

화학수송법으로 성장한 Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺ 단결정에서 에너지 띠 간격의 온도의존성 및 열역학함수 추정

論 文
52C-2-5

Temperature Dependence of Energy Gap and Thermodynamic Function Properties of Undoped and Co-doped Cd₄GeSe₆ Single Crystals by Chemical Transport Reaction Method

金南伍* · 金亨坤** · 金德泰*** · 玄承哲§ · 吳金坤§§

(Nam-Oh Kim · Hyung-Gon Kim · Duck-Tae Kim · Seung-Cheol Hyun · Gum-Kon Oh)

Abstract - In this work Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺ single crystals were grown by the chemical transport reaction method and the structure of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺ single crystals were monoclinic structure. The temperature dependence of optical energy gap was fitted well to Varshni equation. Also, the entropy, enthalpy and heat capacity were deduced from the temperature dependence of optical energy gap.

Key Words : entropy, enthalpy, heat capacity, optical energy gap, Varshni equation

1. 서 론

광전자 소자(Optoelectronic device), nonlinear optics, piezoelectric 등에 광범위한 응용이 기대되는 II₄-IV-VI₆ 계열의 화합물 반도체는 가시 및 근적외 파장영역에서 광전감도가 우수하며, 고휘도의 형광을 나타내는 광전물질로 알려져 있으며, 비선형 광학기구 그리고 piezoelectric 등에 응용 가능성이 기대되는 광전 물질로 알려져 있다.[1, 2, 3] 특히, Cadmium 및 Zinc 화합물로 구성된 II₄ IV VI₆(II=Cd, Zn, IV=Si, Ge, Sn, VI=S, Se, Te)에 대해서는 광전도도, 광발광 특성, switching 현상, memory 효과 등의 물성연구가 보고되고 있으며[4, 5, 6, 7] 최근에는 전이금속 불순물의 전자상기 및 광학적 특성에 대한 연구는 이론뿐만 아니라 실험에 많은 연구가 이루어져 왔다.[8, 9]

따라서 본 연구에서는 삼원화합물 반도체인 Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 기본물성을 규명하기 위하여 전이금속 불순물로 첨가할 때 3d 전이금속 불순물에 의한 물성의 변화와 온도의존성을 규명하기 위해서 CTR (Chemical transport reaction) 방법으로 성장시켜 X-ray 회절분석으로부터 결정구조를 밝혀내고, 단결정의 광학적 에너지 띠 간격(optical energy gap)에 대한 온도의존성을 규명하였다.

또한, 기초적인 열역학 함수인 entropy, enthalpy, 열용량(heat capacity)을 광학적 에너지 띠 간격의 온도의존성으로부터 추정하였다.

2. 실험

고순도(6N)의 Cadmium(Cd), Germanium(Ge), Selenium(Se)을 mole 비로 칭량한 후 Cd, Ge, Se 순으로 석영관에 넣고 5×10⁶ torr의 진공에서 봉입하여 Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정 성장용 앰플을 만들었다. 시료가 봉입된 석영관의 길이는 15cm 정도였다. 불순물로 첨가한 cobalt(4N)분말은 2mole%로 칭량하여 넣었으며 이때 산화에 의한 오염을 최소로 줄이기 위하여 수소 분위기 내에서 환원하여 사용했다. Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정을 화학수송법(CTR)으로 성장시키기 위해서 수송매체로 iodine을 단결정성장용 앰플 1cm³당 5mg의 비율로 칭량하여 넣었다. 단결정을 성장하기 위해서 two-zone으로 제작된 수평 전기로를 결정성장축과 source 축으로 나누고 source축 온도와 결정성장축의 온도를 100℃/hr로 승온시켰다. 결정성장축의 잔류 불순물을 제거하기 위해서 결정성장축 온도를 490℃로 하고 source축 온도를 400℃에서 24시간동안 유지하였다. 결정성장축의 세척(cleaning)이 끝난 후, 결정성장축은 온도를 490℃로 고정시키고 source 축은 10℃/hr의 승온률로 580℃까지 상승시켰으며 5일 동안 유지하여 단결정을 성장시켰다. 성장된 단결정의 크기는 5×4×2mm³ 이었으며 검은 갈색을 띠고 있었으며 열기전력방법으로 측정된 단결정 시편의 전기전도형은 n-type이었다. 결정의 구조 분석용 시료는 단결정을 분쇄하여 분말로 사용하였으며, 광학적 특성 측정용 시료는 성장축에 수직인 c축 방향으로 절단하고 역학적 연마와 화학적 연

