

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 周藤 悠介

本論文は、「A New Group-IV Ferromagnetic Semiconductor $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$: Epitaxial Growth, Crystal Structure, Magnetic Properties, and Heterostructures (新しい IV 族強磁性半導体 $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜の研究: エピタキシャル成長、結晶構造、磁性、およびヘテロ構造)」と題し、英文で書かれている。本論文は、著者の研究によって創成された新しい IV 族強磁性半導体 $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜のエピタキシャル成長、結晶構造および結晶性、磁性、およびヘテロ構造の研究成果を記述しており、全 5 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。

第 2 章は「Epitaxial growth and characterizations of Fe doped Ge ($\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$) thin films on Ge(001) substrates」であり、Ge(001)基板上への Fe ドープ Ge ($\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$) 薄膜の分子線エピタキシー(MBE)法によるエピタキシャル成長、X 線回折および高分解能透過型電子顕微鏡(TEM)による微視的な構造評価、磁気円二色性(MCD)によるバンド構造とスピン分裂の評価、および磁化特性評価を行い、構造と物性を実験的に明らかにした結果を記している。これらの評価の結果、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜中の Fe 濃度分布に不均一性はあるものの、結晶全体がダイヤモンド構造を保っており、バンド構造もダイヤモンド型半導体の特徴を有していること、明瞭な強磁性を示し、強磁性転移温度(T_C)は Fe 組成 $x=0.13$ までは x に比例して増大し最高で 170 K 程度であること、強磁性の起源は単一であり、強磁性金属の析出物など第 2 相によるものではないこと、などを明らかにした。以上により、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ は真性の強磁性半導体であることを示した。

第 3 章は「Epitaxial growth and characterization of Fe doped Ge ($\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$) thin films on Si(001) substrates」であり、MBE を用いて Si(001)基板上に $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜を成長し、詳細な構造評価と磁気光学効果測定を行い、さらに磁気輸送特性を調べた結果を記している。Si(001)基板上に成長した $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜は基板との格子不整による転位等の欠陥は存在するものの、結晶構造、バンド構造ともにダイヤモンド型半導体のそれであり、明瞭な強磁性を示し、強磁性転移温度(T_C)は Fe 組成 $x=0.13$ までは x に比例して増大し最高で 130 K 程度であること、MCD と異常ホール効果の磁場依存性は完全に一致し強磁性の起源は単一であること、などを明らかにした。以上より、Si 基板上に成長した $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ も真性の強磁性半導体であることを示した。

第 4 章は「Device Applications」であり、スピントロニクスの基本素子である強磁性トンネル接合を Ge 基板上に作製し、そのスピン依存トンネル伝導について調べた結果を記している。 $\text{Fe}/\text{SiGe}/\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ から成る強磁性ヘテロ構造によってトンネル接合を形成し、トンネル磁気抵抗効果と思われる磁気抵抗変化を観測した。これにより、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜がスピン注入源およびスピン検出器として働く可能性を示唆した。

第 5 章は「Concluding remarks」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、新物質である $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜をエピタキシャル成長によって Ge 基板上および Si 基板上に形成し、Fe の平均組成が 10% 程度以下ではその結晶構造とバンド構造がダイヤモンド型半導体の特徴を保つこと、強磁性を示すとともにその起源が単一の磁性相からなること、すなわち $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$ 薄膜は真性の強磁性半導体であることを示したものであり、電子工学上、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。