

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02616

研究課題名(和文) 三方晶系サファイア基板上的立方晶系ダイヤモンドヘテロエピタキシャル成長の基礎研究

研究課題名(英文) Fundamental Study on Cubic Diamond Heteroepitaxial Growth on Trigonal Sapphire Substrate

研究代表者

嘉数 誠 (Kasu, Makoto)

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：50393731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,400,000円

研究成果の概要(和文)：サファイア基板上的ダイヤモンドヘテロエピタキシャル成長を、MgO基板と比較し、ダイヤモンド層の結晶構造と結晶成長過程を、X線回折や断面TEM観察を用いて明らかにした。三方晶構造のサファイア基板結晶上にIrバッファ層を成長し、ダイヤモンドをエピタキシャル成長する場合、結晶方位関係は、サファイア(11-20)[1-100]//Ir(001)[110]//ダイヤモンド(001)[110]であることを明らかにした。他方MgOの場合は、MgO(001)[110]//Ir(001)[110]//ダイヤモンド(001)[110]であった。サファイアの場合はIrは圧縮歪を受け、ダイヤモンドではほぼ緩和するため、ダイヤモンドの結晶品質が優れている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた知見により、これまで4ミリ角でしかなかったダイヤモンド結晶を、2インチ径まで大口径化できるようになった。さらに、その上に作製したダイヤモンドパワー半導体デバイスは、345MW/cm²の極めて高い出力電力を制御できることを示した。このダイヤモンドパワー半導体デバイスは、近い将来、電気自動車や電車などで使われ、従来よりも格段にエネルギー効率を上げることができる。

研究成果の概要(英文)：Diamond heteroepitaxial growth on sapphire was investigated by X-ray diffraction and TEM observation, in comparison with MgO substrate. We determined the epitaxial relation as sapphire (11-20)[1-100]// Ir(001)[110]// Diamond(001)[110] and MgO(001)[110]// Ir(001)[110]// Diamond(001)[110]. In the case of sapphire substrate, Ir buffer layer was relaxed, and diamond layer has tensile strain.

研究分野：結晶工学

キーワード：ダイヤモンド ヘテロエピタキシャル成長 パワー半導体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドは、高絶縁破壊電界強度 ($>10\text{MV/cm}$)、高移動度 (電子 $4500\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、ホール $3800\text{cm}^2/\text{Vs}$)、高い熱伝導率 (22W/cmK) をもつワイドギャップ半導体であり、SiC や GaN の次の世代の高効率高出力パワー素子として期待されている。しかし現在の高温高圧ダイヤモンド単結晶基板上ダイヤモンド膜の寸法は 4mm 角程度であり、重要な課題の一つが大口径ダイヤモンド単結晶ウエファである。

そのためヘテロエピタキシャル成長の研究が進められてきた。これまで非常に多くの試みが行われてきたが、高品質結晶の観点では、Ir(001)上に高密度のダイヤモンド核形成が起こることが発見され、その下地基板に MgO(001)基板を用いる方法が Sawabe らにより様々な試みがなされている。[1] また Si/YSZ (イットリア安定化ジルコニア) (001)基板を用いる方法は Schreck らにより進められ 92mm のダイヤモンドヘテロエピ膜が報告されている。[2]

それに対し申請者らは予備実験で(0001)サファイア基板を用い(001)Irバッファ層を介し、高品質のダイヤモンド成長の見通しを得た。予備実験では次のような結果が示された。(1)ダイヤモンドの転位密度を平面 TEM で調べ $1.1 \times 10^7\text{cm}^{-2}$ であった。[3] これは Schreck ら[2]のエッチピットによる密度 $4 \times 10^7\text{cm}^{-2}$ より低かった。(2)ダイヤモンドのスキャンロッキング半値幅は 120sec であった。Schreck ら[2]の 230sec より低かった。

2. 研究の目的

本研究では、申請者らが最近見出した、大口径化可能なサファイア基板上でダイヤモンドヘテロエピタキシャル成長とその成長機構の解明を行う。特にヘテロエピの結晶性に重要なサファイア結晶表面上および Ir バッファ層面上のダイヤモンドの成長初期過程、すなわち炭素原子の表面拡散、核生成・合体の過程、層成長過程をシンクロトロン X 線トポグラフィーや AFM、X 線回折などで明らかにする。また成長過程で起こる転位発生・消滅の機構、デバイス特性に関連のあるキャリア移動度への影響も明らかにする。またサファイア基板の様々な面方位、オフ基板[4]、様々な形状のパターン化基板によるステップフロー成長、ELO 成長も試みる。本研究はダイヤモンドパワー素子につながる研究である。

