

審査の結果の要旨

氏名 宗田 伊理也

本論文は、「Band structure and ferromagnetism in III-V ferromagnetic semiconductor GaMnAs (III-V 族強磁性半導体 GaMnAs におけるバンド構造と強磁性)」と題し、英文で書かれている。本論文では、III-V 族強磁性半導体 GaMnAs における強磁性の起源・機構、バンド構造、及び、それらの関係に関する研究成果を記述しており、全 6 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状況を述べ、本論文の構成と目的を示している。その中で、半導体スピントロニクスに必要とされる代表的な III-V 族強磁性半導体 GaMnAs における研究の状況と本論文の位置づけを述べている。GaMnAs のバンド構造については、フェルミ準位が価電子帯内にあるとする価電子帯伝導モデルと、フェルミ準位が不純物帯内にあるとする不純物帯伝導モデルの間で論争になっていたが、最近是不純物帯伝導モデルを支持する実験結果が優勢である。今後の課題は、不純物帯の性質を明らかにすることであることを述べている。

第 2 章は「Recent research on the band structure of GaMnAs」であり、GaMnAs におけるバンド構造に関する最近の研究動向についてのレビューである。ここでは、GaMnAs におけるバンド構造の論争について述べている。

第 3 章は「Systematic study on the Fermi level position in GaMnAs」であり、GaMnAs におけるフェルミ準位の Mn 濃度依存性を共鳴トンネル分光法により詳細に測定した結果を述べている。強磁性となる Mn 濃度では、フェルミ準位は価電子帯に入らず逆に遠ざかる異常な振る舞いを示す。このことは、GaMnAs が通常非磁性不純物を添加した半導体とは異なり、金属的になってもなお不純物帯が存在することを示し、さらに、不純物帯と強磁性の起源が p-d 混成にあることを示唆している。

第 4 章は「Valence band ordering restored by the p-d exchange interaction」である。GaMnAs において、p-d 混成が価電子帯を不規則にするという簡単な予想とは異なり、価電子帯は高い規則性を有している。この一見すると矛盾する事象は、第 3 章において示唆した p-d 混成と不純物帯の関係を明らかにする上で重要である。ここでは、共鳴トンネル分光法を用いて、GaMnAs の価電子帯の規則性の Mn 濃度依存性を測定している。その結果は、常磁性となる Mn 濃度においては、価電子帯は不規則になっていったが、強磁性相転移にともなって、価電子帯の規則性が回復し、不規則な不純物帯が形成されることを示している。これらの現象は、p-d 混成を伴った強い p-d 交換相互作用が引き起こしていると考えられる。これらの結果は、強磁性相転移がバンド構造の再構成を巻き込んで発生することを示唆している。

第 5 章は、「Anisotropy of the impurity band in the ferromagnetic GaMnAs」であり、

トンネル異方性磁気抵抗効果の正孔エネルギー依存性を測定することにより、不純物帯の異方性を分光的に測定している。第 3 章、及び、第 4 章において不純物帯の起源が p-d 混成にあることを示したが、ここでは、不純物帯の異方性をトンネル異方性磁気抵抗効果により明らかにし、不純物帯の異方性の起源が、d 電子の波動関数の異方性、及び、格子間位置の Mn の 2 つであることを示している。さらに、不純物帯の異方性がエネルギー準位によって変化することを明らかにしており、磁気異方性が不純物帯中におけるフェルミ準位の位置によって決まることを示唆している。

第 6 章は「Conclusion and outlook」であり、本論文で得られた結果のまとめと今後の展望を述べている。

以上これを要するに、本論文は、代表的な強磁性半導体 GaMnAs において、共鳴トンネル分光法を用いてフェルミ準位及び価電子帯の規則性の Mn 濃度依存性を、また、トンネル異方性磁気抵抗効果を用いて不純物帯の異方性とそのエネルギー依存性を明らかにし、これらの実験結果により、フェルミ準位の位置及び価電子帯と不純物帯のマージと分離といったバンド構造の詳細が、強磁性、キュリー温度、磁気異方性といった磁性の諸特性に重要な役割を果たしていることを示した。これによって、半導体スピントロニクスに必要とされる強磁性半導体におけるバンド構造と強磁性の理解について新しい知見を示したものであり、スピントロニクスおよび電子工学の発展のため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。