

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 14 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360124

研究課題名(和文)ダイヤモンド表面の超高濃度キャリア生成機構の統一的説明と次世代デバイスへの展開

研究課題名(英文)Extremely high density carrier doping mechanism on diamond and application to the next generation devices

研究代表者

嘉数 誠 (Kasu, Makoto)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50393731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)：ダイヤモンド表面の超高濃度のキャリアの生成機構を明らかにした。水素終端ダイヤ表面の正孔生成はNO₂吸着によることを突き止め、半導体として極めて高濃度の正孔キャリアが得た。Al₂O₃薄膜をALD法で堆積することによる熱的安定化を見出し、ダイヤFETの安定動作が可能にした。シンクロトロン電子分光法で酸素に由来する界面準位を見出し、バンド構造を決定した。ダイヤFETのCV測定を行い界面電荷、界面準位の密度を導出した。第一原理計算からNO₂のSOMO準位による機構を提案した。上記の技術を用いたダイヤモンドFETを作製し世界最高水準のDC,RF特性を示した。

研究成果の概要(英文)：We investigated high-density hole carrier generation mechanism. First, we found NO₂ adsorption on diamond surface results in hole doping, and obtained extremely high hole density. Next, we found that Al₂O₃ deposited by ALD stabilizes hole channel, and thermally stable FET operation. Next, by synchrotron YPS/UPS, we found O-related surface states and determined the band diagram. Next, by C-V measurements, we determined surface charge and state densities. From the first-principle calculations, we proposed the NO₂-related SOMO model to explain the hole doping. By these technologies, we obtained world-high-level RF and DC FET characteristics.

研究分野：電気・電子材料

キーワード：ダイヤモンド キャリア伝導

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンド表面が水素で終端されると p 型伝導を示すことは、1989 年に発見され、F. Maier らや Chakrapani らは H₂O 表面層の存在を仮定し現象を説明した。

それに対し、我々は次のような実験事実を最近見出した。①水素終端ダイヤ表面で正孔生成する 4 種の吸着分子 (NO₂, SO₂, NO, O₃) を同定した。彼らが仮定した H₂O 表面層は存在しないこと。②正孔キャリアは幅 3Å 内に局在した二次元系である。③高濃度の NO₂ を吸着させたところ、表面の正孔濃度はダイヤ表面原子密度の約 10% に相当する 2x10¹⁴cm⁻² の極めて高濃度に達した。この正孔濃度は GaN/AlGaN 系より 1 桁高く、半導体二次元系キャリアとして最高であり、C. Kittel の分類に因れば金属と半金属の境界領域に相当する。④正孔面濃度は 9.5x10¹³ cm⁻²、移動度は 55cm²V⁻¹s⁻¹、シート抵抗は 1.2kΩ/sq に達し、実用デバイスに応用可能な物性値が得られた。⑤ダイヤ上に、結晶構造が異なる窒化物のシングルドメイン構造のヘテロ成長を、特定の面方位を用いることにより可能にした。また水素終端ダイヤの正孔伝導層を窒化物、酸化物堆積で熱的に安定化できる。

2. 研究の目的

本研究では、我々が見出したダイヤモンド表面に金属的に極めて高濃度の正孔キャリアが生成する現象に関し、その正孔伝導層を熱的に安定化し、その生成機構、電子物性を明らかにすることにより、超高効率パワーデバイスに応用展開するための基礎研究の完成と基盤技術の構築を目的とする。具体的には次の通りである。①超高濃度の正孔キャリアが生成する機構を実験、理論両面から解明し、全半導体に展開する。②ダイヤ表面上に室温近傍で窒化物や酸化物薄膜を成長し、正孔伝導層を熱的に安定化する技術を構築する。③金属的な振舞いも予想される二次元正孔伝導層の電子物性を明らかにする。④熱的に安定化した高濃度の二次元正孔伝導層をもつダイヤ電子デバイス構造を作製し、パワーデバイスの基盤技術を構築する。

