

## HWE 방법에 의한 CdS 박막의 성장과 광전도 특성

홍광준, 이상열, 유상하, 신용진, 이관교, 서상석, 박중윤, 김승욱, 정준우, 신영진\*, 김택성\*, 정태수\*, 신현길\*, 문종대\*\*, 김혜숙\*\*\*

조선대학교 물리학과, 광주, 501-759

\* 전북대학교 물리학과, 전주, 560-756

\*\* 동신대학교 물리학과, 나주, 520-714

\*\*\* 금성 환경전문대학, 나주, 523-930

## Growth of CdS thin film using hot wall epitaxy method and their photoconductive characteristics

K.J. Hong, S.Y. Lee, S.H. Yoo, Y.J. Shin, K.K. Lee, S.S. Suh, J.Y. Park, S.U. Kim, J.W. Jeong, Y.J. Shin\*, T.S. Kim\*, T.S. Jung\*, H.K. Shin\*, J.D. Moon\*\* and H.S. Kim\*\*\*

*Department of Physics, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea*

*\* Department of Physics, Jeonbuk University, Jeonju 560-756, Korea*

*\*\* Department of Physics, Dongshin University, Naju 520-714, Korea*

*\*\*\* Kumsung Environment College, Naju 523-930, Korea*

요 약 HWE 방법으로 CdS 박막을 quartz plate 위에 성장하였다. CdS 박막을 성장할 때 증발원과 기관의 온도를 각각 590°C, 400°C로 하였고 성장된 두께는 2.5  $\mu\text{m}$ 였다. 성장된 CdS 박막의 X-선 회절 무늬로부터 외삽법에 의해 구한 a와 c는 각각 4.137 Å과 6.713 Å인 육방정 계임을 알았다. Van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 운반자 농도와 이동도의 온도 의존성을 연구하였다. 이동도는 30 K에서 200 K까지는 piezoelectric 산란에 기인하고, 200 K에서 293 K까지는 polar optical 산란에 의하여 감소하였다. 광전도 셀의 특성으로 spectral response, 최대 허용 소비전력 (MAPD), 광전류와 암전류비 (pc/dc), 및 응답시간을 측정하였다. Cu 증기 분위기에서 열처리한 광전도 셀의 경우  $\gamma=0.99$ ,  $\text{pc/dc}=9.42 \times 10^6$ , MAPD : 318 mW, rise time 10 ms, decay time 9 ms로 가장 좋은 광전도 특성을 얻었다.

**Abstract** The CdS thin films are grown on quartz plate by hot wall epitaxy. The source and substrate temperature is 590°C and 400°C respectively, and the thickness of the film is 2.5  $\mu\text{m}$ . Using extrapolation method of X-ray diffraction patterns for the CdS thin film, it was found hexagonal structure whose lattice constant  $a$  and  $c$  were 4.137 Å and 6.713 Å, respectively. Hall effect on this sample was measured by the method of van der Pauw and studied on carrier density and mobility depending on temperature. From Hall data, the mobility was likely to be decreased by piezoelectric scattering in the temperature range 30 K to 200 K and by polar optical scattering in the temperature range 200 K to 293 K. In order to explore the applicability as a photoconductive cell we measured the sensitivity ( $\gamma$ ), the ratio of photocurrent to darkcurrent (pc/dc), maximum allowable power dissipation (MAPD), spectral response and response time. The results indicated that for the samples annealed in Cu vapor the photoconductive characteristics are the best. Then we obtained the sensitivity of 0.99, the value of pc/dc of  $9.42 \times 10^6$ , the MAPD of 318 mW, and the rise and decay time of 10 ms and 9 ms, respectively.

## 1. 서 론

CdS는 상온에서 띠틈간격이 2.42 eV인 직접 에너지 띠틈간격을 갖는 고감도 광전도체로서 태양전지의 광투과층 물질로 각광을 받고 있으며 광전도 셀로 연구가 활발하게 되어 왔다[1-4].

CdS 박막은 진공증착법[5], e-beam 증착법[6], HWE(hot wall epitaxy)[7], spray법[8] 등에 의한 증착과 인쇄/소결, 용액증착법 등으로 제조될 수 있다.

이 방법 가운데 HWE 방법은 증발원의 물질을 직접 가열하여 기체상태로 기관에 도달하고 응집되어 막이 성장되도록 하는 방법인데 열역학적 평형상태에 가까운 조건하에서 결정을 성장시키므로 양질의 박막을 만들 수 있고, 시료의 손실을 줄일 수 있으므로 대량으로 생산할 수 있다는 장점이 있다. HWE 방법에 의한 CdS 박막의 성장은 Müller[9] 등에 의해서 보고 된 것이 있으나 Cd, S, Cu, 공기, 진공 분위기에서 열처리한 CdS

광전도 셀에 대한 연구는 되지 않았다.

