

氏名(本籍)	うち 内野	たかし 俊 (千葉県)
学位の種類	工学博士	
学位記番号	博甲第 662 号	
学位授与年月日	平成元年 3 月 25 日	
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当	
審査研究科	工学研究科	
学位論文題目	LPE 法による HgTe ベース混晶半導体の結晶成長とその磁気フォノン共鳴再結合による研究	
主査	筑波大学教授	工学博士 升田 公三
副査	筑波大学教授	理学博士 作道 恒太郎
副査	筑波大学教授	工学博士 川辺 光央
副査	筑波大学教授	理学博士 中尾 憲司
副査	筑波大学助教授	工学博士 滝田 宏樹

論 文 の 要 旨

本論文は、HgTe をベースとした混晶半導体の新しい結晶成長法の開発とその電子構造を詳しく説明することを目的として、液相エピタキシャル成長法 (LPE 法) で試料の作製を行い、その試料の低温、強磁場下での種々の輸送現象を解析することにより特性評価と物性研究を行ったものである。HgTe ベース混晶半導体とは、HgTe 中の Hg 原子の一部を他の II 族の元素、または Mn 等の遷移金属元素で置き換えた化合物のことを指し、特に後者は半導体の性質の他に、磁氣的性質を有するので、稀薄磁性半導体または半磁性半導体と呼ばれている。これらの系では、Hg を置換する元素の組成を変えることによりエネルギーギャップを零からある有限の値まで制御できるので、いわゆる微小ギャップ半導体を実現することができ、赤外光電子デバイス材料として注目されている。特に、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ をはじめとする稀薄磁性半導体は、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ と同等もしくはそれ以上の特性を示す他に、電気的、光学的性質が磁気イオンの存在により、外部磁場印加により容易に制御できるため、新機能を持つデバイスを実現する可能性のある材料として注目されている。従来 HgTe ベース混晶半導体の結晶成長には、種々の困難があったが、本研究では、特に $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ 及び $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ の場合につき Hg 溶液からの LPE 成長により電気的特性の優れた大面積試料が得られることが明らかにされた。また低温、強磁場下での種々の輸送現象の解析、特に本研究で始めて観測に成功した新しいタイプの磁気フォノン共鳴再結合現象の解析により、Mn を含む系のバンドパラメータが精度良く求められ、また Mn イオンの局在磁気モーメントと伝導電子との間の交換相互作用の

大きさが高精度で求められた。

第1章は序文であり、本研究の位置付けについて述べられている。

第2章では、HgTe ベース混晶半導体の結晶構造及びバンド構造について概説しており、更に本研究の解析に用いられた磁気量子振動、特に新しいタイプの量子振動である磁気フォノン共鳴再結合現象について述べられている。

第3章では本研究で試みられ、成功を収めた Hg 溶液からの LPE 成長法の詳細が述べられている。特に X 線回析、走査電子顕微鏡観察 (SEM)、電子プローブマイクロアナライザーによる分析 (EPMA)、2 次イオン質量分析 (SIMS) 等の手法を用いた分析と電気的特性の温度依存性の解析を併用し、結晶性を詳しく調べている。

第4章は、従来から知られている磁気量子振動である Shubnikov-de Haas 振動と磁気フォノン共鳴についての測定と解析について述べ、得られた結果について議論している。

第5章では、新しいタイプの磁気フォノン共鳴である、2 個の音響型横波 (TA フォノン) 放出による磁気フォノン共鳴再結合現象の測定結果が示されている。詳しい解析の結果バンドパラメータが求められ、このバンドパラメータにより温度依存性、結晶方位依存性及び組成依存性等の実験結果が矛盾なく説明されることが示されている。また不純物準位の知見も得られることが示されている。

第6章では、本研究で得られた結論を示している。

本研究の成果をまとめると以下ようになる。まず第一に、新しい混晶系の結晶成長法の開発を目的とし、いくつかの HgTe ベース混晶半導体の作製を Hg 溶液からの CdTe 基板上への LPE 法によって行った結果、大面積で良質の $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ 、 $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$ 等の単結晶が得られることを示した。第二に特に $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ 、 $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$ において、一般によく知られている光学型縦波 (LO フォノン) の関与した磁気フォノン共鳴に加え、音響型横波 (TA フォノン) とキャリア再結合の関与した新しいタイプの磁気フォノン共鳴の観測に成功し、その解析により電子状態及びフォノン構造についての詳しい知見を得たことである。

審 査 の 要 旨

本研究は、Hg 原子欠陥の存在のため、従来良質結晶の成長が困難であった、HgTe ベース混晶半導体について Hg 溶液からの LPE 法を成功させ、少なくとも $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ 及び $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$ については組成均一性、大面積、電気的特性において格段に良質の単結晶を得ることができることを示したことがまず第一に評価される。次にこの方法で得た結晶を用いることにより、新しいタイプの磁気量子振動現象である磁気フォノン共鳴再結合の観測に成功し、詳しい測定と解析を行いバンドパラメータを精度よく求めることに成功している。また Mn イオンと伝導電子の交換相互作用の大きさ、不純物準位についての知見も高精度で得ており HgTe ベース混晶半導体の物性の理解とその応用に重要な寄与をしていると評価される。

よって、著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。