

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00761

研究課題名(和文) 準ミリ波帯で動作する窒化物半導体トランジスタ増幅器の高耐圧・高出力化に関する研究

研究課題名(英文) Study on high-voltage and high-power nitrided-based transistor amplifiers operated at quasi-millimeter wave frequencies

研究代表者

葛原 正明 (Kuzuhara, Masaaki)

関西学院大学・工学部・教授

研究者番号：20377469

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では無線電力伝送応用を目指した電力増幅器の研究開発を推進した。大電力動作が可能な絶縁膜(MOS)ゲートをもつGa<sub>N</sub>-HEMTを検討した。この結果、MOSゲートHEMTにおいて、印加バイアス20-50Vの広い範囲で高周波利得が4～5dB改善できることを確認した。等価回路解析からMOSゲートHEMTの電圧利得(gm/gd)が従来HEMTより2.5～3倍向上していることを確認した。また半絶縁性Ga<sub>N</sub>基板の絶縁破壊電界の向上を進め、Fe添加により最大2 MV/cmを超える絶縁破壊電界を達成した。これら知見をもとに半絶縁性Ga<sub>N</sub>基板上の24GHz帯増幅器の設計を完了しデバイス試作を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エネルギー自給率の向上を目指して再生可能エネルギーの開発と省エネ化が急務である。この解決策として無線電力伝送を用いた太陽光や洋上風力発電の推進が望まれる。本研究では、準ミリ波帯で動作する高出力動作可能なMOSゲートGa<sub>N</sub>-HEMTを開発する。またMOSゲートGa<sub>N</sub>-HEMTが従来HEMTに比べて高利得を示す要因を解明する。さらに高電圧HEMT動作をめざして、半絶縁性Ga<sub>N</sub>基板の実効破壊電界強度の向上を推進し世界最高性能の実現をめざす。本研究で開発する技術は無線電力伝送に用いる電力増幅器の回路設計性を容易にし、アンテナやシステムの小型化など回路応用の汎用性を広げる利点を社会に提供できる。

研究成果の概要(英文)：This work was performed to develop high-power Ga<sub>N</sub> amplifiers for wireless-power-transmission applications. Various MOS-gate Ga<sub>N</sub>-HEMT structures were studied to achieve high-gain and high-voltage performance at microwave and quasi-millimeter-wave frequencies. It was found that the developed Ga<sub>N</sub>-MOSHEMT exhibited about 4-5 dB higher gain characteristics over a wide bias range from 20 to 50 V. Equivalent circuit analyses suggested high-frequency voltage gain (gm/gd) of the MOSHEMT was higher by 2.5-3 times than that for the conventional Schottky-gate HEMT. We have also measured electrical characteristics of semi-insulating Ga<sub>N</sub> substrates to achieve high effective breakdown field. By increasing the doping concentration of Fe in the Ga<sub>N</sub> substrate, we have succeeded in achieving an effective breakdown field of more than 2 MV/cm. Using the Ga<sub>N</sub> substrate, we have designed a 24 GHz MOSHEMT amplifier with air-bridged gate fingers. The device fabrication was properly performed.

研究分野：電子デバイス

キーワード：準ミリ波 HEMT AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 電力増幅器 無線電力伝送 破壊電界 電力利得

