

審査の結果の要旨

氏名 グエン タン トウ (Nguyen Thanh Tu)

本論文は、「Studies on New Narrow-gap III-V Magnetic Semiconductors (新規狭ギャップ III-V 族磁性半導体の研究)」と題し、英文で書かれている。本論文では、n 型 III-V 族磁性半導体(In,Co)As および p 型 III-V 族強磁性半導体(Ga,Fe)Sb という新しい材料を作製し、その構造と様々な物性を明らかにするとともに、禁制帯幅の狭い半導体 (狭ギャップ半導体) をベースとする III-V 族磁性半導体の強磁性発現機構についての研究成果を記述しており、全 5 章から成る。

第 1 章は「Introduction」であり、スピントロニクスと強磁性半導体に関する研究の背景と最近に至るまでの状況を述べ、本論文の構成と目的を示している。その中で、特に III-V 族ベース強磁性半導体の近年の研究状況を述べ、本論文の位置づけを示している。

第 2 章は「Experimental Techniques」であり、本研究で用いている低温分子線エピタキシー (LT-MBE) による薄膜結晶成長法について述べ、成長した磁性半導体薄膜の磁気輸送、磁気光学効果 (磁気円二色性)、磁化測定による評価方法とその原理を説明している。

第 3 章は「Properties of new n-type magnetic semiconductor (In,Co)As」であり、新しい n 型磁性半導体(In_{1-x},Co_x)As の MBE 成長と物性について示している。特に、InAs 中に Co 濃度 $x=18\%$ まで添加することができ、閃亜鉛鉱型結晶構造をもつ n 型混晶半導体となるが、すべての(In_{1-x},Co_x)As 薄膜試料が常磁性を示し、強磁性とはならないこと、 $x=18\%$ の試料は大きな負の磁気抵抗効果を示すこと、などを明らかにした。強磁性にならない理由は、Co の *d* 準位が価電子帯上端から離れた価電子帯中の低いエネルギー位置にあり、*s-d* 交換相互作用が弱いためであると説明している。

第 4 章は「Properties of new p-type magnetic semiconductor (Ga,Fe)Sb」であり、新しい p 型磁性半導体(Ga_{1-x},Fe_x)Sb の成長と物性を明らかにしている。まず、Fe 濃度 $x=0\sim 20\%$ の(Ga_{1-x},Fe_x)Sb 薄膜試料を MBE 成長し、詳細な構造評価から閃亜鉛鉱型の結晶構造をもち第 2 相の析出がない混晶半導体であること、磁気光学効果 (磁気円二色性)、磁化測定、磁気輸送測定から真性の強磁性半導体であることを示した。 $x=20\%$ の(Ga_{1-x},Fe_x)Sb における強磁性転移温度 T_C は 230K に達し、この値はこれまで得られた III-V 族強磁性半導体の T_C の最高値である。さらに Fe 濃度が高い $x=23\%$ および $x=25\%$ の(Ga_{1-x},Fe_x)Sb 試料における T_C はそれぞれ 300K および 340K に達し、スピノーダル分解による Fe 濃度の不均一性はあるものの真性の強磁性半導体である可能性が高いことを示した。

第 5 章は、「Discussion and Conclusions」であり、まず、前章で明らかにしたように、(Ga,Fe)Sb 狭い禁制帯幅 (狭ギャップ) をもつ磁性半導体であるにもかかわらず

わらず高い T_C をもつことは、従来磁性半導体の強磁性機構として広く信じられてきた平均場 p - d Zener モデルでは説明することができない。そこで本研究では、実験結果を踏まえ、 $(\text{Ga}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Sb}$ では添加した Fe の d 準位が価電子帯上端付近にあり、アンダーソンのハミルトニアンを用いて共鳴的に p - d 交換相互作用が大きくなるために T_C が高くなることを説明した。さらに、本研究も含めてこれまで報告された種々の III-V 族強磁性半導体における T_C の値とバンド構造中の磁性元素の d 準位のエネルギー位置を示し、添加した遷移金属磁性元素の d 準位が伝導帯下端か価電子帯上端に近いほど強磁性が現われやすく T_C が高くなるという磁性のトレンドを説明した。最後に本研究で得られた主要な成果をまとめ、今後の展望を述べている。

以上これを要するに、禁制帯幅の狭い半導体 InAs および GaSb を母体材料とする新しい III-V 族ベース磁性半導体である n 型(In,Co)As および p 型(Ga,Fe)Sb を作製し、その構造と磁気物性を明らかにして、(Ga,Fe)Sb においては 200 K を超える高い T_C を得るとともに、狭ギャップ III-V 族磁性半導体の強磁性発現機構と高い T_C を得るための指針を示しており、電子工学、電子材料工学およびスピントロニクス発展に寄与するところが少なくない。よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。