

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01389

研究課題名（和文）超ワイドギャップAlN系半導体を用いたパワートランジスタの開発

研究課題名（英文）Development of power transistors using ultra-wide-bandgap AlN-based semiconductors

研究代表者

三好 実人（Miyoshi, Makoto）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：30635199

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

研究成果の概要（和文）：窒化アルミニウム（AlN）は、GaNやSiCなど既存の半導体材料を凌駕する次世代パワーデバイス材料として期待されている。AlNは、化学的安定性が高く機械的強度・硬度に優れることも大きな特徴となっているが、これらの諸物性は機能デバイスへの応用を考えた際の技術的困難さも生じさせている。本研究では、AlN系半導体を用いたヘテロ構造デバイスを目指し、結晶成長ならびにデバイス試作を行った。研究成果として、AlNモル分率70%超までのAlGaNチャネルパワートランジスタ、単結晶AlN基板を用いた高周波トランジスタの試作に成功し、各々について良好なデバイス特性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

窒化アルミニウム（AlN）は、次世代パワーデバイス材料としてGaNやSiCなど既存の半導体材料を凌駕する物性を備えているが、ウルトラワイドバンドギャップ半導体の特徴でもある化学的安定性や機械的強度・硬度に起因してデバイス作製が困難であった。本研究を遂行した事で、AlN系半導体トランジスタの設計、結晶成長、デバイスプロセスについて、多くの知見を得る事が出来た。本研究で得られた知見は、電子デバイス応用に限らず、AlN系半導体を用いた光・電子デバイスの実現に大きく寄与できる。

研究成果の概要（英文）：Aluminum nitride (AlN) is viewed as semiconductor material for next-generation power electronic devices due to its superior properties exceeding GaN and SiC. AlN also has high chemical stability and excellent mechanical strength and hardness. However, these properties also pose technical difficulties when considering application to practical device manufacturing. In this study, we conducted study on the crystal growth and the device prototype fabrication using AlN-based heterostructure electronic devices. As a result of our research, we successfully fabricated AlGaN-channel power transistors with AlN mole fractions up to 70% and high-frequency transistors using single-crystal AlN substrates, and confirmed their good device characteristics.

研究分野：電子デバイス、半導体結晶工学

キーワード：窒化物半導体 パワートランジスタ 高周波トランジスタ

1. 研究開始当初の背景

半導体パワーデバイスは、電力機器の基幹部品であり、外部信号によって回路電流の ON / OFF を切り替える「スイッチング動作」を担う。省エネ化社会が指向される現在、GaN や SiC などワイドバンドギャップ半導体によるパワーデバイスの開発とその社会実装が進んでいる。他方、ワールドワイドのエネルギー動向に目を向けると、IT 関連機器だけで 2050 年時 5,000PWh と限在の 200 倍以上という電力消費量が予測されており、未来社会に向けた省エネ化への要求には際限がない。こうした中、現在進行中の GaN や SiC だけでなく、これらの物性を打破する新材料デバイスの開発に着手することが強く望まれている。

2. 研究の目的

窒化アルミニウム(AIN)は、GaN の 3.4eV、SiC の 3.2eV を大きく上回る 6.2eV という極めて大きなバンドギャップエネルギーを持つ究極的なパワーデバイス用半導体材料である。AIN の絶縁破壊電界は非常に高く、パワーデバイスとして利用した場合の OFF 耐圧は GaN や SiC の約 10 倍にもなると予想されている。一方、AIN は、化学的安定性が高く機械的強度・硬度に優れることも大きな特徴となっているが、これらの諸物性は機能デバイスへの応用を考えた際の技術的困難さも生じさせている。このような技術課題を踏まえ、本研究では、低 ON 抵抗と高速動作を特長とする高電子移動度トランジスタを AIN 系半導体で構成する事を試みる。

