

## Hot-Wall Evaporation Technique으로 성장된 CdS 박막의 광전도 셀 특성

신영진 · 정태수 · 신현길 · 김택성 · 정철훈  
이 훈 · 신영신 · 유기수\*

전북대학교 물리학과  
\*전북지방공업기술원  
(1993년 1월 7일 접수)

## Photoconductive Cell Characteristics of CdS Thin Films Grown by Hot-Wall Evaporation Technique

Yeong Jin Shin, Tae Soo Jeong, Hyun Keel Shin, Taek Sung Kim,  
Cheol Hoon Jeong, Hoon Lee, Yeong Shin Shin and Kee Soo Rheu\*

Department of Physics, Jeonbuk National University  
\*National Industrial Technology Institute of Jeonbuk  
(Received January 7, 1993)

**요 약**—Hot-wall evaporation technique으로 세라믹 기판 위에 CdS 박막을 성장하였다. 이 때 증발원과 기판의 온도는 각각 570, 400°C 이고 두께는 3  $\mu\text{m}$ 이었다. 공기 중에서 열처리하여 감도( $\gamma$ ), 광전류와 암전류의 비(pc/dc), 최대허용소비전력(MAPD), spectral response 및 응답시간 등을 측정하였다. 550°C, 30분간 열처리한 경우 가장 좋은 광전도 특성을 얻었으며  $\gamma=0.89$ ,  $\text{pc/dc} \approx 10^4$ , MAPD: 492 mW, rise time이 100 ms, decay time이 260 ms이었다.

**Abstract**—The CdS thin films are grown on ceramic plate by hot-wall evaporation technique. The source and substrate temperature is 570 and 400°C, respectively, and the thickness of the film is 3  $\mu\text{m}$ . 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 at 550°C in air atmosphere for 30 minutes the photoconductive characteristics are the best. Then we obtained the sensitivity of 0.89, the value of pc/dc of about  $10^4$ , the MAPD of 492 mW and the rise and decay time of 100 ms and 260 ms, respectively.

### 1. 서 론

II-VI족 화합물 반도체 가운데 하나인 CdS는 상온에서 에너지 띠간격이 2.42 eV로서 가시영역의 빛을 흡수할 수 있어서 고감도의 광전도 셀로 사용되고 있다[1]. CdS 박막의 성장에는 가열증착, 스퍼터링,

화학증착, spray pyrolysis 등과 같은 증착법[2]이 있다. 가열 증착법에는 다결정 박막을 성장하는 hot-wall evaporation technique (HWET)과 단결정 박막을 성장하는 hot-wall epitaxy(HWE) 방법이 사용되고 있는데 증발원의 물질을 직접 가열하여 기체상태로 기판에 도달하고 응집되어 막이 성장되도록 하는 방

법이다. 또한 열역학적 평형상태에 가까운 조건하에서 결정막을 성장시키므로 양질의 박막을 만들 수 있고 시료의 손실을 줄일 수 있으며 대량으로 생산할 수 있는 장점이 있다[3]. HWET에 의한 CdS 박막의 성장은 Muravyeva[4], Neelkanth[5], Muller[6] 등에 의하여 보고된 것이 있으나 이 방법에 의한 CdS 광전도 셀은 연구되지 않았다.

본 연구에서는 세라믹 기판 위에 CdS 박막을 HWET로 성장하고, 공기 분위기에서 열처리하여 광전도 셀을 제작하였다. 광전도 셀의 특성으로서 감도( $\gamma$ ), 광전류와 암전류의 비(pc/dc), 최대허용소비전력(maximum allowable power dissipation : MAPD), 응답시간 등을 측정하여 문헌에 발표된 외제와의 비교를 시도하였다.

## 2. 실험

HWET에 의한 CdS 박막의 성장에 사용된 장치는 그림 1과 같다. 증발원은 순도 5N인 CdS 분말(Aldrich)을 사용하였으며, 기판으로 사용할 세라믹 판은 중성세제, 트리클로로에틸렌, 아세톤, 메틸알콜, 증류수 등의 순으로 세척한 후 고온에서 순간 건조하였다. 박막성장은 세척된 기판과 증발원을 HWET 장치속에 넣고 내부의 진공도를  $10^{-6}$  torr로 유지하면서 증발원의 온도를  $570^{\circ}\text{C}$ , 기판온도를  $400^{\circ}\text{C}$ 로 하여 박막을 성장하였다. 갖 성장된 박막에 mask를 덮고 인듐을 증착하여 크기가  $8.5 \times 8.5 \text{ mm}^2$ 인 광전도 셀을 제작하였다. 광전도면의 감도를 높이기 위해 공기 중에서  $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ , 10~60분 범위에서 열처리하고 mask를 덮고 인듐을 증착하여 광전도 셀을 제작하였다. 성장된 CdS 박막의 결정구조를 확인하기 위하여 X-선 회절장치(Rigaku-Denki, D-3F)를 사용하였고, 이 때 X-선은 CuK인  $1.542 \text{ \AA}$ 이었다.

