

氏名	すずきもとふみ 鈴木基史
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第3324号
学位授与の日付	平成10年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Studies on the giant magnetoresistance in magnetic superlattices (磁性人工格子の巨大磁気抵抗効果に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 万波通彦 教授 藤本孝 教授 志賀正幸

論文内容の要旨

本論文は Co / Cu 人工格子の巨大磁気抵抗効果 (GMR) の発現機構を, 人工格子の結晶性, 界面の凹凸とに注目して, 実験と理論の両面から研究した結果と, これらを基に劣悪な環境下で使用できる磁気センサーの開発研究の結果をまとめたもので, 8章より構成されている。

第1章は, 磁性体と非磁性体を nm 程度の厚さで周期的に積層した磁性人工格子の特異な物性の研究の歴史, Fe / Cr や Co / Cu 等の格子系における磁性層間に働く反強磁性的相互作用, GMR の発現などに関して, 現在までに得られている知識を整理し本研究の位置づけと目的を述べている。

第2章は実験法についてまとめたもので, Co / Cu の成膜において膜の厚さを 0.1 nm 以下の精度で制御できるコンピュータ制御スパタリング法を採用し, 実験方法として, 人工格子の構造の遠距離秩序については X 線散乱を, 短距離秩序については ^{59}Co の NMR を用い, 電磁氣的物性のうち磁化, 電気抵抗は標準的な方法で測定したことを述べている。

第3章は, Co / Cu 人工格子を成膜するとき, 下地との間に挿入する緩衝層についての研究である。緩衝層の厚さ・材料により, 人工格子の磁気抵抗変化率 (MR 比) や飽和磁場は劇的に変化する。飽和磁場の変化は人工格子の結晶粒の配向性に関連するが, MR 比は人工格子と緩衝層の界面の凹凸に関連し, 再現性ある磁気抵抗特性を得るには, 界面構造の制御が必要であることを示した。

第4章では, GMR に対する界面の凹凸の効果を明らかにするため, Co 層と Cu 層の界面に 0.3 nm 以下の厚さの Co と Cu の同時堆積による混合層を堆積した人工格子を作成した。混合層の厚みに対する ^{59}Co の核磁気共鳴 (NMR) スペクトルの変化から, 混合層内での Co と Cu 原子混合は見かけ上, 界面の凹凸に対応していると結論した。

第5章では, 前章で述べた方法で作成した人工格子では, 界面における 0.1 nm 程度の混合層の存在により, 室温における MR 比と磁性層間の反強磁性的相互作用が大きく減少することを見出した。

第6章では, 人工格子の磁化過程と電気抵抗の温度依存の解析を行っている。まず, 初期磁化過程では, 電気抵抗と磁化の2乗が線形関係にあること, またこれは界面混合層の厚さとは無関係であることを明らかにした。半経験的 s-d 散乱模型による解析から, 成膜直後の Co / Cu 格子で Co 層の磁化は完全に反平行に配列していることを結論した。また, 界面混合層による電子散乱に温度依存がないこと, 電子散乱の増加と共に MR 比も磁気抵抗も共に減少することから, この散乱は不純物散乱であり, そのスピン依存は層内電子散乱に較べて弱いことを結論した。

第7章では, 上記の実験結果をもとに, 人工格子の巨大磁気抵抗の機構についての理論的解析を試みている。人工格子を一次元の Kronig-Penney 型ポテンシャルにモデル化し, 量子ボルツマン方程式を用いた電気抵抗計算を行った。ここで電気抵抗に寄与する電子散乱は不純物散乱とし, 人工格子の界面と層内にスピンに依存しないデルタ関数型の散乱ポテンシャルを摂動として取り入れている。MR 比と界面混合層の厚さ依存の実験事実は, 磁性層 (Co 層) の少数スピンの d-状態が束縛されていることと, そこではスピンに依存した s-d 散乱が支配的であること, 一方, 混合層内ではスピンに依存しない s-s 散乱が支配的であることを示した。従って, 人工 Co / Cu 格子の巨大磁気抵抗は, 磁性層内の電子スピン依存散乱に支

配されていると結論した。

第8章では、前章までに得られた知見を基に、MR比と磁場に対する感度を最適化したMR比24%以上、飽和磁場500 OeのCo/Cu人工格子を設計した。これを幅45 μm の細線に加工し、酸化シリコン膜で表面を保護した磁気センサーを作成した。空气中150 $^{\circ}\text{C}$ での劣化試験により、このセンサーが航空機、自動車などの実環境で安定に利用できる事を示した。

論文審査の結果の要旨

本論文はCo/Cu人工格子の巨大磁気抵抗効果(GMR)の発現機構を、人工格子のCo層の結晶性、界面の凹凸に注目して実験と理論の両面から研究した成果と、これら基礎研究を利用して高い耐久性を持つ磁気センサーを開発するに至った応用研究をまとめたものである。主な成果は以下の通りである。

1. 異なった条件下で成膜したCo/Cu人工格子の巨大磁気抵抗特性を評価し、飽和磁場がCo層の結晶粒配向と関連を持ち、抵抗変化率は界面構造を敏感に反映することを示した。

2. Co層とCu層の界面にCoとCuの薄い混合層を持つCo/Cu人工格子の界面構造をCoの核磁気共鳴で解析し、Co層表面の凹凸構造を決めた。この人工格子の磁化と磁気抵抗の関係、磁気抵抗の温度依存の測定から、GMRが界面の原子程度の凹凸により減少すること、界面での電子散乱が不純物散乱であること、この散乱の電子スピン依存性が小さいことを示した。

3. Co/Cu人工格子のGMRの機構について、s-d散乱モデルをもとに電気抵抗の理論的検討を行った。Co層内ではd電子の状態密度がスピンの依存するのに対し、界面ではd電子波動関数が減衰しているため、スピンの依存しないs-s散乱が支配的となる事を結論した。

4. 以上の研究を基に、最適のCo/Cu人工格子を設計し、表面をSiO₂で保護した、幅45 μm の磁気センサーを製作した。抵抗変化率24%、飽和磁場500 Oeの性能を示すこのセンサーは150 $^{\circ}\text{C}$ で1000時間経過しても安定に作動することを示した。

以上要するに、本論文は磁性人工格子の磁気抵抗性と、磁化過程、結晶粒配向、界面構造の相関を研究し、巨大磁気抵抗の成因を解明し、さらに、これらを基礎に、過酷な環境下で安定に作動する磁気センサーを開発したものである。得られた結果は、学術上、実際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)の学位論文として価値ある物と認められた。また、平成10年2月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認められた。