

CdIn₂Te₄ 단결정 성장과 전기적 특성

홍광준, 이관교, 최승평, 이상열, 유상하, 신용진, 서상석, 김승욱, 정준우, 신영진*, 김택성*, 정태수*, 신현길*, 문종대**, 고태석**, 김혜숙***, 전승룡****

조선대학교 물리학과, 광주, 501-759

* 전북대학교 물리학과, 전주, 560-756

** 동신대학교, 나주, 520-714

*** 금성환경 전문대학, 나주, 523-930

**** 동아 전문대학, 영암, 526-870

Study on CdIn₂Te₄ single crystal growth and electrical characteristics

K.J. Hong, K.K. Lee, S.P. Choi, S.Y. Lee, S.H. You, Y.J. Shin, S.S. Suh, S.U. Kim, J.W. Jeong, Y.J. Shin*, T.S. Kim*, T.S. Jeong*, H.K. Shin*, J.D. Moon**, T.S. Ko**, H.S. Kim*** and S.L. Jeon****

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*

**** Kum Sung Environment College, Naju 523-930, Korea*

***** Dong A College, Youngam 526-870, Korea*

요 약 CdIn₂Te₄ 단결정을 Bridgman방법으로 성장하였다. 성장된 CdIn₂Te₄ 단결정은 분말 방법으로 X-ray diffraction을 측정하여 tetragonal로 성장되었음을 알 수 있었고 격자상수는 Nelson-Riley 보정식을 이용하여 외삽법으로 구한 결과 a₀는 6.215 Å, c₀는 12.390 Å이었다. CdIn₂Te₄ 결정이 단결정임을 알아보기 위해 Laue 배면 반사법으로 측정하였는데 c축에 수평한 면은 (110), c축에 수직인 면은 (001)으로 성장되었음을 알 수 있었다. 또한 van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 운반자 농도와 이동도를 구하였으며, c축에 수직인 시료의 carrier density는 8.75×10^{23} electrons/m³, mobility는 3.41×10^{-2} m²/V·s였으며 c축에 평행한 시료의 carrier density는 8.61×10^{23} electrons/m³, mobility는 2.42×10^{-2} m²/V·s였다. 또한 Hall 계수가 양의 값이어서 CdIn₂Te₄ 단결정은 p형 반도체임을 알 수 있었다.

Abstract A CdIn₂Te₄ single crystal was grown by modified vertical Bridgman method. The CdIn₂Te₄ single crystal was evaluated to be tetragonal by the powder method. The CdIn₂Te₄ single crystal was confirmed to be grown with its c axis along the length of the boule by the Laue reflection method. Hall effect of CdIn₂Te₄ single crystal was estimated by van der Pauw method from 293 K to 30 K. Hall data of the sample perpendicular to c axis was $n = 8.75 \times 10^{23}$ electrons/m³, $R_H = 7.14 \times 10^{-5}$ m³/C, $\sigma = 176.40 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, $\mu = 3.41 \times 10^{-2}$ m²/V·s and the sample parallel to c axis was $n = 8.61 \times 10^{23}$ electrons/m³, $R_H = 7.26 \times 10^{-5}$ m³/C, $\sigma = 333.38 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ and $\mu = 2.42 \times 10^{-2}$ m²/V·s for room temperature. The value of Hall coefficient on sample perpendicular or parallel to c axis were positive. There CdIn₂Te₄ single crystal was p-type semiconductor.

1. 서 론

CdIn₂Te₄는 II·III·VI족 화합물 반도체로 상온에서 에너지 띠 간격이 1.2 eV[1-5]이고 space group I4̄-2d에 속하는 tetragonal 구조의 반도체이며 근적외선 영역에서 높은 광전기적인 감도와 고휘도의 형광을 나타내는 광전도체로 응용하기 위해 많은 관심을 가지고 연구가 진행되고 있다[1,2,6-9]. 1987년 Garbato등[10]은 defect AB₂C₄ tetrahedral 구조 화합물들의 열적 안정도를 조사하였으며 1988년에 Eshraghi등[1,11]은 이원 화합물의 혼합에 의한 Bridgman 방법으로 n형과 p형 단결정을 성장시켜 schottky diode를 만들어 전기적 성질을 연구하고 이 물질에 대한 electro-optic, acousto-optic device로서 가능성을 보여주었다. 본 연구에서는 수평로에서 용융성장법으로 6N의 Cd, In, Te 시료를 mole비에 따라 칭량하여 다결정을 합성하고, 3단 수직로에서 Bridgman방법으로 단결정을 성장하였다. 성장된 CdIn₂Te₄ 단결정을 XRD(X-ray diffraction) 측정을 하여 결정구조 및 격자상수를 구하였으며 Laue 배면 반사법을 이용하여 단결정임을

확인하였다. 또한 EDS(energy dispersive X-ray spectrometer)를 이용하여 CdIn₂Te₄ 단결정의 조성비를 확인하였다. Van der Pauw 방법[12-14]으로 Hall 효과를 측정하여 carrier density, mobility의 온도 의존성을 연구하여 opto-electric device로서 가능성을 알아보았다.

