

【 144 】

氏名	岩見基弘
	いわみもとひろ
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第238号
学位授与の日付	昭和46年1月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電子工学専攻
学位論文題目	化合物半導体 Cd_3As_2 結晶の作製とその物理的性質に関する研究
論文調査委員	(主査) 教授 田中哲郎 教授 大谷泰之 教授 川端 昭

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はカドミウムと砒素よりなる化合物半導体 Cd_3As_2 の、単結晶作製とその物理的、電気的性質ならびに応用に関する研究結果をまとめたもので、7章よりなる。

第1章は序論で、 Cd_3As_2 を中心に現在までの化合物半導体の研究概要をのべ、本研究の目的、内容などについてのべてある。

第2章は Cd_3As_2 の結晶作製に関する実験結果をのべたもので、著者は液相成長法として単純固化法、ブリッジマン法、高圧法および帯溶融法を、気相成長法として気相反応法および昇華法を試み、それら個々の具体的な作製法と得られた結果について比較検討している。単純固化法は多結晶原料の作製には適するが単結晶作製には適しないこと、縦型ブリッジマン法や高圧法は単結晶育成の可能性をもつ方法であるが著者の実験した範囲内では、昇華法が良質の単結晶育成にもっとも適した方法であることなどをのべている。また伝導電子密度の制御についても種々実験を行なっているが、これを大幅に変えることが困難で、テルルの添加によりようやく電子密度を一桁ほど増加させることができることを示している。

第3章では第2章でのべた種々の方法によって得られた結晶の外形、自然成長面、および化学腐蝕面の顕微鏡的観察の結果についてのべてある。気相成長法で育成された単結晶は特定の結晶面を成長面として成長しており、その面内には外形に対応した成長過程を示す模様が現われること、また多結晶においても鏡面に研磨した面を化学腐蝕すると、自然成長面に見られる模様と同様の模様が現われることをのべている。

第4章では第2章の方法で得られた結晶の化学分析、分光分析、およびX線解析の結果についてのべている。化学分析の結果は結晶が原子比3:2のCdとAsの化合物であることを示しており、分光分析の結果は含まれる不純物の種類と含有量の程度を示している。また粉末法によるX線解析の結果は結晶が Cd_3As_2 の結晶であることを示しているが、著者は振動結晶法を用いて単結晶の特定軸の繰り返し周期を明らかにし、測角写真法により単結晶の特定面内の対称性を求め、4角柱状結晶での高次層線のワイセン

ベルグ写真をもとに、結晶の対称性が空間群 $I4, cd$ に属することを提唱している。またラウエ写真による a 軸と c 軸の判別法と結晶の成長癖についてものべてある。

第5章は Cd_3As_2 の電気的性質に関する測定結果をのべたもので、導電現象に関する基礎理論をのべたあと、抵抗率およびホール係数とその温度特性、不純物添加、熱処理および組成ずらしの電気的性質へ及ぼす影響、ホール係数と磁気抵抗係数の磁界依存性、ならびに磁気抵抗係数の角度依存性などについて測定し、抵抗率は $2^\circ K$ から $15^\circ K$ までは不変で、 $15^\circ K$ 付近から室温付近まで温度上昇とともに増加し、室温付近で飽和すること、ホール係数は低温から室温付近まで変化せず、その後温度上昇とともに急激に減少すること、ホール係数は磁界の強さによりほとんど変化しないが、磁気抵抗係数は磁界の増加とともに減少すること、磁気抵抗係数はかなり複雑な異方性 および 電子密度依存性を示すことなどをのべている。

第6章は第5章の測定結果を説明するための伝導電子の散乱機構や導電帯のエネルギー帯構造に関する考察をのべたものである。低温 ($2^\circ K \sim 15^\circ K$) では縮退状態にある電子がイオン化不純物により散乱されること、この以上の温度では音響モードの格子振動の影響が現われ、室温付近から縮退がとけはじめることを示し、導電帯の構造は k 空間でいくつかのエネルギー極小をもつ多谷構造か、あるいはひずんだ等エネルギー面をもつ構造でなければならないことを示した。

