

# ホットプレス法により作製した CuInTe<sub>2</sub> の Cu/In 比依存性

永岡 章<sup>a)</sup>・田代 龍一<sup>b)</sup>・太田原 麗<sup>c)</sup>・山本 由美<sup>d)</sup>・吉野 賢二<sup>d)</sup>・碓 哲雄<sup>e)</sup>

## Dependence of Cu/In Ratio of CuInTe<sub>2</sub> Crystals Grown by Hot-press Method

Akira NAGAOKA, Ryuichi TASHIRO, Urei OOTABARA, Yumi YAMAMOTO,  
Kenji YOSHINO, Tetsuo IKARI

### Abstract

Undoped CuInTe<sub>2</sub> crystals various Cu/In ratio (0.5 ~ 1.5) were grown by hot-press (HP) method at 650°C for 1 h under high pressure (25 MPa). Tetragonal (Chalcopyrite type) CuInTe<sub>2</sub> single phase obtained by HP method at 600 ~ 700°C in our previous work, furthermore grain size grown at 650°C has a larger than others one. The sizes of the samples were 20 mm in diameter. Cu-rich samples indicated chalcopyrite structures and p-type by means of X-ray diffraction and thermoprobe analysis, respectively. It was assumed that lattice defects of In atoms in Cu site and Cu vacancy were dominant in Cu- and In-rich samples, respectively.

**Keywords:** CuInTe<sub>2</sub>, Hot-Press, Chalcopyrite

### 1. はじめに

Cu-III-VI<sub>2</sub> 族カルコパイライト型化合物半導体の中でも、CuInTe<sub>2</sub>は禁制帯幅 1.04 eV を持ち、光吸収係数は 10<sup>5</sup> cm<sup>-1</sup> 程度と大きく、容易に P

型の伝導型の得られるという特徴をもっており、太陽電池の吸収層として期待されている<sup>1)</sup>。

CuInTe<sub>2</sub> の作製法は、薄膜では蒸着法<sup>2,3)</sup>や PLD(Pulsed Laser Deposition)法<sup>4)</sup>による作製法が報告がされている。また、バルク結晶ではブリッジマン法<sup>5)</sup>や THM(Traveling Heater Method)法<sup>6)</sup>、CVT(Chemical Vapor Transport)法<sup>1)</sup>による作製法が報告されているものの、薄膜、バルク結晶ともに関する報告例は少ない。そこで、これまでにホットプレス法により CuInTe<sub>2</sub>バルク結晶の成長温度依存性について研究をおこなった<sup>7)</sup>。

ホットプレス法は低温かつ短時間で結晶成長ができ、真空を必要としないなどの利点がある。

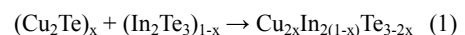
上記の研究において以下の知見を得た。成長温度 600 ~ 700°C で作製した試料では、X線回折測定において CuInTe<sub>2</sub> に一致するピークが観察された。また、成長温度を増加させるにしたがってシェラーの式より算出したグ

レインサイズは増加する傾向を示し、成長温度 650°C において最も大きなグレインサイズが得られた。電気的特性においては成長温度 600 ~ 700°C において伝導型は P 型を示した。また、成長温度 650°C で作製した試料において最も大きな移動度が得られ、キャリア濃度 2.26×10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup>、移動度 77.3 cm<sup>2</sup>v<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>、抵抗率 3.57×10<sup>-3</sup> Ω cm であった。

そこで、本研究での目的は成長温度 650°C でカチオン比 (Cu/In) を変化させることにより、CuInTe<sub>2</sub> の結晶性や電気的特性について調査をおこなった。

### 2. 実験方法

粉末二元系材料 Cu<sub>2</sub>Te (99.9 %、高純度化学株式会社)、In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> (99.99 %、高純度化学株式会社) を用いて、Cu<sub>2</sub>/In=0.5 ~ 1.5 になるように混合量を調整した。これを原料として HP 法を用いて CuInTe<sub>2</sub> バルク結晶を作成した。



