

磁性細線上部に配置した金属細線へのパルス電圧印加により生じる円状磁場を用いた
磁化反転プロセスによる磁性細線への磁区生成の検証

Verification of magnetic domain generation in magnetic nano wire via a magnetization reversal process utilizing a circular magnetic field generated by applying a pulses voltage to a metal wire positioned above the magnetic nano wire

○片岡誠治¹, 笠谷雄一², 藤井優樹¹, 小林祐希³, 吉川大貴⁴, 塚本新⁴

*Seiji Kataoka¹, Yuichi Kasatani², Yuki Fujii¹, Yuki Kobayashi³, Hiroki Yoshikawa⁴, Arata Tsukamoto⁴

Abstract: Magnetic domain wall movement is being applied to new memory and logic devices due to its high speed and low power consumption. This report investigates magnetization reversal and changes in the anomalous Hall voltage (V_{AHE}) in response to pulse voltage variations, generated by the Hall field produced when a pulse voltage is applied to a metal wire positioned perpendicular to a magnetic wire. This method was used to generate magnetic domains in two types of magnetic wires with different widths. The results revealed a clear trend in this sample where the V_{AHE} increases with increasing pulse voltage in the range above 3 V.

1. はじめに

磁性細線中にて電流による磁壁移動を活用し、新規メモリであるレーストラックメモリ^[1]への応用や新規論理演算素子として AND, OR 等の各種論理ゲートの実験的実現^[2]が報告されている。しかしながら、 μm オーダー以下の微細な磁性細線中では磁壁移動や磁区の安定性、磁気異方性などが膜厚や細線幅のサイズ、形状に大きく依存し、一般に非線形的に変化するため既知の材料物性にに基づき設計することは困難である。磁性細線の構造、特に面内方向におけるアスペクト比変化が磁性細線への磁壁生成や磁壁移動を議論する際に必要となると考え細線幅に着目した。細線幅の異なる GdFeCo/Pt 細線への磁区生成手法として磁性細線との直交方向にパルス印加を行う事で生じる円状磁場による磁化反転及びパルス電圧の変化に対する異常ホール電圧の変化について、細線幅によるこれらの依存性につき検討した。

2. 実験方法

本検討で使用した試料はマグネトロンスパッタ法による成膜、電子ビームリソグラフィによるリフトオフ法を用いた微細加工により作成した。使用した磁性細線部分は SiN (5 nm)/Gd₂₄(FeCo)₇₆ (10 nm)/Pt (5 nm) / Si sub. であり長さは 400 μm 、細線幅は 50 μm , 100 μm である。電極部分は Au (65 nm) / Pt (5 nm) / Si sub. である。 Fig. 1(a), (A), (B)にそれぞれ試料全体、磁性細線部分、試料断面の概要図を示す。 Fig. 2(a) の実験配置にて、膜面垂直方向に $\pm 50\text{mT}$ の範囲で外部磁場を掃引し、Gd₂₄FeCo/Pt 細線 (磁性細線) 長手方向に 100 μA の定電流を印加した。磁性細線と直行する Au/Pt 細線から細線短手方向に生じる異常ホール電圧 V_{AHE} を測定した。細線幅が 100 μm の試料を Fig. 2(b) の実験配置にて Au/Pt 細線へ流れる電流による円状磁場誘起のため、磁性細線に直行する Au/Pt 細線に -5.7V, パルス幅 100 ns のパルスを印加した。パルス印加後、Fig. 2(a) の実験配置にて磁性細線長手方向に定電流を印加し、 V_{AHE} を測定した。パルス印加回数が奇数回目では -5.7V のパルス印加、偶数回目では 1V ~ 5.5 V の範囲でパルス印加を行い、 V_{AHE} のパルス電圧依存性を取得した。また、Fig. 2(b)の実験配置にて Au/Pt 細線へ 5.7 V_{p-p}, 幅 100 ns のパルス印加を行った。パルス印加回数が奇数回目では -5.7V のパルス印加、偶数回目では 5.7 V のパルス印加を行った。パルス印加後、先の実験と同様に Fig. 2(a) の実験配置にて V_{AHE} を取得した。本検討ではパルス印加電圧と Au/Pt 細線の抵抗値からパルス印加により流れる電流値を算出し、式 (1)に示すアンペアの周回積分の法則より Au/Pt 細線にパルス印加した際に生じる円状磁場の大きさを求めた。

