

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：32621

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15457

研究課題名（和文）新規原料分子種生成メカニズムの解明による高純度酸化ガリウム半導体結晶の創出

研究課題名（英文）Generation of high-purity gallium oxide semiconductor crystals by studying the formation mechanism of new source material species

研究代表者

富樫 理恵 (Togashi, Rie)

上智大学・理工学部・助教

研究者番号：50444112

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：Ga<sub>2</sub>OガスとH<sub>2</sub>Oガスを原料として用いた  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成長の熱力学解析を実施し、大気圧下1000度以上にて、高温・高速成長可能であることを明らかにした。特に、 $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>生成の駆動力は系内水素比の値に大きく依存し、水素比を減少させることで高温成長が可能であることがわかった。さらに、高純度Ga金属とH<sub>2</sub>Oの反応によりGa<sub>2</sub>Oガスを選択的に生成する原料部、生成したGa<sub>2</sub>Oガスと別途導入するH<sub>2</sub>Oガスの反応により  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成長を行う成長部から構成される新規成長装置を構築し、大気圧下1000度以上の成長温度にてc面サファイア基板上で(-201)面で配向した鏡面の  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱力学解析結果に基づき、高純度Ga金属とH<sub>2</sub>Oの反応によりGa<sub>2</sub>Oを選択的に生成し、生成したGa<sub>2</sub>Oと別途導入するH<sub>2</sub>Oの反応によりGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成長を行う新規成長装置を世界に先駆けて構築した。特に、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>生成の駆動力は系内水素比に大きく依存し、水素比を減少させることで高温成長が可能であることを理論解析と実験の両方より明らかにした。さらに、大気圧下1000度以上でc面サファイア基板上に(-201)面で配向した鏡面の  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成長層を得ることに成功した。実験と理論解析の協調により、成長装置の構築、結晶の創出、評価まで実施可能な本研究は独創的であり、学術的かつ社会的意義は大きいと評価できる。

研究成果の概要（英文）：A new  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> growth system using Ga<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>O source gases was investigated using thermodynamic analysis. It was revealed that high-rate growth of  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> using Ga<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>O gases is considered to be possible above 1000 °C. Furthermore, the driving force largely depends on the value of the mole fraction of H<sub>2</sub> in the carrier gas, and  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> can be grown at higher growth temperature by reducing the value of the mole fraction of H<sub>2</sub>. Subsequently, based on the theoretical results, the new growth system was constructed in which Ga<sub>2</sub>O gas was selectively generated by supplying H<sub>2</sub>O gas over Ga metal in the source zone, and  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was grown by the reaction between the Ga<sub>2</sub>O gas generated and the additionally supplied H<sub>2</sub>O gas in the growth zone. Using the system,  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layers oriented in the (-201) plane have been successfully grown on c-plane sapphire substrates above 1000 °C under atmospheric pressure.

研究分野：結晶工学

キーワード：酸化ガリウム 熱力学解析 気相成長 エピタキシャル成長

### 1. 研究開始当初の背景

単斜晶系  $\beta$ -ガリア構造を有する  $\beta$  型酸化ガリウム( $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:バンドギャップ( $E_g$ )値 4.5~4.9 eV) はワイドギャップ半導体であり、窒化ガリウム(GaN:  $E_g$  値 3.4 eV)や炭化ケイ素(SiC:  $E_g$  値 3.3 eV)よりも絶縁破壊電界が高く(高耐压)、デバイス動作時のオン抵抗を劇的に低減(低電力損失)する可能性を有する。さらに、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は融液成長法により低コストかつ高品質バルク基板が既に実現されていることに加え、デバイス作製に必要な n 型ドーピングが可能であることから、融液成長法が使えない GaN, SiC を凌駕する低コスト、高耐压、低損失パワーデバイス材料として有望である。

