

HWE에 의한 CdGa₂Se₄ 박막 성장과 광전도 특성

홍광준, 이관교, 이상열, 유상하, 신용진, 서상석, 정준우, 정경아,
신영진*, 김택성*, 정태수*, 신현길*, 문종대**, 김혜숙***
조선대학교 물리학과, 광주, 501-759
*전북대학교 물리학과, 전주, 560-756
**동신대학교 물리학과, 나주, 520-714
***금성환경 전문대학, 나주, 523-930

Growth of CdGa₂Se₄ epilayer using hot wall epitaxy method and their photoconductive characteristics

K.J. Hong, K.K. Lee, S.Y. Lee, S.H. You, Y.J. Shin,
S.S. Suh, J.W. Jeong, K.A. Jeong, Y.J. Shin*, T.S. Kim*,
T.S. Jeong*, H.K. Shin*, J.D. Moon** and H.S. Kim***
Department of Physics, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea
**Department of Physics, Jeonbuk National University, Jeonju 560-756, Korea*
***Department of Physics, Dongshin University, Naju 520-714, Korea*
****KumSung Environment College, Naju 523-930, Korea*

요 약 수평 전기로에서 CdGa₂Se₄ 다결정을 합성하여 HEW 방법으로 CdGa₂Se₄ 박막을 성장하였다. CdGa₂Se₄ 박막 성장은 증발원과 기판의 온도를 각각 580°C, 420°C로 성장하였을 때 이중 요동곡선(DCRC)의 반폭치(FWHM)값이 162 arcsec로 가장 작아 최적 성장조건이었으며, 성장된 박막의 두께는 3 μm 였다. Van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 운반자 농도와 이동도의 온도의존성을 연구하였으며, 이동도는 30 K에서 200 K까지는 piezoelectric 산란에 기인하고, 200 K에서 293 K까지는 polaroptical 산란에 의하여 감소하였다. 광전도 셀의 특성으로 spectral response, 최대 허용 소비전력(MAPD), 광전류와 암전류(pc/dc) 및 응답 시간을 측정하였다. Se 분위기에서 열처리한 광전도 셀의 경우 $\gamma=0.98$, $pc/dc=9.62 \times 10^6$, MAPD : 321 mW, rise time : 9 ms, decay time : 9.5 ms로 가장 좋은 특성을 얻었다.

Abstract CdGa₂Se₄ epilayer of tetragonal type are grown on Si(100) substrate by hot wall epitaxy method. The source and substrate temperature is 580°C and 420°C respectively, and the thickness of the film is 3 μm. The crystalline structure of epilayers were investigated by double crystal X-ray diffraction(DCXD). 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 pizelectric 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 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 Se vapor the photoconductive characteristics are best. Then we obtained the sensitivity of 0.98, the value of pc/dc of 9.62×10^6 , the MAPD of 321 mW and the rise and decay time of 9 ms and 9.5 ms, respectively.

1. 서 론

II-III-VI₄ chalcopyrite 화합물 반도체인 CdGa₂Se₄는 상온에서 energy gap이 2.3 eV인 직접 천이형 반도체로서 발광소자, 비선형 광학재료(전기광학필터), 태양전지, 광전도 소자에 널리 이용될 수 있는 반도체이다[1-5].

Chemical transport method[6], zone melting method[7], LPE[8]등 방법으로 성장시킨 CdGa₂Se₄ 단결정의 특성에 관한 연구는 이루어졌으나, HWE 방법으로 성장시킨 CdGa₂Se₄ 박막의 기본물성 및 광전도셀에 대한 연구는 되지 않았다. HWE 방법은 증발원의 물질을 직접 가열하여 기체상태로 기판에 도달하고 응집되어 막이 성장되도록 하는 방법인데 열역학적인 평형 상태에 가까운 조건하에서 결정을 성장시키므로 양질의 박막을 만들 수 있고, 시료의 손실을 줄일 수 있으므로 대량으로 생산할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서 수평전기로를 제작하여 용융

