

論文審査の結果の要旨

氏名 坂本 祥哉

本論文は7章からなる。

第1章はイントロダクションであり、強磁性半導体として最も研究が進んでいる Mn 置換 GaAs の電子状態等に関する既知の情報を解説した後、本研究の対象である Fe 置換系の強磁性半導体に関する先行研究を紹介している。その比較において、(1)置換で導入されるキャリアが電子・正孔のどちらの場合でも強磁性が発現すること、(2)強磁性転移温度が室温を越えること、などの点が Fe 置換系の特徴として示され、その起源解明の重要性が述べられている。

第2章は本研究で用いられた X 線領域における吸収分光、磁気円二色性、光電子分光などの原理および実験手法に関する説明と、考察に用いた第一原理計算の手法に関する説明である。

第3章では(AI,Fe)Sb に対して行った X 線磁気円二色性の実験結果を紹介し、その解析結果として得られた様々な温度における元素選択的な磁化曲線の結果に対して超常磁性と常磁性の2成分に分離した解析を行った。この解析に基づいて強磁性転移温度よりはるかに高い温度から局所的にスピンの揃った強磁性的クラスターが存在するという解釈が示されている。

第4章では Fe 置換した Ge に対する光電子分光実験の結果が示されている。共鳴的手法を用いた光電子分光および角度分解光電子分光により Fe の 3d 電子の情報を増幅した結果、この物質では全体と逆向きのスピンを持った遍歴性の高い Fe の 3d 軌道がフェルミ準位付近に存在することを実験的に示すとともに、置換された Fe 原子の付近ではそのようなエネルギー準位が存在しうることを第一原理計算による電子状態計算で示している。

第5章では(Ga,Fe)Sb に対して行った X 線磁気円二色性の実験結果から求めたスピンおよび軌道磁気モーメントの大きさについての評価が示されている。その後、同物質に対する共鳴光電子分光の実験結果および第一原理的手法による電子状態計算の結果に基づいて、Fe 置換した Ge の場合と同様にこの物質でも全体と逆向きのスピンを持つ Fe の 3d 軌道がフェルミ準位付近に存在することが示されている。

第6章では母体となる半導体の種類に依存した Fe 置換効果の違いを総合的に理解するため、Fe 置換した様々な III-V 族半導体の電子状態に関する第一原

理計算の結果が示されている。その結果から強磁性が発現する Fe 置換系半導体の特徴として、全体と同じ方向を向いたスピンを持つ pd 混成電子の反結合性軌道よりも逆方向を向いたスピンを持つ d 電子の e 軌道の方が低いエネルギーにあることを述べ、Mn 置換系の場合と違って e 軌道の遍歴的な電子による二重交換相互作用が強磁性発現に寄与していることを推定する結論を得た。

以上の総括的な結論を第 7 章でまとめている。

強磁性半導体はスピントロニクス分野で実用が期待されている物質群である。特にキャリア数の制御で磁性をコントロールできるという性質には応用上新しい可能性が期待されている。その実用に向けて強磁性転移温度が室温を超えた Fe 系の強磁性半導体は最近注目を集めつつあるが、その背景にある電子状態や強磁性的相互作用の起源など未解明の問題が多く残されている。論文提出者はこの問題に対する微視的理解を得るために行った X 線領域での様々な分光学的実験とそれを補足する第一原理計算に基づいた考察はオリジナリティーが認められる研究である。その内容の一部はすでに 1 遍の掲載済み論文として完結した研究になっている他、別途 3 編の論文として投稿が予定されている。これらの研究を統合した本博士論文は、今後この分野の研究発展に寄与するものであり、学位論文としてふさわしい重要な意義を持つと評価できる。

なお本論文における研究は多くの共著者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。