

News Release



令和8年9月18日

各報道機関文教担当記者 様

世界初！トレンチ型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET の動作実証に成功

— 省エネルギーの鍵となる超低損失パワーデバイス実現への道を拓く —

金沢大学ダイヤモンド研究センターの徳田規夫教授、大学院自然科学研究科電子情報科学専攻博士後期課程の中村勇斗らの研究グループは、国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研）先進パワーエレクトロニクス研究センター ダイヤモンドデバイス研究チームの長井雅嗣研究員らとの共同研究により、**世界で初めて、トレンチ型（※1）反転層チャネルダイヤモンド MOSFET（※2）の動作実証に成功**しました。

本成果は、これまで実現されていた横型（※3）反転層チャネルダイヤモンド MOSFET から、プレーナ型（※4）を経ることなく、最も低損失なトレンチ型へと一足飛びに到達したものです。また、プレーナ型とトレンチ型はいずれも縦型構造であることから、反転層チャネルを備えた縦型ダイヤモンド MOSFET の世界初の動作実証となります。

カーボンニュートラルの実現に向けて、省エネルギー技術の重要性が高まっています。ダイヤモンドは、その卓越した物性により、超低損失パワーデバイスを実現可能な「究極の半導体材料」として期待されています。特に、トレンチ型ダイヤモンド MOSFET は、低損失パワーデバイスの究極形の一つとされ、その実用化に向けた研究開発が精力的に進められてきました。しかし、これまで報告されてきたトレンチ型ダイヤモンド MOSFET は、その原理上、パワーデバイスに要求されるノーマリーオフ（※5）動作を安定して実現することが課題となっていました。

そこで本研究グループは、原理的にノーマリーオフ特性を実現できる横型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET の作製技術と、水蒸気雰囲気下におけるニッケル（Ni）への炭素固溶反応（※6）を用いた独自の結晶異方性（※7）ダイヤモンドエッチング技術を組み合わせました。これにより、トレンチ型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET を作製し、その動作実証に成功しました。作製したデバイスは、室温だけでなく 300℃の高温環境下でも明瞭な FET 特性（※8）を示し、パワーデバイスの安全性の観点から重要なノーマリーオフ動作を実現できることを確認しました。

今後は、本研究で得られた知見をもとにデバイス構造の最適化を進め、さらなる低損失化を目指します。将来的には、**電気自動車（EV）や電力網への搭載を通じて、カーボンニュートラルの実現に貢献することが期待されます。**

本研究成果は、2026年9月4日に国際学術雑誌『Diamond and Related Materials』のオンライン版に掲載、9月10日に正式掲載されました。

【研究の背景】

カーボンニュートラルの実現に向けて、省エネルギーの重要性が高まっています。こうした中、電力変換時に生じるエネルギー損失を極限まで低減できる超低損失パワーデバイスの実現が望まれています。ダイヤモンドは、高い絶縁破壊電界（※9）、キャリア移動度（※10）、熱伝導率を有することから、超低損失パワーデバイスを実現可能な「究極の半導体材料」として期待されています。特に「トレンチ型ダイヤモンド MOSFET」は、低損失パワーデバイスの究極形の一つと考えられており、その実用化に向けた研究開発が精力的に進められてきました。

しかし、これまでに報告されてきたトレンチ型ダイヤモンド MOSFET は、その原理上、パワーデバイスに要求されるノーマリーオフ動作を安定して実現することが課題でした。この課題を解決する方法として、安定なノーマリーオフ動作としきい値制御（※11）が可能な「反転層」をチャンネルに用いた「トレンチ型反転層チャンネルダイヤモンド MOSFET」の実用化が期待されてきました。一方で、反転層を形成可能なダイヤモンド表面は、結晶の{111}面に限られていましたが、従来のトレンチ形成手法では{111}側壁を備えたトレンチを十分な品質で形成することが困難でした。このため、トレンチ型反転層チャンネルダイヤモンド MOSFET の動作実証は、これまで実現されていませんでした。