성장법으로 CdGa₂Se₄ 다결정을 합성하고 합성된 CdGa₂Se₄ 다결정을 X-ray diffraction (XRD)을 측정하여 결정구조 및 격자상수를 구하였으며, 합성된 CdGa₂Se₄ 다결정을 HWE 방법을 이용하여 Si(100) 위에 CdGa₂Se₄ 박막을 성장시켜 결정성은 이중 요동 곡선(double crystal rocking curve, DCRC)의 반폭치(FWHM)로부터 측정하였다. Energy dispersive X-ray Spectrometer (EDS)를 이용하여 조성비를 확인하였으며 van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 carrier density와 mobility의 온도 의존성을 연구하였다. 또한 광전도 셀의 특성을 알아 보고자 Cd, Ga, Se, 진공, 공기 분위기에서 열처리하여 스펙트럼 응답(spectrum response), 감도(sensitivity :γ), 최대 허용 소비전력(maximum allowable power dissipation : MAPD), 광전류(pc)와 암전류(dc)의 비 pc/dc 값, 응답시간(rise time, decay time)을 측정하였다.

2. 실험

2.1. CdGa₂Se₄ 다결정 합성

성분원소인 Cd(Aldrich, 6N), Ga(Aldrich, 6N), Se(Aldrich, 6N)을 mole비로 칭량하여 깨끗이 세척된 석영관(외경 16 mm, 내경 10 mm)에 넣어 3×10^{-6} torr의 진공에서 봉입하여 ampoule을 만들어 Fig. 1과 같은 수평 전기로의 중앙에 ampoule을 넣고 1 rpm으로 노심관이 회전하도록 하면서 전기로의 온도를 상승시켰다. 온도 상승으로 인한 성분원소의 증기압 증가로 ampoule이 파괴되는 것을 방지하기 위해서 시간당 30°C로 올리면서 노 중심의 온도가 500°C에 도달하면 그 상태에서 24시간 유지시킨다. 그리고 ampoule을 좌우로 회전하면서 다시 시간당 10°C로 온도를 올리기 시작하여 1050°C에 이르면 48시간 유지시킨 뒤 저속 DC 회전모터와 전원을 끄고, 24시간동안 자연 냉각시킨 후 합성된 다결정을 꺼내었다. Fig. 2는 이와 같이 합성된 CdGa₂Se₄ 다결정 사진이다.

2.2. HWE에 의한 CdGa₂Se₄ 박막성장

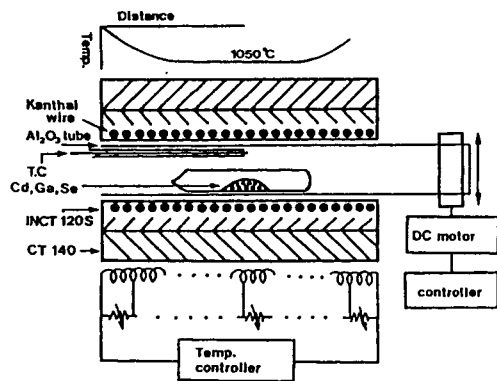


Fig. 1. Horizontal furnace for synthesizing of CdGa₂Se₄ polycrystal.

CdGa₂Se₄ 박막성장은 Fig. 3과 같은 진공 조속의 hot wall 전기로와 기판으로 구성된 HWE 방법을 사용하였다. 전기로는 직경 0.5 mm 칸탈선을 직경 35 mm 석영관에 감아 만들었으며, 전기로 들레의 열차폐 원통은 열효율을 높이기 위해 석영관에 금을 증착하여 사용하였다. 증발원은 합성된 CdGa₂Se₄ 다결정의 분말을 사용하였고 Si(100)을 기판으로 사용하였다. CdGa₂Se₄성장은 HNO₃

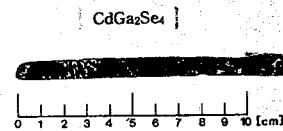


Fig. 2. Photograph of CdGa₂Se₄ polycrystal.

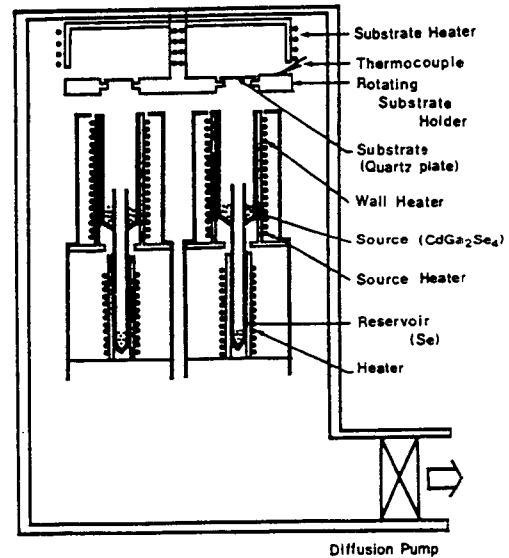


Fig. 3. Block diagram of the Hot Wall epitaxy system.

