

논문 93-01

CBD 방법에 의한 CdS 박막의 성장과 광전도 특성

홍광준*, 이상열*, 유상하*, 서상석°, 문종대**, 신영진°, 정태수°°
 신현길°, 김택성°, 송정훈***, 유기수°°°

Growth of Thin Film Using Chemical Bath Deposition Method and Their Photoconductive Characteristics

K.J. Hong, S.Y. Lee, S.H. You, S.S. Suh, J.D. Moon, Y.J. Shin
 T.S. Jeoung, H.K. Shin, T.S. Kim, J.H. Song, and K.S. Rheu

요 약

Chemical bath deposition 방법으로 다결정 CdS 박막을 세라믹 기판 위에 성장시킨 다음 온도를 변화시켜 열처리하고 X-선 회절무늬를 측정하여 결정구조를 밝혔다. 550°C로 열처리한 시료의 경우 X-선 회절무늬로부터 외삽법에 의해 a_0 와 c_0 는 각각 4.1364 Å과 6.7129 Å인 육방정계임을 알았다. 이 때 낱알크기는 약 0.35μm이었다. Van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 운반자 농도와 이동도의 온도의존성을 연구하였다. 이동도는 33 K에서 150 K까지는 압전산란에 의하여, 150 K에서 293 K까지는 극성광학산란에 의하여 감소하는 경향을 나타냈다. 광전도 셀의 특성으로 스택트럼 응답, 감도(γ), 최대허용소비전력 및 응답 시간을 측정하였다.

Abstract

Polycrystalline CdS 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 polycrystal structure. Using extrapolation method of X-ray diffraction patterns for the CdS samples annealed in N₂ gas at 550°C it was found hexagonal structure whose lattice constants a_0 and c_0 were 4.1364 Å and 6.7129 Å, respectively. Its grain size was about 0.35 μm. Hall effect on this sample was measured by Van der Pauw method and studied on carrier density and mobility depending on temperature. From Hall data, the mobility was likely to be decreased by piezo electric scattering at temperature range of 33K and 150K and by polar optical scattering at temperature range of 150K and 293K. We measured also spectral response, sensitivity (γ), maximum allowable power dissipation and response time on these samples.

- * 正會員: 朝鮮大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Chosun Univ.)
- 朝鮮大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Chosun Univ.)
- ** 正會員: 동신大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Dongshin Univ.)
- 正會員: 全北大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Jeonbuk Nat'l Univ.)
- *** 全北大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Jeonbuk Nat'l Univ.)
- 全北地方工業技術院
(National Industrial Technology Institute of Jeonbuk)
<접수일자: 1993년 2월 1일>
- ※ 본 논문은 1992년도 상공부 생산기술연구원 후원의 일부로 연구·출판되었음.

I. 서 론

CdS는 II-W족 화합물로 상온에서 띠틈폭이 2.42 eV인 직접 전이형 반도체이며 고감도의 광전도체로 CdS/CdTe,^[1] CdS/Cu₂S^[2]와 CdS/CuInSe₂^[3]의 태양전지의 광투과층 물질로 각광을 받고 있으며 광전도 셀^[4]로 연구되어 왔다. CdS 광전도 셀은 PN 접합형이 아닌 덩어리(bulk) 효과를 이용한 소자로 그 용도는 카메라의 노출계, 전자적인 카메라 셔터, 디지털 시계의 자동조광기, 서보 볼륨 조절장치, 가스나 오일 버너의

불꽃 모니터와 광전 릴레이를 비롯한 가로등 자동 점멸기 등에 다양하게 사용된다.

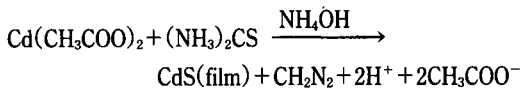
다결정 CdS 박막은 진공증착^[5], 전자살증착^[6], hot-wall 에피택시^[7], 스프레이법^[8,9] 등에 의한 증착과 인쇄/소결^[10], 용액증착법^[11] 등으로 제조될 수 있다. 이 방법 가운데 용액증착법인 chemical bath deposition (CBD) 방법은 제조공정이 간단하고 넓은 면적으로 제작하기 용이하고 화학당량적 조성을 만족하며 재현성을 높이는 잇점이 있다.

본 연구에서는 CBD 방법으로 제작한 CdS 광전도 셀의 SEM 사진 및 X-선 회절기로 낱알 크기 및 결정구조를 확인하고, 반도체로서의 수송현상을 보기 위해 Hall 효과를 Van der Pauw 방법으로 측정하여 운반자 농도, 이동도 및 비저항을 측정하였다. 또한 광전도 셀의 특성을 알아보고자 인듐으로 전극을 증착하고 단색광을 조사하여 스펙트럼 응답을 측정하고, 10lx와 1000lx 사이의 감도(sensitivity: γ), 최대허용 소비전력(maximum allowable power dissipation: MAPD), 광전류(pc)와 암전류(dc)의 비 pc/dc 값, 응답시간(오름시간, 내림시간)을 측정하였다.

