

논문 98-7-2-08

승화법에 의한 $\text{CdS}_{0.67}\text{Se}_{0.33}$ 단결정 성장과 광전도 특성

홍광준*, 이상열*

Growth of $\text{CdS}_{0.67}\text{Se}_{0.33}$ single crystal by sublimation method
and their photoconductive characteristics

K.J. Hong*, and S.Y. Lee*

요 약

$\text{CdS}_{0.67}\text{Se}_{0.33}$ 단결정을 승화법으로 성장시켜 Laue 배면 반사법 (back reflection Laue method)으로 결정성과 면의 방향이 (0001)임을 알아보았고, EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer)를 이용하여 조성비가 $\text{CdS}_{0.67}\text{Se}_{0.33}$ 임을 확인하였다. Van der Pauw 법으로 Hall 효과를 측정하여 운반자 농도(carrier density)와 이동도(mobility)의 온도 의존성을 연구하였으며, 이동도는 30 K에서 150 K까지는 불순물에 의한 산란 (impurity scattering)에 기인하고 있으며, 150 K에서 293 K까지는 격자 산란 (lattice scattering)에 따라 감소하였다. 또한 운반자 농도의 $\ln n$ 대 $(1/T)$ 에서 구한 활성화 에너지는 0.21 eV였다. 광전도 셀(cell)의 특성으로 spectral response, 최대 허용 소비전력(maximum allowable power dissipation: MAPD), 광전류와 암전류(photo-current/dark-current: pc/dc) 및 응답시간을 측정하였다. Cu 증기분위기에서 열처리한 광전도 셀의 경우 $\gamma = 0.99$, $\text{pc/dc} = 1.84 \times 10^7$, MAPD : 323mW, rise time : 9.3ms, decay time : 9.7ms로 가장 좋은 특성을 얻었다.

abstract

$\text{CdS}_{0.67}\text{Se}_{0.33}$ single crystal was grown by vertical sublimation method of closed tube physical vapour deposition. The (0001) growth plane of oriented single crystals was confirmed from the back-reflection Laue patterns. From the Hall effects by van der Pauw method, the as-grown $\text{CdS}_{0.67}\text{Se}_{0.33}$ single crystals were found to be n-type semiconductors. The mobility appeared to be decreased by lattice scattering at temperature range from 150K to 293K and by impurity scattering at temperatures ranging from 30K to 150K

In order to explore its applicability in photoconductive cells, we measured the ratio of photo-current to dark-current (pc/dc), maximum allowable power dissipation (MAPD), spectral response and response time respectively.

The results indicated that for the samples annealed in Cu vapour the photoconductive characteristics are best. We obtained sensitivity of 0.99, the value of pc/dc of 1.84×10^7 , the MAPD of 323mW and the rise and decay time of 9.3 ms and 9.7 ms, respectively.

1. 서 론

* 조선대학교 물리학과 (Department of Physics,
Chosun University)
<접수일자 : 1998년 1월 22일 >

$\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ 는 II-VI족 화합물 반도체로서 상온에서 2.42eV에서 1.72eV의 에너지 범위를 가지며 직접 에너지

지 락간격을 갖는다. 가시영역과 근적외선 영역에서 고 감도의 광전도체로 $CdS_{1-x}Se_x/CdTe$ [1], $CdS_{1-x}Se_x/Cu_2S_{1-x}Se_x$ [2]와 $CdS_{1-x}Se_x/CuInSe_2$ [3]의 태양전지의 광 투과 물질로 각광을 받고 있으며 광전도 셀[4]로 연구 되어 왔다. $CdS_{1-x}Se_x$ 광전도 셀은 PN 접합형이 아닌 덩어리(bulk) 효과를 이용한 소자로 그 용도는 카메라의 노출계, 전자적인 카메라 셔터, 디지털 시계의 자동 보 광기, 서보 볼륨 조절 장치, 가스나 오일 버너의 불꽃 모니터와 릴레이를 비롯한 가로동 자동 점멸기 등에 다양하게 사용된다. $CdS_{1-x}Se_x$ 단결정 성장 방법으로는 기상 성장(vapour phase growth)[5,6]과 용융 성장(melting growth)[7,8] 그리고 박막 성장(thin film growth)[9,10]등이 있다.

본 연구에서는 $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정을 기상 성장법인 승화법으로 성장시켜 Laue 배면 반사법으로 단결정임 과 면의 방향을 알아보고, EDS를 이용하여 조성비를 확인하였다. 또한 van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 운반자 농도와 이동도의 온도 의존성을 연구 하였다. 또한 광전도 셀로서의 응용성을 알아보기 인 덩으로 전극을 증착한후 단색광을 조사하여 빛띠 응답(spectral response)을 측정하고, 10 lx와 1,000 lx 사의 감도 (sensitivity : γ), 최대 허용 소비전력(MAPD), 광전류(pc)와 암전류(dc)의 비(pc/dc)값 및 응 답시간(오름시간, 내림시간)을 측정하였다.

