

(様式第 5 号)

γ -Ga₂O₃, Al₂O₃ 薄膜の結晶構造評価とバンドオフセット計測 Evaluation of epitaxial structure of γ -Ga₂O₃ and Al₂O₃ films and band-offsets of the heterojunction between them.

大島孝仁¹, 馬込栄輔², 小林英一², 高橋和敏³
Takayoshi Oshima¹, Eisuke Magome², Eiichi Kobayashi², Kazutoshi Takahashi³

¹佐賀大学, ²九州シンクロトロン光研究センター, ³佐賀大学シンクロトロン光応用センター

¹Saga Univ, ²Kyushu Synchrotron Light Research Center, ³Synchrotron Light Application Center, Saga Univ.

- ※ 1 先端創生利用（長期タイプ）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※ 2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後 2 年以内に研究成果公開〔論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表〕が必要です（トライアル利用を除く）。
- ※ 3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※ 4 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より 1 人以上）。

1. 概要（注：結論を含めて下さい）

(100) MgAl₂O₄ 基板の上にエピタキシャル成長させた 3.0 nm γ -Ga₂O₃, 3.0 nm γ -Al₂O₃, 1.0/3.0 nm γ -Ga₂O₃/Al₂O₃ 薄膜を評価した。X 線回折により、エピタキシャル膜が基板に対してコヒーレント成長したことが確認された。また、歪んだ薄膜の格子定数から γ -Ga₂O₃ と γ -Al₂O₃ のポアソン比(0.31, 0.28)を求め、臨界膜厚(5.3, 4.0 nm)を推定した。さらに、X 線光電子分光から、 γ -Ga₂O₃ と γ -Al₂O₃ のバンドギャップがそれぞれ 5.6, 7.4 eV であることを求め、type-I 方のバンドラインナップを確認した。伝導帯、価電子帯のバンドオフセットはそれぞれ 1.6, 0.2 eV であった。 γ -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ 混晶系の母材料に関するこれら基礎物性は、今後の混晶を用いたヘテロ接合系の研究に有用であると考えられる。

(English)

We characterized 3.0-nm γ -Ga₂O₃, 3.0-nm γ -Al₂O₃, and 1.0/3.0-nm γ -Ga₂O₃/Al₂O₃ films grown on (100) MgAl₂O₄ substrates. X-ray diffraction measurements revealed that γ -Ga₂O₃ and γ -Al₂O₃ films were coherent to the substrate with Poisson's ratios of 0.31 and 0.28, implying critical thicknesses of 5.3 and 4.0 nm, respectively. While, X-ray photoelectron spectroscopy found that band gaps of the γ -Ga₂O₃ and γ -Al₂O₃ films were 5.6 and 7.4 eV, respectively, and that the γ -Ga₂O₃/Al₂O₃ heterojunction had type-I band-alignment with conduction- and valence-band-offsets of 1.6 and 0.2 eV, respectively. These findings regarding the end members of γ -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ will be beneficial for further study on γ -(Al_xGa_{1-x})₂O₃-based heterostructures.

2. 背景と目的

近年、結晶多形を含めた Ga₂O₃ の研究が盛んに行われている。我々は、その中でも準安定立方晶欠陥スピネル構造の γ -Ga₂O₃ に注目し、エピタキシャル成長、不純物ドーピング、混晶によるバンドギャップ変調を行ってきた。特に γ -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ 混晶が全組成範囲で実現できることが明らかになり [1], 将来的なヘテロ接合エレクトロニクスへの展開が期待される。そこで、本研究では、そのような展開で重要となる、混晶の母物質である γ -Ga₂O₃ と γ -Al₂O₃ の基礎物性評価を行った。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

図1に示すように(100) MgAl₂O₄基板上に3.0 nm γ -Ga₂O₃, 3.0 nm γ -Al₂O₃, 1.0/3.0 nm γ -Ga₂O₃/Al₂O₃ 薄

膜を分子線エピタキシー法により成長させた。それらのうち、 $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 単膜については、BL-15でX線回折を行った。一方、作製した3つのサンプルに対して、BL-12でX線光電子分光を行った。

