

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00252

研究課題名（和文）シリコンカーバイド極限環境エレクトロニクスのIoTプラットフォーム形成

研究課題名（英文）Research on Silicon-Carbide IoT Platform for Harsh Environment Applications

研究代表者

黒木 伸一郎（Kuroki, Shin-Ichiro）

広島大学・ナノデバイス研究所・教授

研究者番号：70400281

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、極限環境下でも駆動可能なシリコンカーバイド半導体を用いたCMOS集積回路の研究と、このためのデバイス・プロセス・回路の研究を総合的に行った。耐放射線性（ガンマ線）2 MGy（200 Mrad）をもち、超高温動作500℃でも動作可能なセルフアライン・短チャネル・高移動度4H-SiC MOSFETsを用いた集積回路を実現した。SiC CMOSプロセスを統合し、4H-SiC CMOS集積回路を実現し、CMOS論理回路およびイメージセンサの研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在福島第一原発の廃炉活動が進められている。その活動には高放射線環境下でのロボットによる作業が必要であるが、通常ロボットの半導体集積回路は、高い放射線環境下で容易に破損する。そのためメガグレイ級の放射線耐性を持つ集積回路が望まれている。また他方、最先端科学である（1）金星探査なども含む宇宙探査、（2）高エネルギー物理を支える加速器、（3）国際熱核融合実験炉では、耐放射線性および500℃までの超高温動作可能なエレクトロニクスが強く望まれている。これを解決するため本研究ではシリコンカーバイド半導体を用いた4H-SiC集積回路の研究を進めた。本研究により人類の新しいフロンティア開拓に寄与する。

研究成果の概要（英文）：High-temperature and radiation hardened electronics have been required for human activities in space, accelerator, and also nuclear power plants. For the extreme environment applications, silicon carbide (SiC) with wideband gap is one of the promising semiconductors. Our objective is to realize the SiC extreme environments electronics, which consist of SiC processor, sensor systems, etc. In this work, 4H-SiC CMOS circuits and image sensors were investigated for the extreme environment applications. The SiC MOSFETs and the amplifier circuits successfully worked in a high temperature of up to 500℃, and the SiC image sensors were demonstrated at high gamma-ray exposure of 2 MGy.

研究分野：半導体工学

キーワード：極限環境エレクトロニクス シリコンカーバイド半導体 CMOS集積回路 耐放射線 高温動作

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

現在福島第一原発の廃炉活動が進められている。その活動は高放射線環境下で行う必要があるが、作業を担うロボットのシリコン半導体集積回路は、高い放射線環境下で容易に破損する。従来のシリコン半導体集積回路では、CPUでは20-100 Gy、イメージセンサは10-100 Gy程度の放射線耐性があるが、これを大幅に超える放射線耐性が求められている。これを抜本的に改善するには、放射線に対する防護をするか、半導体の材料を変えるしかない。本研究グループでは、これまでシリコンカーバイド(SiC)半導体によるパワー半導体デバイスの研究開発を行ってきた。SiCはシリコンとカーボン原子が1:1であり、原子同士の結合において、共有結合に加えイオン性を持っており、結合が極めて強固である。このことから、放射線による結晶ダメージが少なく、また熱による回復もできる。またバンドギャップが3.26 eVと大きいため、放射線照射時の電子-正孔ペア形成量が少なく回路を構成した場合の、回路ソフトウェアを低減できると考えられる。これらのことから、SiC半導体を用いたMGy(メガグレイ)級の放射線耐性を持ったエレクトロニクス構築の研究を進めるに至った。

