

エピタキシャル $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ ($x = 0, 1, 3, 4$) 薄膜の磁気物性の評価

伊藤啓太^{1,2,3}, 鹿原和樹², 高田郁弥¹, 東小菌創真¹, 具志俊希¹, 都甲薫¹, 角田匡清², 末益崇¹
 (¹筑波大数理物質, ²東北大工, ³日本学術振興会 PD)

Magnetic properties of epitaxially grown $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ ($x = 0, 1, 3, \text{ and } 4$) films

K. Ito^{1,2,3}, K. Kabara², F. Takata¹, S. Higashikozono¹, T. Gushi¹, K. Toko¹, M. Tsunoda², and T. Suemasu¹
 (¹Inst. of Appl. Phys., Univ. of Tsukuba, ²Dept. of Electronic Eng., Tohoku Univ., ³JSPS-PD)

はじめに

逆ペロブスカイト型遷移金属強磁性窒化物は、高い負のスピントロニクス率(Fe_4N)や垂直磁気異方性(Mn_4N)により、スピントロニクス応用材料として注目されている¹⁾。類型材料の $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ は、粉末試料では Ni 添加量に伴って飽和磁化(M_S)ならびにキュリー温度(T_C)が低下し、 $x \geq 3$ では T_C が室温を下回ると報告されている²⁾。一方で、反応性スパッタ法で作製された Ni_3FeN では、室温で 6% の大きな正の異方性磁気抵抗 (AMR) 効果が報告されており³⁾、その物性が十分に明確化されていない。本研究では、分子線エピタキシー (MBE) 法により $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ 薄膜をエピタキシャル成長し、磁化曲線と AMR 効果を評価することで、上記磁気物性を検証した。

実験方法

固体 Fe, Ni と高周波プラズマ N_2 の同時供給による MBE 法により、 $\text{SrTiO}_3(001)$ 基板上に $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ ($x = 0, 1, 3, 4$) 薄膜 (50 nm) をエピタキシャル成長し、磁化曲線を測定した。得られた M_S を第一原理計算から求めた値と比較した。 NiFe_3N および Ni_3FeN 薄膜については、[100] が長手方向の幅 0.2 mm のホールバー形状に加工し、測定温度 (T) 5~300 K の範囲で、外部磁場 30 kOe、直流電流 0.2 mA のもとで AMR 効果を測定した。

実験結果

Fig. 1 に、第一原理計算、室温および 2 K における磁化曲線から求めた $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ ($x = 0, 1, 3, 4$) 薄膜の M_S を示す。第一原理計算では $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ は強磁性を示し、Ni 比が増えるに従い M_S は単調に減少し、実験でも同様の傾向が得られた。しかし、室温において Ni_3FeN の磁化は消失し、 Ni_4N に関しては 2 K でも常磁性を示した。 $M-T$ 測定から Ni_3FeN の T_C は 266 K と見積もられ、Ref. 2 の結果を支持するものとなった。Fig. 2 に NiFe_3N および Ni_3FeN の AMR 比の T 依存性を示す。 Ni_3FeN の室温における AMR 比はほぼ 0 であり、Ref. 3 の結果とは異なった。また、双方の試料で低温領域にて負の AMR 効果が観測された。Kokado らの理論によれば、負の AMR 効果は $s_1 \rightarrow d_1$ または $s_1 \rightarrow d_1$ の $s-d$ 散乱で説明される⁴⁾。第一原理計算の結果、 NiFe_3N および Ni_3FeN のフェルミ準位における状態密度は 3d 少数スピンの支配的であるため、これらの負の AMR 効果は $s_1 \rightarrow d_1$ の散乱機構に起因する。したがって、 NiFe_3N と Ni_3FeN についても、 Fe_4N と同様に少数スピン伝導が優勢といえる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 (Nos. 26249037 and 14J01804)、東北大通研プロ (H26/A04) の支援を受けた。磁化測定は、筑波大学 喜多・柳原・Sharmin 研究室および研究基盤総合センター低温部門のご協力で行った。

参考文献 1) 角田ら, まぐね **11**, 125 (2016). 2) X. G. Diao *et al.*, *J. Appl. Phys.* **85**, 4485 (1999). 3) R. Loloee, *J. Appl. Phys.* **112**, 023902 (2012). 4) S. Kokado and M. Tsunoda, *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**, 094710 (2015).

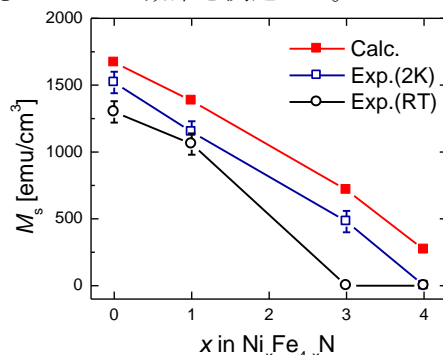


Fig. 1 M_S of $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ ($x = 0, 1, 3, \text{ and } 4$).

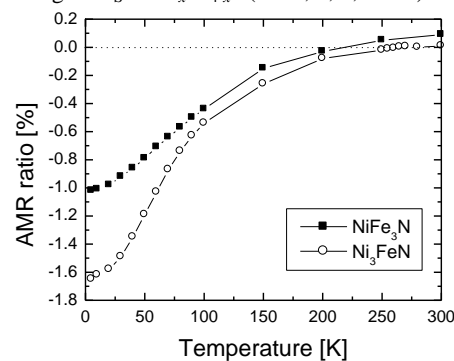


Fig. 2 T versus AMR ratio of $\text{Ni}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ ($x = 1 \text{ and } 3$).