본 연구에서 HWE 방법으로 CdS 박막을 quartz plate에 성장시켜 X-선 회절 무늬를 측정하여 결정구조를 밝히고, van der Pauw 방법으로 Hall effect를 측정하여 carrier 농도와 이동도의 온도 의존성을 연구하였다. 또한 광전도 셀로서의 응용성을 알아보고자 Cd, S, Cu, 공기, 진공 분위기에서 열처리한 셀의 스펙트럼 응답, 10 lx와 1000 lx 사이의 감도(sensitivity :  $\gamma$ ), 최대 허용 소비전력(maximum allowable power dissipation : MAPD), 광전류(pc)와 암전류(dc)의 비 pc/dc 및 응답시간(오름시간, 내림시간)을 측정하였다.

## 2. 실 험

### 2.1. CdS 박막 성장

CdS 박막을 Fig. 1과 같이 진공조 속의

hot wall 전기로와 기관으로 구성된 HWE 방법을 사용하여 성장하였다. 전기로는 직경 0.9 mm 칸탈선을 직경 35 mm의 석영관에 감아 만들었으며, 전기로 둘레의 열 차폐원통은 스텐레스를 쓰지 않고, 열효율을 높이기 위해 석영관에 금을 증착하여 사용하였다. 증발원은 Aldrich사 순도 5 N의 CdS 분말을 사용하였으며, 기관으로 사용된 quartz plate (1 cm×1 cm)는  $(K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4)$  용액속에 24시간 동안 담그고 중성세제와 증류수로 세척한 후 건조시켰다. 박막 성장은 세척된 기관과 증발원을 HWE 장치 속에 넣고 내부의 진공도를  $10^{-6}$  torr로 충분히 배기시킨 후 기관에 흡착된 불순물을 제거하기 위하여, 계속 배기하면서 기관의 온도를 600°C 15분간 가열한 후, CdS 증발원의 온도를 590°C, 기관의 온도를 400°C로 하여 0.5  $\mu\text{m}/\text{hr}$  성장 속도로 성장하였다.

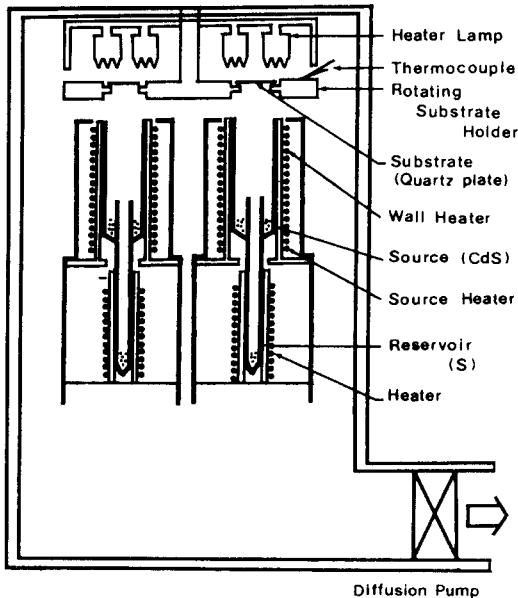


Fig. 1. Block diagram of the hot wall epitaxy system.

## 2.2. 결정구조

HWE 방법으로 성장된 CdS 박막의 결정구조와 격자상수를 확인하기 위해서 X-선 회절 장치(Rigagu-Denki, D-3F)를 사용하여 회절무늬를 기록하였다. 이 때 X-선은 Cu-K $\alpha$ 인 파장 1.542 Å을 사용하였다.

## 2.3. Hall 효과

Hall 효과를 측정하기 위해 저온장치 속에 셀을 고정하고 셀에 인가된 전기장에 수직으로 2 KG의 전자석을 놓고 셀의 온도를 293 K에서 30 K까지 변화시키면서 van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하였다.