2. 실험 및 측정

2.1. $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정 성장

승화법에 의한 $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정 성장은 그림 1과 같이 전기로에 온도 구배를 주어 고온부 (growth part)의 온도를 1045 °C, 시료(source)부분의 온도를 1065 °C로 하였으며 저온부의 Se 저장실(selenium reservoir)의 온도를 450 °C로 하였다. 먼저 ampoule의 시료 부분을 1000 °C, 성장 부분은 1065 °C에 놓아 24시간 가열한 뒤 2.7 °C/hr로 7cm를 24시간 끌어 당겨 성장을 위한 온도인 시료 부분을 1065 °C에 성장 부분은 1045 °C가 되게 하였다. 이때 reservoir 온도는 450 °C이다. 이러한 온도에서 감속 gear모터를 이용하여 4cm는 0.14 mm/hr로 288시간 동안 끌어당겨서 결정을 성장한 후, 다시 15 °C/hr로 5cm를 24시간 끌어 올리고 전원을 끈 다음 24시간 후에 ampoule를 꺼냈다. $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정의 크기는 높이 19.5mm, 밑면 16mm인 원추형을

이루었으며 표면은 광택이 났다. $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정의 사진은 그림 2와 같다.

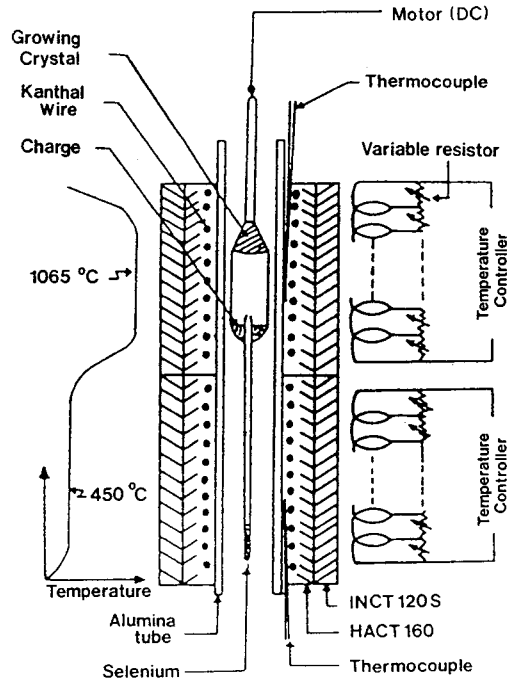


그림 1. 승화법에 의한 $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정 성장 수직전기로

Fig. 1. Vertical electrical furnace for $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ single crystal grown by sublimation method.

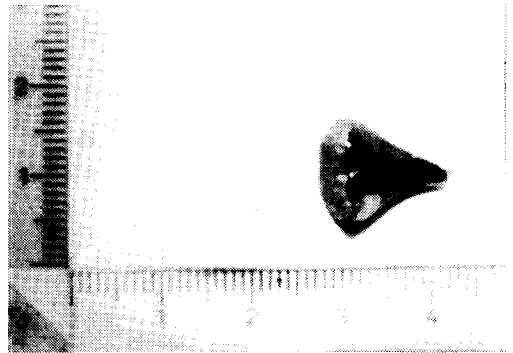


그림 2. 승화법에 의해 성장된 $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정 사진

Fig. 2. Photograph of $CdS_{0.67}Se_{0.33}$ single crystal grown by sublimation method.

3. 실험 장치 및 방법

3.1. 결정구조

성장된 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 결정구조를 조사하기 위하여 X선 회절 장치 (Rigagu-Denki, Model D-3F) 를 사용하였고, 이 때 X선은 CuK α 의 파장 1.5402 Å을 사용하였으며 Laue 카메라를 부착하여 Laue 배면 반사법을 이용해서 Laue 사진 (거리 3cm)을 얻었다.

3.2. Hall 효과

Hall 효과를 측정하기 위해 저온 장치 속에 셀을 고정하고 셀에 인가되는 전기장에 수직으로 2kG의 전자석을 놓고 셀의 온도를 293K에서 30K까지 변화시키면서 van der Pauw방법으로 Hall 효과를 측정하였다.

