

令和 2 年 5 月 12 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02786

研究課題名（和文）低損失縦型ダイヤモンドパワーMOSFET

研究課題名（英文）Low-loss vertical-type diamond power MOSFET

研究代表者

徳田 規夫（Tokuda, Norio）

金沢大学・ナノマテリアル研究所・教授

研究者番号：80462860

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：ダイヤモンドは、様々な分野で用いられているパワーデバイスとして最も高い省エネ効果が期待されている半導体材料である。本研究で得られた主な成果は、縦型ダイヤモンドMOSFET構造作製のための、炭素固溶反応を用いたV字及びU字トレンチ構造形成プロセスの開発、低チャネル移動度の原因となっているAl₂O₃/ダイヤモンド界面における界面準位密度の定量評価、界面準位密度の低減プロセスの開発である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、主にダイヤモンド、広くは炭素に関するマテリアルサイエンスの発展、そしてデバイス応用が期待される。ダイヤモンドはパワーデバイスだけでなく、量子デバイス/センサ応用も期待されており、ダイヤモンドを用いたパワー・量子デバイスの実用化により、次世代ダイヤモンドエレクトロニクス及びその産業の創出、そして省エネ・低炭素社会及びSociety 5.0の実現への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：Diamond is a semiconductor material expected to realize the highest energy-saving effect as a power device used in various fields. In this study, we obtained the following three results: (1) development of V-shaped and U-shaped trench structure formation process using solid solution reaction of carbon for fabrication of vertical diamond MOSFET structure, (2) a quantitative evaluation of interface state density at Al₂O₃/diamond interfaces which cause low channel mobility in diamond MOSFETs, (3) development of a reduction process of the interface state density.

研究分野：半導体工学

キーワード：表面・界面物性 ダイヤモンド

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

省エネ化のためのキーテクノロジーであるパワーエレクトロニクスは、世界市場に大きな成長が見込まれ、日本の産業競争力上極めて重要な分野である。そのため、「パワー半導体デバイスに関する研究開発」を推進することは、第5期科学技術基本計画において「エネルギー利用の効率化」が掲げられ、省エネルギー技術戦略2016においてもワイドバンドギャップ半導体を用いた次世代パワーエレクトロニクスは重要技術戦略の一つとして位置づけられている。

現在のパワーエレクトロニクスの主役はSi半導体であるが、更なる高電圧・高温環境下での動作、そして低消費電力化のニーズにより、Siの物性そのものによる限界が近いことから、新規半導体材料を用いた次世代パワーデバイスの創製が必要とされている。その候補は、SiC、GaN、Ga₂O₃、ダイヤモンドのワイドバンドギャップ半導体である。各半導体の物性値とパワーデバイスとしての性能を示すBaliga指数から分かるようにダイヤモンドは、ポストSiC、GaNを担う究極の超低損失パワーデバイスの実現が可能な半導体材料である。

次世代パワーデバイスにはノーマリーオフ動作の大電流・低損失・高耐圧のFETのニーズが高く、またIGBTの実現にも必要不可欠な反転層チャネルを用いたMOSFETの開発が極めて重要である。しかし、ダイヤモンドは高品質な酸化膜との界面の形成が困難なため、反転層チャネルは実現されていなかった。

我々は、これまでに半導体デバイスの基盤要素技術であるダイヤモンド膜のラテラル成長の実証、その成長技術を応用した半導体ダイヤモンドウェハの開発、そして、金属/ダイヤモンド界面や酸化膜/ダイヤモンド界面の高品質化に関する研究を行い、2016年に反転層チャネルを用いたノーマリーオフ動作を持つ横型ダイヤモンドMOSFETの開発に世界で初めて成功した(引用文献)。しかし、次世代パワーデバイスに求められる高耐圧・低ON抵抗を実現するためには、縦型MOSFETが必要である。縦型にはプレーナー構造とトレンチ構造があるが、特に高耐圧・低ON抵抗化に有利なのはトレンチ構造である。しかし、ダイヤモンドは物質中最大の硬度を有し、化学的な安定性も極めて高いため、既存の半導体プロセスの加工技術ではプラズマを用いるためダメージフリーのダイヤモンドトレンチ構造の形成は困難であった。近年、我々はNi中へのCの固溶反応を用いた非プラズマプロセスのダイヤモンドのエッチング技術を開発した(引用文献)。そのダイヤモンドエッチングプロセスは結晶面の異方性を有することから、KOH溶液を用いたSiの異方性エッチングのようにデバイスプロセスへの応用が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、我々の独自技術をそれぞれ高度化し組み合わせることで高耐圧化・低ON抵抗化に有利な縦型V字トレンチゲート構造のダイヤモンドMOSFET(ダイヤモンドVMOSFET)の世界初の実現を目指した。