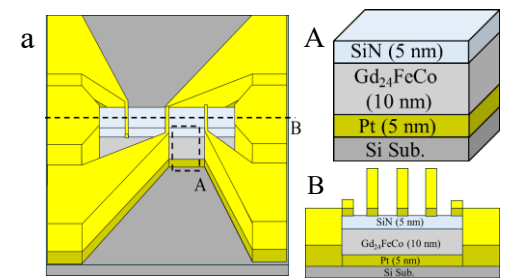


Fig. 1 Sample film structure

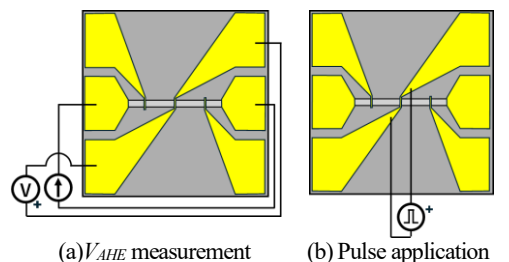


Fig. 2 Measurement system

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

3. 実験結果・考察

3.1 種々の細線幅における異常ホール特性

Fig. 4 に 50 μm , 100 μm それぞれの細線幅の磁性細線における V_{AHE} の外部磁場依存性を示す。本結果より、2 種の細線幅において膜面垂直磁化膜が示す V_{AHE} の外部磁場依存性を確認した。また、細線幅の変化により、 $|V_{AHE}|$ と保磁力 H_c に変化が生じる事が分かる。

3.2 種々の細線への磁区生成及びパルス強度依存性

Au/Pt 細線へのパルス印加回数が奇数回目では -5.7 V パルスを印加し、偶数回目では 1 V ~ 5.5 V の範囲でパルス印加を行い、 V_{AHE} のパルス電圧依存性を取得した結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より Au/Pt 細線への印加パルスの振幅が +3 V となる値を境にパルス電圧の増大に応じ V_{AHE} も増大する傾向が得られた。また、パルス電圧が +3 V 以上の範囲において、パルス印加後に -5.7 V のパルスを印加することで V_{AHE} は -1.6854 mV オーダーの一定値をとる結果が繰り返し得られたため、パルス印加による V_{AHE} の変化が可逆的であることが分かる。

本実験の磁区形成を目的に使用した Au/Pt 細線に流れる電流により Au/Pt 細線を中心に生じる円状磁場の距離依存性を式 (1) を用いて計算した結果を Fig. 6 に示す。Fig. 4, Fig. 6 より Au/Pt 細線へ +3 V 印加した際、Au/Pt 細線中心から約 2 μm までの距離には使用した試料の H_c を超える約 6 mT 以上の磁場が存在することが想定される。すなわち、+3 V 以上のパルス電圧印加による電流が作る磁場で局所的に磁区形成可能と考えられる。更にパルス電圧を増大させると、Au/Pt 細線を中心に生じると想定される円状磁場において磁性細線の保磁力を超える範囲が広くなり円状磁場による磁性細線の磁化状態が変化し得る領域が増えることが期待される。よって、Fig. 5 に示すパルス電圧の増大に対応した V_{AHE} の増大は V_{AHE} の生じ得る領域の磁区のサイズ比の変化に起因すると考えられる。

Fig. 7 に V_{AHE} の印加パルスの極性依存性を示す。2 種の細線において 5.7 V のパルス印加後は青の領域、-5.7 V のパルス印加後は緑の領域の V_{AHE} をとり、極性を変えたパルス印加を複数回行った結果、応答とその再現性を確認した。