2. 실 험

2.1. CdIn₂Te₄ 합성 및 단결정 성장

2.1.1. CdIn₂Te₄ 합성

성분원소 Cd(Aldrich 6N), In(Aldrich 6N), Te(Aldrich 6N)를 mole비로 칭량한 뒤 내경 10 mm, 외경 14 mm인 석영관에 넣고 배기하여 진공도 2×10^{-6} torr에서 진공 봉입하여 합성용 ampoule을 만들었다. 로심관이 1 rpm으로 좌우로 회전하도록 제작된 Fig. 1과 같은 전기로의 중앙에 ampoule을 장치하였다. 온도상승에 따라 성분원소의 증기압 증가로 ampoule이 파괴되는 것을 방지하기 위하여 500℃까지는 30℃/hr, 1050℃

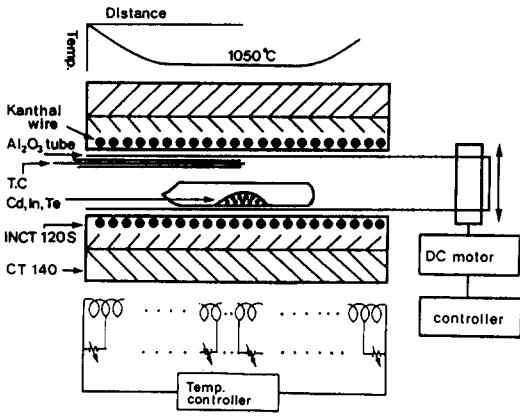


Fig. 1. Horizontal furnace for synthesizing of $CdIn_2Te_4$ polycrystal.

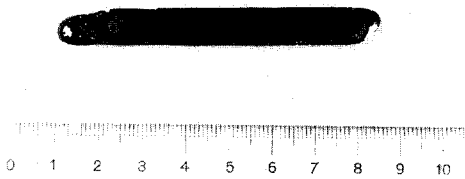


Fig. 2. Photograph of $CdIn_2Te_4$ polycrystal.

까지는 10°C/hr 로 온도를 상승시켜 1050°C 에서 48시간동안 유지시킨뒤 저속 DC 회전 motor와 전원을 끄고 24시간 동안 자연 냉각시킨 후 Fig. 2와 같은 합성된 결정을 얻었다.

2.1.2. $CdIn_2Te_4$ 단결정 성장

합성이 끝난 $CdIn_2Te_4$ 시료를 ampoule 끝이 뾰족하게 세공된 부분에 넣고 2×10^{-6} torr로 진공봉입하여 Fig. 3과 같은 온도구배를 갖는 수직 Bridgman 삼단 전기로의 하단으로 향하게 하였다. 고온부의 시작점에 am-

poule을 고정하고 수직로의 온도는 상·중·하 각각 700°C , 900°C , 350°C 가 되도록 온도를 서서히 올린 후 48시간 동안 시료를 용융시켜 용액이 균질하게 반응하도록 하였다. 이 ampoule을 0.75 mm/hr 로 하강시켰으며 이때 성장된 $CdIn_2Te_4$ 단결정은 Fig. 4와 같으며 높이 28 mm, 직경 10 mm인 원추형으로 성장되었다.

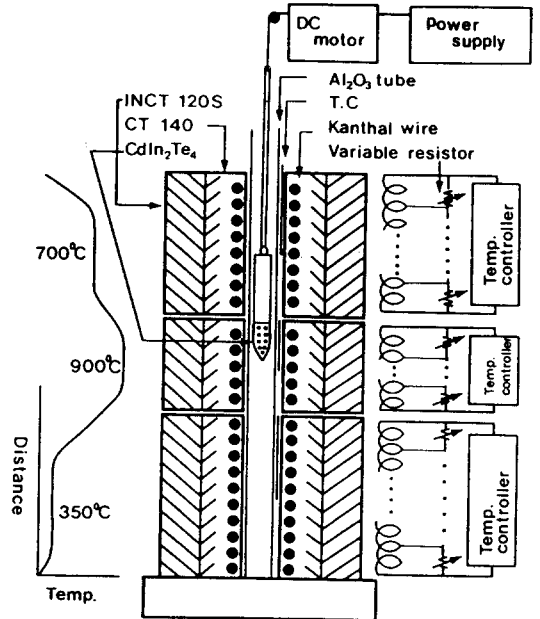


Fig. 3. Vertical three zone electrical furnace for $CdIn_2Te_4$ single crystal growth.

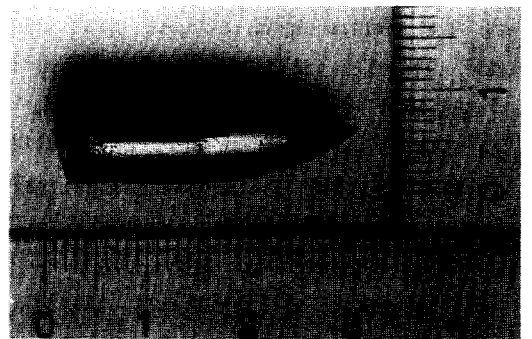


Fig. 4. Photograph of $CdIn_2Te_4$ single crystal.

2.2. 특성 측정방법

성장된 CdIn₂Te₄ 결정이 단결정입과 면의 방향 그리고 결정구조를 알아보기 위하여 Laue 배면 반사법으로 실험하였고, 격자상수를 측정하기 위하여 결정덩어리를 분말로 만들어 X-선 회절장치(Rigagu-Denki, D-3F)의 시료대에 고정시키고 X-선관의 전압을 25 kV, 관전류를 5 mA로 하여 Cu-K α 인 파장 1.5405 Å X-선을 조사하였다. 회전각 2 θ 를 20°부터 120°까지 회전시키면서 Bragg condition을 만족하는 회절선을 goniometer에 부착된 GM counter로 받아 기록된 회절상을 얻었고 이 data를 분석하였다.

