

審査の結果の要旨

氏名 矢田 慎介

本論文は、「Growth, structure, and magnetic properties of Mn-doped Ge ferromagnetic thin films for group-IV based spin electronic devices (IV族ベース・スピンドバイスを旨した Mn ドープ Ge 強磁性薄膜の成長及び構造・磁性の評価)」と題し、英文で書かれている。本論文では、IV族半導体 Ge をベースとする磁性薄膜である Mn ドープ Ge についてその成長、構造・磁性の評価、およびスピン依存伝導に関する研究成果を記述しており、全7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。その中で、特に Mn ドープ Ge を含めたIV族ベース磁性半導体材料の状況を述べ、本論文の位置づけを示し、さらに本論文における評価法(特に磁気円二色性(MCD)測定)の原理と特色を示している。

第2章は「Origin of the ferromagnetism in epitaxially grown $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ thin films on Ge (100) substrates」であり、低温分子線エピタキシー(LT-MBE)法によって Ge(001)基板上に成長した Mn ドープ Ge 薄膜について、透過電子顕微鏡(TEM)による観察および MCD 測定の結果について述べ、Mn ドープ Ge 薄膜の内部に強磁性を有するアモルファス Mn ドープ Ge のナノクラスタが存在すること、これがこの磁性薄膜が示す強磁性の起源であることを示している。

第3章は「Magnetic and transport properties of amorphous $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ thin films」であり、第2章で薄膜中に見出した物質であるアモルファス Mn ドープ Ge について、その薄膜を LT-MBE 装置により作製し、MCD 測定、超伝導量子干渉計(SQUID)による磁化測定、異常ホール効果測定および抵抗率の温度依存性測定を行った結果について述べ、アモルファス Mn ドープ Ge がアモルファス強磁性半導体であることを示している。

第4章は「Magnetic and structural properties of $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ thin films on Ge (100) substrates」であり、Ge (100)基板上に LT-MBE 法により様々な成長条件で成長した Mn ドープ Ge 薄膜について、TEM による観察および MCD 測定の結果について述べ、薄膜内で Mn が凝集し、成長条件によってアモルファス Mn ドープ Ge のナノカラム状のクラスタもしくは Mn_5Ge_3 の金属化合物クラスタが形成されることを示している。特にアモルファス Mn ドープ Ge ナノカラムは半導体中の磁性半導体クラスタという特異な構造であり、Mn ドープ Ge 薄膜の成長条件によって、強磁性転移温度などの磁気特性が制御可能なことも明らかにしている。

第5章は、「Epitaxial growth of $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ thin films on Ge substrates with various crystal orientations」であり、最初に様々な面方位を持つ Si 基板上に LT-MBE 法によって成長した Mn ドープ Ge 薄膜について、MCD 測定の結果について述べ、特に Mn ドープ Ge 薄膜の品質が良いと思われる Ge(111)面上の成長膜に焦点を当てている。LT-MBE 法によって Ge (111)基板上に成長した Mn ドープ Ge 薄膜について、MCD 測定と TEM 観測の結果について述べ、特定の成長条件下では、2章と4章で見られたクラスタが存在しない均一な Mn 分布を有する Mn ドープ Ge 薄膜が成長できることを示している。

第6章は「Magnetotransport properties of $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ thin films with nanocolumns」であり、4章で示したアモルファス Mn ドープ Ge のナノカラムを有する Mn ドープ Ge 薄膜について、その単層膜およびそれを利用した磁気トンネル接合(MTJ)構造を作製し、その磁気伝導測定の結果について述べ、Mn ドープ Ge 薄膜およびその MTJ 薄膜において巨大な正の磁気抵抗効果が観測されること、および MTJ 薄膜でのみヒステリシスを伴う特異な磁気抵抗効果が観測されることを示している。

第7章は「Concluding remarks and outlook」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、低温 MBE 法によって Mn ドープ Ge 薄膜の成長を行い、その構造と磁性を詳細に評価したもので、Ge(001)基板上に成長した薄膜については、高濃度の Mn を含むナノカラム構造が形成されること、ナノカラム構造の強磁性転移温度などの磁気的な性質を制御できること、巨大な正の磁気抵抗効果を示すこと、さらに、Ge(111)基板上に成長することによってナノカラム構造の形成をほぼ完全に抑止し均一な Mn 分布を有する Mn ドープ Ge 薄膜を形成できることなどを示した。これによって、Mn ドープ Ge 薄膜がIV族ベース強磁性半導体であることを示すと共に、強磁性ナノ構造を有する半導体としての応用の可能性についても、新しい知見を示したもので、電子工学およびスピントロニクスの発展のため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。