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究開始当時の統計では、日本のエネルギー自給率は 10 % にも届かず OECD 加盟 35 か国中で 34 位であった。太陽光や風力などの再生可能エネルギーの利用促進が叫ばれていた。次世代ワイヤレス通信 (5G, 6G) では従来のマイクロ波より周波数の高い準ミリ波～ミリ波周波数の利用が期待されていた。無線電力伝送でも、送受信アンテナ間での漏洩電力を減らすことが効率改善と安全性確保の観点から重要であり、アンテナから放射される電磁波ビームの広がりや周波数増加とともに減少することが知られていた。研究を開始した 2019 年当時、無線電力伝送で利用可能な周波数帯は ISM 帯である 920 MHz、2.4 GHz、5.7 GHz 帯に限られていたが、米国などではその上の ISM 帯である準ミリ波帯 24 GHz の利用が検討されていた。また、準ミリ波帯において小型で高電圧動作が可能な電子デバイスとして GaN-HEMT が有望であった。GaN-HEMT を準ミリ波帯電力源として有効に応用するためには、高利得性と高耐圧性を両立できるデバイス構造の最適化が必要であった。第一に、GaN-HEMT を作製する土台となる基板材料として GaN 基板が最適とされたが、2019 年当時その絶縁破壊機構の解明と破壊電界強度の評価検討が十分ではなかった。また、HEMT の基本ゲート構造に関しても、MOS ゲート構造が台頭したものの、高周波利得に与える MOS 構造の影響について従来ショットキーゲート構造との比較検討が十分になされていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究の最終目標は、準ミリ波帯 (24 GHz) にて、電力合成回路を用いることなくワンチップで出力 10 W 以上の高出力電力増幅が可能な GaN-HEMT を開発することである。この目的の達成のため、次の 4 項目を並行して検討した。(1)HEMT 高耐圧化に向けて半絶縁性 GaN 基板の絶縁破壊電界を測定しその決定要因について考察する。(2)高周波電力利得の向上に適したゲート構造として MOS ゲートを検討しその利得特性を考察する。(3)ワット級高出力動作に向けたマルチゲートフィンガーをもつ高出力 HEMT マスクを設計し試作プロセスを開発する。(4)準ミリ波帯のロードプル評価系を整備し最終目標である 10 W 動作を確認する。

### 3. 研究の方法

本実験では、半絶縁性 SiC 基板上に有機金属気相堆積 (MOCVD) 法を用いて成長した AlGaIn/GaN エピタキシャル結晶上に MOS ゲート HEMT を試作した。AlGaIn は Al 組成 25 % で厚さは 25 nm とした。ゲート長は 2  $\mu\text{m}$  とし、ゲート-ドレイン間距離は 2~6  $\mu\text{m}$  の間で変化させた。オーミック電極には Ti/Al/Mo/Au (15/60/35/50 nm)、ゲート電極には Ni/Au (50/150 nm) を用いた。オーミック電極は 850  $^{\circ}\text{C}$ 、30 秒の熱処理を行った。ゲート絶縁膜には、原子層堆積法を用いて  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜を成膜した。最後に表面保護膜として 150 nm 厚の SiN 膜を成膜した。比較のため、ゲート酸化膜の形成工程を省略し、その他の工程については MOS ゲート HEMT と同様の履歴をもつショットキーゲート (SG) 構造 HEMT も試作した。

半絶縁性 GaN 基板の絶縁破壊耐圧の測定では、基板表面に幅 80  $\mu\text{m}$  で電極間の間隔を 2~50  $\mu\text{m}$  まで変化させた Ti/Al/Mo/Au 電極を形成し、電極間の電流-電圧測定から破壊電圧の電極間隔依存性を測定し、その傾きから実効破壊電界を求めた。また基板の抵抗率の測定では、基板の表裏の両面に Ti/Au 電極を蒸着し、蒸着後にワイヤソーを用いて 2x2 mm<sup>2</sup> のサイズに切り出したサンプルの縦方向電流電圧から抵抗率を求めた。

### 4. 研究成果

本研究では 3 種類の Fe 添加半絶縁性 GaN 基板 (以降、基板 A, B, C と呼ぶ) を用いた。SIMS 測定から Fe 添加濃度は、基板 A, B, C の順に  $8 \times 10^{18}$  から  $4 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup> まで増加した。ドナー不純物となる Si と O の濃度の和は、基板 A で最も低く  $3 \times 10^{16}$  から B, C の順に  $5 \times 10^{17}$  cm<sup>-3</sup> まで高くなった。次に、基板試料の縦方向電流電圧特性から抵抗率を求めた結果、基板 A, B, C の抵抗率は順に  $1.2 \times 10^9$ ,  $3.0 \times 10^9$ ,  $3.3 \times 10^{10}$   $\Omega\text{cm}$  と求められた。これらのことから、抵抗率は Fe 濃度増加とともに高くなることが確認された。