와 HF을 85:15로 chemical etching한 Si (100) 기판과 증발원을 HWE 장치 속에 넣고 내부의 진공도를 $\sim 10^{-6}$ torr로 배기시킨 후 CdGa₂Se₄ 증발원의 온도를 580°C, 기판의 온도를 420°C로 하여 0.5 $\mu\text{m/hr}$ 성장속도로 성장하였다.

2.3. 결정구조

합성된 CdGa₂Se₄을 powder method 이용하여 결정구조, 격자상수를 측정하였으며 HWE 방법으로 성장된 CdGa₂Se₄ 박막의 결정성은 이중 X-선 회절(double crystal diffraction, DCXD)장치로 측정하였다. 이때 X-선은 Cu-K α 인 파장 1.542 Å을 사용하였다.

2.4. 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.

2.5. 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 할로젠 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 광원으로

하여 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 공급 전압을 1 V에서 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, 7040 A)에 연결하여 시간에 따라 변화하는 광전도도의 변화를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. CdGa₂Se₄의 결정구조

합성된 CdGa₂Se₄ 다결정을 분말로 만들어 X-ray 회절 무늬를 Fig. 4에 보였다. Fig. 4의 회절무늬로부터 (hkl)을 면간격에 의한 θ 값이 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standards)와 일치하는 값들이어서 tetragonal로 성장되었음을 알 수 있었고, 외삽법[9]으로 구한 격자상수 a_0 와 c_0 값은 각각 5.746 Å과 10.713 Å 이었다.

HWE에 의한 CdGa₂Se₄ 박막의 성장은 우선적으로 Si 기판의 불순물을 제거하기 위하여 chemical etching 한 후 기판의 온도를 780~820°C로 변화시켜 예비 가열하였다. 이러한 조건에서 CdGa₂Se₄ 박막을 성장시켜

이중 결정 X-선 요동 곡선(DCRC)을 측정 한 결과 반폭치(FWHM)는 거의 변화하지 않았다. 또한 불순물이 제거된 Si 기판위에 성장된 박막의 결정성은 성장하는 동안 증발 원 및 기판온도와 같은 성장조건에 관계되므로 최적 증발원의 온도를 580°C로 고정하고 기판의 온도를 변화시켜 성장하였다. 성장된 박막들의 이중결정 X-선 요동곡선(DCRC)의 반폭치(FWHM)를 측정한 결과 가장 좋은 성장 조건은 기판의 온도가 420°C일 때 Fig. 5와 같이 반폭치(FWHM) 162 arcsec 였다.

3.2. CdGa₂Se₄ 박막의 화학 양론적 조성비

CdGa₂Se₄ 결정 성분 및 조성의 EDS 스펙트럼을 Fig. 6에 보였다. EDS 스펙트럼은 99.9999 %의 순도를 갖는 Cd, Ga, Se에서 나오는 특성 X-선을 기준으로 하여 측정했으며, Cd와 Se는 L-선 특성 X-선을 이용하고 Ga는 K-선의 특성X-선을 사용하여 측정하였다. Fig. 6에서 Cd, Ga, Se에 해당되는 뚜렷한 특성 X-선 봉우리가 나타나고 있다. 이들의 면적 비에 따른 조성비 값을 Table 1에 보였다. 다결정의 starting element의 조성과 성장된 결정의 조성비들이 ± 3 % 오

차 범위에서 일치되고 있어 화학양론적 조성비가 잘 이루어졌음을 알 수 있었다.

3.3. Hall 효과

HWE 방법으로 성장된 CdGa₂Se₄ 박막의 Hall 효과를 Van der Pauw 방법으로 293 K에서 30 K까지 변화시키면서 측정하여 Table 2에 보였다. 이 때 Hall 계수들이 양의 값이어서 p형 반도체임을 알 수 있었다.

