

スピントイスト構造のスピン波共鳴特性制御

牙曉瑞, 田中輝光, 松山公秀
(九州大学大学院システム情報科学府)

1 はじめに

近年, hard / soft 交換結合膜の exchange spring 効果を利用したマイクロ磁気デバイスの動作の高周波化に関する報告がなされている[1]. 本研究では, 磁気異方性の小さい中間層を垂直磁化膜でサンドイッチした交換結合複合膜に形成されるスピントイスト構造に着目し, そのスピン波動特性について計算機シミュレーションを行った. 交換結合構造を利用することで中間層のスピン波共鳴周波数を高周波化し, さらにその周波数を広い範囲で制御できる膜構造および磁気特性について検討した.

2 計算方法

3層構造の磁性細線 (垂直磁化層/中間層/垂直磁化層) を想定した計算モデルを Fig. 1 に示す. 上部にスピン波励起用導体を2本(Generator 1, 2), その導体間にスピン波検出コイル(Detection area)を配置している. 本研究では磁性細線を構成する各磁性層の磁気特性および膜厚を変えて, 定在スピン波(SSW)の共鳴周波数および誘導出力電圧を LLG 方程式の数値計算により求めた. 垂直層および中間層の飽和磁化は共に $M_s = 1000$ emu/cc とし, 垂直層の垂直磁気異方性磁界 $H_k = 20 \sim 30$ kOe とした. 上下の垂直層の磁化を反平行に設定し, 中間層近傍に形成されるスピントイスト構造のスピン共鳴特性についてマイクロマグネティクスシミュレーションを行った.

3 計算結果

2本の導体線に逆位相($\Delta\phi = \pi$)のマイクロ波交流電流を印加した場合, 電流磁界分布を反映して2次モードの定在スピン波が最低次の共鳴モードとなる. 2次モード共鳴周波数 f_{res} の垂直異方性磁界 H_k に対する依存性を Fig. 2 に示す. 垂直層の異方性磁界は, 上下層共に変化させた場合と下層のみを変化させた場合の二つ場合について比較した. 上層及び下層の異方性磁界($H_{k,t}$, $H_{k,b}$)を共に増大させた場合, 垂直層との交換結合を介して誘起される中間層の交換等価磁界が大きくなり f_{res} が高くなる. 一方 $H_{k,t}$ を 20 kOe に固定し, $H_{k,b}$ のみを変化させた場合, 中間層の実効的な交換等価磁界の変化は小さく, 共鳴周波数はほとんど変化しない.

Fig. 3 (a), (b) は2次モード共鳴周波数 f_{res} の上下垂直層の異方性磁界に対する依存性を垂直層厚および中間層厚をパラメータとして示している. Fig. 3 (a) は上下垂直層の膜厚を 12 nm に固定し, 中間層厚を変化させた場合を示す. 中間層厚が薄いほど f_{res} の変化範囲は広がる. これは中間層厚が交換長よりも薄い場合には中間層全体に交換等価磁界が効率的に作用し, 垂直層による異方性磁界増大の効果が顕著に現れた結果であると推測される. Fig. 3 (b) は中間層厚を 2 nm に固定し, 上下垂直層厚を変化させた場合を示している. 同図から 8nm 以下の領域では垂直層厚が厚くなるに従って f_{res} の増大範囲が広がるが, 10 nm 程度以上では膜厚増大による周波数変化の効果は殆ど認められない.

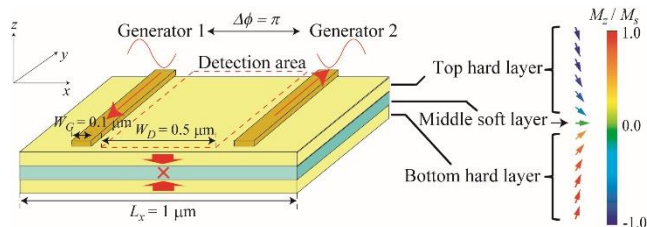


Fig. 1. Schematic of designed exchange-coupled trilayer strips consists of magnetic strip with perp./mid/perp. layers, SW generators and detector, and corresponding magnetization configuration.

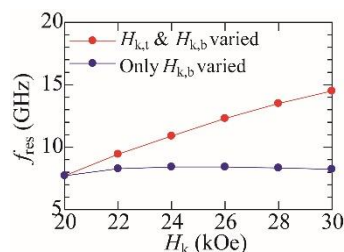


Fig. 2. The dependence of the resonance frequency f_{res} on the perp. layer H_k in the case when H_k for both the hard layers variable and only bottom perp. layer variable.

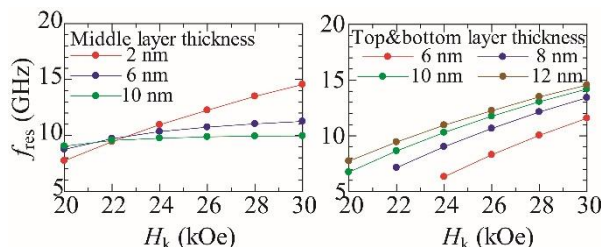


Fig. 3. The dependence of the resonance frequency f_{res} on the perp. layer H_k as a parameter of (a) mid. layer thickness and (b) perp. layer thicknesses.

これは垂直層において, 磁壁幅と同程度以上中間層から離れた領域は, exchange spring 効果を介した中間層のスピン波共鳴周波数増大への寄与が少ないためと考えられる.

4 まとめ

本研究では交換結合膜細線構造におけるスピントイスト構造の SSWR を計算機シミュレーションで数値的に解析した. 単純な soft/hard 層構造により, スピントイスト構造を利用することで中間層のスピン波共鳴周波数をさらに高周波化できることを示した. さらに, より効率的に交換バイアス効果による高周波化を達成するには, 垂直層膜厚は交換長より厚く, 中間層は交換長よりも薄くすることが肝要であることを示した.

参考文献

- [1] X. Ya, et al, *IEEE Trans. Magn.*, **51** (2015)