3. 研究の方法

本研究では、我々が見出した水素終端ダイヤ表面で極めて高濃度の正孔が生成する現象を出発点に、次の基礎物性研究と応用的研究を行い、次世代パワーデバイスの実現につなげる。具体的には、①水素終端ダイヤ表面で、4 種の分子吸着により金属的に高濃度の正孔が生成する機構を、実験と理論の両面から解明し、その理論を全半導体に展開する。②正孔伝導層のダイヤ表面上に、室温近傍の低温で窒化物や酸化物薄膜成長を行い、正孔伝導層を熱的に安定化させる技術を確立する。③金属的に超高濃度の正孔伝導層の電子物性を明らかにし、基礎的研究を完成させる。④高濃度正孔伝導層をもつデバイス構造を

製し、パワーデバイスに応用展開のための基盤技術を構築する。

4. 研究成果

(1) シンクロトロン XPS による表面構造観察

水素終端ダイヤモンド表面で、NO₂ 吸着により高濃度の正孔が生成する現象の機構の解明に、シンクロトロン放射 X 線による光電子分光測定および X 線吸収端構造 (XANES) 測定を行った。

図 1 はスパッタに対する 01s の光電子放出のスペクトラムである。Al₂O₃ が厚さ 8nm のスパッタ前のスペクトラムでは、Al₂O₃ の酸素のスペクトラムが明瞭に見えるが、スパッタするにつれ、Al₂O₃ の膜厚が薄くなり、下地の NO₂ 吸着した水素終端ダイヤモンドのスペクトラムが出現した。NO₂ 吸着した水素終端ダイヤモンドのスペクトラムの特徴は、1~3eV にショルダーをもつことである。これは、ダイヤモンド表面に正孔が蓄積するため、バンドが上方にベンドしていることを示していることがわかった。

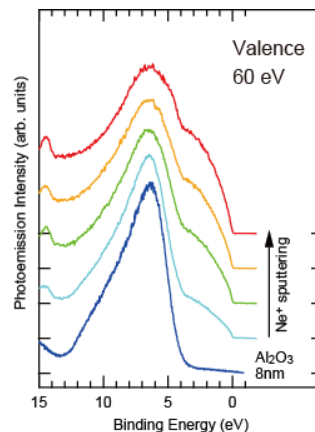


図 1. 表面の Al₂O₃ 膜のスパッタの繰り返しに対する光電子スペクトラムの変化

図 2 は、Al₂O₃ ALD 膜 (Thick Al₂O₃) と少量の Al₂O₃ 膜が残存した (Thin Al₂O₃) 場合の Al₂O₃/ダイヤ界面からの価電子帯光電子スペクトルと XANES スペクトルである。Al₂O₃ ALD 膜が残存したダイヤ表面 (Thick Al₂O₃) のスペクトルから、Al₂O₃ 膜は、価電子帯上端 (VBM) は結合エネルギー 3.9eV に位置し、伝導帯下端 (CBM) はフェルミレベル (Ef) の上 2.8eV に位置することがわかった。

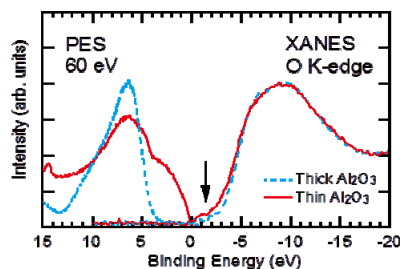


図 2. NO₂ 処理した水素終端ダイヤモンド / Al₂O₃ 界面の XANES スペクトル

Al₂O₃膜/NO₂吸着・水素終端ダイヤモンド界面の、放射光による内殻および価電子帯光電子分光測定と内殻吸収分光測定により、Al₂O₃膜とNO₂吸着・水素終端ダイヤモンド界面のバンドオフセットを決定し、Al₂O₃層とは異なる酸素準位を界面中に確認した。

