

電流磁気効果および磁気光学効果を用いた磁化ダイナミクスの検出

物質系専攻 086024 坂田裕美

指導教員：大谷義近（教授）

キーワード：スピンドYNAMICS、強磁性共鳴、異方性磁気抵抗効果、磁気カー効果

1. 本研究の背景

スピントロニクス研究の進展に伴い、ナノサイズ磁性体の高速磁化ダイナミクスの評価およびその制御技術の確立が重要となっている。しかしながら、磁化反転はナノ秒以下の高速現象であり、かつスピントロニクス素子のメモリサイズはナノオーダーであるために、その評価のためには高い空間分解能と高い時間分解能を兼ね備えた測定手法の確立が必要である。

また、微小な磁性体はその大きさや形状に依存した磁区構造を形成し（例えば、磁気円柱形状における磁気渦構造や楕円柱形状における単一磁区構造）、それら系に特有の共鳴周波数を持っている。高精度微細加工技術を利用することで周期配列した微小磁性体構造体を作製し、その固有振動数を人工的に制御することで新しい高周波発生源等の創出を目指す研究分野はマグノニクスと呼ばれ、近年盛んに研究が行われている。

本研究では、スピントロニクスやマグノニクスへの展開を目標とし、その測定技術の確立と微小磁性体の磁化ダイナミクスを理解することを目的とする研究を行った。微小磁性体の磁化ダイナミクスの評価手法として、周波数領域測定である強磁性共鳴測定、および時間領域測定である時間分解磁気光学効果測定を利用した。

2. 異方性磁気抵抗効果を利用した強磁性共鳴の検出

ネットワークアナライザ等を利用した強磁性共鳴手法において、単一のナノサイズ磁性体の強磁性共鳴を検出することは困難である。そこで本研究では、強磁性体の異方性磁気抵抗効果を利用し、その共鳴現象の検出を試みた。作製した試料の断面図および

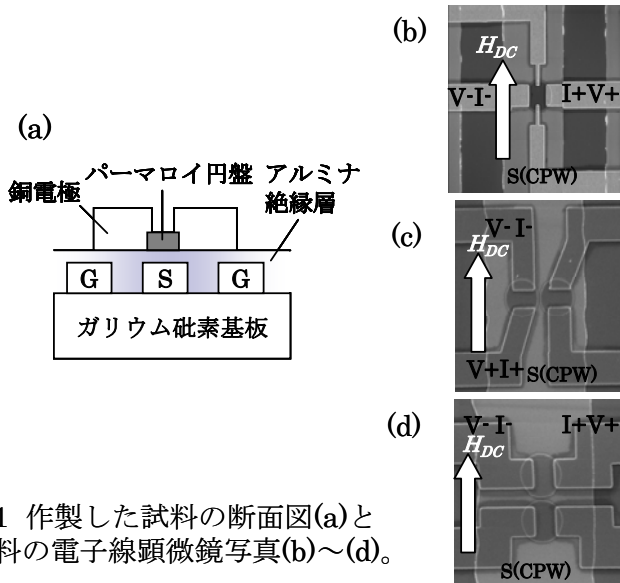


図1 作製した試料の断面図(a)と試料の電子線顕微鏡写真(b)~(d)。

その SEM 像を図 1 に示す。はじめに、強磁性体に高周波磁場を印加するためのコプラナー・ウェーブガイドを GaAs 基板上に作製した。その後、高周波信号線と強磁性体を絶縁するためにアルミナ層を作製し、電子線リソグラフィーでリフトオフパターンを作製後、NiFe の蒸着を行った。直径 $2\mu\text{m}$ 、厚さ 50nm の単一円盤 (図 1(b))、同円盤サイズで印加磁場垂直方向に並べた 2 つの円盤 (図 1(c))、同円盤サイズで印加磁場平行方向に並べた 2 つの円盤 (図 1(d)) を作製した。磁気円盤のエッジ間距離

