

電子線描画技術でT型サブミクロンのゲート構造のダイヤモンド半導体を作製し、世界最高レベルのマイクロ波・ミリ波帯の増幅を達成

国立大学法人佐賀大学、株式会社ダイヤモンドセミコンダクター かすう 嘉数 誠

kasu@cc.saga-u.ac.jp, 090(2202)5638, 0952(28)8648

サハ ニロイ、江口正徳、大石敏之(佐賀大)、富木淳史(JAXA宇宙科学研究所)

- ・究極のパワー半導体物性をもつダイヤモンド半導体
- ・高純度原料を用いたダイヤモンドデバイスを作製し、オフ耐圧4266Vを達成
- ・電子線描画で157ナノメートルのT型ゲート電極のダイヤモンドデバイスを作製
- ・世界最高レベルの120GHzのマイクロ波帯・ミリ波帯での増幅を確認
- ・Beyond5G・6G携帯基地局および衛星用送信デバイスに最適

N. C. Saha, M. Eguchi, T. Oishi, and M. Kasu, “High off-state voltage (4266 V) diamond metal oxide semiconductor field effect transistors”, Journal of Vacuum Science and Technology, B 43, 042201 (2025); DOI: 10.1116/6.0004552

N. C. Saha, M. Eguchi, Y. Muta, T. Oishi, A. Tomiki, and M. Kasu, “High power gain cut-off frequency (f_{MAX}) > 120GHz of a 157 nm T-shaped gated diamond MOSFET with NO₂ p-type doping”, Japanese Journal of Applied Physics 64, 120901 (2025); DOI: [10.35848/1347-4065/ae2172](https://doi.org/10.35848/1347-4065/ae2172)



SAGA University
佐賀大学



DIAMOND
SEMICONDUCTOR

図1. 宇宙やBeyond5G・6Gに向けた半導体の高周波化・高出力化の必要性

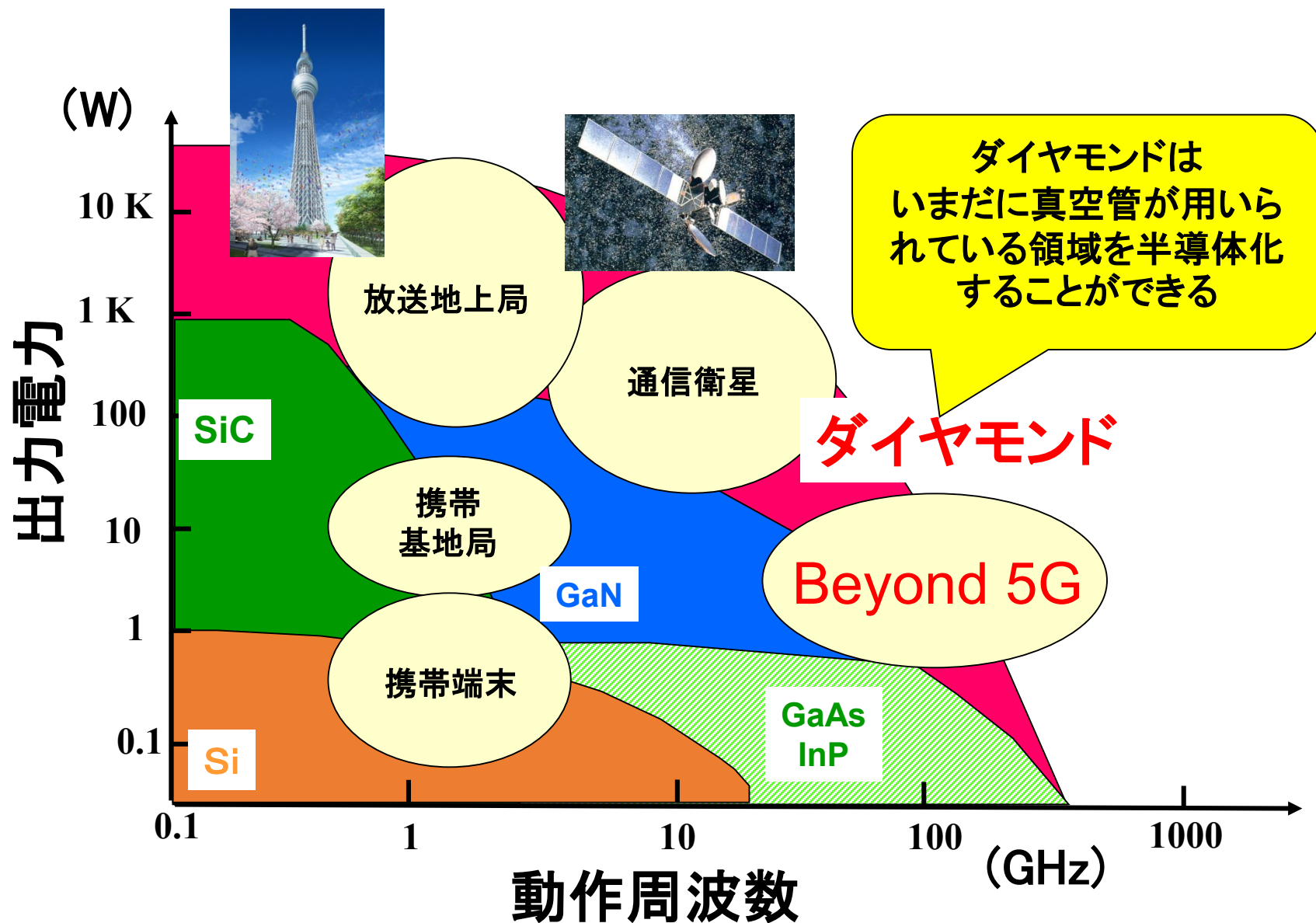
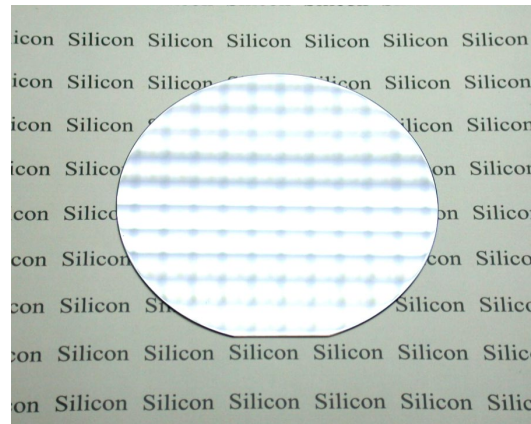


