

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03253

研究課題名(和文) シリコンカーバイドによる極限環境エレクトロニクスの研究

研究課題名(英文) Research on Silicon Carbide Harsh Environment Electronics

研究代表者

黒木 伸一郎 (Kuroki, Shin-Ichiro)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・教授

研究者番号：70400281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は極限環境下でも駆動可能な4H-SiC CMOS集積回路の構築を目的とし、高い放射線環境下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の実現を行った。セルフアライメントゲート・トレンチ4H-SiC MOSFETsを提案・試作し、動作実証を行った。この新しく提案したデバイスにより、高速動作で問題となるトランジスタの寄生容量低減を行うことができた。また短チャネル4H-SiC MOSFETsにおいて短チャネル効果が抑制されることを示した。異種元素導入によるゲート絶縁膜/SiC界面制御を行い、4H-SiC nMOSFETsのチャネル移動度向上に成功した。

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、ロボットのSi半導体集積回路は、高い放射線環境下で容易に破損する。また最先端科学である(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)国際熱核融合実験炉では、耐放射線性および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。本研究はこのような極限環境でも動作可能なエレクトロニクスを実現しようというものであり、特に本研究プロジェクトでは耐放射線性をもつ高速動作可能なシリコンカーバイド半導体デバイスの研究を進め実現を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to realize 4H-SiC CMOS integrated circuits for harsh environment applications. For this purpose, self-alignment gate trench 4H-SiC MOSFETs with short-channel were suggested and demonstrated. At the trench 4H-SiC n/p MOSFETs, parasitic capacitances between gate and source, gate and drain, were successfully reduced. And at the short channel devices, short-channel effects were suppressed. The channel field-effect mobility was also successfully enhanced by introducing BaO thin film in gate oxide/ SiC interface.

研究分野：電子デバイス・電子機器

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

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

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 Si 半導体集積回路は、高い放射線環境下で容易に破損する。これを解決するため、本研究では 4H-SiC MOSFETs による耐放射線 4H-SiC 集積回路構築を目標に研究を進めている。先行研究により試作した 4H-SiC MOSFETs は、既に 113 Mrad(1.13 MGy)の放射線・超高曝露実験(Co60 ガンマ線照射)を行い、これにより 4H-SiC デバイスの高い耐放射線性を示した[1,2]。また試作した 4H-SiC MOSFETs の超高温動作実験を行い、450°Cまでのデバイス動作を示した[1]。小規模回路実証としては 4H-SiC Pseudo-CMOS 回路を試作し、電圧スウィングの大きい論理インバータ動作を示した [2]。しかし現在の作製プロセスではセルフアライメント・プロセスでないため、寄生容量が極めて大きく動作周波数は 100 kHz 程度となっている。Si CMOS デバイスでは、従来ゲート電極を用いこれをソース・ドレイン形成のハードマスクとするセルフアライメント・プロセスが使われる。このプロセスを 4H-SiC に用いるとソース・ドレイン不純物活性化に 1600°C・1800°C の超高温を用いるため、ゲート電極およびゲート酸化膜の熔融・蒸発を招き、適用できない(図 1(a)参照)。そのため現在、実際にはダミーゲートプロセスを適用し、ソース・ドレイン部を先に形成した後ゲート構造を形成している(図 1(b)参照)。しかしこのプロセスではゲート・ソース/ドレイン間に大きな寄生容量が発生してしまい、結果的に駆動周波数が 100 kHz 程度と低下しており、このため根本的な解決が求められていた。

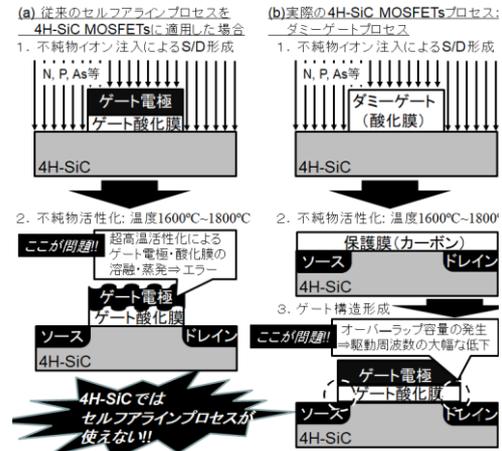


図 1. 4H-SiC MOSFETs に従来のセルフアライメントプロセスを導入した場合の問題点 (a)と、実際のプロセス (ダミーゲートプロセス) での問題点(b).