3. 研究の方法

MOCVD 法を用いて、AIN/サファイアテンプレート上、ならびに単結晶 AIN 基板上への AlGaInN チャネルヘテロ構造を形成に関する構造及び成長条件を見出し、デバイス試作を実施した。デバイス設計にあたっては、小さい格子歪、高い電子濃度、高い耐熱性を同時に備える新規バリア層として四元 AlGaInN の適用を、デバイス試作で最も懸念があったオーミックコンタクトについては、セルフアライメント法による選択埋め込み再成長プロセスの適用を試みた。試作した HFET については、ソースドレイン間 I-V 特性、伝達特性、3 端子 I-V 阻止特性を評価した。

4. 研究成果

4-1. AIN/サファイアテンプレート上の AlGaInN チャネル HFET の試作と特性評価

実験の結果、AIN/サファイア上では、AIN モル分率 40% までの AlGaInN チャネルヘテロ構造を良好な結晶性をもって MOCVD 成長できる事を確認した。また、ヘテロ構造のバリア層として適切な組成の四元混晶 AlGaInN を用いる事で、小さい格子歪、高い電子濃度、高い耐熱性を同時に備えるヘテロ構造を形成できる事を確認した。デバイス試作にあたっては、セルフアライメント法による埋め込み再成長プロセスを経る事により、低コンタクト抵抗のオーミック電極を形成できるようになった。結果として、40% という高い AIN モル分率の AlGaInN チャネル HFET であっても 250mA/mm という高いドレイン電流密度が得られる事を確認した(図 1(a))。また、in-situ AIN 膜をゲート絶縁膜とした MIS-HFET 構造ではより低いゲート電流リークが得られる事が示された。3 端子オフ耐圧特性を調べてところ、ゲート-ドレイン間距離 6 μm となる HFET においてオフ耐圧約 1kV という結果が得られた(図 1(b))。これは絶縁破壊電界 1.66 MV/cm に相当する。

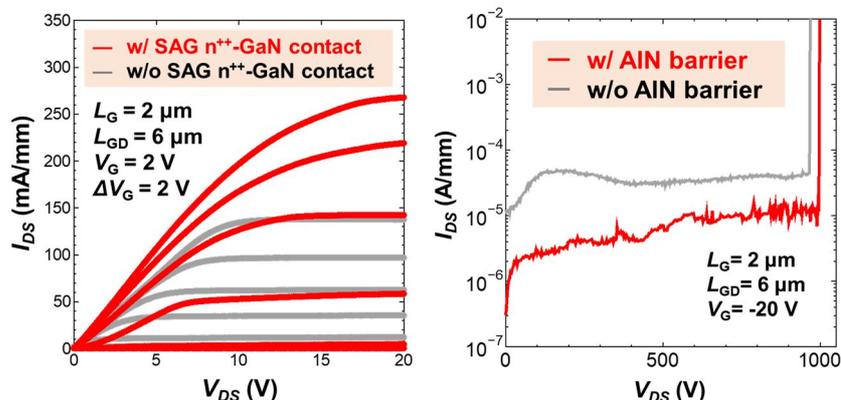


図 1.
Al_{0.4}Ga_{0.6}N チャ
ネル HFET の
(a) DC 特性と
(b) 3 端子オフ耐
圧特性

4-2. 単結晶 AlN 基板上的 AlGa_{0.7}N チャネル HFET の試作と特性評価

より高い AlN モル分率の AlGa_{0.7}N チャネル成長を行うために、単結晶 AlN 基板への AlGa_{0.7}N 成長について構造および成長条件の検討を行った。実験の結果、単結晶 AlN 基板に AlN モル分率 70% 超までの AlGa_{0.7}N チャネルヘテロ構造を、良好な結晶性をもって MOCVD 成長できることを確認した。この結果に従い、単結晶 AlN 基板に、図 2 に示すような AlGa_{0.7}N チャネルヘテロ構造の成長を行った。この構造では、AlGa_{0.7}N 成長界面における分極誘起正孔の生成を防ぐために、厚さ 500nm の傾斜組成バッファ層を挿入した他、Top バリア層として AlN 層の適用を行っている。

