

# 論文審査の結果の要旨

氏名 林 岳

本論文では、III-V 族化合物半導体である GaAs および InAs に数%の Mn を混入させた希薄磁性半導体(Ga, Mn)As、(In, Mn)As の試料を作製して、磁性と電気伝導を実験的に研究した。いずれの系も強磁性を示し、Mn 濃度の増加に伴い絶縁体から金属、そして再び絶縁体へと転移する（それぞれ MIT1、MIT2 と定義されている）。金属絶縁体転移および強磁性の機構に対する知見を得るために、電気伝導、磁化および赤外分光の測定が行われた。

磁性半導体は、磁性と伝導が密接に関連することによって生まれる新しい物理現象とその工学的応用が、大きく期待されている系である。本論文での III-V 族希薄磁性半導体の作製では、MnAs の析出を防ぐために、成長温度を 200°C から 300°C に抑えた低温分子線エピタキシー法 (LTMBE 法) が用いられている。この方法により高い Mn 濃度の試料が作られるが、その物性は成長条件に対して非常に敏感であるため、狙い通りの試料を作ることが難しく、系統的なパラメータ制御を要する金属絶縁体転移の研究などは困難であった。本論文では、低温アニール効果によってキャリア濃度等の物理量を系統的に制御できることが見い出されている。また、適当なアニール条件において、従来のものよりも伝導性が向上し、強磁性転移温度が高くなることもわかった。低温アニール効果の発見は、この分野の研究に対する大きな技術的な知見を与えるものである。すべて論文提出者本人の創意工夫によるものであり、高く評価できる。低温アニール効果による伝導性の向上の原因としては、LTMBE において過剰に取り込まれ、Mn と複合欠陥を形成している As が、熱処理によって大気に放出されるとの解釈がなされている。また、X 線吸収分光測定の結果より、(Ga, Mn)As の Mn の電子配置は  $d^5$  であると結論している。

金属的な直流伝導特性を示す Mn 濃度 4.0%の(Ga, Mn)As と絶縁的な直流伝導特性を示す Mn 濃度 5.2%の(Ga, Mn)As に対して、赤外光の吸収係数スペクトルの測定が行われた。両試料で 200meV 付近に吸収係数（光伝導度）のピークが観測され、直流伝導特性が金属的な試料でも電子状態は局在的であることを示唆するものとして解釈された。また、吸収係数のピーク位置から見積もられた局在長は、両試料とも数 nm であった。また、二重交換相互作用強磁性体で

観測されるものに類似した強磁性転移温度以下での吸収係数スペクトル重みの移送が見られた。一方、(In, Mn)As 試料においては、通常金属に近いスペクトルが得られた。

低温アニールによって MIT1、MIT2 それぞれの近傍にパラメータ制御された2つの(Ga, Mn)As 試料を用いて、磁場誘起金属絶縁体転移の実験が行われた。極低温領域で抵抗率の温度依存性をさまざまな磁場に対して測定し、2パラメータスケーリングによる解析を行ったところ、MIT2 においては広い範囲でスケーリング解析が適用できるのに対して、MIT1 ではスケーリング解析の適用範囲は狭かった。この結果に、赤外分光、XAS の実験結果を併せて、(Ga, Mn)As におけるキャリアの空間分布のモデルが提起された。このモデルでは、2種類の局在長が考慮されており、金属絶縁体転移の実験結果に対して一応の説明を与えている。

強磁性体においては、磁気抵抗効果に磁壁での散乱の寄与がある。マクロな磁性、すなわち技術磁化からの寄与と、本論文の主題であるミクロスコピックな機構からの寄与とを分離するために、磁場により技術磁化を制御しつつ、磁気抵抗効果やホール抵抗の履歴構造を詳細に調べた。磁区構造を考察する上での手がかりとなるような知見も得られたが、磁気抵抗効果における技術磁化の寄与は、低磁場領域に限られ、またその大きさもミクロスコピックな機構からの寄与に比べて十分に小さいことが確認された。

以上、本論文では、低温分子線エピタキシー法と独自に開発した低温アニール法を組み合わせることで作製された III-V 族希薄磁性半導体の電気伝導、磁化および赤外分光の詳細な測定を行い、低温アニール効果、赤外光学伝導度、磁場誘起金属絶縁体転移、技術磁化効果の振る舞いを明らかにした。得られた実験結果は新しいものであり、重要な知見が得られた。同時に、多くの理論的課題および今後の実験への貴重なステップも提供している。

また、本論文は、勝本信吾助教授、家泰弘教授などとの共同研究であり、共著の形で一部すでに公表されているが、論文提出者が主体となって研究計画の立案、試料作成および物性測定の遂行、実験結果の解析・考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、審査委員全員一致で、博士（理学）の学位を授与できると認める。

以上