II. 실험

1. CdS 박막 성장

CBD 방법으로 CdS 박막을 성장하기 위하여 Cd(CH₃COO)₂ 1M 수용액(Hayashi, 특급), (NH₃)₂CS 1M 수용액(순정화학, 30% 특급), NH₄OH 수용액과 증류수를 비이커에 넣고, 교반기(Corning, PC-101)로 충분히 교반시켜 수용액을 만들었다. 세라믹 기판을 비이커에 수평으로 놓고 증탕기 속에 넣어 95°C로 가열하면 황갈색의 CdS 박막이 성장되는데 화학반응식은 다음과 같다.



이렇게 성장한 박막을 질소 분위기에서 350°C에서 50°C 간격으로 650°C까지 1시간 동안 열처리한 후 인듐으로 전극을 증착하고 그 위에 카본 접착물로 전극을 부착하여 광전도 셀을 제작하였다.

2. 결정구조 및 표면형상

CBD 방법으로 성장된 CdS 다결정 박막의 결정구

조와 격자상수를 확인하기 위해서 X-선 회절 장치(Rigaku-Denki, D-3F)를 사용하여 회절무늬를 기록하였다. 이 때 X-선은 Cu K α 인 파장 1.542Å을 사용하였다. 또한 성장된 다결정 박막의 표면 형상을 보기 위해 SEM 장치를 사용하였다. SEM 장치는 Japan Electron Optic Lab. 사의 JSM-35C 주사형 전자현미경이다.

3. Hall 효과

Hall 효과를 측정하기 위해 저온장치 속에 셀을 고정하고 셀에 인가되는 전기장에 수직으로 2 KG의 전자석을 놓고 셀의 온도를 293 K 에서 33 K 까지 변화시키면서 Van der Pauw 방법으로 Hall효과를 측정하였다.^[12]

4. 스펙트럼 응답

광전도 셀 표면에 단색광을 쬐어 흐르는 광전류와 단색광과의 관계를 말하며 광전류 스펙트럼을 말한다. 이러한 스펙트럼 응답은 가시광과 적외선광에 대해 민감하고 넓은 파장분포를 가져야 한다. 스펙트럼 응답을 측정하기 위해 광전도 셀에 D.C. 전원을 연결하여 단색광을 셀에 조사하면서 나오는 광전류를 록인 앰프(PAR, 5208)로 증폭하고 X-Y 기록계(MFE, 815M)로 기록하였다. 이 때 할로겐 램프(650W)에서 나오는 빛을 광 단속기(PAR, 192)를 거쳐 단색화장치(Jarrell Ash, 82-020, 0.5m)로 분광하여 단색광으로 사용하였다. 사용한 회절격자(Jarrell Ash, 82-000 f: 0.5m series)는 1180 grooves/mm($\lambda=190-910\text{nm}$)였다.

5. 감도(γ)

광전도 셀의 감도는 광전도면에 입사하는 조명의 세기와 셀의 출력사이의 관계이다. 감도는 빛을 쬐일 때의 전류와 셀의 저항에 의해 표현될 수 있으며 셀의 저항으로 표시하는 것이 관례이다. 텅스텐 램프를 광원으로 하여 조도를 10 lx에서 1000 lx까지 변화시켜 셀의 저항변화를 멀티미터(philips, PM2528)로 측정하였다. 조도와 저항의 관계에서 선형의 구배를 γ 특성이라고 부르며

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

로 나타낸다. 단, R_a와 R_b는 조도를 a lx와 b lx로 쬐일

때 셀 각각의 저항값이다.

광전류와 암전류의 비 pc/dc 값을 구하기 위해 각 시료에 DC 전원공급장치(ED, 250P)를 사용하여 각각 1.5V의 전압을 걸어, 0 lx(10 lx의 빛을 제거한 뒤 10초 후의 조도로 정의)의 상태에서 암전류를 멀티미터(Philips, PM2528)로 측정하였고, 백색광을 시료에 비추어 광전류를 측정하였다.

6. 최대허용소비전력

광전도 셀에 일정한 세기의 빛을 쬐이고 직류 인가전압을 변화시킬 때, 빛 조사에 의한 전류와 인가전압의 관계가 선형으로 유지된다. 광원으로는 텅스텐 램프를 사용하면서 빛의 조도를 10, 100, 1000 lx로 고정하고, 공급전압을 1V에서부터 증가시킬 때 선형을 이루다가 편향되기 시작한다. 이와같이 선형이 편향되기 직전의 값을 mW로 표시하여 최대허용소비전력(MAPD)이라고 부른다. 이 때 조도는 조도계(HS, HS-LA)로 측정하고 전류는 멀티미터(Philips, PM2528)로 측정하였다.

