

マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書

ARIM User's Report

[Release : 2025.06.10] [Update : 2025.04.10]

課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	24WS0072
利用課題名 Title	インバータ応用に向けた縦型ダイヤモンドMOSFETの開発
利用した実施機関 Support Institute	早稲田大学 / Waseda Univ.
機関外・機関内の利用 External or Internal Use	内部利用 (ARIM事業参画者以外) / Internal Use (by non ARIM members)
ARIM半導体基盤PF 関連課題 Related to ARIM-SETI	指定なし / No Designation
横断技術領域 Cross-Technology Area	加工・デバイスプロセス/Nanofabrication 計測・分析/Advanced Characterization
重要技術領域 Important Technology Area	革新的なエネルギー変換を可能とするマテリアル/Materials enabling innovative energy conversion 高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル/Materials allowing high-level device functions to be performed
キーワード Keywords	縦型ダイヤモンドMOSFET,ALD,CVD,リソグラフィ/ Lithography,膜加工・エッチング/ Film processing/etching,電子顕微鏡/ Electronic microscope,赤外・可視・紫外分光/ Infrared/visible/ultraviolet spectroscopy,エリプソメトリ/Ellipsometry,ワイドギャップ半導体/ Wide gap semiconductor,パワーエレクトロニクス/ Power electronics,エレクトロデバイス/ Electronic device