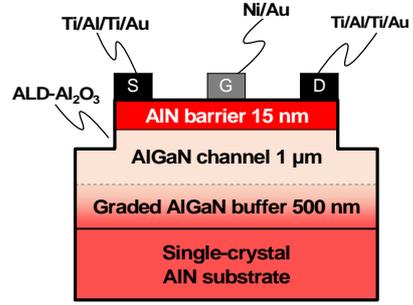


図 2. AlN 基板上 Al_{0.7}Ga_{0.3}N チャネル HFET の断面模式図

MOCVD 成長した AlN/AlGa_{0.7}N ヘテロ構造を用い HFET 試作とその特性評価を行った。試作したデバイスは、図 3(a) に示すような、AlN モル分率 70% 超の AlGa_{0.7}N チャネル HFET としては非常に良好な特性を示した。また、オフ時リーク電流は 60nA/mm 程度と、こちらも十分に低い値が得られた。一方、今回試作したデバイスのオフ絶縁破壊電界は約 1.7 MV/cm と、AlN モル分率 70% の AlGa_{0.7}N チャネルとしては低い値となった。これは、結晶およびデバイス作製プロセスに課題が残っていることを示唆するものである。

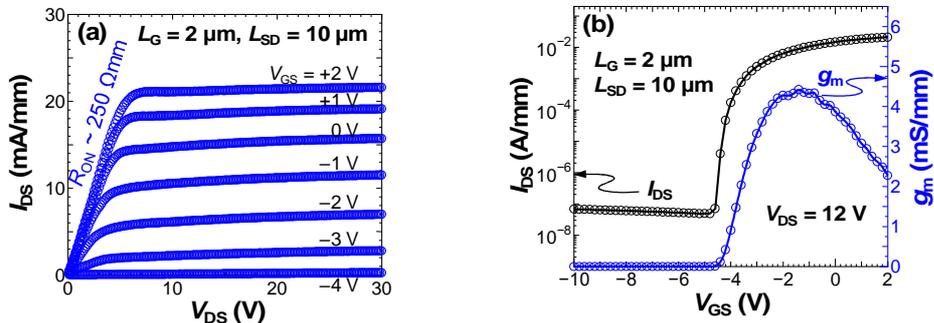


図 3 単結晶 AlN 基板上に作製した AlN/Al_{0.7}Ga_{0.3}N HFET の (a) DC ピンチオフ特性と (b) 伝達特性

4-3. 単結晶 AlN 基板上的 GaN チャネル HFET の試作と特性評価

単結晶 AlN 基板を用いた GaN 系 FET として、高周波 GaN-HEMT への AlN 基板の適用を試みた。図 4(a) に、本研究で作製した単結晶 AlN 基板上 AlGaInN/GaN HEMT の断面模式図を示す。MOCVD 法を用いて、直径 2 インチの単結晶 AlN 基板上に、再成長 AlN (厚さ 500nm) C や Fe など意図的な不純物がドーピングされていない UID-GaN チャネル層 (厚さ 150 nm) その上に四元混晶 AlGaInN バリア層 (厚さ 15 nm) からなるヘテロ構造を成長した。UID-GaN チャネル層の膜厚は負のゲートバイアスを印加時に十分に空乏化するように設計した。図 4(b) に、特性比較のために作製した単結晶 SiC 基板上 GaN HEMT の断面模式図を示す。4H-SiC 基板上に 200 nm の再成長 AlN バッファ層と 2 μm の C ドープ高抵抗 GaN 層を成長し、UID-GaN チャネル層と四元混晶 AlGaInN バリア層を成長した。