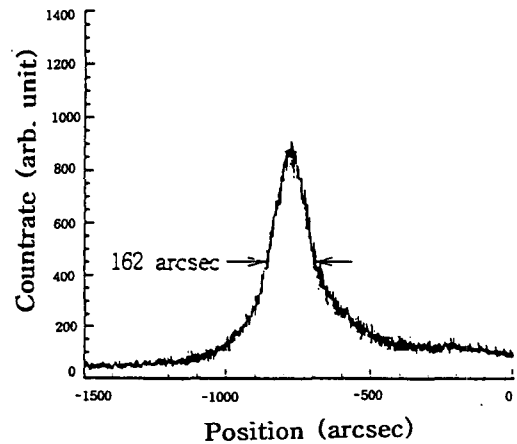


Fig. 5. Double crystal X-ray rocking curve of CdGa₂Se₄ epilayer.

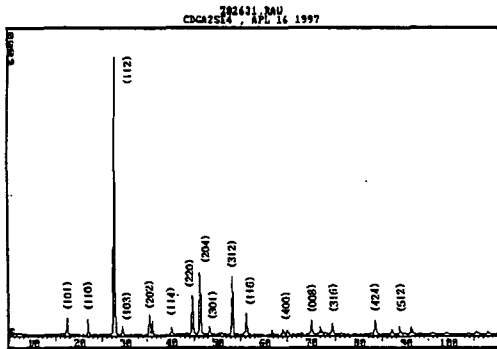


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of CdGa₂Se₄ polycrystal.

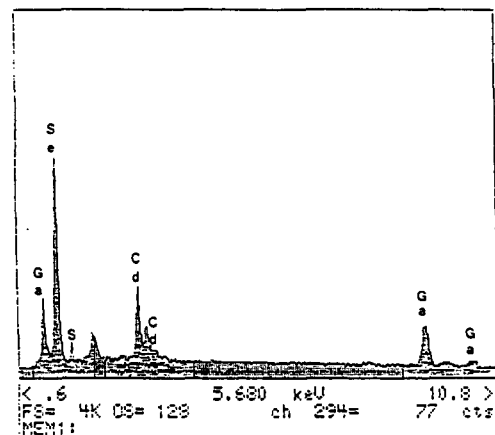


Fig. 6. EDS of CdGa₂Se₄ epilayer.

Table 1
EDS data of CdGa₂Se₄ epilayer

Element	Starting element (%)	Growing element (%)
Cd	19.80	18.493
Ga	24.56	26.867
Se	55.637	54.496
Si		0.112

Table 2
Resultant analysis on Hall effect CdGa₂Se₄ epilayer grown by HWE

Temperature (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	6.48 × 10 ²³	8.97 × 10 ⁻⁶	157.42	1.61 × 10 ⁻²
270	5.01 × 10 ²³	1.03 × 10 ⁻⁶	191.72	2.09 × 10 ⁻²
250	4.19 × 10 ²³	1.26 × 10 ⁻⁵	182.94	2.34 × 10 ⁻²
230	3.53 × 10 ²³	1.49 × 10 ⁻⁵	184.76	2.84 × 10 ⁻²
200	3.04 × 10 ²³	1.72 × 10 ⁻⁵	185.66	3.27 × 10 ⁻²
180	2.66 × 10 ²³	1.94 × 10 ⁻⁵	172.45	3.41 × 10 ⁻²
150	2.35 × 10 ²³	2.17 × 10 ⁻⁵	157.13	3.46 × 10 ⁻²
130	2.11 × 10 ²³	2.41 × 10 ⁻⁵	144.81	3.47 × 10 ⁻²
100	1.89 × 10 ²³	2.62 × 10 ⁻⁵	136.74	3.59 × 10 ⁻²
77	1.72 × 10 ²³	2.85 × 10 ⁻⁵	132.85	3.75 × 10 ⁻²
50	1.43 × 10 ²³	3.31 × 10 ⁻⁵	124.39	4.16 × 10 ⁻²
30	1.22 × 10 ²³	3.76 × 10 ⁻⁵	121.49	4.08 × 10 ⁻²

전하농도와 Hall 이동도의 온도의존성을 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 보였다.

Fig. 7의 ln n 대 (1/T)에서 구한 활성화 에너지는 0.48 eV였고, Fig. 8로부터 Hall 이동도는 Fujita[10]등의 결과와 같이 30 K에서 200 K까지는 piezoelectric 산란에 기인. 하고, 200 K에서 293 K까지는 polar optical 산란에 따라 감소하였다.

