

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 長谷川 顕登

本学位論文は、強磁性ナノ薄膜を含む積層構造において発現する「一方向性磁気抵抗(UMR)効果」を体系的に調べ、考察、展望するものである。この効果は、強磁性ナノ薄膜の磁化方向だけでなく、印加する電流の方向によっても電気抵抗の値が異なるという、一般的な磁気抵抗効果には見られない興味深い特徴を示す。UMR 効果の研究は、電流-スピン流変換の物理に関わる最先端のテーマであるばかりでなく、磁気記録デバイスにおける情報読み出し手法への発展を期待させるものであり、俄かに注目を集めている。本論文では、強磁性/非磁性およびフェリ磁性/非磁性接合構造、強磁性/強磁性構造といった様々な材料系における UMR 効果が体系的に調べられ、それぞれについて詳細な議論が展開されている。

第一章では、UMR 効果の発見から現在に至るまでの展開が詳細かつ丁寧に述べられており、続く第二章で、本研究で用いた研究手法が説明されている。

第三章では、UMR 効果の一つである「一方向性スピホール磁気抵抗(USMR)効果」におけるスピン依存散乱の役割を明らかにすることを目的とし、フェリ磁性体ガドリニウムコバルト(GdCo)とタングステン(W)の積層構造を用いた研究成果が述べられている。同試料を用い、フェリ磁性体の補償点組成および補償温度前後で USMR の符号反転を観測し、この効果が正味の磁化方向ではなく Co の磁化方向のみによって決定されていることを示している。Co 由来のスピン依存散乱が USMR の起源となっていることを実験的に明らかにした点に高い学術的意義が認められる。

第四章では強磁性体/非磁性体の界面が USMR 効果に与える影響を明らかにすべく、一般的な材料系である白金(Pt)/Co 界面に銅(Cu)を挿入した系において USMR 効果を調べた結果が報告されている。Cu を挿入することにより、USMR 効果が 1.5 倍に増大することが観測された。さらに Co へのスピン流注入量は変化していないこと、および Cu 層膜厚と USMR 効果の増加量の関係から、Cu/Co 界面における強いスピン依存散乱が USMR 効果の増大の原因であることが明らかになった。本成果は USMR 効果の起源解明に資するのみならず、効果増大の指針を与えるものとして高く評価できる。

第 5 章では、非磁性体ではなく強磁性体をスピン流源とした UMR 効果の研究について述べられている。ニッケル鉄合金(NiFe)をスピン流源とした Co/NiFe 積層構造において、NiFe の磁化方向に依存した UMR 効果の存在が観測された。角度依存性を詳細に調べた結果、この効果が NiFe 中のプレーナーホール効果に起因する新しいタイプの電流-スピン流変換に基づいていることが示された。本論文では、この「スピンプレーナーホール効果(SPHE)」と呼ぶべき現象について理論的考察もなされており、NiFe 中の SPHE が Pt 中のスピホール効果と同程度の高いスピン流生成効率を示すことがわかった。非磁性体ではなく、強磁性体が生成するスピン流も UMR を用いて検出可能であることを初めて実証したこと、そして強磁性体が高いスピン流生成効率を有することを示した点が特筆すべき成果であると認められる。

第 6 章では、面内の構造非対称性を導入して垂直方向に偏極したスピン流を生成し、それによる無磁場磁化スイッチングを目的とした研究について述べられている。Pt/Co 構造からなる細線構造の半分をゲート電圧により常磁性状態に相転移させることで、磁気的な非対称構造が導入された。この系において外部磁場を印加しない状態でスピン軌道トルク磁化反転が観測された。ところが、詳細な磁区観察の結果は、電流によるエルステッド磁場の寄与がここで観測された磁化反転にとって支配的な要因であることを示唆するものであった。面内構造非対称によるスピン流生成の明確な証拠を得ることが今後の課題であるが、本成果は構造非対称性を利用した無磁場での電流有機磁化スイッチングの起源を誤りなく理解するうえで、今後の分野全体の研究に有益な情報をもたらすものであると言える。

本博士論文について、令和 4 年 1 月 21 日に東京大学工学系研究科にて審査会を行った。審査員は、齊藤英治教授・関真一郎准教授・中野匡規准教授(東京大学工学系研究科)および千葉大地教授・小山知弘准教授(大阪大学産業科学研究所)の 5 名である。事前に行われた予備審査では、本論文が学位論文として極めて高いレベルにあることが認められた。一方で審査員から、課題設定により学術的な意義付けがなされるべきであるとの指摘や、熱起電力の影響を詳細に検討すべきとのコメントがあった。本審査での発表はそれらのコメントを丁寧に反映したのになっており、また質疑応答を行い長谷川氏が研究内容について深く理解していることが認められた。以上により、研究の意義・内容・発展性のいずれの面においても博士学位論文に相応しいものであると全会一致で判断された。

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。