성장된 CdIn₂Te₄ 단결정의 c축에 수직인 (110)면과 수평인 (001)면을 찾아 0.5 mm 두께로 잘라 sand paper(#1200)로 연마한 후 0.3 μ m와 0.05 μ m의 polishing alumina powder를 묻힌 천에서 곱게 다듬었으며 tricholoro ethylen, acetone, alcohol, 증류수 순으로 세척하여 웨이퍼를 제작하였다. 제작된 각각의 웨이퍼를 5 \times 5 mm²로 자른 후 전면 모서리의 4개소에 Au 전극을 붙여서 시료를 저온장치(Air Product Inc. Model CSA-2028 OE-202S)안의 시료대에 고정하고 진공도를 2 \times 10⁻⁶ torr 정도로 유지하면서 van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. CdIn₂Te₄ 결정구조 및 조성비

3.1.1. 분말법을 이용한 X-선 회절분석

성장된 CdIn₂Te₄ 결정의 구조를 분석하기 위하여 분말법에 의한 단결정의 XRD(X-

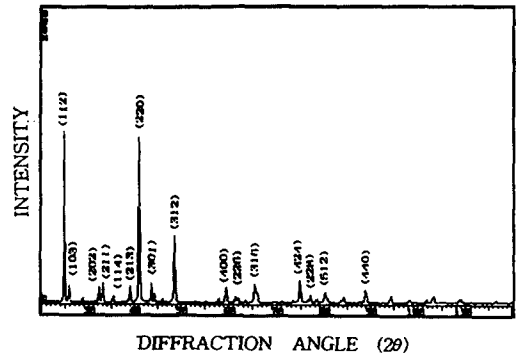


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of CdIn₂Te₄ single crystal.

ray diffraction) 측정을 하였다. 측정된 회절 무늬는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 (112), (103), (202), (211), (114), (113), (220), (301), (312), (400), (316), (424), (512), (440)면 등에서 peak가 나타나고 있다. 이들로부터 구한 X-선 회절도의 Miller 지수(hkl)값들은 면간격 d에 대한 2 θ 값이 JCPDS(joint committee on powder diffraction standard)와 잘 일치하여 CdIn₂Te₄ 단결정이 tetragonal로 성장되었음을 알 수 있었다. 격자상수는 Nelson-Riley 보정식에 의하여 외삽법[10,15-17]으로 구하였으며 그 결과는 Fig. 6, 7에 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 단결정의 격자상수 a₀는 6.215 Å, c₀는 12.390 Å이었다.

이 값은 Hahn[18]이 보고한 a₀는 6.205 Å, c₀는 12.405 Å과 잘 일치함을 알 수 있었다.

3.1.2. CdIn₂Te₄ 결정구조

CdIn₂Te₄는 space group I4̄.2d에 속하는 tetragonal 구조의 반도체이다. 그 구조는 II-VI족 zinc blende의 경우와 매우 유사하다. 양이온 sublattice가 Cd와 In에 의해 번갈아

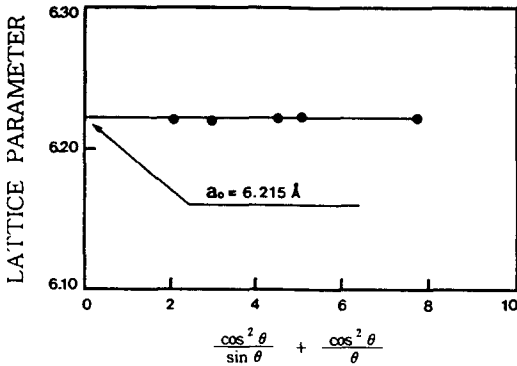


Fig. 6. Lattice parameter a_0 of CdIn_2Te_4 single crystal.

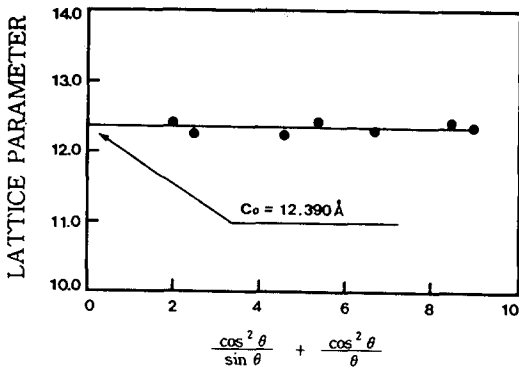


Fig. 7. Lattice parameter c_0 of CdIn_2Te_4 single crystal.