実効破壊電界の評価では、電極間隔の異なる 2 端子プレーナ素子の両端に直流電圧を印加し、永久破壊または漏れ電流密度が 1 mA/mm に増加時の印加電圧を破壊耐圧と定義した。空中放電回避のため高電圧印加はフロリナート中で行った。図 1 に、各基板における破壊電圧の電極間隔依存性を示す。破壊電圧の電極間距離依存性の直線関係から各基板の横方向の実効破壊電界を求めたところ、基板 A, B, C の順に 1.3, 1.5, 2.4 MV/cm となった。基板 C で得られた実効破壊電界 2.4 MV/cm は、予測値 3.3 MV/cm には届かないものの、既報告値中で世界最高値に対応する高い値である。基板 A について、実効破壊電界の温度依存性を測定したところ、300 K と 350 K でそれぞれ 1.3 MV/cm と 1.4 MV/cm となり、Fe 添加半絶縁性 GaN 基板の絶縁破壊が主としてアバランシェ破壊に支配されることが判った。また、鏡面基板表面に対して機械研磨により故意に凹凸のある荒れた表面を形成し、同様に破壊電界を測定したところ実効破壊電界に変化は認められず、横方向破壊特性が基板表面の研磨状態に影響されないことが確認された。また、機械研

磨により基板厚を 400  $\mu\text{m}$  から 240  $\mu\text{m}$  まで減少させた基板についても同様の測定を行ったが、基板厚さの変化による実効破壊電界の変化も認められなかった。すなわち、基板表面の二端子素子の破壊特性は、基板表面近傍のバルク中を流れるリーク電流の増大効果によって決定されることが確認された。

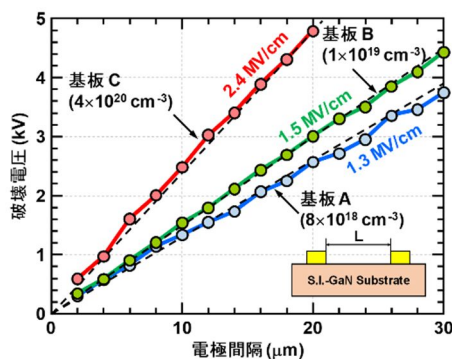


図 1 GaN 基板の絶縁破壊電圧の電極間隔依存性

破壊電界強度を予め測定した Fe 添加 GaN 基板の上に MOCVD 法を用いて 3 種類の AlGaIn/GaN HEMT を試作した。破壊電界 1.3 MV/cm をもつ GaN 基板の上に厚さ 400 nm で Fe 濃度  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の GaN バッファ層を介して AlGaIn(30 nm)/GaN(25 nm) を成長したエピ層上に作製したデバイスを HEMT-A、同じく破壊電界 1.3 MV/cm の GaN 基板の上に厚さ 400 nm で Fe 濃度  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の GaN バッファ層を介して AlGaIn/GaN を成長したエピ層上に作製したデバイスを HEMT-B、破壊電界 1.5 MV/cm の GaN 基板の上にバッファ層なしで AlGaIn(30 nm)のみを直接成長したエピ層上に作製したデバイスを HEMT-C とした。Hall 測定から求めた HEMT-A と HEMT-B のエピ層の二次元電子ガス移動度はともに約  $1600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  であった。ゲート長 2  $\mu\text{m}$  でゲート・ドレイン (G-D) 間距離 6  $\mu\text{m}$  の各 HEMT の最大ドレイン電流としきい値電圧は、HEMT-A で 470 mA/mm, -2.7 V、HEMT-B で 420 mA/mm, -2.4 V、HEMT-C では 140 mA/mm, -2.0 V であった。Fe 添加 GaN 基板の内部にチャンネル層が形成された HEMT-C では、他の 2 構造に比べてドレイン電流が約 1/3 に減少した。これは二次元電子ガスの移動度低下を反映したものと推察される (基板の実効面積が小さく Hall 測定が実施できなかった)。次に、試作した HEMT の破壊耐圧の G-D 間距離依存性を測定した。結果を図 2 に示す。得られた直線関係の傾きから実効破壊電界が求められ、HEMT-A、-B、-C の順に 0.9, 1.0, 1.5 MV/cm となった。HEMT-A、HEMT-B では GaN チャンネル層を成長させたことに起因して、この GaN エピ層内またはエピ/基板界面に高電界領域が集中し HEMT の破壊電界が GaN 基板の破壊電界より劣る結果になったものと思われる。一方、GaN チャンネルエピ層をもたない HEMT-C では、高電界領域が GaN 基板中に直接形成されるため HEMT の破壊電界と基板の破壊電界が同一の値となった。ドレイン電流密度は低いものの、GaN-HEMT の横方向の実効破壊電界 1.5 MV/cm は世界最高水準に対応するものである。