* 正 會 員 : 朝鮮理工大學 電氣科 助教授
 ** 正 會 員 : 朝鮮理工大學 電氣科 教授
 *** 正 會 員 : 東亞人才大學 自動車環境레이저科 副教授
 § 正 會 員 : 聲華大學 電氣科 助教授
 §§ 正 會 員 : 朝鮮大學校 電氣科 教授
 接受日字 : 2002年 9月 13日
 最終完了 : 2002年 12月 6日

마를 통하여 경면으로 만들어 사용하였다. 이 때 측정용 시편의 크기는 직경 3mm, 두께 0.3mm의 프리즘 형태이었다. 결정구조는 X-ray 회절선을 XRD(X-ray diffractometer)로 측정하고 회절선을 해석하여 구하였다. 광흡수 측정은 UV-VIS-NIR Spectrophotometer(Hitachi, U-3400)에 Cryogenic system(Ait Product, CSA-202B)을 장치하여 만든 측정장치를 사용하여 10K-300K의 온도영역에서 측정하였으며 이때 반사에 의한 손실은 측정영역에서 5% 미만이기 때문에 고려하지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

성장된 Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 구조를 분석하기 위해 분말 형태 시료를 XRD로 측정한 결과는 그림 1과 같다. 이 단결정들의 분말 시료로부터 얻은 X-ray 회절무늬는 (020), (004), (115), (026) 면에서 뚜렷한 회절 피크가 나타났다. 이 회절선 피크들로부터 구한 결정구조 형태는 monoclinic 구조이고, 격자상수는 순수한 결정에서는 a=12.82Å, b=7.39Å, c=12.79Å 이고 β=109.33° 이었고 이 값은 Quenez group의[10] 값과 잘 일치하고 있다. Cobalt를 첨가한 단결정의 경우 격자상수는 a=12.80Å, b=7.41Å, c=12.76Å 이고 β=109.75° 으로 주어졌다.

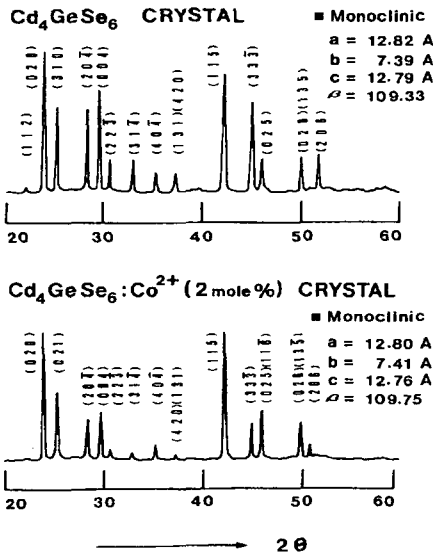


그림 1 Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 분말의 X-선회절무늬

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) crystalline powders.

Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 광학적 에너지 띠허격은 기초흡수단 영역에서 광흡수를 측정한 결과 cobalt를 불순물로 첨가한 결정이 순수한 결정보다 밴드 edge가 장파장 쪽으로 이동됨을 볼 수 있었다. Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정은 광학적 에너지 띠허격(E_g)의 밴드 구조가 직접전이형이므로 직접전이형 반도체에서 성립하는 관계식은[11]

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

이며, 여기서 α는 광 흡수 계수이고 hν는 입사된 포톤(photon) 에너지이다.

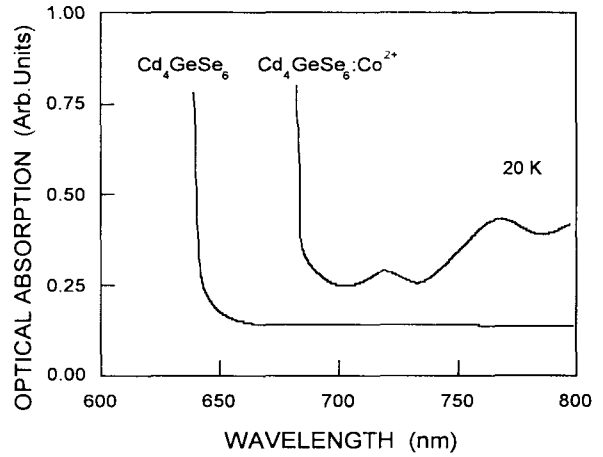


그림 2 Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 광흡수 스펙트럼

Fig. 2 Optical absorption spectrum of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) single crystals.