3. 研究の方法

本研究では、(112 $\bar{0}$)面のサファイア基板と(001)面の MgO 基板を用意し、(001)Ir バッファ層を成長し、その上に(001)ダイヤモンドをエピ成長した。Ir バッファ層、ダイヤモンド層の結晶品質、格子定数を X 線回折法で測定した。

4. 研究成果[5]

図 1 は X 線ロッキングカーブであるが、004 回折に対して、サファイア基板上のダイヤモンドは 113 秒の狭い半値幅に対し、MgO 基板上では 280 秒となった。311 回折に対しては、サファイア基板上のダイヤモンドは 234 秒の狭い半値幅に対し、MgO 基板上では 534 秒となった。これらの結果により、サファイア基板上では高品質なダイヤモンド膜が得られることがわかった。なお、これらの値は、世界最高品質を示している。

図 2 は Ir220 回折を Ir バッファ層の表面、裏面で取った結果だが、MgO 基板上では、より強

い圧縮歪を受けていることがわかった。サファイア基板上では、ほとんど緩和していることがわかった。

図3のようにダイヤモンド 220 回折を表面、裏面で取り、格子定数を比較したところ、MgO 基板上では、より強い引張歪を受けていることがわかった。それに対して、サファイア基板上では、引張り歪を受けているものの、MgO 基板上よりも弱いことがわかった。

以上より、サファイア基板上では、Ir バッファ層の段階で歪が緩和され、それによって高品質なダイヤモンド膜が成長することが明らかになった。

<引用文献>

[1] H. Aida, S.-W. Kim, K. Ikejiri, Y. Kawamata, K. Koyama, H. Kodama, and A. Sawabe, *Appl. Phys. Express* 9, 035504 (2016).

[2] M. Schreck, S. Gsell, R. Brescia, and M. Fischer, *Sci. Rep.* 7, 44462 (2017).

[3] S. -W. Kim, Y. Kawamata, R. Takaya, K. Koyama, and M. Kasu, "Growth of high-quality one-inch freestanding heteroepitaxial (001) diamond on (11-20) sapphire substrate", *Appl. Phys. Lett.* 117, 202102 (2020).

[4] S. -W. Kim, R. Takaya, S. Hirano, and M. Kasu, "Two-inch high-quality (001) diamond heteroepitaxial growth on sapphire (112̄0) misoriented substrate by step-flow mode", *Appl. Phys. Express* 14, 115501 (2021).

[5] M. Kasu, R. Takaya, Seong-Woo Kim, "Growth of high-quality inch-diameter heteroepitaxial diamond layers on sapphire substrates in comparison to MgO substrates", *Dia. Rel. Mater.* 126, 109086 (2022).