(2) ダイヤモンドトランジスタの作製

ダイヤモンドトランジスタの作製を行った。まずダイヤモンド単結晶を水素プラズマに曝露し水素終端表面処理を行った。つぎにソース、ドレイン電極としてAuを蒸着した。つぎに試料をNO₂に曝露し、NO₂吸着を行い、最後にゲート電極としてAlを蒸着した。そのようにして、図3のようにダイヤモンドトランジスタの構造を作製した。

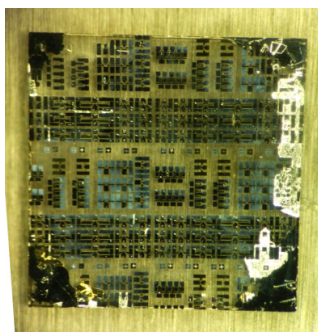


図3. 作製したダイヤモンドトランジスタ

(3) 大気汚染ガスセンサーの作製

ダイヤモンドトランジスタを図4のようなボックスに入れ、配線を行い、大気汚染ガスセンサーを作製した。4端子を取り、抵抗率を測定することにより、大気汚染ガスの吸着による抵抗率の変化を測定する原理である。

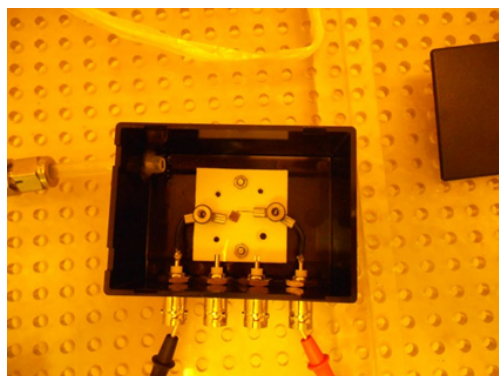


図4. 作製したダイア大気汚染検知測定器

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計20件)

- ① 招待論文 嘉数 誠, 村上竜一, 榎谷聡士, シンクロトン光・X線トポグラフィーを用いたダイヤモンド単結晶の転位の同定, ニューダイヤモンド, 査読無, Vol.30,p.113, 2014年4月
- ② K. Hirama, M. Kasu, Y. Taniyasu, Growth and device properties of AlGaIn/GaN high-electron mobility

transistors on a diamond substrate, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, vo.51, pp.01AG09 (2012)

- ③ 嘉数 誠, 平間 一行, 佐藤寿志, 「ダイヤモンド結晶成長: パワーデバイス応用への現状と課題」, 結晶成長学会誌, 査読無, 2012年39巻4月, 6ページ
- ④ 嘉数 誠, 「CVD 単結晶ダイヤモンドの異常成長粒子、転位、不純物ドーピングの機構」結晶成長学会誌, 査読無, 2012年39巻4月, 38ページ
- ⑤ 嘉数 誠, 佐藤寿志, M. Kubovic, 前田文彦, 「NO₂及びO₃吸着による水素終端ダイヤモンド表面での正孔生成」, 表面科学, 査読無, 33巻, 10号 p.575-582, 2012年。
- ⑥ 嘉数 誠, 村上竜一, 榎谷聡士, シンクロトン光・X線トポグラフィーを用いたダイヤモンド単結晶の転位の同定ニューダイヤモンド, 査読無, 第113号 Vol.30 No.2 (平成26年4月25日号)23頁
- ⑦ 嘉数 誠, 資源問題と表面科学, 表面科学, 査読無, 2014年, Vol. 35, No. 12 (2014) p. 686
- ⑧ M. Kasu, H. Sato, K. Hirama, Thermal stabilization of hole channel on H-terminated diamond surface by using atomic-layer-deposited Al₂O₃ overlayer and its electric properties, Applied Physics Express, 査読有, vo.5, pp. 025701 (2012).
- ⑨ K. Kamiya, Y. Ebihara, M. Kasu, K. Shiraishi, Efficient structure for deep-ultraviolet light-emitting diodes with high emission efficiency: A first-principles study of AlN/GaN superlattice”, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, vol.51, pp.02BJ11 (2012).
- ⑩ H. Sato, M. Kasu, Electronic properties of H-terminated diamond during NO₂ and O₃ adsorption and desorption, Diamond and Related Materials, 査読有, vol. 24, pp. 99-103 (2012).
- ⑪ K. Hirama, M. Kasu, Y. Taniyasu, RF high-power operation of AlGaIn/GaN HEMTs epitaxially grown on diamond”, IEEE Electron Device Letters, 査読有, 33 (4), pp. 513-515 (2012).
- ⑫ K. Hirama, H. Sato, Y. Harada, H. Yamamoto, M. Kasu, Thermally stable operation of h-terminated diamond FETs by NO₂ adsorption and Al₂O₃ passivation, IEEE Electron Device Letters, 査読有, 33 (8), pp.