## 2.4. 광전도 특성

스펙트럼 응답을 측정하기 위해 광전도 셀에 직류 전원을 연결하여 단색광을 조사하면서 나오는 광전류를 lock-in-Amp(PAR, 5280)로 증폭하고 X-Y기록계(MFE, 815 M)로 기록하였다. 이때 할로겐 램프(650 W)에서 나오는 빛을 light chopper(PAR, 19)를 거쳐 monochromater(Jarrel Ash, 82-020, 0.5 m)로 분광하여 단색광으로 사용하였다. 광전도 셀의 감도는 조도에 따른 셀의 저항 변화로써 텅스텐 램프를 광원으로하여 조도를 10 lx에서 1000 lx까지 변화시켜 셀의 저항을 멀티미터(philips, PM2528)로 측정하였다. pc/dc 비를 구하기 위해 광전류와 암전류는 3000 lx와 0 lx 상태에서 1.5 V의 인가전압을 가하여 흐르는 전류를 측정하였다. 최대 허용 소비전력을 측정하기 위해 조도를 300, 500, 800 lx로 고정시킨 후 공급전압을 1 V에서 점점 증가시켜 빛 조사에 의한 전류대 전압 특성의 선형이 편향되어

나타날 때까지 증가시킨다. 이때 조도는 조도계(HS, HS-LA)로 측정하고 전류는 멀티미터(philips, PM2528)로 측정하였다.

응답 시간을 측정하기 위하여 광원인 텅스텐 램프에서 나오는 빛을 light chopper를 거쳐 셀에 조사하였고, 흐르는 광전류를 오실로스코프(GS, 7040A)에 연결하여 시간에 따라 변화하는 광전도도의 변화를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 결정 구조

HWE 방법으로 증발원과 기판의 온도를 각각 590, 400℃로 하고 quartz plate 위에 2.5 μm의 두께로 성장한 CdS 박막의 X-선 회절 무늬를 Fig. 2에 보였다. Fig. 2의 회절 무늬로부터 (hkil)값은 면 간격에 의한 θ값이 JCPDS(joint committee on powder diffraction standards)와 일치하는 값들이어서 hexagonal로 성장되었음을 알 수 있다. 격자상수 a와 c값을 결정하기 위하여 면간격 d

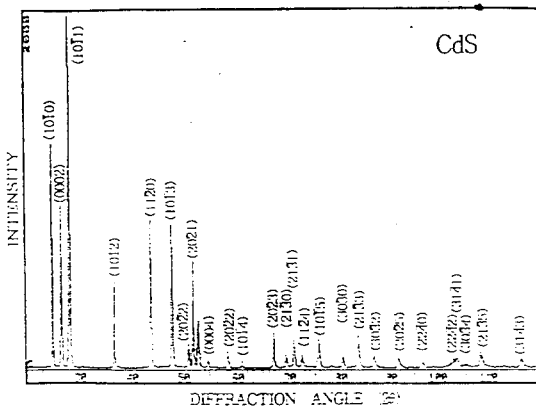


Fig. 2. X-ray diffraction pattern of CdS thin film.

와 Miller 지수 hkl, 격자상수 a, c와의 관계식

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

으로 부터 각 면에서 a와 c값을 먼저 구하고 이 값들을 측정한 회절각 θ에 대하여 Nelson-Riley 관계식

$$f(\theta) = K \left( \frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right)$$

을 이용하여 외삽법[10]으로 구한 a와 c값은 각각 4.137 Å과 6.713 Å였다. 또한 Laue 배면 반사법으로 Laue 반점을 얻으려 시도했으나 반점을 얻을 수 없었다. 따라서 HWE 방법으로 성장한 CdS 박막은 다결정 상태임을 알 수 있었다.

#### 3.2. Hall 효과

HWE 방법으로 성장한 CdS 박막의 Hall 효과를 van der Pauw 방법으로 293 K에서 30 K까지 온도를 변화시켜 가면서 측정하여 table 1에 보였다. 이 때 Hall 계수들이 음의 값이어서 n형 반도체임을 알 수 있었다. 전하농도와 Hall 이동도의 온도의존성을 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 보였다. Fig. 3의 ln 대(1/T)에서 구한 활성화 에너지는 0.51 eV였고, Fig. 4로부터 Hall 이동도는 Fujita[11] 등의 결과와 같이 30 K에서 200 K까지는 piezoelectric 산란에 따라 감소하고, 200 K에서 293 K까지는 polar optical 산란에 따라 감소하였다.