図2. ダイヤモンドの優れた物性から期待されるデバイス性能

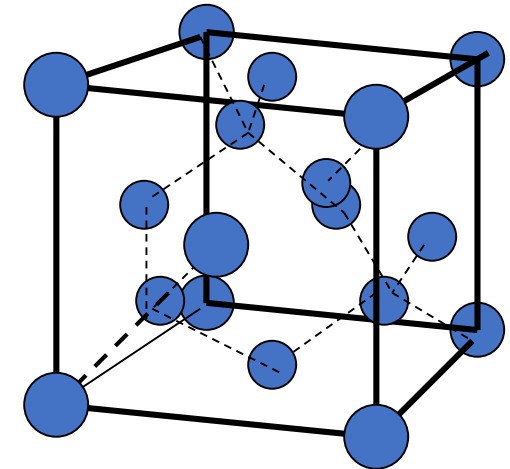
ダイヤモンド



シリコン



ダイヤモンドとシリコン
半導体の結晶構造



| | シリ コン | SiC | GaN | ダイヤ モンド | ダイヤモンド 半導体の特性 |
|-----------|----------|-----|-------|------------|-------------------------|
| バンドギャップ | 1 | 2.9 | 3.0 | 4.9 | 5倍の高温で動作 |
| 絶縁破壊電界強度 | 1 | 9.3 | 16.6 | 33 | 33倍の高電圧で動作 |
| 熱伝導度 | 1 | 3.8 | 1.2 | 17 | 17倍放熱しやすい。温度上昇がない。 |
| バリガ性能指数 | 1 | 580 | 3,800 | 49,000 | 5万倍大電力で高効率のデバイス特性 |
| ジョンソン性能指数 | 1 | 420 | 1,100 | 1,225 | 1,200倍の6G向け高周波パワーデバイス特性 |

