

交換結合膜細線における定在スピン波励起の計算機シミュレーション

牙暁瑞, 今村謙汰, 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)

Numerical simulation on standing spin wave excitation in exchange-coupled multilayer strips

X. Ya, K. Imamura, S. Oyabu, T. Tanaka, and K. Matsuyama

(Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, 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¹⁾. 本研究では, 交換結合膜の層構造を変化させることにより, スピン波共鳴周波数が任意に設定できることをマイクロマグネティックシミュレーションによって示した. さらに, 数十 GHz の動作周波数域での信号処理機能への応用可能性についてシミュレーションにより検証した.

計算方法

2層構造の垂直磁化細線(上: soft 層, 下: hard 層)を想定したスピン波デバイスの計算モデルを Fig. 1 に示す. 磁性細線を構成する各磁性層の膜厚比および総膜厚を変えて, 定在スピン波(SSW)の共鳴周波数および出力電圧を LLG 方程式の数値計算により求めた. 2本の導体線(Generator 1, 2)によりスピン波を励起し, 中央に配置した誘導検出コイル(Detection area)により干渉波を検出する.

soft 層と hard 層の材料パラメータは, 飽和磁化 $M_s = 1000$ emu/cc (soft, hard), 垂直一軸異方性 $H_k = 13$ kOe (soft), 20 kOe (hard), soft-hard 層間の交換定数は $A = 1.0$ $\mu\text{erg/cm}$ とした.

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, 電流磁界の磁性細線幅方向の分布から, 定在スピン波の2次モード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 hard 層厚/総膜厚比(t_h / t_t)に対する依存性を Fig. 2 (a) に示す. 総膜厚は 15 nm から 35 nm まで変えている. t_h / t_t が増大するとともに, 細線の実効的な垂直磁気異方性が大きくなり f_{res} が高くなる. 総膜厚が薄いほど f_{res} は線形的に増大するが, 膜厚が厚い場合の増加傾向は非線形となるのが分かる. これは膜厚が交換長より厚くなると, 層間の交換結合を介した実効的な磁気異方性強度の増大効果が膜厚方向全体に及ばなくためと考えられる. 出力電圧 V_{out} と t_h / t_t との関係性を Fig. 2 (b) に示す. t_h / t_t が増加すると, V_{out} は低下する. これは実効的な異方性が大きくなることスピン波励起振幅が小さくなるためである.

Fig. 3 (a), (b) は $t_t = 15$ nm, $t_h / t_t = 0.2, 0.8$ の各場合について, 入力電流位相差 $\Delta\phi = 0, \pi$ に対する出力電圧の励起周波数依存性を示している. 励起周波数を2次モード共鳴周波数(5.2 GHz ($t_h / t_t = 0.2$), 16.5 GHz ($t_h / t_t = 0.8$))に設定することにより, いずれの層構成においても, 位相差に依存した 40 dB 以上の出力電圧比が得られている.

参考文献

1) S. Pal, *et al.*, *J. Appl. Phys.* **115**, 17D105 (2014)

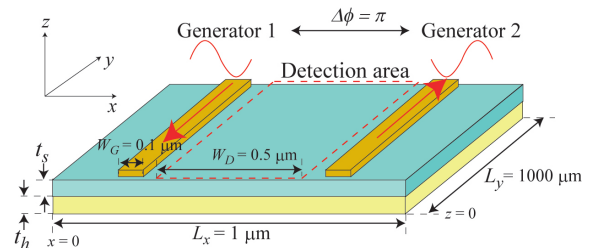


Fig. 1. Schematic of designed exchange-coupled bilayer strips, consisted of SW guide consists of magnetic strip with soft layer and hard layer, inductively coupled SW generators (width: W_G) and detector (width: W_D).

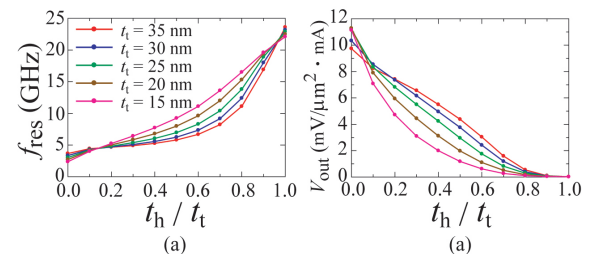


Fig. 2. The dependence of the resonance frequency f_{res} (a) and voltage value V_{out} (b) on the layer thickness ratio t_h / t_t .

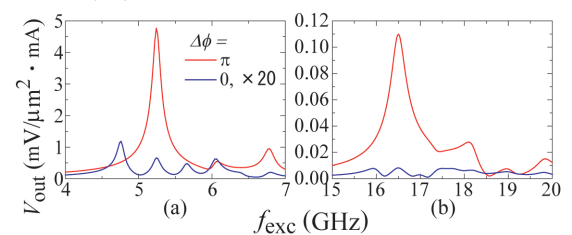


Fig. 3. The inductive output voltage comparing phase differences between two generators are 0 and π , when $t_h / t_t = 0.2$ (a) and $t_h / t_t = 0.8$ (b).