2. 研究の目的

本研究では、人の立ち入ることのできない極限環境下でも駆動可能な 4H-SiC CMOS 集積回路の構築を目的とした。目標は、高周波駆動： >100 MHz、耐放射線性 (ガンマ線)： > 2 MGy (200 Mrad)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 の実現である。この動作に必要な、従来 SiC デバイスでは実現が難しいとされるセルフアライン・プロセスの研究、MOS 界面制御による移動度向上を行った。

3. 研究の方法

高周波駆動のためのセルフアライン・プロセスを導入したデバイス構造および、MOS 界面制御の研究推進が重要であり、この研究を進めた。4H-SiC MOSFETs の 100 MHz の高周波動作を実現するためには 3 つの要素を同時に達成しなくてはならない。それは、

1. セルフアライン・プロセスによるゲート・ソース、ゲート・ドレイン間の寄生容量低減
2. 4H-SiC MOSFETs の短チャネル化 (サブミクロン・デバイス化)
3. 反転層キャリア移動度の向上

であり、これに対応してそれぞれ研究を推進した。またこれら研究成果を導入した MOSFETs を試作し、デバイスレベルでの評価を行った。新規のデバイス構造・材料・プロセスを導入するごとに、耐放射線性・耐高温性評価等の実験を実施し、各研究結果の有効性を総合的に評価した。

4. 研究成果

(1) 高周波動作を実現するためのセルフアライメント・プロセス

1-1: 埋め込みゲート構造によるセルフアライメント MOSFETs の実現

背景で述べたように SiC MOSFETs では不純物活性化を超高温で行うために従来のセルフアライメント・プロセスが適用できない。これを解決するためにはソース・ドレイン領域を形成後、ゲート構造を形成する必要がある。本研究では図 2 に示す SiC 基板にゲート構造を埋め込むセルフアライメントゲート・トレンチ 4H-SiC MOSFETs

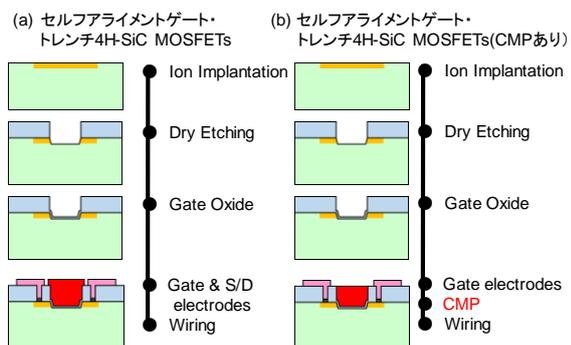


図 2. 本研究で提案し実証したセルフアライメントゲート・トレンチ 4H-SiC MOSFETs の作製プロセス.

を提案し、実証した。このプロセスではまずソース・ドレイン領域は、一括につながった領域として不純物イオン注入および活性化により形成される。その後ゲート埋め込みのための厚膜SiO₂をハードマスクとして形成し、その後ゲート酸化膜を熱酸化で形成し、ゲート電極を埋め込んだ。この構造形成の目的はゲート・ドレイン間、ゲート・ソース間の寄生容量低減であるが、この目的のためにはゲート部にゲート電極を埋め込み後、化学的機械的研磨(CMP)を行うのが有効である。本研究ではCMP有り・無しと比較も行った。

