

Hot Wall Epitaxy (HWE)에 의한 성장된 ZnIn₂S₄ 단결정 박막의 광전류 특성

홍 광 준, 이 상 열

조선대학교 물리학과

Opto-electric Properties of ZnIn₂S₄ single crystal thin film Grown by Hot Wall Epitaxy method

Kwang-joon Hong, Sangyoul Lee

Department of Physics, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

ABSTRACT The stoichiometric mixture of evaporating materials for the ZnIn₂S₄ single crystal thin film was prepared from horizontal furnace. To obtain the ZnIn₂S₄ single crystal thin film, ZnIn₂S₄ mixed crystal was deposited on thoroughly etched semi-insulating GaAs(100) in the Hot Wall Epitaxy(HWE) system. From the photocurrent spectrum by illumination of perpendicular light on the c-axis of the ZnIn₂S₄ single crystal thin film, we have found that the values of spin orbit splitting ΔSo and the crystal field splitting ΔCr were 0.0148 eV and 0.1678 eV at 10 K, respectively.

Key word : Hot Wall Epitaxy, single crystal thin film, Hall effect, photocurrent.

1. 서 론

ZnIn₂S₄는 II-III₂-VI₄족 화합물 반도체로서 상온에서 에너지 띠간격 E_g 가 2.86 eV이고 직접 띠간격(direct band gap structure)을 갖는 민감한 광전도체이다.[1-3] 또한 Schottky-barrier photodetector, photoresistor, switch 소자등에 다양하게 사용될 수 있어 지난 수년간에 걸쳐 연구가 진행되어 왔다.[4,5]

본 연구에서는 6N의 Zn, In, S 시료를 mole 비로 칭량하여 starting element로 사용하여, 제작된 수평 전기로에서 용융 성장법으로 ZnIn₂S₄ 다결정을 합성하였다. 합성된 ZnIn₂S₄ 다결정을 HWE 방법을 이용하여 반절연성 GaAs (100)기판 위에 ZnIn₂S₄/ GaAs epilayer를 성장시켰으며, 결정성은 photoluminescence(PL)의 exciton emission 스펙트럼과 이중 결정 X선 회절 곡선(double crystal X-ray diffraction rocking curve, DCXD)의 반폭치(FWHM)를 측정하여 알아보았다. 그리고 온도 의존성의 광전류(photocurrent) 스펙트럼을 측정하여 가전자대의 결정장 상호작용(crystal field interaction)과 스핀-궤도 상호

작용(spin-orbit coupling)에 의한 에너지 준위의 분리(splitting) ΔCr 과 ΔSo 를 알아보았다.

2. 실험 결과 및 고찰

2.1 광 전 류 (Photocurrent)

ZnIn₂S₄ 단결정 박막을 293. K에서 10. K까지 온도를 변화시키면서 측정한 광전류 스펙트럼은 Fig. 1과 같다. 광전류 스펙트럼의 측정에서 에너지갭에 해당되는 가전자대에서 전도대로 들뜬 전자들에 의한 광전류 봉우리와 단파장대에서 가전자대 splitting에 의한 광전류 봉우리들이 관측되었다. 광전류 봉우리는 세 곳에서 관측할 수 있는데 그 이유는 ZnIn₂S₄ 단결정 박막은 육방정계 구조로 성장되어 spin-orbit splitting 과 non cubic crystalline field의 동시효과에 의하여 band splitting 이 일어난 것으로 볼 수 있다. 이것은 band theory에 의하면 반도체의 전도대를 S-like, 가전자대를 P-like로 보았으며, 이때 P-like궤도는 P_x, P_y, P_z와 같이 세개의 준위로 나누어 질 수 있다고 보았다.

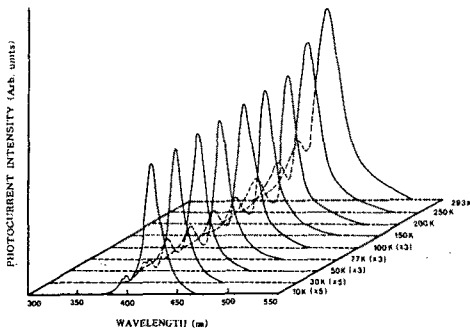


Fig. 1. Photocurrent spectra of ZnIn₂S₄ single crystal thin film.