上述したパワーデバイスを実現するには、低抵抗な単結晶  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上に導電性制御した高品質  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 厚膜を高速でホモエピタキシャル成長することが重要である。申請者らはこれまでに、窒化物半導体結晶成長において培ってきた独自の原料分子種生成制御機構を有する HVPE 法を世界で初めて  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結晶成長に応用した。申請者らは最初に、HVPE 法による  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長の熱力学解析を行い、この知見をもとに、キャリアガスとして高純度窒素 (N<sub>2</sub>) ガスを用い、上流原料部領域にて高純度金属 Ga と塩素(Cl<sub>2</sub>)ガスの反応で一塩化ガリウム(GaCl)分子を選択的に生成(原料分子種生成制御)し、下流成長部領域にて別途輸送した O<sub>2</sub> ガスと反応させ、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長させる装置を作製した。構築した成長装置を用いることにより、バルク  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(001)基板上で、5 ミクロン毎時を超える高速  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長を世界ではじめて実現した(K. Nomura 他: J. Cryst. Growth 405 (2014) 19, H. Murakami 他: Appl. Phys. Express 8 (2015) 015503)。

導電性制御した高品質  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 厚膜を高速で成長する手法は現段階、HVPE 法で達成されている。しかしながら、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に関する研究の更なる発展には、より簡便で安全な新たな成長手法の開拓が重要である。特に、HVPE 法では原料分子種に塩化物を用いるため、安全を考慮した装置設計が必要であることに加え、低温成長する際、ドナー源である塩素の膜中への取り込みが問題となる。また、原料分子種の違いにより、成長初期の結晶核生成に違いが生じ、成長する結晶構造に大きく影響を与えることが報告されている。本申請研究では全く報告されていない原料分子種を用いることから、成長する結晶構造、物性等、結晶成長メカニズムについては全く未解明である。本研究で得られた成果と、HVPE 法による結果とを比較・検討することで原料分子種の違いによる  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長への効果を詳細に検討することが可能となり、学術的な発展が期待される。

### 2. 研究の目的

本申請研究では、これまで HVPE 法で培った原料分子種生成制御法を、H<sub>2</sub>O ガスを高純度 Ga と反応させることで Ga<sub>2</sub>O ガスを選択的に生成、もしくは H<sub>2</sub> ガスを高純度 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 原料と反応させることで Ga<sub>2</sub>O ガスを選択的に生成する、新規原料分子種生成制御法へ展開する。生成した Ga<sub>2</sub>O ガスと H<sub>2</sub>O ガスもしくは O<sub>2</sub> ガスを用い、世界で唯一の Ga<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O 系、Ga<sub>2</sub>O-O<sub>2</sub> 系  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長を実施する。本手法の原料分子種生成メカニズムの解明、新規原料分子種による  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長への効果の検討(結晶成長メカニズムの解明)、ならびにこれまで実現してきた HVPE 法による  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長と比較・検討することにより、高温・高速成長を実現し、高純度  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を創出する。さらに、成長層の構造、電気・光学物性等の評価を行い、デバイス応用につなげることを目的とする。

### 3. 研究の方法

Ga<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O 系  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長装置の設計・構築、成長実験、評価の検討を行うと同時に、実験と熱力学解析による理論解析を組み合わせることで、各条件下における原料分子種生成メカニズム、および結晶成長メカニズムの解明を実施した。さらに、申請者らがこれまでに実現した HVPE 法による  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長結果と比較・検討することで、原料分子種の違いが  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長へ与える影響を検討した。具体的には、熱力学解析に原料分子種生成制御機構の解明、熱力学解析結果に基づいた  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長装置構築、高純度金属 Ga と H<sub>2</sub>O ガスとの反応による Ga<sub>2</sub>O ガスの選択生成、及び  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長を実施した。

### 4. 研究成果

$\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 生成反応群とその平衡定数 K の温度依存性を Fig. 1 に示す。これより、Ga<sub>2</sub>O ガスと H<sub>2</sub>O ガス、ならびに Ga<sub>2</sub>O ガスと O<sub>2</sub> ガスを原料ガス種とする  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 生成の平衡定数は 1000 °C 以上の高温下でも正の値を

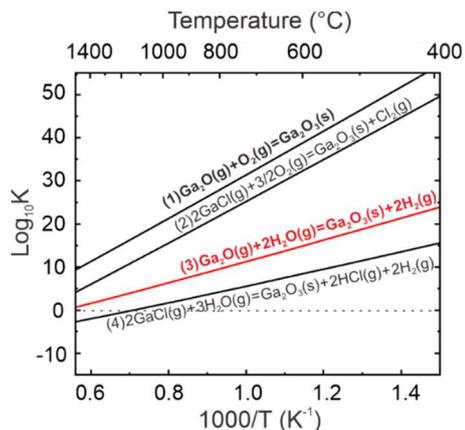


Fig. 1 Temperature dependence of the equilibrium constant (K) for  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formation reactions.