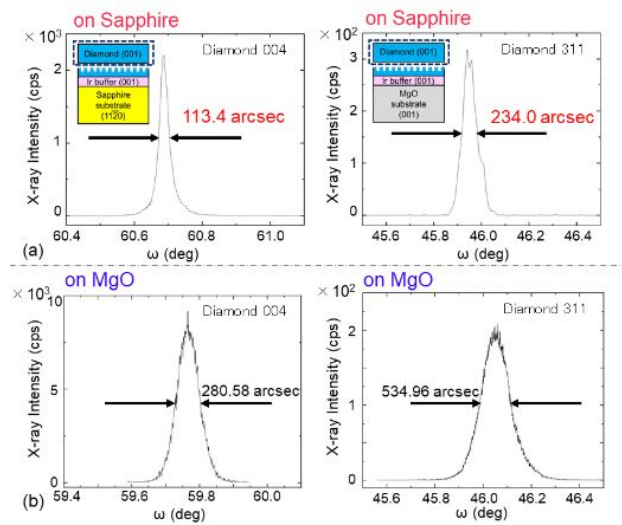


図1. サファイア基板および MgO 基板上にエピ成長したダイヤモンドの X 線ロッキングカーブ

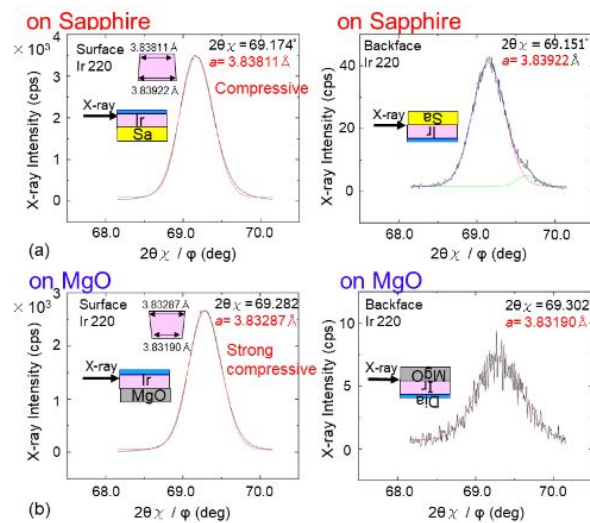


図2. サファイア基板および MgO 基板上の Ir バッファ層の X 線 220 回折

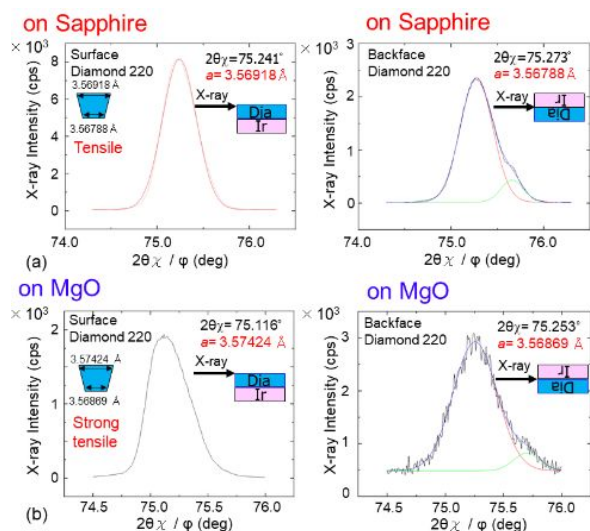


図3. サファイア基板および MgO 基板上にエピ成長したダイヤモンドの X 線 220 回折

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 S. Masuya, K. Sasaki, A. Kuramata, S. Yamakoshi, O. Ueda, and M. Kasu	4. 巻 58
2. 論文標題 Characterization of crystalline defects in α -Ga ₂ O ₃ single crystals grown by edge-defined film-fabricated growth and halide vapor-phase epitaxy using synchrotron X-ray topography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 55501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0dba	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. Kanda, Y. Shimizu, Y. Ohno, K. Shirasaki, Y. Nagai, M. Kasu, N. Shigekawa, and J. Liang	4. 巻 59
2. 論文標題 Fabrication of diamond/Cu direct bonding interface for power device applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBB03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab4f19	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 J. Liang, Y. Ohno, Y. Yamashita, Y. Shimizu, S. Kanda, N. Kamiuchi, S-W Kim, K. Koyama, Y. Nagai, M. Kasu, and N. Shigekawa	4. 巻 3
2. 論文標題 Characterization of Nanoscopic Cu/Diamond Interfaces Prepared by Surface-Activated Bonding: Implications for Thermal Management	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Nano Materials	6. 最初と最後の頁 2455-2462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b02558	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 嘉数 誠、榎谷聡士	4. 巻 32
2. 論文標題 パワー半導体デバイス応用を目指したダイヤモンド、酸化ガリウムのシンクロトロンX線トポグラフィ観察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 放射光学会	6. 最初と最後の頁 285-291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Niloy Chandra Saha, Toshiyuki Oishi, Seongwoo Kim, Yuki Kawamata, Koji Koyama, and Makoto Kasu	4. 巻 41
2. 論文標題 145-MW/cm ² Heteroepitaxial Diamond MOSFETs With NO ₂ p-Type Doping and an Al ₂ O ₃ Passivation Layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS	6. 最初と最後の頁 1066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LED.2020.2997897	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 Sayleap Sdoeung, Kohei Sasaki, Katsumi Kawasaki, Jun Hirabayashi, Akito Kuramata, Toshiyuki Oishi, and Makoto Kasu	4. 巻 117
2. 論文標題 Origin of reverse leakage current path in edge-defined film-fed growth (001) -Ga ₂ O ₃ Schottky barrier diodes observed by high sensitive emission microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 22106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0012794	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 Niloy Chandra Saha, Kazutoshi Takahashi, Masaki Imamura, and Makoto Kasu	4. 巻 128
2. 論文標題 Observation of nitrogen species at Al ₂ O ₃ /NO ₂ /H-diamond interfaces by synchrotron radiation x-ray photoemission spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 135702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0024040	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 Seong-Woo Kim, Yuki Kawamata, Ryota Takaya, Koji. Koyama, and Makoto Kasu	4. 巻 117
2. 論文標題 Growth of high-quality one-inch freestanding heteroepitaxial (001) diamond on (11-20) sapphire substrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 202102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0024070	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 Jianbo Liang, Yuji Nakamura, Tianzhuo Zhan, Yutaka Ohno, Yasuo Shimizu, Kazu Katayama, Takano Watanabe, Hideto Yoshida, Yasuyoshi Nagai, Hongxing Wang, Makoto Kasu, Naoteru Shigekawa	4. 巻 111
2. 論文標題 Fabrication of high-quality GaAs/diamond heterointerface for thermal management applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Diamond & Related Materials	6. 最初と最後の頁 108207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2020.108207	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 Sayleap Sdoeung, Kohei Sasaki, Katsumi Kawasaki, Jun Hirabayashi, Akito Kuramata, and Makoto Kasu	4. 巻 14