7. 응답시간

응답시간을 측정하기 위하여 광원인 텅스텐 램프에서 나오는 빛을 단속기를 거쳐 셀에 조사하였고 흐르는 광전류를 오실로스코프(GS, 7040A)에 연결하여 시간에 따라 변하는 광전도도의 변화를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. CdS 박막의 구조 및 표면형상

CBD 방법으로 성장해서 열처리한 CdS 박막의 X선 회절무늬도를 그림 1에 보였다. 열처리하지 않은 시료에서는 (0002)면이 확실히 나타나고 (1120)과 (1004)면은 자리만 잡혀있다. 350°C로 열처리한 시료에서는 (0002)면의 피크 세기가 더 증가하였다. 450°C로 열처리한 시료에서는 (1010), (1011)과 (1120)면의 피크 세기가 크게 나타나고 (1012), (1013), (1015), (2022), (2021), (2023), (2130), (2131), (2133)면 등이 나타나기 시작했다. 550°C로 열처리한 시료에서는 (1010)과 (1011)면의 피크 세기가 더 커지다가 650°C로 열처리한 시료에서는 이 면들의 세

기가 감소하는 경향이 있다. 따라서 550°C로 열처리한 경우가 결정성이 가장 좋은 상태로 보인다. 그림 1의 (hkil)값은 면간격에 의한 θ 값이 ASTM 카아드와 일치하는 값들이어서 육방정계로 성장되었음을 알 수 있고, 외삽법^[13]에 의해 구한 a_0 와 c_0 값은 각각 4.1364 Å과 6.7129 Å이었다. 또한 Laue 배면반사법으로 Laue 반점을 얻으려 시도했으나 반점을 얻을 수 없었다. 따라서 CBD 방법으로 성장한 CdS 박막은 다결정 상태를 알 수 있다.

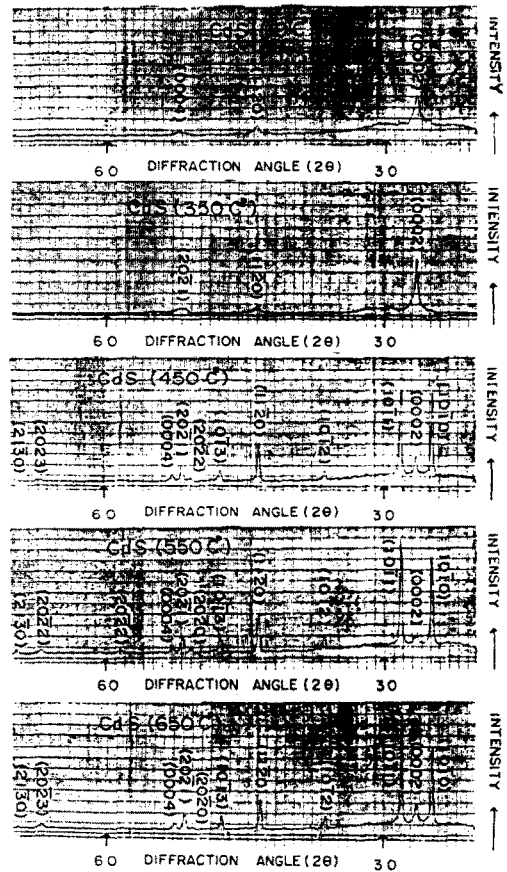


그림 1. 0°C~650°C에서 열처리한 CBD-CdS 박막의 X선 회절무늬도

Fig. 1. X-ray diffraction pattern of CBD-CdS thin film that annealed from 0°C to 650°C.

열처리하지 않은 박막상태와 550°C로 열처리한 CdS 박막의 SEM 사진을 그림 2에서 보였다. 열처리하지 않은 시료의 날알크기는 대략 2.87 μm 정도이며 증량법으로 측정된 박막의 두께와 거의 같았다. 550°C로 열처리한 시료의 날알크기는 3.5 μm 정도임을 알 수

있다. 550°C로 열처리한 후 SEM 사진의 날알크기가 중량법으로 측정된 두께보다 커진 이유는 어느 한 중심으로 응집되어 다결정화되는 부분과 이로 인해서 빈 공간이 생기기 때문인 것으로 생각된다.

