

スピントランスファー効果による強磁性円盤中の磁気渦の運動

物質系専攻 56105 石田 俊樹
指導教員：大谷 義近（教授）

キーワード：磁性、スピン、ナノスケール、電気伝導、高周波測定

近年、スピン注入磁化反転や強磁性細線における磁壁の電流駆動など、伝導電子スピンと局在スピンの間に働くスピントランスファー効果に関する興味深い現象が観測されている[1]。一方、強磁性体はマイクロサイズにまで微小化すると、表面磁荷による反磁場の寄与が支配的となるため、形状による磁区構造の制御が可能となる。マイクロサイズの強磁性体円盤では Fig. 1(a)のように磁化分布が円盤中心に対し旋回する磁気渦構造が安定な磁気構造として出現する。磁気渦構造の中心では、交換エネルギーの増大を防ぐために、吹き出し磁化と呼ばれる垂直磁化成分が現れる。先述のスピントランスファー効果は磁化の空間変化に比例することが知られており、吹き出し磁化近傍では高効率な効果が期待される。我々は磁気渦構造におけるスピントランスファー効果を、電気伝導測定から詳細に調べた。

Fig. 1(b)に、測定で用いた試料の電子顕微鏡写真を示す。試料は直径 $2\ \mu\text{m}$ のパーマロイ(Py)強磁性円盤であり、電気伝導測定および直流電流掃引のための非磁性端子を円盤に取り付けてある。これにより、電流方向に対し縦方向に生じるプレーナーホール抵抗 R_{PHE} の観測が可能となり、強磁性円盤の磁化過程を高精度で調べることが出来る。Fig. 2(a)に、電流方向から45度に傾けた外部磁場を印加した場合の R_{PHE} の変化を示す。また、差分法によるポアソン方程式による電流分布計算と、マイクロマグネティクスによる磁気渦構造の計算結果を組み合わせることにより、再現できることを確認した(Fig. 2(b))。