【研究成果の概要】

本研究では、当研究グループが有するダイヤモンド(111)面上への反転層チャンネル MOSFET 作製技術と、水蒸気雰囲気中での Ni への炭素固溶反応を利用した結晶異方性ダイヤモンドエッチング技術とを組み合わせ、新たなトレンチ型反転層チャンネル MOSFET の作製プロセスを開発し、世界で初めてその動作実証に成功しました（図 1）。

開発した結晶異方性エッチング技術では、ダイヤモンド(100)面上に、{111}面を側壁とする逆ピラミッド型のトレンチを形成できます。本研究により、この手法で形成したトレンチ側壁が反転層チャンネルとして利用可能であることを実証しました。さらに、作製したデバイスは、室温だけでなく 300℃の高温環境下においても明瞭な FET 特性とノーマリーオフ特性を示すことが確認されました（図 2）。

【今後の展開】

本研究成果は、パワーデバイスにおいてフェイルセーフ（※5）の観点から安全とされるノーマリーオフ特性を備えた、新たなトレンチ型ダイヤモンド MOSFET の可能性を切り拓くものです。今後は、デバイス構造の最適化を進めることで、さらなる低損失化を目指します。将来的には、電気自動車（EV）や電力網への搭載を通じて省エネルギー化を達成し、カーボンニュートラル社会の実現に貢献することが期待されます。

本研究の一部は、NEDO（JPNP14004）、日本学術振興会 地域中核・特色ある研究大学強化促進事業（J-PEAKS、JPJS00420230006）、JSPS 科研費（JP25K17954）、JST 創発的研究支援事業（FOREST、JPMJFR20353078）の支援を受けて実施されました。

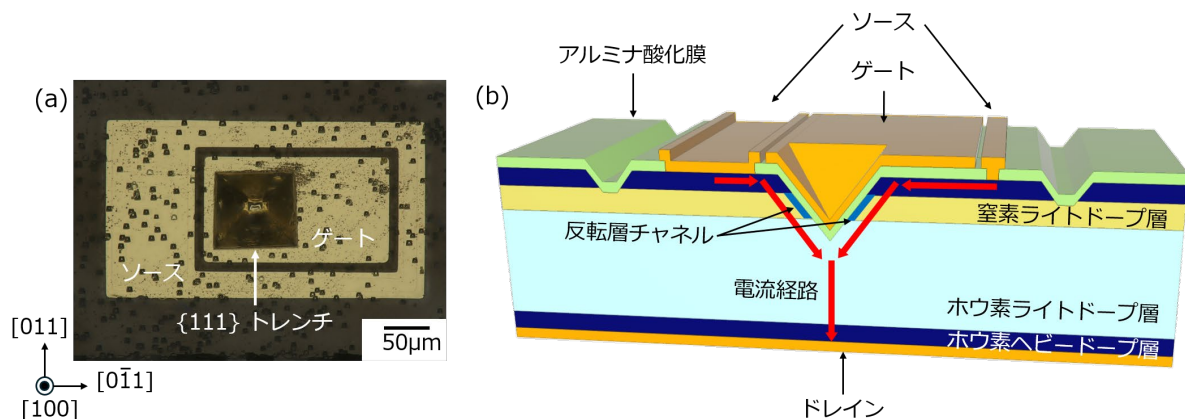


図 1. (a) トレンチ型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET の上面図 (b) トレンチ型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET の断面模式図