図3にセルフアライメントゲート・トレンチ4H-SiC MOSFETsのTEM断面像を示す。チャンネル部に20nmのシリコン酸化膜が形成され、更にAlゲート電極が形成されている。この構造を導入することで、同じSiC基板上に形成したプレーナ型MOSFETsと比較して、寄生容量はゲート・ソース間容量で1/15.6、ゲート・ドレイン間で1/11、CMPを導入したトレンチ4H-SiC MOSFETsではゲート・ソース間容量で1/66.6、ゲート・ドレイン間で1/220と大幅に低減することができた。図4にこのMOSFETsのID-VG特性を示す。電流特性はトレンチ深さに依存し、しきい値電圧V_{TH}のトレンチ深さ依存性は240mV/nmと大きいものであった。これはチャンネル部に予想された以上の不純物が導入されたためであった。これを抑制するために不純物イオン注入の精密制御の研究も行い、イオン注入時の注入角を変更することで、チャンネル部の異常不純物分布を抑制することに成功した。

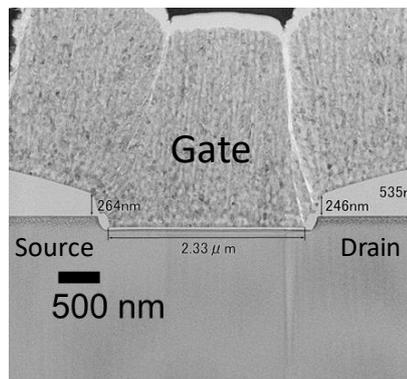


図3. 試作したセルフアライメントゲート・トレンチ4H-SiC MOSFETsの断面電子顕微鏡像。

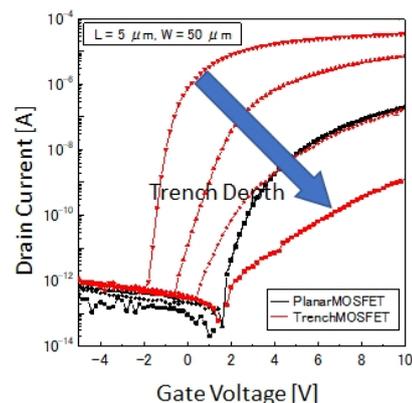


図4. セルフアライメントゲート・トレンチ4H-SiC MOSFETsのID-VG特性。

1-2: 短チャンネル効果抑制

セルフアライメントゲート・トレンチ4H-SiC MOSFETsによりチャンネル長1μmまでの短チャンネルデバイスを作製し、短チャンネル効果抑制にこの新規構造が有効であることを示した。図5にプレーナ型の4H-SiC MOSFETsと本研究によるセルフアライメントゲート・トレンチ4H-SiC MOSFETsのID-V_D特性を示す。トレンチMOSFETsにより飽和特性がみられ、短チャンネル効果が抑制されていることが分かる。

(2) チャンネル移動度向上の研究

2-1: 異種元素導入によるゲート絶縁膜/SiC界面制御。

バリウム酸化膜(BaOx)をゲート絶縁膜/SiC界面に導入し、チャンネル移動度向上の研究を行った。BaO薄膜はスパッタリング法により2.6nm成膜し、引き続き同じ真空チャンバ内でSiO₂ゲート絶縁膜を成膜、その後、950°Cの酸素雰囲気中でアニール処理を行った。チャンネル不純物濃度 $6.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の4H-SiC nMOSFETsで電界効果移動度 $12 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であり、BaO導入無しのサンプルに比べおおよそ100倍の値を示した。

以上の4H-SiC MOSFETs全てにおいて、それぞれ耐放射線性、500°Cまでの高温動作試験を行った。これらから、高周波駆動： $>100 \text{ MHz}$ と、耐放射線性(ガンマ線)： $>2 \text{ MGy}$ での動作可能なセルフアライン・短チャンネル・高移動度4H-SiC MOSFETsの指針を確立した。