図3.技術ポイント(1) 高純度原料を用いダイヤモンド半導体デバイスの オフ耐圧が4266Vに向上

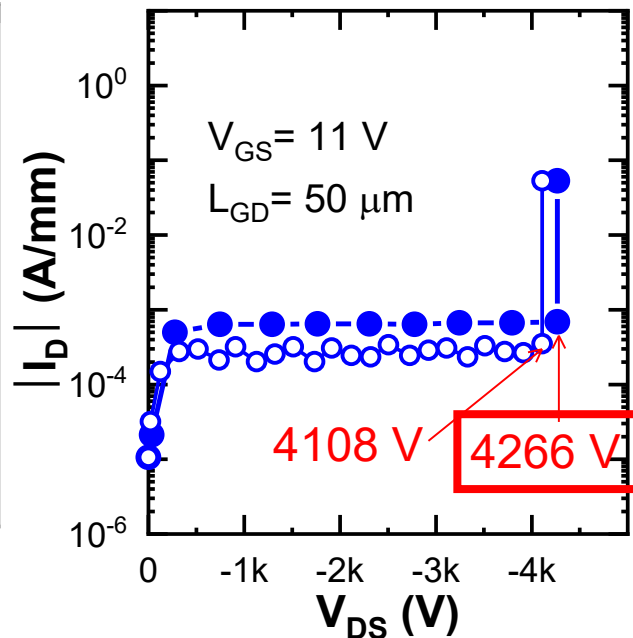
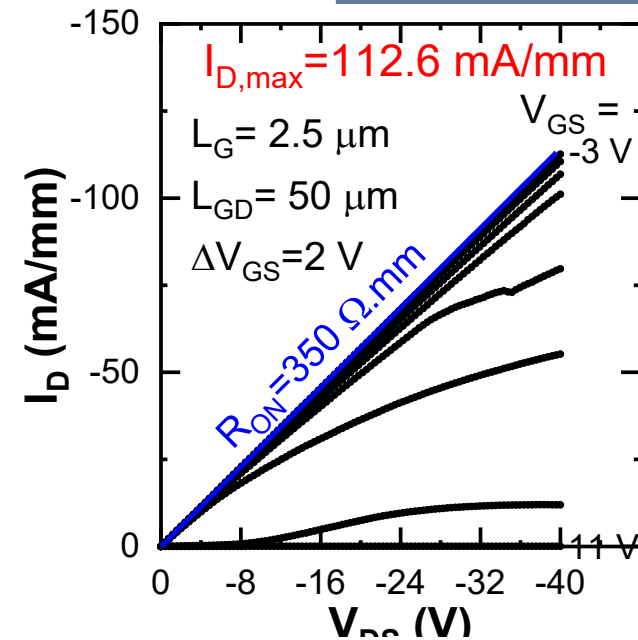
Al₂O₃ゲート酸化膜
(高純度化)

ゲート

ソース

ドレイン

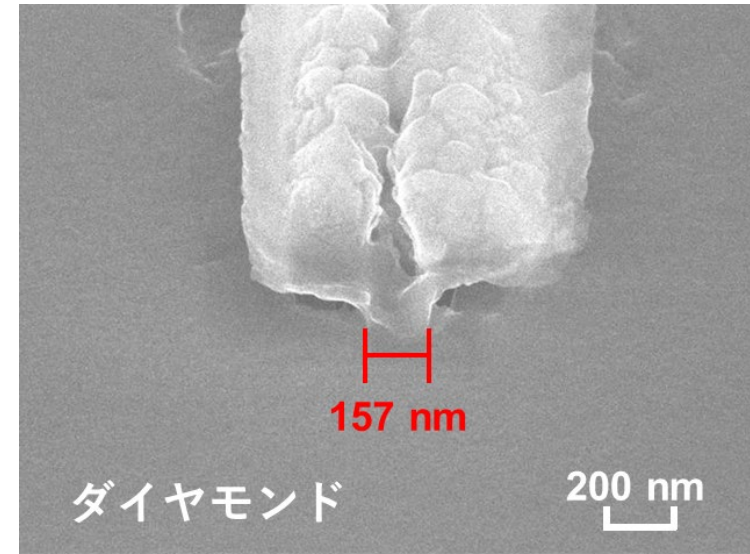
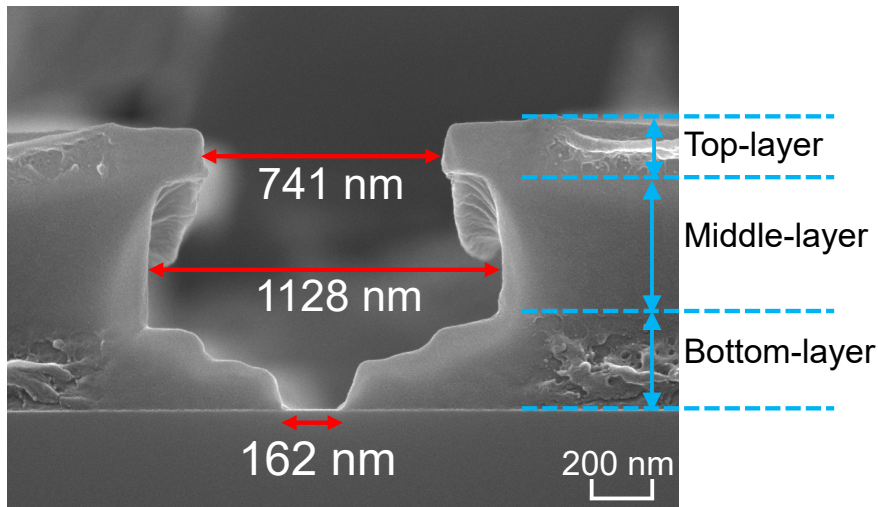
ダイヤモンド



