

高濃度 Fe 添加 NiO 薄膜の室温エピタキシャル成長と特性評価

Room Temperature Epitaxy and Characterization of Heavy Doped NiO:Fe Thin Films

東工大物質理工¹, (株)豊島製作所², 神奈川県産総研³

池谷侑紀¹, 藤元勇希¹, 土嶺信男², 金子智^{3,1}, 松田晃史¹, 吉本護¹

Tokyo Tech. Materials¹, TOSHIMA Manu.², KISTEC³

Y.Ikeya¹, Y.Fujimoto¹, N.Tsuchimine², S.Kaneko^{3,1}, A.Matsuda¹, M.Yoshimoto¹

E-mail: ikeya.y.aa@m.titech.ac.jp

【緒言】

NiO は約 3.6eV のバンドギャップを持つ Ni 欠損型の p 型ワイドギャップ半導体である。また、岩塩型構造を有し(111)面内でのスピン配列に起因する超交換相互作用により反強磁性を示すなど、高い配向性を有するエピタキシャル薄膜がスピントロニクスなどの応用に重要となる。NiO エピタキシャル薄膜の特性制御では、例えば 1 価の Li⁺などをドーピングした p 型導電性制御が挙げられるが、高温成長ではドーパントの再蒸発や析出が顕著になることから、組成ずれの抑制や高濃度ドーピングを得るためには低温成長が有用であるとされている^[1]。一方、Fe のように Ni とは内殻磁性電子数の異なる遷移金属をドーピングすると、電子キャリアの注入、格子歪、磁気量子数が異なる (Fe³⁺: m = 0, Fe²⁺: m = -1 (Ni²⁺: m = +2)) ことによる反強磁性スピン秩序の崩壊など、薄膜合成雰囲気や温度の違いにより構造や物性変化、半導体特性や磁性の制御などスピントロニクスへの応用が期待できる。本研究では、NiO 基エピタキシャル薄膜における低温成長プロセスと磁性特性の発現を目的として、高濃度 Fe ドープ NiO 薄膜の室温成長と物性におよぼすドーパントの影響について検討した。

【実験・結果】

Fe ドープ NiO 薄膜は KrF エキシマーレーザー($\lambda = 248\text{nm}$, $d = 20\text{ns}$)を用いたパルスレーザー堆積(PLD)法により作製した。薄膜成長には原子ステップを有する $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (0001)単結晶基板および $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}$ 焼結体ターゲットを使用した。基板温度を室温(非加熱、約 20°C)、酸素分圧を 1 Pa として堆積した。得られた薄膜について結晶配向性を X 線回折測定(XRD)及び反射型高速電子線回折(RHEED)により評価し、表面形状を原子間力顕微鏡(AFM)により観察、光学特性を紫外可視分光法(UV-vis)により測定し、電気抵抗を直流二端子法で測定することにより電気伝導率を算出した。作成した薄膜は、XRD パターン(Fig.1)及び RHEED 像より(111)配向と面内異方性が見られ、 $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}$ (111)薄膜が室温でエピタキシャル成長したことが分かった。また得られた $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}$ (111)薄膜の AFM 像(Fig.2)からは、基板表面の原子ステップを反映した超平坦形状(RMS = 0.091nm) が観察できた。UV-vis スペクトルの吸収端より $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}$ の光学的バンドギャップは約 3.3 eV となり pure NiO よりも狭くなることが分かった。これはドーパントの増大により不純物準位が導入されたためだと考えられる。当日は Fe ドープ量を変化(60, 70, 80atm%)させた NiO 薄膜について、エピタキシャル成長や特性に与える影響についても報告する。

[1] N. Shiraishi et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **49**, 108001 (2010).

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

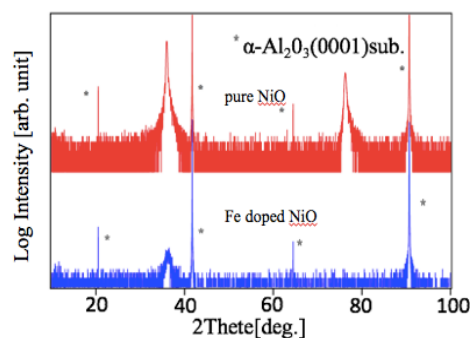


Fig.1 XRD ($2\theta/\omega$) patterns of pure NiO thin film and $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}$ thin film grown on $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (0001) substrate at room temperature in $\text{P}_{\text{O}_2} = 1.0 \text{ Pa}$.

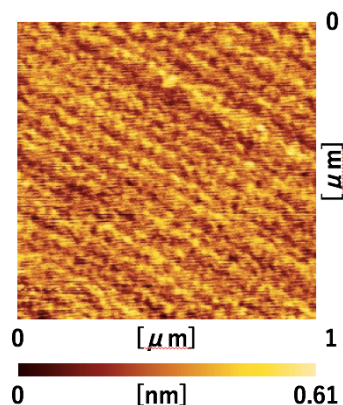


Fig.2 AFM image ($1 \times 1 \mu\text{m}$) of $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}$ (111) thin film as grown at room temperature.