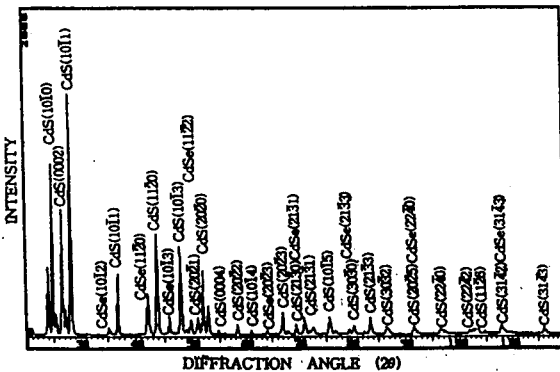


그림 4. 550°C에서 열처리한 CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> 박막의 X-선 회절도

Fig. 4. X-ray diffraction pattern of CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> thin film annealed at 550°C

또한 Laue 배면 반사법으로 Laue 반점을 얻으려 시도했으나 반점을 얻을 수 없었다. 따라서 CBD방법으로 성장한 시료는 다결정 박막임을 알 수 있었다. 그림 3, 4, 5는 CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub>, CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>, CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> 박막의 X선 회절도이다. X의 mole비에 따라 성장시킨 CdS<sub>0.6</sub>Se<sub>0.4</sub>, CdS<sub>0.5</sub>Se<sub>0.5</sub>, CdS<sub>0.3</sub>Se<sub>0.7</sub> 다결정 박막의 성분비 값은 EDS (energy dispersive X-ray microanalysis, Link, AN-10-85S)로 측정된 결과, 그림 6은 CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub>, 그림 7은 CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>, 그림 8은 CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> 임을 알 수 있었다.

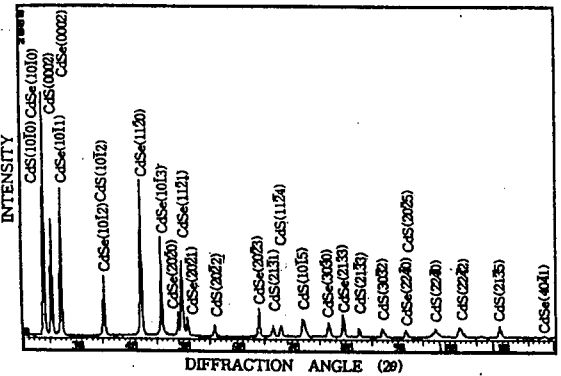


그림 5. 550°C에서 열처리한 CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> 박막의 X-선 회절도

Fig. 5. X-ray diffraction pattern of CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> thin film annealed at 550°C

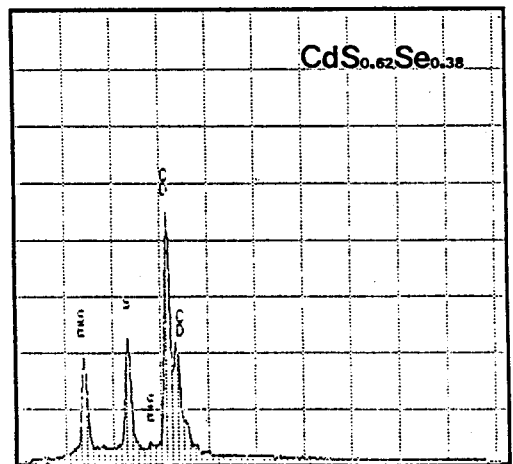


그림 6. CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub> 박막의 EDS

Fig. 6. EDS patterns of CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub> thin film

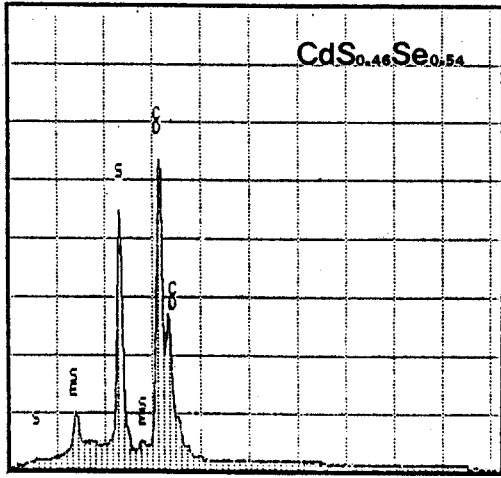


그림 7. CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> 박막의 EDS  
Fig. 7. EDS patterns of CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> thin film

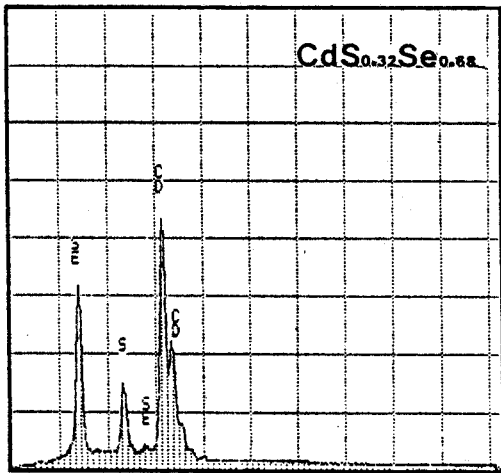


그림 8. CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> 박막의 EDS  
Fig. 8. EDS patterns of CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> thin film

## 2. Hall 효과

CBD 방법으로 성장하여 CdS, CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>, CdSe 박막을 열처리한 시료중 550°C의 경우를 최적으로 보아 Van der Pauw 방법으로 293 K에서 33 K까지 Hall 효과를 측정하여 표 1에 보였다.