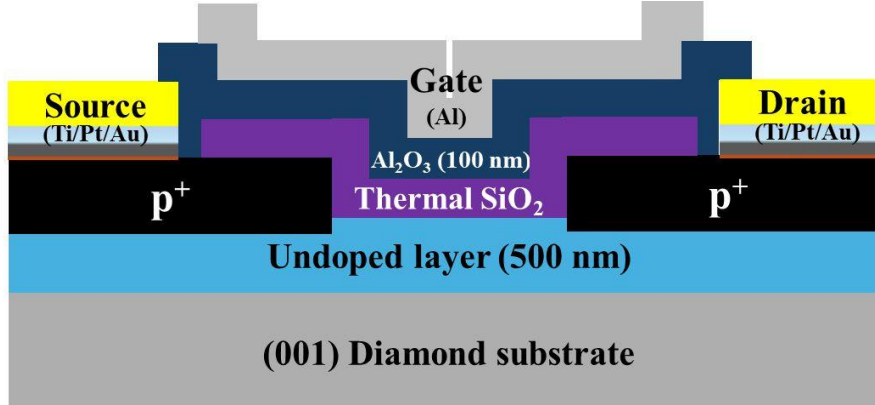
利用者と利用形態 / User and Support Type

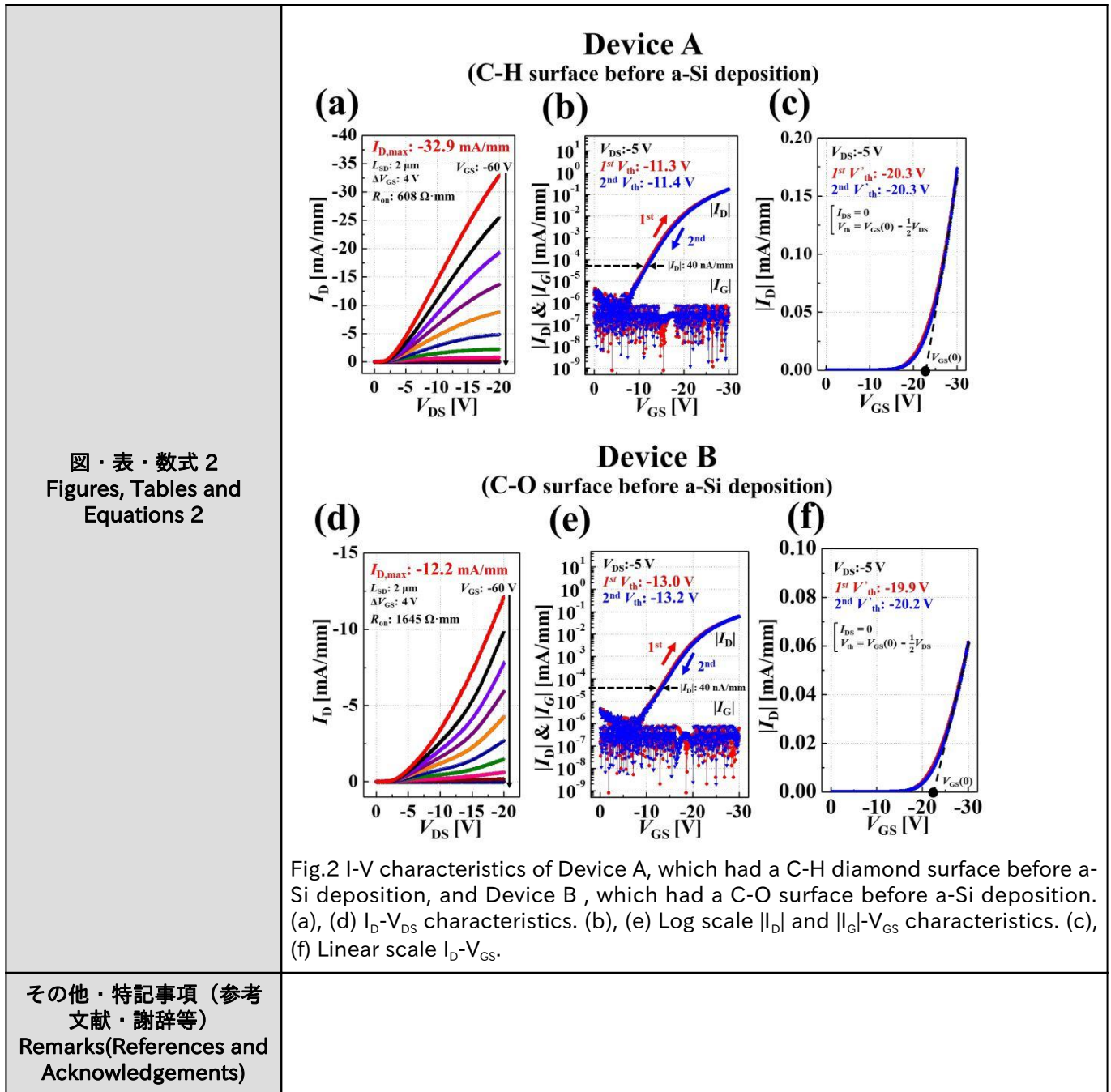
利用者名 (課題申請者) User Name (Project Applicant)	成田 憲人
所属名 Affiliation	早稲田大学 基幹理工学研究科 電子物理システム学専攻
共同利用者氏名 Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes	太田 康介,山本 稜将,雨堤 耕史,大井 信敬,河合 空
ARIM実施機関支援担当者 Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes	
利用形態 Support Type	機器利用/Equipment Utilization

利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

利用した主な設備 Equipment ID & Name	WS-004 : 原子層堆積装置 WS-007 : ICP-RIE装置 WS-012 : 電界放出型 走査電子顕微鏡 WS-016 : レーザー直接描画装置 WS-022 : 高耐圧デバイス測定装置+ 高耐圧プローバ
---------------------------------	--

