

Title	Spin Transfer Switching and Spin Torque Phenomena in Magnetic Nano-Pillar
Author(s)	富田, 博之
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59105
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	富田博之
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第25231号
学位授与年月日	平成24年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学位論文名	Spin Transfer Switching and Spin Torque Phenomena in Magnetic Nano-Pillar (磁性ナノピラーにおけるスピントルク注入磁化反転、およびスピントルク現象)
論文審査委員	(主査) 教授 鈴木 義茂 (副査) 教授 井元 信之 教授 木村 剛

論文内容の要旨

新たな磁化反転技術として磁気メモリ (Spin-RAM) への応用が期待できることから、スピントルク注入磁化反転は盛んに研究されている。従ってスピントルクを用いた磁化ダイナミクスを理解することは、科学的な知見のみだけでなく応用技術としても重要である。本論文では垂直磁気異方性を有する巨大磁気抵抗 (GMR) 素子におけるスピントルク注入磁化反転特性をサブナノ秒からミリ秒領域までの広い時間スケールで測定した結果について述べる。また、スピントロニクス素子におけるスピントランスファートルクを利用した新たな機能として、負性抵抗および高周波増幅作用をマクロスピンモデルによる数値計算を用いて検討した。さらに、ナノ秒からピコ秒応答をめざした次世代高速応答素子として、反強磁性結合膜における磁化ダイナミクスを光ポンプ・プローブ法によって測定した結果についても言及する。

(1) 垂直磁化GMR素子におけるスピントルク注入磁化反転の研究

スピントルク注入磁化反転における反転確率の評価を行い、磁化ダイナミクスを理解するうえで重要な知見を得た。ナノ秒以下のパルスを用いた高速動作領域では500ピコ秒での反転を実証することに成功した。さらに反転確率に対するモデル式を導出し、その結果から150ピコ秒程度の遅延時間が存在する可能性を明らかにした。本遅延時間に関してはナノ秒領域での安定動作に支障がないことを示すとともに、次世代高速メモリを検討するうえでの重要な検討課題を提起している。マイクロ秒以上の磁化反転に関してはスピントランスファートルクを考慮した熱活性モデルにより反転確率の評価を行い、広い時間スケールでの磁化反転ダイナミクスの理解を示した。

(2) トンネル磁気抵抗素子における負性抵抗および高周波増幅特性

本テーマはスピントルク素子における新たな機能の検討として行ったものであり、マクロスピンモデルによる数値計算を用いて検討した。室温動作を目標に熱をランダム磁場として考慮し、室温においても負性抵抗の発現を確認することに成功した。高周波増幅に関しては熱揺らぎの影響から300度においては明瞭な応答は確認することができなかったが、0度においては増幅動作に成功した。磁化状態などの最適化が必要であるものの、スピントルク素子における新機能の可能性を示した。

(3) Fe / Cr / Fe反強磁性結合膜の磁化ダイナミクス

本テーマは次世代超高速スピントルク素子の実現に向けて行ったものであり、光ポンプ・プローブ法によって評価した。本素子では光測定によるピコ秒領域での時間分解磁化ダイナミクス測定を実証し、反強磁性結合膜における音響モー

ドおよび光学モードの励起に成功した。本研究では最大30 GHz程度の励起モードを確認し、マクロスピンモデルから得られた励起モードと一致することを確認した。反強磁性結合強度の大きな素子においてより高速な磁化ダイナミクスの励起が期待されることを示した。

論文審査の結果の要旨

審査結果： 提出された論文は、電子の持つ電荷とスピンの双方を巧みに利用する新しい学理であるスピントロニクスの研究分野に関するものである。当該研究は、中でも中心的な役割を果たしている強磁性ナノピラーにおける磁化のダイナミクスを明らかにすることを目的として行われた。論文では以下の3つの結果が述べられている。すなわち、(1)垂直磁化巨大磁気抵抗(GMR)素子におけるスピン注入磁化反転の研究、(2)トンネル磁気抵抗素子における負性抵抗および高周波増幅特性の研究、(3)Fe/Cr/Fe反強磁性結合膜の磁化ダイナミクスの研究である。まず、(1)では、巨大磁気抵抗素子のスピン注入磁化反転における反転確率の評価を高速パルスジェネレーターと高速オシロスコープを用いて100 psecから数msecの広い時間領域にわたり詳細に行った。その結果、500 psecでの高速磁化反転を実証するとともに、パルス長が長い領域でエラーレートが指数関数的に減衰するという実用上重要な結果を示した。このことは本現象の物理的な理解を深めるとともに産業化を促すこととなった。さらに、同君は反転確率に対するモデル式を導出し、これまで別々に取り扱われていた、熱活性磁化反転域とダイナミック磁化反転域を統一的に説明することに成功した。特にその過程でこれまで定数として扱われてきたアテンプト周波数に電流依存性があること等の新しい物理的知見をあたえた。候補者は(2)においてマクロスピンモデルによる詳細な数値計算を行い、磁性ナノピラーが室温において負性抵抗を発現することを示した。このことはスピントロニクスに増幅作用を持つ素子をもたらし、その新しい展開の契機になる重要な結果である。(3)では、将来の超高速素子実現のための基礎として光ポンプ・プローブ法による磁化の超高速ダイナミクスの研究を行っている。その結果、反強磁性結合した多層膜において最大30 GHz程度の励起モードを確認し、マクロスピンモデルから得られた励起モードと一致することを確認した。このことは反強磁性結合強度の大きな素子を用いることによりさらに高速な応答をする素子が作れることを示したものでありスピントロニクスの新しい方向の一つを示すこととなった。

以上の成果は、既に国際的な英文論文誌10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の発表を行い、日本磁気学会学生講演賞、Intermag, Best Student Paper award、IEEE Kansai Chapter MSFK Awardなどの賞を受賞している。

候補者が高度な技術を要する実験とその物理モデルの構築を同時に行い新しい分野を拓いたことは特に高く評価できる。発表も明解であり質問への受け答えは的確であった。以上より本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。