3.4. CdGa₂Se₄ 박막의 energy gap

CdGa₂Se₄ 박막의 광흡수 특성은 Fig. 9와

같다. CdGa₂Se₄는 direct gap semiconductor 이기 때문에 입사광 energy(hν) 및 광흡수 계수(α)와 CdGa₂Se₄ 박막의 energy gap (E_g) 사이에는

$$(\alpha h\nu)^2 \sim (h\nu - E_g) \quad (1)$$

의 관계가 있다[11]. Fig. 10에서 직선이 (α hν)²=0 인 점과 만나는 점이 (1)식에 의해 energy gap에 해당된다.

기판의 온도가 420°C일 때 CdGa₂Se₄ 박막의 energy gap은 상온에서 2.34 eV였다.

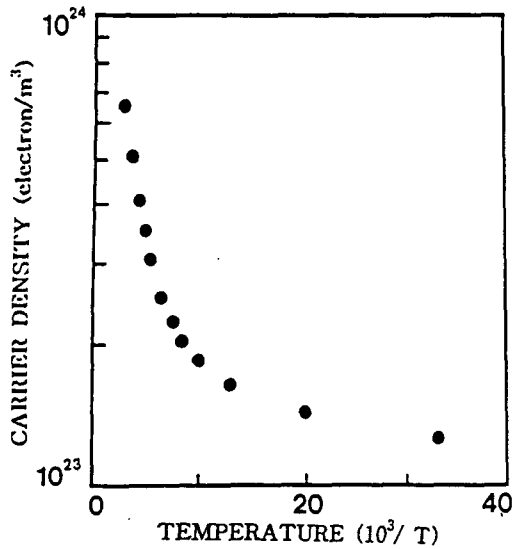


Fig. 7. Temperature dependence of carrier density for CdGa₂Se₄ epilayer.

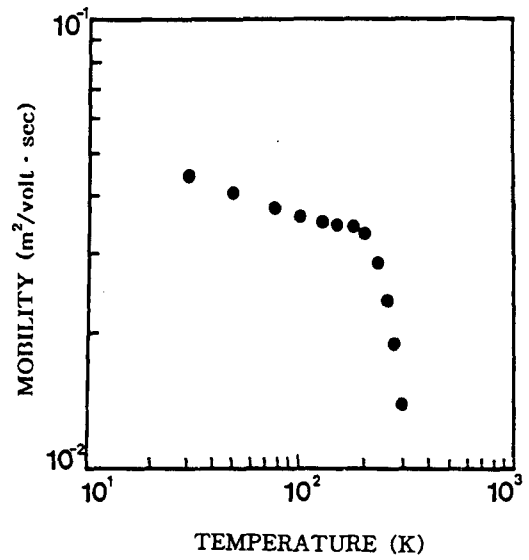


Fig. 8. Temperature dependence of mobility for CdGa₂Se₄ epilayer.

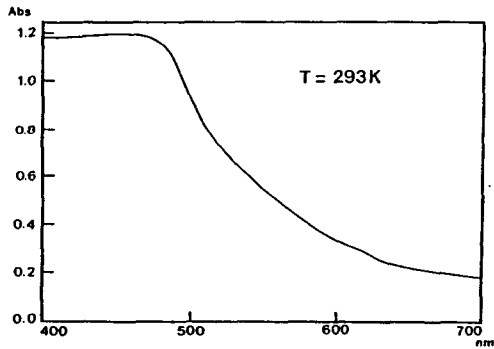


Fig. 9. Optical absorption spectra of CdGa₂Se₄ epilayer.

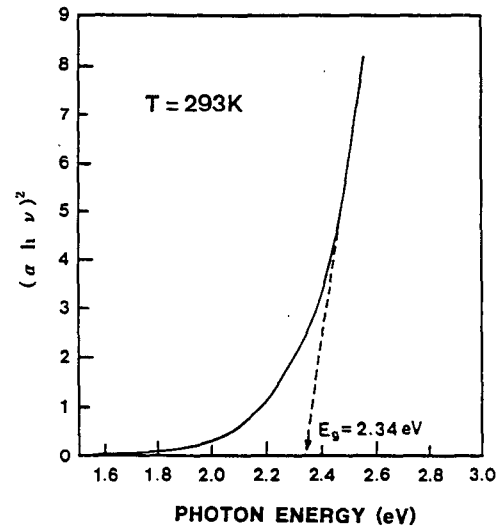


Fig. 10. Plots $(\alpha h\nu)^2$ versus the incident photon energy $h\nu$ for CdGa₂Se₄ epilayer.