2. 論文標題 Polycrystalline defects; origin of leakage current in halide vapor phase epitaxial (001) - Ga2O3 Schottky barrier diodes identified via ultrahigh sensitive emission microscopy and synchrotron X-ray topography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 36502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abde74	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 Makoto Kasu, Niloy Chandra Saha, Toshiyuki Oishi, and Seong-Woo Kim	4. 巻 14
2. 論文標題 Fabrication of diamond modulation-doped FETs by NO2 delta doping in an Al2 O3 gate layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 51004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abf445	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 Seiya Shigematsu, Toshiyuki Oishi, Yuhei Seki, Yasushi Hoshino, Jyoji Nakata, and Makoto Kasu	4. 巻 60
2. 論文標題 Schottky barrier diodes fabricated on high-purity type-IIa CVD diamond substrates using an all- ion-implantation process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 50903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abf6e7	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 Sayleap Sdoeung, Kohei Sasaki, Satoshi Masuya, Katsumi Kawasaki, Jun Hirabayashi, Akito Kuramata, and Makoto Kasu	4. 巻 118
2. 論文標題 Stacking faults: Origin of leakage current in halide vapor phase epitaxial (001) -Ga203 Schottky barrier diodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 172106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0049761	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 Niloy Chandra Saha, Seong-Woo Kim, Toshiyuki Oishi, Yuki Kawamata, Koji Koyama, and Makoto Kasu	4. 巻 42
2. 論文標題 345-MW/cm ² 2608-V N02 p-type Doped Diamond MOSFETs with an Al2O3 Passivation Overlayer on Heteroepitaxial Diamond	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Letters	6. 最初と最後の頁 903-906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LED.2021.3075687	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 Jianbo Liang,* Ayaka Kobayashi, Yasuo Shimizu, Yutaka Ohno, Seong-Woo Kim, Koji Koyama, Makoto Kasu, Yasuyoshi Nagai, and Naoteru Shigekawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Fabrication of GaN/Diamond Heterointerface and Interfacial Chemical Bonding State for Highly Efficient Device Design	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2104564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202104564	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 Seong-Woo Kim, Ryota Takaya, Shintaro Hirano, and Makoto Kasu	4. 巻 14
2. 論文標題 Two-inch high-quality (001) diamond heteroepitaxial growth on sapphire (11-20) misoriented substrate by step-flow mode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 115501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac28e7	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 Sayleap Sdoeung, Kohei Sasaki, Katsumi Kawasaki, Jun Hirabayashi, Akito Kuramata, and Makoto Kasu	4. 巻 120
2. 論文標題 Probe-induced surface defects: Origin of leakage current in halide vapor-phase epitaxial (001) -Ga203 Schottky barrier diodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 92101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0085057	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 Sayleap Sdoeung, Kohei Sasaki, Katsumi Kawasaki, Jun Hirabayashi, Akito Kuramata, Toshiyuki Oishi, and Makoto Kasu	4. 巻 120
2. 論文標題 Line-shaped defects: Origin of leakage current in halide vapor-phase epitaxial (001) -Ga203 Schottky barrier diodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 122107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0088284	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72件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 25件)