3. 研究の方法

ダイヤモンドのトレンチ構造形成プロセスとして、Ni中へのCの固溶反応をベースにしたダイヤモンドエッチングプロセスを用いた。これまでの方法では、真空や不活性雰囲気アニールすることで数100nmのエッチングが可能であったが、数 μm 以上の深いエッチングはNi中の固溶C量が固溶限に達することにより不可能であった。そこで本研究では、Ni表面に酸化膜を形成することでNi中の固溶CがNi酸化物と反応しCOやCO₂の生成/脱離し、C固溶によるダイヤモンドのエッチングを継続するプロセスを考案した。Niの酸化を酸素で行うと、Niが被覆していないダイヤモンド表面も酸化し、その結果、Niが被覆していないダイヤモンド表面でもエッチングする。そこで、本研究ではダイヤモンド表面はエッチングされない水蒸気雰囲気を用いた。また、上記プロセスを用いて原子的に制御されたダイヤモンド表面を選択的に形成し、その表面に形成された構造(ステップとテラス)と界面準位との関係について検討した。

4. 研究成果

(1) V字トレンチ構造形成

Ni中へのC固溶を用いた1000、10分の水蒸気雰囲気アニール処理前後の単結晶ダイヤモンド(100)表面の結果を図1に示す。その処理後の表面はNi及びその酸化物を酸で除去した後の表面である。その結果から、Ni膜下のダイヤモンドが選択的にエッチングされていることが分かる。また、Ni膜厚数100nmに対して、エッチング深さは約40 μm であった。これは、これまでの不活性雰囲気アニールによるダイヤモンドのエッチングでは得られない深さである。そのエッチピットの側面は(100)に対して55度の傾斜をとっており、{111}面で構成されていることが分かった。これはKOH水溶液を用いたSiのエッチングと同様の傾向を示し、今回開発したエッチング法はダイヤモンドのV字トレンチ構造を形成するプロセスであることを意味する。本プロセスは、約0.5mm/hの高速ダイヤモンドエッチングも実現可能であり、図2に示すようにダイヤモンドの穴あけ加工プロセス等にも応用可能である。

(2) U字トレンチ構造形成

上述したダイヤモンドエッチングプロセスを単結晶ダイヤモンド(110)基板に適用した結果を図3に示す。(100)基板の時と同様にNi膜下のダイヤモンドが選択的にエッチングされた。そのエッチピットの側面は表面に対して35度と90度の傾斜をとっており、(100)基板の時と同様

に{111}面で構成されていることが分かった。以上の結果から、Ni 中への C 固溶を用いたダイヤモンドエッチングは結晶面の異方性を有し、エッチングレート R は $R_{\{100\}} > R_{\{110\}} \gg R_{\{111\}}$ となることが分かった。