ゲート絶縁膜の原料のトリメチルアルミニウムを高純度化しました。ゲート絶縁膜の耐電圧は向上し、オフ時の耐電圧は4266Vに向上しました。この値は世界最高です。

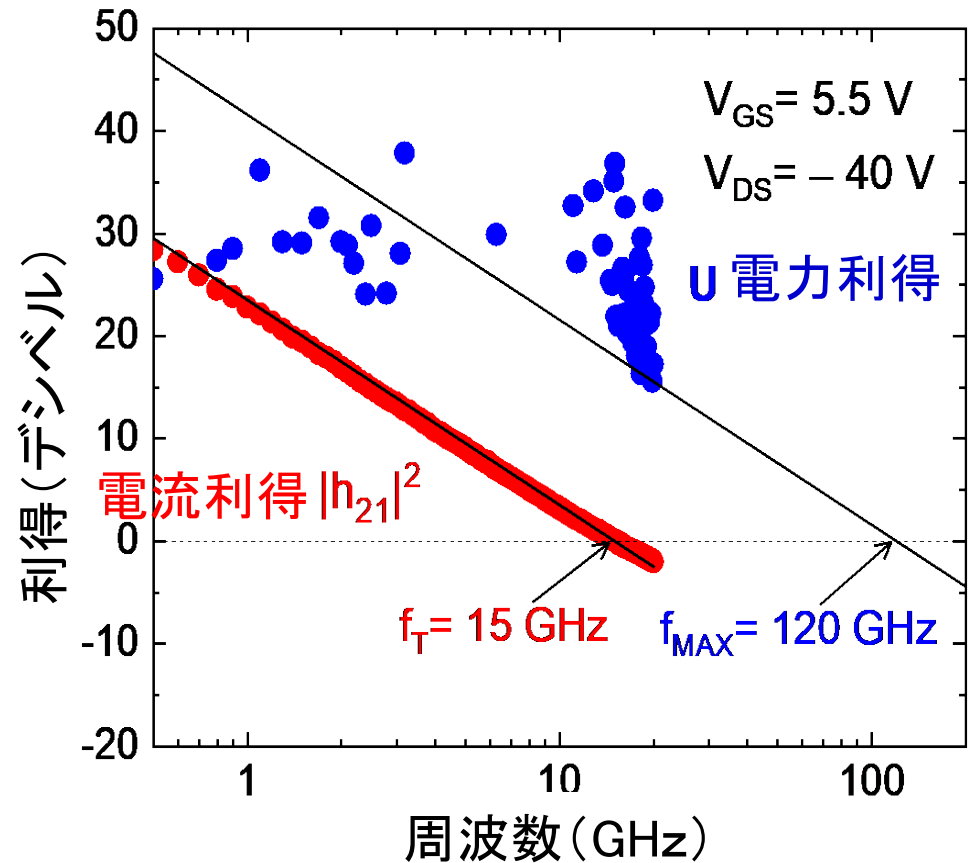
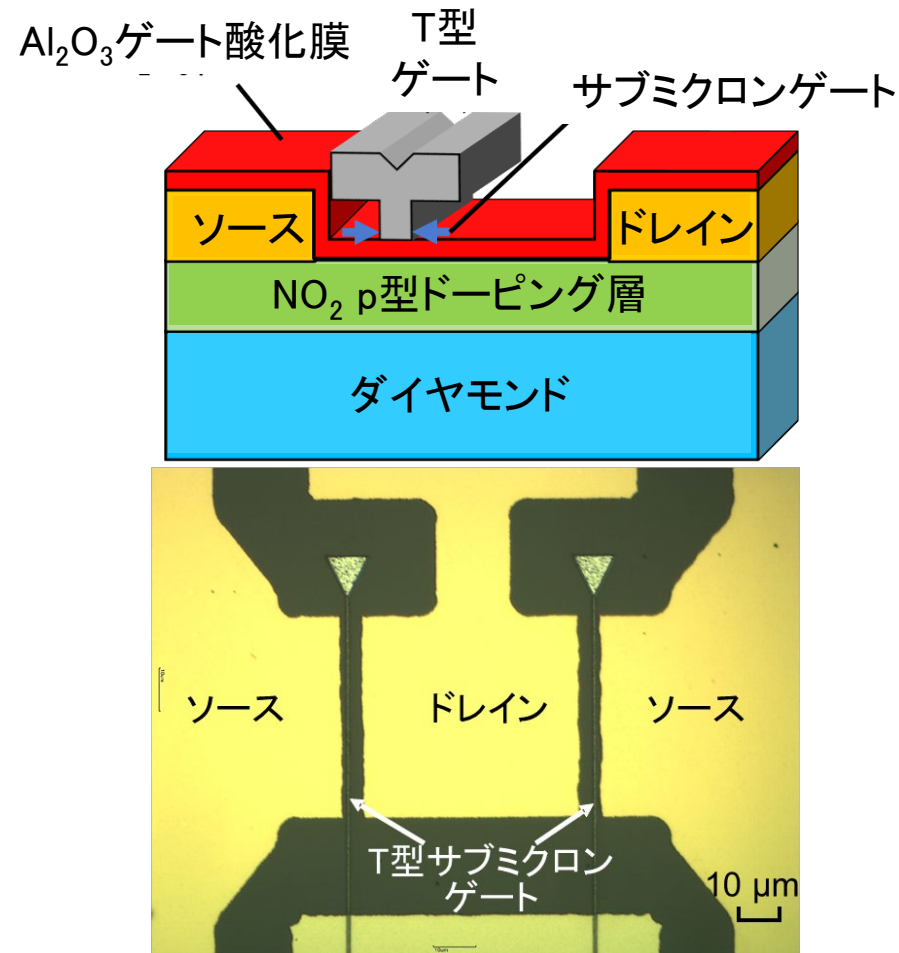