1. 発表者名 嘉数 誠
2. 発表標題 -Ga203結晶中の欠陥とデバイス特性との関係
3. 学会等名 信州大学グリーンマテリアル研究所シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嘉数 誠
2. 発表標題 -Ga203結晶中の欠陥と電気的特性との関係
3. 学会等名 日本学術振興会162委員会第113回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嘉数 誠
2. 発表標題 -Ga2O3単結晶中の欠陥と電気的特性の相関
3. 学会等名 本学術振興会 ワイドギャップ半導体光・電子デバイス 第162委員会、第113回研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Kasu
2. 発表標題 Diamond Semiconductor Technologies towards RF Power Applications
3. 学会等名 4th International Carbon Materials Conference and Exhibition（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Niloy Chandra Saha, Kazutoshi Takahashi, Masaki Imamura, Makoto Kasu
2. 発表標題 Heterointerfacial electronic properties and energy band alignment of Al ₂ O ₃ /Air/H-diamond heterointerface using XPS/XANES measurements
3. 学会等名 13th New Diamond and Nano Carbons Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kasu, Y. Ishimatsu, T. Kamogawa, N. C. Saha, T. Oishi, S. -W. Kim
2. 発表標題 RF characteristics for submicron-gate diamond MOSFETs fabricated on heteroepitaxial diamonds
3. 学会等名 13th New Diamond and Nano Carbons Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kasu, K. Sasaki, K. Kawasaki, J. Hirabayashi, and A. Kuramata
2 . 発表標題 Relation between Emission Spots and Reverse Leakage Current in HVPE (001) -Ga2O3 Schottky Barrier Diodes
3 . 学会等名 2019 International Workshop on Gallium Oxide and related materials (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kasu, S. Masuya, K. Sasaki, A. Kuramata, T. Kobayashi, K. Hoshikawa, and O. Ueda
2 . 発表標題 Synchrotron X-ray Topography Observation of Defects in Vertical-Bridgman-Grown -Ga2O3 Single Crystal
3 . 学会等名 2019 International Workshop on Gallium Oxide and related materials (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kasu, T. Kamogawa, N. C. Saha, T. Oishi, S. -W. Kim
2 . 発表標題 RF measurements and analysis for submicron-gate diamond MOSFETs fabricated on heteroepitaxial diamonds
3 . 学会等名 30th International Conference on Diamond and Related Materials (ICDCM2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kasu, Y. Ishimatsu, T. Kamogawa, N. C. Saha, T. Oishi, S. -W. Kim
2 . 発表標題 RF characteristics for submicron-gate diamond MOSFETs fabricated on heteroepitaxial diamonds
3 . 学会等名 30th International Conference on Diamond and Related Materials (ICDCM2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 梁 剣波、清水康雄、大野 裕、白崎謙次、永井康介、嘉数 誠、金 聖祐、Kuball Martin、重川直輝
2. 発表標題 高出力パワーデバイス応用に向けたGaN/Diamond直接接合の作製
3. 学会等名 2019年秋季応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村祐志、清水康雄、大野 裕、詹 天卓、山下雄一郎、白崎謙次、永井康介、渡邊孝信、嘉数 誠、重川直輝、梁 剣波
2. 発表標題 GaAs/Diamond直接接合の界面評価
3. 学会等名 2019年秋季応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ニロイ チャンドラ サハ、川又友喜、小山浩司、金 聖祐、大石敏之、嘉数 誠
2. 発表標題 N02ドープダイヤモンドMOSFETの大電流 (0.78 A / mm)、高電圧 (618 V) 動作
3. 学会等名 2020年春季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高谷亮太、川又友喜、小山浩司、金 聖祐、嘉数 誠
2. 発表標題 サファイア基板上ダイヤモンドヘテロエピタキシャルの成長機構
3. 学会等名 2020年春季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 スダーン セイリーブ, 佐々木公平, 倉又朗人, 嘉数 誠
2. 発表標題 高感度エミッション顕微鏡による(001 型酸化ガリウムショットキーバリアダイオードの漏れ電流の観察
3. 学会等名 2020年春季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林礼佳, 清水康雄, 大野 裕, 金 聖祐, 小山 浩司, 嘉数 誠, 重川直輝, 梁 剣波
2. 発表標題 GaN/多結晶ダイヤモンド直接接合の作製及び特性評価
3. 学会等名 2020年春季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嘉数 誠
2. 発表標題 放射光X線トポグラフィーによる次世代パワー半導体酸化ガリウムの欠陥の観察
3. 学会等名 日本学術振興会第186委員会 第36回研究会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嘉数 誠, 金聖祐
2. 発表標題 ダイヤモンド半導体ウェハとデバイス技術の最近の進
3. 学会等名 (一社)電子実装工学研究所(IMS1)接合界面創成技術研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Kasu
2. 発表標題 145-MW/cm ² NO ₂ -Doped Diamond MOSFETs
3. 学会等名 Diamond Electronics Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠、金 聖祐
2. 発表標題 ダイヤモンド大口径ウェハおよびパワートランジスターの最近の進展