채워져 있으므로 cubic이 아닌 tetragonal 구조를 형성한다. 따라서 unit cell은 c축 방향으로 2배한 것과 같으며 primitive unit cell 당 8개 원자를 포함한다. Unit cell은 tetragonal하게 변형되어 있으며 이는 distortion parameter $\eta = c/2a \neq 1$ 로 표시된다. 단 양이온 Cd와 In의 이온반경과 전기음성도(electronegativity)의 차이 때문에 두개의 기본 화학 결합 Cd-Te, In-Te의 결합길이(band length)는 같지 않으며 음이온 Te는 이상적인 격자 위치로부터 u만큼 변위되어 있다. 두 합

길이는

$$R_{\text{Cd-Te}} = a[u^2 + \{1 + \eta\}^2/16]^{1/2} \quad (1)$$

$$R_{\text{In-Te}} = a[(u - 1/2)^2 + \{1 + \eta\}^2/16]^{1/2} \quad (2)$$

로 주어지며 결합길이의 차는

$$\alpha = R_{\text{In-Te}}^2 - R_{\text{Cd-Te}}^2 = a[(u - 1/u)a^2] \quad (3)$$

으로 쓸 수 있다. Zinc blende의 경우 $u - 1/u$ 이고 따라서 $\alpha = 0$ 이 된다.

본 실험에서는 CdIn_2Te_4 단결정의 성장된 면을 sand paper(#1200)로 연마한 후 $0.3 \mu\text{m}$ 와 $0.05 \mu\text{m}$ 의 polishing alumina powder를 묻힌 광택천으로 면을 곱게 만들고, tri-

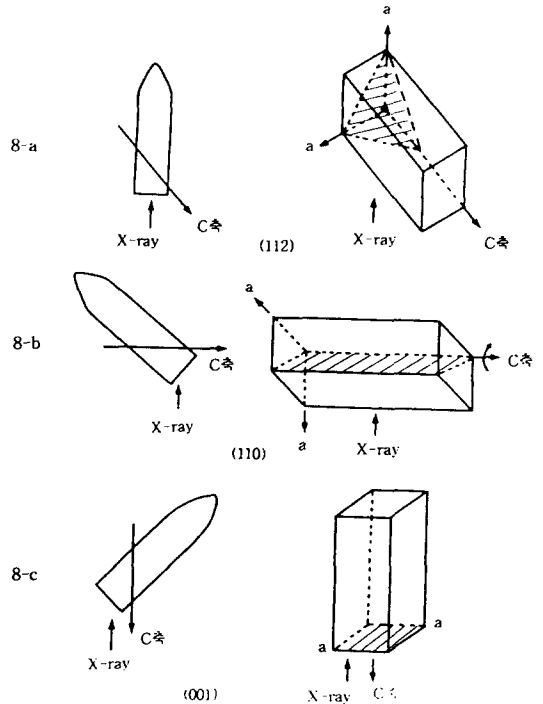


Fig. 8. Measurement order of back-reflection Laue method.

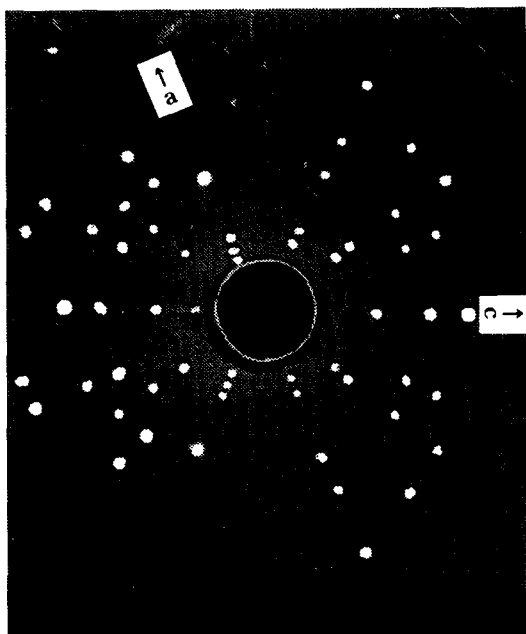


Fig. 9. Back-reflection Laue patterns to the (112) plans.

chloro ethylene, acetone, alcohol, 증류수 순으로 세척하였다. 준비된 시료의 표면에 Fig. 8 (a)와 같이 수직으로 X-선을 입사시켜 Fig. 9와 같은 배면반사 Laue 사진을 얻었다. 먼저 이 사진의 회절점에 대응하는 각좌표 γ 와 δ 를 Greniger 도표를 이용하여 읽고 Wulff망을 사용하여 점을 투영하였다. 그리고 필름 위 회절점들의 여러 쌍곡선에 대응하는 점의 여러 세트에 대한 대원을 그려 표준투영도[19]와 비교하므로써 (112)면의 Laue 사진임을 알 수 있었고 또한 c축도 선정하였다. Fig. 8 (b)와 같이 X-선을 c축에 수직으로 입사시켜 Fig. 10과 같은 Laue 사진을 얻었고 같은 방법으로 표준투영도와 비교하므로써 (110)면의 Laue 사진임을 알 수 있어서, c축에 수평한 면은 (110)면으로 성장되었음을 알 수 있었다.

또한 Fig. 8 (c)와 같이 X-선을 c축에 평

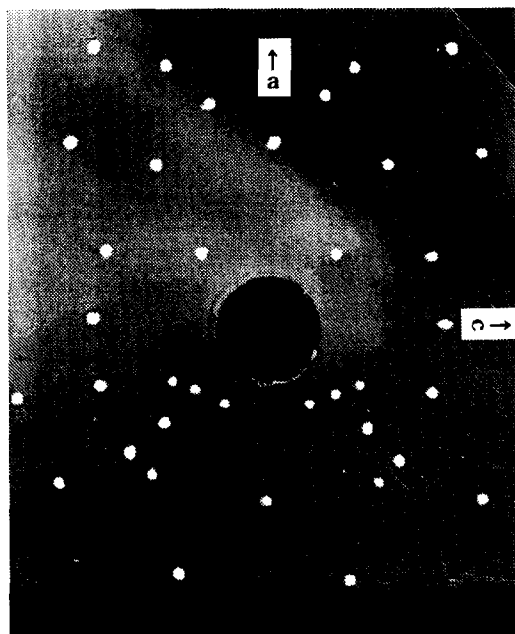


Fig. 10. Back-reflection Laue patterns to the (110) plans. (C//).

