

変形自由層を有する磁気渦スピントルク発振器を用いた物理リザーバーの数値解析

Numerical analysis of physical reservoir by utilizing vortex spin torque oscillator with modified free layer

○堀住 耕太¹, 千葉 貴裕^{2,3}, 小峰 啓史¹ (1. 茨城大院, 2. 東北大工, 3. 東北大学際研)

○Kota Horizumi¹, Takahiro Chiba^{2,3}, and Takashi Komine¹

(1. Ibaraki Univ., 2. Tohoku Univ., 3. FRIS)

E-mail: 24nd253n@vc.ibaraki.ac.jp

スピントロニクスデバイスはリカレントニューラルネットワークを物理系で行う物理リザーバーを実現する候補として注目されている [1]. 物理リザーバーはダイナミクスが周期的になるパラメータ領域と非周期的 (カオス) になるパラメータ領域の境界付近 (カオスの縁) で学習性能が向上すると報告がある [2]. 通常の磁気渦スピントルク発振器 (VSTO) に直流電流と, 入力信号としてランダム磁場を加えた場合においてはカオスの縁で学習性能の向上は確認されなかった [3]. 一方, 我々は自由層に追加層を加えた変形自由層を有する VSTO において交流磁場印加に対して従来の VSTO では見られないカオスの縁が現れることを見出し [4], 学習性能の向上が期待される. 本研究では, 変形自由層を持つ VSTO において, カオスの縁で学習性能が向上するか数値計算により調べた.

図 1(a) のように変形自由層を持つ VSTO を直流電流により発振させ, 入力信号として図 1(b) のようなランダム磁場 $\mathbf{H} = (h_x r(t), 0, 0)$ を印加した. ここで h_x は入力信号の強さ, $r(t)$ は $[-1, 1]$ を値域とする一様乱数である. このとき, 磁気渦コアの運動は次の Thiele 方程式で記述される [3–5].

$$-\mathbf{G} \times \dot{\mathbf{X}} - D(s)\dot{\mathbf{X}} - \frac{\partial W}{\partial \mathbf{X}} + a_J J p_z \mathbf{e}_z \times \mathbf{X} + c a_J J R_0 p_x \mathbf{e}_x + c \mu^* \mathbf{e}_z \times \mathbf{H} = \mathbf{0}$$

ここで, \mathbf{X} は磁気渦コアの位置, $s = |\mathbf{X}|$ は原点からの距離, R_0 は磁気渦コアの半径, \mathbf{G} はジャイロベクトル, $D(s)$ は非線形効果を含むダンピング係数, $W(s)$ はポテンシャル関数, a_J はスピントルクの強さ, J は電流密度, $\mathbf{p} = (p_x, 0, p_z)$ は参照層の磁化ベクトルの向き, c は磁気渦のカイラリティ, μ^* は外部磁場の係数である. 自由層は半径 187.5 nm, 厚さ 5 nm, 追加層は半径 20 nm, 及び 40 nm, 厚さ 5/3 nm とした.

図 2 は追加層がない場合と追加層の半径が 20 nm, 40 nm の場合に直流電流 1 mA を印加し, 入力信号であるランダム磁場の大きさ h_x を 0–16 Oe まで変え, リャプノフ指数をプロットしたものである. リャプノフ指数はその符号がカオスの場合に正, カオスでない場合に負になる指数である. 図 2 より, 追加層がある場合のみリャプノフ指数が正の領域が存在し, カオスの縁が確認できる. さらに, 低磁場領域でリャプノフ指数が正になることが分かる. 講演では, 変形自由層を持つ VSTO の学習性能と入力信号との関係についても論じる.

【謝辞】本研究の一部は, 科学研究費補助金 (基盤研究 (S), 基盤研究 (B), 若手研究) の支援により行なわれました. ここに深謝致します.

[1] S. Tsunegi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **114**, 164101, (2019).

[2] J. Boedecker, *et al.*, *Theory Biosci.*, **131**, 205, (2012).

[3] Y. Imai, *et al.*, *Sci. Rep.*, **12**, 21651, (2022). [4] K. Horizumi, *et al.*, *J. Magn. Soc. Jpn.*, in review.

[5] A. Thiele, *Phys. Rev. Lett.*, **30**, 230, (1973).

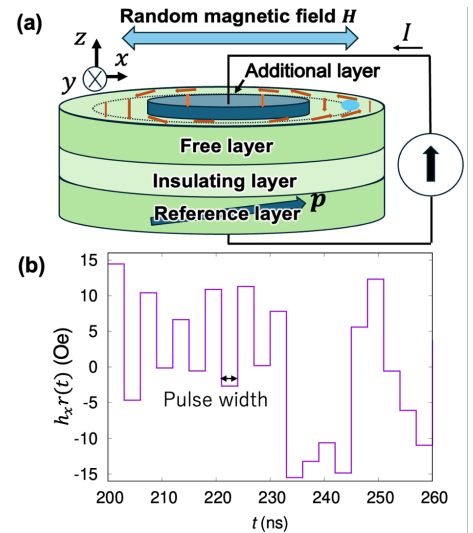


Fig.1 (a) Schematic image of VSTO with modified free layer. (b) Random magnetic field with a pulse width of 3 ns and the input signal strength h_x of 16 Oe.

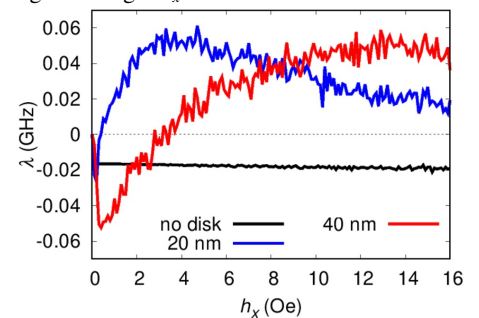


Fig.2 Dependence of Lyapunov exponent λ on the input signal strength h_x for VSTO: without additional layer and with 20 nm or 40 nm radius additional layer.