2. 研究の目的

本研究では、極限環境下でも駆動可能な4H-SiC CMOS集積回路の構築と、これに伴う回路設計パラメータ群を整備し、この技術を多くの研究者が利用可能なIoTプラットフォーム化することを目的とする。これにより福島第一原子力発電所の速やかな廃炉対応に貢献を行う。またこの最先端科学である(1)金星探査なども含む宇宙探査、(2)高エネルギー物理学を支える加速器、(3)ITER国際熱核融合実験炉への貢献を行う。目標は、高周波駆動： > 100 MHz、耐放射線性(ガンマ線)： > 2 MGy (200 Mrad)、超高温動作： $> 500^{\circ}$ Cでの動作可能なセルフアライン・短チャネル・高移動度4H-SiC MOSFETsを用いた集積回路の実現である。これまで申請者らが研究開発を行ったSiC CMOSプロセスを統合し、4H-SiC CMOS集積回路を実現する。またこの技術を多くの研究者が利用可能な形にするために、IoTプラットフォームを形成するとともに、研究成果を多くの研究者が利用できる形にする。本研究はこれまで科研費研究(基盤研究B(H29-令和元年度)、国際研究加速基金(H28-H29年度)、基盤研究C(H25-H27年度)、いずれも申請者代表)として推進してきた。これらの研究成果を整備・統合し速やかな社会実装を目指すものである。

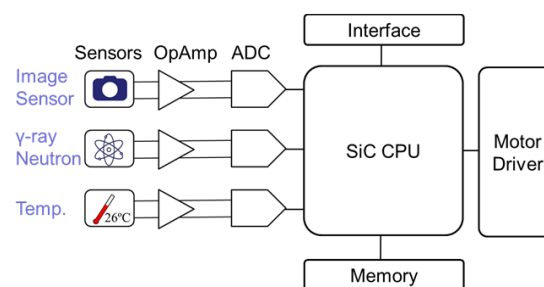


図1. 本研究で構築するSiC極限環境エレクトロニクスの全体像：高温や耐放射線性の高いプロセッサとセンサ群のため、デバイス・プロセス・回路の研究を行う。

3. 研究の方法

本研究において次の5項目の研究を進めた。

3.1. SiC CMOSプロセスの統合：技術要素を統合し、CMOS高周波動作にむけた研究を行った。

新しく提案したセルフアラインプロセスの研究を進め、4H-SiC MOSFETsの短チャネル化を行った。また高融点TiNメタルによるゲート電極形成を行い、 500° C環境下で100時間の動作実証・信頼性評価を行った。Nb/Niオーミック電極形成技術においても、 500° Cでの動作実証を行った。CF₄:O₂プラズマ処理の適用により、長時間信頼性を実証した。エピタキシャル成長によるWell構造形成を行った。通常のWell構造形成に加え、バナジウム(V)ドーピングを行ったSiC半絶縁層の研究とCMOS集積回路への応用の研究を行った。Well構造のためのエッチングは広島大学で行い、エピタキシャル層形成およびその研究は産総研で実施した。

3.2. 耐放射線性・超高温動作評価：耐放射線性、高温動作を実証し、信頼性評価を行った。

試作したSiCNMOSおよびPMOSトランジスタ、並びにCMOS集積回路への放射線照射実験を行った。実験は量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所のCo60ガンマ線照射施設で行い、最大2 MGyまでの試作デバイスへのガンマ線照射を行った。ガンマ線照射中・照射後に電気特性を測定した。試作したデバイスにおいて、最大温度 500° Cまでの超高温動作評価を行った。また最大温度 500° Cで100時間の超高温信頼性評価も実施した。

3.3. 回路設計パラメータ抽出：極限環境動作時の回路パラメータ抽出を行う。

SiCNMOS/PMOSの放射線曝露後・高温時での回路設計パラメータ抽出を行った。また同時に受動素子(抵抗等)の放射線曝露後・高温時での回路設計パラメータ抽出も行った。

3.4. 4H-SiC CMOS集積回路の実現：

プロセス研究の成果を統合する形でSiC CMOS集積回路の試作を行い、評価を実施した。

CMOS 集積回路として、インバータ、リングオシレータ回路、SRAM (Static Random Access Memory) などを設計し、試作し、動作実証を行った。アンプ回路などアナログ回路の設計・試作も行い、研究を推進した。

