

審査の結果の要旨

氏名 若林 勇希

本論文は、「Nanoscale magnetic properties and spin-dependent transport in Ge-based ferromagnetic epitaxial films (Ge をベースとした強磁性エピタキシャル薄膜におけるナノスケール磁気物性とスピン依存伝導)」と題し英文で書かれている。本論文では、半導体 Ge と整合する強磁性半導体 GeFe および強磁性 GeMn グラニュラー薄膜の 2 種類の薄膜に焦点が当てられており、GeFe における結晶構造、アニール効果、磁気特性、電子構造と、GeFe を利用した磁気トンネル接合におけるスピン依存トンネル伝導、および GeMn グラニュラー薄膜における結晶構造、磁気特性、スピン依存輸送特性が述べられ、最後にデバイス応用上必要な、これらの材料系に共通する磁性原子の不均一性に起因するナノスケール磁気特性とスピン依存伝導の制御の方針について、研究成果が述べられている。

第 1 章は「Introduction and the purpose of this study」であり、半導体スピントロニクスにおいて既存の半導体に整合する強磁性材料が必要とされていること、またそれらの材料に求められる条件が述べられており、強磁性半導体 GeFe と GeMn グラニュラー薄膜が紹介されている。これらの材料系においてナノスケールでの磁性原子の濃度揺らぎが存在し、それがこれらの材料系の様々な物性に影響を与えていることが説明されており、それらの関係性を明らかにすることが重要であると述べられ、本論文の目的が説明されている。

第 2 章は「Principle of Measurements」であり、X 線磁気円二色性(XMCD)、角度分解光電子分光(ARPES)、トンネル磁気抵抗効果(TMR)の原理の説明がなされている。

第 3 章は「Crystal Structure, Annealing Effect, Magnetic Properties, and Electronic Structure of the Ferromagnetic Semiconductor $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 」であり、強磁性半導体 GeFe の結晶成長、可視光磁気円二色性(MCD)と超伝導量子干渉素子(SQUID)を用いた磁気特性評価、透過型電子顕微鏡(TEM)および X 線回折を用いた結晶構造評価、キュリー温度と格子定数の成長温度依存性、チャネリング Rutherford 後方散乱を用いた格子間 Fe 原子位置の同定、アニールによる構造変化、磁気特性変化、およびキュリー温度の上昇、X 線吸収スペクトロスコピー(XAS)および XMCD を用いた局所室温強磁性領域の存在の解明、ARPES 測定によるバンド構造解析、およびこれらの測定結果から理解される磁性原子の不均一性に起因したナノスケールでの強磁性の発現機構に関して述べられている。

第 4 章は「Fe/MgO/ $\text{Ge}_{0.935}\text{Fe}_{0.065}$ Magnetic Tunnel Junctions」であり、Fe/MgO/ $\text{Ge}_{0.935}\text{Fe}_{0.065}$ 磁気トンネル接合の結晶成長、表面モフォロジーの解析、TEM による構造解析、トンネル抵抗の MgO 障壁膜厚依存性、TMR の測定、TMR 曲線の解析が述べられており、GeFe のフェルミ準位におけるスピン分極の存在を証明している。

第 5 章は「Crystal Structure, Magnetic Properties, and Spin-Dependent Transport of the $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ Granular Films」であり、GeMn グラニュラー薄膜における大きな磁気抵抗効果と、GeMn 薄膜に対する XMCD 測定の利点、GeMn の結晶成長、SQUID による磁化特性解析、TEM 解析、XAS および XMCD 解析、GeMn ナノ微粒子とマトリクス成分の磁気成分の分離、およびそれらの結果から得られる GeMn の大きな磁気抵抗の起源に関して述べられている。

第 6 章は「Summary and Prospect」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、強磁性半導体 GeFe における、構造解析、磁気特性評価、ナノスケールでの磁気秩序およびバンド構造の解明を行い、TMR の観測によってフェルミレベルにおけるスピン分極の存在を証明し、また、GeMn グラニュラー薄膜における大きな磁気抵抗の起源を明らかにした。本論文で得られた研究成果と新しい知見は、スピントロニクス、固体物理学、および電子工学の発展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。