

垂直磁場下的人工フェリ磁性体フリー層 スピントルク発振素子の高出力発振

High-Power Spin-Torque Oscillator with Free Layer of Synthetic Ferrimagnet under a Perpendicular Magnetic Field

○永澤 鶴美、首藤 浩文、金尾 太郎、山岸 道長、
水島 公一（東芝研究開発センター）

○Tazumi Nagasawa, Hirofumi Suto, Taro Kanao, Michinaga Yamagishi, and
Koichi Mizushima (Corporate R&D Center, Toshiba Corporation)

E-mail: tazumi.nagasawa@toshiba.co.jp

はじめに 近年、スピントルク発振素子 (STO) アレイの同期現象を利用した連想記憶用演算器が提案されている。[1-3] STO を電氣的に結合して同期発振を実現するためには、高出力かつ周波数安定な STO が望まれる。これまでに、垂直磁化膜をフリー層に、面内磁化膜を固定層に用いた STO において、垂直磁場印加下でフリー層を面外発振させることで、 $2.5 \mu\text{W}$ を超える高出力発振が得られることが報告されている。[4] 我々は、更なる高出力化を目的に、フリー層に2枚の面内磁化膜を反強磁性結合した人工フェリ磁性体(SyF)を用いた。これにより、垂直磁場印加に対してフリー層の磁化が面内から立ち上がりやすく、より大きなコーン角で面外発振し、且つ空間的に均一に発振することで高出力が期待できる。

実験方法 FIG. 1(a)に示すような上部電極 / Ta / SyF フリー層 / 絶縁層 MgO[x] / 固定層 / Ta / 下部電極からなる TMR 膜(MgO 膜厚 x は、CIPT 測定で $\text{RA} = 0.5 \Omega \cdot \mu\text{m}^2$ になるように調整)を用いたピラー構造 STO 素子 (抵抗 R_p : 62Ω /見掛けの MR 比: 63%) をサファイア基板に作製した。設計素子サイズは約 $70 \text{nm} \times 150 \text{nm}$ とした。垂直磁場 H_p を印加し、電流 I (フリー層から固定層の方向を正) を流して、STO からの高周波信号をスペクトラムアナライザーで測定した。

実験結果 FIG. 1(b)に、電流値 I を変えた時の抵抗 R-垂直磁場 H_p 曲線を示す。I = $10 \mu\text{A}$ では、磁場によらずほぼ抵抗が一定で平行配置となっている。I < -2 mA では、高磁場側で抵抗の上昇が確認でき、電流の絶対値が大きいくほど抵抗の立ち上がりは低磁場側にシフトする。

FIG. 2(a)に、I = -4.0 mA 流した時のパワースペクトル密度(PSD)の H_p 依存性を示す。 H_p が 5.6 kOe 以下の領域では、面内発振に対応する小さなピークが観測された。 H_p が 5.6 kOe 以上の領域では、フリー層の面外発振に対応する大きなピークが観測された。また、 $H_p = 7.5 \text{kOe}$ 付近で発振周波数の飛びが観測された。これは、ピン層との結合振動によるものと考えられる。FIG. 2(b)に、 $H_p = 5880 \text{Oe}$ 、I = -3.8 mA 印加時のパワースペクトルを示す。発振周波数 3.86 GHz、出力 $3.7 \mu\text{W}$ 、発振線幅 15 MHz (Q 値 = 250)と高出力で比較的周波数安定な発振が得られた。当日は、発振モードについても報告する。

参考文献 [1] M. R. Pufall et al., IEEE J. Explor. Solid-State Comput. Devices Circuits **1**, 76 (2015). [2] D. E. Nikonov et al., IEEE J. Explor. Solid-State Comput. Devices Circuits **1**, 85 (2015). [3] K. Kudo et al., Appl. Phys. Express **10**, 043001 (2017). [4] B. Wang et al., Appl. Phys. Lett. **108**, 253502 (2016).

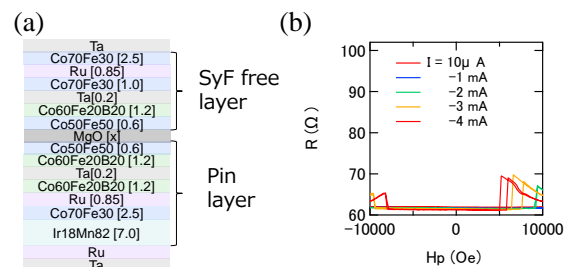


FIG. 1. (a) TMR film. All thicknesses are given in nm. (b) Resistance R-perpendicular magnetic field H_p curve for I = $10 \mu\text{A}$, -1 mA, -2 mA, -3 mA, and -4 mA.

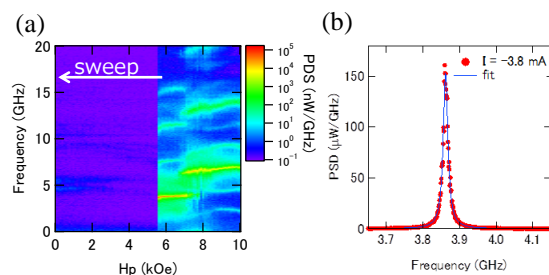


FIG. 2. (a) PSD as a function of H_p for I = -4.0 mA. (b) Power spectrum for I = -3.8 mA and $H_p = 5880 \text{Oe}$.