3.5. IoT プラットフォームの形成：デバイス・回路等の仕様を規格化する。

SiC 極限環境エレクトロニクスにおける設計ルールなどを整備した。

4H-SiC CMOS インバータデバイスの動作周波数は従来のデバイスパラメータを用いると、動作周波数は 100 kHz 程度 (計算値) であり、極限環境エレクトロニクスで求められる 100 MHz に対して、大きな隔たりがあった。本研究において、4H-SiC MOSFETs のゲート長を従来の SiC デバイスを 500 nm までショートチャネル化した。このゲート長では、ショートチャネル効果が大きくなり、しきい値の低下が大きな問題となる。本研究においては、これを解決するために、SiC MOSFET のチャネル部を事前にトレンチ型にエッチングする、トレンチ型 MOSFET を提案し、ショートチャネル効果が抑制されることを示した。またチャネル移動度向上のために、SiO₂ ゲート絶縁膜に Ba 酸化物を導入し、チャネル移動度の向上を行った。本研究では各要素プロセスを確立し、これを SiC CMOS プロセスへの統合を行った。試作した 4H-SiC CMOS インバータデバイスにおいて、耐放射線性・超高温動作測定を実施した。耐放射線性実験は、量研機構 高崎量子応用研究所の Co60 ガンマ線照射施設において行った。トータルドーズ効果実験においては、4H-SiC CMOS インバータを 2 個互い違いにつないだ SRAM (Static Random Access Memory) などの評価を行った。超高温動作測定は、最大 500°C までの CMOS インバータデバイスおよび回路の特性評価を実施した。回路設計パラメータの抽出を CMOS デバイスおよびキャパシタ、抵抗などの受動素子について行い、またこれをガンマ線照射後、高温印可時の動作特性において行った。

4. 研究成果

デバイスの高周波動作のために、ゲート自己整合プロセスを提案し、これによるデバイス化を行った。またデバイスの短チャネル効果抑制・寄生容量低減を示した。図 2 に試作したトレンチ型短チャネル MOSFET の断面図および顕微鏡写真を示す。最小 500 nm までの短チャネル MOSFET を試作し、トレンチ構造の導入により短チャネル効果の大幅抑制を示した。また Poly-Si ゲート電極を SiC トレンチ部に埋め込み、電極表面 CMP 化学的機械的平坦化を行うことで、ゲート電極形成領域を限定することで、高周波動作で問題となる寄生容量を大幅に低減した。バリウム酸化物をゲート酸化膜に挿入し、MOS 界面状態と膜物性の関連の研究を実施した[1]。

高温信頼性の観点から NiNb オーミック接触に関する研究を進めた。NiNb オーミック接触では、そのシリサイド化のプロセスにおいて、金属-SiC 反応で生じる炭素の位置制御が重要であり、これを検討することで 500°C、100 時間での接触抵抗の信頼性維持を示した[3,7]。特に Nb と Ni 形成前に CF₄:O₂ プラズマの曝露することで大幅な信頼性向上を示すことができた。図 3 に 500°C でのオーミック電極信頼性評価のグラフを載せる。CF₄:O₂ プラズマのない場合、25 時間で大幅な抵抗増加が確認されるが、CF₄:O₂ プラズマ処理により 500°C 環境下・100 時間でもほとんどオーミック抵抗に劣化が見られなかった。これにより SiC への超高温高信頼オーミック電極形成を確立することができた。

高温においてはゲート電極の信頼性確保も問題となる。これに対して TiN ゲート電極を提案し、評価を行った。NMOS、PMOS 両方において 500°C までの動作実験・評価を行い、問題なく使用可能であることを示した。

これまで行ってきた 4H-SiC デバイス・プロセス技術を統合し、また SiC の深堀ドライエッチング、エピタキシャル成長と CMP によるウェル構造形成を導入することで、SiC CMOS 回路の集積化プロセスを構築した。4H-SiC P 型エピタキシャル層を数 μm オーダでエッチングを行い、この領域に N 型エピタキシャル層を形成し、これを CMP 平坦化することで、Well 構造を形成した。図 4 に作製した 4H-SiC CMOS インバータ回路とリングオシレータ回路の光学顕微鏡写真を示す。同一 SiC 基板上に NMOS トランジスタ、PMOS トランジスタを形成し、これらを金属配