また、結晶の評価として、構造特性と結晶化度を X 線回折(XRD)法、組成分析を電子プローブマイクロ分析、密度を比重測定、電気的特性をホール測定により行った。

XRD 測定は加速電圧を 40kV、管電流を 40mA で測定をおこなった。また、XRD の測定結果より、格子定数、グレインサイズの算出もおこなった。電子プローブマイクロ分析は S-4100 型 日立走査型電子顕微鏡を用いて測定をおこなった。比重測定はアルキメデスの原理を利用しているミラージュ貿易株式会社製の電子比重計 MD-200 を用

- a) 農学工学総合研究科大学院生
- b) 電気電子工学専攻大学院生
- c) 電気電子工学科技術補佐員
- d) 電気電子工学科准教授
- e) 電気電子工学科教授

いて測定をおこなった。ホール測定は Ecopia 社製 HMS-3000SP Hall Effect Measurement System を使用した。オーミック電極として Au をスパッタリングし、磁束密度を 0.5T、測定温度を 300K として測定をおこなった。

また、各測定法の原理や格子定数、グレインサイズの算出方法に関してはこれまでの報告のものと同様であるのでそれらを参考とする<sup>7-11)</sup>。

### 3. 実験結果

#### 3.1 結晶成長

作製した試料を Fig. 1 に示す。カーボンダイスの形状より作製した試料は、直径 20 mm、厚さは約 2 mm の円柱状である。圧力を 25MPa として成長温度を 650°C、Cu/In=0.5~1.5 と変化させて作製した。成長時間は 1 時間である。

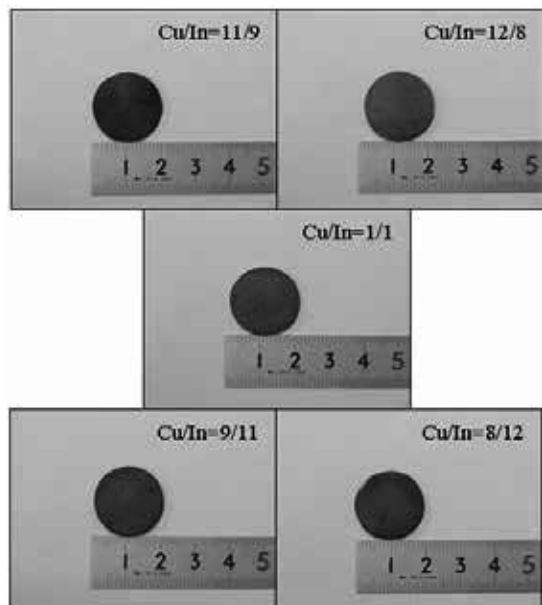


Fig. 1 Samples grown by Hot-Press method

#### 3.2 X線回折

Fig. 2 に X 線回折の測定結果を示す。この図中の下側が In-rich、上側が Cu-rich のサンプルを表している。また、Cu/In=7/14 のサンプルの封入量は  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の Stoichiometry である。測定結果と一緒に ICDD カードの  $\text{CuInTe}_2$ <sup>12)</sup>、 $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$ <sup>13)</sup>、 $\text{Cu}_7\text{Te}_4$ <sup>14)</sup>、 $\text{Cu}_{2.72}\text{Te}_2$ <sup>15)</sup> も示す。

Cu/In=1/1 と Cu-rich のすべてのサンプルでは、 $\text{CuInTe}_2$  のピークが観察されたものの、In-rich 側のサンプルでは封入した In の割合が大きくなるにしたがって、徐々に  $\text{CuInTe}_2$  のピークが見られなくなり、 $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  のピークが観察された。特に Cu/In=8/12、Cu/In=7/14 のサンプルでは  $\text{CuInTe}_2$  のピークが全く見られず、Cu/In=7/14 のサンプルは  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の単相であった。また、Cu-rich のサンプルでは Cu/In=11/9、12/8 のサンプルで  $\text{Cu}_7\text{Te}_4$  のピークが得られ、In-rich のサンプルでは Cu/In=9/11、8/12 のサンプルで  $\text{Cu}_{2.72}\text{Te}_2$  のピークが得られた。