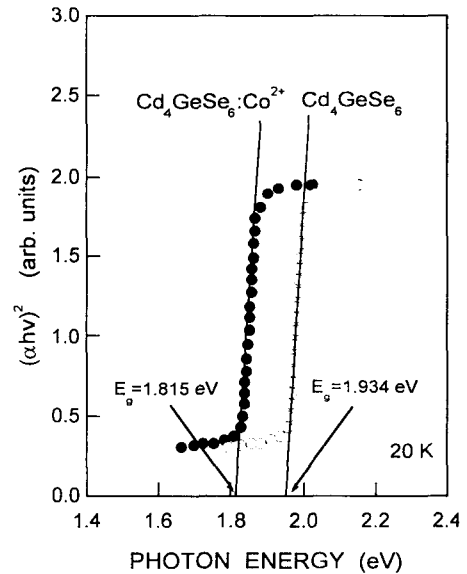


그림 3 Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 에너지 띠허격

Fig. 3 Energy band gap of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) single crystals.

순수한 경우와 cobalt를 첨가한 단결정의 기초흡수단 영역에서 광 흡수를 측정한 결과는 그림 2와 같다. 순수한 Cd₄GeSe₆ 단결정에서 20K의 경우 641nm영역에서 급격한 광 흡수의 증가를 볼 수 있고, cobalt를 첨가한 Cd₄GeSe₆:

Co²⁺(2mole%) 단결정의 경우는 같은 측정 온도에서 밴드 edge가 순수한 Cd₄GeSe₆ 단결정에서 보다 훨씬 더 장파장인 683nm로 이동됨을 볼 수 있었다.

그림 2의 광흡수 스펙트럼(optical absorption spectrum) 으로부터 $(\alpha h\nu)^2 - (h\nu - E_g)$ 의 관계를 작도하면 그림 3과 같다. 그림 3에서 $(\alpha h\nu)^2 = 0$ 인 점을 외삽법으로 구하면 (1) 식에서 보여준 것과 같이 에너지 띠 간격을 구할 수 있다.

20K에서 순수한 Cd₄GeSe₆ 단결정의 에너지 띠 간격은 1.934 eV 이었으며, cobalt를 첨가한 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 에너지 띠 간격은 1.815eV으로 순수한 단결정에 비하여 감소하고 있음을 보여 준다. Cobalt를 불순물 첨가한 경우 에너지 띠 간격 감소현상의 원인으로는 결정의 층만대 위에 cobalt불순물이 acceptor준위를 형성하게되고 층만대 edge사이와의 간격 감소가 생겨나서 여기에 광조사를 할 때 전자의 여기로 인해 나타나는 에너지 띠 간격 감소현상으로 보여지고 있으나 Sato 등은 CuAlSe₂, CuGaSe₂ 등의 단결정 연구에서 donor ionization threshold에 기인한 것으로 보고 하고 있다. 이러한 설명은 아직 이론적으로 명확하게 규명 되지 못한 상태로 남아있다.

Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 광학적 에너지 띠 간격의 온도 의존성은 293K에서 Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 광학적 에너지 띠 간격은 각각 1.72eV, 1.60eV로 측정되었으며, 293K 온도영역이하에서 온도 의존성은 그림 4와 같다.

반도체에서 에너지 띠 간격이 온도에 따라 변화되는 원인으로서는 격자의 열팽창으로 인해 에너지 띠 간격이 변화하는 체적효과(volume effect)와 대부분의 화합물반도체에서 적용되는 electron-phonon의 상호작용에 기인하는 것으로 알려져 있으며 에너지 띠 간격의 온도의존성이 격자의 열팽창에 의한 체적효과와 경우에 띠 간격의 온도계수(dE_g/dT) 값은 양(+)의 부호이고[12], electron-phonon의 상호작용에 의한 경우에는 온도계수(dE_g/dT)가 음(-)의 부호를 나타내며 10⁴~10⁵(eV/K) 정도의 차원[13]을 갖는다.