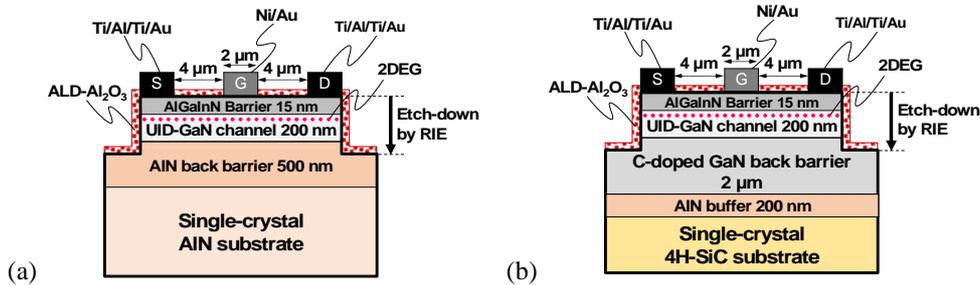


図 4. (a) AlN 基板上に作製した GaN HEMT (b) 比較用に作製した SiC 基板上 GaN HEMT

図 5(a)(b)にそれぞれ単結晶 AlN 基板上に AlN バックバリア層を備えた GaN HEMT、単結晶 SiC 基板上に C ドープ高抵抗 GaN 層をバックバリアとして備えた GaN HEMT におけるパルス I - V 特性を示した。AlN 基板上デバイスでは最大ドレイン電流密度の減少率は最大でも 2% 以下と非常に小さい事が示された。一方、SiC 基板上のデバイスでは、ドレイン電流密度の減少率は最大で 20% に達した。これは、SiC 基板上 GaN HEMT 構造のバックバリア層である C ドープ GaN 層がドレイン電流コラプス現象を引き起こしたためと考えられる。すなわち、本研究における AlN 基板上 GaN HEMT のように、薄層 UID-GaN チャンネル層が GaN HEMT 構造においてドレイン電流コラプス現象を抑制するために有用であることが推察された。

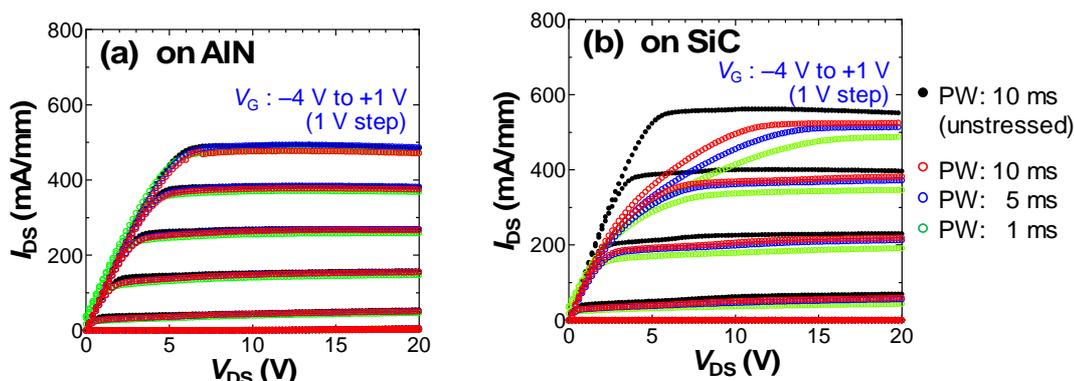


図 5. (a) AlN 基板上 GaN HEMT と (b) SiC 基板上 GaN HEMT のパルス I - V 特性

[雑誌論文] (計 4 件)