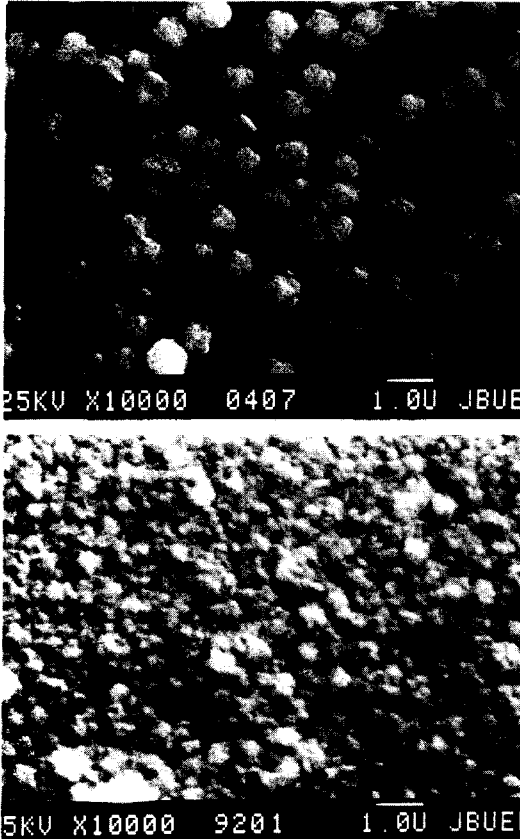


그림 2. CBD-CdS 박막의 표면형상 : 열처리하지 않음(위), 550°C에서 열처리(아래)

Fig. 2. Surface morphology of CBD-CdS thin films : unannealed (up), annealed at 550°C (down).

2. Hall 효과

CBD 방법으로 성장하여 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 있었다. 전하 농도와 Hall 이동도의 온도의존성은 그림 3과 4에 각각 보였다. 그림 3의 n 대 (1/T)에서 활성화에너지는 0.79 eV 정도이고 그림 4로부터 Hall 이동도는 Fujita 등^[14]의 결과와 같이 33 K에서 150 K까지는 앞전산란에 따라 감소하는 경향이 있고, 150 K에서 293 K까지는 극성광학산란에 따라 감

소하는 경향이 있음을 알 수 있다. 표 1에서 전기전도도 σ 값이 거의 일정하여 비저항 ρ 값이 일정함을 알 수 있다. 그러나 운반자농도, Hall 계수 등은 크게 변화함을 알 수 있다.

표 1. CBD-CdS 박막의 Hall 데이터

Table 1. Hall data of CBD-CdS thin film

Temp. (K)	Carrier density $n(m^{-3})$	Hall coefficient $R_H(m^3/C)$	Conductivity $\sigma(\Omega^{-1}m^{-1})$	Mobility $\mu(m^2/V sec)$
293	9.57×10^{22}	6.52×10^{-5}	3.29	2.14×10^{-4}
250	2.39×10^{22}	2.61×10^{-4}	3.11	2.03×10^{-4}
200	1.60×10^{22}	8.48×10^{-4}	3.09	2.62×10^{-3}
150	3.55×10^{21}	1.76×10^{-3}	3.00	5.28×10^{-3}
100	1.57×10^{21}	4.04×10^{-3}	2.95	1.19×10^{-2}
77	1.04×10^{21}	6.00×10^{-3}	2.95	1.77×10^{-2}
50	1.00×10^{21}	5.87×10^{-3}	2.95	1.73×10^{-2}
33	9.97×10^{20}	6.39×10^{-3}	3.04	1.94×10^{-2}

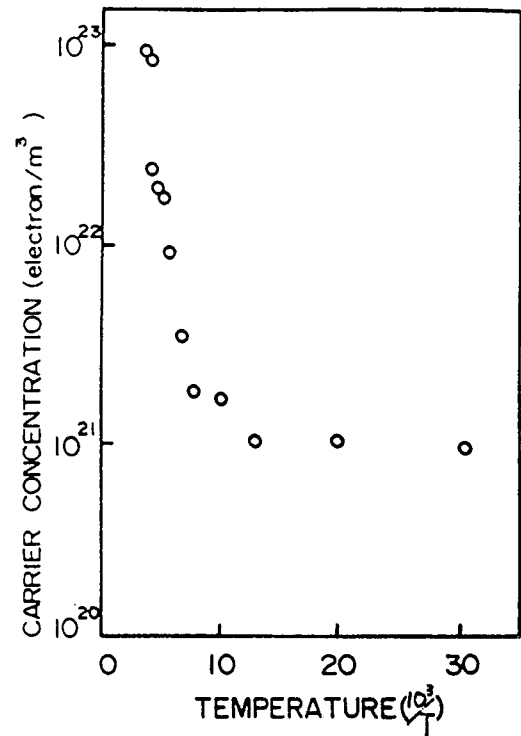


그림 3. CBD-CdS 박막의 온도역수 대 운반자 농도
Fig. 3. Carrier concentration as a function of reverse temperature in CBD-CdS thin film.