3.3. 광전도 특성

빛응답(spectral response)을 측정하기 위해 광전도 셀에 직류 전원을 연결하여 단색광을 조사하면서 광전류를 Lock-in-Amplifier (PAR, 5280)로 증폭하고 X-Y 기록계 (MFE, 815M)로 기록하였다. 이때 할로겐 램프 (650W)에서 나오는 빛을 light chopper (PAR, 19)를 거쳐 monochromator (Jarrel Ash, 82-020, 0.5m)로 분광하여 단색광으로 사용하였다. 광전도 셀의 감도는 조도에 따른 셀의 저항 변화로써 텅스텐 램프를 광원으로 하여 조도를 10 lx에서 1,000 lx까지 변화시켜 셀의 저항을 멀티미터(Philips, PM2528)로 측정하였다. pc/dc

표 1. 열처리 조건

Table I. Annealing conditions

Samples	Annealing condition
CdS _{0.67} Se _{0.33}	(unannealed)
CdS _{0.67} Se _{0.33} : Cd	Cd 0.0015g, 300°C, 3hr (10 ² torr < Cd vapour < 10 ³ torr)
CdS _{0.67} Se _{0.33} : S	S 0.0015g, 900°C, 3hr (10 ³ torr < S vapour < 10 ⁴ torr)
CdS _{0.67} Se _{0.33} : Se	Se 0.0015g, 750°C, 3hr (Se vapour pressure ~ 10 ¹ torr)
CdS _{0.67} Se _{0.33} : Cu	Cu 0.0015g, 900°C, 3hr (Cu vapour pressure ~ 10 ⁸ torr)
CdS _{0.67} Se _{0.33} : vacuum	vacuum, 900°C, 3hr
CdS _{0.67} Se _{0.33} : air	air, 600°C, 3hr

비를 구하기 위해 광전류와 암전류는 3,000 lx와 0 lx 상태에서 1.5V의 인가전압을 가하여 흐르는 전류를 측정하였다. 최대 허용 소비전력을 측정하기 위해 조도를 300, 500, 800 lx로 고정시킨 후 공급 전압을 1V에서 점점 증가시켜 빛 조사에 의한 전류대 전압 특성의 선형이 편향되어 나타날때까지 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. 이때 CdS_{0.67}Se_{0.33} 셀의 열처리 조건은 표1과 같다.

4. 실험 및 고찰

4.1. 승화법에 의한 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정 성장

4.1.1. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정 구조

수직 2단 전기로에서 승화법으로 성장한 CdS_{0.67}Se_{0.33}를 boule의 길이 방향에 수직으로 자른 시편의 Laue 사진은 그림 3과 같다. 그림 3에서 확인한 결과 (0001)면으로 되어 있어 boule의 길이 방향이 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결

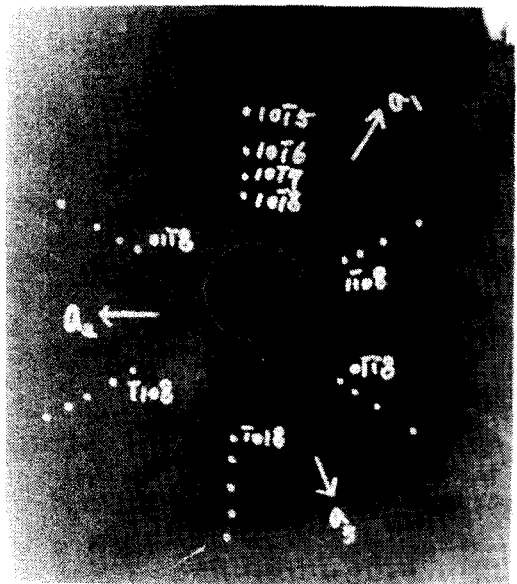


그림 3. (0001)면에 따른 Laue 사진

Fig. 3. Back-reflection Laue patterns corresponding to the (0001) planes.

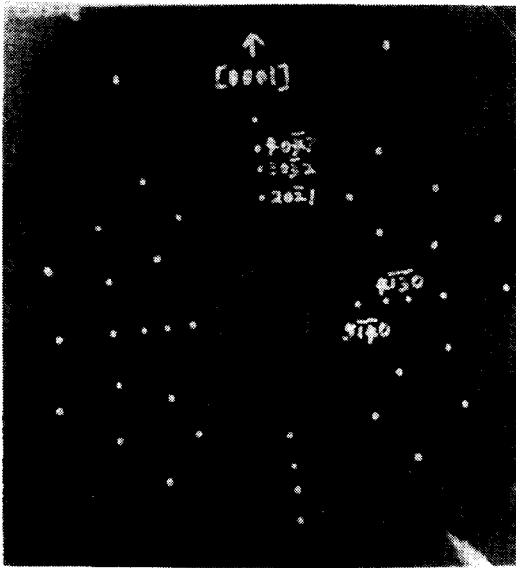


그림 4. (10 $\bar{1}0$)면에 따른 Laue 사진
 Fig. 4. Back-reflection Laue patterns corresponding to the (10 $\bar{1}0$) planes.