(3) ダイヤモンド表面の界面準位分布

上述したダイヤモンドエッチングプロセスを単結晶ダイヤモンド(111)基板に適用することで、ステップとテラスで構成されたダイヤモンド(111)表面を選択的に形成した。ここで、基板にホウ素ドーパされた p 型ダイヤモンドを用いて、裏面に高濃度ホウ素ドーパ層を成長し、オーミック電極を形成した。また、500 度の水蒸気雰囲気アニールすることで、ダイヤモンド(111)表面を OH 終端した(引用文献)。その試料に対して、導電性カンチレバーを用いた AFM により、局所的電気特性を評価した。図 4 に KFM を用いてその表面形態と電位を測定した結果を示す。その結果から、明らかに、ステップ部分とテラス部分で電位が異なっていることが分かる。次に、電流像を測定すると、電位像と同様にステップ部分とテラス部分で電流値が異なっていることが分かった。そこで、ステップ部分とテラス部分に同電子カンチレバーを固定し、局所的な $I-V$ 特性を測定した。その $I-V$ 特性を熱電子放出過程で解析すると、理想係数 n 値はそれぞれ 2.0、1.5 と一般的な n 値よりも大きかった。そこで数 nm の絶縁層が金属/ダイヤモンド界面に存在している MIS トンネルダイオード構造と仮定すると、 n 値が大きいステップ部分で界面準位密度が高いことを示す。これらの結果は、ステップ端では OH 終端ではない構造のため、界面準位の起源となっていることを示唆する。今後は、単原子ステップすらない完全原子の平坦ダイヤモンド表面形成方法(引用文献)と MOS 構造形成プロセスを組み合わせ、省エネ・低炭素社会の実現に資する高チャネル移動度ダイヤモンド MOSFET の実現を目指す。