#### 3.3. 투과 곡선

HWE 방법으로 성장한 CdS 박막의 투과 곡선은 Fig. 5에 보였다. 각 온도마다 수직선

Table 1

Resultant analysis on Hall effect CdS thin film grown by HWE

Temperature (K)	Carrier density $n$ ( $m^{-3}$ )	Hall coefficient $R_H$ ( $m^3/c$ )	Conductivity $\sigma$ ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ )	Hall mobility $\mu$ ( $m^2/v\text{-sec}$ )
293	$6.99 \times 10^{23}$	$-9.18 \times 10^{-6}$	152.32	$1.49 \times 10^{-2}$
270	$5.51 \times 10^{23}$	$-1.24 \times 10^{-6}$	185.62	$1.99 \times 10^{-2}$
250	$4.70 \times 10^{23}$	$-1.47 \times 10^{-5}$	177.91	$2.45 \times 10^{-2}$
230	$4.04 \times 10^{23}$	$-1.70 \times 10^{-5}$	179.66	$3.95 \times 10^{-2}$
200	$3.55 \times 10^{23}$	$-1.93 \times 10^{-5}$	180.56	$3.38 \times 10^{-2}$
180	$3.17 \times 10^{23}$	$-2.15 \times 10^{-5}$	167.45	$3.52 \times 10^{-2}$
150	$2.86 \times 10^{23}$	$-2.38 \times 10^{-5}$	152.03	$3.57 \times 10^{-2}$
130	$2.61 \times 10^{23}$	$-2.61 \times 10^{-5}$	139.80	$3.58 \times 10^{-2}$
100	$2.40 \times 10^{23}$	$-2.83 \times 10^{-5}$	131.64	$3.70 \times 10^{-2}$
77	$2.23 \times 10^{23}$	$-3.06 \times 10^{-5}$	127.75	$3.86 \times 10^{-2}$
50	$1.94 \times 10^{23}$	$-3.51 \times 10^{-5}$	119.29	$4.17 \times 10^{-2}$
30	$1.73 \times 10^{23}$	$-3.97 \times 10^{-5}$	116.48	$4.19 \times 10^{-2}$

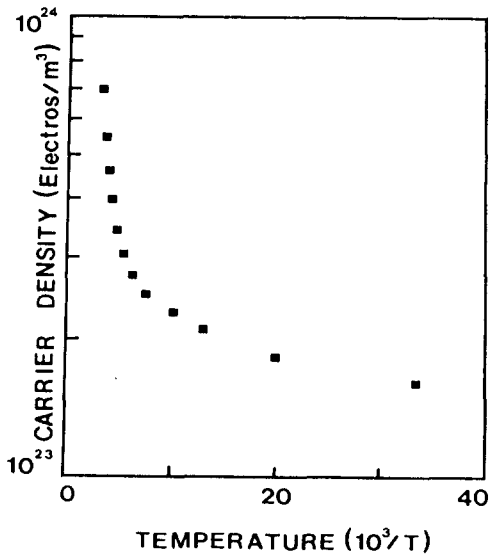


Fig. 3. Carrier concentration as a function of reverse temperature in CdS thin film.

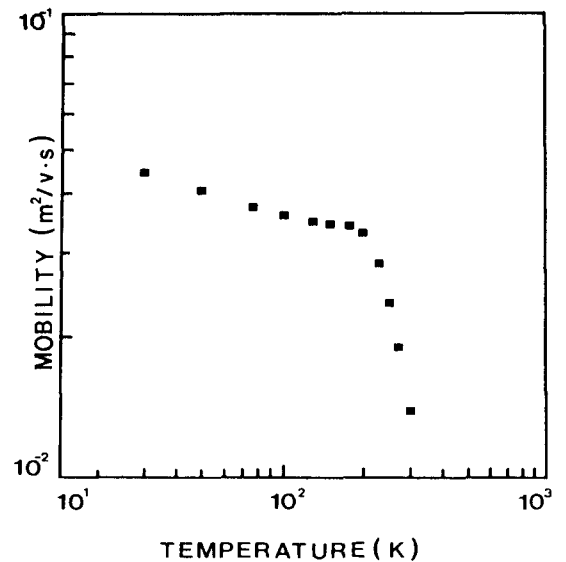


Fig. 4. Variation of mobility with temperature in CdS thin film.

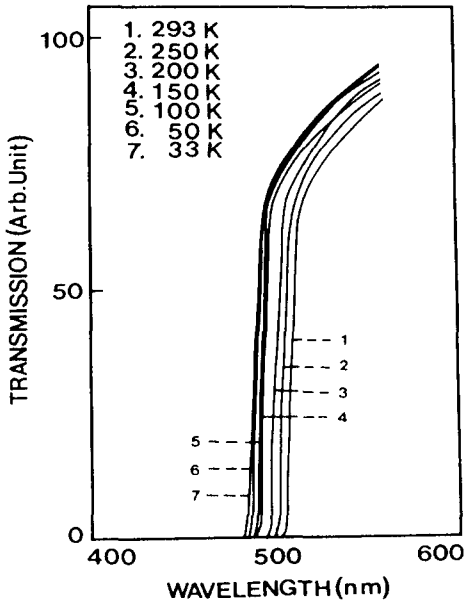


Fig. 5. Transmission spectra of CdS thin film.