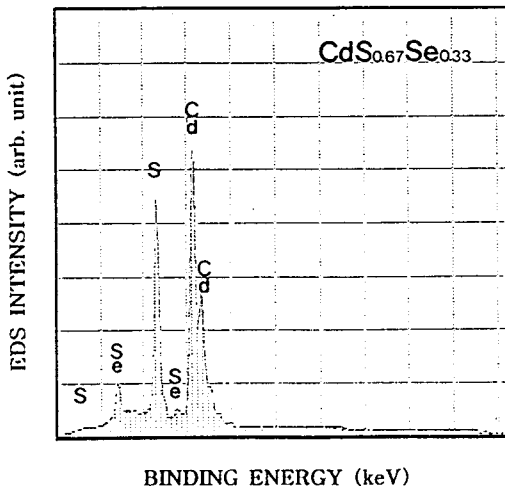


그림 5. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 EDS
 Fig. 5. EDS patterns of CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal

정의 C축으로 성장되었음을 알 수 있었고, boule의 길이 방향에 나란히 절단한 시료의 Laue 사진은 그림 4와 같이 (10 $\bar{1}0$) 면임을 알 수 있었다. CdS와 CdSe분말을 7:3으로 혼합하여 성장한 CdS_{1-x}Se_x 단결정의 성분비 x의 값은 EDS로 측정하여 그림 5에 보였는데 성장후의 성분비는 CdS_{0.67}Se_{0.33} 임을 알 수 있었다. 이때

원래 혼합했던 비율보다 Se비율이 더 많아졌음을 알 수 있었는데, 이것은 reservoir의 Se 분압이 결정을 성장하는데 영향을 주어 Se의 비율이 증가한 것으로 보이며, 또한 결정 성장 과정에서 결정 성장관인 quartz 관으로 부터 흘러 들어간 것으로 보이는 아주 미세한 양의 Si이 포함되어 있는 것으로 측정되었다.

4.1.2. Hall 효과

승화법으로 성장한 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정을 열처리하지 않고 van der Pauw[11] 방법으로 293 K에서 30 K까지 온도를 변화시키면서 Hall 효과를 측정한 값은 표 2와 같고 이동도 μ 값은 그림 6과 같다. 그림 6에서 이동도는 Fujita[12] 등의 결과와 같이 30 K에서 150 K까지는 불순물에 의한 산란 (impurity scattering)에 기인하고 있으며, 150 K에서 293 K까지는 격자 산란 (lattice scattering)에 따라 감소하였다. 운반자 농도는 온도 1/T 에 대한 음의 지수 형태에 따라 변하고 있으며, 이때 온도 역수에 대한 $\ln n$ 값은 그림 7과 같다. 활성화 에너지 E_d 는 $n \propto \exp(-E_d / K T)$ 로부터 그림 7의 $\ln n$ 과 온도 1/T에 따른 기울기에서 구한 결과 0.21 eV였다. 또한 표 2에서 Hall 계수는 음의 값

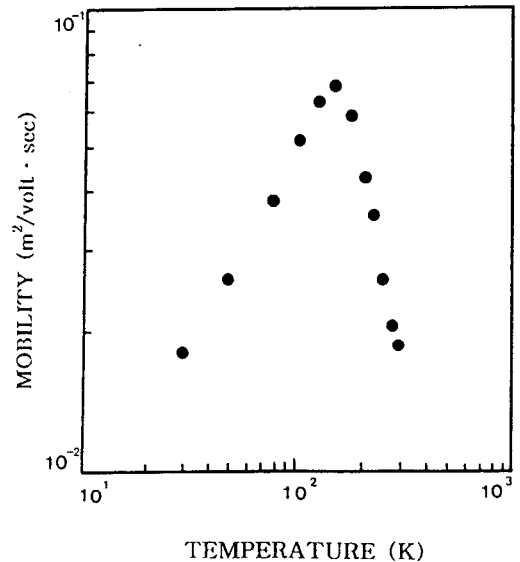


그림 6. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 온도에 따른 이동도의 변화
 Fig. 6. Variation of mobility with temperature in CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal

표 2. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 Hall 값
Table 2. Hall data of CdS_{0.67}Se_{0.33}