이 때 Hall 계수들은 음의 값이어서 n형 반도체임을 알 수 있다. CdS, CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>, CdSe의 전하 운반자 농도와 Hall 이동도의 온도 의존성은 그림 9와 10, 그림 11와 12, 그림 13와 14에 각각 보였다. 그림 9의 ln n 대 (1/T)에서 활성화 에너지는 0.79 eV 정도이고

표 1-1. CdS 박막의 Hall data

Table 1-1. Hall data of CdS thin film

Temp. (K)	carrier density n(m <sup>-3</sup> )	Hall coefficient R <sub>H</sub> (m <sup>3</sup> /c)	conductivity σ(Ω <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	Mobility μ(m <sup>2</sup> /V.sec)
293	9.57×10 <sup>22</sup>	-6.52×10 <sup>-5</sup>	3.29	2.14×10 <sup>-4</sup>
250	2.39×10 <sup>22</sup>	-2.61×10 <sup>-4</sup>	3.11	2.03×10 <sup>-4</sup>
200	1.60×10 <sup>22</sup>	-8.48×10 <sup>-4</sup>	3.09	2.62×10 <sup>-3</sup>
150	3.55×10 <sup>21</sup>	-1.76×10 <sup>-3</sup>	3.00	5.28×10 <sup>-3</sup>
100	1.57×10 <sup>21</sup>	-4.04×10 <sup>-3</sup>	2.95	1.19×10 <sup>-2</sup>
77	1.04×10 <sup>21</sup>	-6.00×10 <sup>-3</sup>	2.95	1.77×10 <sup>-2</sup>
50	1.00×10 <sup>21</sup>	-5.87×10 <sup>-3</sup>	2.95	1.73×10 <sup>-2</sup>
33	9.97×10 <sup>20</sup>	-6.39×10 <sup>-3</sup>	3.04	1.94×10 <sup>-2</sup>

표 1-2. CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> 박막의 Hall data

Table 1-2. Hall data of CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> thin film

Temp. (K)	carrier density n(m <sup>-3</sup> )	Hall coefficient R <sub>H</sub> (m <sup>3</sup> /c)	conductivity σ(Ω <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	Mobility μ(m <sup>2</sup> /V.sec)
293	9.51×10 <sup>23</sup>	-3.27×10 <sup>-5</sup>	171.56	2.92×10 <sup>-4</sup>
250	5.32×10 <sup>23</sup>	-5.21×10 <sup>-5</sup>	198.84	8.27×10 <sup>-4</sup>
200	3.44×10 <sup>23</sup>	-1.21×10 <sup>-4</sup>	92.56	1.92×10 <sup>-4</sup>
150	1.17×10 <sup>23</sup>	-1.59×10 <sup>-4</sup>	88.08	3.11×10 <sup>-3</sup>
100	9.31×10 <sup>22</sup>	-2.42×10 <sup>-4</sup>	76.84	4.61×10 <sup>-3</sup>
77	7.64×10 <sup>22</sup>	-5.26×10 <sup>-4</sup>	71.83	5.52×10 <sup>-3</sup>
50	5.94×10 <sup>22</sup>	-6.17×10 <sup>-4</sup>	69.04	6.38×10 <sup>-3</sup>
33	5.22×10 <sup>22</sup>	-8.33×10 <sup>-4</sup>	65.55	6.54×10 <sup>-3</sup>

표 1-3. CdSe 박막의 Hall data

Table 1-3. Hall data of CdSe thin film

Temp. (K)	carrier density n(m <sup>-3</sup> )	Hall coefficient R <sub>H</sub> (m <sup>3</sup> /c)	conductivity σ(ΩA <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	Mobility μ(m <sup>2</sup> /V.sec)
293	8.54×10 <sup>23</sup>	-1.71×10 <sup>-5</sup>	127.64	2.37×10 <sup>-4</sup>
250	4.59×10 <sup>23</sup>	-5.42×10 <sup>-5</sup>	134.18	3.18×10 <sup>-4</sup>
200	2.53×10 <sup>23</sup>	-1.94×10 <sup>-4</sup>	97.66	9.24×10 <sup>-4</sup>
150	7.28×10 <sup>22</sup>	-3.53×10 <sup>-4</sup>	90.85	1.85×10 <sup>-3</sup>
100	4.51×10 <sup>22</sup>	-7.55×10 <sup>-4</sup>	76.68	2.75×10 <sup>-3</sup>
77	3.28×10 <sup>22</sup>	-8.53×10 <sup>-4</sup>	70.92	3.16×10 <sup>-3</sup>
50	2.51×10 <sup>22</sup>	-8.61×10 <sup>-4</sup>	66.17	4.21×10 <sup>-3</sup>
33	2.61×10 <sup>22</sup>	-8.63×10 <sup>-4</sup>	56.65	5.74×10 <sup>-3</sup>

그림 10으로부터 Hall 이동도는 Fujita<sup>[12]</sup>등의 결과와 같이 33 K에서 150 K까지는 압전 산란에 따라 감소하는

경향이 있고, 150K 에서 293K 까지는 극성 광학 산란에 따라 감소하는 경향이 있음을 알 수 있다. 그림 11에서 활성화 에너지는 0.46eV이고 그림 12에서 Hall

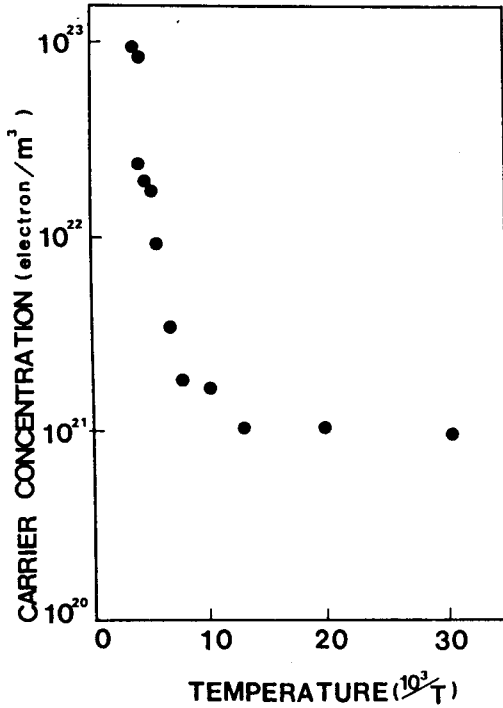


그림 9. CdS 박막의 온도 역수 대 운반자 농도  
Fig. 9. Carrier concentration as a function of reverse temperature in CdS thin film

