

**膜面内磁化容易軸磁性薄膜を用いた異常ホール磁場センサ検出感度の鎖交磁場角度依存性**  
**Angle Dependence of Detection Sensitivity on Crossed Magnetic Fields of an anomalous Hall Magnetic Field Sensor**  
**Using In-Plane Magnetization Easy-Axis Magnetic Thin Films**

○橋口輝良<sup>1</sup>, 藤井優樹<sup>2</sup>, 吉川大貴<sup>3</sup>, 塚本新<sup>3</sup>

\*Akira Hashiguchi<sup>1</sup>, Yuki Fujii<sup>2</sup>, Hiroki Yoshikawa<sup>3</sup>, Arata Tsukamoto<sup>3</sup>

Abstract: Current Hall sensors utilize the Hall effect. We aim to improve the functionality of Hall sensors by utilizing the anomalous Hall effect. In order to improve the sensitivity of the magnetic field sensor, we measured the dependence of the anomalous Hall voltage on the angle of magnetic field application in a GdFe alloy thin film with in-plane magnetic anisotropy and investigated the effect of the anomalous Hall voltage. As a result, we confirmed that the anomalous Hall voltage changes depending on the angle of magnetic field application.

1. はじめに

現行のホールセンサは導体に対する印加電流方向と外部磁場の外積方向に起電力が生じるホール効果を利用されている<sup>[1]</sup>。ここで膜面内方向に磁化容易軸を有する磁性薄膜の、磁性体への電流印加方向と磁化方向の外積方向に起電力が生じる異常ホール効果を用いることで、磁場印加角度による異常ホール電圧特性の変化により、検出磁場空間の感度向上が期待される。本検討では異常ホール磁場センサの磁場検出感度の向上に向け、膜面内方向に磁化容易軸を有する GdFe 合金薄膜における異常ホール電圧の鎖交磁場角度依存性について検討した。

2. 実験方法

試料はマグネトロンスパッタリング法により SiN (5 nm) / Gd<sub>30</sub>Fe<sub>70</sub> (20 nm) / SiN (5 nm) / Si Sub. を作製し、4mm 角に切り出した。Fig.1 に示すよう、膜面内方向に 0.1 mA の電流を印加し、膜面垂直方向への外部磁場を±300 Oe (+300 Oe → -300 Oe → +300 Oe, 10 Oe ステップ) と ±5,000 Oe (+5,000 Oe → -5,000 Oe → +5,000 Oe, 200 Oe ステップ) で掃引した状態において電流方向と膜面内で直交する方向で異常ホール電圧を測定した。電流印加方向を軸に、膜面垂直方向への磁場印加方向を膜面の角度  $\theta = 0 \text{ deg}$  とし、 $\theta = 0 \text{ deg}$ ,  $30 \text{ deg}$ ,  $60 \text{ deg}$ ,  $90 \text{ deg}$  における異常ホール電圧の磁場印加角度依存性を計測した。

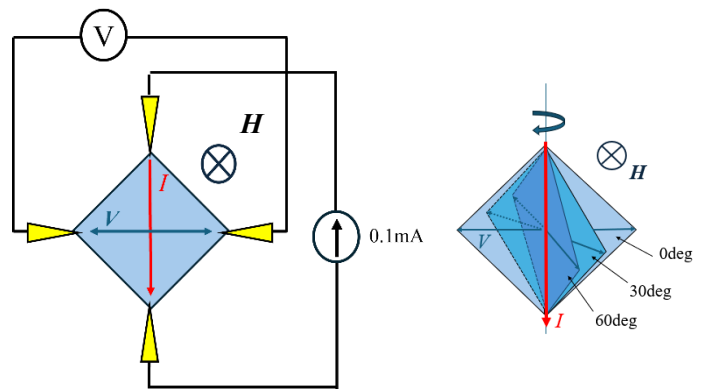


Fig. 1 Measurement system for Anomalous Hall effect and angle-dependent

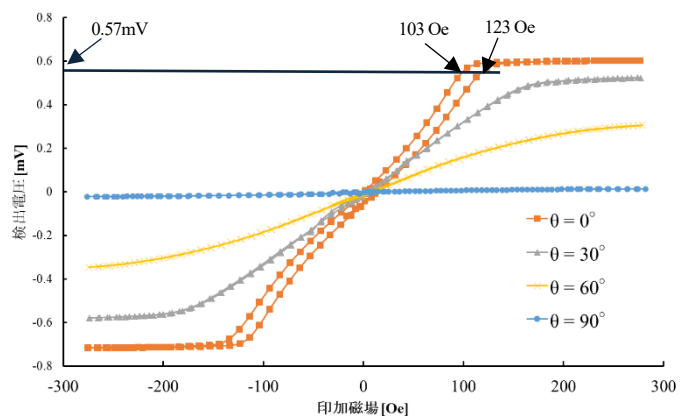


Fig. 2 Magnetic field angle dependence of the anomalous Hall effect in the range of ± 300 Oe.