報告書データ / Report

概要 (目的・用途・実施内容) Abstract (Aim, Use Applications and Contents)	カーボンニュートラル実現へ、パワーエレクトロニクスのコア技術となるパワーデバイスの高性能化が求められている。そこでバンドギャップ:5.47 eV、破壊電界:10 MV/cm、比誘電率:5.7、熱伝導率: 22 W/cm K, ホールチャネル移動度: 700 cm ² /Vs と優秀な物性値を持つダイヤモンドのパワーデバイス応用が注目されている。ダイヤモンドパワーMOSFETでは、トレンチ側壁を利用した縦型構造デバイスにより集積化、高耐圧化を達成してきた。そこで本研究では、ダイヤモンドパワーデバイスにおいて更なる電気安定性を求め、パワーデバイスにおいて最も広く用いられている熱酸化によるSiO ₂ ゲート絶縁膜を用いた横型ダイヤモンドMOSFETの開発を行った。熱酸化SiO ₂ /ダイヤモンドMOSFETの開発が初の試みだったため、本研究では横型構造での作製を行った。
実験 Experimental	デバイス作製の際にレーザー直接描画装置 (WS-016) を用いて電極領域選択エッチングや電極の微細パターンを作成し、ICP-RIE装置 (WS-007) を用いて電極領域選択エッチングを行った。また原子層堆積装置 (WS-004) を用いてAl ₂ O ₃ を成膜した。また電界放出型走査電子顕微鏡 (WS-012) を用いてエッチング面の評価し、高性能分光エリプソメータ (WS-026) を用いてSi膜の酸化レートを評価、作製したデバイスのDC測定を高耐圧デバイス測定装置+高耐圧プローバ (WS-022) にて行った。
結果と考察 Results and Discussion	作製した熱酸化SiO ₂ ゲート絶縁膜を持つ横型ダイヤモンドMOSFETの断面図をFig.1に示す。Amorphous Si成膜前が水素終端ダイヤモンド(C-H)表面の場合 (Device A)、最大ドレイン電流密度が-32.9 mA/mmとなり、amorphous Si成膜前が酸素終端ダイヤモンド(C-O)表面の場合 (Device B)、-12.2 mA/mmとなった (Fig.2)。またドレイン電流1 nAを基準とした閾値電圧はDevice A, Bに対して、それぞれ-11.3 V,-13.0 Vとなった (Fig.2)。以上のことより熱酸化SiO ₂ /ダイヤモンドMOSFETにおいて初のFET動作を実証し、パワーデバイスにおいてフェイルセーフの観点から必須となるノーマリーオフ動作も達成した。今後は集積化、高耐圧化に適した縦型構造にて、熱酸化SiO ₂ ゲート絶縁膜を用いた縦型ダイヤモンドMOSFETを作製していく。
図・表・数式 1 Figures, Tables and Equations 1	 <p style="text-align: center;"> Fig.1 A schematic cross-sectional view of a (001) diamond MOSFET with a thermal SiO₂. </p>



成果発表・成果利用 / Publication and Patents

DOI (論文・プロシーディング) DOI (Publication and Proceedings)	
口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[1] Oral Presentations etc.	K. Narita, A. Hiraiwa, T. Kozawa, H. Abe, H. Kawarada, "Diamond MOSFET with a Thermal SiO ₂ Gate Insulator Formed by Full Steam Oxidation", IEEE EDL, Jan. 2025, submitted.
口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[2] Oral Presentations etc.	R. Yamamoto, N. Oi, K.Ota, K. Narita, A. Hiraiwa, T. Fujishima, H. Kawarada, "Reduction of the Electric Field Strength by the Thick Undoped Layer in the (001) C-H Vertical Diamond MOSFETs," 2024 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston, USA, Dec.1-6, 2024 (Oral, Dec.4, 2024)

口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[3] Oral Presentations etc.	山本 稜将, 成田 憲人, 太田 康介, 大井 信敬, 平岩 篤, 藤 嶋 辰也, 川原田 洋, "(001) C-H ダイヤモンド MOSFET での高濃度ボロンドープ層による接触抵抗と立ち上がり特性の改善", 第11回 ZAIKEN Festa , 早稲田大学各務記念材料技術研究所 (東京), 2024年10月3日 (ポスター)
特許出願件数 Number of Patent Applications	0件
特許登録件数 Number of Registered Patents	0件