Temp. (K)	carrier density n (m ⁻³)	Hall coefficient R _H (m ³ /c)	conductivity σ (Ω ⁻¹ m ⁻¹)	Hall mobility μ (m ² /v-sec)
293	9.59 × 10 ²²	-2.43 × 10 ⁻⁵	672.42	1.93 × 10 ⁻²
270	8.05 × 10 ²²	-2.95 × 10 ⁻⁵	599.38	2.04 × 10 ⁻²
250	6.70 × 10 ²²	-3.12 × 10 ⁻⁵	524.59	2.68 × 10 ⁻²
230	4.35 × 10 ²²	-4.76 × 10 ⁻⁵	519.77	3.65 × 10 ⁻²
200	1.61 × 10 ²²	-5.98 × 10 ⁻⁵	498.75	4.49 × 10 ⁻²
180	1.35 × 10 ²²	-6.32 × 10 ⁻⁵	469.64	5.90 × 10 ⁻²
150	1.15 × 10 ²²	-9.36 × 10 ⁻⁵	399.41	6.99 × 10 ⁻²
130	9.89 × 10 ²¹	-1.44 × 10 ⁻⁴	376.81	6.32 × 10 ⁻²
100	9.61 × 10 ²¹	-1.67 × 10 ⁻⁴	272.74	5.26 × 10 ⁻²
77	9.04 × 10 ²¹	-2.15 × 10 ⁻⁴	236.85	3.86 × 10 ⁻²
50	8.93 × 10 ²¹	-7.30 × 10 ⁻⁴	218.93	2.62 × 10 ⁻²
30	8.89 × 10 ²¹	-8.12 × 10 ⁻⁴	199.94	1.88 × 10 ⁻²

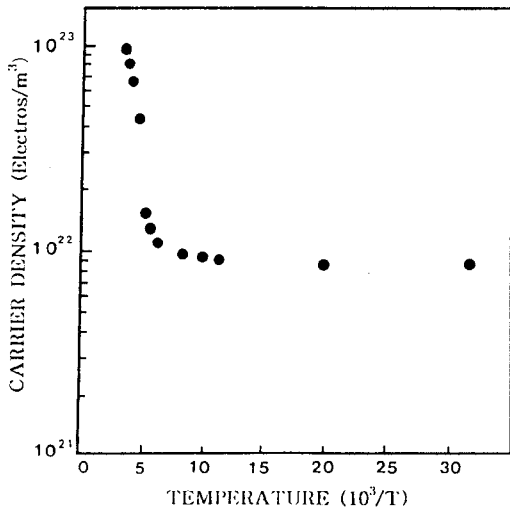


그림 7. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 온도에 따른 운반자 농도의 변화

Fig. 7. Variation of carrier density with temperature in CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal

을 갖기 때문에 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정이 n-type으로 성장되었음을 알 수 있었다.

4.2. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 energy gap

CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 광흡수 특성은 그림 8과 같다.

CdS_{0.67}Se_{0.33}는 direct gap semiconductor이기 때문에 입사광 energy(hν) 및 광흡수 계수(α)와 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 energy gap (E_g) 사이에는

$$(\alpha h\nu)^2 \sim (h\nu - E_g) \tag{1}$$

의 관계가 있다[11]. 그림 9에서 직선이 (αhν)² = 0 인 점과 만나는 점이 (1)식에 의해 energy gap에 해당된다.

CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 energy gap은 상온에서 2.18 eV였다.

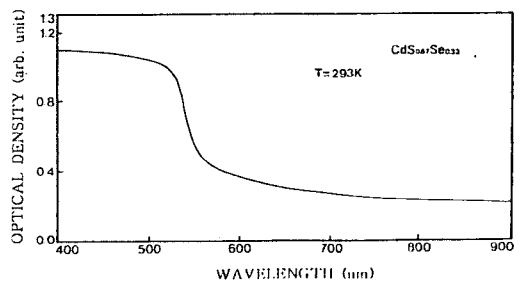


그림 8. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 광흡수 스펙트럼

Fig. 8. Optical absorption spectra of CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal

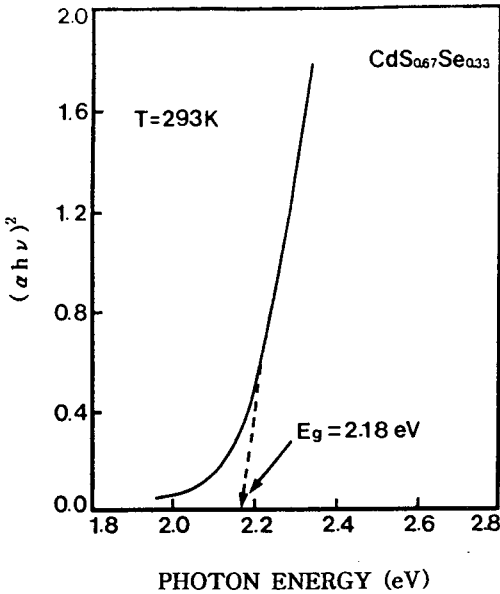


그림 9. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 hν 대 (αhν)²
 Fig. 9. Plots (αhν)² versus the incident photon energy hν for CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal

4.3. 광전도 셀 특성

4.3.1. 감도 (γ)

광전도 셀의 감도는 광전도면에 입사하는 광원의 세기와 셀의 출력사이의 관계이다. 감도는 빛을 쪼일때의 광전류와 셀의 저항에 의해 표현될 수 있으며 셀의 저항으로 표시하는 것이 관계이다. Tungsten lamp를 광원으로하여 조도를 10 lx에서 1,000 lx까지 변화시켜 셀의 저항 변화를 측정하였고, 조도와 저항과의 관계에서 선형의 구배를 γ 특성이라 부르며

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

로 나타낸다.

단, R₁₀와 R₁₀₀₀은 조도를 10 lx와 1,000 lx로 쪼일 때 셀의 각각의 저항 값이다.

쪼이는 광원의 세기를 10 lx에서 1,000 lx까지 변화하면서 측정된 셀의 저항값들의 관계는 그림 10에 보였다. 그림 10에서 (a) Cu (b) 진공 (c) 공기 (d) Se (e) Cd (f) S 분위기에서 열처리한 CdS_{0.67}Se_{0.33} 시료의 조도에 따른 셀의 변화를 나타낸 성분이다. 이때 γ 값은 Cd, S, Se, Cu 증기 분위기 및 진공, 공기분위기에서 열처리한 경우 각각 0.85, 0.83, 0.87, 0.99, 0.28, 0.91로

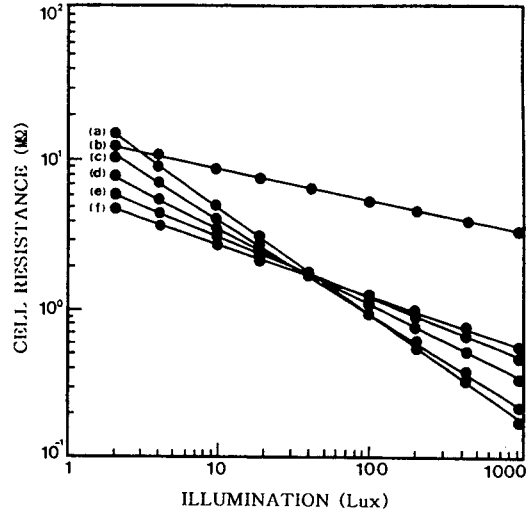


그림 10. CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 광원세기에 대한 셀 저항의 특성 (a) Cu 증기분위기 (b) 진공 분위기 (c) 공기 분위기 (d) Se 증기 분위기 (e) Cd 증기분위기 (f) S 증기분위기

Fig. 10. Cell resistance versus illumination characteristics of CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal (a) Cu vapour, (b) vacuum, (c) air, (d) Se vapour, (e) Cd vapour, (f) S vapour

Cu 증기분위기에서 열처리한 셀의 감도가 가장 좋았으며 0.8 이상이면 실용화가 가능하다.

4.3.2. 최대 허용 소비전력

광전도 셀에 일정한 세기의 빛을 쪼이고 직류 인가 전압을 변화시킬 때 흐르는 전류 (illumination current)와의 관계가 선형으로 유지된다. 공급 전압을 1V에서부터 점점 증가시킬 때 선형을 이루다가 편향되기 시작된다. 이와 같이 선형이 편향되기 직전의 값을 mW로 표시하여 최대 허용 소비전력이라 한다. Cu 증기 분위기에서 열처리한 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 공급 전압과 빛 조사에 의한 전류의 관계를 그림 11에 보였다. 조도를 300, 500 및 800 lx로 고정하고 공급 전압을 1V에서 점점 증가시킬 때 300 lx는 100V, 500 lx일때는 74V, 800 lx일때는 53V이내에서 선형을 유지하여 최대 허용 소비전력은 323 mW임을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 구한 Cd, S, Se 증기 분위기 및 공기, 진공 분위기에서 열처리한 시료의 최대 허용 소비전력은 각각 125 mW, 119mW, 148mW, 268mW, 25mW로 Cu 증기분위기에서