에너지 띠 간격의 온도 의존성이 적용되는 실험적인 Varshni 방정식은[14]

$$E_g = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \tag{2}$$

와 같이 표현된다. 이로부터 Cd₄GeSe₆와 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정들의 에너지 띠 간격이 온도에 대하여 선형적인 의존성을 지님을 알 수 있으며 Varshni 방정식이 잘 적용됨을 볼 수 있다. 이 방정식으로부터 순수한 Cd₄GeSe₆ 단결정의 경우 E_g(0)=1.935eV 이며, α와 β는 각각 α=8.8 × 10⁻⁴eV/K, β=72K로 얻었고, 또한 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 경우는 E_g(0)=1.804eV이며, α와 β는 각각 α=8.6 × 10⁻⁴eV/K, β=80K 이었다.

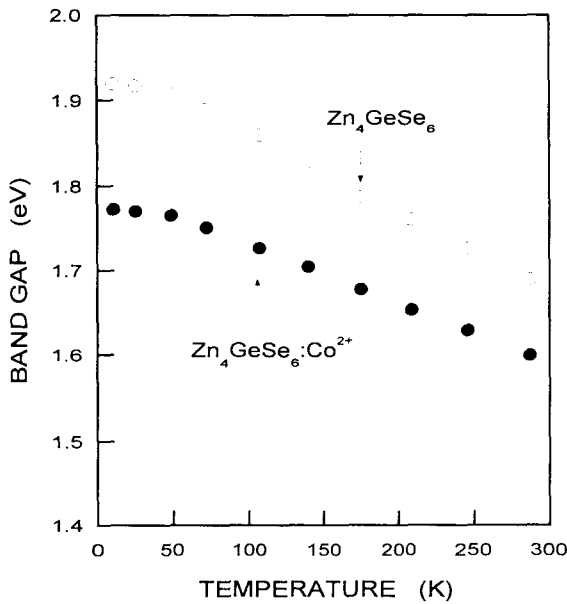


그림 4 Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 에너지 띠 간격의 온도 의존성

Fig. 4 Temperature dependence of the optical energy gaps of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) single crystals.

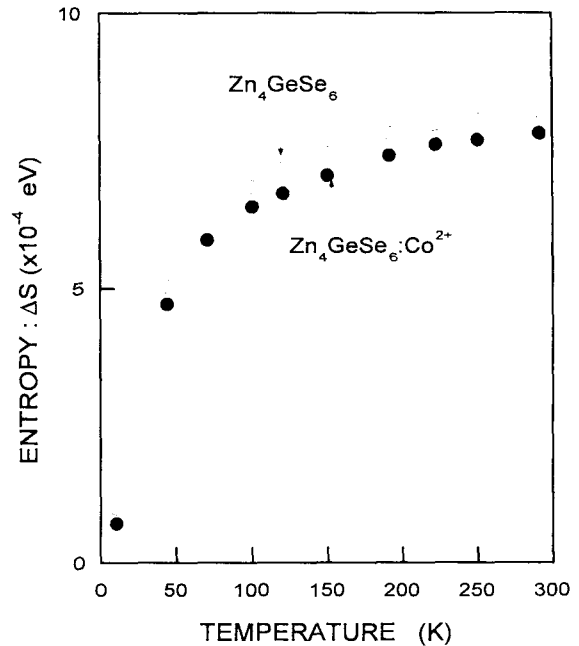


그림 5 Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 엔트로피의 온도 의존성

Fig. 5 Temperature dependence of the entropy of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) single crystals.

Cd₄GeSe₆ 및 Cd₄GeSe₆:Co²⁺ (2mole %) 단결정의 열역학적 함수 추정은 반도체내의 e-p쌍(electron-hole pairs)의 chemical potential($\mu_p + \mu_n$)에 의한 열역학적 에너지 띠 간격과 광학적 에너지 띠의 entropy S는 등가성을 가지며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \mu_n + \mu_p &= E_C - E_V \\ &= \Delta E_{CV}(\text{Thermal}) \\ &= \left(-\frac{\partial \Delta G^0}{\partial N}\right)_{P,T} = \left(-\frac{\partial U^0}{\partial N}\right)_{V,S} \\ &= \Delta E_g(\text{Optical}) \end{aligned} \quad (3)$$