- [1] T. Kawaide, Y. Kometani, S. Tanaka, T. Egawa, and M. Miyoshi, “Current collapse suppression in AlGaInN/GaN HEMTs with thin unintentionally doped GaN channel and AlN back barrier grown on single-crystal AlN substrate”, *Appl. Phys. Lett.* **124**(18), 182102/1–4 (2024).
- [2] M. Miyoshi, S. Tanaka, T. Kawaide, A. Inoue, and T. Egawa, “DC and pulse I - V characteristics of strain-engineered AlGaInN/GaN HEMTs fabricated on single-crystal AlN substrate”, *Phys. Stat. Sol. (a)*, **220**, 2200733/1–5 (2023).
- [3] A. Inoue, S. Tanaka, T. Egawa, and M. Miyoshi, “High drain-current-density and high breakdown-field Al_{0.36}Ga_{0.64}N-channel heterojunction field-effect transistors with a dual AlN/AlGaInN barrier layer”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **61**(SC), SC1039/1–6 (2022).
- [4] M. Miyoshi, A. Inoue, M. Yamanaka, H. Harada, and T. Egawa, “Improved on-state performance in AlGaN-channel heterojunction field-effect transistors with a quaternary AlGaInN barrier layer and a selectively grown n⁺⁺-GaN contact layer”, *Mater. Sci. Semicond. Process.* **133**, 105960/1–5 (2021).

[学会発表] (計 16 件)

- [1] Y. Kometani, T. Kawaide, S. Tanaka, T. Egawa, and M. Miyoshi, “Fabrication of high AlN-mole-fraction Al_{0.7}Ga_{0.3}N channel HFETs using a single-crystal AlN substrate”, 16th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma 2024), March 2024, Nagoya, Japan.
- [2] 川出 智之, 米谷 宜展, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人, “単結晶 AlN 基板上の薄層 UID-GaN チャンネルを備えた AlGaInN/GaN HEMT の作製と特性評価”, 電子情報通信学会 CPM/ED/LQE 研究会 (2023 年 11 月, アクトシティ浜松).
- [3] T. Kawaide, Y. Kometani, S. Tanaka, T. Egawa, and M. Miyoshi, “Device characteristics of AlGaInN/GaN HEMTs with a thin 150-nm-thick UID-GaN channel fabricated on single-crystal AlN substrate”, 14th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-14), November 2023, Fukuoka, Japan.
- [4] 川出 智之, 米谷 宜展, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人, “単結晶 AlN 基板上の薄層 UID-GaN チャンネルを備えた AlGaInN/GaN HEMT の作製と特性評価”, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会 (2023 年 9 月, 熊本城ホールほか 3 会場 + オンライン).
- [5] 米谷 宜展, 川出 智之, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人, “単結晶 AlN 基板上高 AlN 比 Al_{0.7}Ga_{0.3}N チャンネル HFET の作製 (II)”, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会 (2023 年 9 月, 熊本城ホールほか 3 会場 + オンライン).