- 6230604, pp. 1111-1113(2012).
- ⑬ K. Hiram, H. Sato, Y. Harada, H. Yamamoto, M. Kasu, Diamond field-effect transistors with 1.3A/mm drain current density by Al₂O₃ passivation layer, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, vol.51, pp. 090112 (2012). DOI: 10.1143/JJAP.51.090112
- ⑭ K. Hiram, Y. Taniyasu, M. Kasu, Epitaxial growth of AlGa_N/Ga_N high-electron mobility transistor structure on diamond (111) surface”, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 51 (9), pp. 090114(2012). DOI: 10.1143/JJAP.51.090114
- ⑮ H. Sato and M. Kasu, Maximum hole concentration for Hydrogen-terminated diamond surfaces with various surface orientations obtained by exposure to highly concentrated NO₂, Diamond and Related Materials, 査読有, 31, p. 47-49. (2013)
- ⑯ Y. Takagi, K. Shiraishi, M. Kasu, H. Sato, Mechanism of hole doping into hydrogen terminated diamond by the adsorption of inorganic molecule, Surface Science, 査読有, 609, p. 203-206 (2013).
- ⑰ T. Akasaka, Y. Kobayashi, M. Kasu, H. Yamamoto, Carrier Gas Dependent Evaporation Energy of Ga_N Estimated from Spiral Growth Rates in Selective-Area Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, Appl. Phys. Express, 査読有, 6 105501(2013).
- ⑱ K. Takahashi, M. Imamura, K. Hiram, and M. Kasu, Electronic states of NO₂-exposed H-terminated diamond/Al₂O₃ heterointerface studied by synchrotron radiation photoemission and X-ray absorption spectroscopy, Appl. Phys. Lett. 査読有, 104, pp.072101 (2014).
- ⑲ M. Kasu, R. Murakami, S. Masuya, K. Harada, and H. Sumiya, Synchrotron X-ray topography of dislocations in high-pressure high-temperature-grown single-crystal diamond with low dislocation density, Applied Physics Express, 査読有, 7, 125501 (2014).
- ⑳ T. Oishi, Y. Koga, K. Harada, M. Kasu, High-mobility β -Ga₂O₃(-201) single crystals grown by edge-defined film-fed growth method and their Schottky barrier diodes with Ni contact, Applied Physics Express, 査読有, 8, 031101 (2015)
- [学会発表] (計 4 4 件)
- ①招待講演 K. Hiram, M. Kasu, Single-crystalline nitride growth on diamond”, New Diamond and Nano Carbons Conference 2012, Puerto Rica, May 21-23,
- ②嘉数 誠, ダイヤモンドパワーデバイスの開発・技術動向と応用及び今後の展開、日本技術情報センター「早期実用化を目指す次世代パワーデバイスの開発・技術動向と応用及び今後の展開」セミナー、東京, 2012年5月31日。
- ③嘉数 誠, ダイヤモンドパワーデバイスの研究開発の現状、九州産業技術センターセミナー、福岡, 2012年8月7日。
- ④嘉数 誠, 半導体気相成長での過飽和度とステップフロー・核形成、結晶成長学会自由討論会, 唐津, 2012年9月28日。
- ⑤嘉数 誠, ワイドギャップ半導体の創製と光電子デバイスへの応用、応用物理学会九州支部大会, 佐賀, 2012年12月1日。
- ⑥招待講演 嘉数 誠, 極限遠紫外線 LED 研究開発、九州産業技術センターセミナー, 福岡, 2013年2月8日
- ⑦招待講演 嘉数 誠, 大面積化に向けたダイヤモンド・エピタキシャル成長技術の現状と研究課題, 先端技術加工ネットワーク研究会, 東京, 2013年11月1日。
- ⑧招待講演 嘉数 誠, ダイヤモンドへのイオン注入パワーデバイスを目指して」応用物理学会表面薄膜分科会研究会イオンビームによる界面表面解析特別研究会, 横浜, 2013年12月14, 15日。
- ⑨招待講演 嘉数 誠, ダイヤモンドパワーデバイス研究の現状, 砥粒学会 ワイドバンドギャップ半導体デバイスに関わる超精密加工プロセス研究分科会, 大阪, 2014年5月28日。
- ⑩招待講演 嘉数 誠, ダイヤモンドパワー素子技術, 公益社団法人応用物理学会 集積化 MEMS 技術研究会主催, 第8回集積化 MEMS 技術研究会「次世代半導体技術」, 熊本, 2014年5月29-30日。
- ⑪招待講演 M. Kasu, Diamond RF Power Transistors: Present Status and Challenges, 15th IUMRS International Conference in Asia (IUMRS-ICA),