Y. Nakamura, M. Nagai et al., *Diamond and Related Materials* (2026), CC BY 4.0 に基づき改変

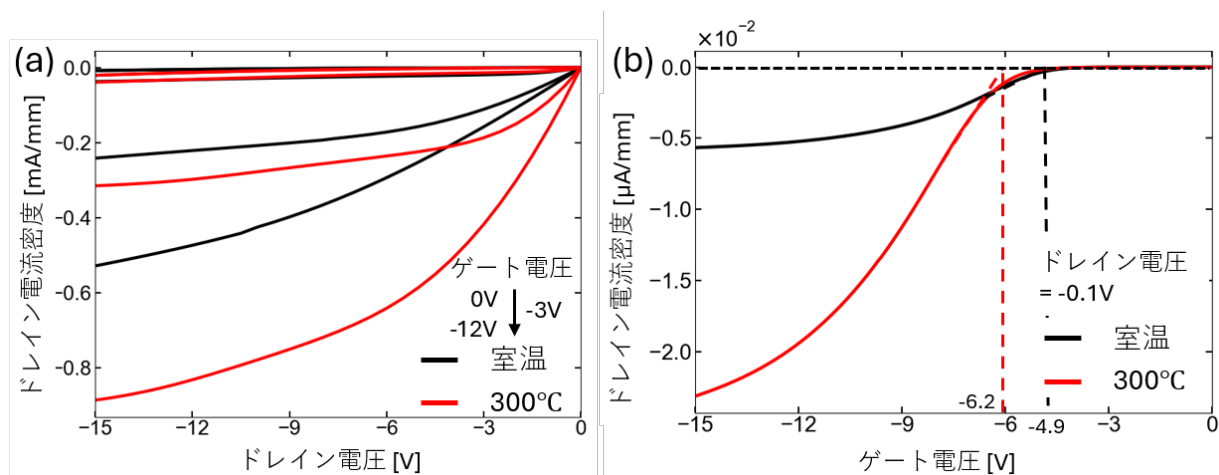


図 2. トレンチ型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET の室温および 300°Cにおける電気的特性 (a) ドレイン電流密度-ドレイン電圧特性 (b) ドレイン電流-ゲート電圧特性

Y. Nakamura, M. Nagai et al., *Diamond and Related Materials* (2026), CC BY 4.0 に基づき改変

【掲載論文】

雑誌名 : *Diamond and related materials*

論文名 : Trench-type inversion-channel diamond MOSFET enabled by thermochemical etching based on C solid solution into Ni (ニッケルへの炭素固溶を用いた熱化学エッチングにより実現したトレンチ型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET)

著者名：Yuto Nakamura※, Masatsugu Nagai※, Kazuki Kobayashi, Kan Hayashi, Kimiyoshi Ichikawa, Tsubasa Matsumoto, Takao Inokuma, Satoshi Yamasaki, Toshiharu Makino, Norio Tokuda（中村 勇斗※、長井 雅嗣※、小林 和樹、林 寛、市川 公善、松本 翼、猪熊 孝夫、山崎 聡、牧野 俊晴、徳田 規夫）

※中村 勇斗と長井 雅嗣は共に筆頭著者であり、本研究に対し同等の貢献をした。

掲載日時：2026 年 9 月 10 日に掲載。

DOI：10.1016/j.diamond.2026.114141.

URL：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925963526008526>

【用語解説】

※1 トレンチ型

半導体に溝（トレンチ）や窪みを設け、その側壁を開閉可能な電流の通り道（チャンネル）として用いる MOSFET（金属-酸化膜-半導体構造を持つ電界効果トランジスタ。ゲートに加える電圧で電流のオン・オフを制御する素子）の構造の一つ。電流を基板の垂直方向に流す「縦型」に分類され、チャンネルをトレンチ側壁（縦方向）に形成することで、単位面積あたりのチャンネル密度を高められる。加えて、「JFET 抵抗」と呼ばれる損失成分も生じない。これによりオン抵抗を低く抑えられ、低損失化に最も有利な MOSFET 構造とされる。なお、「トレンチ」は本来「溝」を意味する言葉だが、半導体分野では、こうした窪み状の構造も含めて慣習的にトレンチと呼ぶことがある。

※2 反転層チャンネルダイヤモンド MOSFET

MOSFET（※1）のうち、チャンネルとして反転層を利用するダイヤモンドデバイスのこと。反転層とは、ゲート電圧により、ゲート直下の半導体に少数存在するキャリア（電流の運び手）が半導体表面に集められてできる導電性の層である。一般的な MOSFET の動作原理であり、ゲートに電圧を加えていないときには電流が流れない（この特性を後述のノーマリーオフという。※5）。