は 300nm であり、2 つの円盤間には静磁結合が生じるように設計してある。

図 2 に単一円盤からの共鳴スペクトルの一例とそのピーク位置から決定した固有周波数の印

加磁場依存性を示す。固有周波数は印加磁場の増加に伴い増加していることから、強磁性共鳴を検出しているものと考えられる。

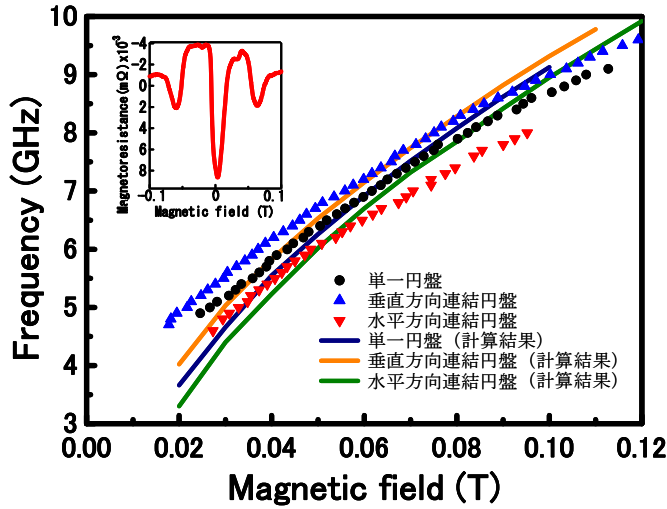


図2 3種類の磁気円盤におけるFMR周波数の磁場依存性。点は実験結果、線はマイクロマグネティクス計算の結果を表す。挿入図は単一円盤の測定結果の一例を示す。

結果と実験結果はやや異なる値を示している。これは、NiFeはコプラナー・ウェーブガイド上に作製されており、NiFeの表面の凹凸が大きいことが原因で、静磁結合等が生じることでスピン波（マグノン）が生成されているものと考えられる。

また、単一円盤に比べ、水平方向に静磁結合した円盤は固有振動数が減少し、垂直方向に静磁結合した円盤は固有振動数が増加している。この振る舞いは、微小磁性体端部からの漏れ磁場の方向を考慮すれば理解できる。図1(d)の配置では外部磁場印加方向と平行方向に他方の円盤からの漏れ磁場が印加されるが、図1(c)の配置では外部磁場印加方向と反平行方向に他方からの漏れ磁場が印加されている。また、この振る舞いを定量的に評価するためにマイクロマグネティクス計算を行った。図に示すように、計算

3. 時間分解磁気カー効果を利用した磁化歳差運動の検出およびその制御

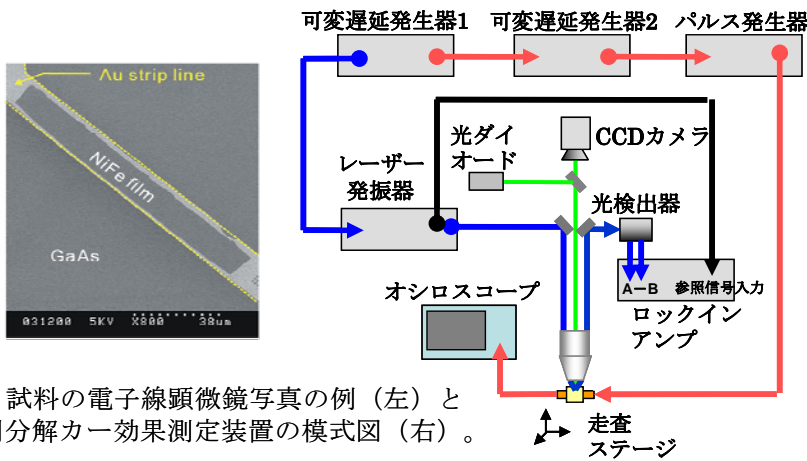


図3 試料の電子線顕微鏡写真の例（左）と時間分解カー効果測定装置の模式図（右）。

比較的高い空間分解能と時間分解能を兼ね備えた磁化ダイナミクス測定手法として時間分解カー効果が知られている。その中でも、ポンプ・プローブ法はよく利用されており、高パワーレーザー光を試料に照射することで熱的に消磁

し、その後の磁化過程を弱いパワーのプローブ光で測定する。しかし、ポンプ・プローブ法では、スピントロニクス素子評価の時に利用する電気的パルス等との同期が困難である。そこで、我々は、パルス発生機等との同期が可能である時間分解カー効果測定装置を構築した。その測定装置の模式図を図3に示す。可変遅延発生機1がレーザー発振器とパルス発生機を同期し、可変遅延発生機2が測定中の時間遅延をpsオーダーで制御している。図3に本測定で利用した試料のSEM像を示す。試料はパルス電流用ストリップライン上に作製した。図4に $20\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の長方形試料から得られた(a)磁化曲線、(b)磁化ダイナミクスを示す。明確なヒステリシス曲線が得られ、その磁化ダイナミクスも明瞭に観察されている。測定結果を高速フーリエ変換により、その時間成分を周波数分解し、得られた固有振

