

## 交換結合複合膜におけるスピントイスト構造の定在スピン波共鳴特性

牙暁瑞, 大藪周平, 田中輝光, 松山公秀  
(九州大学 大学院システム情報科学府)

Standing spin wave resonant properties of spin-twist structure in exchange coupled composite films

X. Ya, S. Oyabu, T. Tanaka, and K. Matsuyama  
(ISEE, Kyushu University)

### 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高周波化に関する報告がなされている<sup>1)</sup>. 本研究では, 磁気異方性の小さい中間層の両側に垂直磁化層を配した交換結合複合膜中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. 交換結合させた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.

### 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  $M_s = 1000 \text{ emu/cc}$  とし, 垂直層の垂直磁気異方性磁界  $H_k = 20 \sim 30 \text{ kOe}$  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.

### 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  $f_{\text{res}}$  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  $f_{\text{res}}$  が高くなる. 一方  $H_{k,t}$  を  $20 \text{ kOe}$  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  $f_{\text{res}}$  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  $12 \text{ nm}$  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  $f_{\text{res}}$  の変化範囲は広くなる. 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  $2 \text{ nm}$  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  $8 \text{ nm}$  以下の領域では垂直層厚が厚くなるに従って  $f_{\text{res}}$  の増大範囲が広くなるが,  $10 \text{ nm}$  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. 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.

### 参考文献

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

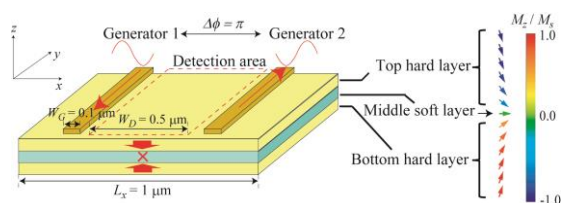


Fig. 1. Schematic of designed exchange-coupled trilayer strips consists of magnetic strip with perp./mid/perp. layers, SW generators and detector, and corresponding magnetization configuration.

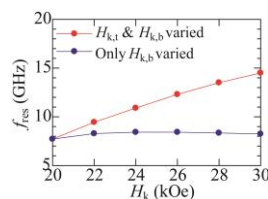


Fig. 2. The dependence of the resonance frequency  $f_{\text{res}}$  on the perp. layer  $H_k$  in the case when  $H_k$  for both the hard layers variable and only bottom perp. layer variable.

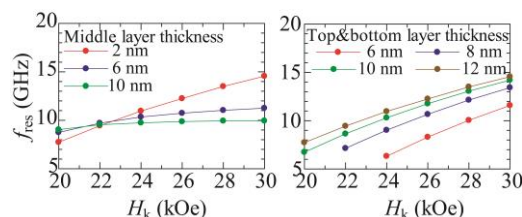


Fig. 3. The dependence of the resonance frequency  $f_{\text{res}}$  on the perp. layer  $H_k$  as a parameter of (a) mid. layer thickness and (b) perp. layer thicknesses.