

曲げ応力下における NiFeMo 薄膜の磁気インピーダンス効果 Magneto-impedance Effect of NiFeMo Thin Films with Bending Stress

○望月航介¹, 芦澤好人², 中川活二², 今池建²

*Kosuke Mochizuki¹, Yoshito Ashizawa², Katsuji Nakagawa², Takeshi Imaike²

Magneto-impedance (MI) sensors with flexible substrates are attracting attention. However, the application of bending stress causes magnetic anisotropy originated from magneto-elastic energy, resulting in reduced sensitivity of the MI sensors. We suppressed the magnetic anisotropy by adjusting the composition of NiFeMo films and observed the MI effect of the NiFeMo films fabricated on the polyimide substrate in a flat state. Therefore, we report the MI effect of the samples with bending stress.

近年、基板に高い柔軟性を持たせたフレキシブルエレクトロニクスが注目されている^[1]。フレキシブル基板上に作製した磁気センサの一つとして、磁気インピーダンス (magneto-impedance: MI) 効果^[2]を利用した MI センサが報告されているが^[3]、センサ素子を曲げると応力がかかり、磁気異方性が生じるため、曲率によって磁界感度に変化することが課題となっている。我々は、それに対し、これまでフレキシブル基板上に作製した薄膜の磁気異方性定数 K_0 と磁界中熱処理条件の関係について調べ、熱処理時間により K_0 が低減する実験結果^[4]を報告しており、また、曲げ応力を加えていない状態のフレキシブル基板上薄膜において、MI 効果を確認している^[5]。そこで本研究では、曲げ応力によるセンサの磁界感度変化率を低減させることを目的とし、曲げ応力に対する MI 効果の特性評価を行った。

センサの磁性層には、軟磁気特性に優れ、磁気歪み定数が小さいことで知られる NiFeMo 薄膜を用いた。試料は、RF マグネトロンスパッタ法によりポリイミド基板上に 20 nm 成膜した。NiFeMo 薄膜の組成は、走査型電子顕微鏡付帯エネルギー分散型 X 線分光法 (SEM-EDS) を用いて評価し、Ni₈₆Fe₁₂Mo₂ (at.%) であった。試料に一軸誘導磁気異方性を付与するため、77 kA/m の磁界中において 450 °C、30 分の熱処理を施した。

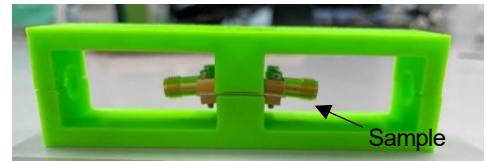


Fig. 1 Sample under bending stress by jig.

MI 効果は、Vector Network Analyzer (VNA) を用い、外部磁界を 0~18 kA/m 印加した際の素子の通過 S パラメータ S_{21} を測定することで評価した。Fig. 1 に示す治具を用いて素子に曲率半径 $R = 50$ mm の曲げ応力を高周波導波方向に印加した状態と、曲げ応力なしの状態において、素子の磁化容易軸と直交する方向に外部磁界を印加することで、磁化回転によるインピーダンス変化を測定する。ここで、外部磁界による S_{21} の変化率 ΔS_{21} を式 (1) に示す。

$$\Delta S_{21} = \{ S_{21}(H_{\text{ext}}) - S_{21}(0) \} / S_{21}(0) \quad [\%] \quad (1)$$

センサの磁界感度は、外部磁界に対する ΔS_{21} の変化率から、式 (2) を求めることで算出した。

$$\text{Sensitivity} = \frac{\Delta S_{21}(H_{\text{ext}} + \Delta H_{\text{ext}}) - \Delta S_{21}(H_{\text{ext}})}{\Delta H_{\text{ext}}} \quad [\% / (\text{kA/m})] \quad (2)$$

この磁界感度を、素子に加えた曲げ応力に対して評価した。講演では、NiFeMo 薄膜の曲げ応力と MI 効果について報告する。

参考文献

- [1] Yinji Ma et al., Flexible Hybrid Electronics for Digital Healthcare, *Adv. Mater.*, **32**, 15, (2020).
- [2] L. V. Panina and K. Mohri, Magneto-impedance effect in amorphous wires, *Applied Physics Letter*, **65**, 9, (1994).
- [3] Bodong Li et al., Flexible magnetoimpedance sensor, *J. Magn. Magn. Mater.*, **378**, 504, (2015).
- [4] 望月航介 他, ポリイミド基板上に作製した NiFeMo スパッタ薄膜における磁気弾性効果, 応用物理学会 春季学術講演会, 16p-PA09-9, (2023).
- [5] 望月航介 他, ポリイミド基板上に作製した NiFeMo 薄膜の磁気インピーダンス効果, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, C-6-4, (2023).

1 : 日大理工・院(前)・電子, 2 : 日大理工・教員・電子