행하게 입사할 수 있도록 90° 회전시킨 후 c축 방향으로 X-선을 입사시켜 Fig. 11과 같은 Laue 사진을 얻고 같은 방법으로 표준투영도와 비교하여 (001)면의 Laue 사진임을 알 수 있어서, c축에 수직인 면은 (001)면으로 성장되었음을 알 수 있었다.

3.1.3. CdIn₂Te₄의 화학양론적 조성비

CdIn₂Te₄ 결정의 성분 및 조성은 다결정과 단결정의 EDS 스펙트럼을 Fig. 12와 13에 보였다. EDS 스펙트럼은 99.9999%의 순도를 갖는 Cd, In, Te에서 나오는 특성 X-선을 기준으로하여 측정했으며 Cd와 In의 경우 L-선의 특성 X-선을 이용하고, Te는 K-선의 특성 X-선을 사용하여 측정하였다. 그림에서 Cd, In, Te에 해당되는 뚜렷한 특성 X-선 peak가 나타나고 있다. 이들의 면적비

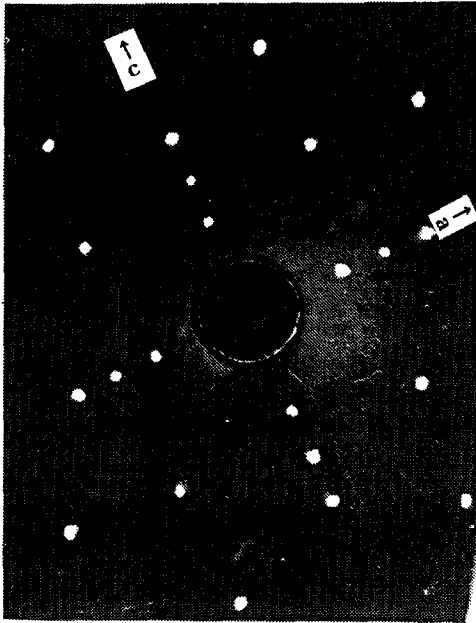


Fig. 11. Back-reflection Laue patterns to the (001) plans. (C₁)

에 따른 조성비의 값은 다결정과 단결정으로 나누어 Table 1에 보였다. 다결정과 합성된 다결정을 모체로 하여 성장한 단결정의 경우, starting element의 조성과 성장된 결정의 조성비들이 ±3% 오차범위 내에서 일치되고 있어 화학양론적 조성비를 잘 이루고 있음을 알 수 있었다.

3.2. CdIn₂Te₄ 단결정의 Hall 효과

Bridgman방법에 의하여 성장된 CdIn₂Te₄ 단결정을 c축에 수직하게 잘라 연마한 후 van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 보기 위해 온도를 293 K에서 30 K까지 변화시키면서 측정된 값들은 Table 2에 보이고, 이동도 μ 값은 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 14에서 보는 바와 같이 mobility가 상온에서는 $3.41 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 였으며, 293 K에서 150

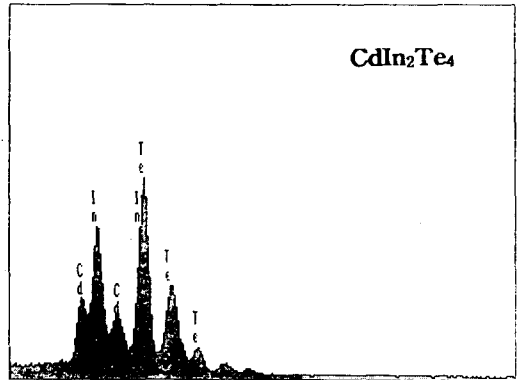


Fig. 12. EDS of CdIn₂Te₄ polycrystal.

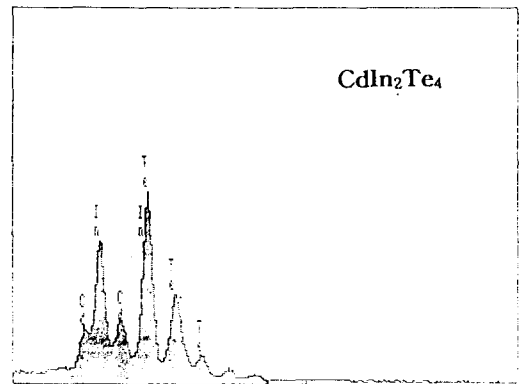


Fig. 13. EDS of CdIn₂Te₄ single crystal.