과 파장축과의 교점을 투과단으로 보았다. 온도 변화에 따른 투과단의 위치를 광전류 봉우리의 위치와 비교하기 위해 Table 2에 보였다. 이 투과단은 광학적 흡수단과 같이 가전자대  $\Gamma_9(A)$ 에서 전도대  $\Gamma_7$ 로 들뜬 전자

에 기인한 것으로 고찰된다.

### 3.4. 스펙트럼 응답

투과 곡선을 측정한 시료를 사용해서 293 K에서 30 K 사이의 광전류 스펙트럼을 측정하여 Fig. 6에 보였다. 단파장대의 광전류 봉우리 위치를 투과단과 비교하기 위해 Table 2에 보였다. 투과단은 광학적 흡수단과 같으므로[12] Fig. 5의 투과단은 그 온도에서의 CdS 박막의 흡수단이 투과단과 같게 되어, Fig. 5의 투과단의 에너지들은 CdS 결정의 가전자대  $\Gamma_9(A)$ 와 전도대  $\Gamma_7$  사이의 띠간격임을 알 수 있다. Table 2에서 293 K일 때 508 nm(2.4406 eV)는 다음과 같이 분석할 수 있다. 293 K일 때 506 nm(2.4502 eV)는 가전자대  $\Gamma_9(A)$ 에서 전도대  $\Gamma_7$ 으로 들뜬 전자에 기인하는 봉우리이다. Excitation의 결합 에너지는 0.029 eV[13]이므로  $n=1$ 일 때 free excitation  $A_1$  봉우리는 2.4212 eV(2.4502 - 0.029)인 곳에, free excitation  $A_2$  봉우리는 2.4430 eV(2.4502 - 0.029/2<sup>2</sup>)인 곳에 위치한다. Excitation  $A_2$  봉우리 위치 2.4430 eV는

Table 2  
Comparison of position of transmission edge and photocurrent

Temperature (K)	Transmission edge pc peak position				Fine structure of photocurrent peak	Error (eV)
	(nm)	(eV)	(nm)	(eV)		
293	506	2.4502	508	2.4406	free excitation $A_2$	0.0037
250	502	2.4698	503	2.4648	free excitation $A_3$	0.0017
200	496	2.4996	497	2.4946	$\Gamma_7(C) \rightarrow \Gamma_7$	0.0050
150	492	2.5200	486	2.5511	$\Gamma_7(B) \rightarrow \Gamma_7$	0.0031
100	490	2.5302	485	2.5563	$\Gamma_7(B) \rightarrow \Gamma_7$	0.0026
50	487	2.5458	483	2.5669	free excitation $B_3$	0.0026
30	485	2.5563	481	2.5776	free excitation $B_2$	0.0021

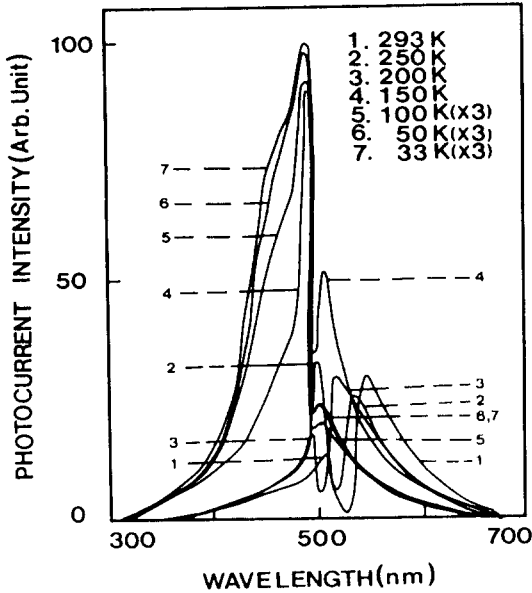


Fig. 6. Photocurrent spectra of CdS thin film.

Table 2에 있는 508 nm(2.4406 eV) 봉우리와 0.0037 eV의 오차범위에서 일치하므로 293 K일 때 광전류 508 nm(2.4406 eV) 봉우리는 free excitation A<sub>2</sub> 봉우리임을 알 수 있다.