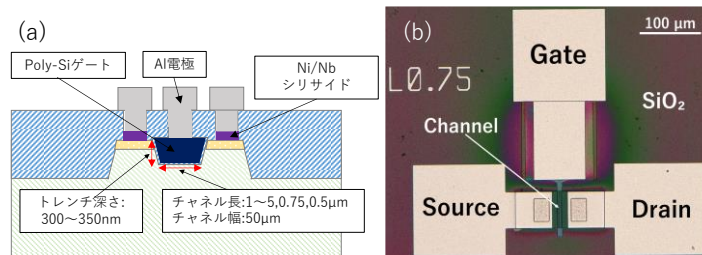


図2. トレンチ型短チャネル MOSFETs: Poly-Si ゲート電極は CMP を用いて、ゲート部に埋め込んである。

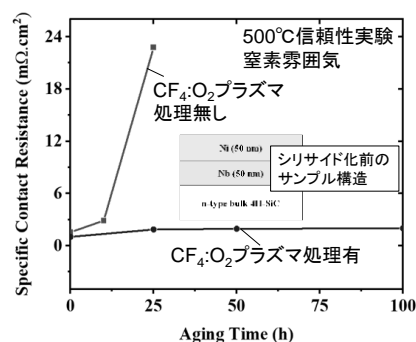


図 3. SiC 上の NiNb シリサイド・オーミック電極の 500°C 信頼性評価[3,6].

線でつなぐことで、CMOS 集積回路を作製することができた。4H-SiC CMOS 集積回路の動作に成功し、また 350°C までの安定した動作を示した。図 5 に 350°C までの CMOS インバータの出力特性を示す。室温から 350°C までの広い温度範囲でノイズマージンがとれており、論理回路として動作可能であることを示した。リングオシレータ回路では 300°C で 1.89 MHz の発振を確認することができた。高温動作および耐放射線性の高いメモリとして 4H-SiC SRAM の研究も行った。500°C での論理書き込み・読み出し動作を実証し、また 810 kGy までのトータルドーズ効果実験を行い高い耐放射線性を有することを示した。4H-SiC CMOS 動作のためには PMOS の閾値電圧低減が必要であり、本研究ではウェット・ポストメタルアニール(Wet-POA)を行うことで、これを実現した[5]。

NMOS インバータを用いた増幅回路の研究と 500°C までの動作実証を行った[4,6]。500°C においてもアンプ回路として動作することを示した。またより耐放射線性の高い SiC 集積回路のための、バナジウム不純物添加による SiC 半絶縁エピタキシャル膜の研究も行った[8]。

耐放射線性の高いイメージセンサの開発が求められている。このために、(1) 可視光領域にも感度をもつ、Si フォトダイオードと 4H-SiC MOSFETs を組み合わせた SOI-Si/4H-SiC ハイブリッド型イメージセンサ、(2) より放射線耐性が高い 4H-SiC UV フォトダイオードと 4H-SiC MOSFETs を組み合わせたフル SiC イメージセンサの研究開発を行った[9-10]。試作した各画素デバイスの顕微鏡写真を図 6 と図 7 に示す。ハイブリッド型イメージセンサは SOI 基板と 4H-SiC 基板の直接接合により実現しており、SOI 基板側にフォトダイオード、4H-SiC 側に MOSFETs を作製し、これらを Al 配線で接続して、画素デバイスとしている。4H-SiC 画素デバイスでは波長 200 nm から 400 nm の紫外光を照射し、デバイスの動作特性を調べた。作製した 4H-SiC PD の量子効率率は波長 265 nm において 63% であり、高い量子効率を示した。画素デバイスは 3 トランジスタ型、4 トランジスタ型の両方を作製し評価を行った。照射時間に応じて出力電圧が増減し、また照射強度に対しても線形な出力応答を示した。