図4.技術ポイント(2) 電子線描画技術で157ナノメートルのT型ゲート電極をもつダイヤモンド半導体デバイスを開発



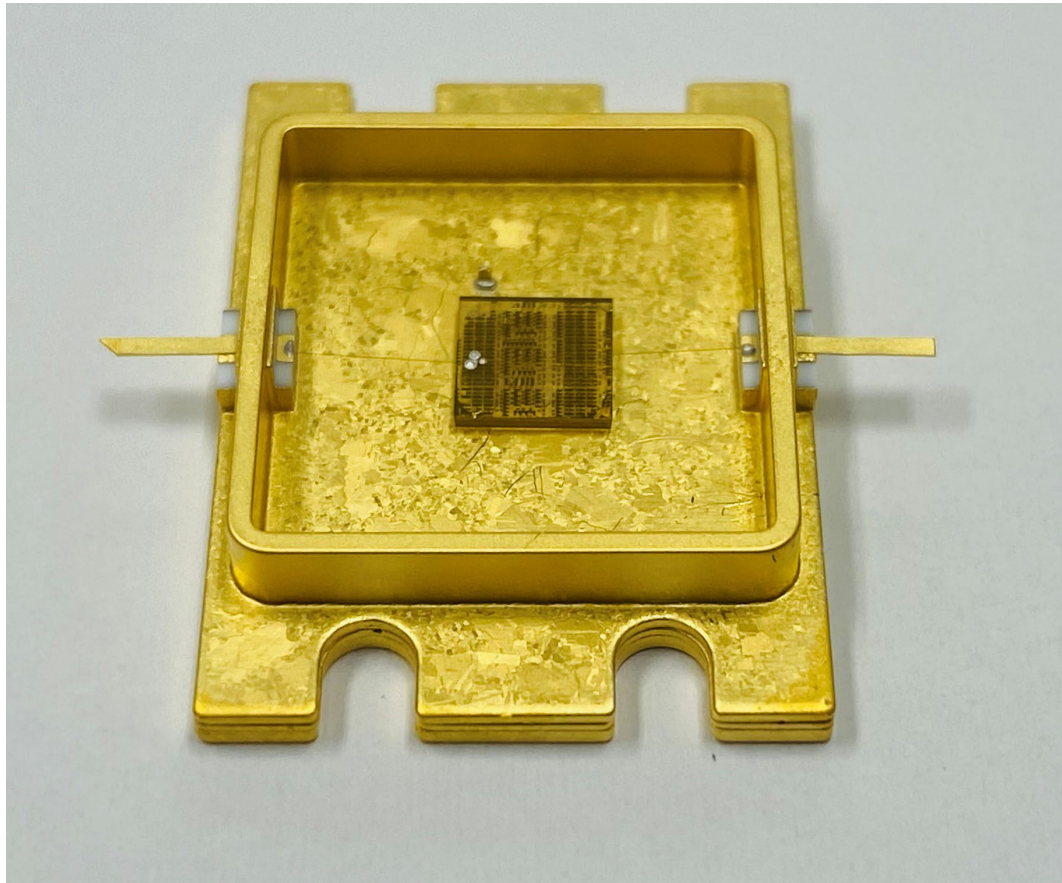
これまでダイヤモンド半導体デバイスは、光線を用いたフォトリソグラフィー技術で作製していました。今回は、電子ビームを用いる電子線描画技術で157ナノメートルの微細なゲート電極を作製することに成功しました。これにより、マイクロ波帯・ミリ波帯で増幅するダイヤモンド半導体の作製が可能になりました。