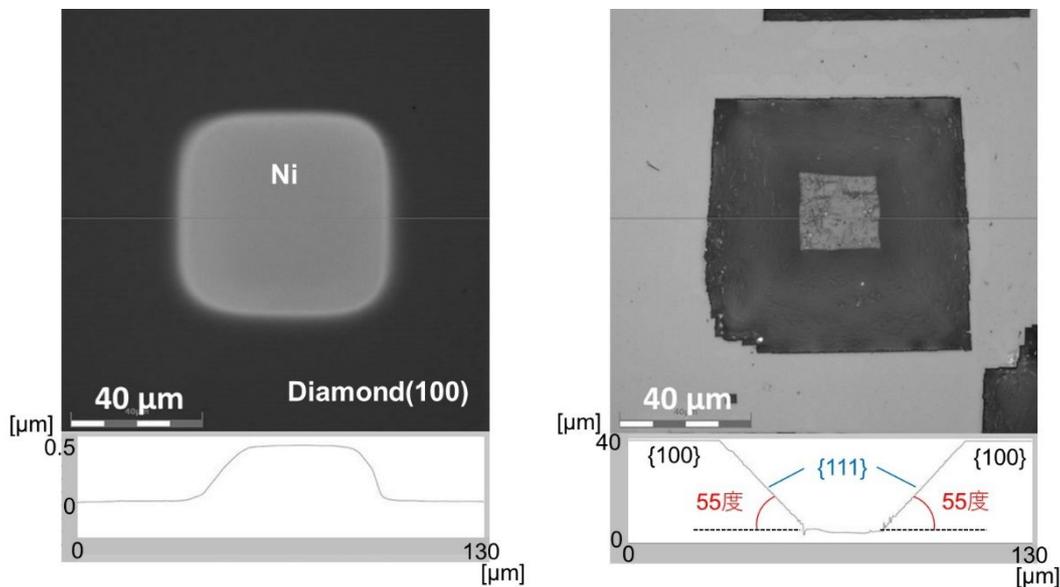


図 1 (左)水蒸気雰囲気アニール処理前と(右)後の単結晶ダイヤモンド(100)表面のレーザ顕微鏡像とその断面図

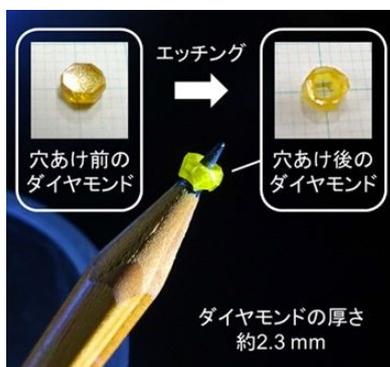


図 2 ダイヤモンド穴あけ加工

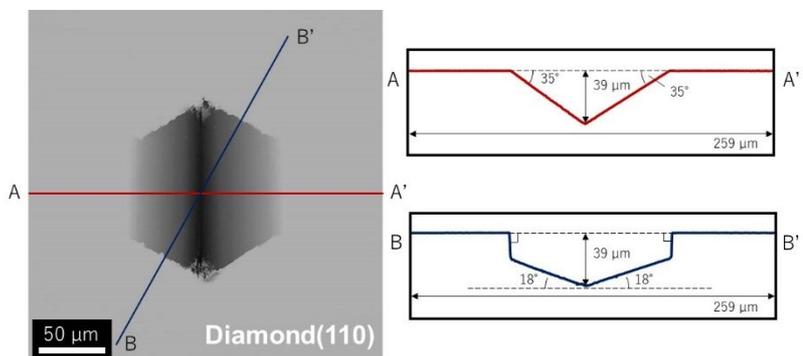


図 3 水蒸気雰囲気アニール処理後の単結晶ダイヤモンド(111)表面のレーザ顕微鏡像とその断面図

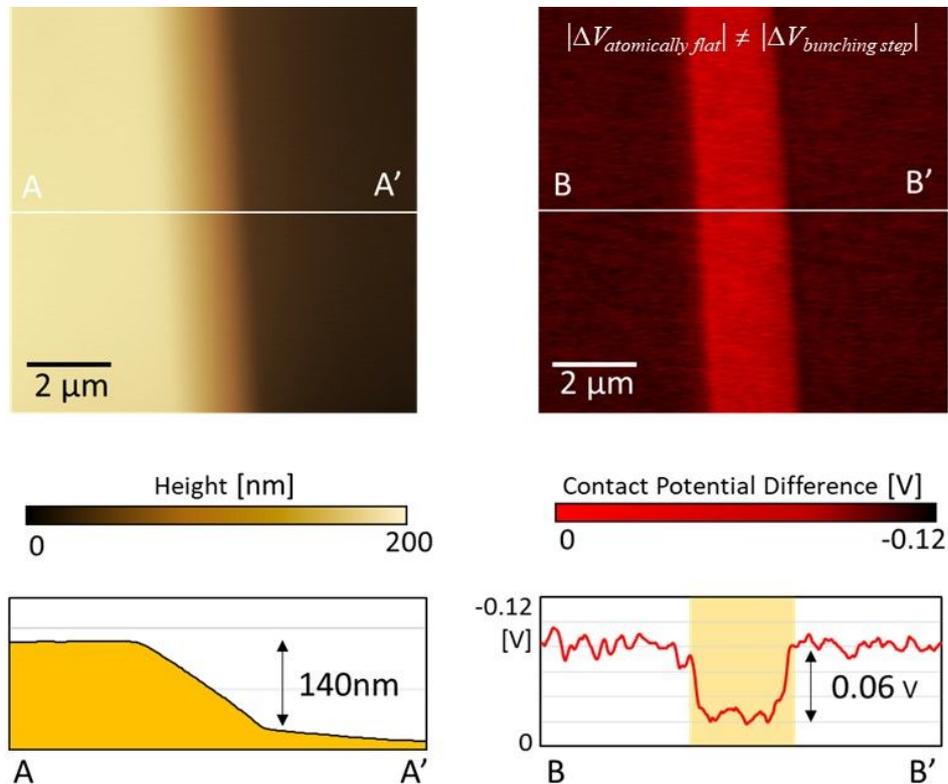


図4(左)ステップとテラスを有するOH末端ダイヤモンド(111)表面のトポ像と(右)電位像

<引用文献>

- T. Matsumoto, H. Kato, K. Oyama, T. Makino, M. Ogura, D. Takeuchi, T. Inokuma, N. Tokuda, S. Yamasaki, Scientific Reports, Vol. 6, 2016, 31585.
- K. Nakanishi, H. Kuroshima, T. Matsumoto, T. Inokuma, N. Tokuda, Diamond and Related Materials, Vol. 68, 2016, 127-130.
- R. Yoshida, D. Miyata, T. Makino, S. Yamasaki, T. Matsumoto, T. Inokuma, N. Tokuda, Applied Surface Science, Vol. 458, 2018, 222-225.
- N. Tokuda, T. Makino, T. Inokuma, S. Yamasaki, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 51, 2012, 090107
- N. Tokuda, H. Umezawa, K. Yamabe, H. Okushi, S. Yamasaki, Diamond and Related Materials, Vol. 19, 2010, 288-290.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Nagai Masatsugu, Yoshida Ryo, Yamada Tatsuki, Tabakoya Taira, Nebel Christoph E., Yamasaki Satoshi, Makino Toshiharu, Matsumoto Tsubasa, Inokuma Takao, Tokuda Norio	4. 巻 58
2. 論文標題 Conductive-probe atomic force microscopy and Kelvin-probe force microscopy characterization of OH-terminated diamond (111) surfaces with step-terrace structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 S11B08 ~ S11B08
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab1b5c	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 該当する
1. 著者名 Matsumoto Tsubasa, Kato Hiromitsu, Makino Toshiharu, Ogura Masahiko, Takeuchi Daisuke, Yamasaki Satoshi, Inokuma Takao, Tokuda Norio	4. 巻 114
2. 論文標題 Inversion channel mobility and interface state density of diamond MOSFET using N-type body with various phosphorus concentrations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 242101 ~ 242101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5100328	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 Tabakoya Taira, Kanada Shohei, Wakui Yusuke, Takamori Yue, Yamada Tatsuki, Nagai Masatsugu, Kojima Yoshiyasu, Ariyada Osamu, Yamasaki Satoshi, Nebel Christoph E., Matsumoto Tsubasa, Inokuma Takao, Tokuda Norio	4. 巻 216