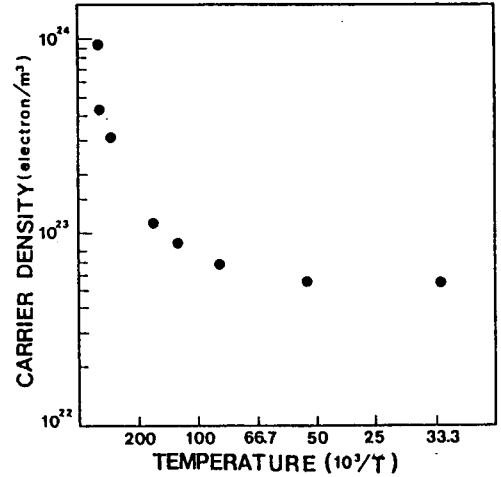


그림 11. CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> 박막의 온도 역수 대 운반자 농도  
Fig. 11. Carrier concentration as a function of reverse temperature in CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> thin film

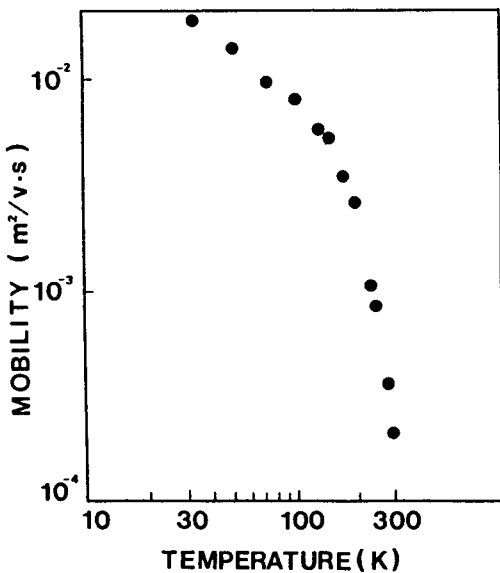


그림 10. CdS 박막의 온도에 따른 이동도의 변화  
Fig. 10. Variation of mobility with temperature in CdS thin film

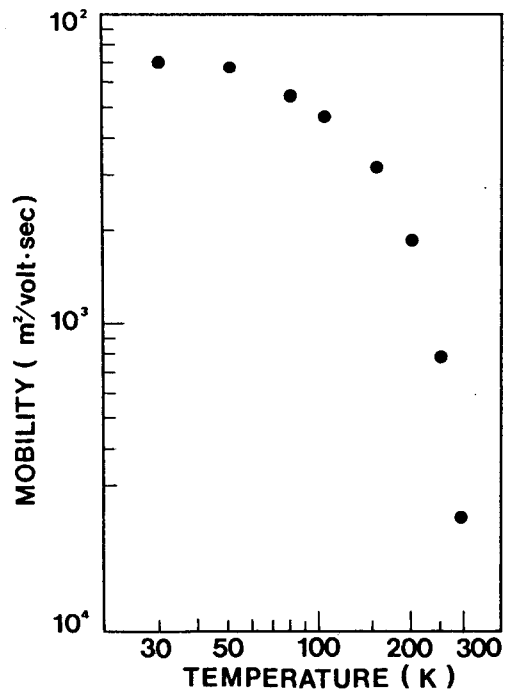


그림 12. CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> 박막의 온도에 따른 이동도의 변화  
Fig. 12. Variation of mobility with temperature in CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> thin film

이동도는 33K에서 150K까지는 압전 산란에 따라 감소하는 경향이 있고, 150K에서 293K까지는 극성 광학 산란에 따라 감소하는 경향이 있음을 알 수 있다. 또한

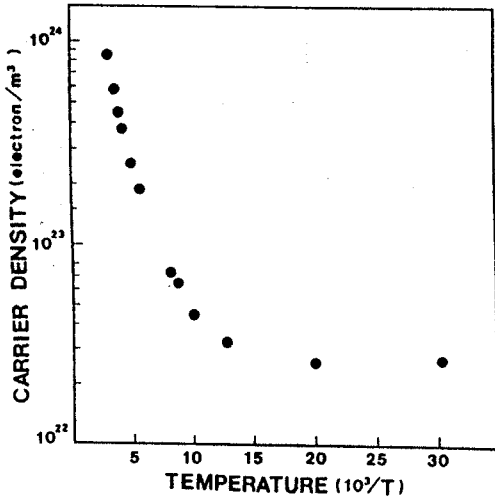


그림 13. CdSe 박막의 온도 역수 대 운반자 농도  
Fig. 13. Carrier concentration as a function of reverse temperature in CdSe thin film

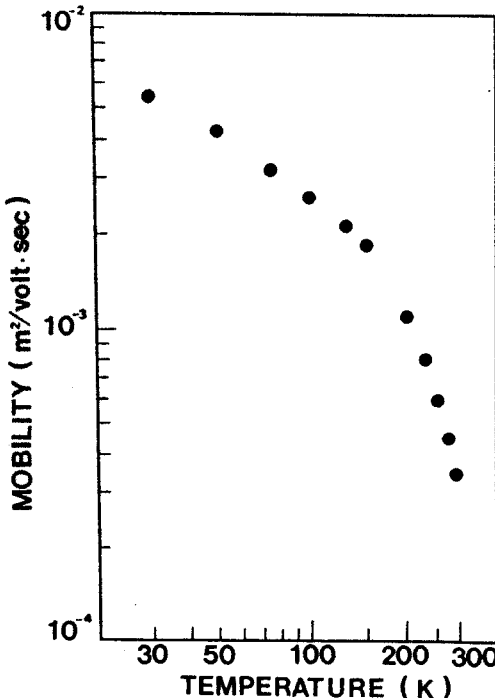


그림 14. CdSe 박막의 온도에 따른 이동도의 변화  
Fig. 14. Variation of mobility with temperature in CdSe thin film

그림 13으로부터 구한 활성화 에너지는 0.04 eV이고 그림 14로부터 Hall 이동도는 293 K에서 200 K까지는 극성 광학 산란에 기인하고 있으며 200K에서 300K까지는 압전 산란에 의존하고 있음을 알 수 있었다.