250 K일 때 503 nm(2.4648 eV) 광전류 봉우리는 위에서 언급한 분석에 의해 free excitation A<sub>3</sub>로 0.0017 eV 오차범위에서 일치하였으며 200 K 이하일 때도 동일한 방법으로 광전류 미세구조를 분석하였다.

#### 4. 광전도 셀 특성

##### 4.1. 감도(γ)

광전도 셀의 감도(sensitivity)는 광전도면에 입사하는 조명의 세기와 셀의 출력 사이의 관계이다. 감도는 빛을 쪼일 때의 전류와

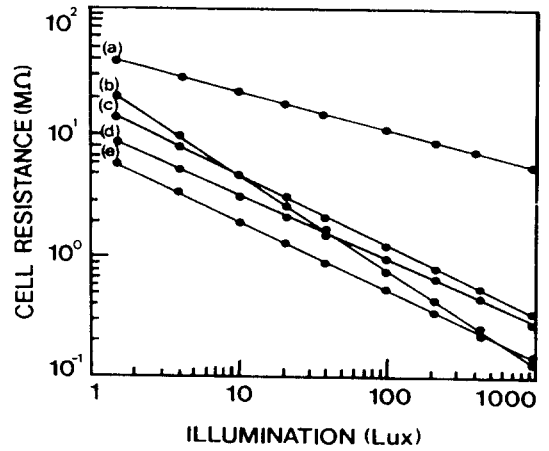


Fig. 7. Cell resistance vs. illumination characteristics of CdS thin film. (a) vacuum, (b) Cu, (c), S (d), Cd and (e) air.

셀의 저항에 의해 표현될 수 있으며 셀의 저항으로 표시하는 것이 관례이다. Tungsten lamp를 광원으로 하여 조도를 10 lx에서 1000 lx까지 변화시켜 셀의 저항 변화를 측정하였고, 조도와 저항과의 관계에서 선형의 구배를 γ characteristic이라 부르며

$$\gamma_{10}^{1000} = \tan \theta = \frac{\log R_{10} - \log R_{1000}}{\log 1000 - \log 10}$$

로 나타낸다. 단, R<sub>10</sub>와 R<sub>1000</sub>은 조도를 10 lx와 1000 lx로 쪼일 때 셀의 각각의 저항 값이다.

쪼이는 조명의 세기를 10 lx에서 1000 lx까지 변화하면서 측정한 셀의 저항값들의 관계는 Fig. 7에 보였다. Fig. 7에서 (a) vacuum, (b) Cu, (c) S, (d) Cd, (e) air 분위기에서 열처리한 CdS 시료의 조도에 따른 셀의 저항 변화를 나타낸 성분이다. 이때 γ값은 각각 (a) 0.38, (b) 0.99, (c) 0.84, (d) 0.74, (e) 0.90으로 Cu 증기 분위기에서 열처리한 셀의 감도가 가장 좋았으며 0.8 이상

이면 실용화가 가능하다.

열처리 조건은 Cu 증기압이  $10^{-8}$  torr에서  $900^{\circ}\text{C}$ 로 3시간, Cd 증기압이  $10^{-6}$  torr에서  $400^{\circ}\text{C}$ 로 30분 및 S 증기압이  $10^1$  torr에서  $750^{\circ}\text{C}$ 로 30분, 진공중에서  $600^{\circ}\text{C}$ 로 1시간, 공기중에서  $300^{\circ}\text{C}$ 로 30분 동안 열처리 하였을 때 특성이 가장 좋아 광전도 측정 셀로 사용하였다.

4.2 최대 허용 소비전력 (MAPD)

광전도 셀에 일정한 세기의 빛을 쬐이고 직류인가 전압을 변화시킬 때 흐르는 전류 (illumination current)와의 관계가 선형으로 유지된다. 공급 전압을 1 V에서부터 점점 증가시킬 때 선형을 이루다가 편향되기 시작된다. 이와같이 선형이 편향되기 직전의 값을 mW로 표시하여 최대 허용 소비전력이라 한다. Cu 증기 분위기에서 열처리한 CdS 박막의 공급 전압과 빛 조사에 의한 전류의 관계를 Fig. 8에 보였다. 조도를 300, 500 및 800 lx로 고정하고 공급 전압을 1 V에서 점점 증가시킬 때 300 lx는 100 V, 500 lx일 때는 71 V, 800 lx일 때는 53 V 이내에서 선형