2. 論文標題 High Rate Growth of Single Crystalline Diamond (100) Films by Hot Filament Chemical Vapor Deposition with Tantalum Filaments at 3000? °C	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 1900244 ~ 1900244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201900244	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 該当する
1. 著者名 Nagai M., Nakamura Y., Yamada T., Tabakoya T., Matsumoto T., Inokuma T., Nebel C.E., Makino T., Yamasaki S., Tokuda N.	4. 巻 103
2. 論文標題 Formation of U-shaped diamond trenches with vertical {111} sidewalls by anisotropic etching of diamond (110) surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 107713 ~ 107713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2020.107713	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 該当する

1. 著者名 Tokuda Norio	4. 巻 121
2. 論文標題 Homoeptitaxial Diamond Growth by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Novel Aspects of Diamond	6. 最初と最後の頁 1~29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-12469-4_1	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 Nagai Masatsugu, Nakanishi Kazuhiro, Takahashi Hiraku, Kato Hiromitsu, Makino Toshiharu, Yamasaki Satoshi, Matsumoto Tsubasa, Inokuma Takao, Tokuda Norio	4. 巻 8
2. 論文標題 Anisotropic diamond etching through thermochemical reaction between Ni and diamond in high-temperature water vapour	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-25193-2	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 Yoshida Ryo, Miyata Daisuke, Makino Toshiharu, Yamasaki Satoshi, Matsumoto Tsubasa, Inokuma Takao, Tokuda Norio	4. 巻 458
2. 論文標題 Formation of atomically flat hydroxyl-terminated diamond (111) surfaces via water vapor annealing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 222~225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2018.07.094	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 Matsumoto Tsubasa, Kato Hiromitsu, Makino Toshiharu, Ogura Masahiko, Takeuchi Daisuke, Yamasaki Satoshi, Imura Masataka, Ueda Akihiro, Inokuma Takao, Tokuda Norio	4. 巻 57
2. 論文標題 Direct observation of inversion capacitance in p-type diamond MOS capacitors with an electron injection layer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04FR01~04FR01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.04FR01	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29件(うち招待講演 14件/うち国際学会 15件)

