Osaka University Knowledge Archive

Title	Spin Torque Induced Magnetization Dynamics in Nanomagnets
Author(s)	Miwa, Shinji
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/26269
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

様式3

論　文　内　容　の　要　旨

〔　題　　名　〕
Spin Torque Induced Magnetization Dynamics in Nanomagnets
(ナノ磁性体におけるスピントルクにより誘起される磁化ダイナミクスの研究)

学位申請者　三輪　真嗣

「巨大磁気抵抗効果(1988年)」と「スピン注入磁化反転(1999年)」の発見以来、「磁気抵抗効果による磁化情報の読み出し」と「スピントルクによる磁化制御」を利用した磁気トンネル接合デバイスが盛んに研究されている。磁気ランダムアクセスメモリの研究開発がその最たるものであることは疑いの余地がない。一方で磁気トンネル接合はメモリ以外にも磁気センサー、マイクロ波発振器、マイクロ波検波器などへの応用も期待されている。その中でスピントルクを用いた磁化ダイナミクスの詳細を理解することは、学術的な知見のみならず応用の観点からも重要である。本論文ではMgOトンネル障壁を用いた磁気トンネル接合における磁化ダイナミクスを実験・理論の両面から詳細に解析し、磁気トンネル接合の物理そしてデバイスとしての限界性能明確化を目指した。

(1) 磁気トンネル接合における低周波強磁性共鳴励起の研究

磁気トンネル接合デバイスの課題は高出力化と低消費エネルギー化である。スピントルクによる磁化制御に必要な閾値電流はほぼ強磁性共鳴周波数に比例するため、この問題は低周波強磁性共鳴励起の実現に置き換えられる。本研究では界面磁気異方性を利用し、磁気異方性が非常に小さな磁化フリー層を有する磁気トンネル接合を用意した。そしてこの素子において 0.36 GHz という極めて小さな強磁性共鳴励起を実現した。本研究は非線形熱励起の抑制がさらなる低周波励起を可能にすることを見出し、それが界面磁気異方性と電界誘起磁気異方性制御により実現可能であることを示唆した。

(2) 高感度スピントルクダイオードの研究

前述の磁気トンネル接合素子を用いてスピントルクダイオード効果によるマイクロ波検波器としての性能を評価した。この磁気トンネル接合は半導体(3,800 mV/mW)を超える感度(12,000 mV/mW)を有することを示した。さらにマクロスピンモデルを軸とした理論解析により、感度の増大が非線形効果に起因することを明らかにした。この非線形効果は磁気トンネル接合のサイズを小さくすると信号雑音比を増大させられるため、直径 10 nm 程度のデバイス磁気トンネル接合は熱力学リミットに迫る性能を有する可能性があることを示した。既存の半導体素子は理論限界の感度を有するにも関わらず、その信号雑音比は熱力学限界に遠く及ばない。この研究はスピントロニクス素子のポスト C-MOS デバイスとしての応用における重要なマイルストーンである。

(3) ナノスピン系におけるスピントルク磁気共鳴の研究

本研究ではスピントルク磁気共鳴のナノスピン系への適用を試みた。具体的には鉄ナノ粒子を磁気トンネル接合に埋め込み、磁気共鳴を観測した。理論に裏付けられるように微粒子を小さくするほど磁気共鳴の検出感度が増大することを見出した。この技術は将来における、電気的なシングルスピン制御・検出技術へと発展する可能性がある。

様式7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（三　輪　真　嗣）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教　授	鈴 木 義 茂
	副 査	教　授	北 岡 良 雄
	副 査	教　授	夛 田 博 一
	副 査	教　授	白 石 誠 司
	副 査	准教授	河 野　浩

論文審査の結果の要旨

審査結果　　申請者の論文は、磁気メモリ・磁気センサー等への応用が期待されるナノ磁性体の物理に関する研究をまとめたものである。申請者は強磁性トンネル接合から、強磁性ナノ粒子、さらには強磁性ナノ微粒子と分子とからなるナノコンポジット系に至る種々の物質系にスピン偏極した電流を注入することを試みた。その結果、高周波電流の注入により磁化のダイナミクスを制御することに成功するとともに、その際に生じる電気的なホモダイン検波信号が微小な磁性体ほど大きくなり、非常に高感度にナノ磁性体のダイナミクスを検出する手段となることを見出した。さらに、この原理を微小なトンネル磁気抵抗素子に適用することにより、これまでの半導体ダイオードを超える高周波検波感度が得られることを実証するという顕著な成果を得た。

　　磁気トンネル接合に高周波電流を注入すると磁気共鳴が誘起され、ホモダイン検波(スピントルクダイオード効果)が生じることは既に知られていた。しかし、その検波出力は非常に小さく応用の可能性は考えられていなかった。これに対して申請者は磁気トンネル接合の磁気特性を制御すると12,000 mV/mwという、これまでの理論では説明できないほどの大きな高周波感度が得られることを発見した。実際にこの感度はこれは半導体ショットキーダイオードの性能(3,800mV/mW)を大きく超える数値である。申請者は、この効果が非線形磁気共鳴現象に起因することを解明した。さらに理論解析により、微小な磁性体ほど、信号雑音比が増大することを示した。これは、既存の半導体素子と比べ、磁気トンネル接合がデバイスとしてより大きなポテンシャルを有することを明確に示した初めての例である。これらの解析の中で、磁化ダイ ナミクスにおける非線形効果に着目し、その定量的な解析手法を確立したことは基礎物理現象の開拓としても特筆すべきである。

　また、申請者は論文において磁気トンネル接合に埋め込んだ鉄ナノ粒子における磁気共鳴をダイオード効果により観測し、粒子を小さくするほど磁気共鳴の検出感度が増大することを実験的に示した。この技術は将来における、電気的なシングルスピン制御・検出技術へと発展する可能性があるため重要なマイルストーンとなり得る。

以上の成果は、既に国際的な英文論文誌に15本の論文として掲載された(そのうち主著は5編)。それ以外にも国内外の会議において多数回の発表を行い高い評価を得ている。候補者が新しい原理に基づくデバイスにおいて半導体を上回る性能を得たことは特に高く評価できる。発表も明確であり、質問に対する受け答えも的確になされた。　以上より本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。