### 3.스펙트럼 응답

CBD방법으로 각 성분비에 따라 제작한 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 광전도 셀의 스펙트럼 응답을 상온에서 측정하여 그림 15와 같이 보였다. 광전도 셀의 각 파장에 대한 상대적인 감도는 입사광의 파장에 의존한다. 즉 파장의 함수로서 감도를 스펙트럼 응답이라 한다. 그림 15에서 보는 바와 같이 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 광전도 셀은 Se양이 증가함에 따라서 장파장의 영역으로 곡선의 기울기가 넓게 분포하고 있어 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 광전도 셀은 근적외선 영역에서도 민감한 감도를 가지고 있음을 알 수 있다.

그림 15에서 스펙트럼 봉우리 위치를 표 2에 나타내었다. 그림 15에서 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막의 CdS는 293K 일때 507nm (2.4454eV)의 봉우리로 다음과 같이 분석할 수 있다. 293K 일때 505nm(2.4551eV) 봉우리는 가 전자대 Γ<sub>9</sub>(A)에서 전도대 Γ<sub>7</sub>으로 들뜬 전자에 기인하는 봉우리이다. 엑시톤의 결합 에너지는<sup>[13,14]</sup> 0.029eV이므로 n=1일때 자유 엑시톤 A<sub>1</sub> 봉우리는 2.4261eV (2.4551-0.029) 인 곳에 자유 엑시톤 A<sub>2</sub> 봉우리는 2.4479eV (2.4551-0.029/2<sup>2</sup>) 인 곳에 위치할 것이다.

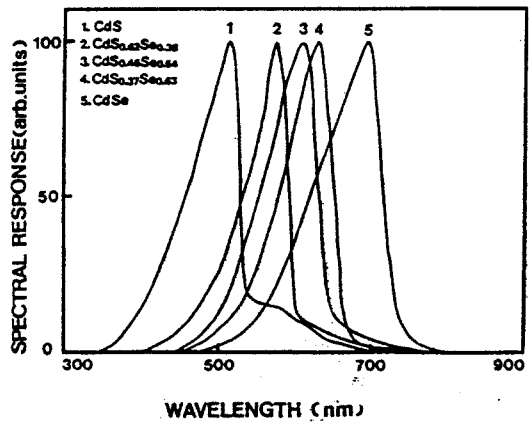


그림 15. 550℃에서 열처리한 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막의 광전류 스펙트럼 (1) CdS, (2)CdS<sub>0.92</sub>Se<sub>0.08</sub>, (3)CdS<sub>0.76</sub>Se<sub>0.24</sub>, (4)CdS<sub>0.52</sub>Se<sub>0.48</sub>, (5)CdSe  
Fig. 15. Photocurrent spectra of CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> thin film annealed at 550℃ (1) CdS, (2)CdS<sub>0.92</sub>Se<sub>0.08</sub>, (3)CdS<sub>0.76</sub>Se<sub>0.24</sub>, (4)CdS<sub>0.52</sub>Se<sub>0.48</sub>, (5)CdSe

엑시톤 A<sub>2</sub> 봉우리 위치 2.4479eV는 507nm (2.4454eV) 봉우리와 0.0025 eV의 오차 범위에서 일치하므로 293K 일때 광전류 507nm (2.4454eV) 봉우리는 자유 엑시톤 A<sub>2</sub> 봉우리임을 알 수 있다. CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub>, CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>, CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub>에 해당하는 peak 들은 가전자대 Γ<sub>9</sub>(A)에서 전도대 Γ<sub>7</sub> 으로 들뜬 전자들에 의한 photocurrent peak들로 생각되며 CdSe 박막은 가전자대 Γ<sub>7</sub>(B)에서 전도대 Γ<sub>7</sub>으로 들뜬 전자에 의한 photocurrent peak 들로 생각되어진다.

표 2. CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막의 광전류 봉우리 에너지와 미세구조

Table 2. Photocurrent peak energy and fine structure of CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> thin film

CdS <sub>1-x</sub> Se <sub>x</sub>	P.C Peak Position		Fine structure of Photocurrent
	(nm)	(eV)	
CdS	507	2.4454	free exciton A <sub>2</sub>
CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	576	2.1525	Γ <sub>9</sub> (A)→Γ <sub>7</sub>
CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	607	2.0425	Γ <sub>9</sub> (A)→Γ <sub>7</sub>
CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	626	1.9805	Γ <sub>9</sub> (A)→Γ <sub>7</sub>
CdSe	710	1.7462	Γ <sub>7</sub> (B)→Γ <sub>7</sub>

4. 감도(γ)

CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 광전도 셀을 350℃에서 650℃까지 열처리하여 쪼이는 조명의 세기를 2 lx에서 1000 lx까지 변화하면서 측정된 셀의 저항값들의 관계를 알아보고 그 중 550℃에서 열처리한 셀의 감도를 그림 16에 보였다. 또한 셀의 감도와 pc/dc값은 표 3에 모았다. 그림 16과 표 3에서 보는 바와 같이 550℃로 열처리한 셀의 감도가 CdS는 0.42, CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub>는 0.77, CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>는 0.62, CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub>는 0.59, CdSe는 0.39로 가장 좋았다. 또한 광전도 셀의 광전류 (pc) 대 암전류(dc) 의 비 pc/dc 값도 550℃에서 열처리한 시료에서 CdS는 3×10<sup>4</sup>, CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub>는 2.5×10<sup>5</sup>, CdS<sub>0.54</sub>Se<sub>0.46</sub>는 2.4×10<sup>5</sup>, CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub>는 1.36×10<sup>5</sup>, CdSe는 2.4×10<sup>4</sup>로 가장 크게 나타났다. 550℃로 열처리한 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 셀의 감도가 가장 큰것이 0.77, pc/dc값이 가장 큰것이 ~10<sup>5</sup>배 정도로 측정되어 좋은 광전도체로써 이용 가능성이 고찰되었다.