3.5. 광전도 셀 특성

3.5.1. 감도 (γ)

광전도 셀의 감도(sensitivity)는 광전도면에 입사하는 조명의 세기와 셀의 출력사이의 관계이다. 감도는 빛을 쬐일때의 전류와 셀의 저항에 의해 표현될 수 있으며 셀의 저항으로 표시하는 것이 관례이다. Tungsten lamp를 광원으로하여 조도를 10 lx에서

1,000 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, R₁₀와 R₁₀₀₀은 조도를 10 lx와 1000 lx로 쪼일 때 셀의 각각의 저항 값이다.

쪼이는 조명의 세기를 10 lx에서 1000 lx까지 변화하면서 측정한 셀의 저항값들의 관계는 Fig. 11에 보였다. Fig. 11에서 (a) (b) (c) (d) (e)에서 열처리한 CdGa₂Se₄ 시료의 조도에 따른 셀의 변화를 나타낸 성분이다. 이때 γ값은 Cd, Ga, Se, Vacuum, Air 분위기에서 열처리한 경우 각각 0.87, 0.74, 0.98, 0.38, 0.91로 Se 증기분위기에서 열처리한 셀의 감도가 가장 좋았으며 0.8 이상이면 실용화가 가능하다.

열처리 조건은 Cd 증기압이 10⁻⁶ torr에서 400°C로 30분, Ga 증기압이 10⁻¹¹ torr에서 550°C로 1시간 및 Se 증기압이 10¹ torr에서 750°C로 30분, 진공중에서 600°C로 1시간, 공기중에서 300°C로 30분동안 열처리 하였을 때 특성이 가장 좋아 광전도 측정 셀로 사용하였다.

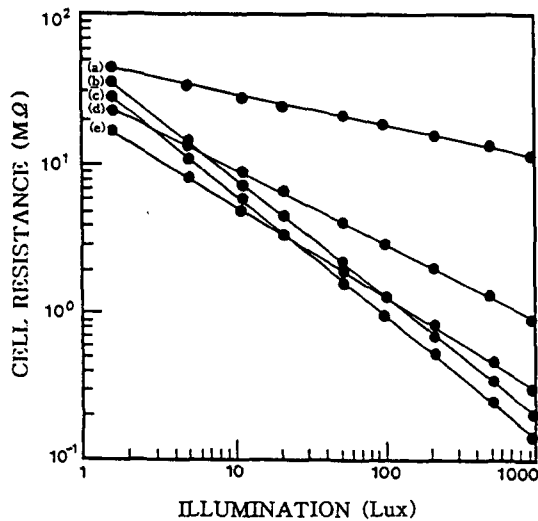


Fig. 11. Cell resistance vs illumination characteristics of CdGa₂Se₄ epilayer.

3.5.2. 최대 허용 소비전력 (MAPD)

광전도 셀에 일정한 세기의 빛을 쪼이고 직류 인가전압을 변화시킬 때 흐르는 전류 (illumination current)와의 관계가 선형으로 유지된다. 공급 전압을 1 V에서부터 점점 증가시킬 때 선형을 이루다가 편향되기 시작된다. 이와 같이 선형이 편향되기 직전의 값을 mW로 표시하여 최대 허용 소비전력이라 한다. Se 증기 분위기에서 열처리한 CdGa₂Se₄ 박막의 공급 전압과 빛 조사에 의한 전류의 관계를 Fig. 12에 보였다. 조도를 300, 500 및 800 lx로 고정하고 공급 전압을 1 V에서 점점 증가시킬 때 300 lx는 100 V, 500 lx일때는 75 V, 800 lx일때는 54 V이 내에서 선형을 유지하여 최대 허용 소비전력은 321 mW임을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 구한 Cd, Ga 증기 분위기 및 공기, 진공 분위기에서 열처리한 시료의 최대 허용