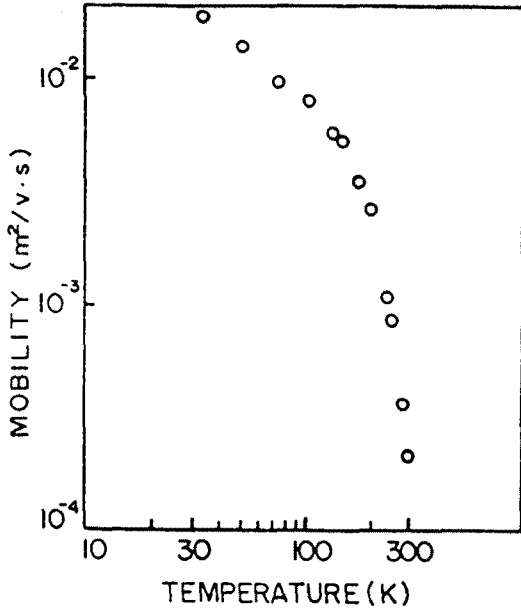


그림 4. CBD-CdS 박막의 온도에 따른 이동도의 변화

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

3. 스펙트럼 응답

CBD 방법으로 세라믹 기판 위에 성장한 CdS 박막의 광전류 스펙트럼을 293 K 에서 33 K 사이에서 측정하여 그림 5에 보였고, 광전류 봉우리 위치를 표 2에 모았다. 그림 5에서 293 K 일 때 507 nm(2.4454 eV)의 봉우리는 다음과 같이 분석할 수 있다. 293 K일 때 505 nm(2.4551 eV) 봉우리는 가전자대 $\Gamma_9(A)$ 에서 전도대 Γ_7 으로 들뜬전자에 기인하는 봉우리이다. 엑시톤의 결합에너지^[15-17]는 0.029 eV이므로 $n=1$ 일 때 자유 엑시톤 A_1 봉우리는 2.4261 eV(2.4551-0.029)인 곳에, 자유 엑시톤 A_2 봉우리는 2.4479 eV(2.4551-0.029/2²)인 곳에 위치할 것이다. 엑시톤 A_2 봉우리 위치 2.4479 eV는 표 2에 있는 507 nm(2.4454 eV) 봉우리와 0.0025 eV의 오차 범위에서 일치하므로 293 K일 때 광전류 507 nm(2.4454 eV) 봉우리는 자유 엑시톤 A_2 봉우리임을 알 수 있다.

그림 5에서 250 K일 때 502 nm(2.4698 eV) 광전류 봉우리는 위에서 언급한 분석에 의거 자유 엑시톤 A_3 로서 0.0017 eV 오차범위에서 일치한다. 200 K일 때 487 nm(2.5459 eV)의 광전류 봉우리는 다음과 같이 설명된다. CdS의 가전자대는 결정장 상호작용 갈라

지기^[15-17] Δ_{cr} 와 스핀-궤도 상호작용 갈라지기^[15-17] Δ_{so} 에 의해 $\Gamma_9(A)$, $\Gamma_7(B)$ 와 $\Gamma_7(C)$ 로 분리되고 $\Gamma_9(A)$ 와 $\Gamma_7(B)$ 사이의 에너지간격이 $\Delta_{cr}=0.027$ eV이고 $\Gamma_7(B)$ 와 $\Gamma_7(C)$ 사이의 에너지 간격이 $\Delta_{so}=0.067$ eV이다. 200K일 때 투과단 (2.4971 eV)^[18]에 Δ_{cr} 와 Δ_{so} 값을 합하면 2.5891 eV이고 이 값은 가전자대 $\Gamma_7(C)$ 에서 전도대 Γ_7 사이의 에너지간격이다. 가전자대 $\Gamma_7(C)$ 에서 Γ_7 로 들뜬전자가 두개의 포논으로서 LO(=0.038 eV) + TA₁(=0.010)를 방출하면 2.5411 eV 봉우리가 관측되어야 한다. 2.5411 eV 봉우리는 200 K 일 때의 487 nm (2.5459 eV) 광전류 봉우리와 0.0048 eV의 오차를 갖고 일치하고 있다.