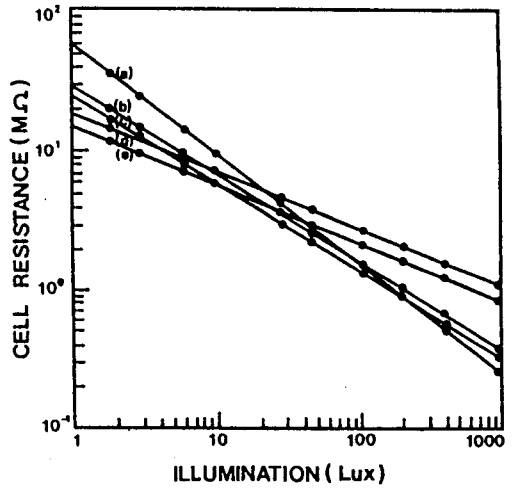


그림 16. 550℃에서 열처리한 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막의 조명 세기 대 셀의 저항 특성 (a)CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub>, (b)CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>, (c)CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub>, (d)CdS (e)CdSe

Fig. 16. Cell resistance vs. illuminance characteristics of CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> thin film annealed at 550℃ (a)CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub>, (b)CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub>, (c)CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub>, (d)CdS (e)CdSe

5. 최대 허용 소비 전력

550℃로 N<sub>2</sub> 분위기에서 열처리한 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막의 공급 전압과 빛 조사에 의한 전류 관계를 그림 17, 18, 19, 20, 21에 보였다. 그림 17의 CdS 광전도 셀에 조도 500 lx, 800 lx 및 1000 lx로 고정하고 공급 전압을 1V 에서부터 점점 증가시킬때 500 lx일때는 88V, 800 lx 일때는 60V, 1000 lx 일때는 45V 이내에서 선형을 유지하여 최대 허용 소비 전력은 118mW임을 알 수 있었다.

CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub> 광전도 셀은 그림 18에서 보는 바와 같이 최대 허용 소비전력은 295mW, CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> 광전도 셀은 그림 19에서 보는 바와 같이 최대 허용 소비 전력은 256mW, CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> 광전도 셀은 그림 20에서 보는 바와 같이 최대 허용 소비 전력은 215mW, CdSe 광전도 셀은 그림 21에서 보는 바와 같이 최대 허용 소비전력은 106mW였다. 소비전력이 크다는 것은 회로에 연결할때 공급 전압을 더 증가하여도 빛을 받아 흐르는 전류가 선형으로 유지되는 구간이 커서 이용범위가 큰것을 의미한다.



표 3. CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 셀의 감도와 pc/dc 값  
Table 3. Sensitivity and pc/dc of CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> cells

Ann. Temp.( °C)	CdS <sub>1-x</sub> Se <sub>x</sub>	cell Resistance(Ω)		Sensitivity(γ)	pc/dc
		10 Lx	1000 Lx		
350	CdS	70.8M	35.4M	0.15	3.21 × 10 <sup>0</sup>
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	23.8M	10.1M	0.19	5.55 × 10 <sup>0</sup>
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	19.1M	18.2M	0.01	4.32 × 10 <sup>0</sup>
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	15.8M	7.1M	0.17	3.34 × 10 <sup>0</sup>
	CdSe	41.1M	33.6M	0.04	2.42 × 10 <sup>0</sup>
400	CdS	12.4M	4.8M	0.21	7.51 × 10 <sup>0</sup>
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	10.9M	2.8M	0.29	2.59 × 10 <sup>1</sup>
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	7.6M	2.1M	0.28	2.23 × 10 <sup>1</sup>
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	4.7M	1.5M	0.24	1.63 × 10 <sup>1</sup>
	CdSe	11.6M	9.9M	0.03	8.32 × 10 <sup>0</sup>
450	CdS	4.4M	1.5M	0.23	1.62 × 10 <sup>1</sup>
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	14.5M	2.2M	0.41	8.31 × 10 <sup>1</sup>
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	9.1M	2.4M	0.32	6.52 × 10 <sup>1</sup>
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	6.8M	1.8M	0.29	5.48 × 10 <sup>1</sup>
	CdSe	3.1M	1.3M	0.19	3.00 × 10 <sup>1</sup>
500	CdS	3.7M	1.1M	0.26	7.78 × 10 <sup>2</sup>
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	12.4M	1.6M	0.45	1.44 × 10 <sup>3</sup>
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	8.1M	2.2M	0.28	1.36 × 10 <sup>3</sup>
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	5.6M	1.7M	0.26	5.65 × 10 <sup>2</sup>
	CdSe	2.9M	0.9M	0.25	2.31 × 10 <sup>2</sup>
550	CdS	10.4M	1.5M	0.42	2.35 × 10 <sup>1</sup>
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	11.2M	0.3M	0.77	2.51 × 10 <sup>2</sup>
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	10.1M	0.5M	0.62	2.43 × 10 <sup>2</sup>
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	6.8M	0.4M	0.59	1.36 × 10 <sup>2</sup>
	CdSe	6.5M	1.1M	0.39	2.49 × 10 <sup>1</sup>
600	CdS	5.6M	1.2M	0.33	9.6 × 10 <sup>2</sup>
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	16.1M	1.8M	0.48	2.98 × 10 <sup>3</sup>
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	28.9M	3.8M	0.44	1.91 × 10 <sup>3</sup>
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	12.4M	2.9M	0.32	9.83 × 10 <sup>2</sup>
	CdSe	7.1M	1.9M	0.28	7.29 × 10 <sup>1</sup>
650	CdS	7.4M	2.8M	0.21	1.18 × 10 <sup>0</sup>
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	19.8M	3.9M	0.35	3.47 × 10 <sup>0</sup>
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	10.9M	4.1M	0.21	3.49 × 10 <sup>0</sup>
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	9.2M	3.4M	0.22	2.15 × 10 <sup>0</sup>
	CdSe	5.6M	3.6M	0.10	1.79 × 10 <sup>0</sup>