광전도 셀의 감도는 조도에 따른 셀의 저항변화로써 tungsten lamp를 광원으로 하여 조도를 0 lx에서 1000 lx까지 변화시켜 셀의 저항변화를 multimeter(Philips, PM2528)로 측정하였다. 이 때 0 lx의 저항값은 10 lx의 빛을 제거하고 10초 후에 측정한 값으로 정의하였다. pc/dc 비를 구하기 위해 광전류와 암전류는 각각 3000 lx와 0 lx일 때 1.5 V의 인가전압을 가하여 흐르는 전류를 측정하였다.

최대허용소비전력(MAPD)을 측정하기 위해 조도를

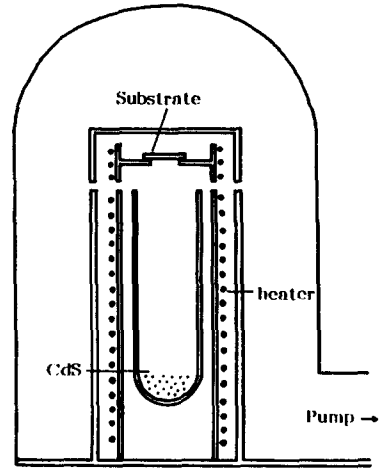


그림 1. Hot-wall evaporation technique 장치의 개략도.

10, 100, 1000 lx로 고정시킨 후 공급전압을 1 V에서부터 점점 증가시켜 illumination current-전압 특성이 선형이 편향되어 나타날 때까지 증가시킨다. 이 때 조도는 조도계(HS, HS-LA)로 측정하고 전류는 multimeter(Philips, PM2528)로 측정하였다.

Spectral response를 측정하기 위해 광전도 셀에 D.C.전원을 연결하여 단색광을 셀에 조사하면서 나오는 광전류를 lock-in amplifier(PAR, 5208)로 증폭하고 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.

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

## 3. 실험결과 및 논의

### 3.1. 결정구조

HWET로 증발원과 기판의 온도를 각각  $570$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ 로 하고 세라믹 기판위에  $3 \mu\text{m}$ 의 두께로 성장한 CdS 박막의 X-선 회절무늬를 그림 2에 보였다. 이 회절무늬로부터 CdS 박막은 wurtzite 구조이며 (00 02)면이 가장 우세하게 성장되었음을 알 수 있다. 이는

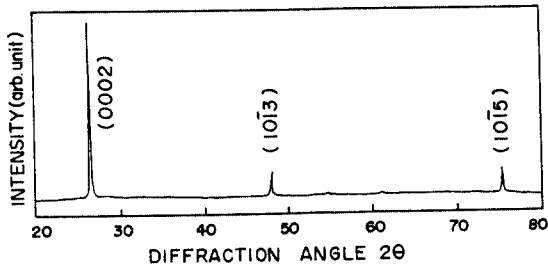


그림 2. Hot-wall evaporation technique으로 성장한 CdS 박막의 X-선 회절 무늬도.

다른 방법에 의하여 CdS 다결정 박막을 유리기판 위에 성장시킬 경우 (0002)면이 나타난 것과 일치한다[7, 8].

### 3.2. 감도( $\gamma$ )

( $\gamma$ )광전도 cell의 감도는 광전도면에 입사하는 조도의 세기와 cell의 출력사이의 관계이다. 감도는 빛을 쏘일 때의 전류와 cell의 저항에 의해 표현될 수 있으며 cell의 저항으로 표시하는 것이 관례이다. 조도와 저항의 관계에서 선형의 구배를  $\gamma$  characteristic이라고 부르며

$$\gamma_{10}^{100} = \tan \theta = \frac{\log R_{10} - \log R_{100}}{\log 100 - \log 10}$$

로 나타낸다[9]. 단,  $R_{10}$ 와  $R_{100}$ 는 조도를 10 lx와 100 lx로 쏘일 때의 cell의 각각 저항값이다. 공기분위기에서 열처리한 광전도 셀의 감도 및 pc/dc를 표 1에 나타내었다. 열처리 하지 않은 경우 감도가 0.37이었으나 550°C에서 열처리한 셀들의 경우 감도가 크게 증가하였다. 이 중에서 550°C, 30분간 열처리한 셀의 pc/dc 값이 가장 크고 셀의 저항값이 그림 3에서와