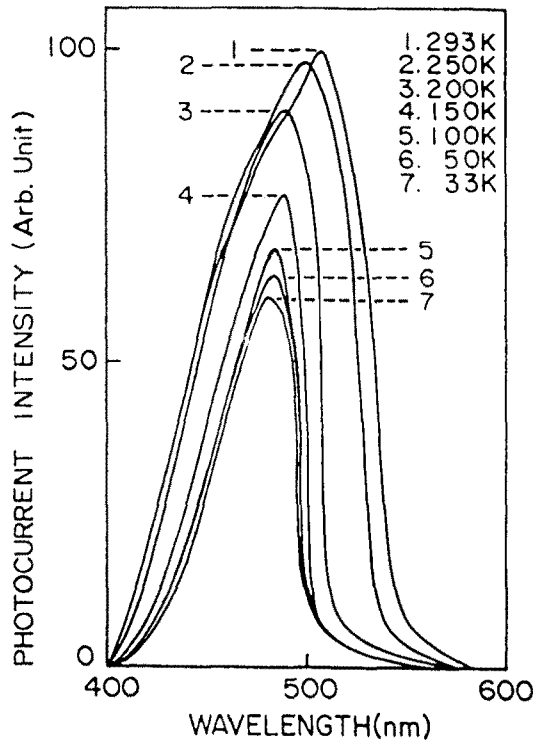


그림 5. 550°C에서 1시간 열처리한 CBD-CdS 박막의 광전류 스펙트럼

Fig. 5. Photocurrent spectra of CBD-CdS thin film annealed at 550°C for an hour.

150 K 일 때 485 nm(2.5564 eV)의 광전류 봉우리는 0.0043 eV 오차범위에서 가전자대 $\Gamma_7(B)$ 의 전자가 전도대 Γ_7 로 들떠 생긴 것으로 고찰된다.

100K 일 때 484 nm(2.561 eV) 광전류 봉우리는 다음과 같이 고찰된다. 489nm(2.5354 eV) 투과단은

가전자대 $\Gamma_9(A)$ 와 전도대 Γ_7 사이의 띠간격이므로 $\Gamma_7(B)$ 와 Γ_7 사이의 띠간격은 $2.5624 \text{ eV} (= 2.5354 + 0.027)$ 이고 $484 \text{ nm} (2.5616 \text{ eV})$ 봉우리와는 0.0008 eV 오차범위에서 일치하며 가전자대 $\Gamma_7(B)$ 의 전자가 전도대 Γ_7 로 들떠 생긴 광전류 봉우리라고 설명할 수 있다. 이와같이 고찰할 때 50 K 와 33 K 의 $482 \text{ nm} (2.5723 \text{ eV})$ 와 $480 \text{ nm} (2.5830 \text{ eV})$ 봉우리는 각각 자유 엑시톤 B_3 와 B_2 봉우리이며 이때 오차는 각각 0.0026 eV 와 0.0017 eV 정도임을 알 수 있다.

표 2. CBD-CdS 박막의 광전류 봉우리 에너지와 미세구조

Table 2. Photocurrent peak energy and fine structures of CBD-CdS thin film

Temp. (K)	PC (nm)	Peak Position (eV)	Fine Structure of Photocurrent Peak	Error (eV)
293	507	2.4454	free exciton A_2	0.0025
250	502	2.4698	free exciton A_3	0.0017
200	487	2.5459	$\Gamma_7(C) \rightarrow \Gamma_7$ (LO + TA ₁) emission	0.0048
150	485	2.5564	$\Gamma_7(B) \rightarrow \Gamma_7$	0.0043
100	484	2.5616	$\Gamma_7(B) \rightarrow \Gamma_7$	0.0008
50	482	2.5723	free exciton B_3	0.0025
33	480	2.5830	free exciton B_2	0.0017

4. 감도(γ)

조도를 10 lx 에서 1000 lx 까지 변화하면서 측정된 셀의 감도와 pc/dc 값을 표 3에 보였다. 열처리 온도가 증가함에 따라 셀의 저항이 증가하며 빛에 대해

표 3. CdS 셀의 감도와 pc/dc값

Table 3. Sensitivity and pc/dc of CdS cell

Annealing Temp. (°C)	Cell Resistance(Ω)		Sensitivity(γ)	pc/dc
	10 lx	1000lx		
300	690k	440k	0.12	2.3×10^0
350	188k	163k	0.04	1.3×10^0
400	110k	84k	0.06	1.7×10^0
450	775k	493k	0.13	2.9×10^0
500	5.8M	1.8M	0.31	1.7×10^1
550	56M	8.6M	0.47	1.8×10^2
600	160M	10.8M	0.61	5.0×10^1
650	982M	218M	0.65	1.0×10^2

민감하게 반응함을 알 수 있다. 650°C 에서 열처리한 경우는 셀의 저항이 너무 크므로 550°C 및 600°C 에서 열처리한 경우의 감도가 0.47, 0.61로써 가장 좋다고 생각된다. pc/dc 값은 550°C 에서 열처리한 경우가 1.8×10^2 으로 가장 크게 나타난다.