3. 学会等名 耐放射線デバイス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠、金 聖祐
2. 発表標題 ダイヤモンド大口径ウェハおよびパワートランジスターの最近の進展
3. 学会等名 機械学会、No.21-35 熱工学コンファレンス (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Kasu
2. 発表標題 Diamond wafer growth and power transistors
3. 学会等名 ナノ科学シンポジウム 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠、金 聖祐
2. 発表標題 ダイヤモンドウェハおよびトランジスタ技術の最近の進展
3. 学会等名 2021 Microwave Workshops & Exhibition (MWE 2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠、金 聖祐
2. 発表標題 マイクロ波帯ハイパワーアンプ応用を目指したダイヤモンドトランジスタの研究
3. 学会等名 2021 Microwave Workshops & Exhibition (MWE 2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠
2. 発表標題 HVPE成長b-Ga203 SBDのキラーク隙のエミッション顕微鏡とシンクロトロン X 線トポグラフィーによる観察
3. 学会等名 日本学術振興会「結晶加工と評価技術」第 145 委員会 第 173 回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠、金 聖
2. 発表標題 ダイヤモンド半導体デバイスの最近の進展2インチ径ヘテロエピウェハ成長と選択ドーパードバイスの作製
3. 学会等名 応用物理学会、先進パワー半導体研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠、金 聖祐
2. 発表標題 ステップフローを用いたダイヤモンド2インチ径ヘテロウェハ成長と選択ドーピングしたダイヤモンドFETの開発
3. 学会等名 独立行政法人 日本学術振興会 第R032委員会 第5回研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嘉数 誠
2. 発表標題 ダイヤモンドパワーFETと大口径ウエファアの最近の進展
3. 学会等名 日本学術振興会第161委員会第117回 研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嘉数 誠
2. 発表標題 究極の半導体 ダイヤモンドの大口径ウェハとパワーデバイスの最近の進展
3. 学会等名 令和3年度ナノ・マイクロ技術支援講座（ナノ茶論）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高谷亮太, 川又友喜, 小山浩司, 金 聖祐, 嘉数 誠
2. 発表標題 サファイア基板上にヘテロエピタキシャル成長したダイヤモンドの核形成の観察
3. 学会等名 2020年秋季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嘉数 誠, スダーン セイリブ, 小林拓実, 大葉悦子, 干川圭吾
2. 発表標題 高品質VB成長 型酸化ガリウムバルク結晶のシンクロトロンX線トポグラフィー観察
3. 学会等名 2020年秋季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嘉数 誠, スダーン セイリブ, 佐々木公平, 榎谷聡士, 川崎克己, 平林 潤, 倉又 朗人
2. 発表標題 HVPE成長 型酸化ガリウムエピ層中の積層欠陥の観察
3. 学会等名 2020年秋季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嘉数 誠, スダーン セイリブ, 佐々木公平, 大石敏之, 川崎克己, 平林 潤, 倉又 朗人,
2. 発表標題 超高感度エミッション顕微鏡によるEFG成長 型酸化ガリウムショットキーバリアダイオードの漏れ電流の起源の同定
3. 学会等名 2020年秋季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Niloy Chandra Saha, Toshiyuki Oishi, Seongwoo Kim, Yuki Kawamata, Koji Koyama, Makoto Kasu
2. 発表標題 145-MW/cm ² N ₀₂ -Doped Diamond MOSFETs
3. 学会等名 2020年秋季応用物理学会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Kasu, S. Sayleap, H. Takaji, K. Sasaki, J. Arima, K. Kawasaki, J. Hirabayashi, A. Kuramata
2 . 発表標題 Ultrahigh-Sensitivity Emission Microscopy Study of α -Ga ₂ O ₃ Schottky Barrier Diodes in Operation
3 . 学会等名 Materials Research Society 2020 Virtual Spring Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Chandra, T. Oishi, S. -W. Kim, Yuki Kawamata, Koji Koyama, and M. Kasu
2 . 発表標題 High Current (0.7 A/mm) for Diamond MOSFETs with 1.4-um gate and NO ₂ P-Type Doping on High Quality Heteroepitaxial Diamond Substrates
3 . 学会等名 Materials Research Society 2020 Virtual Spring Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Kasu, R. Takaya, Yuki Kawamata, Koji Koyamand, and S. -W. Kim
2 . 発表標題 Initial Growth of High-Quality Diamond Heteroepitaxial Layer on Sapphire Substrate ”
3 . 学会等名 Materials Research Society 2020 Virtual Spring Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 真崎 瞭, 高谷亮太, 金 聖祐, 川又友喜, 小山浩司, ニロイ チャンドラ, 嘉数 誠
2 . 発表標題 MgO基板上ダイヤモンドヘテロエピタキシャル成長機構
3 . 学会等名 2021年春季応用物理学会
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 高谷亮太, 金 聖祐, 川又友喜, 小山浩司, ニロイ サハ チャンドラ, 嘉数 誠
2. 発表標題 サファイア基板上に成長した最高品質ヘテロエピタキシャルダイヤモンド
3. 学会等名 2021年春季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Niloy Chandra Saha, Kazutoshi Takahashi, Masaki Imamura, Makoto Kasu
2. 発表標題 Observation of Nitrogen species at Al ₂ O ₃ /N ₀₂ /H-diamond Interfaces Using Synchrotron X-ray Photoemission Spectroscopy
3. 学会等名 2021年春季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sayleap Sdoeung, Kohei Sasaki, Katsumi Kawasaki, Jun Hirabayashi, Akito Kuramata, Makoto Kasu
