

【部門構成員】

教授：高梨 弘毅、 助教授：三谷 誠司、 助手：小尾 徹久、嶋 敏之、薬師寺 啓、
科学技術振興研究員：伊藤 弘高、 その他（事務補佐員 1名）

【研究成果】

本部門では、人工ナノ構造制御によって、スピンエレクトロニクスへの応用を目指した材料の開発と物理現象の基礎研究を行っており、現在二つの主要研究テーマがある。第一は、磁性ナノ粒子系におけるスピン依存単一電子トンネル現象の研究である。これまでに Al-O 絶縁マトリックス中に Co ナノ粒子が分散したグラニューラー薄膜を用いた微小 CPP (Current-Perpendicular-to-Plane) 素子構造を用いて明瞭なクーロン階段とそれに伴うトンネル磁気抵抗効果 (TMR) の振動現象を世界に先駆けて報告してきたが、本年度はこの研究をさらに発展させ、TMR の振動現象が符号反転を伴うことを確認し、Co ナノ粒子中のスピン蓄積効果によって符号反転が生じることを解明した (Ref.2)。さらに、理論との詳細な比較・検討により、Co ナノ粒子中のスピン緩和時間がバルクに比べて4桁程度長くなることを見出し、金属ナノ粒子がスピンエレクトロニクス素子として有用であることを示した。この成果は Nature Materials (Ref.5) に掲載され、日刊工業新聞等にも取り上げられた。また、グラニューラー薄膜よりもサイズが均一な磁性ナノ粒子集合体として、MgO 単結晶トンネル障壁層上に Fe ナノ粒子をエピタキシャル成長させた試料も作製し、クーロン階段に伴う TMR の振動現象の観測に成功した (Ref.1)。第二のテーマは、L1₀FePt 規則合金のナノ構造化と電磁気特性の研究である。L1₀FePt 規則合金は高い磁気異方性と耐食性を有するため、次世代磁気記録や微小磁石用の材料として注目されている。これまでに、薄膜の低温規則化や配向性の制御、ナノ構造と保磁力との関係の解明などを行ってきたが、本年度は高配向・高規則度の FePt ナノ粒子集合体をスパッタ法で作製し、室温で 70kOe、低温で 105kOe という巨大な保磁力の実現に成功した (Ref.4)。これは薄膜の保磁力としてはチャンピオンデータである。また、FePt 規則合金を電極としたトンネル接合を作製し、TMR やスピン分極率に関する評価も行い、FePt 規則合金がスピンエレクトロニクス材料としてのポテンシャルも有していることを示した (Ref.3)。

1. F. Ernult, K. Yamane, S. Mitani, K. Yakushiji, K. Takanashi, Y. K. Takahashi, and K. Hono
Spin-dependent single-electron-tunneling effects in epitaxial Fe nanoparticles
Appl. Phys. Lett., 84 (2004) 3106-3108.
2. K. Yamane, K. Yakushiji, F. Ernult, M. Matsuura, S. Mitani, K. Takanashi and H. Fujimori
Inverse tunnel magnetoresistance associated with Coulomb staircases in micro-fabricated granular systems
J. Magn. Magn. Mater., 272-276 (2004) e1091-e1093.
3. T. Moriyama, S. Mitani, T. Seki, T. Shima, K. Takanashi and A. Sakuma
Magnetic tunnel junctions with L1₀-ordered FePt alloy electrodes
J. Appl. Phys., 95 (2004) 6789-6791.
4. T. Shima, K. Takanashi, Y. K. Takahashi and K. Hono
Coercivity exceeding 100 kOe in epitaxially grown FePt sputtered films

Appl. Phys. Lett., 85 (2004) 2571-2573.

5. K. Yakushiji, F. Ernult, H. Imamura, K. Yamane, S. Mitani, K. Takanashi, S. Takahashi, S. Maekawa and H. Fujimori
Enhanced Spin Accumulation and Novel Magnetotransport in Nanoparticles
Nat. Mater., 4 (2005) 57-61.

【研究計画】

スピントロニクスへの応用を目指した材料の創製・開発とスピン依存伝導に関する基礎研究を大きな2つの柱として、具体的には以下の研究を推進する。

・磁性材料を用いたナノ高次構造の作製技術の開発

スピントロニクスを可能にしたのは、磁性材料を用いたナノ高次構造の実現であり、そのための成膜技術・微細加工技術の発展が基礎となっている。磁性材料のナノ高次構造の研究は1980年頃の金属人工格子（1次元的なナノ積層構造）の研究に始まるが、2次元的・3次元的な立体高次構造はまだ満足なものが得られていない。自己形成制御と微細加工の有機的結合により、2次元的・3次元的なナノ高次構造の作製技術の開発を行う。

・スピントロニクス用規則合金系材料の開発と評価

現在スピントロニクス素子として実用化されつつある材料は、FeCoNi系合金が主である。しかし、高性能化、高安定化を考えたときに、FeCoNi系合金では数年で限界が来ることは明白である。言い換えれば、FeCoNi系合金を超えて、高いスピン分極や高い磁気異方性を有する新たな材料を用いた素子を実現しなければ、スピントロニクスに長期的な未来はない。このような意味で規則合金や金属間化合物の中には大きなポテンシャルを有する材料が多数あるが、素子応用という観点からは十分な検討が成されていない。FePtに代表されるL1₀規則合金やハーフメタルと呼ばれるホイスラー合金はその典型例と言える。このような規則合金を基軸とした素子的構造を作製し電磁気特性を評価することにより、スピントロニクス素子として実用可能な規則合金系材料の開発を行う。

・磁性ナノ構造体におけるスピン注入・蓄積現象に基づく電磁気特性の評価と解明

CPP（Current-Perpendicular-to-Plane）構造、ナノドット配列、ポイントコンタクトなどの磁性ナノ構造体におけるスピン依存伝導現象を評価する。従来の巨大磁気抵抗効果（GMR）やトンネル磁気抵抗効果（TMR）に加え、磁化の電氣的制御やダイナミクスなどの研究も行い、スピン注入やスピン蓄積が及ぼす電磁気特性への影響を明らかにする。