第7章では Cd_3As_2 薄膜の磁気抵抗素子への応用についてのべてある。真空蒸着法によって作った薄膜は、基板温度が適当である場合には大きい電子移動度を示し、しかも広い温度範囲にわたって温度による変化をうけないことが示されているが、著者は高移動度薄膜をうるための最適条件を求め、種々の形状の素子を試作してその特性を調べ、電極との接触抵抗がかなり大きい問題となることを指摘している。

論文審査の結果の要旨

化合物半導体 Cd_3As_2 は、電子移動度の大きい半導体として従来より知られていた物質であるが、その単結晶作製が困難なために詳しい調査がなされておらず、とくに工学的応用についてはほとんど手がつけられていなかった。著者はまず単結晶作製法として可能性のあるすべての方法について検討を加えた結果、気相成長法がこの場合にもっとも適した方法であることを実験的に確かめ、この方法を用いて良質の単結晶を作製し、その結晶構造を解析したのち、種々の物理的性質を測定してこれを明らかにするとともに、さらに進んでその特長を利用した工学的応用に関する基礎資料をつくった。おもな成果はつぎのとおりである。

1. Cd_3As_2 の結晶作製が困難な理由は、その蒸気圧が高いこと、その融点 ($721^\circ C$) よりかなり低い $578^\circ C$ に体積変化を伴う同素変態点があることによるが、著者は液相成長法として単純固化法、ブリッジマン法、高圧法、帯溶融法を、気相成長法として気相反応法 および 昇華法を選んで実験的に検討した結果、変形昇華法により良質の単結晶をうることに成功した。

2. 得られた単結晶の自然成長面の観察、研磨面に現われる腐蝕像の観察、ならびにこの結晶について行なった詳細な X線解析のデータを総合して結晶構造を決定し、この結晶が従来提唱されていたより大きい単位胞をもつ新しい空間群 $I4, cd$ に属する結晶であることを確かめ、さらにラウエ写真による a 軸お

よび c 軸の判別法を示し、結晶の成長癖を明らかにした。

3. Cd_3As_2 単結晶の抵抗率、ホール係数、ホール移動度の温度特性を 2°K より 450°K の範囲にわたって測定し、 $2^\circ\text{K}\sim 300^\circ\text{K}$ の温度範囲で縮退状態にあること、ホール移動度が 2°K から 15°K の範囲で一定で、これ以上の温度では次第に減少し、 T^{-1} に比例する領域を経て 300°K 以上では $T^{-3/2}$ に比例すること、などの実験結果をもとにして電子の散乱機構を明らかにした。

4. ホール係数と磁気抵抗係数の磁界依存性、および磁気抵抗係数の異方性と電子濃度依存性について多くの測定を行ない、これらの結果に基づいてこの物質のエネルギー帯構造に対して考察を加え、導電帯のエネルギー極小付近の等エネルギー面が楕円で表わされ、n 型 Ge と同様 $[111]$ 方向に主軸をもち、しかもエネルギーの増大とともに等エネルギー面がひずんでくるというかなり複雑な構造をもつことを明らかにした。

5. 磁気抵抗素子としての応用を目的として、真空蒸着法により Cd_3As_2 の薄膜をつくり、適当な条件のもとにつくった薄膜の電子移動度が $7000\text{cm}^2\text{v}^{-1}\text{sec}^{-1}$ という大きい値をもつとともに、広い温度範囲にわたって温度依存性がないという応用上きわめて有用な事実を見出だし、実用化の基礎をつくった。

要するにこの論文は、化合物半導体 Cd_3As_2 の結晶作製法やその電気的性質に関する詳細な研究を行なって、この物質に対する新しい豊富な知見を提供するものであって、学問的にも工業的にも寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。