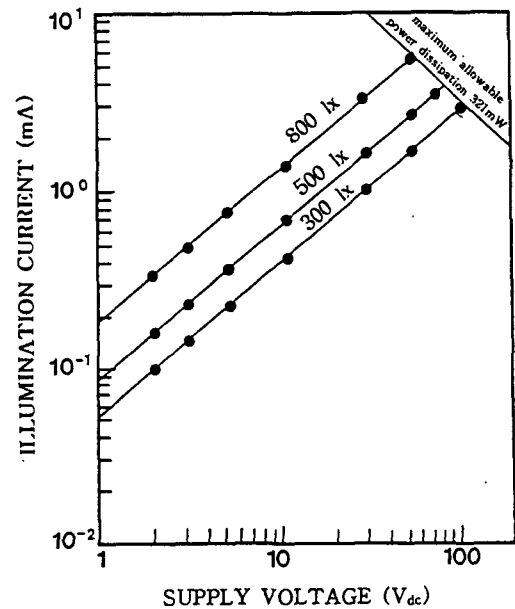


Fig. 12. Illumination current vs voltage characteristics of CdGa₂Se₄ epilayer annealed in Se vapour.

소비전력은 각각 191 mW, 115 mW, 248 mW, 25 mW로 Se 증기분위기에서 열처리한 시료의 MAPD가 가장 크게 나타났다. 소비전력이 크다는 것은 회로에 연결할 때 공급전압을 더 증가해도 빛을 받아 흐르는 전류가 선형으로 유지되는 구간이 커서 이용범위가 큰 것을 의미한다.

3.5.3. pc/dc

Cd, Ga, Se 증기 분위기 및 공기, 진공 분위기에서 열처리한 시료에 각각 1.5 V의 전압을 걸고 dark 상태에서 측정한 dark current (dc)와 tungsten filament 전구에서 방출하는 백색광(3,000 lx)을 시료에 비추었을 때 나타난 photocurrent (pc)를 측정하여

Table 3에 보였다. Table 3에서 볼 때 darkcurrent에 비해 photocurrent의 비가 가장 큰 것은 Se 증기 분위기에서 열처리한 경우로 (pc/dc)가 9.62×10^6 이어서 10^5 이상이면 실용화가 가능하므로 좋은 광전도체로서 이용 가능성이 고찰되었다.

3.5.4. 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. HWE로 제작한 CdGa₂Se₄ 광전도 셀에 10 lx의 빛을 쬐일

Table 3

Comparison of darkcurrent with photocurrent of CdGa₂Se₄ epilayer grown by HWE method annealed in Cd, Ga, Se, atmosphere and air, vaccum (light intensity : 3,000 lx)

Sample	Darkcurrent (A)	Photocurrent (A)	Ratio (pc/dc)
CdGa ₂ Se ₄	2.01×10^{-3}	2.43×10^{-3}	1.21×10^0
CdGa ₂ Se ₄ : Air	8.47×10^{-6}	6.53×10^{-1}	7.71×10^4
CdGa ₂ Se ₄ : vaccum	6.48×10^{-3}	2.35×10^{-1}	3.73×10^1
CdGa ₂ Se ₄ : Ga	7.41×10^{-5}	3.49×10^{-2}	4.71×10^2
CdGa ₂ Se ₄ : Cd	6.50×10^{-6}	1.48×10^{-1}	2.28×10^4
CdGa ₂ Se ₄ : Se	1.86×10^{-7}	1.79×10^0	9.62×10^6

Table 4

Response time of CdGa₂Se₄ epilayer

Sample	10 lx	
	Rise time (ms)	Decay time (ms)
CdGa ₂ Se ₄ : Ga	20.5	20.2
CdGa ₂ Se ₄ : Cd	14.5	12
CdGa ₂ Se ₄ : Se	9	9.5
CdGa ₂ Se ₄ : air	12	10
CdGa ₂ Se ₄ : vaccum	31.5	28.5

때 Table 4에서 보는 바와 같이 응답시간이 가장 빠른 셀은 Se 증기 분위기에서 열처리한 셀로서 rise time은 9 ms, decay time은 9.5 ms 였으며 그 다음으로 공기 분위기, Cd 증기 분위기, Ga 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 세기와 부하저항, 결정생성 조건, 주변 온도 등 여러 조건과 관계한다.

