

Co₂(Fe,Mn)Si 合金を用いた高出力スピントルク発振素子

関剛斎、桜庭裕弥[†]、荒井礼子^{*}、今村裕志^{*}、高梨弘毅
(東北大金研、^{*}産総研ナノスピントロニクス、[†]現: 物材機構)

High power spin torque oscillator using a Co₂(Fe,Mn)Si alloy

T. Seki, Y. Sakuraba[†], H. Arai^{*}, H. Imamura^{*} and K. Takanashi
(IMR, Tohoku Univ., ^{*}AIST, [†]Present affiliation: NIMS)

はじめに

ナノサイズの巨大磁気抵抗(GMR)素子あるいは磁気トンネル接合(MTJ)素子では、直流電流(I_{dc})と外部磁場(H)を調整することでスピントルクとダンピングトルクが拮抗した状態を実現でき、磁化が定常的な歳差運動を示す。この現象はスピントルク発振と呼ばれ、歳差運動に起因して素子抵抗が時間的に振動するため、素子端に高周波電圧(V_H)が発生する。スピントルク発振素子は、ナノ素子単体で構成され、発振周波数が磁場や電流によって可変であるという特徴から、チップ間通信用素子、レーダー、あるいは小型マイクロ波発生源などへの応用が検討されている。しかしながら、応用に向けて解決すべき課題があり、発振出力の増大と発振純度(Q 値)の向上が重要な課題である。発振出力は磁気抵抗(MR)比の 2 乗に比例するため、大きな MR 比が得られる MTJ 素子をベースとしたスピントルク発振素子が研究開発の主流となっている[1]。しかしながら、MTJ 素子は高電圧印加によるトンネルバリアにおける絶縁破壊が懸念され、加えて GMR 素子と比較して Q 値の向上が難しい。

そこで、我々は GMR 素子をベースとしたスピントルク発振素子において、発振出力の向上などの特性改善を試みてきた。ホイスラー合金の一部は 100%のスピン分極率が理論予測されるハーフメタルと呼ばれる物質群であり、大きな GMR 効果を期待できる。これまでに、Co₂MnSi (CMS)ホイスラー合金を GMR 素子の強磁性層に用いることにより、室温で 36.4%の MR 比を報告し[2]、GMR 素子においても高い発振出力を得ることに成功した[3,4]。本研究では、出力の更なる増大を目指し、CMS よりも大きな GMR 効果を示す Co₂Fe_{0.4}Mn_{0.6}Si (CFMS)ホイスラー合金[5]を用いて、様々な外部磁場方位においてスピントルク発振特性を系統的に評価した。

実験

超高真空対応マグネトロンスパッタ装置を用いて、MgO(100)単結晶基板上に薄膜試料を作製した。薄膜の積層構造は、MgO 基板 || Cr (20 nm) | Ag (40 nm) | CFMS (20 nm) | Ag (5 nm) | CFMS (3 nm) | Ag (2 nm) | Au (5 nm)であり、CFMS 層は室温で成膜後 500 °C でアニールすることにより L₂₁ 構造への規則化を促進した。作製した薄膜を、100 nm × 170 nm サイズのピラーへと微細加工した。2 端子法により MR 曲線を測定したところ、30 %の MR 比が得られた。さらに、電極抵抗などの寄生抵抗を差し引くと、MR 比は 48%となった。

図 1 に $I_{dc} = 3$ mA を印加した時の高周波スペクトルを示す。 $H = 3$ kOe を素子の面垂直方向に印加した場合、9.5 GHz に線幅の狭い発振ピークが観測された。面内磁場における測定結果と比較すると、発振出力および Q 値を向上の観点から、垂直磁場が有効であることが確認された。さらに測定条件の最適化により、出力が 23.7 nW、Q 値が 1124 の発振が観測された。講演時にはマイクロマグネティクスの計算結果をもとに、励起されている発振モードについても議論する。

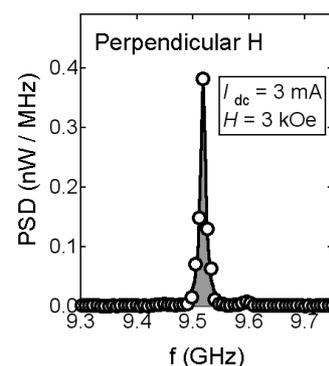


Fig. 1 Power spectral density (PSD) for the device with the GMR stack of CFMS / Ag / CFMS.

本研究の一部は、「先端スピントロニクス材料と伝導現象(ASPIMATT)」の支援を受けて遂行された。また、植田正輝氏、大倉遼氏にはサンプル作製および測定に関してご協力頂いた。

参考文献

- [1] H. Maehara *et al.*, *Appl. Phys. Exp.*, **6**, 113005 (2013). [2] Y. Sakuraba *et al.*, *Phys. Rev. B*, **82**, 094444 (2010). [3] R. Okura *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **99**, 052510 (2011). [4] T. Seki *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **113**, 033907 (2013). [5] Y. Sakuraba *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **101**, 252408 (2012).