K까지는 격자 산란(lattice scattering)에 의한 산란으로 여겨지며, 150 K에서 30 K까지는 불순물 산란(impurity scattering)에 의한 것으로 보여지는데 이러한 격자 산란은 0 K 이상의 온도에서 격자원자의 열진동 결과로서 이들 진동은 격자의 주기적 potential을 방해하고 carrier와 격자 사이에 에너지를 전달한다. 격자 진동은 온도가 증가함에 따라서 커지며 격자 산란은 고온에서 우세(dominant)하게 된다. 따라서 mobility는 온도가 증가함에 따라 감소하며 격자 산란에 기인한 mobility는 $T^{-3/2}$ 에 비례하여 감소한다. 또한 불순물 산란은 하전된 carrier가 CdIn₂Te₄ 단결

Table 1
EDS data of CdIn₂Te₄ polycrystal and single crystal

| Element | Polycrystal | | Single crystal | |
|---------|-------------|-----------|----------------|-----------|
| | Starting(%) | Growth(%) | Starting(%) | Growth(%) |
| Cd | 13.19 | 13.14 | 13.14 | 13.54 |
| In | 26.94 | 27.31 | 27.31 | 28.25 |
| Te | 59.87 | 59.55 | 59.55 | 58.21 |
| Total | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |

Table 2
Hall data of CdIn₂Te₄ single crystal (C_{\perp})

| Temperature (K) | Carrier density n(electrons/m ³) | Hall coefficient R _H (m ³ /C) | Conductivity σ (Ω^{-1} m ⁻¹) | Mobility μ (m ² /V·sec) |
|-----------------|--|---|---|--|
| 293 | 8.75×10^{23} | 7.14×10^{-5} | 176.40 | 3.41×10^{-2} |
| 270 | 5.95×10^{23} | 1.05×10^{-4} | 234.19 | 3.78×10^{-2} |
| 250 | 5.18×10^{23} | 1.21×10^{-4} | 266.04 | 4.41×10^{-2} |
| 230 | 4.48×10^{23} | 1.39×10^{-4} | 384.20 | 4.62×10^{-2} |
| 200 | 3.47×10^{22} | 1.81×10^{-4} | 339.78 | 5.18×10^{-2} |
| 180 | 2.51×10^{22} | 2.49×10^{-4} | 285.54 | 5.61×10^{-2} |
| 150 | 1.79×10^{22} | 3.49×10^{-4} | 277.52 | 6.54×10^{-2} |
| 130 | 8.74×10^{21} | 7.15×10^{-4} | 211.73 | 6.32×10^{-2} |
| 100 | 5.36×10^{21} | 1.67×10^{-3} | 153.61 | 5.77×10^{-2} |
| 77 | 2.49×10^{21} | 2.51×10^{-3} | 117.89 | 4.80×10^{-2} |
| 50 | 1.96×10^{21} | 3.19×10^{-3} | 107.93 | 4.02×10^{-2} |
| 30 | 1.83×10^{21} | 3.41×10^{-3} | 104.66 | 2.76×10^{-2} |

정 성장과정에서 유입된 이온화된 불순물과 작용한 결과로 하전된 carrier는 Coulomb force 상호작용으로 편향되며 불순물 산란의 확률은 음과 양으로 하전된 이온 농도의 합인 이온화된 불순물의 합 농도에 의존된다. 그러나 불순물 산란은 격자 산란과 달리 고온에서 우세(dominant)하지 못하다. 그러나

그것은 carrier들이 빨리 움직여서 불순물 근처에 머무는 시간이 짧아 효과적으로 상관될 수 없기 때문이며 불순물 산란에 의한 mobility는 $T^{3/2}$ 에 비례한다. Carrier density는 온도의 역수($1/T$)에 대한 음의 지수형태에 따라 변하고 있으며 이 때에 온도역수에 대한 n 값은 Fig. 15와 같다. 활성화 에너지 E_a

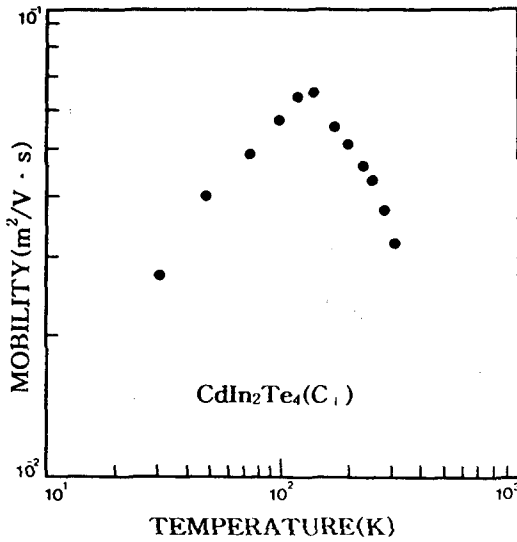


Fig. 14. Temperature dependence of mobility for CdIn_2Te_4 single crystal (C_1).

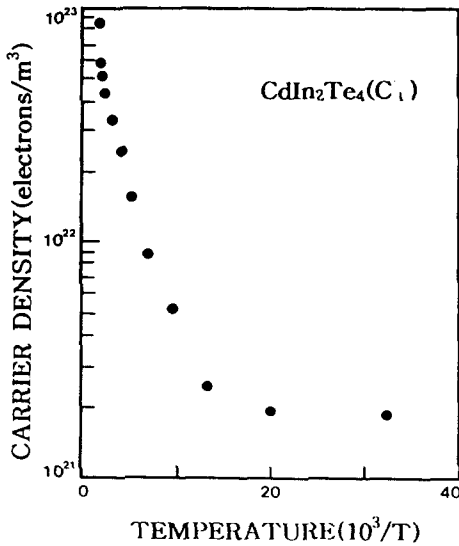


Fig. 15. Temperature dependence of carrier concentration for CdIn_2Te_4 single crystal (C_1).