- Fukuoka, Aug. 24-30, 2014, .
- ⑫招待講演 嘉数 誠, ダイヤモンドパワートランジスタ研究開発の最近の進展, 日本学術振興会真空ナノエレクトロニクス第158委員会第104回研究会, 京都 2014年9月24日.
- ⑬招待講演 嘉数 誠, 九州シンクロトロン光研究センター講演会, パワー半導体ダイヤモンドのX線トポグラフィー, 鳥栖, 2014年10月.
- ⑭招待講演 M. Kasu, Diamond RF Power Transistors: Present Status and Challenges, 9th European Microwave Integrated Circuits Conference (EUMIC 2014), Rome, Oct 6-7, 2014.
- ⑮招待講演 M. Kasu, Diamond RF Power Transistors: Present Status and Challenges, 2014 MRS Fall Meeting. Boston Nov. 30 - Dec. 5, 2014.
- ⑯村上竜一, 嘉数 誠, パワー半導体ダイヤモンド単結晶の放射光 X線トポグラフィ観察, 九州シンクロトロン光研究センター・産業総合研究所合同シンポジウム, 鳥栖, 2013年7月31日.
- ⑰嘉数 誠, マイクロ波プラズマ CVD 成長ダイヤモンドを用いたパワー高周波 FET, 電気学会プラズマ研究会, 長崎, 2013年9月5日.
- ⑱村上竜一, 嘉数 誠, 梶谷聡士, 原田和也, 角谷均, ダイヤモンド単結晶の X線トポグラフィ評価, マイクロ波プラズマ CVD 成長と高圧高温合成の比較, 電気学会プラズマ研究会, 長崎, 2013年9月5日.
- ⑲嘉数 誠, 高橋 和敏, 今村 真幸, 平間 一行, NO₂ 吸着・水素終端ダイヤモンド/ALD 成長 Al₂O₃ 界面の放射光 XPS/UPS による電子状態評価, 26Gp13, 表面科学会学術講演会, 仙台, 2013年11月26日.
- ⑳原田和也, 松永晃和, 嘉数 誠, 飯塚和幸, 興公祥, 倉又朗人, β -Ga₂O₃ のホール効果測定による電子濃度と移動度の解析, 2013年応用物理学九州支部大会, 長崎, 2013年11月30日-12月1日.
- ㉑村上 竜一, 梶谷聡士, 原田和也, 松永晃和, 嘉数 誠, 角谷 均, 高圧高温合成ダイヤモンド単結晶のシンクロトロン光を用いた X線トポグラフィ観察, 2013年応用物理学九州支部大会, 長崎, 2013年11月30日-12月1日.
- ㉒梶谷聡士, 村上竜一, 原田和也, 松永晃和, 嘉数 誠, 角谷 均, CVD 成長ダイヤモンド単結晶の X線トポグラフィー観察, 2013年応用物理学九州支部大会, 長崎, 2013年11月30日-12月1日.