以上の研究成果により、シリコンカーバイド半導体による極限環境下でも駆動可能な 4H-SiC CMOS 集積回路の構築を行うことができた。

- [1] K. Muraoka, S. Ishikawa, H. Sezaki, T. Maeda, S. Yasuno, T. Koganezawa, S.-I. Kuroki, Mater. Sci. Semicond. Process., 121(2021), 105343-1-105343-6(2020).
- [2] V. V. Cuong, T. Miyazaki, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, S. Yasuno, T. Koganezawa, S.-I. Kuroki, Jpn. J. Appl. Phys., 59, 056501-1-056501-6 (2020).
- [3] V. V. Cuong, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Meguro, S.-I. Kuroki, Jpn. J. Appl. Phys. 59, 126504-1-126504-6 (2020).
- [4] V. V. Cuong, T. Meguro, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, S.-I. Kuroki, IEEE Trans. Electron Devices, 69(8), 4194 – 4199(2022).
- [5] T. Shima, T. Kai, K. Kojima, T. Ohshima, Y. Tanaka, and S.-I. Kuroki, ICSCRM2022, Tu-1-B (2022).
- [6] V. V. Cuong, T. Sato, T. Miyazaki, T. Meguro, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki S.-I. Kuroki, Jpn. J. Appl. Phys., 61, 036501(2022).
- [7] A. Takeyama, T. Makino, Y. Tanaka, S.-I. Kuroki, and T. Ohshima, J. Appl. Phys. 131, 244503 (2022).
- [8] K. Kojima, S. Sato, T. Ohshima, and S.-I. Kuroki, J. Appl. Phys. 131, 245107 (2022).
- [9] T. Meguro, A. Takeyama, T. Ohshima, Y. Tanaka, S.-I. Kuroki, IEEE Electron Device Lett., 43(10), 1713(2022).
- [10] M. Tsutsumi, T. Meguro, A. Takeyama, T. Ohshima, Y. Tanaka, S.-I. Kuroki, IEEE Electron Device Lett. 44(1), 100(2023).