図5.技術ポイント(3)ダイヤモンド半導体で120GHzの電力増幅利得の遮断周波数で動作



開発したダイヤモンド半導体の電力利得を測定したところ、遮断周波数が120GHzになりました。これはマイクロ波帯・ミリ波帯域でダイヤモンド半導体が電力動作可能であることを示しています。

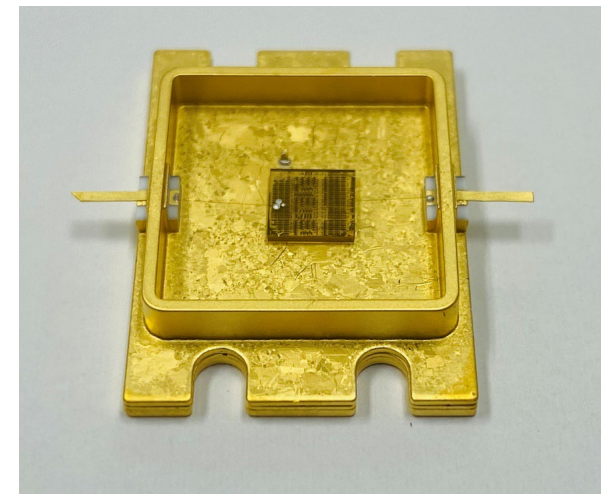
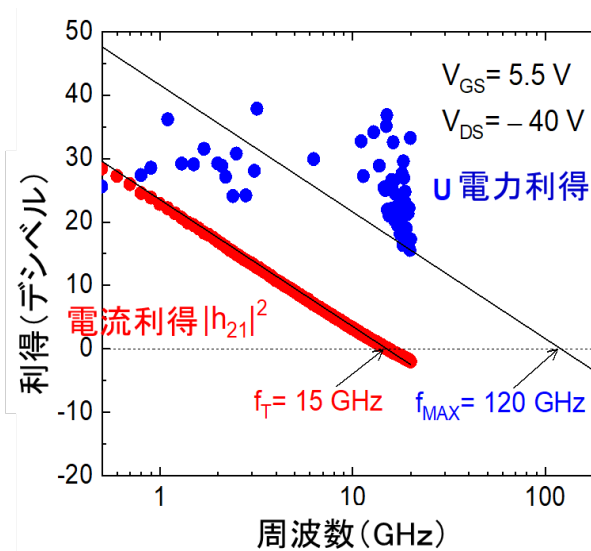
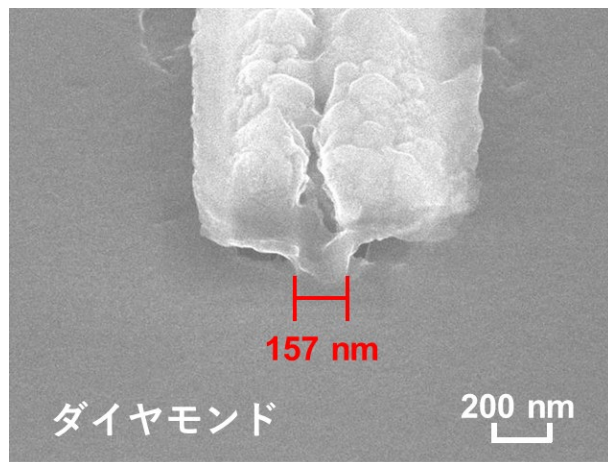
図6.技術ポイント(4)ワイヤーボンディング、パッケージングなど ダイヤモンド半導体後工程技術を開発