<引用文献>

- [1] S-I. Kuroki, H. Nagatsuma, M. De Silva, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Kikkawa, T. Makino, T. Ohshima, M. Östling, and C.-M. Zetterling, "Characterization of 4H-SiC nMOSFETs in Harsh Environments, High-Temperature and High Gamma-Ray Radiation," *Mat. Sci. Forum*, 858, pp864-867 (2016).
- [2] S-I. Kuroki, T. Kurose, H. Nagatsuma, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Kikkawa, T. Makino, T. Ohshima, M. Östling, and C.-M. Zetterling, "4H-SiC Pseudo-CMOS Logic Inverters for Harsh Environment Electronics," *Mat. Sci. Forum*, 897, pp669-672 (2017).

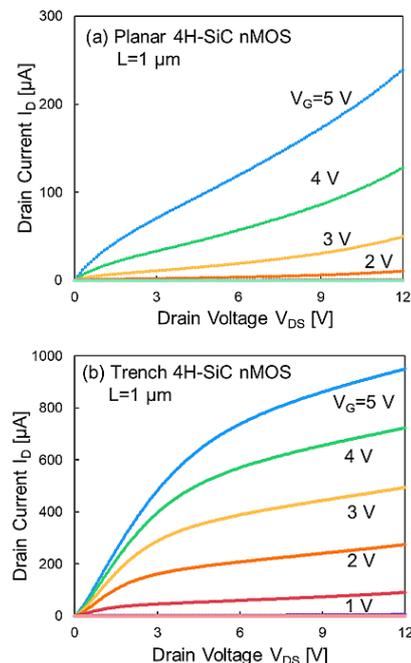


図5. 短チャンネル4H-SiC MOSFETs (L=1μm)のID-V_D特性:(a)プレーナ型(従来型)、(b)セルフアライメントゲート・トレンチ型MOSFETsの特性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Vuong Van Cuong, Takamichi Miyazaki, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Satoshi Yasuno, Tomoyuki Koganezawa, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 59
2. 論文標題 CF4:O2 surface etching for the improvement of contact resistance and high-temperature reliability in Ni/Nb ohmic contacts on n-type 4H-SiC	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 056501 ~ 056501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab86fe	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, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Yasuno Satoshi, Tomoyuki Koganezawa, Takamichi Miyazaki, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 58
2. 論文標題 Influence of Ni and Nb thickness on low specific contact resistance and high-temperature reliability of ohmic contacts to 4H-SiC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 116501 ~ 116501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab47ac	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, Hiroshi Sezaki, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Takahiro Makino, Akinori Takeyama, Takeshi Ohshima and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 58
2. 論文標題 Gamma-ray irradiation-induced mobility enhancement of 4H-SiC NMOSFETs with a Ba-silicate interface layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 081007 ~ 081007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab2dab	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 Jun Inoue, Shin-Ichiro Kuroki, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Takahiro Makino, Takeshi Ohshima, Mikael Ostling, Carl-Mikael Zetterling	4. 巻 963
2. 論文標題 4H-SiC Trench pMOSFETs for High-Frequency CMOS Inverters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 837 ~ 840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.963.837	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 Fumiaki Hasebe, Tatsuya Meguro, Takahiro Makino, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 963
2. 論文標題 Direct Bonding of 4H-SiC and SOI Wafers for Radiation-Hardened Image Sensors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 726 ~ 729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.963.726	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 Tomoyasu Ishii, Shin-Ichiro Kuroki, Hiroshi Sezaki, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Takahiro Makino, Takeshi Ohshima, Mikael Ostling, Carl-Mikael Zetterling	4. 巻 963
2. 論文標題 Suppression of Short-Channel Effects in 4H-SiC Trench MOSFETs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 613 ~ 616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.963.613	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 Vuong Van Cuong, Seiji Ishikawa, Hiroshi Sezaki, Tomonori Maeda, Satoshi Yasuno, Tomoyuki Koganezawa, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 963
2. 論文標題 Optimization of Ni/Nb Ratio for High-Temperature-Reliable Ni/Nb Silicide Ohmic Contact on 4H-SiC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 498 ~ 501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.963.498	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, Tomonori Maeda, Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 963