4. 결 론

HWE 방법으로 CdGa₂Se₄ 박막을 성장하여 Cd, Ga, Se 증기 분위기 및 공기, 진공 분위기에서 열처리하여 기본물성과 광전도 셀의 특성을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 합성된 CdGa₂Se₄ 다결정의 X-선 회절 무늬로부터 외삽법으로 구한 격자상수는 $a_0 = 5.746 \text{ \AA}$, $c_0 = 10.713 \text{ \AA}$ 였다. CdGa₂Se₄ 박막은 기판의 온도가 420°C, 증발원의 온도가 580°C 로 성장하였을 때 반폭치값이 162 arcsec로 가장 작아 최적 성장 조건이었다.

2) CdGa₂Se₄ 박막의 Hall effect를 측정된 결과 p형 반도체임을 알 수 있었다. 운반자 농도의 $\ln n$ 대 $(1/T)$ 에서 구한 활성화 에너지는 0.48 eV로 측정되었으며 Hall 이동도는 30 K에서 200 K까지는 piezoelectric 산란에 기인하고 200 K에서 293 K까지는 polar optical 산란에 따라 감소하였다

3) HWE 방법으로 성장한 CdGa₂Se₄ 박막의 광흡수 특성 조사에 의해 상온에서 energy gap이 2.34 eV임을 알았다.

4) CdGa₂Se₄ 박막의 응용 소자는 photo-

cell로 사용할 수 있는 암전류(dc)와 광전류(pc)의 비 (pc/dc)값이 가장 큰 광전도 셀은 Se 증기 분위기에서 열처리한 셀로 9.62×10^6 이고, 공기 분위기에서는 7.71×10^4 , Cd 증기 분위기에서는 2.28×10^4 , Ga 증기 분위기에서는 4.71×10^2 그리고 진공 분위기에서는 3.73×10^1 이었다.

또한 Se 증기 분위기에서 열처리한 셀의 감도가 0.98로 가장 좋았고, Cd 증기 분위기에서는 0.87, Ga 증기 분위기에서는 0.74, 공기 분위기에서는 0.91, 진공 분위기에서는 0.38 로 측정되었다.

5) 최대 허용 소비전력 (MAPD) 값은 Se 증기 분위기에 열처리한 셀이 321 mW 로 가장 좋았고, Cd 증기 분위기에서는 191 mW, Ga 증기 분위기에서는 115 mW, 공기 분위기에서는 248 mW, 진공 분위기에서는 25 mW로 측정되었다. 또한 Se 증기 분위기에서 열처리한 셀의 응답시간은 rise time 9 ms, decay time 9.5 ms로 가장 빠르게 나타났다.

6) HWE 방법으로 CdGa₂Se₄ 박막을 성장하여 Se 증기 분위기, 공기 분위기에서 열처리한 셀의 광전도 특성은 소결방법으로 제작한 일본의 Hamamatsu[12] 제품과 비교하여 더 나은 특성을 얻었다.

감사의 글

본 논문은 1995년도 조선대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] C. Razzetti, P.P. Lottici, L. Zanotti

- and M. Curti, Phys. Status. Solid, B 118 (1983) 743 .
- [2] T.G. Kerimora, Sh.S. Mamedov and R.Kh. Nani, Sov. Phys. Semicond. 15 (1981) 81.
- [3] G.B. Abdullaev, V.G. Agaev, V.B. Antonov, R.Kh. Nani and E.Yu. Salaev, Sov. Phys. Semicond. 6 (1973) 1492.
- [4] T.S. Moss, Photoconductivity in the Elements (Butterworths, London, 1952) p.32.
- [5] S.T. Kshirsagar and A.P.B. Sinha, J. Matter. Sci. 12 (1977) 441.
- [6] C.H. Kim, T.S. Cho and W.T. Kim, Physical Review B 36 (17) (1987) 149.
- [7] M. Villeret, Physical Review B. 39. 14 (1989) 152.
- [8] C. azzetti, P.P. Lottici and R. Bacewicz, J. Phys. C 15 (1982) 5657.
- [9] B.D. Cullity, Elements of X-ray Diffrations (Addson-Welsey, 1978).
- [10] H. Fujita. J. Phys. Soc. 20 (1965) 109.
- [11] J.I. Pankove, Optical Processes in Semiconductors (Dover Publications Inc. New York, 1971) p.36.
- [12] Hamamatsu, Hamamatsu Photonics (1987) 8.