온도 함수로서 e-p쌍의 형성에 의한 광학적 에너지 띠 간격($E_c - E_v = E_g$)은 반도체의 녹는점(melting point) 이하에서 정상상태의 표준 gibbs energy(ΔG^0)로 표현할 수 있다. 따라서 측정온도 변화에 따라 광학적으로 측정된 에너지 띠 간격으로부터 열역학적 함수의 물리량을 추정할 수 있으며, 특히 광학적으로 구한 이들 열역학적 함수들은 상온 이하에서 잘 적용됨이 알려져 있다. 에너지 띠 간격의 온도 의존성을 나타내는 Varshni 방정식으로부터 entropy(S_{cv}), heat capacity(C_{cv}), enthalpy(H_{cv})값은

$$\begin{aligned} E_g &= H_{CV} - TS_{CV} \\ S_{CV} &= -\frac{d}{dt}(E_g) \\ H_{CV} &= E_g - T\frac{d}{dT}(E_g) \\ C_{CV} &= T\frac{d^2}{dT^2}(E_g) \end{aligned} \quad (4)$$

와 같이 표현[15]된다.

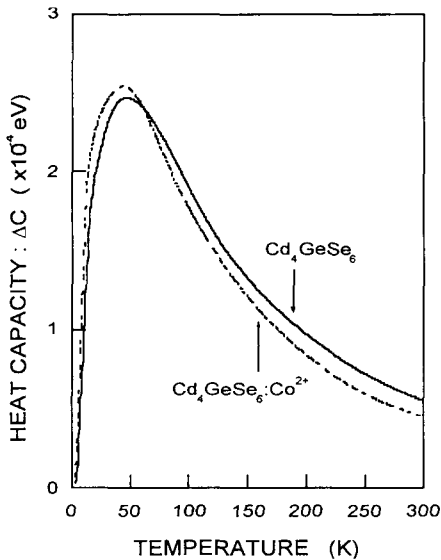


그림 6 Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 열용량의 온도 의존성

Fig. 6 Temperature dependence of the heat capacity of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) single crystals

그림 5는 Varshni 방정식이 갖는 광학적 에너지 띠 간격의 온도 의존성으로부터 계산된 Cd₄GeSe₆와 Cd₄GeSe₆:Co²⁺ (2mole%) 단결정에서 entropy의 온도 의존성을 보여주고 있다. 상온으로 갈수록 entropy의 증가율이 일반적인 반도체의 경우와 같이 감소하고 있음을 확인할 수 있으며, 순수한 Cd₄GeSe₆ 단결정과 cobalt를 불순물로 첨가한 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정 모두 상온이하에서 entropy 값은 10⁻⁴eV/K 이내에 존재한다.

그림 6은 Cd₄GeSe₆와 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정에서 열용량의 온도 의존성을 계산한 결과를 보여주고 있다. 열용량 값은 일정온도에서 최대 값을 이룬 후 상온으로 갈수록 낮아지고 있음을 확인할 수 있고, 열용량의 최대 값인 Schottky anomalous peak 값은 Varshni 방정식의 상수 β의 약 1/2 값이 된다. 순수한 경우와 cobalt를 첨가한 단결정의 경우 Schottky anomalous 피크 값은 각각 35K에서 2.601 × 10⁻⁴eV/K와 40K에서 2.548 × 10⁻⁴eV/K 값을 얻었다.

Cd₄GeSe₆와 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정에서 에너지 띠 간격의 온도 의존성으로부터 enthalpy의 온도 의존성을 계산한 결과를 그림 7에서 보여주고 있다. 순수한 경우와 cobalt를 첨가한 경우 모두 40~220K영역 부근에서 변화율이 증가함을 볼 수 있다. Cobalt를 첨가한 경우 순수한 경우보다 enthalpy 값은 작은 값을 갖는다. 이것은 Cd₄GeSe₆ 단결정의 valence band에 Co²⁺ 이온이 acceptor 준위로 merging 된 형태로 존재하기 때문에 순수한 단결정에서 보다 cobalt를 첨가한 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 경우 에너지 띠 간격이 감소하게 된다고 해석할 수 있다.