動数の外部磁場依存性を図 4(b)に示す。得られた固有周波数を Kittel の式¹によりフィッティングしたものを実線で示している。通常の NiFe の値と形状異方性磁界 80 Oe を代入することで、実験結果を再現できる。このため、ここで得られた試料は表面形状等に問題がなく、均一モードの磁化の歳差運動が実現できているものと考えられる。さらに、本時間分解カー効果測定装置の特徴を生かし、印加パルス磁場の印加時間を制御することで、この磁化の歳差運動の制御を行った。固有振動数の逆数の印加時間をもつパルス磁場を印加すると、この磁化の歳差運動を抑制されることを明らかにした。

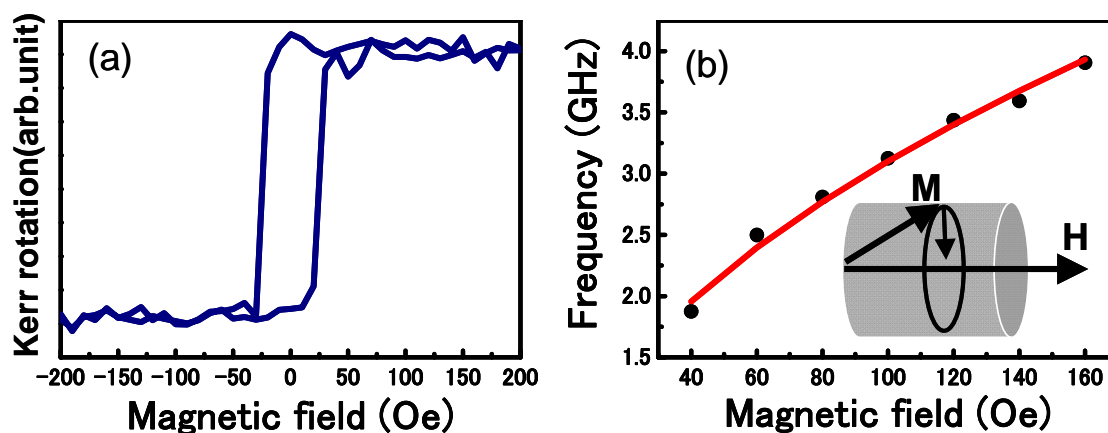


図4 (a)カー効果測定法により得られた磁化曲線。(b)時間分解カー効果測定法により得られた磁化歳差運動の固有振動数の磁場依存性。

4. まとめ

微細加工により微小磁性体を作製し、それら磁化のダイナミクスを異方性磁気抵抗効果および磁気光学効果を利用して検出した。本研究では比較的大きな試料を用いて測定を行ったが、原理的に更に小さな試料での測定も可能であり、ナノサイズ磁性体の磁化ダイナミクスの評価も可能なものと考えられる。また、このような磁化のダイナミクスは印加パルス磁場の形状を制御することで制御でき、様々なスピントロニクス素子の高速書き込みが可能であることを示している。

5. 論文・学会発表

1. 坂田 裕美, 木村 崇, 大谷 義近 (ポスター発表)
「電流磁気効果による単一微小磁性体の強磁性共鳴の検出」
日本物理学会第 63 回秋季大会, 岩手大学, 2008 年 9 月.
2. 坂田 裕美, 福間 康裕, 大谷 義近, Anjan Barman (ポスター発表)
「強磁性細線における磁化歳差運動のコヒーレント制御」
日本物理学会第 64 回秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月.
3. J. Appl. Phys. 106, 043906-1~5 (2009), “Coherent suppression of picosecond magnetization precession in the presence of spin waves in a Ni₈₁Fe₁₉ microstripe.”, A. Barman, H. Sakata, T. Kimura, Y. Otani & Y. Fukuma.
他ポスター発表 1 件, 口頭発表 1 件

¹ C. Kittel, Phys. Rev. **73**, 155 (1948); **76**, 743 (1949).