- [6] 川出 智之, 田中 さくら, 米谷 宜展, 江川 孝志, 三好 実人, “単結晶 AlN 基板上への高 AlN 比 Al_{0.7}Ga_{0.3}N チャネル HFET の作製”, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (2023 年 3 月, 上智大学 四谷キャンパス + オンライン) .
- [7] 川出 智之, 田中 さくら, 井上 暁喜, 江川 孝志, 三好 実人, “単結晶 AlN 基板上 AlGaInN/GaN HEMT の作製と特性評価 (II)”, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (2023 年 3 月, 上智大学 四谷キャンパス + オンライン) .
- [8] (招待講演) 三好 実人, “UWBG 窒化物 AlN 系パワートランジスタの進展”, 2023 年 電子情報通信学会総合大会 (2023 年 3 月, 芝浦工業大学 大宮キャンパス + オンライン) .
- [9] T. Kawaide, S. Tanaka, A. Inoue, T. Egawa, and M. Miyoshi, “Device characteristics of strain-engineered AlGaInN/GaN HEMTs on single-crystal AlN substrate”, 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma 2023), March 2023, Gifu, Japan.
- [10] 田中 さくら, 川出 智之, 井上 暁喜, 江川 孝志, 三好 実人, “単結晶 AlN 基板上 AlGaInN/GaN HEMT の作製と特性評価”, 電子情報通信学会 CPM/ED/LQE 研究会 (2022 年 11 月, ウィンクあいち) .
- [11] S. Tanaka, T. Kawaide, A. Inoue, T. Egawa, and M. Miyoshi, “AlGaInN/GaN HEMTs on single-crystal AlN substrate”, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 (IWN 2022), October 2022, Berlin, Germany.
- [12] S. Tanaka, T. Kawaide, A. Inoue, T. Egawa, and M. Miyoshi, “Fabrication and device characteristics of AlGaInN/GaN HEMTs on single-crystal AlN Substrate”, 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2022), August 2022, Hiroshima, Japan.
- [13] 田中 さくら, 井上 暁喜, 川出 智之, 江川 孝志, 三好 実人, “単結晶 AlN 基板上 AlGaInN/GaN HEMT の作製と特性評価”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022 年 3 月, 青山学院大学 相模原キャンパス + オンライン) .
- [14] 井上 暁喜, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人, “AlN/AlGaInN バリアを備えた高耐圧 Al_{0.36}Ga_{0.64}N チャネル HFET”, 電子情報通信学会 CPM/ED/LQE 研究会 (2021 年 11 月, オンライン) .
- [15] 伊藤 滉朔, 小松 祐斗, 渡久地 政周, 井上 暁喜, 田中 さくら, 三好 実人, 佐藤 威友, “光電気化学エッチング法を用いた AlGaInN/AlGaInN HFET の作製”, 電子情報通信学会 CPM/ED/LQE 研究会 (2021 年 11 月, オンライン) .
- [16] A. Inoue, S. Tanaka, T. Egawa, and M. Miyoshi, “High-breakdown-voltage Al_{0.36}Ga_{0.64}N-channel HFETs with a dual AlN/AlGaInN barrier layer and selective-area regrowth ohmic contacts”, 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2021), September 2021, Sapporo, Japan, (Online).
- [17] 井上 暁喜, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人, “選択再成長オーミックコンタクトおよび AlN バリアを用いた四元混晶 AlGaInN/Al_{0.36}Ga_{0.64}N HFET の作製と特性評価”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 (2021 年 09 月, オンライン) .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://miyoshi.web.nitech.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

佐藤威友 准教授 (北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター)