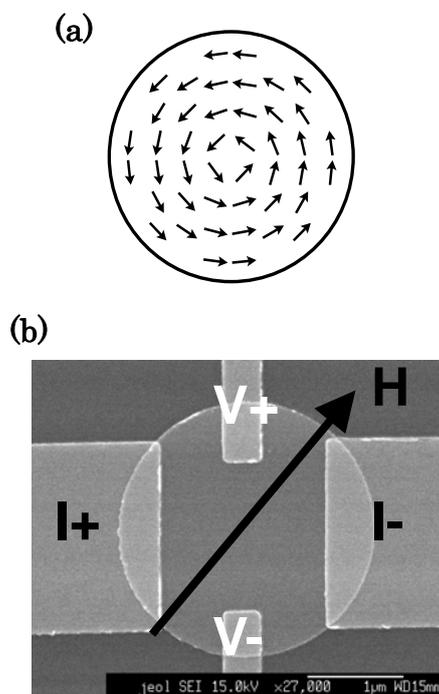


Fig. 1(a) 磁気渦構造の概略図(b) 作製試料の SEM 像

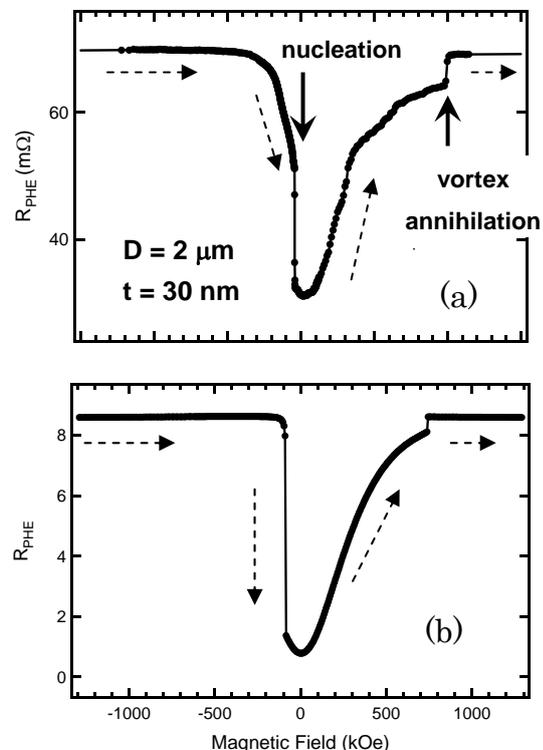


Fig. 2(a) 外部磁場による R_{PHE} 変化の測定
(b)数値計算を用いた R_{PHE} 変化

磁気渦構造では、スピントランスファー効果により、磁気渦が吹き出し磁化の方向と直流電流方向に対してローレンツ型の力を受け、その大きさは電流密度に比例することが理論的に指摘されている(Fig. 3(a))[2]。そこで、電流端子に直流電流を重畳し、 R_{PHE} 測定を行った。この測定では、ジュール加熱による抵抗の増加の影響をフィッティングし取り除くことで、直流電流を重畳した場合でも高感度な磁化過程の検出が可能である。Fig 3(b) は、直流電流を変化させた場合の R_{PHE} の変化である。ジュール加熱による抵抗増大の効果を取り除けば、電流に比例した R_{PHE} の変化が明瞭に求められる。

この直流電流に比例する抵抗変化から、磁気渦の移動量 δ を算出すると、電流 I との比例関係 $\delta = a \times I$ で表せることがわかった。この結果は、前述の理論を用いて、定量的に説明できることを確認した[3]。また、磁気渦の吹き出し磁化の方向を制御した場合の実験も行い、理論的予言どおりに渦の移動方向は磁化方向の反転により逆転することも確認した。

次に、渦消失寸前の固定磁場を印加し、スピントランスファー効果による磁気渦構造の影響を測定した結果をFig. 4に示す。 $I = -8.6$ (mA)において、電流の掃引方向に対し不加逆な R_{PHE} の増加が観測された。増加値は渦消失のものと一致するため、この R_{PHE} は電流誘起による渦消失に対応していることがわかる。また、直流電流の掃引方向を逆にした測定を行い、その方向依存性も明らかにした。

さらに、Fig. 4 には、電流誘起による渦の消失寸前にピーク構造が観測されている。この抵抗変化は、単磁区構造の磁性体において観測されるスピントランスファー効果により励起されたスピン波励起に類似しているため、スピントランスファー効果により励起されたスピン波の一種と考えられる。

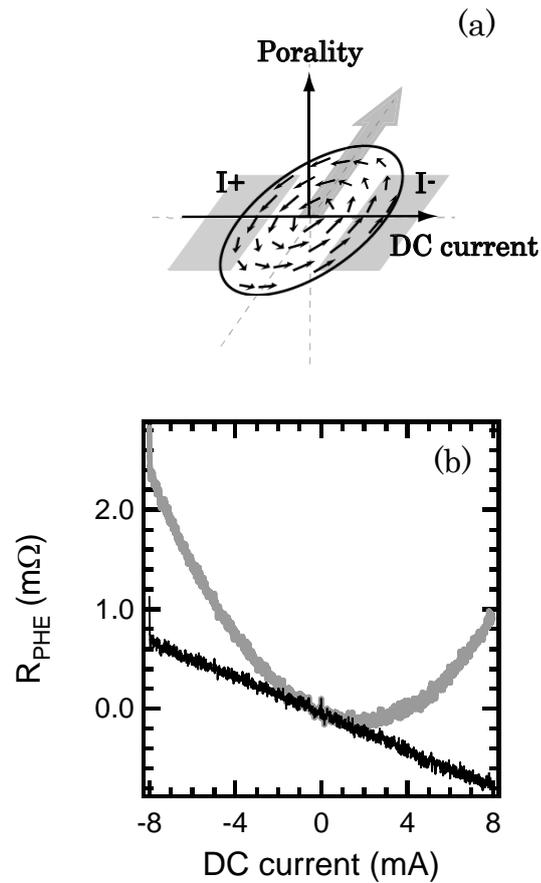


Fig. 3(a) 磁気渦構造に作用するスピントランスファー効果 (b) 直流電流掃引による R_{PHE} の変化。薄線は測定結果、黒線は電流に比例した成分を示している。

