

マイクロ波重畳パルスによる電圧トルク磁化反転精度の改善 Improved accuracy of voltage-torque-driven magnetization switching using microwave-superimposed voltage pulse

山本 竜也¹, 野崎 隆行¹, 今村 裕志¹, 田丸 慎吾¹, 薬師寺 啓¹, 久保田 均¹, 福島 章雄¹,
鈴木 義茂^{1,2}, 湯浅 新治¹

1. 産総研 スピントロニクス研究センター, 2. 大阪大学

°Tatsuya Yamamoto¹, Takayuki Nozaki¹, Hiroshi Imamura¹, Shingo Tamaru¹, Kay Yakushiji¹,
Hitoshi Kubota¹, Akio Fukushima¹, Yoshishige Suzuki^{1,2}, and Shinji Yuasa¹

1. AIST, Spintronics Research Center, 2. Osaka Univ.

E-mail: yamamoto-t@aist.go.jp

電圧磁気異方性制御 (VCMA) 効果により生じる「電圧トルク」を用いた磁化制御は動作時のジュール熱損失を最小限に抑えることができるため、超低消費電力な磁気デバイス実現の鍵を握る技術として注目されている。特に、強磁性金属/絶縁体接合における高速な VCMA 効果はサブナノ秒での磁化制御を可能とし、マイクロ波印加による強磁性共鳴 (FMR) の誘起 [1] や電圧パルスを用いた磁化反転 [2] など実用的観点からも重要な研究が進んでいる。

電圧パルスを用いた磁化反転は歳差周波数 f_0 での有効磁界周りの磁化歳差を介するため、磁化の反転確率 (P_{sw}) はパルス幅に対して $1/f_0$ 周期で振動する。この時、磁気ダンピングの影響により磁化の歳差振幅は時間と共に減衰していくため、実際のデバイスにおいて P_{sw} は図 1 (a), (b) 中点線で示すような減衰振動を示す。したがって、長パルス領域で精度良く磁化反転の制御を行うことは一般的に困難である。本研究において我々は、電圧パルスを用いた磁化反転制御技術と電圧トルクによる FMR 誘起の手法を組み合わせることでこの技術的課題解決に取り組んだ。

本研究では Ta (5 nm)/(Co₅₀Fe₅₀)₈₀B₂₀ (1.1 nm) free layer/MgO (1.4 nm)/(Co₁₀Fe₉₀)₈₀B₂₀ (1.4 nm) pinned layer からなる標準的な磁気トンネル接合 (MTJ) 素子を用いた。磁化反転に用いる電圧パルスの生成は任意波形発生器を用いた。MTJ 素子端におけるパルス波形歪みの影響を抑えるため、参考文献 [3] に示されている波形補正手法を用いた。

図 1 (a) および (b) に P_{sw} のパルス幅依存性を示す。いずれの場合においてもマイクロ波を書き込みパルスに重畳させることによって P_{sw} の周期性がより長パルス側まで保たれていることがわかる。特に、マイクロ波周波数 f を f_0 の 2 倍 ($f=2.65$ GHz) とした場合に磁化反転精度の劇的な改善が見られた。図 1 (c) に詳細な測定結果を示す。 $f=2.65$ GHz を中心とした帯状の構造が明瞭に確認され、磁化反転精度改善を図る上では重畳させるマイクロ波の周波数を f_0 の 2 倍とすることが重要であるということがわかった。[4] これらの実験結果はマクロスピン近似を用いた数値計算でもよく再現され、 $f=2f_0$ とした場合に最も効果的に電圧トルクが働くということが明らかになった。

本研究は革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の支援を受けて行われた。

参考文献

[1] Y. Shiota et al., *Nat. Mater.*, **11**, 39 (2012). [2] T. Nozaki et al., *Nat. Phys.*, **8**, 491 (2012). [3] S. Tamaru et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 073002 (2018). [4] T. Yamamoto et al., *The 80th JSAP Autumn Meeting 2019*.

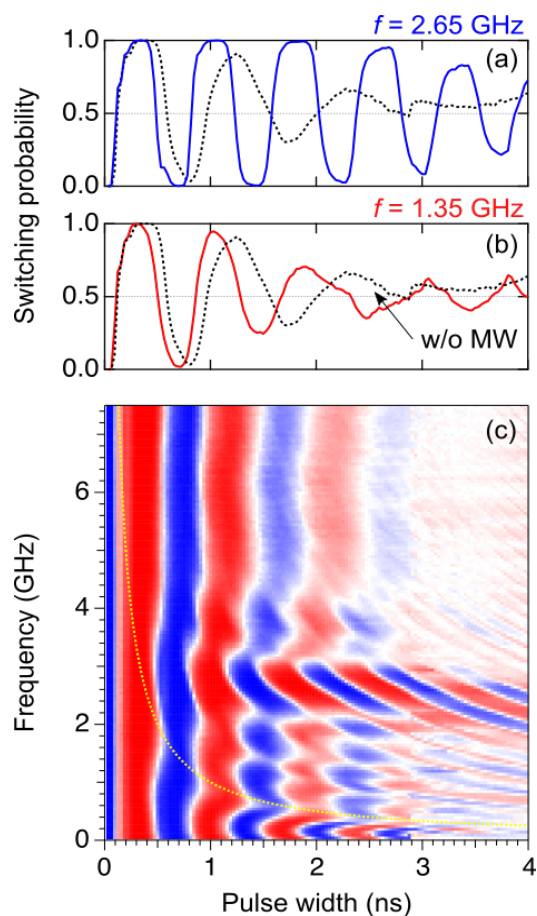


Figure 1 (a), (b) P_{sw} as a function of write voltage pulse width. (c) Color plot of P_{sw} as a function of pulse width and microwave frequency. Red (blue) corresponds to $P_{sw} = 1$ ($P_{sw} = 0$).