을 유지하여 최대 허용 소비전력은 318 mW임을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 구한 S, Cd 증기 분위기 및 공기, 진공 분위기에서 열처리한 시료의 최대 허용 소비전력은 각각 184 mW, 106 mW, 245 mW, 18 mW로 Cu 증기 분위기에서 열처리한 시료의 MAPD가 가장 크게 나타났다. 소비전력이 크다는 것은 회로에 연결할 때 공급전압을 더 증가해도 빛을 받아 흐르는 전류가 선형

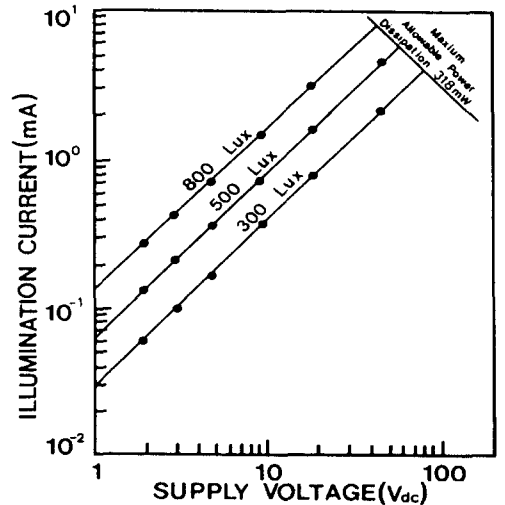


Fig. 8. Illumination current vs voltage characteristics of CdS thin film annealed in Cu vapour.

Table 3

Comparison of darkcurrent with photocurrent of CdS thin film grown by HWE method annealed in Cd, S, Cu atmosphere and vacuum (light intensity : 3000 lx)

Sample	Darkcurrent (A)	Photocurrent (A)	Ratio (pc/dc)
CdS	$1.87 \times 10^{-3}$	$2.30 \times 10^{-3}$	$1.23 \times 10^0$
CdS : Air	$8.34 \times 10^{-6}$	$6.40 \times 10^{-1}$	$7.67 \times 10^4$
CdS : Vacuum	$6.35 \times 10^{-3}$	$2.22 \times 10^{-1}$	$3.50 \times 10^1$
CdS : Cd	$7.28 \times 10^{-5}$	$3.37 \times 10^{-2}$	$4.63 \times 10^2$
CdS : S	$6.37 \times 10^{-6}$	$1.35 \times 10^{-1}$	$2.12 \times 10^4$
CdS : Cu	$1.73 \times 10^{-7}$	$1.63 \times 10^0$	$9.42 \times 10^6$



으로 유지되는 구간이 커서 이용범위가 큰 것을 의미한다.

#### 4.3. pc/dc

Cu, S, Cd, 증기 분위기 및 공기, 진공 분위기에 열처리한 시료에 각각 1.5 V의 전압을 걸고 dark 상태에서 측정된 dark current(dc)와 tungsten filament 전구에서 방출하는 백색광(3000 lx)을 시료에 비추었을 때 나타난 photocurrent(pc)를 측정하여 Table 3에 보였다. Table 3에서 볼 때 darkcurrent에 비해 photocurrent의 비가 가장 큰 것은 Cu 증기 분위기에서 열처리한 경우로 (pc/dc)가  $9.38 \times 10^6$  이어서  $10^5$  이상이면 실용화가 가능하므로 좋은 광전도체로서 이용 가능성이 고찰되었다.

#### 4.4. 응답시간

응답시간은 광전도 셀에 빛이 조사된 후 전류의 peak 값이 63 %가 될 때까지 요구되는 시간(rise time)과 빛이 제거된 후 peak 값의 37 %로 감소하는데 걸리는 시간(decay time)으로 구분한다. 이 decay time을 carrier의 수명이라 한다. CdS는 n형 반도체이므로 들뜬 전자의 수명을 측정해야 한다. HWE로 제작한 CdS 광전도 셀에 10 lx의 빛을 쬐일 때 Table 4에서 보는 바와 같이 응답시간이 가장 빠른 셀은 Cu 증기 분위기에서 열처리한 셀로서 rise time은 10 ms, decay time은 9 ms였으며 그 다음으로 공기 분위기, S 증기 분위기, Cd 증기 분위기, 진공 분위기 순서로 점차 느렸다.

응답시간은 오름시간(rise time)과 내림시간(decay time) 모두가 20 ms 이내 정도면 실용화가 가능한데 이러한 응답시간은 빛의

Table 4

Response time of CdS thin film

Sample	10 lx	
	Rise time (ms)	Decay time (ms)
CdS : Cd	22	20.6
CdS : S	16	12
CdS : Cu	10	9
CdS : air	13	10
CdS : vacuum	33	29.3

세기와 부하저항, 결정생성 조건, 주변 온도 등 여러 조건과 관계한다.