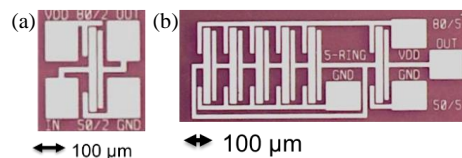


図 4. 試作した SiC CMOS 集積回路：(a)CMOS インバータ回路、(b)リングオシレータ回路[5]。

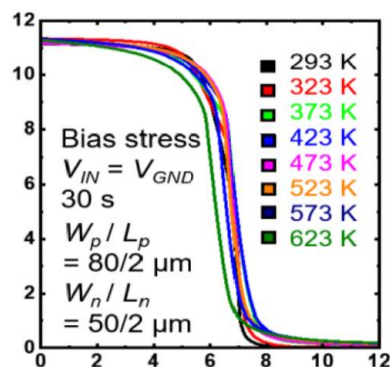


図 5. SiC CMOS インバータ回路の出力特性[5]。

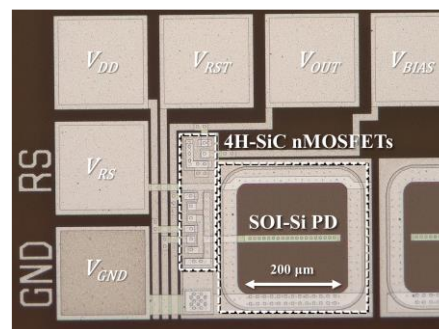


図 6. SOI-Si/4H-SiC ハイブリッド型画素デバイス (イメージセンサ) [9]。

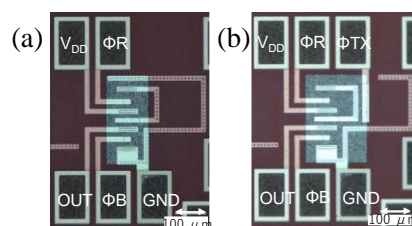


図 7. フル SiC 画素デバイス (UV イメージセンサ)：(a) 3 トランジスタ型、(b) 4 トランジスタ型[10]。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masayuki Tsutsumi, Tatsuya Meguro, Akinori Takeyama, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 44
2. 論文標題 Integrated 4H-SiC Photosensors With Active Pixel Sensor-Type Circuits for MGy-Class Radiation Hardened CMOS UV Image Sensor	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Letters	6. 最初と最後の頁 100 ~ 103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LED.2022.3226494	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 Tatsuya Meguro, Akinori Takeyama, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 43
2. 論文標題 Hybrid Pixels With Si Photodiode and 4H-SiC MOSFETs Using Direct Heterogeneous Bonding Toward Radiation Hardened CMOS Image Sensors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Letters	6. 最初と最後の頁 1713 ~ 1716
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LED.2022.3200124	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 Vuong Van Cuong, Tatsuya Meguro, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 69
2. 論文標題 Amplifier Based on 4H-SiC MOSFET Operation at 500 °C for Harsh Environment Applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Electron Devices	6. 最初と最後の頁 4194 ~ 4199
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TED.2022.3184663	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 Kazutoshi Kojima, Shin-ichiro Sato, Takeshi Ohshima, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 131
2. 論文標題 Growth of vanadium doped semi-insulating 4H-SiC epilayer with ultrahigh-resistivity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 245107 ~ 245107
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0095457	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 Akinori Takeyama, Takahiro Makino, Yasunori Tanaka, Shin-Ichiro Kuroki, and Takeshi Ohshima	4. 巻 131
2. 論文標題 Threshold voltage instability and hysteresis in gamma-rays irradiated 4H-SiC junction field effect transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 244503 ~ 244503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0095841	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 Vuong Van Cuong, Tadashi Sato, Takamichi Miyazaki, Tatsuya Meguro, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 61
2. 論文標題 500 °C high-temperature reliability of Ni/Nb ohmic contact on n-type 4H-SiC	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 036501 ~ 036501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4391	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 Vuong Van Cuong, Tadashi Sato, Takamichi Miyazaki, Tatsuya Meguro, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 61
2. 論文標題 500 °C high-temperature reliability of Ni/Nb ohmic contact on n-type 4H-SiC	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 036501 ~ 036501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4391	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 Van Cuong Vuong, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Tetsuya Meguro, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 59
2. 論文標題 High-temperature reliability of integrated circuit based on 4H-SiC MOSFET with Ni/Nb ohmic contacts for harsh environment applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 126504 ~ 126504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abc924	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 Kosuke Muraoka, Seiji Ishikawa, Hiroshi Sezaki, Maeda Tomonori, Satoshi Yasuno, Tomoyuki Koganezawa, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 121
2. 論文標題 Thickness dependencies of SiO ₂ /BaO _x layers on interfacial properties of a layered gate dielectric on 4H-SiC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 105343 ~ 105343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mssp.2020.105343	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32件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Shin-Ichiro Kuroki, Toya Kai, Masayuki Tsutsumi, Tatsuya Meguro, Vuong Van Cuong, Akinori Takeyama, Takahiro Makino, Takeshi Ohshima