このことから、 $\text{CuInTe}_2$  は Stoichiometry から Cu-rich の条件では十分に成長が促進され、In-rich の条件では、In の割合が増加するに伴い  $\text{CuInTe}_2$  の成長は衰退し、 $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の成長が促進されたと考えられる。また、Cu-rich 側のサンプルでは  $\text{CuInTe}_2$  を形成するのに余分となる Cu と Te が結びついて  $\text{Cu}_7\text{Te}_4$  のピークが見られ、In-rich 側の Cu/In=9/11、8/12 のサンプルでも同様に  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  を形成する際に余分となった Cu と Te が結びついて  $\text{Cu}_{2.72}\text{Te}_2$  が得られたと考えられる。

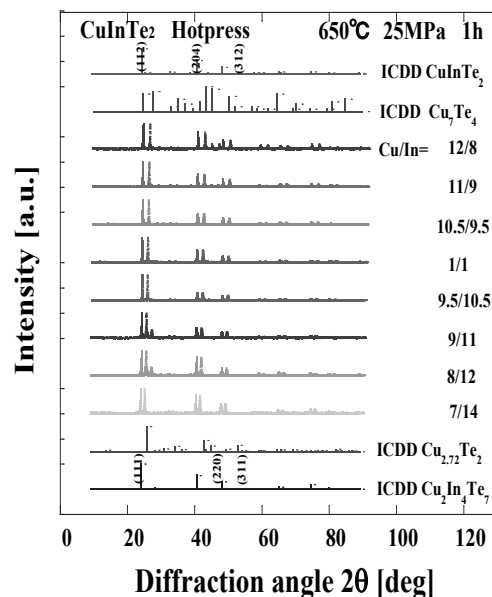


Fig. 2 X-ray diffraction patterns

Fig. 3 は  $\text{CuInTe}_2$  の面方位を基に今回作製したサンプルから得られた格子定数を ICDD カード<sup>12)</sup>と共に載せたもので、Fig. 4 は  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の面方位を基に今回のサンプルから得られた格子定数を ICDD カード<sup>13)</sup>と共に載せたものである。グラフ中の左側が In-rich、右側が Cu-rich を表している。

Fig. 3 において、Stoichiometry から Cu-rich になるにしたがって、 $a$  軸、 $c$  軸ともに ICDD カードの値に近づいている。これは X 線回折の結果より、Cu-rich 側のサンプルでは  $\text{CuInTe}_2$  が十分に形成されたと考えられる。また、Stoichiometry から In-rich になるにしたがって、 $a$  軸、 $c$  軸ともに減少傾向を示している。Fig. 4 より  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の格子定数の値に近づいている。これは X 線回折の結果と同様に Stoichiometry から In-rich になるにしたがい  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の成長が促進されたと考えられる。

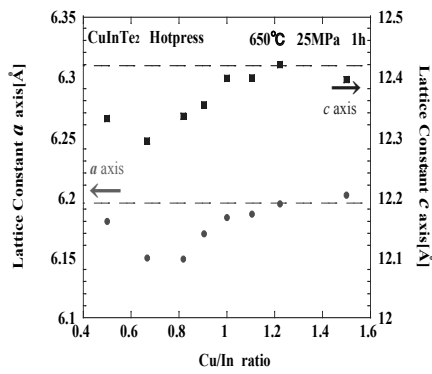


Fig. 3 Lattice constant (CuInTe<sub>2</sub>)

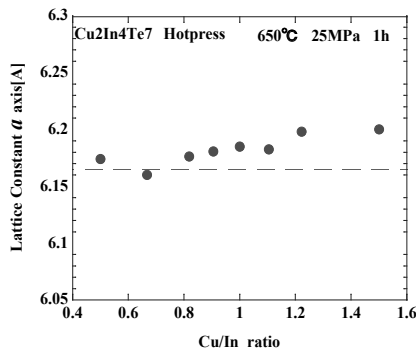


Fig. 4 Lattice constant (Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>)

X線回折の結果からシェラーの式によって求めた(112)面の粒径を Fig. 5 に示す。粒径は(112)面で In-rich から Cu-rich になるにしたがって粒径の増加傾向が見られるが、Cu/In=7/14 のサンプルでは大きい粒径が得られた。

