

論文審査の結果の要旨

氏名 岡林 潤

III-V 族化合物半導体 GaAs および InAs に Mn をドーブした物質は、電気伝導度の増加とともに強磁性を示すことから、この現象は「キャリア誘起強磁性」と呼ばれ、磁性と伝導性の相関に強い関心もたれている。本論文は光電子分光を中心とする実験によりこれらの物質の電子状態をしらべ、キャリア誘起強磁性の機構を研究したものである。

本論文は 6 章から構成されている。第 1 章は序論で本研究の目的と背景が述べられ、第 2 章では光電子分光を中心とする高エネルギー分光実験についての説明がなされている。第 3 章は本論文の中心部分で、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ に対する共鳴光電子分光と角度分解光電子分光の実験と解析がおこなわれている。第 4 章は $\text{In}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ に対する同様な研究の報告であり、第 5 章は閃亜鉛鉱型 MnAs ドットの作製とその分光実験にあてられている。第 6 章はまとめである。

GaAs は非磁性の半導体であるが、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ は Mn の添加とともに金属的伝導を示すようになり、それに伴って強磁性状態をとる。電気伝導度と強磁性転移温度はともに x が 0.05 の近傍で最大値をとり、さらに Mn 濃度が増加すると半導体に戻る。本論文では、 x が 0.035 と 0.069 の試料に対して共鳴光電子分光の実験を行い、 MnAs_4 クラスタモデルによる解析を行っている。スペクトルの形状には Mn3d 電子の相関効果の重要性を示唆するサテライト構造があり、Mn は 2 価の状態をとること、フェルミ準位近傍の電子状態は主として As4p 状態からなることが明らかにされた。次に、角度分解光電子分光実験により、価電子帯の電子分散が測定され、GaAs では観測されない新たな状態がフェルミ準位近傍に出現することが見出された。これは、Mn3d・As4p 間の p - d 混成により、GaAs の価電子帯から分離して形成された一種の不純物状態と解釈された。以上を総合し、3 価の Ga が 2 価の Mn で置換されると、フェルミ準位近傍に形成される不純物状態に正孔が導入され、それが伝導に寄与すると同時に Mn3d スピン間の結合を媒介し、強磁性秩序を引き起こすという描像が導かれた。

$\text{In}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ では $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ よりも多量の Mn が添加できるにもかかわらず、強磁性転移温度は低い。 $\text{In}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ に対して行われた共鳴光電子分光と角度分解光電子分光の

実験結果からは、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ に比べて p - d 混成が弱いこと、そのために不純物状態が InAs の価電子帯から分離されないことがわかった。したがって、 Mn の添加によって作られた正孔は、不純物状態ではなく InAs の価電子帯に入り、 Mn との結合が弱く、強磁性転移温度が低くなるものと解釈された。

$\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ および $\text{In}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ の高濃度極限である閃亜鉛鉱型 MnAs は安定でなく、 MnAs の安定構造は NiAs 型であることが知られている。しかし、 GaAs 表面上に MnAs を成長させることにより、閃亜鉛鉱型 MnAs の薄膜を作ることができれば、新物質の創製として大きな意義がある。本研究では、硫黄終端化した GaAs 上に MnAs ドットを成長させることに成功し、原子間力顕微鏡像および透過型電子顕微鏡像によりその構造評価が行われた。また、光電子分光および X 線吸収分光により、 MnAs ドットのスペクトル形状は $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ のものに類似しており、 NiAs 型の MnAs よりも局在性の高い $\text{Mn}3d$ 電子状態をもつことが確認された。しかし、ドットの密度の増大とともに、これらのスペクトル形状は NiAs 型 MnAs のものに變形することが見出され、 NiAs 型への構造相転移が生じるものと解釈された。したがって、ドットを接合して閃亜鉛鉱型 MnAs の薄膜を作ることには難しく、今後のさらなる研究が必要である。

以上の研究は、III-V 族希薄磁性半導体の電子状態を分光学的手段により研究し、電子状態と磁性および伝導性との間の関係を論じたもので、この分野の研究発展に対する寄与を十分に評価することができる。よってこの論文は博士（理学）の学位論文として合格であると審査員全員が認めた。

なお、本研究は、藤森淳教授（指導教官）らとの共同研究となる部分を含むが、研究計画からその遂行、結果の考察まで、論文提出者が主体となって行ったものであることが認められた。