2. 発表標題 SiC CMOS Integrated Circuits and Image Sensors for Extreme Environment Applications
3. 学会等名 7th IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing (IEEE EDTM2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Vuong Van Cuong, Kaho Koyanagi, Tatsuya Meguro, Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Bias temperature stress instability in 4H-SiC capacitors with different metal gate in extremely high temperature environment
3. 学会等名 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2022 (ICSCRM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masayuki Tsutsumi, Tatsuya Meguro, Akinori Takeyama, Takeshi Ohsima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Operating Characteristics of 4H-SiC 3T/4T- Active Pixel Sensors
3. 学会等名 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2022 (ICSCRM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Vuong Van Cuong, Tatusya Meguro, Seiji Ishikawa, Hiroshi Sezaki, Tomonori Maeda, Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Parameter Extraction from Transfer Characteristics Measurement of 4H-SiC MOSFET in Extremely High Temperature Ambient
3. 学会等名 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2022 (ICSCRM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toya Kai, Kazutoshi Kojima, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Bipolar Characteristics of Vanadium-doped 4H-SiC Semi-Insulating Layer for Well-less CMOS Circuits
3. 学会等名 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2022 (ICSCRM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazutoshi Kojima Shinichiro Sato, Takeshi Ohshima and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Impact of conductivity type of vanadium doped 4H-SiC epilayer on semi-insulating characteristics
3. 学会等名 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2022 (ICSCRM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Shima, Toya Kai, Kazutoshi Kojima, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Noise Margins and BTI Characteristics of 4H-SiC CMOS Circuits in High-Temperature Environment
3. 学会等名 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2022 (ICSCRM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 甲斐 陶弥, 児島 一聡, 大島 武, 田中 保宣, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 4H-SiC CMOS SRAM のノイズマージン評価
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会第 9回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堤 将之, 目黒 達也, 武山 昭憲, 大島 武, 田中 保宣, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 4H-SiC CMOS UVイメージセンサ 画素デバイスの200 高温動作
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会第 9回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武山 昭憲, 牧野 高紘, 田中 保宣, 黒木 伸一郎, 大島 武
2. 発表標題 高線量ガンマ線照射した 4H-SiC JFET のしきい値電圧安定性
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会第 9回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堤 将之, 目黒 達也, 武山 昭憲, 大島 武, 田中 保宣, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 4H-SiC CMOS UVイメージセンサ 画素デバイスの200 高温動作
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 甲斐 陶弥、児島 一聡、大島 武、田中 保宣、黒木 伸一郎
2. 発表標題 4H-SiC 半絶縁基板を用いた Well-less MOSFET の p/n channel 動作
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenta Nishigaito, Tatsuya Meguro, Akinori Takeyama, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Output Characteristics of 4H-SiC Pixel Devices for Radiation Hardened UV CMOS Image Sensors
3. 学会等名 European Conference on Silicon Carbide and Related Materials2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuya Meguro, Fumiaki Hasebe, Akinori Takeyama, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Output Characteristics of SOI-Si/4H-SiC Hybrid Pixel Device for Radiation Hardend CMOS Image Sensors
3. 学会等名 European Conference on Silicon Carbide and Related Materials2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Shima, Tomonori Maeda, Seiji Ishikawa, Hiroshi Sezaki, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Effects of MOS charges on roll-off characteristics of 4H-SiC short channel n/p MOSFETs
3. 学会等名 European Conference on Silicon Carbide and Related Materials2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuya Kawamura, Tatsuya Meguro, Masayuki Tsutsumi, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Coverage Enhancement of Si-SOI/4H-SiC Wafer Direct Bonding by SiO ₂ insertion