2. 論文標題 Characterization of Ba-Introduced Thin Gate Oxide on 4H-SiC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 451 ~ 455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.963.451	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, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Satoshi Yasuno, Tomoyuki Koganezawa, Takamichi Miyazaki, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 669
2. 論文標題 High-Temperature Reliability of Ni/Nb Ohmic Contacts on 4H-SiC For Harsh Environment Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 306-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.11.014	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 T. Kurose, S.-I. Kuroki, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Makino, T. Ohshima, M.Ostling, and C.-M. Zetterling	4. 巻 924
2. 論文標題 Low-parasitic-capacitance self-aligned 4H-SiC nMOSFETs for harsh environment electronics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 971-974
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.924.971	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 J. Kajihara, S.-I. Kuroki, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Makino, T. Ohshima, M. Ostling, and C.-M. Zetterling	4. 巻 924
2. 論文標題 4H-SiC pMOSFETs with Al-doped S/D and NbNi silicide ohmic contacts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 423-427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.924.423	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 K. Kobayakawa, K. Muraoka, H. Sezaki, S. Ishikawa, T. Maeda, and S.-I. Kuroki	4. 巻 924
2. 論文標題 Effects of CF4 surface etching on 4H-SiC MOS Capacitors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 465-468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.924.465	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, Tomonori Maeda, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 924
2. 論文標題 Correlation between Field Effect Mobility and Accumulation Conductance at 4H-SiC MOS Interface with Barium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 477-481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.924.477	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 Milantha De Silva, Teruhisa Kawasaki, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 924
2. 論文標題 Electrical properties of Ti-Si-C Ohmic contact on ion-implanted n-type 4H-SiC C face	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 409-412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.924.409	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 Milantha De Silva, Teruhisa Kawasaki, Takamichi Miyazaki, Tomoyuki Koganezawa, Satoshi Yasuno, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 110
2. 論文標題 Formation of epitaxial Ti-Si-C Ohmic contact on 4H-SiC C face using pulsed-laser annealing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 2521081-2521085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1063/1.4987136	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 S-I. Kuroki, T. Kurose, H. Nagatsuma, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Kikkawa, T. Makino, T. Ohshima, M. Ostling, and C.-M. Zetterling	4. 巻 897
2. 論文標題 4H-SiC Pseudo-CMOS Logic Inverters for Harsh Environment Electronics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 669-672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://www.scientific.net/MSF.897.669	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 Milantha De Silva, Teruhisa Kawasaki, Takamaro Kikkawa, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 897
2. 論文標題 Low Resistance Ti-Si-C Ohmic Contacts for 4H-SiC Power Devices Using Laser Annealing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 399-402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://www.scientific.net/MSF.897.399	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, Hiroshi Sezaki, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Tadashi Sato, Takamaro Kikkawa, and Shin-Ichiro Kuroki	4. 巻 897
2. 論文標題 Enhanced-Oxidation and Interface Modification on 4H-SiC(0001) Substrate Using Alkaline Earth Metal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mat. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 348-351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://www.scientific.net/MSF.897.348	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52件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 25件)