는 $\ln n$ 과 온도의 역수($1/T$)에 따른 기울기로부터 구한 결과 0.243 eV였다. 또한 Table 2에서 Hall 계수는 양의 값을 갖기 때문에 CdIn_2Te_4 단결정은 p-type으로 성장되었음을 알 수 있었다. 또한 CdIn_2Te_4 단결정을 c축에 수평하게 잘라 연마한 후 van der Pauw 방법으로 온도를 293 K에서 30 K까지 변화를 주면서 측정하여 구한 carrier density, Hall 계수, 전기전도도, mobility의 값을 Table 3에 나타내고 mobility μ 값을 Fig. 16에 나타냈다. Table 3에서 알 수 있듯이 293 K에서 전하농도 $n = 8.61 \times 10^{23}$ 개/ m^3 , Hall 계수 $R_H = 7.26 \times 10^{-5}$ m^3/C , 전기전도도 $\sigma = 333.38 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, 이동도 $\mu = 2.42 \times 10^{-2}$ $\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 로 나타나고 있다. Fig. 16에서 볼 때 mobility는 130 K에서 30 K까지는 불순물에 의한 산란(impurity scattering)에 기인하고 있으며 293 K에서 130 K까지는 격자 산란(lattice scattering)에 의존하고 있음을 알 수 있다. Carrier density n 은 Fig. 17에서 보는 바와 같이 온도의 역수($1/T$)에 대

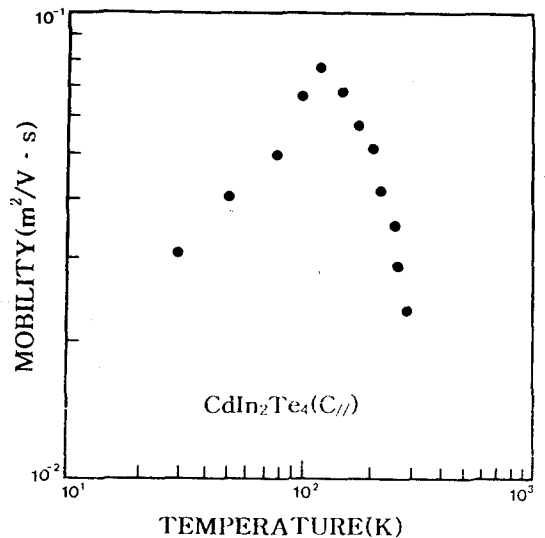


Fig. 16. Temperature dependence of mobility for CdIn_2Te_4 single crystal (C_{11}).

Table 3
Hall data of CdIn₂Te₄ single crystal (C_{II})

| Temperature (K) | Carrier density n(electrons/m ³) | Hall coefficient R _H (m ³ /C) | Conductivity σ(Ω ⁻¹ m ⁻¹) | Mobility μ (m ² /V·sec) |
|-----------------|--|---|--|------------------------------------|
| 293 | 8.61 × 10 ²³ | 7.26 × 10 ⁻⁵ | 333.38 | 2.42 × 10 ⁻² |
| 270 | 6.66 × 10 ²³ | 9.38 × 10 ⁻⁵ | 299.43 | 2.81 × 10 ⁻² |
| 250 | 3.16 × 10 ²³ | 1.98 × 10 ⁻⁴ | 270.39 | 3.37 × 10 ⁻² |
| 230 | 2.38 × 10 ²³ | 2.62 × 10 ⁻⁴ | 246.99 | 3.86 × 10 ⁻² |
| 200 | 1.74 × 10 ²² | 3.59 × 10 ⁻⁴ | 240.87 | 5.06 × 10 ⁻² |
| 180 | 1.65 × 10 ²² | 3.78 × 10 ⁻⁴ | 245.99 | 5.53 × 10 ⁻² |
| 150 | 1.31 × 10 ²² | 4.77 × 10 ⁻⁴ | 242.11 | 6.78 × 10 ⁻²² |
| 130 | 7.81 × 10 ²¹ | 8.03 × 10 ⁻⁴ | 196.47 | 7.72 × 10 ⁻² |
| 100 | 4.11 × 10 ²¹ | 1.52 × 10 ⁻³ | 137.29 | 6.67 × 10 ⁻² |
| 77 | 1.78 × 10 ²¹ | 3.51 × 10 ⁻³ | 114.07 | 4.94 × 10 ⁻² |
| 50 | 1.03 × 10 ²¹ | 6.06 × 10 ⁻³ | 106.76 | 4.10 × 10 ⁻² |
| 30 | 1.02 × 10 ²¹ | 6.12 × 10 ⁻³ | 105.19 | 3.18 × 10 ⁻² |

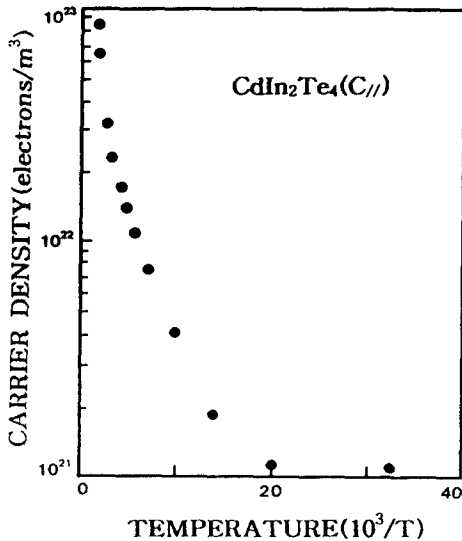


Fig. 17. Temperature dependence of carrier concentration for CdIn₂Te₄ single crystal (C_{II}).