ダイヤモンドは非常に堅牢な材料のため、シリコンのような従来の半導体と異なり、加工が極めて困難です。我々は、ダイヤモンド半導体の独自のワイヤーボンディングやパッケージングなどの後工程技術を開発しました。これにより、一気に社会実装化が近づきました。

まとめ

- ・究極のパワー半導体物性をもつダイヤモンド半導体
- ・高純度原料を用いたダイヤモンドデバイスを作製し、オフ耐圧4266Vを達成
- ・電子線描画で157ナノメートルのT型ゲート電極のダイヤモンドデバイスを作製
- ・世界最高レベルの120GHzのマイクロ波帯・ミリ波帯での増幅を確認
- ・Beyond5G・6G携帯基地局および衛星用送信デバイスに最適



今後の展開

- ダイヤモンド半導体デバイスのボンディング、パッケージングなどの後工程技術の開発を進めてまいります。
- 宇宙環境、地上でのマイクロ波帯・ミリ波帯無線機器での動作実証に向けた研究開発を行い、ダイヤモンド半導体のBeyond5G・6G、衛星通信の応用に向けた社会実装化を進めてまいります。
- 2026年1月より、世界初となるダイヤモンド半導体デバイスのサンプル製造・販売を開始いたします。



High off-state voltage (4266 V) diamond metal oxide semiconductor field effect transistors

Cite as: J. Vac. Sci. Technol. B **43**, 042201 (2025); doi: [10.1116/6.0004552](https://doi.org/10.1116/6.0004552)
Submitted: 6 March 2025 · Accepted: 5 May 2025 ·
Published Online: 27 May 2025



Niloy Chandra Saha,^{1,a)} Masanori Eguchi,² Toshiyuki Oishi,¹ and Makoto Kasu^{1,b)}

AFFILIATIONS

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Saga University, Saga 840-8502, Japan
²Synchrotron Light Application Center, Saga University, Saga 840-8502, Japan

^{a)}Electronic mail: sw1632@cc.saga-u.ac.jp

^{b)}Electronic mail: kasu@cc.saga-u.ac.jp

ABSTRACT

In this study, diamond metal-oxide semiconductor field-effect transistors (MOSFETs) with NO₂ p-type doping and Al₂O₃ passivation layer having a gate-to-drain length of 50 μm showed a record high off-state breakdown voltage of 4266 V. A MOSFET with a gate-to-drain length of 11.5 μm exhibited a maximum drain current density of 409 mA/mm with a low on-resistance of 80.3 Ω-mm and a maximum available power density (Baliga's figure of merit) of 162 MW/cm². Furthermore, the subthreshold swing was determined to be 227 mV/dec with a corresponding interfacial states density of $7.07 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. This study explores the feasibility of diamond MOSFETs in withstanding high off-state voltage for prospective applications in power electronics.

Published under an exclusive license by the AVS. <https://doi.org/10.1116/6.0004552>

1. INTRODUCTION

established technologies in the fabrication of diamond metal-oxide semiconductor field-effect transistors (MOSFETs) with NO₂ p-type

High power gain cut-off frequency (f_{MAX}) > 120 GHz of a 157 nm T-shaped gated diamond MOSFET with NO₂ p-type doping

Niloy Chandra Saha^{1,a)}, Masanori Eguchi², Yoshiaki Muta¹, Toshiyuki Oishi¹, Atsushi Tomiki³, and Makoto Kasu^{1,4*}

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Saga University, Saga 840-8502, Japan

²Synchrotron Light Application Center, Saga University, Saga 840-8502, Japan

³Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, Sagamihara 252-5210, Japan

⁴Diamond Semiconductor Co., Ltd., Saga 840-8502, Japan

*E-mail: sw1632@cc.saga-u.ac.jp; kasu@cc.saga-u.ac.jp

Received August 28, 2025; revised October 22, 2025; accepted November 19, 2025; published online December 3, 2025