4. まとめ

本検討では異なる細線幅を有する GdFeCo/Pt 磁性細線における細線幅に対する磁気的特性の変化及び、磁性細線の直交方向へ印加したパルスによる円状磁場での磁性細線への磁区生成について検討した。本検討で使用した細線幅 100 μm の試料にて、パルス電圧を増加させた際、+3 V を境に V_{AHE} の値も増大し始める傾向を明らかにした。本結果は Au/Pt 細線へのパルス印加により想定される円状磁場により、局所的に磁性細線へ保磁力以上の磁場が存在することで磁化状態が変化し、 V_{AHE} の検出領域内磁区のサイズ比変化に伴い電圧変動を生じたと考え、パルス電圧値に応じて増加傾向を示す V_{AHE} の測定結果と整合すると考える。

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K04184 の助成を受けたものである。

6. 参考文献

- [1] Stuart S. P. Parkin, Masamitsu Hayashi, Luc Thomas, SCIENCE, Vol.320, Issue5873, pp.190-194, (2008)
- [2] H. Awano, J. Magn. Mater., Vol.383, pp50-55, (2015).

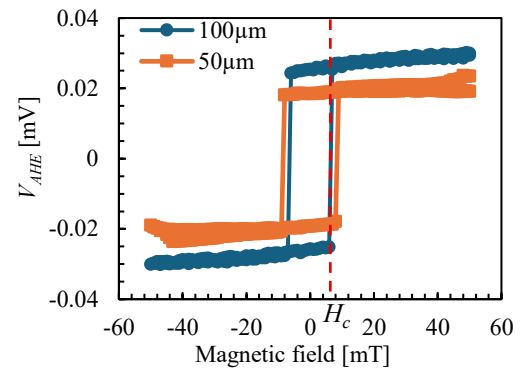


Fig. 4 Magnetic field dependence of anomalous hall voltage

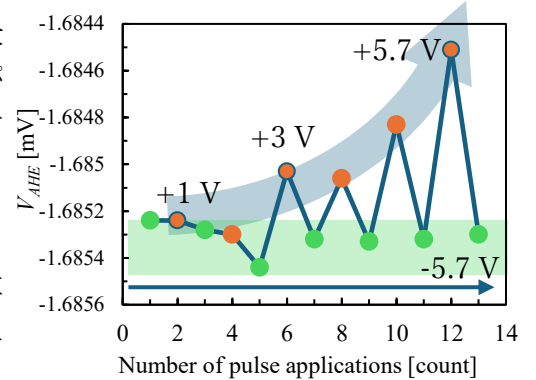


Fig. 5 Pulse Voltage Dependence of V_{AHE} (Even-numbered time : -5.7 V, odd-numbered time : 1 V~5.7 V)

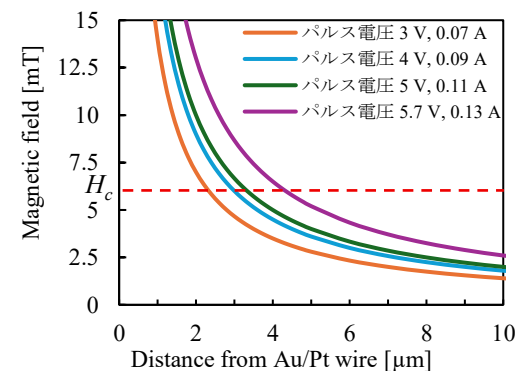


Fig. 6 Distance dependence of magnetic field from Au/Pt wire

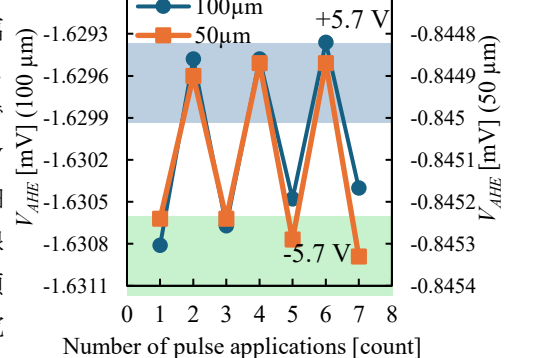


Fig.7 Dependence of pulse voltage polarity on V_{AHE} (Even-numbered time : -5.7 V, odd-numbered time : 5.7 V)