

# 低温 PLD 合成 $\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$ (111) エピタキシャル薄膜の電気特性評価

## Electrical properties of low temperature PLD grown $\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$ (111) epitaxial thin films

東工大物質理工<sup>1</sup>, (株)豊島製作所<sup>2</sup> 神奈川県産技総研<sup>3</sup>

○(M1)篠崎 佳晴<sup>1</sup>, 中西 昂<sup>1</sup>, 土嶺 信男<sup>2</sup>, 金子 智<sup>3,1</sup>, 松田 晃史<sup>1</sup>, 吉本 護<sup>1</sup>

Tokyo Tech<sup>1</sup>, TOSHIMA Manu.<sup>2</sup>, KISTEC<sup>3</sup>

○Yoshiharu Shinozaki<sup>1</sup>, S. Nakanishi<sup>1</sup>, N. Tsuchimine<sup>2</sup>, S. Kaneko<sup>3,1</sup>, A. Matsuda<sup>1</sup>, M. Yoshimoto<sup>1</sup>

E-mail: shinozaki.y.ac@m.titech.ac.jp

【緒言】酸化ニッケル( $\text{NiO}$ )は岩塩型構造の p 型ワイドギャップ半導体( $E_g \sim 3.6 \text{ eV}$ )である。 $\text{NiO}$  は〈111〉方位における超交換相互作用による Ni 層の反平行スピン配列から反強磁性を示し、そのエピタキシャル薄膜はスピントロニクスデバイスの交換バイアス層としても研究されてきた<sup>[1]</sup>。また、 $\text{NiO}$  に対して磁気量子数が異なる Fe をドーピングし、反強磁性スピン秩序の崩壊による強磁性の発現や磁性半導体としての研究も報告されている<sup>[2,3]</sup>。一方で、 $\text{NiO}$  エピタキシャル薄膜への Fe ドーピングはこれまで 5–10 mol% 程度であり、より高濃度のドーピングがもたらす構造・導電性制御と<sup>[4]</sup>、磁気特性との関係を明らかにすることにより、スピントロニクスへのさらなる応用発展が期待できる。本研究では、 $\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$  エピタキシャル薄膜に関して、Fe 高濃度領域を含む組成条件においてドーパントが構造と磁気抵抗特性に与える影響を検討した。

【実験・結果】 $\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$  薄膜( $x \leq 0.7$ )は KrF エキシマールレーザー( $\lambda = 248 \text{ nm}$ ,  $d = 20 \text{ ns}$ )および  $\text{NiO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$  系複合酸化物焼結体ターゲットを用いたパルスレーザー堆積(PLD)法により  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$  基板上に作製した。成膜は室温 $\sim 300^\circ\text{C}$ で行い、また結晶性向上のため Ar 雰囲気下で赤外線急速アニール(RTA;  $300^\circ\text{C}$ )した。得られた薄膜の表面形状と結晶配向性を、それぞれ原子間力顕微鏡(AFM)観察、および X 線回折測定(XRD)と反射高速電子線回折(RHEED)により評価した。また、PPMS による磁気抵抗(MR)測定を行なった。Fig.1 は  $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}$  薄膜( $x=0.5$ )の XRD パターンであり、室温成膜直後と RTA 後では岩塩型構造の(111)エピタキシャル薄膜が得られた。一方、 $300^\circ\text{C}$ 成膜では  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  異相結晶が確認された。室温成膜後に RTA を行った薄膜は、III 回折ピーク FWHM が  $0.80^\circ$  から  $0.54^\circ$  と変化し結晶性が改善し、また  $7.3 \Omega\text{cm}$  から  $1.6 \Omega\text{cm}$  と導電性の向上も得られた。RTA 後の  $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}(111)$  薄膜の MR 測定結果を Fig.2 に示す。300 K において 9 T の面直磁場を印加したとき、 $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}(111)$  薄膜は約 0.4% 負の磁気抵抗効果を示した。本講演では Fe 添加量による影響についても発表する。

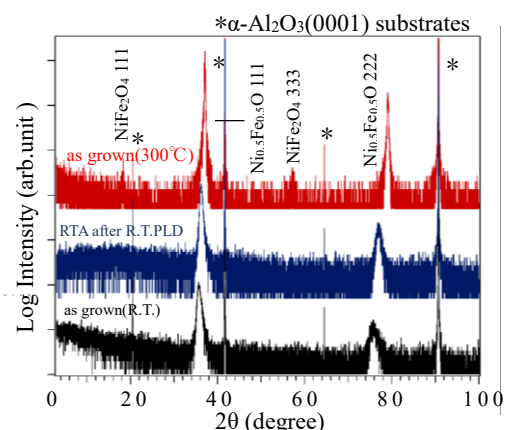


Fig.1 XRD patterns of 50 mol% Fe-doped NiO thin film formed on  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$  substrates.

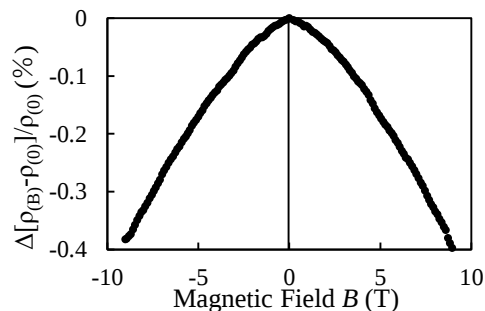


Fig.2 Magnetoresistance of the  $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}(111)$  thin film after RTA measured at 300 K in perpendicular magnetic field.

[1] Ying Jie Wu et al., *J. Mater. Chem. C*, **7**, (2019) 6091–6098

[2] Jianfei Wang et al., *Appl. Phys. Lett.* **87**, (2005) 202501.

[3] Yu-Jun Zhang et al., *AIP Advances* **5**, (2015) 077107.

[4] Okkyun Seo et al., *Sci. Rep.*, **9**, (2019) 4309-1–4309-9.