### 3. 異常ホール効果の外部磁場印加角度依存性

Fig. 2 に磁場掃引範囲  $\pm 300$  Oe における異常ホール電圧の磁場印加角度依存性を示す。従来の半導体ホールセンサと同様に、特定の磁場範囲において印加磁場に対し線形な電圧応答が得られた。 $\theta = 30$  deg,  $60$  deg においても同様な線形領域が確認され、その線形範囲は  $\theta$  の増大に伴って拡大する傾向を示し、傾きは減少することを確認した。また、 $\theta = 90$  deg においては外部磁場に対する電圧応答は見られなかった

Fig. 3 に磁場印加範囲  $\pm 5,000$  Oe 時における異常ホール電圧の磁場印加角度依存性を示す。 $\theta = 0$  deg における飽和時の異常ホール電圧は  $0.62$  mV,  $\theta = 30$  deg では  $0.5$  mV,  $\theta = 60$  deg では  $0.34$  mV,  $\theta = 90$  deg では  $0.02$  mV と、 $\theta$  の増大に伴い異常ホール電圧が減少することが確認された。また異常ホール電圧の飽和磁場は  $\theta = 0$  deg のとき  $100$  Oe,  $\theta = 30$  deg,  $\theta = 60$  deg のとき  $200$  Oe となり磁場印加角度により非飽和領域が拡大された。

Fig. 4 に、各磁場印加条件における異常ホール電圧を示す。 $\theta = 0$  deg のとき  $50$  Oe 及び  $100$  Oe において磁場印加方向により  $0.1$  mV の差を確認した。 $\theta = 30$  deg,  $60$  deg のときでは、 $50$  Oe,  $100$  Oe,  $200$  Oe,  $960$  Oe において  $0.01$  mV 程度であった。

### 4. 考察

本結果から、印加磁場  $H$  対し、 $\theta$  の増大に伴い膜面垂直方向の磁場成分は  $H\cos\theta$  となり、異常ホール電圧は  $\theta$  に伴って減少すると考えられる。

また、印加磁場角度により非飽和領域の傾きに違いがあり、一般的な半導体ホールセンサの検出可能な出力電圧である  $0.4$  mV まで磁場検出が可能であると考えた場合、 $\theta = 0$  での電圧  $0.62$  mV を  $100\%$  としたとき、 $\theta = 50$  deg にて  $0.4$  mV を示す。よって磁場印加角度は最大  $50$  deg となり非飽和領域の拡大が期待できる。また、磁化容易軸と磁化困難軸で飽和させるために必要な磁場が異なるため、 $\theta$  の変化により飽和させるために必要な磁場異なるため非飽和領域が拡大されたと考えられる。

### 5. まとめ

本検討では検出磁場角度の拡大に向け、膜面内方向に磁化容易軸を有する GdFe 合金薄膜を用いた異常ホール磁場センサ検出感度の鎖交磁場角度依存性について検討を行った。本結果から、まず特定の外部磁場範囲に対し線形に変化する異常ホール電圧を確認し、磁場印加角度によってその線形領域は拡大傾向にあり飽和領域における異常ホール電圧は減少することを明らかにした。また、異常ホール電圧と磁場印加角度  $\theta$  の関係から現行の半導体ホールセンサと同等の電圧を最大  $50$  deg においても検出可能であることを示した。以上のことから、試料を中心に回転する磁場源の膜面垂直方向からの角度を検出できることを示唆した。

### 5. 参考文献

[1] Ichiro Shibasaki IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, Vol.134, No.7, pp.186-192(2014)

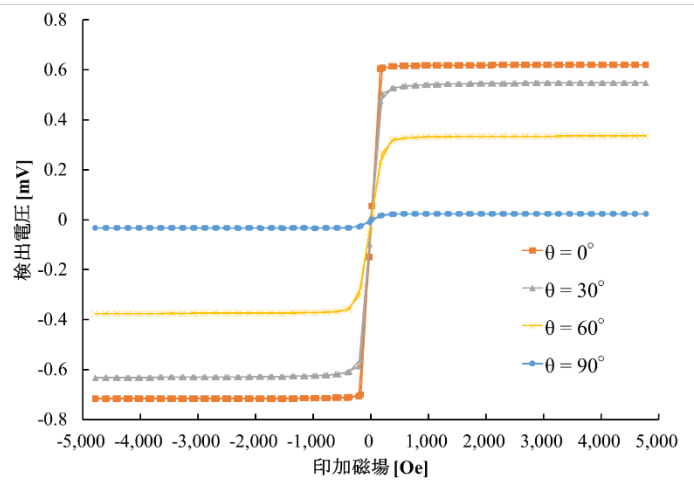


Fig. 3 Magnetic field angle dependence of the anomalous Hall effect in the range of  $\pm 5,000$  Oe.

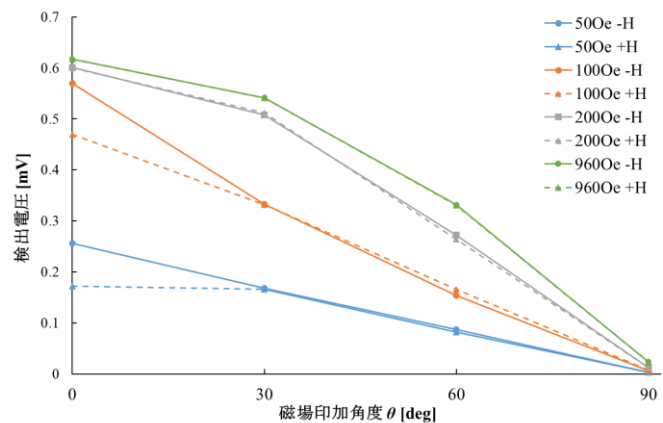


Fig. 4 Anomalous Hall voltage under each applied magnetic field condition