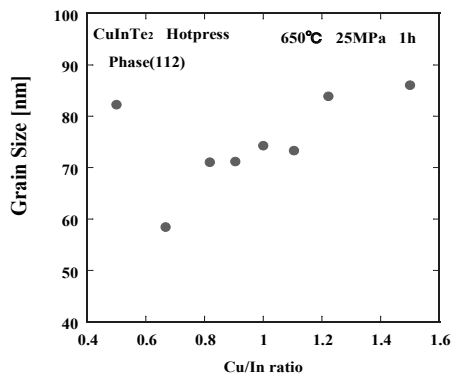


Fig. 5 Grain size (112)

また、Stoichiometry から Cu-rich になるにしたがって粒径が増加している原因としては、以前 HP 法により Stoichiometry で成長温度 400°C から 700°C の条件で CuInTe<sub>2</sub> を温度変化によって作製した際に、CuInTe<sub>2</sub> の成長が確認できた 600°C から 700°C のサンプルで Cu-poor, In-rich, Te-rich の結果が得られたことから、CuInTe<sub>2</sub> は結晶成長する際に Cu 空孔が形成されやすいと考えられる。第一原理計算により Cu-poor の CuInSe<sub>2</sub>、CuGaSe<sub>2</sub>、CuAlSe<sub>2</sub> の点欠陥の構成エネルギーを計算するとこれらの化合物では完

全結晶よりも V<sub>Cu</sub> の点欠陥を含んだ方が熱力学的に安定な状態になるため、自然に V<sub>Cu</sub> は形成されるという報告がある<sup>16)</sup>。このことから、今回 Cu-rich で作製したサンプルでは過剰な Cu により、Cu が十分に CuInTe<sub>2</sub> の成長に関与したため、十分に CuInTe<sub>2</sub> の結晶成長が促進されたのだと思われる。

また、CuInSe<sub>2</sub> においても Cu/In 比を増加すると(112)面のグレインサイズが向上すると言う報告<sup>17)</sup>がある。このことから、Cu-rich 条件化においては CuInTe<sub>2</sub> の結晶成長が促進されたと考えられる。

Cu/In=9/11 から In-rich になるにしたがって粒径が増加した原因は、異相である Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> の成長が促進したことによるとと思われる。そのため、In-rich 側では Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> の Stoichiometry である Cu/In=7/14 のサンプルで最も大きい粒径が得られたと思われる。

### 3.3 電子プローブマイクロ分析

EPMA は各サンプルでサンプルの中心部、端部の 3ヶ所で測定し、そのすべての結果をプロットしたグラフを Fig. 6 に示す。また図中の曲線は計算により求めた理論曲線である。

EPMA の測定結果は全体的に若干の差異があるものの、封入量に比べ Cu-rich のすべてのサンプルでは全体的に Cu-rich, In-poor, Te-poor の測定結果が得られ、In-rich では Cu-poor, In-rich, Te-rich の結果が得られた。しかし、Cu/In=7/14 のサンプルでは他の In-rich サンプルと違い、Cu-rich, In-poor, Te-poor の測定結果が得られた。

このことから、Cu-rich のサンプルでは、点欠陥として In 空孔(V<sub>In</sub>)、Te 空孔(V<sub>Te</sub>)、格子間 Cu(Cu<sub>i</sub>)、In に置換した Cu(Cu<sub>in</sub>)、Te に置換した Cu(Cu<sub>Te</sub>)が考えられるが、これらのサンプルは p 型であるので、アクセプタ性欠陥を示す V<sub>In</sub>、Cu<sub>in</sub>、Cu<sub>Te</sub> がドナー性欠陥に比べ豊富に含まれたと思われる。In-rich のサンプルでは、点欠陥として Cu 空孔(V<sub>Cu</sub>)、格子間 In(In<sub>i</sub>)、格子間 Te(Te<sub>i</sub>)、Cu に置換した In(In<sub>Cu</sub>)、Cu に置換した Te(Te<sub>Cu</sub>)が考えられるが、こちらのサンプルも P 型を示したため、アクセプタ性欠陥を示す V<sub>Cu</sub>、Te<sub>i</sub> がドナー性欠陥に比べ豊富に含まれたと思われる。また、Cu/In=7/14 のサンプルでは Cu-rich サンプルと同様に In 空孔(V<sub>In</sub>)、Te 空孔(V<sub>Te</sub>)、格子間 Cu(Cu<sub>i</sub>)、In に置換した Cu(Cu<sub>in</sub>)、Te に置換した Cu(Cu<sub>Te</sub>)が考えられるが、これらのサンプルは p 型であるので、アクセプタ性欠陥を示す V<sub>In</sub>、Cu<sub>in</sub>、Cu<sub>Te</sub> がドナー性欠陥に比べ豊富に含まれたと思われる。