示すことがわかる。さらに、これまで実績のある HVPE 成長系の平衡定数に匹敵する値を有することから、高温・高速成長可能であることが示された。

次に、大気圧下における  $\text{Ga}_2\text{O}$  ガスと  $\text{H}_2\text{O}$  ガス間の反応による  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  生成の熱力学解析を行った。Fig. 2 に、大気圧下  $1000^\circ\text{C}$  にて  $\text{Ga}_2\text{O}$  供給分圧 ( $P^\circ_{\text{Ga}_2\text{O}}$ ) が  $1.0 \times 10^{-4}$  atm,  $\text{H}_2\text{O}$  供給分圧 ( $P^\circ_{\text{H}_2\text{O}}$ ) が  $1.0 \times 10^{-3}$  atm の場合における、系内水素比 ( $F^\circ = P^\circ_{\text{H}_2} / (P^\circ_{\text{H}_2} + P^\circ_{\text{IG}})$ ) を関数とした  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  結晶上に存在する各ガス種の平衡分圧を示す。これより、 $F^\circ$  の増加に伴い、 $\text{Ga}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ガスの平衡分圧が増加し、 $F^\circ \approx 1.0 \times 10^{-3}$  以上で  $\text{Ga}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  供給分圧より大きな平衡分圧を有することがわかった。すなわち、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{Ga}_2\text{O}(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  の反応で  $\text{H}_2$  によるエッチングが進行することから、供給する  $\text{H}_2$  はできる限り少ないことが望ましいことがわかった。さらに、全  $F^\circ$  において、 $\text{Ga}$  金属の蒸気圧 ( $P^\circ_{\text{Ga}}$ ) が  $\text{Ga}$  の平衡分圧を上回っており、この条件下では  $\text{Ga}$  ドロップレットは形成されないことがわかった。

次に、様々な系内水素比 ( $F^\circ$ ) における  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  生成の駆動力 ( $\Delta P_{\text{Ga}_2\text{O}_3}$ ) の温度依存性を Fig. 3 に示す。これより、生成の駆動力は  $F^\circ$  の値に大きく依存し、 $F^\circ$  を減少させることでより高温で  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  成長することがわかる。特に、 $F^\circ = 1.0 \times 10^{-2}$  以下にすることで、 $1000^\circ\text{C}$  以上の高温下での成長が可能であることが明らかとなった。これは水素供給分圧を下げることで、水素による  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  分解を抑制することに起因する。

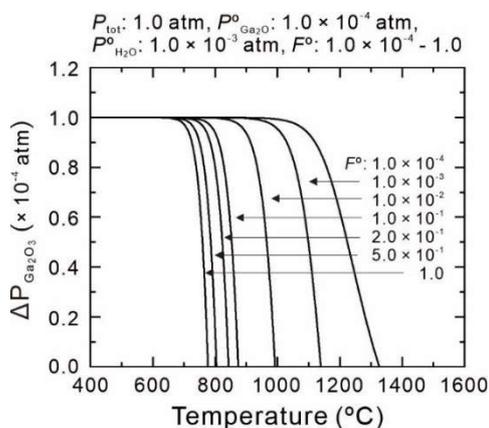


Fig. 3 Driving force for the growth of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ( $\Delta P_{\text{Ga}_2\text{O}_3}$ ) as a function of growth temperature for several values of  $F^\circ$ .