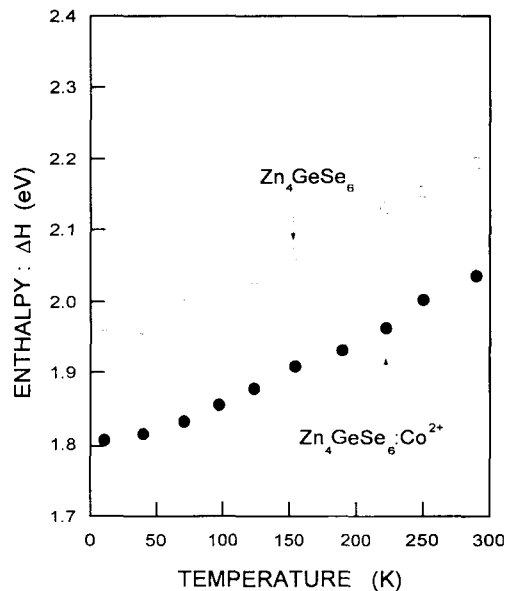


그림 7 Cd₄GeSe₆과 Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) 단결정의 엔탈피의 온도 의존성

Fig. 7 Temperature dependence of the enthalpy of Cd₄GeSe₆ and Cd₄GeSe₆:Co²⁺(2mole%) single crystals.

4. 결 론

화학수송(Cheical Transport Reaction) 방법으로 성장시킨 Cd_4GeSe_6 및 $Cd_4GeSe_6:Co^{2+}$ (2mole%) 단결정을 성장시킨 다음과 같은 결론을 얻었다.

- [1] Cd_4GeSe_6 및 $Cd_4GeSe_6:Co$ (2mole%) 단결정의 구조는 monoclinic 구조이고, 격자상수는 순수한 결정에서는 $a=12.82\text{\AA}$, $b=7.39\text{\AA}$, $c=12.79\text{\AA}$ 이고 $\beta=109.33^\circ$ 이고, cobalt를 첨가한 경우 격자상수는 $a=12.80\text{\AA}$, $b=7.41\text{\AA}$, $c=12.76\text{\AA}$ 이고 $\beta=109.75^\circ$ 얻었다.
- [2] 광학적 에너지 띠 간격의 온도의존성은 Varshni의 형식에 잘 적용되었으며, 이때 구한 상수값 순수한 Cd_4GeSe_6 단결정의 경우 $E_g(0)=1.935\text{eV}$ 이며 $\alpha=88\times 10^{-4}\text{eV/K}$, $\beta=72\text{K}$ 로 얻었고, 또한 $Cd_4GeSe_6:Co^{2+}$ (2mole%) 단결정의 경우는 $E_g(0)=1.804\text{eV}$ 일 때, $\alpha=8.6\times 10^{-4}\text{eV/K}$, $\beta=80\text{K}$ 로 얻었다.
- [3] 광학적 에너지 띠 간격의 온도의존성으로부터 열역학 기본함수인 entropy, enthalpy, 열용량을 추정할 결과 entropy 값은 10^{-4}eV/K 이내에 존재한다는 것을 알 수 있었다. 열용량 값은 일정 온도에서 최대값을 이룬 후 상온으로 갈수록 낮아지는 현상을 확인할 수 있었으며 enthalpy는 $40\sim 220\text{K}$ 영역에서 부근에서 변화율이 커짐을 볼 수 있었다.
- [4] 이러한 경우는 순수한 경우와 cobalt를 첨가한 경우 모두 $40\sim 220\text{K}$ 영역 부근에서 변화율이 증가함을 볼 수 있다. Cobalt를 첨가한 경우 순수한 경우보다 enthalpy 값은 작은 값을 갖는다. 이것은 Cd_4GeSe_6 단결정의 valence band에 Co^{2+} 이온이 acceptor 준위로 merging 된 형태로 존재하기 때문에 순수한 단결정에서 보다 cobalt를 첨가한 $Cd_4GeSe_6:Co^{2+}$ (2mole%) 단결정의 경우 에너지 띠 간격이 감소하게 된다고 해석할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 조선대학교 연구비에 의한 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] M. Julien-Pouzol, S. Jaulmes, "Redetermination de la Structure du Sulfure de Cadmium et de Germanium, Cd_4GeS_6 ", Acta Cryst. C51, pp.1966-1968, 1995.
- [2] D. T. Kim, "Optical Absorption Spectra of Undoped and Co-doped Cd_4GeSe_6 Single Crystals", J. Mat. Sci. Lett. 12, p.1160, 1993.
- [3] D. T. Kim, "Optical properties of Cd_4GeSe_6 and $Cd_4GeSe_6:Co^{2+}$ Single Crystals", Bulle. of Kor. Phys. Soc. 15-2 Ka-Po55, p.309, 1997.
- [4] E. Kaldis, et al., " Cd_4SiS_6 and Cd_4SiSe_6 , New Ternary Compounds", J. Electro. Chem. Soc. 114-10, pp.1074-1076, 1967.
- [5] M. Nitta, H. Kawashima, M. Haradome, "Optical properties of Cd_4SiS_6 ", Oyo Buturi 40, pp.158-162, 1971.; 41, pp.351-355, 1972.
- [6] D. T. Kim, et al., "Photoluminescence Study on Cd_4GeSe_6 ", Phys. Status Solidi(a) 127, pp.K151-155, 1991.
- [7] D. T. Kim, "Optical properties of Undoped and Co-doped Zn_4GeSe_6 Single Crystals", Bulle. of Kor. Phys. Soc. 14-3 Ka-Po046, p.526, 1996.
- [8] 김덕태, 유기수, " Cd_4GeSe_6 단결정의 광학적특성에 관한 연구", 새물리 31, p.467, 1991.
- [9] D. T. Kim, "Optical properties of Cd_4GeSe_6 and $Cd_4GeSe_6:Co^{2+}$ single crystals", Proc. of ICTMC 11 Salford. p.121, 1997.
- [10] P. Quenez, et al., "Etude to systeme $GeSe_2-CdSe$ identification to compose Cd_4GeSe_6 ", C. R. Acad. Sc. Paris. 268. p.2294, 1969.
- [11] J. J. Pankove, "Optical Processes in Semicon.", Dover Pub. Co. New Yok, pp.36~37. 1971.
- [12] D. Long, "Energy Band in Semiconductors" Interscience, New York. p.50, 1968.
- [13] R. H. Bube, "Photoconductivity of Solides" Wiely Pub. New York. p.238, 1960.
- [14] Y. P. Varshni, "Temperature Dependence of the Energy Gap in Semiconductors", Physica 34, p.149, 1967.
- [15] C. D. Thurmond, "The Standard Thermodynamic Functions for the formation of Electrons and holes in Ge, Si, GaAs and GaP" J. Electrochem. Soc., Solid-State Science and Tech. 122, p.1135, 1975.