1. 発表者名 M. Nagai, R. Yoshida, T. Yamada, T. Tabakoya, C.E. Nebel, S. Yamasaki, T. Makino, T. Matsumoto, T. Inokuma, N. Tokuda
2. 発表標題 Conductive-Probe AFM and Kelvin-Probe Force Microscopy Characterization of OH-terminated Diamond (111) Surfaces with Step-Terrace Structures through Water Vapor Annealing
3. 学会等名 EM-NANO 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sakauchi, T. Tabakya, M. Nagai, C.E. Nebel, T. Matsumoto, T. Inokuma, N. Tokuda
2. 発表標題 Surface planarization of diamond substrates using carbon solid solution into nickel
3. 学会等名 EM-NANO 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Nakamura, T. Tabakoya, M. Nagai, Y. Katagiri, C.E. Nebel, T. Matsumoto, T. Inokuma, N. Tokuda
2. 発表標題 Electrical characteristics of Ni/B-doped diamond (111) contact after annealing
3. 学会等名 EM-NANO 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 U. Sakurai, T. Matsumoto, M. Nagai, M. Ogura, T. Makino, S. Yamasaki, C.E. Nebel, T. Inokuma, N. Tokuda
2. 発表標題 Reduction of Interface State Density for Diamond MOS structures by Wet Annealing after Hydrogen Plasma Treatment
3. 学会等名 EM-NANO 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンドエレクトロニクスの基礎と技術動向
3. 学会等名 サイエンス&テクノロジーセミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tokuda, T. Matsumoto, T. Inokuma, S. Yamasaki, H. Kato, T. Makino, C.E. Nebel
2. 発表標題 Advances in inversion channel diamond MOSFETs
3. 学会等名 SSDM 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンド半導体の技術動向と可能性
3. 学会等名 技術情報協会セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsumoto, U. Sakurai, T. Yamakawa, H. Kato, T. Makino, M. Ogura, D. Takeuchi, S. Yamasaki, T. Inokuma, N. Tokuda
2. 発表標題 Recent progress for inversion channel mobility improvement in diamond MOSFETsRecent progress for inversion channel mobility improvement in diamond MOSFETsRecent progress for inversion channel mobility improvement in diamond MOSFETsRecent progress for inversion channel mobility improvement in diamond MOSFETsRecent progress for inversion channel mobility improvement in diamond MOSFETs
3. 学会等名 APWS 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tokuda, T. Matsumoto, T. Inokuma, S. Yamasaki, H. Kato, T. Makino, C.E. Nebel
2. 発表標題 Recent Progress in Inversion Channel Diamond MOSFET
3. 学会等名 2019 MRS FALL MEETING&EXHBIT (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本翼、桜井海匡、加藤宙光、牧野俊晴、小倉政彦、竹内大輔、山崎聡、猪熊孝夫、徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンドデバイスとMOS界面の現状
3. 学会等名 電子デバイス界面テクノロジー研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Tokuda, T. Matsumoto, X. Zhang, T. Inokuma, S. Yamasaki, H. Kato, T. Makino, C.E. Nebel, R.J. Nemanich
2. 発表標題 MOS interface control for inversion channel diamond MOSFET
3. 学会等名 Hasselt Diamond Workshop 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本翼、加藤宙光、小山和博、牧野俊晴、小倉政彦、竹内大輔、猪熊孝夫、山崎聡、徳田規夫
2. 発表標題 反転層チャネルダイヤモンドMOSFETの実証
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンドパワーデバイス
3. 学会等名 新技術研究会主催 第314回 月例研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンドエレクトロニクスの 将来像と結晶材料開発
3. 学会等名 日本学術振興会 結晶成長の科学と技術 第161委員会第108回研究会「2025年結晶産業の未来～新規材料素材編～」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンドで究極の省エネ～低炭素社会の実現を目指す～
3. 学会等名 日本海イノベーション会議 新エネルギー戦略-振動発電とダイヤモンド-（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンドパワーデバイスの最新動向とその可能性