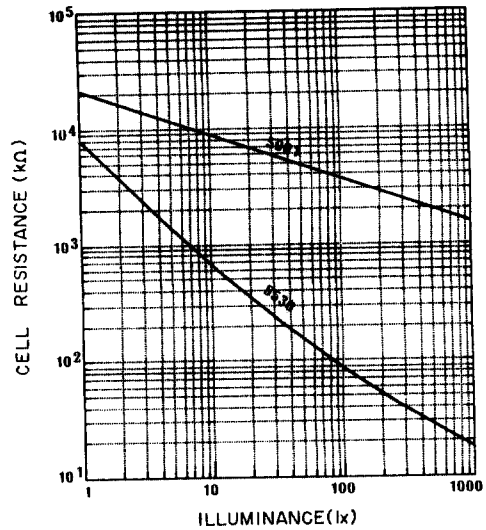


그림 3. CdS 광전도 셀의 조도-저항 특성. 5001: 열처리 하지않은 셀 5530: 공기분위기 550°C, 30분간 열처리한 셀.

같이  $M\Omega$ 에서  $k\Omega$ 으로 변하는 것으로 보아 최적의 열처리 조건으로 생각된다. 550°C, 30분간 열처리한 셀의  $\gamma=0.89$ 로 다른 방법으로 제작한 CdS 광전도 셀[9, 10]과 비교하여 우수한 특성을 보이고 있다.

### 3.3. 최대허용소비전력(MAPD)

광전도 셀에 일정한 세기의 빛을 쏘이고 직류 인가전압을 변화시킬 때 흐르는 전류(illumination current)와의 관계가 선형으로 유지된다. 공급전압을 1V에서부터 점점 증가시킬 때 선형을 이루다가 편향되기 시작한다. 이와같이 선형이 편향되기 직전의 값을 mW로 표시하여 최대허용소비전력이라 한다.

표 1. CdS 박막의 열처리 조건에 따른 감도와 pc/dc 값

Sample No.	Annealing		Cell resistance		$\rho_{10}^{100}$	pc/dc
	Temp.(°C)	Time(min)	10 lx( $\Omega$ )	100 lx( $\Omega$ )		
5001			8.7 M	3.7 M	0.37	$3.1 \times 10^1$
5030	500	30	520 M	210 M	0.39	$1.1 \times 10^2$
5060	500	60	850 M	177 M	0.68	$1.7 \times 10^3$
5510	550	10	2270 M	270 M	0.92	$2.1 \times 10^3$
5530	550	30	0.65 M	84 k	0.89	$2.7 \times 10^4$
5560	550	60	770 M	52 M	1.17	$1.2 \times 10^4$
6010	600	10	3 M	1.5 M	0.30	$6.0 \times 10^1$

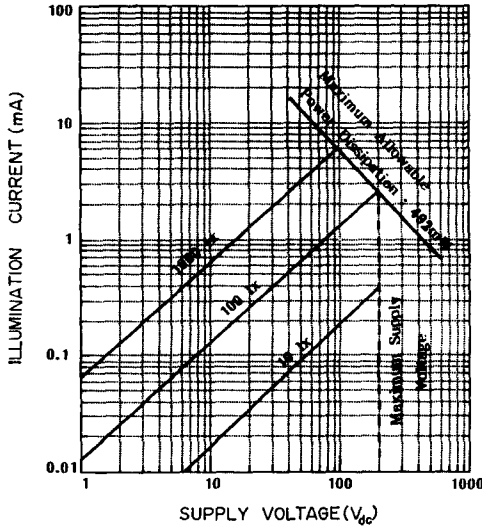


그림 4. CdS 광전도 셀의 전류-전압 특성.

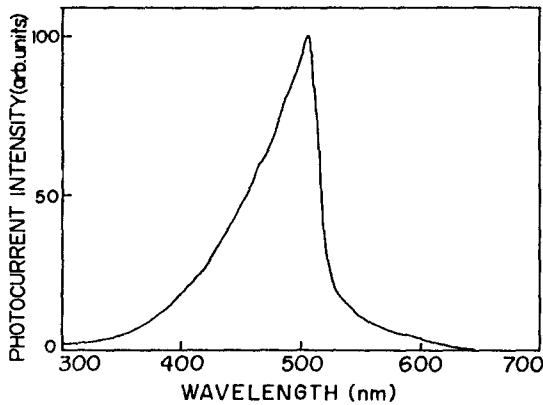


그림 5. CdS 광전도 셀의 분광 감도.

공기분위기 550°C 에서 30분간 열처리한 시료의 공급 전압과 빛 조사에 의한 전류의 관계를 그림 4에 보였다. 조도를 10, 100, 1000 lx로 고정하고 공급전압을 1V에서부터 점점 증가시킬 때 100 lx일 때는 200 V, 1000 lx일 때는 100 V 이내에서 선형을 유지하여 MAPD는 492 mW임을 알 수 있다.

