

本論文は「III-V based ferromagnetic semiconductors and their heterostructures: A new quaternary alloy ferromagnetic semiconductor (InGaMn)As and tunneling transport in ferromagnetic semiconductor tunnel junctions (III-V 族強磁性半導体とそのヘテロ構造：新しい四元混晶強磁性半導体(InGaMn)As および強磁性半導体トンネル接合におけるトンネル伝導現象)」と題し、英文で書かれている。本論文は、新しい四元混晶強磁性半導体(InGaMn)As および強磁性半導体を用いたトンネル接合におけるトンネル伝導現象についての研究成果を記述しており、全6章から成る。

第1章は「"Spintronics" and the Aim of This Work」であり、スピン自由度を利用したエレクトロニクスに向けた研究の状況と背景を述べ、本論文の目的を示している。

第2章は「Introduction of Recent Research on Ferromagnetic Semiconductors and Heterostructures」であり、本研究の対象物質である強磁性半導体およびそのヘテロ構造の基本的性質とその課題についてまとめている。

第3章は「Properties of Quaternary Alloy Ferromagnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP」であり、InGaAs に Mn を添加した新しい4元混晶強磁性半導体(InGaMn)As の InP 基板上への分子線エピタキシー(MBE)による成長に成功し、その構造評価、磁性、磁気光学効果、磁気輸送特性を明らかにした結果について述べている。均一に Mn を添加した4元混晶半導体が低温 MBE 成長によって得られ InP 基板に格子整合すること、強い p 型で強磁性を示すこと、大きな磁気光学効果と閃亜鉛鋅型バンド構造をもつこと、異常ホール効果を示すことなどを明らかにした。特に、Mn を 21% 含む(InGaMn)As においては、強磁性転移温度が 130K 程度となり、In を含む III-V 族強磁性半導体のこれまでの報告値の中では最高値である。

第4章は「Tunneling Magnetoresistance in III-V-Based Ferromagnetic Semiconductor Heterostructures」であり、III-V 族強磁性半導体(GaMn)As および前章で作製した(InGaMn)As を電極とする強磁性半導体ヘテロ接合を用いた強磁性トンネル接合(MTJ)を作製し、そのトンネル磁気抵抗(TMR)効果を実験的に研究した結果を述べている。GaMnAs/AlAs/GaMnAs 単一障壁 MTJ では 11K において 56.3% の TMR 比を観測し TMR 比が AlAs 障壁膜厚を増すと単調に減少すること、(InGaMn)As/AlAs/(InGaMn)As 単一障壁 MTJ では初めて TMR を観測したこと(9.3K において TMR 比 2.4%) を述べている。さらに共鳴トンネル効果と TMR 効果を同時に観測するため、GaMnAs/AlAs/InGaAs/AlAs/GaMnAs から成る InGaAs 量子井戸と二重障壁をもつ MTJ を作製し、負の TMR と TMR 比が AlAs 膜厚に対して振動する現象を見出している。

第5章は「Theoretical Calculations of Tunneling Magnetoresistance in III-V-Based Ferromagnetic Semiconductor Heterostructures」であり、 sp^3s^* 強結合近似と Luttinger-Kohn モデルを用いることにより、III-V 族強磁性半導体ヘテロ接合 MTJ の TMR の理論計算を行っている。まず、 sp^3s^* 強結合近似とトランスファー行列法により、GaMnAs/AlAs/GaMnAs 単一障壁 MTJ の TMR について理論計算を行い、TMR 比が AlAs 障壁膜厚を増すと単調に減少する理由は、界面に平行な波数ベクトル k_{\parallel} が大きな領域でのトンネル確率が減少するためであることを明らかにしている。さらに、Luttinger-Kohn とトランスファー行列法により、GaMnAs/AlAs/InGaAs/AlAs/GaMnAs から成る二重障壁 MTJ の TMR について理論計算を行い、前章の実験で示された TMR 比の振動現象が共鳴トンネル効果によるものであることを示唆している。

第6章は「Conclusions and Outlook」であり、本論文全体の成果を総括するとともに、その意義と将来の研究課題を述べている。

以上のように、本論文では、新しい四元混晶強磁性半導体(InGaMn)As を形成しその基本物性を明らかにするとともに、Mn を 21% 含む(InGaMn)As においては、In を含む III-V 族磁性半導体の強磁性転移温度としては最高値である 130K 程度を達成した。さらに、強磁性半導体 GaMnAs および InGaMnAs を用いた強磁性トンネル接合におけるトンネル伝導現象につき詳細な実験的及び理論的研究を行い、負のトンネル磁気抵抗(TMR)効果や障壁膜厚に対する TMR 比の振動など新現象を見出したものであり、電子工学、材料工学、デバイス工学上、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。