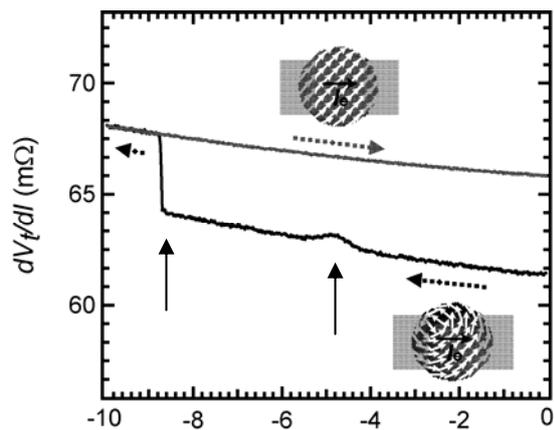


Fig. 4 渦消失寸前の固定磁場印加下の、直流電流掃引による R_{PHE} の変化

このスピン波励起をより詳細に調べるため、我々はネットワークアナライザー等を用いた高周波測定を行っている。磁気渦構造では、外部磁場により渦が円盤中心から移動した後、磁場を取り去ることにより渦は有効質量を持つ粒子とみなされ、進行方向に垂直に加わるジャイロ力により螺旋運動中心へと緩和していく。しかしながら、ある特定の周波数をもつ交流磁場などを印加すれば、ジャイロ力はキャンセルされ、磁気渦が円盤中心を旋回し続ける共振状態になる[3]。

そこで、我々はコプラナーライン上にある強磁性円盤(半径 2, 3 μm 、厚さ 40 nm)に交流磁場をもった信号を流し、コプラナーラインのインピーダンスの周波数特性をネットワークアナライザーを用いて測定することで、渦の共振周波数を調べた。その結果を Fig. 5(b)に示す。それぞれの円盤において、200 MHz 付近で磁気渦の共振によるものと考えられるインピーダンスの変化を観測した。これらの周波数は、理論的に予想される磁気渦の共振周波数と定量的に一致することが確認された。

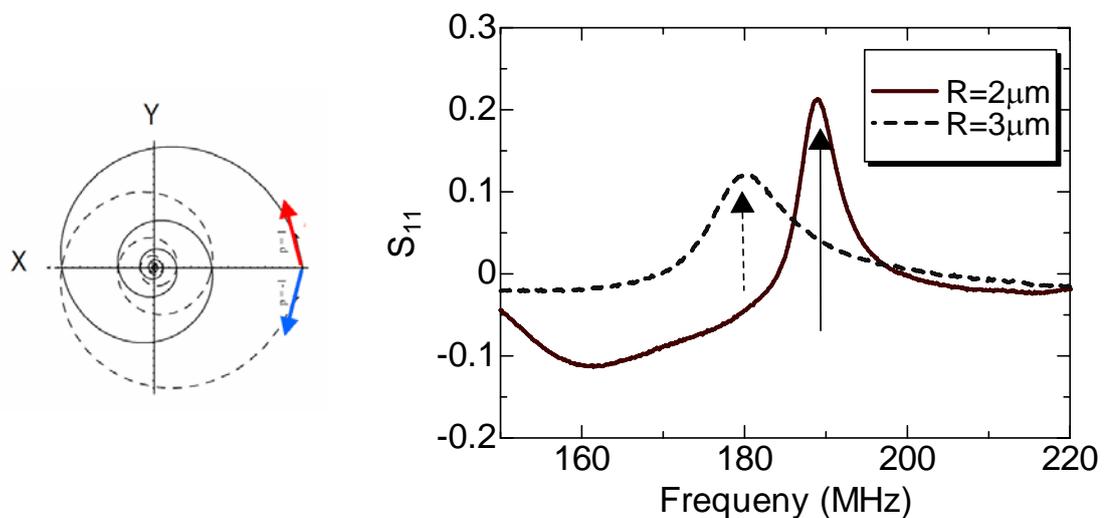


Fig. 5(a)磁気渦構造の共振現象 (b)磁気渦構造における反射強度測定による高周波特性

- [1] A. Yamaguchi et al., Phys. Rev. Lett. **92**, 077205 (2004).
- [2] J. Shibata et al., Phys. Rev. B. **73**, 020403 (2006)
- [3] T. Ishida et al., Phys. Rev. B **74**, 014424 (2006)
- [4] K. Y. Guslienko et al. J. Appl. Phys. **91**, 10 (2006)