표 2에는 열처리 조건에 따른 각 시료의 MAPD를 보이고 있는데 공기중에서 550°C, 30분간 열처리한 시료의 MAPD가 가장 큰 것을 알 수 있으며 소결 방법으로 제작한 일본의 Hamamatsu 제품보다 더 큰 값을 보이고 있다[10]. 소비전력이 크다는 것은 회

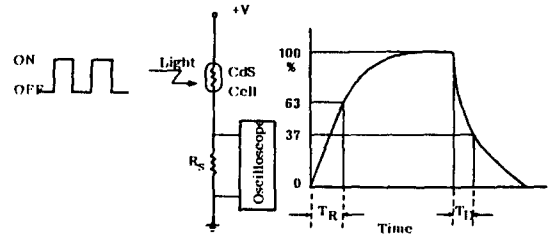


그림 6. CdS 광전도 셀의 응답특성 측정회로.

표 2. 공기분위기에서 열처리 조건에 따른 CdS 박막의 최대허용소비전력

Sample No.	Annealing		MAPD(mW)
	Temp.(°C)	Time(min)	
5001			36
5030	500	30	1.0
5060	500	60	1.4
5510	550	10	1.3
5530	550	30	492
5560	550	60	8.2
6010	600	10	67

로에 연결할 때 공급전압을 더 증가해도 빛을 받아 흐르는 전류가 선형으로 유지되는 구간이 커서 이용 범위가 큰 것을 의미한다.

표 1과 2로부터 550°C 에서 열처리 하였을 때 감도는 실용화 할 수 있는 값[9, 10] 0.80 이상으로 우수하나 MAPD는 30분간 열처리한 셀을 제외하고는 매우 작으므로 좋은 광전도 셀이 아님을 알 수 있다.

### 3.4. Spectral Response

Spectral response는 광전도 셀 표면에 단색광을 쬐어 흐르는 광전류와 단색광과의 관계로서 광전류 spectrum을 말한다. 이러한 spectral response는 가시광에 대해 민감하고 넓은 파장분포를 가져야 한다. 그림 5에 공기 중에서 열처리한 광전도 셀의 spectral response를 보였다. 파장대가 400 nm에서 600 nm로 가시영역에 속하고 있다.

### 3.5. 응답시간

응답시간은 그림 6과 같이 광전도 셀에 빛이 조사된 후 전류의 peak 값이 63%가 될 때까지 요구되는 시간 (rise time)과 빛이 제거된 후 peak 값의 37%로 감

표 3. CdS 박막의 응답시간(10 lx)

Sample No.	Response time(10 lx)	
	Rise time(ms)	Decay time(ms)
5001	200	180
5030	140	80
5060	90	80
5510	160	120
5530	100	260
5560	180	170
6010	120	200

소하는데 걸리는 시간(decay time)으로 구분한다. 이 decay time을 carrier의 수명이라 한다. HWET로 제작한 CdS 광전도 셀에 10 lx의 빛을 쬐일 때의 응답시간을 표 3에 보였다.

#### 4. 결 론

HWET에 의하여 세라믹 기판 위에 CdS 박막을 성장하고 공기 분위기에서 열처리하여 광전도 셀을 제작하였다. 감도, pc/dc, MAPD 및 응답시간 등을 측정된 결과 공기 분위기 550°C, 30분간 열처리 하므로써 외국의 제품과 비교하여 더 나은 특성을 가지는 광전도 셀을 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

1. V. Vincent, in *Active and Passive Thin Film Devices*, edited by T. J. Coutts(Academic, London, 1978), Chap. 9.
2. K. L. Chopra and I. Kaur, *Thin Film Device Applications*(Plenum, New York, 1983), Chap. 1.
3. S. Ignatowicz and A. Kobendza, *Semiconducting Thin Films of A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> Compounds*(Wiley, New York, 1990), pp. 81-85.
4. K. K. Muravyeva, I. P. Kalinkin, V. B. Aleskovsky and I. N. Anikin, *Thin Solid Films* 10, 355 (1972).
5. G. D. Neelkanth and R. P. Nalin, *Thin Solid Films* 60, 257 (1979).
6. M. Muller, H. Tian, U. Becker, M. Grun and C. Klingshirn, *Thin Solid Films* 199, 95 (1991).
7. A. Schmidt, M. Muller, J. Grohs, M. Kunz, A. Dainois and A. K. Kar, *J. Cryst. Growth* 101, 758 (1990).
8. C. Bouchenaki, B. Ullrich and J. P. Zielinger, *J. Cryst. Growth* 101, 797 (1990).
9. W. Budde, *Physical Detectors of Optical Radiation in Optical Radiation Measurements* (Academic, New York, 1983), Vol. 4, Chap. 6.
10. Hamamatsu, *Hamamatsu Photonics K. K.* (Hamamatsu, 1987), p. 8.