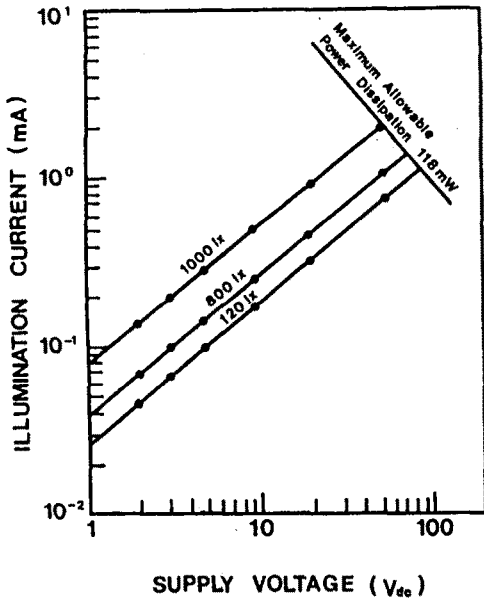


그림 17. 550°C에서 열처리한 CdS 박막의 인가 전압 대 빛 조사에 의한 전류 특성  
 Fig. 17. Illumination current vs. voltage characteristics of CdS thin film annealed at 550°C

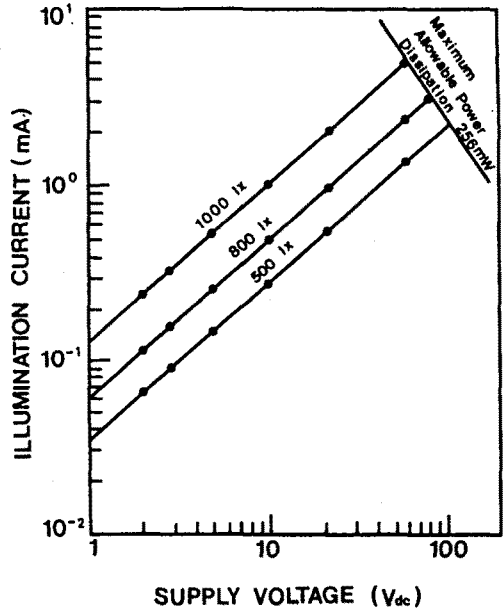


그림 19. 550°C에서 열처리한 CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> 박막의 인가 전압 대 빛 조사에 의한 전류 특성  
 Fig. 19. Illumination current vs. voltage characteristics of CdS<sub>0.46</sub>Se<sub>0.54</sub> thin film annealed at 550°C

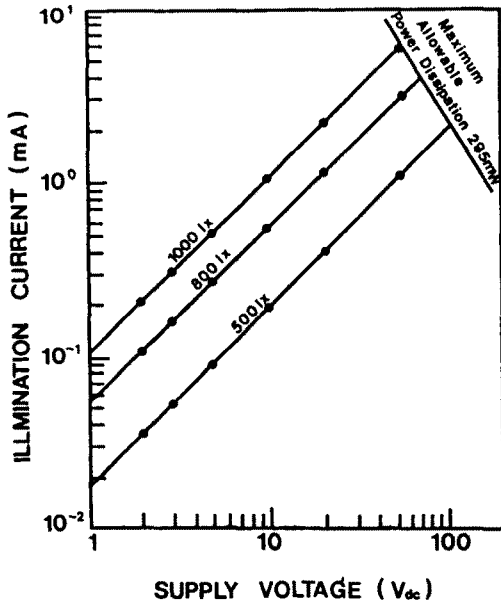


그림 18. 550°C에서 열처리한 CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub> 박막의 인가 전압 대 빛 조사에 의한 전류 특성  
 Fig. 18. Illumination current vs. voltage characteristics of CdS<sub>0.62</sub>Se<sub>0.38</sub> thin film annealed at 550°C

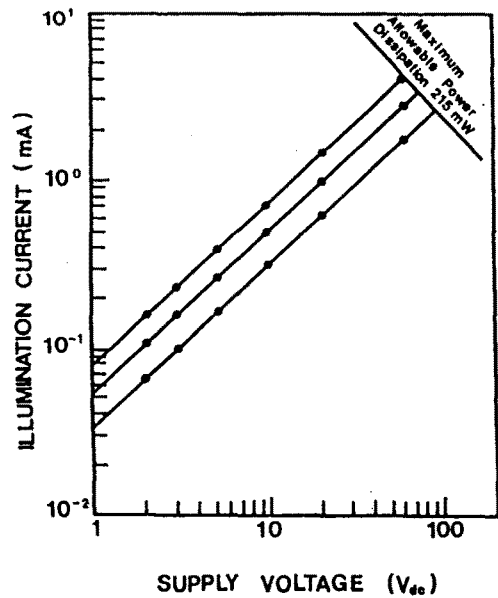


그림 20. 550°C에서 열처리한 CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> 박막의 인가 전압 대 빛 조사에 의한 전류 특성  
 Fig. 20. Illumination current vs. voltage characteristics of CdS<sub>0.32</sub>Se<sub>0.68</sub> thin film annealed at 550°C