5. 최대허용소비전력(MAPD)

열처리 온도를 변화하면서 측정된 CdS 광전도 셀의 공급전압과 빛 조사에 의한 전류의 관계로부터 구한 MAPD 값을 표 4에 보였다. 낮은 온도에서 열처리한 셀의 MAPD 값이 더 크게 나타나고 있다. MAPD가 크다는 것은 회로에 연결할 때 공급전압을 더 증가해도 빛을 받아 흐르는 전류가 선형으로 유지되는 구간이 커서 이용범위가 큰 것을 의미한다. 그러나 낮은 온도에서 열처리한 시료는 감도가 좋지 않으므로 좋은 감도를 가진 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 에서 열처리한 시료에 해당하는 MAPD는 수십 mW의 범위에서 응용성을 가진다.

표 4. CdS 셀의 최대허용소비전력

Table 4. MAPD of CdS cell

Annealing Temp. (°C)	MAPD (mW)
300	53
350	47
400	22
450	59
500	154
550	93
600	42
650	35

6. 응답시간

응답시간은 광전도 셀에 빛이 조사된 후 전류의 최대값의 63%가 될 때까지 요구되는 시간(오름시간)과 빛이 제거된 후 최대값의 37%로 감소하는데 걸리는 시간(내림시간)으로 구분한다. 이 내림시간을 운반자의 수명이라 한다. CdS 박막광전도 셀을 $300 \sim 600^\circ\text{C}$ 에서 열처리하여 100 lx 의 빛을 쬐일 때의 응답시간을 오름시간과 내림시간으로 하여 표 5에 모았다.

표 5. CdS 셀의 응답시간

Table 5. Response time of CdS cell

Annealing Temp.(°C)	100 lx	
	Rise Time(ms)	Decay Time(ms)
300	120	180
350	80	90
400	120	90
450	160	280
500	120	200
550	100	80
600	140	180
650	80	90

IV. 결 론

CBD 방법으로 성장하여 550°C로 열처리한 시료가 X-선 회절무늬로부터 외삽법에 의해 a_0 와 c_0 는 4.1364 Å과 6.7129 Å인 육방정계임을 알았다. 이 때 날알크기는 0.35 μm 정도이었다. Van der Pauw 방법으로 측정한 Hall 데이터로부터 이동도는 33 K 에서 150 K 까지는 압전산란에 의하여, 150 K 에서 293 K 까지는 극성 광학산란에 의하여 감소하는 경향을 나타냈다. 광전류 스펙트럼으로부터 가전자대 $\Gamma_9(A)$ 와 $\Gamma_7(B)$ 에서 전도대 Γ_6 로 들떠서 생긴 광전류 봉우리들이 관측되었다. CBD 방법으로 제작한 CdS 광전도 셀은 as-grown 상태에서의 특성이 시판되는 외국제품과 부분적으로 비슷한 특성을 보이고 있다. 이들 시료들을 Cd-, S-, Se-, Cu- 증기 및 공기, 진공 분위기에서 적당한 온도와 적당한 시간동안 열처리하면 보다 좋은 특성을 가진 광전도 셀이 만들어질 것이라 생각된다.