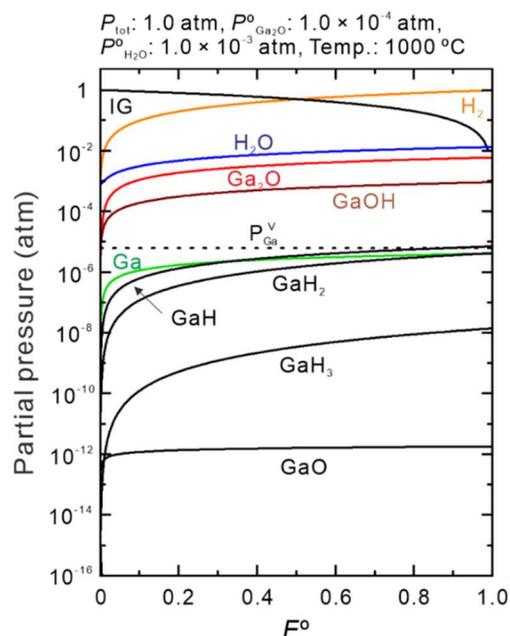


Fig. 2 Equilibrium partial pressures of gaseous species over  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  as a function of the mole fraction of  $\text{H}_2$  in the carrier gas ( $F^\circ = P^\circ_{\text{H}_2} / (P^\circ_{\text{H}_2} + P^\circ_{\text{IG}})$ ) at  $1000^\circ\text{C}$  for  $P^\circ_{\text{Ga}_2\text{O}}$  of  $1.0 \times 10^{-4}$  atm and  $P^\circ_{\text{H}_2\text{O}}$  of  $1.0 \times 10^{-3}$  atm at an atmospheric pressure. The vapor pressure of the pure  $\text{Ga}$  metal ( $P^\circ_{\text{Ga}}$ ) is also plotted by a dotted line.

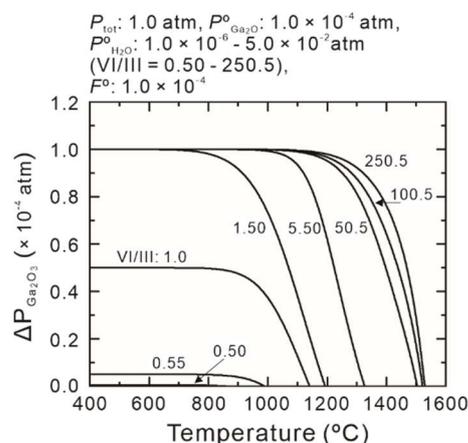


Fig. 4 Driving force for the growth of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ( $\Delta P_{\text{Ga}_2\text{O}_3}$ ) as a function of VI/III ratio ( $\text{VI/III} = (P^\circ_{\text{Ga}_2\text{O}} + P^\circ_{\text{H}_2\text{O}}) / 2P^\circ_{\text{Ga}_2\text{O}}$ ).

Fig. 4 に、様々な VI/III 比 ( $\text{VI/III} = (P^\circ_{\text{Ga}_2\text{O}} + P^\circ_{\text{H}_2\text{O}}) / 2P^\circ_{\text{Ga}_2\text{O}}$ ) における  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  生成の駆動力の温度依存性を示す。これより、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  成長の駆動力は、VI/III 比の増加に伴い増加し、VI/III 比を増加させることで、より高温で  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  成長可能であることが明らかとなった。

次に熱力学解析結果に基づき、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  成長装置を構築した。構築した  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の気相成長反応装置の構造概略図を Fig. 5 に示す。反応管は 2 室からなる石英製の一体型反応管で、それぞれのゾーンを電気炉により別々の温度に制御した。原料部に高純度  $\text{Ga}$  金属を設置し、キャリアガスである窒素等の不活性ガス (IG) と共に  $\text{H}_2\text{O}$  ガスを供給し、 $\text{Ga}_2\text{O}$  分子を生成した。成長部にて、 $\text{Ga}_2\text{O}$  ガスと  $\text{H}_2\text{O}$  ガスの反応により  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  をサファイア (0001) 初期基板上に様々な条件下において成長させた。

成長部温度  $1100^\circ\text{C}$ , VI/III 比 4.15,  $F^\circ = 3 \times 10^{-2}$  の条件で 1 時間  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  成長実験を行ったところ、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  成長の十分な駆動力を得ることができなかった。これは Fig. 3 で示した、熱力学