저 자 소 개



김 남 오 (金 南 伍)

1967년 2월 9일생. 1994년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 조선대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 조선이공대학 전기과 조교수
Tel : 062) 230-8388

E-mail : nokim@mail.chosun-c.ac.kr



김 형 곤 (金 亨 坤)

1950년 2월 5일생. 1974년 조선대 물리학과 졸업. 1978년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1989년 전남대 대학원 물리학과 졸업(이박). 현재 조선이공대학 전기과 교수
Tel : 062) 230-8383

E-mail : hgkim@mail.chosun-c.ac.kr



김 덕 태 (金 德 泰)

1953년 6월 5일생. 1976년 조선대학교 물리학과 졸업. 1982년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1993년 원광대학교 대학원 졸업(이학박사). 현재 동아인재대학 자동차환경레이저과 부교수, Tel : 061) 471-1751

E-mail : dtkim@mail.dongac.ac.kr



오 금 곤 (吳 金 坤)

1946년 1월 17일생. 1968년 조선대 전기공학과 졸업. 1994년 동신대학교 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기전자공학부 졸업(공학박). 현재 조선대학교 전기제어공학부 교수
Tel : 062) 230-7033

E-mail : gkoh@mail.chosun.ac.kr



현 승 철 (玄 承 哲)

1965년 5월 18일생. 1988년 제주대학교 물리학과 졸업. 1995년 전남대학교 대학원 물리학과 졸업(석사). 2000년 목포대학교 대학원 물리학과 박사과정. 현재 성화대학 전기과 조교수
Tel : 061) 430-5221

E-mail : schyun@netian.com