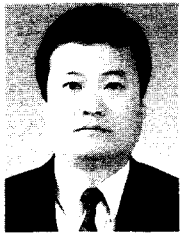
참 고 문 헌

- [1] H. Uda, H. matsumoto, K. Kuribayashi, Y. Komatsu, A. Nakano, and S. Ikegami, "Effect of resistivity of CdS sintered film on photovoltaic properties of screen-printed CdS/CdTe solar cell," *Japan. J. Appl. Phys.*, vol. 22, pp. 1832-1836, 1983.
- [2] T. J. Coutts, Active and passive thin film devices, Academic, London, pp. 487-594, 1978.
- [3] S. A. Al Kuhaimi and S. Bahammam, "All screen-printed CdS/CuInSe₂ solar cells," *Japan. J. Appl. Phys.*, vol. 29, pp. 1499-1503, 1990.
- [4] W. Budde, *Physical Detectors of Optical Radiation*, Academic, New York, pp. 215-224, 1983.
- [5] A. Amith, "Thickness dependence of structural and electrical properties of CdS films for solar cells," *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 353-358, 1978.
- [6] 신영진, 양동익, 정태수, 신현길, 유기수, 김택성, 강석일, 유평렬, 홍광준, 최용대, "II-VI족 화합물 반도체의 결정성장과 센서개발: CdS, CdSe(I)," *새물리*, 제30권, 제4호, pp. 376-382, 1980.
- [7] K. K. Muravyeva, I. P. Kalinkin, V. B. Aleakovsky, and I. N. Anikin, "Epitaxial growth of AⁿB^m type compounds under quasi-equilibrium conditions," *Thin Solids Films*, vol. 10, pp. 355-362, 1972.
- [8] C. H. Wu and R. H. Bube, "Thermoelectric and photothermoelectric effects in semiconductors: cadmium sulfide films," *J. Appl. Phys.*, vol. 45, pp. 648-660, 1974.
- [9] J. W. Orton, B. J. Goldsmith, J. A. Chapman, and M. J. Powell, "The mechanism of photoconductivity in polycrystalline cadmium sulphide layers," *J. Appl. Phys.*, vol. 53, pp. 1602-1614, 1982.
- [10] 김충환, 최병두, 박해용, 안정환, 안재환, 신희균, 임한조, "다결정 CdS 후막의 미세구조 및 전기적 특성," *응용물리*, vol. 4, no. 1, pp. 51-61, 1991.
- [11] H. Uda, S. Ikegami, and H. Sonomura, "Structural and electrical properties of chemical-solution deposited CdS films for solar cells," *Japan. J. Appl. Phys.*, vol. 29, no. 1, pp. 30-33, 1990.
- [12] 신영진, 유평렬, 박원일, 박병호, 전창호, 민한기, 정태수, "ZnS:Mn 형광체의 광발광과 전자선 발광 스펙트럼에 의한 복사전이과정 연구," *새물리*, 제27권, pp. 86-94, 1987.
- [13] B. D. Cullity, *Elements of X-ray diffraction*, Ad-

dison-Wesley, Chap. 11, 1978.

- [14] H. Fujita, "Hall effect of photoelectrons in cadmium sulfide," *J. Phys. Soc. Japan*, vol. 20, pp. 109-122, 1965.
- [15] Y. J. Shin, S. K. Kim, B. H. Park, T. S. Jeong, H. K. Shin, T. S. Kim, and P. Y. Yu, "Photocurrent study on the splitting of valence band for a CdS single crystal platelet," *Phys. Rev. B*, vol. 44, no. 11, pp. 5522-5526, 1991.
- [16] B. Ray, *II-VI Compounds*, Pergamon, Oxford, Chap. 3, 1969.
- [17] 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, 1967.
- [18] K. S. Rheu, Chemical bath deposition 방법에 의한 CdS 박막성장과 특성에 관한 연구, 전북대학교 석사학위논문, Chap. 4, 1991.

著 者 紹 介



홍 광 준

1952년 5월 18일생. 1977년 2월 조선대학교 물리학과 졸업(이학사). 1982년 2월 대학원 졸업(이학석사). 1991년 8월 전북대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사). 1980년 3월~현재 조선대학교 물리학과 부교수. 주관심분야: 고체물리(반도체, 광센서, 태양전지).



이 상 열

1949년 11월 9일생. 1976년 2월 조선대학교 물리학과 졸업(이학사). 1978년 2월 대학원 졸업(이학석사). 1989년 3월~현재 원광대학교 대학원 박사과정 수료. 1978년 3월~현재 조선대학교 물리학과 부교수. 주관심분야: 고체물리(자성체물성).



유 상 하

1952년 4월 11일생. 1978년 2월 조선대학교 물리학과 졸업(이학사). 1980년 2월 대학원 졸업(이학석사). 1990년 3월~현재 원광대학교 대학원 박사과정 수료. 1980년 3월~현재 조선대학교 물리학과 부교수. 주관심분야: 반도체 물리학(광센서).

유 기 수 : 논문 93-15, p.115 참조.
현재 전북지방공업기술원.



서 상 석

1962년 4월 5일생. 1986년 2월 조선대학교 사범대학 물리교육과 졸업(이학사). 1992년 2월 조선대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사). 1993년 3월~현재 조선대학교 대학원 물리학과 박사과정 재학중. 주관심분야: 고체물리(반도체, 광센서, 태양전지).



문 종 대

1958년 3월 9일생. 1985년 2월 조선대학교 문리과대학 물리학과 졸업(이학사). 1987년 2월 조선대학교 대학원 원자력공학과 졸업(공학석사). 1989년 9월~현재 조선대학교 대학원 박사과정 수료. 1991년 9월~현재 동신대학교 물리학과 전임강사. 주관심분야: 반도체, 광센서.

신 영 진 : 논문 93-15, p.115 참조.
현재 전북대학교 물리학과 교수.

정 태 수 : 논문 93-15, p.115 참조.
현재 순천대학교 물리학과 조교.

신 현 길 : 논문 93-15, p.115 참조.
현재 전북대학교 대학원 물리학과 박사과정 재학중.

김 택 성 : 논문 93-15, p.115 참조.

송 정 훈
전북대학교 물리학과 대학원 졸업(이학석사).