また、Cu/In=9/11 のサンプル中の二箇所による測定結果では Cu-poor, In-rich, Te-rich の割合が顕著に現れている。この原因としては、Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> は合計を 100 で換算すると Cu : In : Te=16.5 : 30.5 : 53.0 の割合となり、測定結果のプロット点はこの比率に近似した値を示している。このことから、この測定した 2 箇所の部分には他の部分に比べ豊富に Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> が形成されたと思われる。

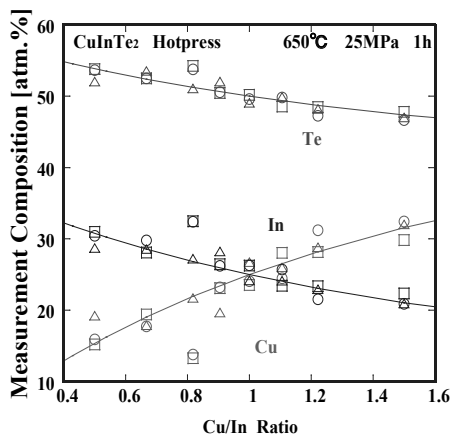


Fig. 6 EPMA

### 3.4 比重測定

比重測定によって求めた密度の測定結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7 内の赤線は ICDD カード<sup>12)</sup>における  $\text{CuInTe}_2$  の密度である。比重測定の測定結果は、X 線回折で異相が見られなかった Stoichiometry と  $\text{Cu/In}=10.5/9.5$  のサンプルでは ICDD カードに近い値を示したが、Cu-rich、In-rich が進むにしたがって密度は低下した。また、 $\text{Cu/In}=8/12$ 、 $7/14$  のサンプルは約  $5.9\text{g/cm}^3$  と他の In-rich のサンプルに比べ大きな密度が得られた。

Cu-rich、In-rich が進むにつれ密度が低下した原因としては、結晶中に異相ができ、その割合が増加したため、異相との界面にグレインバウンダリーが増えたことが原因だと思われる。また、 $\text{Cu/In}=8/12$  のサンプルで  $5.976\text{g/cm}^3$ 、 $\text{Cu/In}=7/14$  のサンプルで  $5.912\text{g/cm}^3$  と大きな密度が得られた原因としては、Congiu 等の論文<sup>39)</sup>によると  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の比重測定により求められた密度は  $5.93\text{g/cm}^3$  であり、 $\text{Cu/In}=8/12$  のサンプルの密度と近い値をとっている。X 線回折の結果などからも  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  が十分に形成されたことにより、この値に近づいたと思われる。

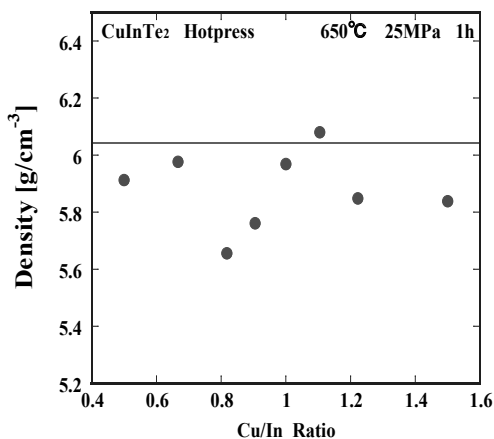


Fig. 7 比重測定

### 3.5 ホール測定

ホール測定ではすべてのサンプルにおいて金の電極でオーミック特性が得られ、伝導型は P 型を示した。

Fig. 8 より、Stoichiometry から Cu-rich になるにしたがってキャリア濃度は一旦減少傾向を示し、 $\text{Cu/In}=10.5/9.5$  からは増加傾向を示した。また、Stoichiometry から In-rich になるにしたがって、同様に一旦減少傾向を示し、 $\text{Cu/In}=9/11$  からは増加傾向を示した。