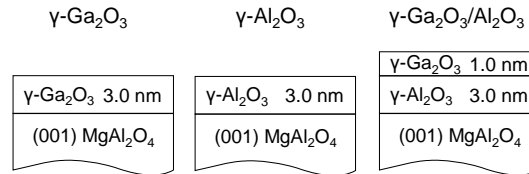


図1 評価したサンプル。

4. 実験結果と考察

X線回折結果を図2にまとめる。対称面パターンからは、面直の格子定数が決定できた。一方、逆格子マップからは、面内格子定数が基板と同一であり、コヒーレント薄膜であることが確認できた。これらの歪んだ格子定数とバルク格子定数から、 $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ のポアソン比は、それぞれ0.31と0.28と計算された。また、その値から臨界膜厚が、5.3、4.0 nmであると見積もられた。

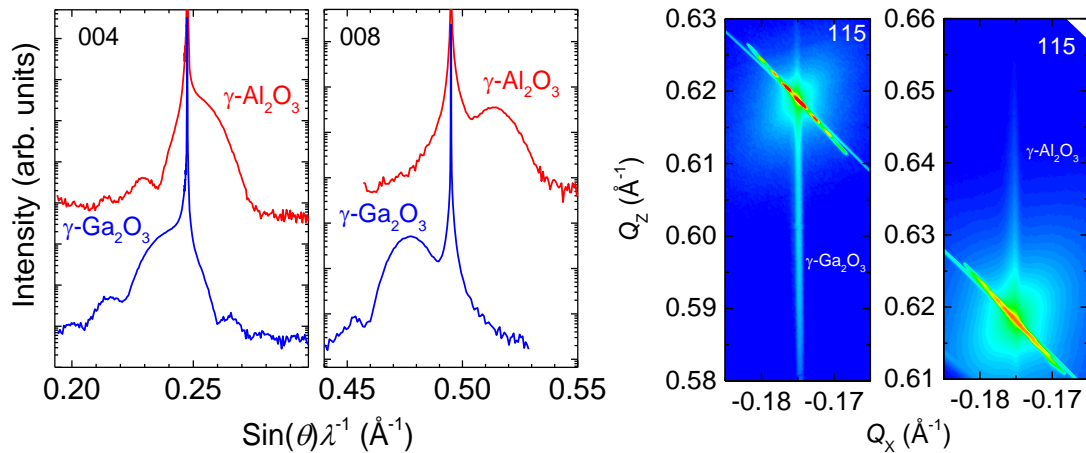


図2 $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 単膜に対するX線回折対称面パターン（左）、非対称面逆格子マップ（右）。

さらに、X線光電子分光の結果から、 $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ のバンドギャップがそれぞれ5.6、7.4 eVであり、それらの接合における伝導帯、価電子帯のバンドオフセットがそれぞれ1.6、0.2 eVのtype-Iであることが分かった。

これらの成果は、準安定相である $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ の基礎物性として重要であり、今後の $\gamma\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ 混晶ヘテロ接合系の研究開発に寄与するものである。

5. 今後の課題

今後は $\gamma\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ 混晶系に関する物性評価が求められる。なお、今回の $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ が最も格子不整合度が大きくコヒーレント膜を作製しづらいので、 $\gamma\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ 混晶膜の作製と評価はより容易であると考えられる。

6. 参考文献

[1] T. Oshima, Y. Kato, M. Oda, T. Hitora, and M. Kasu, Appl. Phys. Express **10**, 051104 (2017).

7. 論文発表・特許（注：本課題に関連するこれまでの代表的な成果）

Takayoshi Oshima, Yuji Kato, Eisuke Magome, Eiichi Kobayashi, and Kazutoshi Takahashi

“Characterization of pseudomorphic $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ films on MgAl_2O_4 substrates and the band-alignment at the coherent $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ heterojunction interface” Applied Physics Express Accepted Manuscript として掲載中。

<https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab219f>

8. キーワード（注：試料及び実験方法を特定する用語を2～3）

酸化ガリウム、酸化アルミニウム、X線回折、X線光電子分光

9. 研究成果公開について（注：※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文（査読付）発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください（2018年度実施課題は2020年度末が期限となります）。

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