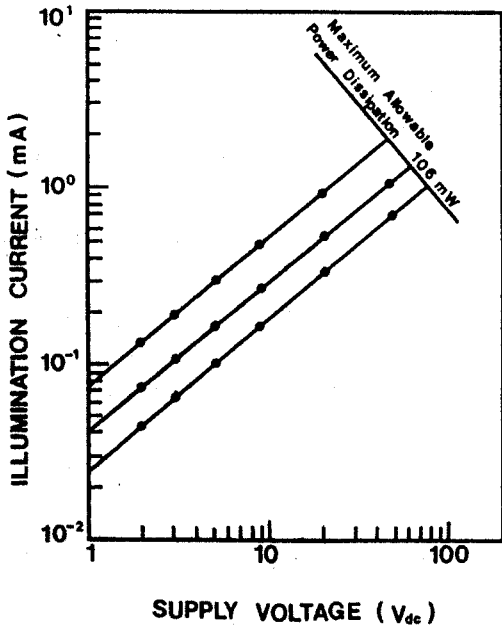


그림 21. 550°C에서 열처리한 CdSe 박막의 인가 전압 대 빛 조사에 의한 전류 특성

Fig. 21. Illumination current vs. voltage characteristics of CdSe thin film annealed at 550°C

6. 응답 시간

응답 시간은 광전도 셀에 빛이 조사된 후 전류의 최대값의 63%가 될때까지 요구되는 시간 (오름시간) 과 빛이 제거된 후 최대값의 37%로 감소하는데 걸리는 시간 (내림시간)으로 구분된다. 이 내림시간을 운반자의 수명이라 한다. CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막 광전도 셀을 350°C에서 650°C까지 열처리하여 100 lx 빛을 쬐일때의 응답시간을 오름시간과 내림시간으로 하고 표 5에 보였다.

응답시간은 오름시간(rise time)과 내림시간(decay time) 모두 20~30ms정도면 무난한데 이러한 응답시간은 빛의 세기와 부하 저항, 박막 생성 조건, 주변 온도 등 여러 조건과 관계한다.

CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 박막 셀을 550°C로 열처리하여 측정된 응답시간이 가장 빠르게 나타났다.

IV. 결 론

CBD 방법으로 CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 다결정 박막을 성장하여 열처리 온도에 따라 광전도 셀의 기본 물성과 특성을

표 5. CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> 셀의 응답 시간  
Table 5. Response time of CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> cell

Annealing Temp (°C)	CdS <sub>1-x</sub> Se <sub>x</sub>	100 lx	
		Rise Time (ms)	Decay Time (ms)
350	CdS	135.4	124.7
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	123.1	105.5
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	152.5	138.8
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	132.8	148.6
	CdSe	167.9	158.2
400	CdS	118.3	112.9
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	104.7	90.1
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	114.6	102.5
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	127.8	101.1
	CdSe	120.5	111.4
450	CdS	81.1	76.0
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	68.9	67.4
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	77.6	73.0
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	90.1	75.9
	CdSe	71.9	72.3
500	CdS	65.6	61.3
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	49.8	55.2
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	61.1	58.3
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	74.3	57.1
	CdSe	84.6	78.4
550	CdS	49.1	45.7
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	38.5	33.8
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	30.3	34.5
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	48.0	50.2
	CdSe	61.6	65.1
600	CdS	99.1	83.4
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	46.2	48.3
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	79.1	63.8
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	97.3	80.8
	CdSe	100.7	95.2
650	CdS	122.6	96.3
	CdS <sub>0.62</sub> Se <sub>0.38</sub>	94.8	81.5
	CdS <sub>0.46</sub> Se <sub>0.54</sub>	101.1	95.3
	CdS <sub>0.32</sub> Se <sub>0.68</sub>	135.2	124.7
	CdSe	127.4	131.5

조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.  $CdS_{1-x}Se_x$  박막의 열처리 온도에 따른 X-선 회절 무늬로부터  $550^\circ C$  일때 열처리 최적 조건임을 알았고 외삽법으로 구한 CdS 격자 상수는  $a_0=4.1364 \text{ \AA}$ ,  $c_0=6.7129 \text{ \AA}$  였으며 CdSe 격자상수는  $a_0=4.3021 \text{ \AA}$ ,  $c_0=7.0142 \text{ \AA}$  였다. EDS 로부터 구한  $CdS_{1-x}S_x$  결정계 화학적 조성은  $CdS_{0.7}Se_{0.3}$ 은  $CdS_{0.62}Se_{0.38}$ ,  $CdS_{0.5}Se_{0.5}$ 은  $CdS_{0.46}Se_{0.54}$ ,  $CdS_{0.3}Se_{0.7}$ 은  $CdS_{0.32}Se_{0.68}$ 로 성장되었음을 알 수 있었다.

2.  $CdS_{1-x}Se_x$  박막의 Hall effect를 293K 에서 33K 까지 온도 변화를 주면서 측정 한 결과 n형 반도체임을 알 수 있었다. In n 대 ( $1/T$ )에서 구한 활성화 에너지  $E_a$ 는 CdS인 경우 0.79eV,  $CdS_{0.46}Se_{0.54}$  인 경우 0.46eV, CdSe 인 경우 0.04eV 로 측정되었다.

3. spectral response를 상온에서 측정 한 결과 CdS 는 엑시톤 A,  $CdS_{0.62}Se_{0.38}$ ,  $CdS_{0.46}Se_{0.54}$ ,  $CdS_{0.32}Se_{0.68}$ 은 가전자대  $\Gamma_9(A)$ 에서  $\Gamma_7$  으로 들뜬 전자들에 의한 광전류 봉우리들로 생각되며, CdSe는 가전자대  $\Gamma_7(B)$ 에서  $\Gamma_7$ 으로 들뜬 전자에 의한 광전류 봉우리들로 생각되어진다.