1. 発表者名 Kousuke Muraoka, Seiji Ishikawa, Hiroshi Sezaki, Tomonori Maeda, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Thickness Dependences on Interfacial Properties of SiO ₂ /BaO ₂ layers on 4H-SiC (0001)
3. 学会等名 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) (国際学会)
4. 発表年 2019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 4H-SiC Pixel Device with UV Photodiode and MOSFETs for Radiation-Hardened UV Image Sensors
3. 学会等名 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2019 (ICSCRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomonori Okada, Jun Inoue, Fumitaka Nishiyama, Hiroshi Sezaki, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Suppression of Ion Channeling Effects in 4H-SiC Substrate by Tilt Angle Control of Ion Implantation
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2019 (ICSCRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vuong Van Cuong, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Characterization of 4H-SiC MOS Capacitors with Different Metal Gates after 400 °C High-Temperature Aging Tests
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2019 (ICSCRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vuong Van Cuong, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Kousuke Muraoka, Tetsuya Meguro, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 High Temperature Reliability of 4H-SiC Devices and Single Stage 4H-SiC MOSFET Amplifier at 400°C
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2019 (ICSCRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019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 Pixel Array Integration with SOI-Si photodiode and 4H-SiC MOSFETs for Radiation-Hardened image sensors
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2019 (ICSCRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Takeyama, K. Shimizu, T. Makino, Y. Yamazaki, S. Kuroki, Y. Tanaka, T. Ohshima
2 . 発表標題 Radiation hardness of 4H-SiC JFETs in MGy dose ranges, ” The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2019 (ICSCRM2019)
3 . 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2019 (ICSCRM2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Vuong Van Cuong, Seiji Ishikawa, Tomonori Maeda, Hiroshi Sezaki, Kousuke Muraoka, Tetsuya Meguro, and Shin-Ichiro Kuroki
2 . 発表標題 Thermal Reliability of 4H-SiC Devices and Integrated Circuits Based on 4H-SiC MOSFET at 400°C
3 . 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019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 Pixel Array Integration with SOI-Si photodiode and 4H-SiC MOSFETs for Radiation-Hardened image sensors
3 . 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tomonori Okada, Jun Inoue, Fumitaka Nishiyama, Hiroshi Sezaki, and Shin-Ichiro Kuroki
2 . 発表標題 Suppression of Ion Channeling Effects in 4H-SiC Substrate by Tilt Angle Control of Ion Implantation
3 . 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Nishigaito, Tatsuya Meguro, Akinori Takeyama, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 4H-SiC Pixel Device for UV Image Sensors
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒木伸一郎
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 (公財) 科学技術交流財団 第 3 回「厳環境下 IoT 向け 3C-SiC 技術研究会」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中 保宣, 清水 奎吾, 小野田 忍, 武山 昭憲, 牧野 高紘, 大島 武, 目黒 達也, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 SiC による耐放射線エレクトロニクス技術開発
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村岡幸輔, 瀬崎洋, 石川誠治, 前田知徳, 牧野高紘, 大島武, 黒木伸一郎
2. 発表標題 SiC-NMOSFETs におけるガンマ線誘起移動度増加現象とその増加機構
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井友康, 瀬崎洋, 石川誠治, 前田智徳, 牧野高紘, 大島武, 黒木伸一郎
2. 発表標題 短チャンネル SiC nMOSFET の温度特性評価
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西垣内 健汰, 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 UV イメージセンサのためのフル 4H-SiC 画素デバイス
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田 智徳, 井上 純, 西山 文隆, 瀬崎 洋, 黒木 伸一郎
2. 発表標題 イオン注入角制御による 4H-SiC Trench MOSFETs のしきい値制御