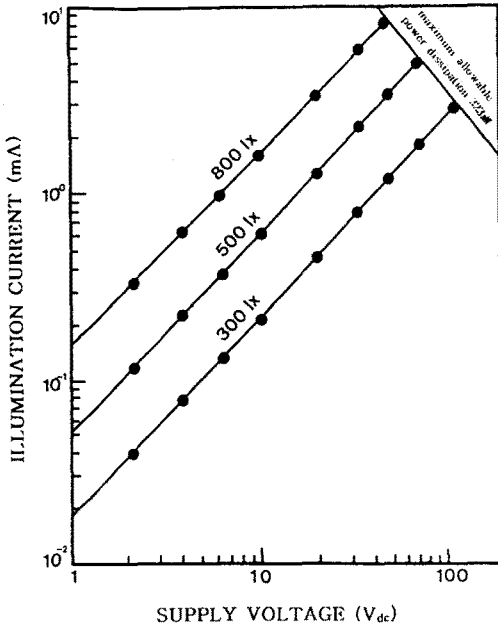


그림 11. Cu 분위기에서 열처리한 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 인가전압 대 빛조사에 의한 전류 특성
 Fig. 11. Illumination current versus voltage characteristics of CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal annealed in Cu vapour

열처리한 시료의 MAPD가 가장 크게 나타났다. 소비 전력이 크다는 것은 회로에 연결할 때 공급전압을 더 증가해도 빛을 받아 흐르는 전류가 선형으로 유지되는 구간이 커서 이용범위가 큰 것을 의미한다.

4.3.3. 광전류와 암전류의 비

Cd, S, Se, Cu증기분위기 및 공기, 진공 분위기에서 열처리한 시료에 각각 1.5V의 전압을 걸고 dark 상태에서 측정된 암전류(dc)와 텅스텐 filament 전구에서 방출하는 백색광(3,000 lx)을 시료에 비추었을 때 나타난 광전류 (pc)를 측정하여 표 3에 보였다. 표 3에서 볼 때 암전류에 비해 광전류의 비가 가장 큰 것은 Cu 증기 분위기에서 열처리한 경우로 (pc/dc)가 1.84×10^7 이어서 10^5 이상이면 실용화가 가능하므로 좋은 광전도체로서 이용 가능성이 고찰되었다.

4.3.4. 응답시간

응답시간은 광전도 셀에 빛이 조사된 후 전류의 peak 값이 63%가 될 때까지 요구되는 시간 (오름 시간)과 빛이 제거된 후 peak 값의 37%로 감소하는데 걸리는 시간 (내림시간)으로 구분한다. 이 내림 시간을 운반자의 수명이라 한다. 승화법으로 성장시킨 CdS_{0.67}Se_{0.33} 광전도 셀에 10 lx의 빛을 쬐일 때 표 4에

표 3. Cd, S, Se, Cu증기분위기 및 공기, 진공분위기에서 열처리한 CdS_{0.67}Se_{0.33} 단결정의 pc/dc.
 (조도 : 3,000 lx)

Table 3. Comparison of darkcurrent with photocurrent of CdS_{0.67}Se_{0.33} single crystal annealed in Cd, S, Se, Cu vapour and air, vacuum (light intensity 3,000 lx)

sample	darkcurrent (A)	photocurrent (A)	ratio (pc/dc)
CdS _{0.47} Se _{0.53}	1.32×10^{-3}	2.25×10^{-3}	1.71×10^0
CdS _{0.47} Se _{0.53} : Cd	6.35×10^{-5}	2.51×10^{-2}	3.95×10^2
CdS _{0.47} Se _{0.53} : S	6.01×10^{-6}	1.43×10^{-1}	2.38×10^4
CdS _{0.47} Se _{0.53} : Se	5.38×10^{-6}	1.81×10^1	3.36×10^4
CdS _{0.47} Se _{0.53} : Cu	1.09×10^{-7}	2.01×10^0	1.84×10^7
CdS _{0.47} Se _{0.53} : vacuum	5.79×10^{-3}	2.57×10^1	4.44×10^1
CdS _{0.47} Se _{0.53} : air	7.87×10^{-6}	7.74×10^1	9.83×10^5

표 4. $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ 광전도 셀의 응답시간
Table 4. Response time of $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ photoconductive cell

sample	10 lx	
	rise time (ms)	decay time (ms)
$Cd_{0.47}Se_{0.53} : Cd$	20.4	21.5
$Cd_{0.47}Se_{0.53} : S$	14.4	11.8
$Cd_{0.47}Se_{0.53} : Se$	13.5	11.2
$Cd_{0.47}Se_{0.53} : Cu$	9.3	9.7
$Cd_{0.47}Se_{0.53} : air$	11.8	10.3
$Cd_{0.47}Se_{0.53} : vacuum$	35	32

서 보는 바와 같이 응답시간이 가장 빠른 셀은 Cu 증기 분위기에서 열처리한 셀로서 오름 시간은 9.3ms, 내림 시간은 9.7ms 였으며 그 다음으로 공기 분위기, Se, S, Cd 증기 분위기, 진공 분위기 순서로 점차 느렸다. 응답시간은 오름시간과 내림시간 모두가 20ms 이내 정도면 실용화가 가능한데 이러한 응답시간은 빛의 세기와 부하저항, 결정 생성조건, 주변 온도 등 여러 조건과 관계한다.