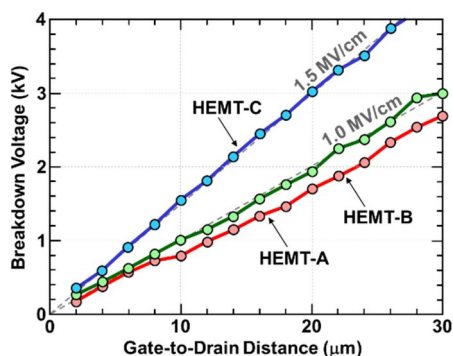


図 2 HEMT 絶縁破壊電圧の電極間隔依存性

MOS ゲート HEMT の高周波利得を評価するため、小信号 S パラメータ評価と 2 GHz における大信号ロードプル評価を実施した。MOS 膜には原子層堆積法による厚さ 10 nm の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜を用いた。比較のため MOS 膜のない従来構造のショットキーゲート (SG) 構造 HEMT も試作した。ゲート長は 2  $\mu\text{m}$ 、G-D 間距離を 4  $\mu\text{m}$  とした。試作した HEMT の直流ドレイン特性を図 3 に示す。MOS-HEMT ではゲートに大きな順方向電圧を印加できるため SG-HEMT に比べて約 40 % 大きなドレイン電流密度 ( $\sim 1 \text{ A/mm}$ ) が測定された。しかし、直流で測定される相互コンダクタンス (gm) は、SG-HEMT に比べて MOS-HEMT では約 15 % 小さくなった。しきい値電圧も、SG-HEMT の -3.8 V に対して MOS-HEMT ではより負側に大きな -6.0 V が測定された。

ネットワークアナライザとオンウエハプローブを用いて S パラメータ評価を行った。結果を図 4 に示す。ドレイン電圧は 45 V であり、周波数は 0.4 GHz から 12 GHz まで掃引した結果である。MOS-HEMT では電力利得に相当する  $S_{21}$  の絶対値が大きく、また入力インピーダンスに

相当する  $S_{11}$  の容量成分が大きい傾向が認められた。S パラメータから求めた Mason の最大単方向利得 ( $U_g$ ) と電流利得  $H_{21}$  の絶対値の周波数依存性を図 5 に示す。各利得の周波数依存性を -20 dB/dec の傾きで外挿して求めた電流利得遮断周波数 ( $f_T$ ) と最大発振周波数 ( $f_{max}$ ) は、SG-HEMT で 7.2 GHz, 52 GHz, MOS-HEMT では 6.8 GHz, 85 GHz となった。注目すべき結果として、MOS-HEMT が SG-HEMT に対して約 60 % も大きな  $f_{max}$  を示した。小信号電力利得が MOS-HEMT において著しく大きければ、大信号動作時にも大きな電力利得が観測されるはずと予測し、ロードプル評価系を用いて利得整合時の線形利得を評価した。結果を図 6 に示す。大信号評価においても MOS-HEMT は利得優位性を示し、ドレイン電圧 20 V から 45 V の広い範囲に亘り 4 ~ 5 dB 高い利得特性が確認された。S パラメータ等価回路解析から求めた高周波における相互コンダクタンスとドレインコンダクタンスの比 ( $gm/gd$ ) は、SG-HEMT で 47 (@20 V) および 75 (@45 V)、MOS-HEMT では 140 (@20 V) および 184 (@45 V) となった。すなわち、電圧利得を表す  $gm/gd$  比が MOS-HEMT で 2.5 ~ 3.0 倍大きいことが示され、 $gm/gd$  比の違いが高周波における電力利得特性の差として表れたことが判明した。ただし、何故 MOS ゲート構造の採用により相対的に高い  $gm$  値と低い  $gd$  値が得られたのかについての詳細な検討は不十分であり、今後の継続した検討が必要である。