- ㉓田中裕之, 原田和也, 嘉数 誠, SiC-MOSFET のスイッチング特性解析—SiC パワー-MOSFET との比較—, 2013年応用物理学九州支部大会, 長崎, 2013年11月30日-12月1日.
- ㉔原田和也, 平間一行, 嘉数 誠, ダイヤモンド MOSFET の容量電圧特性の測定と解析, 2014年春季応用物理学学会学術講演会, 相模原, 2014年3月17-20日.
- ㉕原田和也, 松永晃和, 興 公祥, 倉又朗人, 嘉数 誠, β -Ga₂O₃ 単結晶のホール電子濃度と移動度の測定と解析, 2014年春季応用物理学学会学術講演会, 相模原, 2014年3月17-20日.
- ㉖梶谷聡士, 村上竜一, 興 公祥, 倉又朗人, 飯塚和幸, 嘉数 誠, β -Ga₂O₃ 単結晶のシンクロトロン X線トポグラフィ観察, 2014年春季応用物理学学会学術講演会, 相模原, 2014年3月17-20日.
- ㉗ 梶谷聡士, 村上竜一, 角谷 均, 嘉数 誠, CVD 成長ダイヤモンド単結晶のシンクロトロン光・X線トポグラフィー観察, 2014年春季応用物理学学会学術講演会, 相模原, 2014年3月17-20日.
- ㉘嘉数誠, 高橋和敏, 今村真幸, 平間一行, NO₂ 曝露水素終端ダイヤモンド/Al₂O₃ ヘテロ界面のバンド不連続の放射光 XPS/UPS/XANES 測定, 2014年春季応用物理学学会学術講演会, 相模原, 2014年3月17-20日.
- ㉙村上竜一, 梶谷聡士, 松永晃和, 原田和也, 角谷 均, 嘉数 誠, シンクロトロン光・X線トポグラフィ観察を用いた高温高圧合成ダイヤモンド単結晶の転位の同定, 2014年春季応用物理学学会学術講演会, 相模原, 2014年3月17-20日.
- ㉚K. Harada, A. Matsunaga, S. Masuya, K. Koshi, A. Kuramata, M. Kasu, High electron mobility of EFG-grown β -Ga₂O₃ single crystal, 15th IUMRS International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Aug. 24-30, 2014.
- ㉛S. Masuya, R. Murakami, A. Kuramata, K. Koshi, M. Kasu, Synchrotron X-ray Topography Observation Of β -Ga₂O₃ Single Crystal, 15th IUMRS Int. Conf.