5. 결 론

승화법으로 $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정을 성장시켜 기본물성과 Cd, S, Se, Cu 증기분위기 및 공기, 진공분위기에서 열처리한 광전도 셀의 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 성장된 $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정은 Laue 배면 반사법으로 측정된 X-선 회절무늬로부터 C축에 수직한 (0001)면, 수평한 (10 $\bar{1}$ 0)면으로 성장되었음을 알 수 있었다.

2. $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정의 Hall 효과를 측정한 결과 n형 반도체임을 알 수 있었다. 운반자 농도의 $\ln n$ 대 (1/T)에서 구한 활성화 에너지는 0.21 eV로 측정되었다. Hall 이동도는 30 K에서 150 K까지는 불순물 산란에 기인하고 있으며, 150 K에서 293 K까지는 격자 산란에 따라 감소하였다.

3. 승화법으로 성장한 $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정의 광흡수 특성 조사에 의해 상온에서 energy gap이 2.18 eV임을 알았다.

4. $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정의 응용 소자는 photocell로 사용할 수 있는 압전류(dc)와 광전류(pc)의 비 (pc/dc)값이 가장 큰 광전도 셀은 Cu 증기분위기에서 열처리한 셀로 1.84×10^7 이었다. 또한 광전도 셀의 감도는 Cu 증기분위기에서 열처리한 셀이 0.99로 가장 좋았다.

5. 최대 허용 소비 전력은 Cu 증기분위기에서 열처리한 셀이 323mW로 가장 좋았다. 또한 Cu 증기분위기에서 열처리한 셀의 응답시간은 오름시간 9.3ms, 내림시간 9.7ms로 가장 빠르게 나타났다.

6. 승화법으로 성장시킨 $Cd_{0.67}Se_{0.33}$ 단결정에 대한 Cu 증기분위기, 공기분위기에서 열처리한 셀의 광전도 특성은 소결 방법으로 제작한 일본의 Hamamatsu[13] 제품과 비교하여 더 나은 특성을 얻었다.

감사의 글

※ 본 논문은 1994년도 조선대학교 학술 연구비 지원에 의하여 연구 출판 되었음.

참 고 문 헌

- [1] H. Uad, H. Matsumoto K. Kuribayashi, Y. Komatsu, A. Nakano, and S. Ikegami, Japan, *J. Appl. Phys.*, vol. 22, pp. 1832-1836, 1983.
- [2] T. J. Coutts, *Active and passive thin film device*, Academic London, pp. 487-594, 1978.
- [3] S. A. Alkuhaimi and S. Bahamman, Japan, *J. Appl. Phys.*, vol. 29, pp 1499-1503, 1990.
- [4] R. H. Bade, *Photoconductivity of Solids*, Wiley, New York, pp. 242, 1960.
- [5] B. R. Pamplins, *Crystal Growth*, 2nd, Pergamon press, Oxford, pp. 13-15, 1980.
- [6] K. Nassau and J. Woshiever, *J. Cryst. Growth*, 375, 1972.
- [7] P. M. Prybulgh, B. Cokayne and K. G. Barradough, *Advanced Crystal Growth*, Prentice Hall, London, pp. 13-15, 1987.
- [8] G. J. Russel and N. F. Thompson, *J. Cryst. Growth*, 71, 621, 1985.

- [9] B. Ray, *II-VI Compounds*, Pergamon press, Oxford, pp. 22-49, 1969.
- [10] H. Uda and S. I. Kegami, Japan, *J. Appl. Phys.*, 29, 1980.
- [11] L. J. Van der Pauw, *Philips. Res. Rep.*, 13, 1, 1958.
- [12] H. Fujita, *J. Phys. Soc.*, Japan, vol. 20, pp. 109-122, 1965.
- [13] Hamamatsu, *Hamamatsu Photonics*, pp. 8, 1987.

著 者 紹 介

홍 광 준

『센서학회지 제2권 제1호』 논문93-01, p. 10 참조
 현재 조선대학교 물리학과 교수.

이 상 열

『센서학회지 제2권 제1호』 논문93-01, p. 10 참조
 현재 조선대학교 물리학과 교수.