#### 5. 결 론

HWE 방법으로 CdS 박막을 성장하여 Cu, S, Cd 증기 분위기 및 공기, 진공 분위기에 열처리하여 기본 물성과 광전도 셀의 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) CdS 박막의 X-선 회절 무늬로부터 외삽법으로 구한 격자상수는  $a=4.137 \text{ \AA}$ ,  $c=6.713 \text{ \AA}$ 였다.

2) CdS 박막의 Hall effect를 측정한 결과 n형 반도체임을 알 수 있었다.  $\ln n$ 대 ( $1/T$ )에서 구한 활성화 에너지는 0.51 eV로 측정되었다. Hall 이동도는 30 K에서 200 K까지는 piezoelectric 산란에 기인하고 200 K에서 293 K까지는 polar optical 산란에 따라 감소했다.

3) Spectral response를 측정한 결과 상온의 광전류 스펙트럼은 엑시톤 A에 의한 광전류 봉우리로 관찰되었다.

4) CdS 박막의 응용 소자는 photocell로 사용할 수 있는 암전류(dc)와 광전류(pc)의 비(pc/dc) 값이 가장 큰 광전도 셀은 Cu 증기 분위기에서 열처리한 셀로  $9.42 \times 10^6$ 이고, 공기 분위기에서는  $7.67 \times 10^4$ , S 증기 분위기에서는  $2.12 \times 10^4$ , Cd 증기 분위기에서는  $4.63 \times 10^2$  그리고 진공 분위기에서는  $3.5 \times 10^4$ 이었다.

또한 Cu 증기 분위기에서 열처리한 셀의 감도가 0.99로 가장 좋았고, S 증기 분위기에서는 0.84, Cd 증기 분위기에서는 0.74, 공기 분위기에서는 0.90, 진공 분위기에서는 0.38로 측정되었다.

5) 최대 허용 소비전력(MAPD) 값은 Cu 증기 분위기에 열처리한 셀이 318 mW로 가장 좋았고, S 증기 분위기에서는 184 mW, Cd 증기 분위기에서는 106 mW, 공기 분위기에서는 245 mW, 진공 분위기에서는 18 mW로 측정되었다. 또한 Cu 증기 분위기에서 열처리한 셀의 응답시간은 rise time 10 ms, decay time 9 ms로 가장 빠르게 나타났다.

6) HWE 방법으로 CdS 박막을 성장하여 Cu 증기 분위기, 공기 분위기, S 증기 분위기에서 열처리한 셀의 광전도 특성은 소결방법으로 제작한 일본의 Hamamatz[14] 제품과 비교하여 더 나은 특성을 얻었다.

#### 감사의 글

본 논문은 1994년도 조선대학교 학술연구비 지원에 의해서 연구된 논문임.

#### 참고 문헌

- [ 1 ] V. Vincent, Active and Passive Thin Film Device (Academic, London, 1978) p. 487.
- [ 2 ] W. Budde, Physical Dectors of Optical Radiation (Academic, New York, 1983) p. 215.
- [ 3 ] R.H. Bude, Phys. Rev. 99 (1965) 1105.
- [ 4 ] K.L. Chopra and I. kaur, Thin Film Device Applications (Plenum, New york, 1983) Chap. 1.
- [ 5 ] A. Smith, J. Vac. Sc. Technol. 15 (1987) 353.
- [ 6 ] 홍광준 , 신영진, 양동익, 정태수, 신현길, 유기수, 새물리 30(4) (1990) 376.
- [ 7 ] K.K. muravyeva, I.P.K. Kinm, V.B. Aleakvsky and I.N. Anikin, Thin Solids Films 10 (1972) 355.
- [ 8 ] J.W, Orton, B.J. Gold Smith, J.A, Chapman and M.J. Powell., J. Appl. Phys. 53 (1982) 1602.
- [ 9 ] M. Müller, H. Tian, U. Becker, M. Grun and C. Klingshirn, Thin Solid Films 95 (1991) 199.
- [10] B.D. Cullity, Elements of X-ray Diffractations (Addson-welsey. 1978) Chap. 11.
- [11] H. Fujita, J. Phys. Soc. 20 (1965) 109.
- [12] Y.J. Shin and S.K. Kim, Phys. Rev. B44 (1991) 5522.
- [13] B. Ray, II - VI Compounds (Pergamon., Oxford, 1969) Chap. 3.
- [14] Hamamatsu, Hamamatsu Photonics (1987) 8.