

垂直磁化細線における電圧励起スピン波の共鳴特性

牙暁瑞, 福園舞桜, 秋光果奈, 田中輝光, 松山公秀
(九州大学 大学院システム情報科学府)

Voltage-induced SW resonance properties in perpendicular nanowires

X. Ya, M. Fukuzono, R. Akimitsu, T. Tanaka, and K. Matsuyama
(ISEE, Kyushu University)

はじめに

近年, CoFeB 等の強磁性超薄膜に高周波電圧を印加し, 磁性薄膜の界面磁気異方性を変調することでスピン波を励起する研究報告がなされている^{1,2)}. 電圧による異方性制御 (VCMA) では, ナノサイズの局所領域におけるスピン波の励起が可能であり, 低消費電力でスピン波デバイスの小型化にも適している. 本研究では, 垂直磁気異方性を有するナノワイヤを対象とし, VCMA によるスピン波の局所励起と, そのスピン波共鳴特性について数値解析を行った. また, ナノワイヤのサイズ効果や, 異方性磁界の変調振幅とスピン波の励起強度との関係について調べた.

計算方法

CoFeB/MgO 界面における垂直磁気異方性と, 電圧印加による異方性変調を想定し, マイクロマグネティクスシミュレーションを行った. 材料定数と素子構造は以下のように設定した: 飽和磁化 $M_s = 1600 \text{ emu/cm}^3$, 垂直磁気異方性 $K_u = 1.58 \times 10^4 \text{ erg/cm}^3$, ダンピング定数 $\alpha = 0.01$, ワイヤ長 $L_x = 400 \text{ nm}$, 幅 $L_y = 20 \text{ nm}$, 膜厚 $t = 0.8 \text{ nm}$. ナノワイヤの中央に VCMA 制御用として幅 $L_g = 20 \text{ nm}$ のゲート導体を仮定し, 導体下部における磁気異方性磁界の正弦波状変調により ($H_k = 2 K_u / M_s + \Delta H_k \sin(2\pi f_{\text{exc}} t)$), ワイヤ長軸方向に伝播するスピン波を励起した.

計算結果

Fig. 1(a) に歳差運動振幅の励起周波数 (f_{exc}) 依存性を示す. バイアス磁界 (H_b) を印加しない場合, $f_{\text{exc}} = 4.26 \text{ GHz}$ で歳差振幅が最大となる. このときのスピン波の様態は, 細線長軸方向の端部を節とする 1 次モード定在波であった. また, 歳差運動周波数は励起周波数の 1/2 (=2.13 GHz) であり, パラメトリック励起となっている. $H_b = 200 \text{ Oe}$ をワイヤ長軸方向に印加した場合には, $f_{\text{exc}} = 2.09 \text{ GHz}$, 2.60 GHz, 3.4 GHz の各周波数では, 励起周波数と歳差運動周波数は一致しており (線形励起), 各々 1 次, 3 次, 5 次の定在スピン波共鳴が確認された. 一方, $f_{\text{exc}} = 4.17 \text{ GHz}$ ではパラメトリック励起が生じており, 歳差運動周波数は 2.09 GHz であった.

Fig. 2 は, 磁気異方性磁界の変調振幅 (ΔH_k) と共鳴時の歳差運動振幅との関係を示す. 線形励起 ($H_b = 200 \text{ Oe}$ @ $f = 2.09 \text{ GHz}$) においては, ΔH_k の増加に伴い, 歳差振幅が連続的に増大するが, パラメトリック励起の場合 ($H_b = 0 \text{ Oe}$ @ $f = 4.26 \text{ GHz}$, $H_b = 200 \text{ Oe}$ @ 4.17 GHz) には, ΔH_k が閾値を超えると, 磁化振幅が急激に増大することが分かる.

Fig. 3 にスピン波共鳴特性の L_x 依存性を示す. L_x の縮小に従い, 分散関係を反映した共鳴周波数の上昇と, 励起領域の狭小化による歳差振幅の増大がみてとれる.

参考文献

- [1] Yoichi Shiota, Takayuki Nozaki, Frédéric Bonell, Shinichi Murakami, Teruya Shinjo and Yoshishige Suzuki, *Nat. Mater.*, **11**, 39-43 (2011).
- [2] Roman Verba, Vasil Tiberkevich, Ilya Krivorotov, and Andrei Slavin, *Phys. Rev. Applied*, **1**, 044006 (2014)

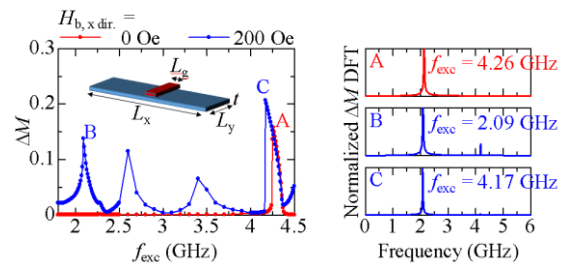


Fig. 1. (a) VCMA resonance property when $H_b = 0 \text{ Oe}$ and 200 Oe . (b) The resonance spectra of the micromagnetically calculated magnetization precession under the gate region.

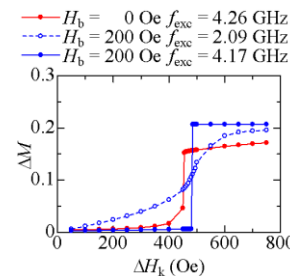


Fig. 2. The dependence of the precession amplitude on the excitation amplitude.

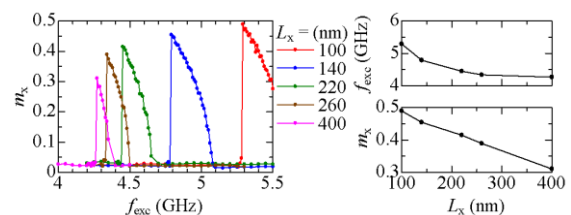


Fig. 3. The resonance properties of nanowires with various wire length L_x .