해 음의 지수형태에 따라 변하고 있으며 활성화 에너지 E_a 는 $\ln n$ 과 온도의 역수($1/T$)의 관계에서 0.245 eV의 값을 얻었다. 여기에서 받개(acceptor)는 defect에 의한 것으로 고찰된다.

4. 결 론

전기료를 제작하여 수평로에서 CdIn₂Te₄ 단결정을 합성하고, Bridgman 방법으로 단결정을 성장시켜 단결정의 결정구조 및 화학양론적 조성비를 조사하였다. 또한 단결정의 c축에 수직 및 평행한 시료를 만든 다음 van der Pauw 방법으로 Hall 효과를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1) CdIn₂Te₄ 단결정의 결정구조는 tetragonal이며, 단결정의 격자상수 a_0 는 6.215 Å,

c_0 는 12.390 Å 이었다.

2) $CdIn_2Te_4$ 단결정 EDS 측정결과 $\pm 3\%$ 오차범위 내에서 일치하고 있어 화학양론적 조성비를 잘 이루고 있음을 알 수 있었다.

3) 단결정은 Laue 사진의 측정 분석 결과 원추형의 길이 방향은 (112)면, c축에 수평한 방향은 (110)면, c축에 수직인 방향은 (001)면으로 성장되었음을 알 수 있었고, 성장된 결정이 단결정임을 확인하였다.

4) 단결정의 Hall 효과는 van der Pauw 방법으로 측정하였으며, 측정 결과 C_{\perp} 시료와 C_{\parallel} 시료 모두 Hall 계수가 양의 값이어서 성장된 단결정은 p형 반도체임을 알 수 있었다.

5) Hall 이동도의 온도의존성은 c축에 수직인 시료는 30 K에서 150 K까지는 불순물 산란에 의한 것이며, 150 K에서 293 K까지는 격자산란에 기인한 것으로 생각되어진다. 또한 c축에 평행한 시료는 30 K에서 130 K까지는 불순물 산란, 130 K에서 293 K까지는 격자산란에 의한 것으로 보인다.

6) 운반자 농도는 c축에 수직 및 수평한 시료 모두 온도역수에 대해 음의 지수 형태로 변하고 있으며, 활성화 에너지 E_a 는 C_{\perp} 시료는 0.243 eV, C_{\parallel} 시료는 0.245 eV였다.

감사의 글

본 논문은 1994년도 조선대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습.

참 고 문 헌

[1] S.S. Ou, S.A. Eshraghi, O.M. Stafsudd and A.L. Gentile, J. Appl. Phys. 57

(1985) 2.

- [2] V. Riede, H. Neumann, V. Krämer and M. Kittel, Solid State Commun. 78 (1991) 211.
- [3] N.S. Grushkov, V.S. Donu, V.V. Zhitar and S.I. Radautsan, Sov. Phys. Semicond. 14 (1980) 38.
- [4] V. Riede, H. Neumann, V. Kräner, M. Kittel and H. Sobotta, Cryst. Res. Technol. 26 (1991) 639.
- [5] G.B. Abdullaev, V.G. Agaev, A.B. Antonov, R. Kh. Nani and E. Yu. Salaev, Sov. Phys. Semicond. 6 (1972) 1492.
- [6] R.S. Becker, Guo-Ding Zbou and John Elton, J. Phys. Chem. 90 (1986) 5866.
- [7] S. Kianian, S.A. Eshraghi, O.M. Stafsudd and A.L. Gentile, J. Appl. Phys. 62 (1987) 1500.
- [8] A.L. Gentile, Prog. Crystal Growth Charact. 10 (1985) 241.
- [9] L.M. Suslikev, Z.P. Gadmasi and V. Yu. Slivka, Opt. Spectrosc. 55 (1983) 445.
- [10] L. Garbato, F. Ledda and A. Rucci, Prog. Crystal Growth and Charact. 15 (1987) 1.
- [11] S.S. Ou, S.A. Eshraghi, O.M. Stafsudd and A.L. Gentile, J. Appl. Phys. 57 (1985) 355.
- [12] R.D. Chwang, B.J. Smith and C.R. Crowell, Solid State Electronic 17 (1974) 1217.
- [13] P.M. Hemenger, Rev. Sci. Instrum. 44 (1973) 698.
- [14] P. Goldberg, Luminescence of Inorganic Solid (Academic Press, New

- York, 1966) p. 277.
- [15] G. Couturier, A. El Farji, F. Lestourenelle and J.C. Launay, J. Appl. Phys. 70(8) (1991) 4472.
- [16] G. Busch, E. Mooser and W.B. Pearson, Helv. Phys. Acta. 29 (1956) 192.
- [17] S.M. Wasim and J.G. Albormóz, Phys. Stat. Sol. (a) 110 (1988) 575.
- [18] H. Hahn, G. Frank, W. Klinger and A. D. Störger, Z. Anorg. Allgem. Chem. 279 (1955) 241.
- [19] E.A. Wood, Crystal Orientation Manual, (Columbia University Press, 1963).