これらの原因としては、Cu-rich 側では粒径の結果より Stoichiometry から Cu-rich になるにしたがって  $\text{CuInTe}_2$  の成長が促進されたことからアクセプタ性を示す真性欠陥の数が減少しキャリア濃度は低下したものの、結晶中の Cu の量が In、Te に比べ豊富になるにしたがって、Cu が In にアンチサイトすることでアクセプタ性を示すキャリア濃度が増加したと思われる。In-rich 側では、X 線回折の結果から In-rich が進むにしたがって  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の結晶成長が促進したと考えられるので、キャリア濃度が低下したものの、 $\text{Cu/In}=7/14$  のサンプルでは異相がなくなり  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の単相になったことでアクセプタ性を示すキャリアが増加したと思われる。

Fig. 9 より、移動度の変化は全体的にキャリア濃度の変化に逆数で対応したグラフとなっている。これはサンプル中の欠陥により生じたキャリアが散乱機構を示したことによりキャリアの移動度が低下したと思われる。

Fig. 10 より、抵抗率の変化は In-rich から Cu-rich になるにしたがって減少傾向が見られ、 $\text{Cu/In}=12/8$  で  $4.95 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$  と最も低い抵抗率が得られた。参考文献として Prabukanhan 等による論文<sup>1)</sup>の CVT 法により作成した  $\text{CuInTe}_2$  バルク単結晶を示すと、その抵抗率は  $3.00 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$  であり、Cu-rich 側のすべてのサンプルより大きな値である。

この原因としては、 $\text{Cu/In}=10.5/9.5$ 、 $11/9$  のサンプルでは粒径の結果より  $\text{Cu/In}=12/8$  に比べ  $\text{CuInTe}_2$  の粒径は小さかったものの、X 線回折の結果より  $\text{Cu/In}=12/8$  に比べ、異相が少なかったことにより結晶全体で  $\text{CuInTe}_2$  の豊富さが上回ったことに起因すると思われる。よって  $\text{Cu/In}=12/8$  では In に対して余分な Cu と Te により  $\text{Cu}_7\text{Te}_4$  が多量に形成されたためにそれらが電気伝導のパスとなったために、 $\text{CuInTe}_2$  の結晶成長も促進されたものの、このように CVT 法より作成された単結晶の抵抗率に比べ低い抵抗率が得られたと思われる。

また、 $\text{Cu/In}=8/12$  のサンプルの抵抗率は  $3.22 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$  と他の In-rich サンプルに比べ、極端に低い値を示した。

この原因としては、Congiu 等の論文<sup>18)</sup>では  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  の抵抗率は  $3.33 \times 10^3 \Omega\text{cm}$  であり、今回  $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$  を含んでいると思われる  $\text{Cu/In}=8/12$  のサンプルとは大きく異なった抵抗率であった。このことより、 $\text{Cu/In}=8/12$  のサンプルでは In に対して余分な Cu と Te により異相である  $\text{Cu}_{2.72}\text{Te}_2$  が多量に形成されたためにそれらが電気伝導のパスとなったために抵抗率が落ち込んだものであると思われる。

今回作製したサンプルの中で Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>の相を含んでおらず、CuInTe<sub>2</sub>が得られた Cu/In = 1/1, 10.5/9.5, 11/9, 12/8 のサンプルのうち、ホール測定の結果よりキャリア濃度が最も低く、移動度の最も高い Cu/In=10.5/9.5 のサンプルはキャリア濃度  $2.75 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、移動度  $13.64 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  であった。参考文献として Prabukanthan 等による論文<sup>1)</sup>の CVT 法により作成した CuInTe<sub>2</sub> 単結晶のキャリア濃度、移動度を示すと、キャリア濃度  $2.33 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、移動度  $105.6 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  であった。参考文献と今回 Cu/In=10.5/9.5 で作製したサンプルを比較してみると、参考文献に比べキャリア濃度は高く移動度は低い値をとっている。

