

FZ 法による[001]に制御した GaFeO₃ 単結晶の育成

Growth of GaFeO₃ single crystals controlled at [001] by FZ method

山梨大¹ [○](M1)高野悠太, 丸山 祐樹¹, 長尾 雅則¹, 綿打敏司¹

Univ. of Yamanashi¹, [○]Yuta Takano¹, Yuki Maruyama¹, Masanori Nagao¹, Satoshi Watauchi¹

E-mail: g24tz012@yamanashi.ac.jp

[緒論]

Ga₂O₃ は大きなバンドギャップを持ち、パワーデバイス等への応用が期待されている。Ga₂O₃ には α 、 β 、 γ 、 δ 、 κ (ϵ) の 5 つの多型がある。準安定相の κ -Ga₂O₃ は強誘電性を持ち、高密度の 2 次元電子ガスを形成するため、高電子移動度トランジスタのバリア材料やゲート誘電体として期待されている[1]。Ga₂O₃ 等を基板結晶として κ -Ga₂O₃ 薄膜成膜の報告がある[2]がマルチドメインであり単一ドメインにはなっていない。対して、 ϵ -GaFeO₃ の(001)を基板結晶として良好な κ -Ga₂O₃ 薄膜が成膜されたといった報告がなされた[1]。これは ϵ -GaFeO₃ と κ -Ga₂O₃ の格子整合性が高いことが起因していると考えられる。GaFeO₃ は有力なマルチフェロイック材料として注目されていて、単結晶育成や物性測定が報告が多くされている[3]。しかし、GaFeO₃ の成長方位に関する研究が行われていないことから、本研究では、基板単結晶に用いられた ϵ -GaFeO₃ 単結晶に着目し、その単結晶育成における成長方位の同定と育成結晶の結晶性評価を行い、[001]方向に育成方向を制御した結晶育成を試みた。

[実験方法]

出発原料として β -Ga₂O₃(4N)と Fe₂O₃(4N)を用いて、 ϵ -GaFeO₃ 組成(Ga:Fe=1:1 mol)となるように乾式混合後、大気雰囲気下で 1473 K で 12 時間仮焼した。仮焼粉を乾式混合し再度同じ条件で焼成した。焼成粉を乾式混合後、300 MPa の静水加圧で丸棒状に成形し、1573 K で 24 時間焼結して原料棒を作製した。原料棒のサイズは 7~9 mm ϕ ×20~70 mmL であった。作製した原料棒を用いて四稜円面鏡型赤外線集中加熱炉で FZ 法により単結晶を育成した。育成条件として 1.0 MPa の酸素圧が必要であることから[4]、肉厚 5mm の石英管を用いて、育成速度 3mm/h、シャフト回転速度(上/下) 3/20 rpm の条件で結晶育成を行った。種結晶に多結晶棒を用いた育成結晶に対して EBSD 測定や X 線回折装置で(200)のロックンカーブ測定を行い、結晶の成長方位や結晶性を評価した。また、種結晶を[001]に切り出し[001]に制御した ϵ -GaFeO₃ 単結晶の育成を行い、その成長断面の EBSD 測定から成長方位を調べた。

[実験結果]

多結晶体を種結晶として用いた育成では育成成長が 25 mm を超えたあたりから育成終端部に明確な 2 回対称のファセット面が確認された。ファセット面が確認された終端部分の育成結晶を切り出し、EBSD 測定を行った。その結果を Fig. 1 の IPF マップに示す。結晶の成長方向は[100](Fig. 1(b))でファセット面は(001)(Fig. 1(c))であることが明らかとなった。また、育成結晶の(200)に対する X 線ロックンカーブの半値幅は 234 arcsec であり基板結晶で用いられている GaN の半値幅 85.7 arcsec[5]と比べると 3 倍程度大きかった。育成方向が[001]となるように種結晶を切り出して GaFeO₃ 単結晶の[001]に制御した単結晶育成を試みた。EBSD 測定から得られた結果を Fig. 2 の IPF マップに示す。育成結晶の成長断面の大部分は単一の[001]に成長した領域(Fig. 2(b))と確認できたが、一部異なる成長方向に成長した領域が確認された(Fig. 2(c))。これらの結果から、異なる方位に成長した領域のない ϵ -GaFeO₃ 単結晶の[001]育成には育成速度を 3mm/h からさらに遅くする等の育成条件のさらなる最適化が必要であるとわかった。

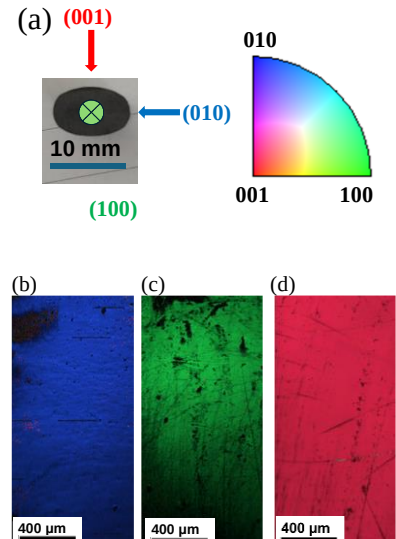


Fig.1 Cross-sectional photographs of grown crystals and IPF mapping obtained by EBSD measurement (a). Cross-sectional photographs of grown crystals (b),(c),(d). IPF mapping for each location

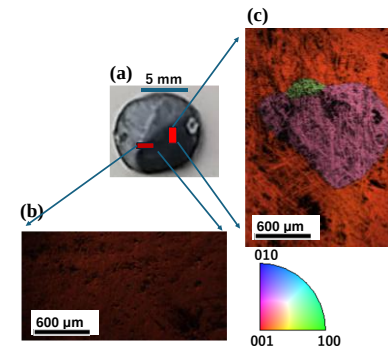


Fig.2 mapping obtained by EBSD measurement of grown crystal with single crystal as seed crystal. (a) Cross section of GaFeO₃ grown crystal, (b) IPF mapping (Single Domain Region), (c) IPF mapping (Multi Domain Region)

- [1] H. Nishinaka *et al.*, *ACS Omega* (2020) **5** 29585–29592
- [2] V.I. Nikolaev *et al.*, *J. Solid State Sci. Technol.* (2020) **9** 045014
- [3] B. Srimathy *et al.*, *Phys. Met. Metallogr.* (2021) **122**, 1234–1240,
- [4] H.J. Van Hook, *J. Am. Ceram. Soc.* (1965) **48** 470-472