L-54

磁性薄膜におけるスピン波の伝搬速度の基礎検討 A Fundamental Study of the Propagation Speed of the Spin Wave in Magnetic Films

○田中和幸¹, 大貫進一郎² *Kazuyuki Tanaka¹, Shinichiro Ohnuki²

Abstract: Energy saving devices using spin waves has attracted in recent years, since it does not generate the joule heat. In this paper, we investigate propagation of the spin wave in magnetic films.

1. はじめに

近年,電流に代わってスピン波を用いた,ジュール 熱による散逸のない省エネルギースピンデバイスが注 目を集めている.本報告では,磁性薄膜におけるスピ ン波を LLG (Landau Lifshitz Gillbert) 方程式を用いた, マイクロマグネティクスシミュレーションにより解析 を行う.そして,伝搬速度と媒質形状の関係について 報告する.

2. 解析手法

媒質内のスピン波解析は、次式に示す LLG 方程式を 用いる.

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -\frac{\gamma}{1+\alpha^2} \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff} - \frac{\gamma\alpha}{(1+\alpha^2)M_s} \mathbf{M} \times (\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff})$$
(1)

M は磁化ベクトル, M_s は飽和磁化, γ は磁気回転比, α は損失定数, H_{eff} は有効磁場である.また,式(1)中の有効磁場 H_{eff} は次式で表す.

$$\mathbf{H}_{\text{eff}} = \mathbf{H} + \mathbf{H}_{\text{p}} + \mathbf{H}_{\text{ex}} \tag{2}$$

H は外部磁界, H_D は磁気双極子磁界 H_{ex} は等価交換 磁界である.また磁気双極子磁界,等価交換磁界は それぞれ,式(3),(4)式で与えられる.

$$\mathbf{H}_{\mathbf{D}} = -\frac{1}{4\pi\mu_0 r^3} \left[\mathbf{M} - \frac{3}{r^2} (\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}) \mathbf{r} \right]$$
(3)

$$\mathbf{H}_{\mathbf{ex}} = \frac{2A}{M_{s}^{2}} \nabla^{2} \mathbf{M}$$
(4)

rはスピン各間距離, A は交換スティフネス定数, rは rの大きさである.式(1)の磁化ベクトル M を 2 次のル ンゲクッタ法を用いて解き,マイクロマグネティクス シミュレーションによるスピン波の伝搬解析を行う.

1:日大理工・学部・電気 2:日大理工・教員・電気



Fig.1 Computational geometry of the magnetic film



Fig.2 Velocity of the spin wave

3. 解析結果

解析モデルを Fig.1 に示す. x-y 平面にスピンによる 磁気モーメントを配列し, 隣り合った各モーメント間 の距離を 5 nm とする.全体に 2×10^5 A/m の直流磁界 を印加し,各磁気モーメントの初期磁化は全て+z 方向 とする.波源は x-y 平面に対して周波数 f =10 GHz の回 転磁界とし,大きさは 1×10^4 A/m である.解析モデル の左端に位置する磁気モーメントの座標をy=0 nm と し、これらに回転磁界を印加する.このとき+y方向に スピン波が伝搬する.磁性薄膜は NiFe 薄膜を想定し、 設定値は Ms = 1.0 T、 $y = 1.58 \times 10^6$ Hz m/A、 $\alpha = 0.006$ 、 $A = 1.3 \times 10^{-11}$ J/m とした.

Fig.2 に NiFe 薄膜における,スピン波伝搬速度分布 を示す. 媒質は x 方向及び z 方向に 5 nm, y 方向に 300 nm の長さを想定した.スピン波の伝搬速度 v は, 媒質 の左端から数えて, i 番目に位置する磁気モーメントが θ 方向に 10⁶ deg 傾いた時刻を t_i としたとき,次式によ り定義する.

$$v = \frac{d}{t_i - t_{i-1}} \tag{5}$$

Fig.2 より,波源に近い座標では速度が大きく,媒質の 右端付近では減速している. また,y = 100 nmから 250 nm の範囲でおよそ $5.4 \times 10^4 \text{ m/s}$ となっている.

次に伝搬速度の傾き角度 θ 依存性を検討するため Fig.3 に傾き角度に対する伝搬速度の特性を示す. 観測 点は y = 100 nm 地点とした. Fig.3 より, 傾き角度を小 さくしていくと, 伝搬速度の値が収束し, $\theta < 10^{-5}$ deg でほぼ一定となる.

次に、スピン波の NiFe 薄膜の x 方向の幅に対する伝 搬速度の特性について述べる. Fig.4 はx 方向の幅を変 化させたときの伝搬速度の特性である. 媒質の形状は y 方向は 300 nm, z 方向は 5 nm, x 方向は 5 nm から 10 nm ステップで 135 nm まで幅を変化させた. 伝搬速度 は y = 100 nm 地点の磁気モーメントを i 番目に位置し ていると考え、式(5)を用いて算出する. Fig.4 より x 方 向の幅を増加させるに従って伝搬速度も比例的に増加 することがわかる. これらの特性は媒質の形状異方性 に関係すると考えられる. 今後、x 方向に幅をさらに 増加させ、より詳細な検討を行う必要がある.

4. まとめ

LLG 方程式を用いた、マイクロマグネティクスシミ ュレーションにより、スピン波の伝搬解析を行った. そして、NiFe 薄膜における伝搬速度分布を解析し、媒 質の幅とスピン波の伝搬速度の関係を報告した.



Fig.3 θ properties of the velocity of spin wave



Fig.4 Width properties of the velocity of spin wave

5. 謝辞

本研究の一部は、私立大学戦略的研究基盤形成支援 事業の援助を受けて行われた.

6. 参考文献

[1]太田恵三, 共立出版株式会社, 磁気工学の基礎 I - 磁気の物理-, 1973.

[2]井上順一郎,日本磁気学会,スピントロニクス基礎 編,2010.

[3]田中和幸,大貫進一郎,:"省エネルギーデバイスの
設計に向けたスピン波の伝搬解析",電気学会 2015 第
6回学生研究発表会, 8-2, 2015.