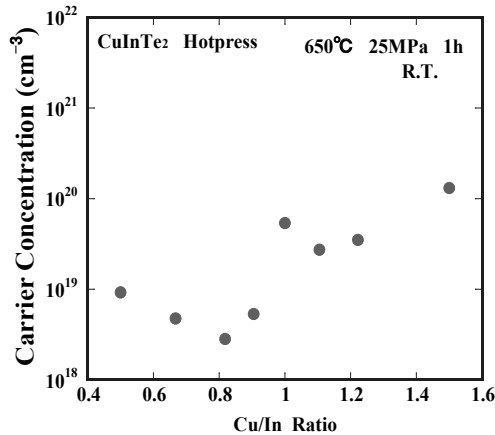


Fig. 8 キャリア濃度

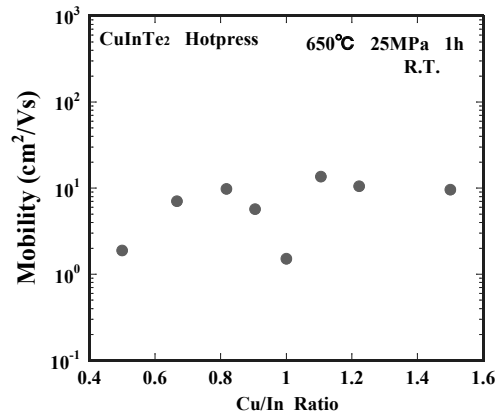


Fig. 9 移動度

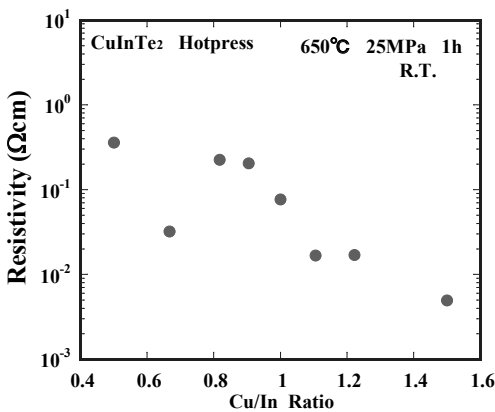


Fig. 10 抵抗率

#### 4. 結論

粉末 2 元系原料 Cu<sub>2</sub>Te、In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>を用いて、ホットプレス法により CuInTe<sub>2</sub> バルク結晶の作製を試みた。成長温度 650°C、圧力 25MPa、成長時間 1 時間で、Cu/In 比を 0.5~1.5 と変化させた。

X 線回折の結果より、すべてのサンプルは多結晶であった。Cu/In=1/1 と Cu-rich のすべてのサンプルでは、CuInTe<sub>2</sub> のスペクトルが検出されたものの、In-rich 側のサンプルでは封入した In の割合が大きくなるにしたがって、徐々に CuInTe<sub>2</sub> のピークが観察されなくなり、Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> のピークが観察された。特に Cu/In=8/12、Cu/In=7/14 のサンプルでは CuInTe<sub>2</sub> のピークが全く見られず、Cu/In=7/14 のサンプルは Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> の単相であった。また、Cu-rich のサンプルでは Cu/In=11/9、12/8 のサンプルで Cu<sub>7</sub>Te<sub>4</sub> のピークが観察され、In-rich のサンプルでは Cu/In=9/11、8/12 のサンプルで Cu<sub>2.72</sub>Te<sub>2</sub> のピークが観察された。

EPMA の測定結果は封入量に比べ全体的に Cu-rich のすべてのサンプルでは Cu-rich、In-poor、Te-poor の測定結果が得られ、In-rich では Cu-poor、In-rich、Te-rich の結果が得られた。しかし、Cu/In=7/14 のサンプルでは他の In-rich サンプルと違い、Cu-rich、In-poor、Te-poor の測定結果が得られた。これらのサンプルは P 型であるので、アクセプタ性欠陥を示す V<sub>In</sub>、Cu<sub>In</sub>、Cu<sub>Te</sub> がドナー性欠陥に比べ豊富に含まれたと思われる。