3. 学会等名 European Conference on Silicon Carbide and Related Materials2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Riku Takeuchi, Tadashi Sato, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 High-Selective Deep RIE of 4H-SiC with SiO ₂ Hard Mask in Cl ₂ /HBr/O ₂ Plasma Chemistry
3. 学会等名 European Conference on Silicon Carbide and Related Materials2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒木 伸一郎, 志摩拓真, 目黒達也, Vuong Van Cuong, 武山昭憲, 牧野高紘, 大島武, 児島一聡, 田中保宣
2. 発表標題 SiC半導体による極限環境エレクトロニクス構築
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会 シンポジウム「極限環境で動作する集積回路」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 SiC Extreme-Environment Electronics: From Nuclear Power Station to New Medical Applications
3. 学会等名 International Workshop on Nanodevice Technologies 2022, in Memory of M. Hirose (IWNT2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒木伸一郎, Vuong Van Cuong, 志摩 拓真, 甲斐 陶弥, 目黒 達也
2. 発表標題 SiC MOSFET 集積回路の高温動作とSiC/金属界面信頼性
3. 学会等名 公益社団法人 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第9回 個別討論会「高温動作集積回路開発の現状と課題」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒木伸一郎, 志摩 拓真, 目黒 達也, Vuong Van Cuong, 武山 昭憲, 牧野 高紘, 大島 武, 児島 一聡, 田中 保宣
2. 発表標題 シリコンカーバイド極限環境用集積回路および画素デバイスの研究
3. 学会等名 電気学会 電子デバイス研究会「高機能化合物半導体エレクトロニクス技術と将来システムへの応用(第2期)」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒木伸一郎
2. 発表標題 SiC極限環境エレクトロニクスの研究開発: 原子炉廃炉対応から宇宙・医療応用まで
3. 学会等名 第二回 電子情報通信学会支部CoEシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島 武, 武山 昭憲, 牧野 高紘, 黒木 伸一郎, 田中 保宣
2. 発表標題 耐放射線性炭化ケイ素半導体デバイスの開発
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会 シンポジウム「福島第1原発廃炉と福島復興 - 応用物理学会の会員として、私たちに何ができるか - 」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒木伸一郎, 目黒達也, 西垣内健汰, 武山昭憲, 牧野高紘, 大島武, 田中保宣
2. 発表標題 SiC 耐放射線イメージセンサの研究開発
3. 学会等名 応用物理学会・先進パワー半導体分科会 第19回研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 甲斐 陶弥, 児島一聡, 志摩 拓真, 大島 武, 田中 保宣, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 エピタキシャル成長による4H-SiC CMOS Well形成
3. 学会等名 応用物理学会・先進パワー半導体分科会 第8回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志摩拓真, 甲斐陶弥, 児島一聡, 田中保宣, 大島武, 黒木伸一郎
2. 発表標題 エピタキシャル成長による n/p ウェル構造を用いた 4H-SiC CMOS インバータの特性評価
3. 学会等名 応用物理学会・先進パワー半導体分科会 第8回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒木 伸一郎, 目黒 達也, 西垣内 健汰, 武山 昭憲, 牧野 高紘, 大島 武, 田中 保宣
2. 発表標題 SiC 耐放射線イメージセンサの研究開発
3. 学会等名 公益社団法人 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第 19 回研究会 「ワイドバンドギャップ半導体を用いた極限環境エレクトロニクス」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒木 伸一郎, 目黒 達也, Vuong Van Cuong, 武山 昭憲, 牧野 高紘, 大島 武, 田中 保宣
2. 発表標題 シリコンカーバイド (SiC) 極限環境エレクトロニクスの研究開発: 原子炉廃炉対応から医療応用まで
3. 学会等名 文部科学省 共同利用・共同研究拠点 生体医歯工学共同研究拠点 令和2年度成果報告会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Cuong Van Vuong, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Tetsuya Meguro, Tadashi Sato, Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Improve High-Temperature Reliability at 500 °C of Ni/Nb/4H-SiC Ohmic Contact with CF4/O2 Surface Treatment
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 目黒 達也, 武山 昭憲, 大島 武, 田中 保宣, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 耐放射線イメージセンサに向けたSOI-Si/4H-SiC画素プロセス
3. 学会等名 公益社団法人 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第7回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武山 昭憲, 清水 奎吾, 牧野 高紘, 山崎 雄一, 大島 武, 黒木 伸一郎, 田中 保宣
2. 発表標題 デバイス構造が4H-SiC JFETのMGyガンマ線耐性に及ぼす影響
3. 学会等名 公益社団法人 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第7回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 志摩 拓真, 前田 智徳, 石川 誠治, 瀬崎 洋, 牧野 高紘, 大島 武, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 4H-SiC 短チャネル n/p MOSFETs における閾値の評価
3. 学会等名 公益社団法人 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第7回講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 中性子検出素子	発明者 黒木 伸一郎, 谷口 学, 西垣内 健汰, 目黒 達也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-205664	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	田中 保宣 (Tanaka Yasunori) (20357453)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・副研究センター長 (82626)	
研究分担者	児島 一聡 (Kojima Kazutoshi) (40371041)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究チーム長 (82626)	
研究分担者	大島 武 (Ohshima Takeshi) (50354949)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター・センター長 (82502)	
研究分担者	武山 昭憲 (Takeyama Akinori) (50370424)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター・主幹研究員 (82502)	

6. 研究組織（つづき）

	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	牧野 高紘 (Makino Takahiro) (80549668)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター・主幹研究員 (82502)	

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		
スウェーデン	KTHスウェーデン王立工科大学		