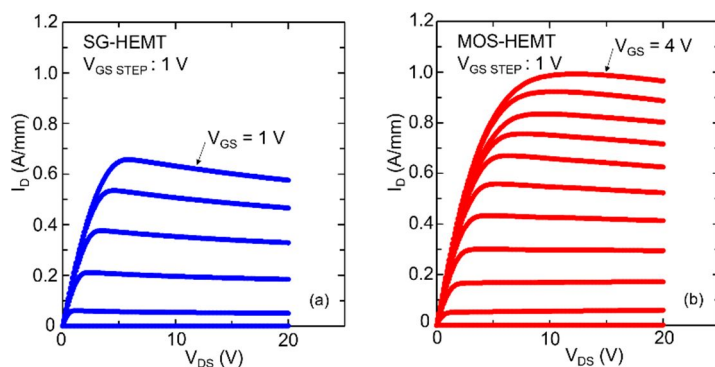


図 3 直流ドレイン特性、(a) SG-HEMT, (b) MOS-HEMT

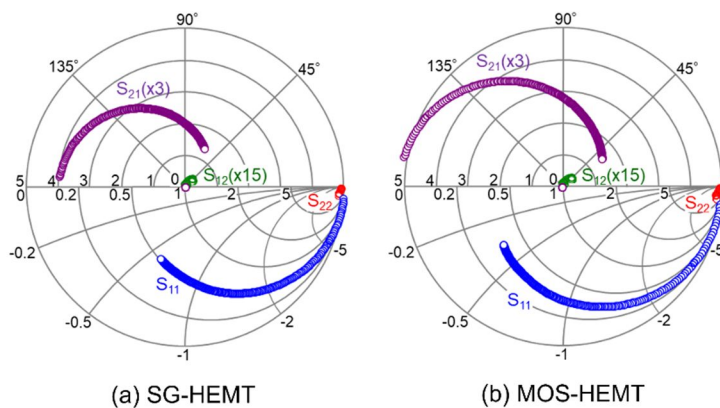


図 4 S パラメータ @  $V_{DS}=45$  V、(a) SG-HEMT, (b) MOS-HEMT

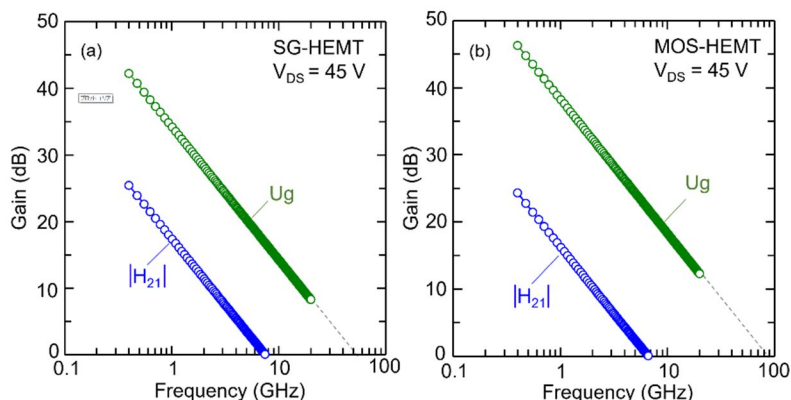


図 5 Mason の最大単方向利得 ( $U_g$ ) と電流利得  $H_{21}$  の周波数依存性  
(a) SG-HEMT, (b) MOS-HEMT