比重測定の測定結果は、X 線回折で異相が見られなかった Stoichiometry と Cu/In=10.5/9.5 のサンプルでは ICDD カードに近い値を示したが、Cu-rich、In-rich が進むにしたがい密度は低下した。また、Cu/In=8/12、7/14 のサンプルは約 5.9g/cm<sup>3</sup> と他の In-rich のサンプルに比べ大きな密度が得られた。Cu-rich、In-rich が進むにしたがい密度が低下した原因としては、結晶中に異相ができ、その割合が増加したため、異相との界面にグレインバンダリーが増えたことが原因と思われる。

ホール測定ではすべてのサンプルにおいて金の電極でオーミック特性が得られ、伝導型は P 型を示した。キャリア濃度は Stoichiometry から Cu-rich になるにしたがいキャリア濃度は一旦減少傾向を示し、Cu/In=10.5/9.5 からは増加傾向を示した。また、Stoichiometry から In-rich になるにしたがって、同様に一旦減少傾向を示し、Cu/In=9/11 からは増加傾向を示した。移動度は全体的にキャリア濃度の変化に逆数で対応したグラフとなっている。抵抗率の変化は、In-rich から Cu-rich になるにしたがい減少傾向が見られ、Cu/In=12/8 では  $4.95 \times 10^{-3} \text{ Ωcm}$  と最も低い抵抗率が得られた。今回作製したサンプルの中で Cu<sub>2</sub>In<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>の相を含んでおらず、CuInTe<sub>2</sub>が得られたサンプルのうち、ホール測定の結果よりキャリア濃度が最も低く、移動度の最も高い Cu/In=10.5/9.5 のサンプルはキャリア濃度  $2.75 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、移動度  $13.64 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  であった。

## 参考文献

- 1) P. Prabukanthan, R. Dhanasekaran, *Mater. Res. Bull.* **43** (2008) 1996.
- 2) V. Nadenau, T. Walter and H. W. Schock, *J. Cryst. Growth* **146** (1999)251.
- 3) S. Roy, B. Bhattacharjee, S.N. Kundu, S. Chaudhuri, and A. K. Pal, *Mater. Chem. and Phys.* **77** (2002) 365.
- 4) V.F. Gremenok, I.A. Victorov, I.V. Bodnar, A.E. Hill, R.D. Pilkington, R.D. Tomlinson and M.V. Yakushev, *Mater. Lett.* **35** (1988)130.
- 5) A. Messous and B. Belhouki, *J. Eng. and Appl. Sci.* **2** (2007)1403.
- 6) H. Miyake, K. Sugiyama, K. Hiramatsu, *Jpn. J. Appl. Phys.* **39** (2000)54.
- 7) 田代 龍一, 吉野 賢二 :ホットプレス法により作製した CuInTe<sub>2</sub> の成長温度依存性 (宮崎大学 紀要 2011).
- 8) A. Kinoshita, H. Matsuo, K. Yoshino, T. Ikari and K. Kakimoto, *Phys. stat. sol.* **3** (2006)2093.
- 9) K. Yoshino, H. Komaki, T. Kakeno, Y. Akaki and T. Ikari, *J. Phys. Chem. Solid.* **64** (2003)1839.
- 10) H. Komaki, K. Yoshino, S. Seto, M. Yoneta, Y. Akaki and T. Ikari, *J. Cryst. Growth* **236** (2002)253.
- 11) K. Yoshino, A. Kinoshita, Y. Shirahata, M. Oshima, K. Nomoto, T. Yoshitake, S. Ozeki, T. Ikari, *J. Phys.* **100** (2008)042042.
- 12) ICDD No.00-034-1498.
- 13) ICDD No.00-026-0524.
- 14) ICDD No.00-045-1287.
- 15) ICDD No.00-043-1401.
- 16) T. Maeda, T. Wada, *J. Phys. Chem. Soli.* **66** (2005) 1924.
- 17) A. A. Aki, H. H. Afify, *Mater. Res. Bull.* **43** (2008) 1539.
- 18) A. Congiu, L. Garbato, P. Manca and S. Serci, *J. Electrochem. Soc.*, **119** (1972)280.