解析の様々な $F^\circ$ における  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  生成の駆動力の温度依存性の結果と一致する。すなわち、過剰な  $\text{H}_2$  により駆動力が得られなかったと考えられる。そこで、熱力学解析結果をもとに、成長部温度  $1150^\circ\text{C}$ , VI/III 比 4.15, 系内水素比を 1 桁減少させた  $F^\circ = 3 \times 10^{-3}$  の条件へ変更し  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  成長を行ったところ、サファイア(0001)基板の上に鏡面の結晶が得られた (Fig. 6)。SEM による表面モフォロジー観察より、基板上部は平坦性が高く、基板下部は凹凸が大きいことが明らかとなった。これは、基板下部は上部と比較して、 $\text{Ga}_2\text{O}$  供給分圧が高いため成長速度が大きくなり、面内で成長速度にばらつきが生じたことに起因していると考えられる。さらに、X 線回折測定より、サファイア(0001)基板の上に(-201)面で配向した  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  結晶が得られていることを確認した。

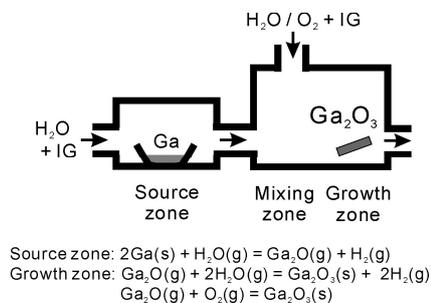


Fig. 5 Schematic diagram of the atmospheric-pressure vapor phase epitaxy system for  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  growth.

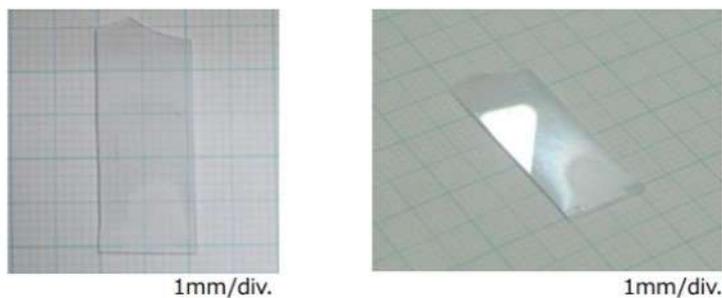


Fig. 6 Photographs of the  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  layer grown on a sapphire (0001) substrate.