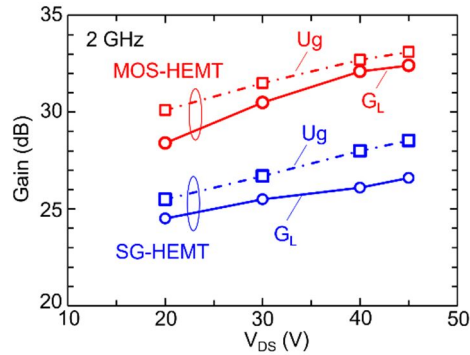


図 6 電力利得のドレイン電圧依存性

本研究では、準ミリ波で 10 W の出力電力を得ることが目標であり、ドレイン電流 1 A/mm とドレインバイアス 50 V を想定した場合、線形の A 級動作において総ゲート幅は 1 mm 以上が望ましい。したがって、ゲートフィンガー長を 100 ~ 150  $\mu\text{m}$  に設定してもフィンガー数は 6 ~ 10 本程度となり、所謂マルチゲートフィンガー構造が必要である。この場合はゲート、ソース、ドレイン各電極の中でどれかの電極を空中(エアブリッジ)配線で形成する必要がある。図 7 に今回設計したエアブリッジ配線と 6 本ゲートフィンガーをもつ高出力 GaN-HEMT のマスク写真と、エアブリッジ部を拡大した SEM 写真を示す。エアブリッジ配線工程では、5  $\mu\text{m}$  厚の厚膜レジストプロセスと Au の電解メッキプロセスを開発することにより、エアブリッジ部を再現性良く形成することに成功した。

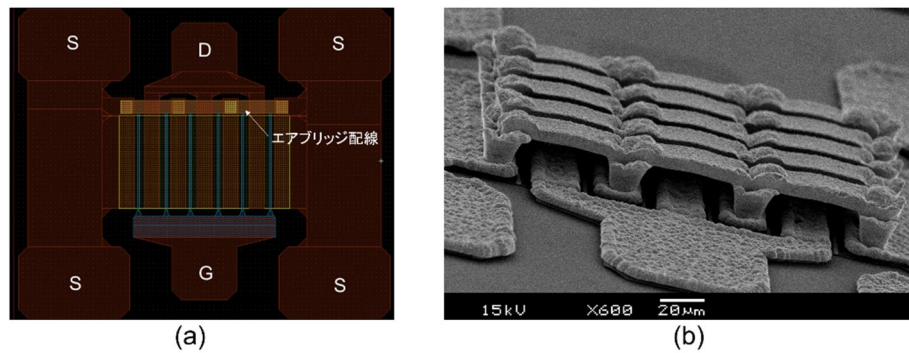


図 7 GaN-HEMT マスク写真(a)とエアブリッジ部の SEM 写真(b)

2 GHz におけるロードプル評価系は本研究の開始時点で構築済みであったが、評価周波数を 1 桁高い 24 GHz に設定するため新たに準ミリ波帯ロードプル評価システムを構築した。まず入力整合回路として電子チューナを導入し、入力側には信号源として電力増幅器を接続した。組み上げたロードプル評価システムの全景写真を図 8 に示す。この入力増幅器の入出力特性を本システムを用いて評価したところ、24 GHz にて利得 43 dB、飽和出力 37 dBm (5 W) を確認した。また、出力整合用の電子チューナの 24 GHz における校正を行った結果、反射係数 0.85 までの出力インピーダンスの範囲で整合可能であることを確認した。エアブリッジ構造の新規 HEMT の試作を完了次第に評価開始が可能である。