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 目黒 達也, 長谷部 史明, 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 画素集積化プロセス
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷部史明, 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のための 4H-SiC/SOI 基板貼り合わせ技術
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会
4. 発表年 2019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 ノーマリーオフ型 4H-SiC JFET のガンマ線耐性
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第6回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 目黒 達也, 長谷部 史明, 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画素集積化プロセス
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西垣内 健汰, 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UVイメージセンサのためのフル4H-SiC画素デバイス
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019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 ノーマリーオフ型4H-SiC JFETのガンマ線照射効果
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Abhinav Bhansali, Vuong Van Cuong, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 INVESTIGATION OF CF ₄ :O ₂ SURFACE ETCHING IN Ni/Nb OHMIC CONTACT ON 4H-SiC FOR HARSH ENVIRONMENT ELECTRONICS
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第14回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Approach to realizing radiation-hardened devices
3. 学会等名 Fukushima Research Conference “Radiation Hardness and Smartness in Remote Technology for Nuclear Decommissioning” Organized by CLADS/JAEA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018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と放射光による薄膜・界面状態分析
3. 学会等名 SPring-8次世代先端デバイス研究会 (第6回) / 第32回SPring-8先端利用技術ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒木伸一郎
2. 発表標題 (チュートリアル講演) パワーエレクトロニクスと ワイドバンドギャップ半導体
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第15回研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Inoue, S-I. Kuroki, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Makino, T Ohshima, M. Ostling, and C-M. Zetterling
2. 発表標題 4H-SiC Trench pMOSFETs for High-Frequency CMOS Inverters
3. 学会等名 12th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Vuong Van Cuong, Seiji Ishikawa, Hiroshi Sezaki, Tomonori Maeda, Satoshi Yasuno, Tomoyuki Koganezawa, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Optimization of Ni/Nb Ratio for High-Temperature-Reliable Ni/Nb Silicide Ohmic Contact on 4H-SiC
3. 学会等名 12th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumiaki Hasebe, Tatsuya Meguro, Takahiro Makino, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Direct Bonding of 4H-SiC and SOI Wafers for Radiation-Hardened Image Sensors
3. 学会等名 12th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin-ichiro Kuroki, Kohei Nagano, Tatsuya Meguro, Akinori Takeyama, Takahiro Makino, Takeshi Ohshima, and Yasunori Tanaka
2. 発表標題 Effects of High Gamma-Ray Radiation on 3C-SiC nMOSFETs
3. 学会等名 12th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Muraoka, S. Ishikawa, H. Sezaki, T. Maeda, S.-I. Kuroki
2. 発表標題 Characterization of Ba-introduced thin gate oxide on 4H-SiC
3. 学会等名 12th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ishii, S.-I. Kuroki, H. Sezaki, S. Ishikawa, T. Maeda, T. Makino, T. Ohshima, M. Ostling, and C.-M. Zetterling
2. 発表標題 Suppression of Short-Channel Effects in 4H-SiC Trench MOSFETs
3. 学会等名 12th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Muraoka, S. Ishikawa, H. Sezaki, T. Maeda, T. Makino, T. Ohshima, S.-I. Kuroki
2. 発表標題 Radiation Hardened Silicon Carbide Electronics
3. 学会等名 Fukushima Research Conference "Radiation Hardness and Smartness in Remote Technology for Nuclear Decommissioning" Organized by CLADS/JAEA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	T. Ishii, S.-I. Kuroki, H. Sezaki, S. Ishikawa, T. Maeda, T. Makino, T. Ohshima, M. Ostling, and C.-M. Zetterling
2. 発表標題	Short-channel 4H-SiC trench MOSFETs for harsh environment electronics
3. 学会等名	Fukushima Research Conference “Radiation Hardness and Smartness in Remote Technology for Nuclear Decommissioning” Organized by CLADS/JAEA (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	森本 劍徳郎、村岡 幸輔、児島 一聡、黒木 伸一郎