2. 発表標題 Polycrystalline Defects Origin of Reverse Leakage Current in HVPE (001) -Ga ₂ O ₃ SBDs Identified by High Sensitive Emission Microscope
3. 学会等名 2021年春季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠, スダーン セイリーブ, 佐々木公平, 榎谷聡士, 川崎克己, 平林潤, 倉又朗人
2. 発表標題 高感度エミッション顕微鏡によるHVPE(001)beta型酸化ガリウムSBDのリーク電流の起源の同定 微粒子による積層欠陥
3. 学会等名 2021年春季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Niloy Chandra Saha, Seong Woo Kim, Toshiyuki Oishi, Yuki Kawamata, Koji Koyama, Makoto Kasu,
2 . 発表標題 2608 V Operation of NO ₂ -Doped p-channel Diamond MOSFETs
3 . 学会等名 2021年春季応用物理学会
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Kasu, N.C. Saha, S. -W. Kim, Y. Kawamata, K. Koyama, and T. Oishi
2 . 発表標題 2608-V 344.6-MW/cm ² NO ₂ p-type Doped Diamond MOSFETs on High-Quality Heteroepitaxial Diamond Layers
3 . 学会等名 Materials Research Society 2021 Spring Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Kasu, S. Sayleap, H. Takaji, K. Sasaki, J. Arima, K. Kawasaki, J. Hirabayashi, A. Kuramata
2 . 発表標題 Killer defects in -Ga ₂ O ₃ Schottky barrier diodes observed by ultrahigh sensitive emission microscopy and synchrotron X-ray topography
3 . 学会等名 Materials Research Society 2021 Spring Meetin (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Niloy Chandra Saha, Seong-Woo Kim, Toshiyuki Oishi, Yuki Kawamata, Koji Koyama, Makoto Kasu
2 . 発表標題 High Current (776 mA/mm) and High Voltage (618 V) Operation of Heteroepitaxial Diamond FETs with NO ₂ Doping
3 . 学会等名 New Diamond and Nano Carbons 2020/2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Sigematsu, T. Oishi, Y. Seki, J. Nakata, and M. Kasu
2 . 発表標題 Diamond Schottky barrier diodes with double Boron ion implantation structure
3 . 学会等名 New Diamond and Nano Carbons 2020/2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Takaya, Y. Kawamata, K. Kawamata, Seong -Woo Kim, and M. Kasu
2 . 発表標題 Mechanism of Diamond Heteroepitaxial Growth on Sapphire Substrate
3 . 学会等名 New Diamond and Nano Carbons 2020/2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Kasu, N.C. Saha, S.-W. Kim, and T. Oishi,
2 . 発表標題 Modulation-doped diamond field-effect transistors fabricated by N ₂ delta doping in an Al ₂ O ₃ gate layer
3 . 学会等名 31st International Conference on Diamond and Carbon Materials (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Makoto Kasu, Ryota Takaya, Ryo Masaki, Niloy Chandra Saha, Yuki Kawamata, Koji Koyama, and Seong-Woo Kim
2 . 発表標題 Initial Growth Mechanism of High-Quality Diamond Heteroepitaxial Layers on Sapphire and MgO Substrate
3 . 学会等名 31st International Conference on Diamond and Carbon Materials (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 重松 誠弥, 関 裕平, 星野 靖, 中田 穰治, 大石 敏之, 嘉数 誠
2. 発表標題 イオン注入法のみでドーピングし作製したダイヤモンドショットキーバリアダイオード
3. 学会等名 2021年秋季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠, ニロイ サハ チャンドラ, 金 聖祐, 大石敏之
2. 発表標題 選択ドーピングしたダイヤモンド電界効果トランジスタ
3. 学会等名 2021年秋季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 スダーン セイリーブ, シャーマン イスラム, 榎谷聡士, 佐々木公平, 川崎克己, 平林潤, 倉又朗人, 嘉数 誠
2. 発表標題 高感度エミッション顕微鏡によるHVPE (001)ベータ型酸化ガリウムSBDのリーク電流の起源の同定-プローブによる欠陥
3. 学会等名 2021年秋季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高谷亮太, 眞崎 瞭, 金 聖祐, ニロイ チャンドラ サハ, 嘉数 誠
2. 発表標題 サファイア基板に大口径・高品質ヘテロエピタキシャルダイヤモンドが成長する機構
3. 学会等名 2021年秋季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金 聖祐, 高谷亮太, 嘉数 誠
2. 発表標題 ステップフロー成長を用いたヘテロエピタキシャルダイヤモンドの高品質化
3. 学会等名 2021年秋季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 チャマン イスラム, 干川圭吾, 嘉数 誠
2. 発表標題 高分解能X線回折法によるVB成長 型酸化ガリウムの結晶品質の評価
3. 学会等名 2021年秋季応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠, 高谷亮太, 金 聖祐
2. 発表標題 サファイア基板上大口径・高品質ヘテロエピタキシャルダイヤモンドの成長機構
3. 学会等名 日本結晶成長学会第50回結晶成長国内会議(JCCG-50)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金聖祐, 平野慎太郎, 高谷亮太, 嘉数誠