図 8 構築した準ミリ波帯ロードプル評価システム

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Joel Tacla Asubar, Shinsaku Kawabata, Hirokuni Tokuda, Akio Yamamoto, and Masaaki Kuzuhara	4. 巻 41
2. 論文標題 Enhancement-Mode AlGaIn/GaN MIS-HEMTs With High VTH and High IDmax Using Recessed-Structure With Regrown AlGaIn Barrier	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Lett.	6. 最初と最後の頁 693-696
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LED.2020.2985091	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 Hirokuni Tokuda, Joel T. Asubar, and Masaaki Kuzuhara	4. 巻 59
2. 論文標題 Design considerations for normally-off operation in Schottky gate p-GaN/AlGaIn/GaN HEMTs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 084002 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/aba329	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 Rui Shan Low, Joel T. Asubar, Ali Baratov, Shunsuke Kamiya, Itsuki Nagase, Shun Urano, Shinsaku Kawabata, Hirokuni Tokuda, Masaaki Kuzuhara, Yusui Nakamura, Kenta Naito, Tomohiro Motoyama, and Zenji Yatabe	4. 巻 14
2. 論文標題 GaN-based MIS-HEMTs with Al2O3 dielectric deposited by low-cost and environmental-friendly mist-CVD technique	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 031004 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/abe19e	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 Akio Yamamoto, Keito Kanatani, Norifumi Yoneda, Joel T. Asubar, Hirokuni Tokuda, and Masaaki Kuzuhara	4. 巻 217
2. 論文標題 Enhancement-Mode AlGaIn/GaN Vertical Trench Metal-Insulator Semiconductor High-Electron-Mobility Transistors with a High Drain Current Fabricated Using the AlGaIn Regrowth Technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi A	6. 最初と最後の頁 1900622 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssa.201900622	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 Tokuda Hirokuni, Harada Sayaka, Asubar Joel T., Kuzuhara Masaaki	4. 巻 58
2. 論文標題 Influence of reactive-ion-etching depth on interface properties in Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /n-GaN MOS diodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 106503 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab3d11	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 A. Jadhav, T. Ozawa, A. Baratov, J. T. Asubar, M. Kuzuhara, A. Wakejima, S. Yamashita, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, S. Roy, and B. Sarkar	4. 巻 68
2. 論文標題 Modified Small Signal Circuit of AlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> MOS-HEMTs Using Rational Functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Electron Devices	6. 最初と最後の頁 6059-6064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TED.2021.3119528	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 該当する

1. 著者名 A. Jadhav, T. Ozawa, A. Baratov, J. T. Asubar, M. Kuzuhara, A. Wakejima, S. Yamashita, M. Deki, Y. Honda, S. Roy, H. Amano, and B. Sarkar	4. 巻 9
2. 論文標題 Generalized Frequency Dependent Small Signal Model for High Frequency Analysis of AlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> MOS-HEMTs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE J. Electron Devices Society	6. 最初と最後の頁 570-581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JEDS.2021.3081463	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 該当する