2. 発表標題	4H-SiC CMOS論理回路作製に向けたBOSCHプロセスによるSiCディープエッチング
3. 学会等名	2019年第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	岡田 智徳、井上 純、西山 文隆、瀬崎 洋、黒木 伸一郎
2. 発表標題	イオン注入角制御による4H-SiC基板へのイオン注入高精度化
3. 学会等名	2019年第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	小早川 貴一、村岡 幸輔、瀬崎 洋、石川 誠治、前田 知徳、黒木 伸一郎
2. 発表標題	4H-SiC nMOSFETs における表面CF ₄ エッチングの効果
3. 学会等名	2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 石井 友康、黒木 伸一郎、瀬崎 洋、石川 誠治、前田 智徳、牧野 高紘、大島 武、Mikael Ostling、Carl-Mikael Zetterling
2. 発表標題 4H-SiC Trench MOSFETs による短チャネル効果の抑制効果
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 4H-SiC MOSFETs and Logic Inverters for Harsh Environment Electronics (Invited)
3. 学会等名 19th Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Kajihara, S.-I. Kuroki, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Makino, T. Ohshima, M. Ostling, and C.-M. Zetterling
2. 発表標題 4H-SiC pMOSFETs with Al-doped S/D and NbNi silicide ohmic contacts
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2017 (ICSCRM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kurose, S.-I. Kuroki, S. Ishikawa, T. Maeda, H. Sezaki, T. Makino, T. Ohshima, M. Ostling, and C.-M. Zetterling
2. 発表標題 Low-parasitic-capacitance self-aligned 4H-SiC nMOSFETs for harsh environment electronics
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2017 (ICSCRM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Muraoka, S. Ishikawa, H. Sezaki, T. Maeda, and S.-I. Kuroki
2. 発表標題 Correlation between field effect mobility and accumulation conductance at 4H-SiC MOS interface with barium
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2017 (ICSCRM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Milantha De Silva, Teruhisa Kawasaki, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Electrical properties of Ti-Si-C Ohmic contact on ion-implanted n-type 4H-SiC C face
3. 学会等名 The International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2017 (ICSCRM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安野 聡、小金澤 智之、村岡 幸輔、小早川 貴一、石川 誠治、黒木 伸一郎
2. 発表標題 Metal/SiO ₂ /SiCバンドアライメントのゲート電極金属依存性
3. 学会等名 2018年第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ヴォーン ヴァン クォン、石川 誠治、瀬崎 洋、前田 知徳、小金澤 智之、安野 聡、宮崎 孝道、黒木 伸一郎
2. 発表標題 極限環境応用に向けた4H-SiC上Ni/Nbオーミックコンタクトの高温信頼性
3. 学会等名 2018年第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永野 耕平、目黒 達也、武山 昭憲、牧野 高紘、大島 武、田中 保宣、黒木 伸一郎
2. 発表標題 NbNiシリサイドS/D 3C-SiC nMOSFETsと高ガンマ線照射特性
3. 学会等名 2018年第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上 純、黒木 伸一郎、石川 誠治、前田 知徳、瀬崎 洋、牧野 高紘、大島 武、Mikael Ostling、Carl-Mikael Zetterling
2. 発表標題 高周波CMOSインバータに向けた4H-SiCトレンチpMOSFETsの研究
3. 学会等名 2018年第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Vuong Van Cuong, Milantha De Silva, Seiji Ishikawa, Hiroshi Sezaki, Tomonori Maeda, Takahiro Makino, Takeshi Ohshima, Yasunori Tanaka, and Shin-Ichiro Kuroki
2. 発表標題 Research on 400 °C Thermal Stability of Ni/Nb Ohmic Contacts on 4H-SiC For Harsh Environment Applications
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第4回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梶原純, 黒木伸一郎, 瀬崎洋, 石川誠治, 前田知徳, 牧野高紘, 大島武, Mikael Ostling, and Carl-Mikael Zetterling
2. 発表標題 4H-SiC pMOSFETsの高温特性及びガンマ線曝露効果
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第4回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村岡幸輔, 瀬崎洋, 石川誠治, 前田知徳, 牧野高紘, 大島武, 黒木伸一郎
2. 発表標題 Ba導入nMOSFETsに対するBTS試験およびガンマ線照射
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第4回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒瀬 達也、黒木 伸一郎、石川 誠治、前田 知徳、瀬崎 洋、牧野 高紘、大島 武、Mikael Ostling、Carl-Mikael Zetterling
2. 発表標題 極限環境エレクトロニクスのための4H-SiC nMOSFETs セルフアラインプロセス
3. 学会等名 2017年第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 炭化珪素半導体装置の製造方法及び炭化珪素半導体装置	発明者 黒木伸一郎, 岡田智徳, 瀬崎洋	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-026991	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	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 先端機能材料研究部・部長(定常) (82502)	
研究分担者	牧野 高紘 (Takahiro Makino) (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 先端機能材料研究部・主任研究員(定常) (82502)	