- in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Aug. 24-30, 2014.
- ⑫ K. Harada, K. Hiramata, T. Oishi, M. Kasu, Device Operation Analysis of Diamond MOSFET Obtained by Capacitance-Voltage Characteristics, International Conference on Diamond and Related Carbons 2014 (ICDCM2014), Madrid, Sep. 7-11, 2014
- ⑬ M. Kasu, R. Murakami, S. Masuya, A. Matsunaga, K. Harada, H. Sumiya, Dislocation Identification of HPHT Diamond Single Crystal Using Synchrotron Light X-ray Topography Observation, Int. Conf. on Diamond and Related Carbons 2014 (ICDCM2014), Madrid, Sep. 7-11, 2014.
- ⑭ S. Masuya, R. Murakami, K. Harada, H. Sumiya, M. Kasu, Synchrotron X-ray Topography Observation of CVD Diamond Single Crystal, International Conference on Diamond and Related Carbons 2014 (ICDCM2014), Madrid, September 7 - 11, 2014
- ⑮ 嘉数 誠, 村上竜一, 榎谷聡士, 原田和也, 角谷 均, シンクロトロン光・単色 X 線トポグラフィーによる高温高圧合成ダイヤモンド単結晶の反りの高精度測定, 2014 年秋季応用物理学学会学術講演会, 札幌, 2014 年 9 月 17-20 日.
- ⑯ 榎谷聡士, 村上竜一, 奥 公祥 倉又朗人, 飯塚和幸, 嘉数 誠, (-201) 及び B 面 β -Ga203 単結晶のシンクロトロン単色 X 線トポグラフィー観察, 2014 年秋季応用物理学学会学術講演会, 札幌, 2014 年 9 月 17-20 日.
- ⑰ 原田和也, 平間一行, 大石敏之, 嘉数 誠, ダイアモンド MOSFET のゲート容量の周波数依存性, 2014 年秋季応用物理学学会学術講演会, 札幌, 2014 年 9 月 17-20 日.
- ⑱ M. Kasu, K. Hiramata, K. Harada, M. Imamura, K. Takahashi, K. Shiraishi, Diamond MOS Interface Properties Studied by XPS/UPS/XANES and C-V Measurements, The 7th International Symposium on Surface Science, Matsue, November 2 - 6, 2014
- ⑲ 嘉数 誠, 村上竜一, 榎谷聡士, 原田和也, 角谷 均, シンクロトロン X 線トポグラフィーによる高品質高温高圧合成ダイヤモンド単結晶の転位の種類の同定, 2014 年結晶成長学会国内会議, 東京, 11 月 6-8 日.
- ⑳ 村上竜一, 榎谷聡士, 原田和也, 嘉数 誠, 奥 公祥, 倉又朗人, 飯塚和幸, 高温高圧合成ダイヤモンド単結晶の X 線トポグラフィー観察による転位の同定, 2014 年応用物理学九州支部大会, 大分, 2014 年 12 月 6 日~7 日
- ㉑ 古賀優太, 原田和也, 大石敏之, 嘉数 誠, Ni/Au を用いた β -Ga203 のショットキーバリアダイオードの作製, 2014 年応用物理学九州支部大会, 大分, 2014 年 12 月 6 日~7 日
- ㉒ 田中裕之, 中村圭宏, 原重臣, 嘉数 誠, 松井則明, ソーラーパネルのホットスポット観察と電流電圧特性, 2014 年応用物理学九州支部大会, 大分, 2014 年 12 月 6 日~7 日
- ㉓ 嘉数 誠, 村上竜一, 榎谷聡士, 植松卓也, 角谷 均, シンクロトロン X 線トポグラフィーによる (110) 高温高圧合成ダイヤモンド単結晶の観察, 11p-C1-5, 2015 年春季応用物理学学会学術講演会, 平塚, 2015 年 3 月 11-14 日.
- ㉔ 古賀優太, 原田和也, 大石敏之, 嘉数 誠, 高移動度 β -Ga203 (201) 単結晶を用いたショットキーバリアダイオードの作製 12a-D10-6, 2015 年春季応用物理学学会学術講演会, 平塚, 2015 年 3 月 11-14 日.

[図書] (計 1 件)

① 嘉数 誠, ダイアモンドデバイスのスマートフォン・タッチパネル向けデバイスへの応用の可能性, スマートフォン・タッチパネル部材の最新技術便覧, 2013 年 6 月, 技術情報協会

[その他]

ホームページ等

<http://www.ee.saga-u.ac.jp/pelab/>
<http://www.ee.saga-u.ac.jp/pelab/index-en.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

嘉数 誠 (KASUU Makoto)
佐賀大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 50393731

(2) 研究分担者

白石賢二 (SHIRAISHI Kenji)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 20334039