3. 学会等名 技術情報協会主催セミナー 次世代パワーデバイスの最新開発動向と実用化展望（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本翼, 加藤宙光, 牧野俊晴, 小倉政彦, 竹内大輔, 猪熊孝夫, 山崎聡, 徳田規夫
2. 発表標題 反転層チャネルダイヤモンドMOSFET ~ ウェットアニール処理による高品質ダイヤモンドMOS界面の形成 ~
3. 学会等名 MOSデバイス・メモリ高性能化 - 材料・プロセス技術 (シリコン材料・デバイス研究会と応用物理学会シリコンテクノロジー分科会との合同開催) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桜井 海匡、松本 翼、 牧野 俊晴、山崎 聡、Christoph E. Nebel、猪熊 孝夫、徳田 規夫
2. 発表標題 ダイヤモンド MOS キャパ シタにおける 低界面準位密度 10^{11} cm^{-2} eV ⁻¹ オーダーの実現
3. 学会等名 平成30年度(2018年)応用物理学会北陸・信越支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nagai, K. Nakanishi, T. Tabakoya, H. Kato, T. Makino, S. Yamasaki, T. Matsumoto, T. Inokuma and N. Tokuda
2. 発表標題 Non-plasma Anisotropic Diamond Etching with High Rate and Selectivity
3. 学会等名 ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Matsumoto, H. Kato, T. Makino, S. Ohmagari, M. Ogura, D. Takeuchi, T. Inokuma, S. Yamasaki and N. Tokuda
2. 発表標題 Inversion channel MOSFET on lightly impurity doped n-type diamond
3. 学会等名 ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	N. Tokuda, R. Yoshida, M. Nagai, T. Tabakoya, S. Yamasaki, T. Makino, T. Matsumoto and T. Inokuma
2. 発表標題	Conductive-Probe AFM Characterization of Diamond (111) Surfaces with Step-Terrace Structures
3. 学会等名	ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	長井 雅嗣, 松本 翼, 猪熊 孝夫, 徳田 規夫
2. 発表標題	熱化学反応を用いた選択的かつ高速な結晶異方性ダイヤモンドエッチング
3. 学会等名	第4回有機・無機エレクトロニクスシンポジウム
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Norio TOKUDA, Ryo YOSHIDA, Masatsugu NAGAI, Taira TABAKOYA, Tsubasa MATSUMOTO, Takao INOKUMA
2. 発表標題	Conductive-Probe AFM Characterization of Atomically Well-Defined Diamond (111) Surfaces
3. 学会等名	The 12th International New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC 2018) (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	吉田稜、山本貴大、長井雅嗣、松本翼、寺地徳之、有屋田修、加藤宙光、山崎聡、徳田規夫、猪熊孝夫
2. 発表標題	窒素ドーピング/低抵抗p+-ダイヤモンド(100)CVD 自立基板を用いた ショットキーpn ダイオード
3. 学会等名	第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名 松本翼、加藤宙光、牧野俊晴、小倉政彦、竹内大輔、猪熊孝夫、徳田規夫、山崎聡
2. 発表標題 ダイヤモンドMOSFET における反転層確認とFET 動作実証
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masatsugu Nagai, Taira Tabakoya, Tsubasa Matsumoto, Takao Inokuma, Norio Tokuda
2. 発表標題 High-Rate and Anisotropic Diamond Etching by Oxidation-Reduction Reaction at NiO/Diamond Interface
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Surface Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 徳田規夫
2. 発表標題 ダイヤモンドパワーデバイス開発の最新動向と離陸への課題
3. 学会等名 第14回 PDEAパワーデバイスセミナー (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Matsumoto, R. Yoshida, T. Yamamoto, T. Teraji, O. Ariyada, H. Kato, S. Yamasaki, T. Inokuma, N. Tokuda
2. 発表標題 100 kA/cm ² Schottky-pn diodes on freestanding diamond (100) substrate
3. 学会等名 Hasselt Diamond Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Matsumoto, H. Kato, T. Makino, M. Ogura, D. Daisuke, T. Inokuma, N. Tokuda, S. Yamasaki
2. 発表標題 Inversion channel diamond MOSFET with lightly phosphorus doped body
3. 学会等名 Hasselt Diamond Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

水蒸気とニッケルを用いた非プラズマプロセスによるダイヤモンドの高速・異方性エッチング技術を開発
<https://www.kanazawa-u.ac.jp/rd/56469>

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	加藤 宙光 (Kato Hiromitsu) (00415655)	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・主任研究員 (82626)	
研究分担者	大曲 新矢 (Ohmagari Shinya) (40712211)	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・主任研究員 (82626)	