

審査の結果の要旨

氏名 ファム ナム ハイ

本論文は、「Spin dependent transport phenomena in III-V semiconductor heterostructures with ferromagnetic MnAs nano-scale particles (ナノスケール強磁性 MnAs 微粒子を含む III-V 半導体ヘテロ構造におけるスピン依存伝導現象)」と題し、英文で書かれている。本論文では、ナノスケール強磁性 MnAs 微粒子を含む III-V 族ベース半導体ヘテロ構造の成長、構造、磁性、およびスピン依存伝導とその応用に関する研究成果を記述しており、全8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、本研究で用いるナノスケール強磁性 MnAs 微粒子を GaAs 中に分散させたグラニューカー材料 GaAs:MnAs の特色を述べている。

第2章は「Spin polarized tunneling in III-V based heterostructures with a ferromagnetic MnAs thin films and GaAs:MnAs nanoparticles」であり、MnAs/GaAs/AlAs/GaAs:MnAs からなるヘテロ構造において、トンネル磁気抵抗効果を低温から室温に至るまでの温度領域で観測し、GaAs:MnAs 中の MnAs 微粒子がスピン注入源およびスピン検出器として働くことを示している。

第3章は「Magnetic properties of MnAs nanoparticles studied by tunneling and Monte Carlo simulations」であり、第3章と同様の磁性ヘテロ構造において、トンネル磁気抵抗効果の磁場依存性からマイナーループを測定し、GaAs:MnAs の磁化特性、磁化の緩和時間、ブロッキング温度(T_B)、磁気異方性エネルギーなどをモンテカルロシミュレーションと比較することにより評価している。また、長い緩和時間と高い T_B の原因は、磁気的な双極子相互作用であるとしている。

第4章は「Spin valve effect by ballistic transport in ferromagnetic metal (MnAs) / semiconductor (GaAs) hybrid heterostructures」であり、MnAs/GaAs/GaAs:MnAs からなるヘテロ構造において、バリステック伝導による比較的大きなスピバルブ効果を観測した結果について述べ、バリステック伝導を用いればスピン注入における伝導率不整合の問題が解決できることを実験的に示唆している。

第5章は、「Coulomb blockade in III-V based heterostructures with a ferromagnetic MnAs thin and GaAs:MnAs nanoparticles」であり、MnAs/GaAs/AlAs/GaAs:MnAs/AlAs/p-GaAs から成る二重障壁トンネル接合(縦型デバイス)および GaAs:MnAs 薄膜表面に MnAs 薄膜のソース・ドレイン電極を付けた横型デバイスにおいて、クーロンブロッケード(CB)による TMR の振動現象を観測し、MnAs 微粒子におけるスピン緩和時間が $10\mu\text{s}$ 以上と非常に長いことを示している。

第6章は「Device application of TMR and CB in nanostructures with ferromagnetic nanoparticles」であり、強磁性微粒子を含む単電子スピントランジスタ(SEST)と、SEST を用いたタッカー型インバータ、AND/OR 回路、2入力対称関数、2入力非対称関数などの再構成可能な論理回路を提案し、その動作を数値シミュレーションにより示している。

第7章は「Electromotive force, Coulomb blockade, and huge magnetoresistance in magnetic tunnel junctions with Zinc-blende MnAs nanoparticles」であり、閃亜鉛鉱型結晶構造をもつ MnAs (ZB-MnAs)微粒子を含むヘテロ構造 MnAs/GaAs/AlAs/GaAs:ZB-MnAs において、静磁場による起電力の発生と CB 効果による 100,000% を超えるきわめて大きな磁気抵抗効果の観測について述べている。観測された静磁場による起電力は、古典的な電磁気学で説明できるものではなく、巨視的な量子トンネリングによって MnAs 微粒子の磁化が回転し、同時に電子スピンの反転しながらトンネルするというコトンネリングが起こることによって、磁気的なゼーマンエネルギーが電子系の電气的なエネルギーに転換される、というモデルで説明している。このような磁性ナノ構造で観測される量子力学的なスピンの効果を説明するためには、ファラデーの電磁誘導の法則を拡張する必要があることを示している。

第8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、ナノスケール強磁性 MnAs 微粒子を含む III-V 半導体ヘテロ構造におけるスピン依存伝導現象を中心とする物性を実験的に明らかにし、スピン依存トンネル現象を観測することにより、III-V 族半導体ヘテロ構造中の MnAs 微粒子がスピン注入源および検出器になること、クーロンブロッケード効果とトンネル磁気抵抗効果が同時に起こりうること、巨大な磁気抵抗と静磁場による起電力が生じることなど、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。