4.  $CdS_{1-x}Se_x$  박막은 응용 소자인 photo cell로 사용할 수 있는 암 전류 (dc)와 광전류의 비(pc/dc) 값이 가장 큰 시료는  $550^\circ C$ 에 열처리한 시료로  $\sim 10^3$ 배 정도이며, 또한  $550^\circ C$  열처리 한 셀의 감도가 CdS 인 경우 0.42,  $CdS_{0.62}Se_{0.38}$ 인 경우 0.77,  $CdS_{0.46}Se_{0.54}$ 인 경우 0.62,  $CdS_{0.32}Se_{0.68}$ 인 경우 0.59, CdSe 인 경우 0.39로 가장 좋았다.

5. 최대 허용 소비 전력(M.A.P.D.) 값은  $550^\circ C$ 에서 열처리한 CdS 광전도 셀은 118.mW,  $CdS_{0.62}Se_{0.38}$  광전도 셀은 295mW,  $CdS_{0.46}Se_{0.54}$  광전도 셀은 256mW,  $CdS_{0.32}Se_{0.68}$  광전도 셀은 215mW, CdSe 광전도 셀은 106mW 였다. 또한  $550^\circ C$ 로 열처리한 셀의 응답 시간이 가장 빠르게 나타났다.

본 논문은 1993년 조선대학교 학술연구비와 1993년 상공자원부 공업기반기술과제연구비 일부 지원에 의해서 연구출판되었음.

## Reference

- [1] R. H. Bube, Photoconductivity of Solids, Wiley, New York, pp. 22-28, 1960
- [2] T. J. Coutts, Active and Passive Thin Film Device, Academic, London, pp. 487-594, 1978
- [3] W. Budde, Physical Dectors of Optical Radiation, Academic, New York, pp. 215-224, 1983
- [4] Hamamatsu, Hamamatsu Photonics K.K, Hamamatsu, p. 8, 1987
- [5] R. H. Bube, "Infrared quenching and a unified description of photoconductivity phenomena in cadmium sulfide and selenide", Phys. Rev., Vol. 99, pp. 1105-1116, 1955
- [6] A. Kunioka and Y. Sakai, Solid-stae Electron, Pergamon, Oxford, p. 8 & 961, 1965
- [7] A. Smith, "Thickness dependence of structural and electrical properties of CdS film for solar cells", J. Vac. Sc. Technol., Vol. 15, No. 2, pp. 353-358, 1987
- [8] K. K. Muravyeva, I. P. Kalin Kinm, V. B. Aleakovsky and I. N. Anikin, "Epitaxial growth of  $A^{II}B^{VI}$  type compounds under quasi-equilibrium conditions", Thin Solids Films, Vol. 10, pp. 355-362, 1972
- [9] 신 영진, 양 동익, 정 태수, 신 현길, 유 기수, 김택성, 강 석일, 유 평렬, 홍 광준, 최 용대, "II-VI 족 화합물 반도체의 결정 성장과 센서 개발: CdS, CdSe(I)", 새물리, 제 30권, 제 4호, pp. 376-382, 1980
- [10] J. W. Orton, B. J. Goldsmith, J. A. Chapman and M. J. Powell, "The mechanism of photoconductivity in polycrystalline cadimum sulfide layers". J. Appl. Phys., Vol. 53, pp. 1602-1614, 1982
- [11] B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, Addison-Welsey, Chap.11, 1978
- [12] H. Fujita, "Hall effect of Photoelectrons in Cadmium Sulfide," J. Phys. Soc. Japan. Vol. 20, PP. 109-122, 1965
- [13] B. Ray. II-VI Compounds, Pergamon, Oxford, Chap.3, 1969

[14] B. Segall and D. T. F. Marple, in Physics and Chemistry of II-VI Compounds, Edited by

M. Aven. and J. S. Prener, North-Holland Amsterdam, Chap.7, 1969

著 者 紹 介

홍 광 준

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01 p.10 참조.  
현재 조선대학교 물리학과 부교수



최 승 평

1943년 8월 18일생. 1966년 6월 조선대학교 물리학과 졸업 (이학사). 1977년 2월 고려대학교 대학원 졸업 (이학석사). 1988년 2월 충남대학교 대학원 졸업 (이학박사). 1980년 8월 ~ 1981년 8월

미국 Missouri - Columbia 대학교 문교부 파견교수. 1970년 4월 ~ 현재 조선대학교 물리학과 교수. 주관심 분야 : 응용물리(전자 세라믹)

이 상 열

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01. P10 참조.  
현재 조선대학교 물리학과 교수

유 상 하

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01. P10 참조.  
현재 조선대학교 물리학과 교수



신 용 진

1955년 11월 24일생. 1981년 9월 고려대학교 물리학과 졸업 (이학사). 1987년 1월 New York University, New York 졸업 (이학석사). 1990년 6월 Polytechnic university, New York 졸업 (이학박사).

1994년 3월 ~ 현재 조선대학교 물리학과 전임강사. 주관심분야 : 고분자 물리

서 상 석

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01. P10 참조.  
현재 조선대학교 물리학과 박사과정

김 해 숙

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01. P10 참조.  
현재 조선대학교 물리학과 박사과정

윤 은 희

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01. P10 참조.  
현재 조선대학교 물리학과 박사과정

신 영 진

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-15. P115 참조.  
현재 전북대학교 물리학과 교수

정 태 수

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-15. P115 참조.  
현재 전북대학교 물리학과 강사

신 현 길

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-15. P115 참조.  
현재 전북대학교 물리학과 강사

김 태 성

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-15. P115 참조.  
현재 전북대학교 대학원 물리학과 박사과정

문 종 대

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01. P10 참조.  
현재 동신대학교 물리학과 조교수

전 승 봉

『센서학회지 제2권 제1호』 논문 93-01. P10 참조.  
현재 동아전문대학 전기과 전임강사.