육방정계 (hexagonal) 구조는 3 개의 봉우리 A($\Gamma_7 \rightarrow \Gamma_6$), B($\Gamma_6 \rightarrow \Gamma_6$), C($\Gamma_7 \rightarrow \Gamma_6$) 전이에 의한 것으로 분석되고[6] 이와 관련된 모델은 미세구조를 나타낸 Fig. 2에 보였다.

Hopfield[20]는 spin-orbit splitting과 non-cubic crystalline field의 동시효과에 의해 가전자대가 갈라지는 모델을, Hamilton matrix로 표현하였다. 단 여기서 E_1 과 E_2 는 다음과 같다. Fig. 14의 A-, B-그리고 C-exciton의 에너지를 $E_{FX}(A)$, $E_{FX}(B)$ 그리고 $E_{FX}(C)$ 라 표기하면 $E_1 = E_{FX}(B) - E_{FX}(A)$ 이고 $E_2 = E_{FX}(B) - E_{FX}(C)$ 이다. Fig. 14의 10. K의 광전류 스펙트럼으로부터 E_1 과 E_2 값을 찾아 Hamilton matrix에 의해 crystal field splitting ΔCr 과 spin-orbit splitting Δso 값을 구하여 보면 다음과 같다.

$$E_1 = E_{PP}(10, M) - E_{PP}(10, L) = 3.1143$$

$$2.9511 = 0.1632 \text{ eV}$$

$$E_2 = E_{PP}(10, M) - E_{PP}(10, S) = 3.1143 - 3.1245 = -0.0102 \text{ eV}$$

이다. E_1 과 E_2 값을 Hamilton matrix에 대입해 연립 방정식을 풀면 $\Delta Cr = 0.1678 \text{ eV}$, $\Delta so = 0.0148 \text{ eV}$ 이다. 이때 ΔCr 값 0.1678 eV는 Shay 등[7]이 보고한 0.16 eV 값들과 잘 일치하고 있고, Δso 의 측정값 0.0148 eV 역시 Shay[8]가 보고한 0.016 eV 값과 거의 일치하고 있다. 이때 10. K에서 측정되어진 ΔCr 과 Δso 의 실험 결과로 보아 c-축에 수직하게 빛이 입사할 때 일어나는 선택률과도 잘 일치하고 있다.

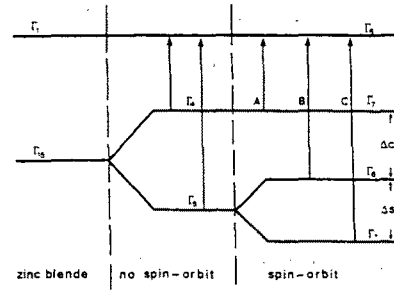


Fig. 2. Fine structure of energy levels of ZnIn₂S₄

3. 결 론

ZnIn₂S₄/ GaAs 단결정 박막을 HWE 방법으로 성장되었다. 기판의 온도가 450 °C, 증발원의 온도가 610 °C 일 때 최적 성장 조건으로 조사되었으며, 이때 이중 결정 X선 요동곡선(DCRC)의 반치폭(FWHM) 값이 162 arcsec였다. 상온에서 Hall 효과를 측정된 결과 운반자 농도와 이동도는 각각 운반자 농도는 $8.51 \times 10^{17} \text{ electron/cm}^3$, $291 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 인 n형의 박막임을 확인하였다.

광전류 봉우리의 10. K에서 단파장대의 가전자대 splitting에 의해서 측정된 ΔCr (crystal field splitting)은 167.8 meV, Δso (spin orbit coupling)는 14.8 meV였다.

References

- [1] L. Hernandez, O. Vigil, and F. Gonzalez, *Phy. Status Solid A* 36 (1976) 33.
- [2] S. I. Radutsan, F. G. Donika and I. G. Moustia, *J. Cryst. Growth* 3-14 (1972) 385.