※3 横型

電流を基板の水平方向に流す MOSFET の構造のこと。構造が単純で作りやすい一方、高い電圧に耐えられるようにすると、素子の面積あたりの抵抗（オン抵抗）が急激に増大してしまう。このため、高電圧・大電力を扱うパワーデバイスには向かない。

※4 プレーナ型

電流を基板の垂直方向に流す「縦型」の MOSFET 構造の一つで、チャンネルをトレンチ側壁ではなく平らな基板表面に設けたもの。横型（※3）より高電圧・大電力を扱える。ただしトレンチ型（※1）と比べると、構造上「JFET 抵抗」と呼ばれる損失成分が生じるうえ、チャンネル形成領域が基板表面に限られるためチャンネル密度も高めにくい。この2つの要因からオン抵抗が大きくなり、省エネルギー性で劣る。

※5 ノーマリーオフ

ゲートに電圧を加えていないときには電流が流れず、電圧を加えて初めて電流が流れる特性。反対に、電圧を加えなくても電流が流れる特性を「ノーマリーオン」という。ノーマリーオフは、停電やシステムの異常時に自動で電流を遮断して安全に停止できる（フェイルセーフの）ため、パワーデバイスに不可欠な特性とされる。

※6 炭素固溶反応

ある固体が別の固体の内部に、原子のレベルで溶け込む現象を「固溶」という。炭素固溶反応は、そのうち炭素が別の固体（本研究ではニッケル）へ溶け込む反応を指す。本研究では、高温の水蒸気雰囲気下でこの反応を利用し、ダイヤモンド表面の炭素をニッケルへ溶け込ませることで、薬品やプラズマを使わずにダイヤモンドを部分的に削り取った（エッチングした）。

※7 結晶異方性

原子が規則正しく並んだ構造（結晶）が、その方向（結晶方位）によって異なる性質を示すこと。本研究では、ダイヤモンドの{111}面でエッチングが極端に遅くなる性質を指す。この性質により、他の面が優先的に削られて{111}面が側壁として残るため、{111}面を側壁とするトレンチを形成できる。なお、結晶面や結晶方位は、結晶面を区別する数字の組み合わせと括弧を用いて表される。例えば、(111)は特定の結晶面、{111}は(111)と等価な結晶面の全て、[111]は(111)に垂直な方向を意味する。

※8 FET 特性

電界効果トランジスタ（FET）が正常に動作していることを示す電氣的な特性。具体的には、ゲートに加える電圧により素子を通る電流（ドレイン電流）の大きさを制御できることや、ドレイン電圧の増加に伴いドレイン電流が増加し、一定電圧以上で飽和することなどを指す。

※9 絶縁破壊電界

物質が電氣的な絶縁を保てる電界（単位長さあたりにかかる電圧）の上限。この値が大きい材料ほど、薄い層でも高い電圧に耐えることが可能であり、小型で低損失なパワーデバイスを実現できる。ダイヤモンドはこの値がシリコン（現在主流の材料）に対して格段に大きく、パワー半導体材料として優れている。

※10 キャリア移動度

半導体の中で、電流の運び手となるキャリア（※2）が、加えられた電界に応じてどれだけ速く動けるかを表す値。この値が大きいほど電流が流れやすく、抵抗による損失（オン抵抗）を小さく抑えられる。

※11 しきい値制御

チャネル（※1）が形成され始めるゲート電圧（しきい値電圧）を、狙いどおりの値に設計・調整すること。しきい値を適切に設定することで、確実なノーマリーオフ（※5）動作と誤作動の防止を両立でき、パワーデバイスの安全で安定した動作につながる。

【本件に関するお問い合わせ先】

■研究内容に関すること

金沢大学ダイヤモンド研究センター 教授

徳田 規夫（とくだ のりお）

TEL : 076-234-4875

E-mail : tokuda@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

■広報担当

金沢大学 理工系事務部総務課総務係

割出 智美（わりだし ともみ）

TEL : 076-234-6957

E-mail: s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp

産業技術総合研究所ブランディング・広報部報道室

E-mail : hodo-ml@aist.go.jp