(2) 研究協力者

なし

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kawaide Tomoyuki, Kometani Yoshinobu, Tanaka Sakura, Egawa Takashi, Miyoshi Makoto	4. 巻 124
2. 論文標題 Current collapse suppression in AlGaInN/GaN HEMTs with thin unintentionally doped GaN channel and AlN back barrier grown on single-crystal AlN substrate	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 18210 ~ 18210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0187043	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 -
1. 著者名 Miyoshi Makoto, Tanaka Sakura, Kawaide Tomoyuki, Inoue Akiyoshi, Egawa Takashi	4. 巻 220
2. 論文標題 DC and pulse I-V characteristics of strain-engineered AlGaInN/GaN HEMTs fabricated on single-crystal AlN substrate	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 2200733 ~ 2200733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.202200733	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 -
1. 著者名 Inoue Akiyoshi, Tanaka Sakura, Egawa Takashi, Miyoshi Makoto	4. 巻 61
2. 論文標題 High drain-current-density and high breakdown-field Al _{0.36} Ga _{0.64} N-channel heterojunction field-effect transistors with a dual AlN/AlGaIn barrier layer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SC1039 ~ SC1039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4b09	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Miyoshi Makoto, Inoue Akiyoshi, Yamanaka Mizuki, Harada Hiroki, Egawa Takashi	4. 巻 133
2. 論文標題 Improved on-state performance in AlGaN-channel heterojunction field-effect transistors with a quaternary AlGaIn barrier layer and a selectively grown n++-GaN contact layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 105960 ~ 105960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mssp.2021.105960	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17件(うち招待講演 1件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Y. Kometani, T. Kawaide, S. Tanaka, T. Egawa, M. Miyoshi
2. 発表標題 Fabrication of high AlN-mole-fraction Al _{0.7} Ga _{0.3} N channel HFETs using a single-crystal AlN substrate
3. 学会等名 16th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 川出 智之, 米谷 宜展, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人
2. 発表標題 単結晶AlN基板上の薄層UID-GaNチャネルを備えた AlGaInN/GaN HEMTの作製と特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会CPM/ED/LQE研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kawaide, Y. Kometani, S. Tanaka, T. Egawa, M. Miyoshi
2. 発表標題 Device characteristics of AlGaInN/GaN HEMTs with a thin 150-nm-thick UID-GaN channel fabricated on single-crystal AlN substrate
3. 学会等名 14th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-14) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川出 智之, 米谷 宜展, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人
2. 発表標題 単結晶AlN基板上の薄層UID-GaNチャネルを備えた AlGaInN/GaN HEMTの作製と特性評価
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 米谷 宜展, 川出 智之, 田中 さくら, 江川 孝志, 三好 実人
2. 発表標題 単結晶AlN基板上高AlN比Al _{0.7} Ga _{0.3} NチャネルHFETの作製 (II)
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中 さくら, 川出 智之, 井上 暁喜, 江川 孝志, 三好 実人
2. 発表標題 単結晶AlN基板上AlGaInN/GaN HEMTの作製と特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 CPM/ED/LQE研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川出 智之, 田中 さくら, 米谷 宜展, 江川 孝志, 三好 実人
2. 発表標題 単結晶AlN基板上への高AlN比Al _{0.7} Ga _{0.3} NチャネルHFETの作製
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川出 智之, 田中 さくら, 井上 暁喜, 江川 孝志, 三好 実人
2. 発表標題 単結晶AlN基板上AlGaInN/GaN HEMTの作製と特性評価 (II)
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三好 実人
2. 発表標題 UWBG窒化物AlN系パワートランジスタの進展
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sakura Tanaka, Tomoyuki Kawaide, Akiyoshi Inoue, Takashi Egawa, Makoto Miyoshi
2. 発表標題 AlGaInN/GaN HEMTs on single-crystal AlN substrate
3. 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 (IWN 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Tanaka, T. Kawaide, A. Inoue, T. Egawa, M. Miyoshi
2. 発表標題 Fabrication and device characteristics of AlGaInN/GaN HEMTs on single-crystal AlN Substrate
3. 学会等名 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kawaide, S. Tanaka, A. Inoue, T. Egawa, M. Miyoshi
2. 発表標題 Device characteristics of strain-engineered AlGaInN/GaN HEMTs on single-crystal AlN substrate
3. 学会等名 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中 さくら、井上 暁喜、川出 智之、江川 孝志、三好 実人
2. 発表標題 単結晶AlN基板上AlGaInN/GaN HEMTの作製と特性評価
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 井上 暁喜、田中 さくら、江川 孝志、三好 実人
2. 発表標題 AlN/AlGaInNバリアを備えた高耐圧Al _{0.36} Ga _{0.64} NチャネルHFET
3. 学会等名 電子情報通信学会 CPM/ED/LQE研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 滉朔、小松 祐斗、渡久地 政周、井上 暁喜、田中 さくら、三好 実人、佐藤 威友
2. 発表標題 光電気化学エッチング法を用いたAlGaInN/AlGaIn HFETの作製
3. 学会等名 電子情報通信学会 CPM/ED/LQE研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 暁喜、田中 さくら、江川 孝志、三好 実人
2. 発表標題 選択再成長オーミックコンタクトおよびAlNバリアを用いた四元混晶AlGaInN/Al _{0.36} Ga _{0.64} N HFETの作製と特性評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akiyoshi Inoue, Sakura Tanaka, Takashi Egawa, Makoto Miyoshi
2. 発表標題 High-breakdown-voltage Al _{0.36} Ga _{0.64} N-channel HFETs with a dual AlN/AlGaInN barrier layer and selective-area regrowth ohmic contacts
3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	佐藤 威友 (Sato Taketomo) (50343009)	北海道大学・量子集積エレクトロニクス研究センター・准教授 (10101)	

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
---------	---------