以上、熱力学解析、及び成長実験により  $\text{Ga}_2\text{O}$  ガスと  $\text{H}_2\text{O}$  ガスを用いた  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  高温成長を世界で初めて実証し、そのメカニズム解明と高温・高速成長の実現へ発展させることができた。今後は、構築した新規成長装置を用い、温度、原料供給分圧比等を精密に制御し、様々な条件下における  $\text{Ga}_2\text{O}$ - $\text{H}_2\text{O}$  系  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  成長を実施する。これにより、高純度厚膜結晶の作製を目指すと同時に、詳細な成長メカニズム解明を目標とする。さらに、ショットキーバリアダイオードの試作を行い、デバイス性能への影響を検討する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Rie Togashi, Ryo Kasaba, Ken Goto, Yoshinao Kumagai, Akihiko Kikuchi	4. 巻 575
2. 論文標題 Investigation of Etching Characteristics of HVPE-Grown c-In2O3 Layers by Hydrogen-Environment Anisotropic Thermal Etching	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Cryst. Growth	6. 最初と最後の頁 126338-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jcrysgro.2021.126338	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 3件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Y. Kumagai, K. Goto, R. Togashi, H. Murakami, A. Kuramata, S. Yamakoshi, and M. Higashiwaki
2. 発表標題 Halide vapor phase epitaxy of group-III sesquioxides
3. 学会等名 2020 Virtual MRS Spring/Fall Meeting and Exhibit, Online, S. EL15. 11. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshinao Kumagai, Ken Goto, Rie Togashi, Tomohiro Yamaguchi, and Hisashi Murakami
2. 発表標題 Growth control of stable and metastable phases of group III sesquioxide semiconductor crystals
3. 学会等名 Virtual Workshop on Materials Science and Advanced Electronics Created by Singularity, Online (Zoom). (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshinao Kumagai, Ken Goto, Rie Togashi, Tomohiro Yamaguchi, Hisashi Murakami
2. 発表標題 Growth of stable and/or metastable phases of Ga2O3 and In2O3 by halide vapor phase epitaxy and mist chemical vapor deposition
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-8), On-Line Conference, C10-04-19. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rie Togashi, Ryo Kasaba, Yuki Ooe, Ken Goto, Yoshinao Kumagai, and Akihiko Kikuchi
2. 発表標題 Thermodynamic study of etching characteristics of HVPE-grown In2O3 layers by hydrogen-environment anisotropic thermal etching
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-8), On-Line Conference, C10-04-21. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富樫 理恵, 笠羽 遼, 大江 優輝, 後藤 健, 熊谷 義直, 菊池 昭彦
2. 発表標題 水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法によるHVPE-In2O3成長層のエッチング特性の熱力学的検討
3. 学会等名 第81回 応用物理学会 秋季学術講演会, オンライン開催, 9p-Z20-16.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富樫 理恵, 笠羽 遼, 大江 優輝, 後藤 健, 熊谷 義直, 菊池 昭彦
2. 発表標題 水素雰囲気異方性熱エッチング (HEATE)法による HVPE-In2O3成長層のエッチング特性評価
3. 学会等名 Sophia Open Research Weeks 2020半導体ナノフォトニクス研究会, オンライン開催. (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊谷 義直, 後藤 健, 富樫 理恵, 山口 智広, 村上 尚
2. 発表標題 酸化物半導体結晶Ga2O3およびIn2O3の準安定相発現機構の検討
3. 学会等名 第68回 応用物理学会 春季学術講演会, オンライン開催, 18p-Z04-4.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Togashi, S. Yamanobe, K. Goto, H. Murakami, S. Yamakoshi, and Y. Kumagai
2. 発表標題 Investigation of Thermal and Chemical Stabilities of (001), (010), and (-201) -Ga2O3 substrates in a flow of either N2 or H2
3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Gallium Oxide and Related Materials (IWGO-3) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Kasaba, Y. Ooe, K. Nagai, K. Goto, R. Togashi, A. Kikuchi, and Y. Kumagai
2. 発表標題 Investigation of etching characteristics of HVPE-grown In2O3 layers by hydrogen-environment anisotropic thermal etching
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富樫理恵, 山野遼咲子, 後藤健, 村上尚, 山腰 茂伸, 熊谷義直
2. 発表標題 水素・窒素気流中における -Ga2O3(001), (010), (-201)基板の熱的・化学的安定性の検討
3. 学会等名 日本結晶成長学会ナノ構造・エピタキシャル成長分科会第11回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富樫理恵, 山野遼咲子, 後藤健, 村上尚, 山腰茂伸, 熊谷義直
2. 発表標題 -Ga2O3(001), (010), (-201)基板の熱的・化学的安定性の面方位依存性
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議 (JCCG-48)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富樫 理恵、笠羽 遼、大江 優輝、長井 研太、後藤 健、熊谷 義直、菊池 昭彦
2. 発表標題 水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法によるHVPE-In203成長層のエッチング特性評価
3. 学会等名 第67回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富樫 理恵, 鈴木 明香里, 石田 遥夏, 今西 正幸, 秦 雅彦, 森 勇介
2. 発表標題 Ga20, H2O原料ガスを用いた 型酸化ガリウム成長の熱力学解析
3. 学会等名 Sophia Open Research Weeks 2021第2回半導体ナノフォトニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富樫 理恵, 鈴木 明香里, 石田 遥夏, 宇佐美 茂佳, 今西 正幸, 秦 雅彦, 森 勇介
2. 発表標題 Ga20, H2O原料ガスを用いた高温・高速酸化ガリウム成長の熱力学的検討
3. 学会等名 第69回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今西 正幸, 小林 大也, 奥村 加奈子, 細川 敬介, 宇佐美 茂佳, 富樫 理恵, 秦 雅彦, 森 勇介
2. 発表標題 OVPE法によるサファイア及びGa203基板上 -Ga203結晶成長
3. 学会等名 第69回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 金属酸化物結晶の製造方法、金属酸化物エピタキシャル結晶積層基板の製造方法、半導体装置の製造方法、金属酸化物結晶、金属酸化物エピタキシャル結晶積層基板、半導体装置、及び金属酸化物結晶製造装置	発明者 今西 正幸、森 勇介、荒木 理恵、秦 雅彦	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-152705	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------