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Kai C. Herbert, Kazuki Shibata, Joel T. Asubar, Masaaki Kuzuhara
2. 発表標題 Effect of recoil-implanted N atoms on defect formation in Mg-implanted GaN
3. 学会等名 IEEE IMFEDK 2020 Satellite event (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ハーバート 甲斐, 柴田 和樹, ジョエル・アスバル, 葛原 正明
2. 発表標題 GaNへのMgイオン注入におけるN原子の影響
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Itsuki Nagase, Joel T. Asubar, Rui Shan Low, Shun Urano, Hirokuni Tokuda, Akio Yamamoto, Masaaki Kuzuhara
2. 発表標題 Normally-off recessed-gate ZrO <sub>2</sub> /AlGaIn/GaN MIS-HEMTs with regrown AlGaIn barrier
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shun Urano, Joel T. Asubar, Itsuki Nagase, Rui Shan Low, Shunsuke Kamiya, Ali Baratov, Hirokuni Tokuda, Akio Yamamoto, Masaaki Kuzuhara
2. 発表標題 Effect of post-metallization annealing on properties of ZrO <sub>2</sub> /regrown-AlGaIn/GaN structures
3. 学会等名 IEEE IMFEDK 2020 Satellite event (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Itsuki Nagase, Joel T. Asubar, Rui Shan Low, Shun Urano, Shunsuke Kamiya, Ali Baratov, Hirokuni Tokuda, Akio Yamamoto, Masaaki Kuzuhara
2. 発表標題 Improved interfaces of high-k ZrO <sub>2</sub> and AlGaIn via ex-situ MOVPE regrowth
3. 学会等名 IEEE IMFEDK 2020 Satellite event (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 パラトフ アリ, 小澤涉至, 山下隼平, Joel T. Asubar, 徳田 博邦, 葛原 正明
2. 発表標題 AlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> SG-HEMT と比べてMIS-HEMT の優れた高周波特性に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Kawabata, J. T. Asubar, H. Tokuda, A. Yamamoto, and M. Kuzuhara
2. 発表標題 Improved insulator/semiconductor interfaces in Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /AlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> structures by AlGa <sub>N</sub> layer regrowth
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Nishitani, R. Yamaguchi, J. T. Asubar, H. Tokuda, and M. Kuzuhara
2. 発表標題 Improved on-state breakdown characteristics in AlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> MOS-HEMTs with a gate field plate
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. T. Asubar, S. Kawabata, L. R. Shan, H. Tokuda, A. Yamamoto, and M. Kuzuhara
2. 発表標題 Impact of regrown AlGa <sub>N</sub> layer on the properties of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /AlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> metal-insulator-semiconductor structures
3. 学会等名 43rd Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits held in Europe (WOCSDICE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kuzuhara and A. Yamamoto
2 . 発表標題 Vertical GaN MOSFETs with a regrown AlGa <sub>N</sub> barrier layers
3 . 学会等名 EMN Epitaxy 2019, A39, Amsterdam, Netherland (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Aoai, K. Suzuki, A. Tamamoto, J. T. Asubar, H. Tokuda, N. Okada, K. Tadatomo, and M. Kuzuhara
2 . 発表標題 GaN-on-GaN HEMTs with high breakdown critical fields
3 . 学会等名 Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 L. S. Low, S. Kawabata, J. T. Asubar, H. Tokuda, and M. Kuzuhara
2 . 発表標題 Impact of SiN capping during ohmic annealing on performance of GaN-based MIS HEMTs
3 . 学会等名 IEEE IMFEDK 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Baratov, T. Ozawa, J. T. Asubar, H. Tokuda, and M. Kuzuhara
2 . 発表標題 Sub-micron gate fabrication process for AlGa <sub>N</sub> /GaN HEMTs
3 . 学会等名 IEEE IMFEDK 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Kaniya, T. Nishitani, J. T. Asubar, H. Tokuda, and M. Kuzuhara
2 . 発表標題 Study on luminescence and leakage current of AlGaIn/GaN HEMTs biased near off-state breakdown
3 . 学会等名 IEEE IMFEDK 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kuzuhara, J. T. Asubar, and H. Tokuda
2 . 発表標題 High-breakdown voltage GaN HEMTs fabricated on semi-insulating GaN substrates
3 . 学会等名 Proc. SSLCHINA & IFWS 2019 ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kuzuhara and J. T. Asubar
2 . 発表標題 GaN HEMT technology for low-loss and high-voltage applications
3 . 学会等名 2021 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2021) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

〔 図書 〕 計0件

〔 産業財産権 〕

〔 その他 〕

Database of Researchers <a href="http://researchers.kwansei.ac.jp/view?l=ja&amp;u=200001196&amp;sn=7&amp;sm=sdgs&amp;sl=ja&amp;sp=1">http://researchers.kwansei.ac.jp/view?l=ja&amp;u=200001196&amp;sn=7&amp;sm=sdgs&amp;sl=ja&amp;sp=1</a>
--

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	A S U B A R J O E L  (Asubar Joel)  (10574220)	福井大学・学術研究院工学系部門・准教授    (13401)	
研究分担者	分島 彰男  (Wakejima Akio)  (80588575)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授    (13903)	
研究分担者	只友 一行  (Tadatomo Kazuyuki)  (10379927)	山口大学・大学院創成科学研究科・教授    (15501)	

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