2. 発表標題 ステップフロー成長を用いたサファイア基板上大口径・高品質ダイヤモンドのヘテロエピタキシャル成長
3. 学会等名 日本結晶成長学会第50回結晶成長国内会議(JCCG-50)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嘉数 誠, スダーン セイリーブ, シャーマン イスラム, 榎谷聡士, 佐々木公平, 川崎克己, 平林 潤, 倉又朗人
2. 発表標題 高感度エミッション顕微鏡およびシンクロトロンX線トポグラフィーによるHVPE(001) 型酸化ガリウムSBDのキラ欠陥の同定
3. 学会等名 日本結晶成長学会第50回結晶成長国内会議(JCCG-50)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Kasu, Niloy Chandra Saha, Seong-Woo Kim, and Toshiyuki Oishi
2. 発表標題 Diamond Field-Effect Transistors with Modulation Doping
3. 学会等名 2021 Materials Research Society Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seong-Woo Kim, Ryota Takaya, and Makoto Kasu
2. 発表標題 High Quality Heteroepitaxial Diamond by Using Step-Flow Growth
3. 学会等名 2021 Materials Research Society Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Kasu and Niloy Chandra Saha
2. 発表標題 Recent Progress of High-Voltage High-Power Diamond MOSFETs
3. 学会等名 1st International Workshop on Diamond Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Sayleap Sdoeung, Kohei Sasaki, Katsumi Kawasaki, Jun Hirabayashi, Akito Kuramata, and Makoto Kasu
2 . 発表標題 Observation of Reverse Leakage Current in (001) Halide Vapor Phase Epitaxial (HVPE)-grown b-Gallium Oxide Schottky Barrier Diodes by High Sensitive Emission Microscope
3 . 学会等名 1st International Workshop on Diamond Devices (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Chaman Islam, Sayleap Sdoeung, and Makoto Kasu
2 . 発表標題 Structural Characterization of Vertical-Bridgman and Edge-Defined Film-Fed Growth -Ga2O3 Single Crystal Wafers by High-resolution X-ray Diffraction and Synchrotron X-ray Topography
3 . 学会等名 1st International Workshop on Diamond Devices (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Takaya, S-W. Kim, M. Kasu
2 . 発表標題 Growth of high-quality inch-diameter heteroepitaxial diamond layers on Sapphire substrates in comparison to MgO substrates
3 . 学会等名 1st International Workshop on Diamond Devices (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Shigematsu, Y. Seki, Y. Hoshino, J. Nakata, T. Oishi, and M. Kasu
2 . 発表標題 Fabrication and Electrical properties for diamond Schottky Barrier Diodes with small area Schottky electrode using All-Ion-Implantation Process
3 . 学会等名 1st International Workshop on Diamond Devices (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 ニロイ チャンドラ サハ, 金 聖祐, 大石敏之, 嘉数 誠
2. 発表標題 820 MW/cm ² 0.42 A/mm 3326 V 選択ドーピングダイヤモンドMOSFET
3. 学会等名 2022年秋季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ニロイ チャンドラ サハ, 金 聖祐, 大石敏之, 嘉数 誠
2. 発表標題 875 MW/cm ² 2568 V 0.68A/mm NO ₂ ドープダイヤモンドMOSFET
3. 学会等名 2022年秋季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金 聖祐, 高谷 亮太, 平野 慎太郎, 川又 友喜, 小山 浩司, 嘉数 誠
2. 発表標題 N フリーヘテロエピタキシャルダイヤモンドの成長
3. 学会等名 2022年秋季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 スダーン セイリーブ, シャーマン イスラム, 榎谷聡士, 佐々木公平, 川崎克己, 平林潤, 倉又朗人, 嘉数 誠
2. 発表標題 高感度エミッション顕微鏡によるHVPE (001)ベータ型酸化ガリウムSBDのリーク電流の起源の同定—研磨による表面キズ
3. 学会等名 2022年秋季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ムヒドゥル イスラム チャマン , スダーン セイリーブ , 嘉数 誠
2. 発表標題 精密 X 線回折法による高品質 EFG -Ga203単結晶の格子定数の決定
3. 学会等名 2022年秋季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ムヒドゥル イスラム チャマン, 干川圭吾 , スダーン セイリーブ , 嘉数 誠
2. 発表標題 垂直 VB 成長と EFG 成長(001) -Ga203 結晶の X 線トポグラフィー観察
3. 学会等名 2022年秋季応用物理学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

佐賀大学理工学部電気エネルギーコース、電子デバイスコース、パワー半導体（嘉数）研究室 http://www.ee.saga-u.ac.jp/pelab/

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	高橋 和敏 (Takahashi Kazutoshi) (30332183)	佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター・教授 (17201)	

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	大石 敏之 (Oishi Toshiyuki) (40393491)	佐賀大学・理工学部・教授 (17201)	

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