We demonstrated a high-power gain cut-off frequency (f_{MAX}) of 120 GHz for a 157 nm T-shaped submicron-gated diamond metal-oxide-semiconductor field-effect-transistor (MOSFET). The MOSFET was fabricated on a high-quality crystal with NO₂ p-type doping and an Al₂O₃ passivation layer. The MOSFET exhibited high drain current (553 mA mm⁻¹) and was capable of operating at high drain voltages. The f_{MAX} values were observed to be increased with the drain bias from ~10 to ~40 V. The current gain cut-off frequency (f_t) was 15 GHz. A f_{MAX}/f_t ratio of 8 was obtained, which is an excellent feature of the diamond MOSFET and preferred for radio frequency power device applications, such as space satellite or RADAR. © 2025 The Japan Society of Applied Physics. All rights, including for text and data mining, AI training, and similar technologies, are reserved.

Diamond is an ultrawide bandgap semiconductor with a bandgap energy of 5.47 eV possesses potential electronic properties, such as high electric breakdown field of $>10 \text{ MV cm}^{-1}$,^{1,2)} and electron and hole mobilities of 4500 and 3800 cm² V⁻¹ s⁻¹, respectively,³⁾ which enable diamond devices for radio frequency (RF) power amplification for micrometer wave (0.3–30 GHz) and millimeter wave (30–300 GHz) range applications, such as space satellite and RADAR. Diamond also possesses high thermal conductivity of 22 W cm⁻¹ K⁻¹,⁴⁾ indicating high heat dissipation capability, which is important for RF power devices.

Diamond field-effect-transistors exhibited potential RF characteristics, such as maximum transition frequency (f_{MAX})

RF power amplifications in microwave and millimeter wave range applications. The MOSFETs demonstrated excellent high-frequency operation with a f_{MAX} of 120 GHz at a high drain bias of ~40 V. The diamond MOSFET exhibited a high f_{MAX}/f_t ratio, operating at a high drain bias, indicating high RF power amplification capability at high frequencies, which is preferable for RF power devices.

Figure 1(a) shows the schematic cross-section of the diamond MOSFET. High quality chemical vapor deposited (CVD) diamond (001) layer, supplied by Element Six, was used as the substrate. The dimension of the diamond substrate was $4.5 \times 4.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$. The diamond surface roughness was ~5 nm. The residual boron and nitrogen concentrations were <1 and $<1 \text{ ppb}$ respectively. Prior to

N. C. Saha, M. Eguchi, Y. Muta, T. Oishi, A. Tomiki, and M. Kasu,
“High power gain cut-off frequency (f_{MAX}) > 120GHz of a 157 nm T-shaped gated diamond MOSFET with NO₂ p-type doping”,
Japanese Journal of Applied Physics **64**, 120901 (2025);
DOI: [10.35848/1347-4065/ae2172](https://doi.org/10.35848/1347-4065/ae2172)

補足説明 その他のダイヤモンド半導体の用途

【制御用パワー半導体】



- スイッチングが早く滑らかに運転制御
- 放熱性が高く小型化、軽量化

(出所：川辺謙一、燃料電池自動車のメカニズム)

【送電用パワー半導体】



- 電圧等の変換ロス少なく高効率
- 高電圧、大電流に対応

(出所：岩本晃一、洋上風力発電)

【6G】



- 高出力、高周波で通信高速化
- 放熱性が高く小型化、省エネ化

(出所：テック&サイエンス)

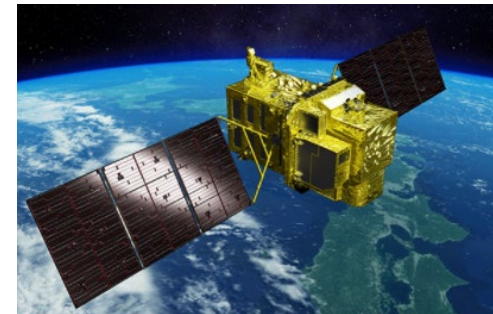
【量子コンピュータ】



- 高出力、高周波で演算が高速化
- 放熱性が高く省エネ化

(出所：Googleの量子コンピュータD-Wave)

【航空・宇宙】



- 高出力、高周波で演算が高速化
- 放熱性が高く小型化、省エネ化

(出所：JAXAだいち3号HP)