

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：24402

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19034

研究課題名（和文）高効率素子に向けたワイドギャップ半導体／ダイヤモンド直接接合及び界面相構造の解明

研究課題名（英文）Direct bonding of widegap semiconductors and diamond for high-efficiency devices and investigation of bonding interface characteristics

研究代表者

重川 直輝（Shigekawa, Naoteru）

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60583698

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：(1)Si基板に接合されたダイヤモンド上にFET用のダイヤモンド層を成長し、FET作製、動作実証を行った。界面が実用レベルの耐熱性を持つことを実証した。熱処理によって界面に混晶層が形成されることを示した。混晶層の形成が高耐熱性の起源と考えられる。(2)ダイヤモンド/GaN直接接合を実現し接合が600℃の耐熱性を有することを実証した。熱処理前後の界面の断面TEM観察を行い、熱処理により中間層の薄層化が起こることを示した。(3)ダイヤモンド/Al接合、ダイヤモンド/Cu接合を実現し、金属の融点付近までの耐熱性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

接合直後のダイヤモンドと異種材料（GaN、金属）の直接接合界面が準安定状態にあることを示すとともに、ダイヤモンド/Si界面において、界面の耐熱性の起源を示唆する結果を得た。ダイヤモンド/GaN界面がGaN素子作製プロセスに必要な耐熱性を有することを示し、従来技術を凌ぐ高熱伝導率GaN素子を実現可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Diamond FETs were successfully fabricated by growing diamond epi layers on single crystal diamonds directly bonded to Si substrates and performing device process, which indicated that the directly-bonded interfaces are equipped with enough thermal tolerance from the practical viewpoint. GaN epi layers were successfully bonded to diamonds. The bonding interfaces revealed a thermal tolerance at 600 degrees Celsius. TEM observation of GaN/diamond junctions revealed that the intermediate layer formed at bonding interfaces got thinned by annealing. Al and Cu were also bonded to diamonds. The bonding interfaces revealed the thermal tolerance up to temperatures close to the melting points of metals.

研究分野：半導体デバイス

キーワード：ダイヤモンド ワイドギャップ半導体 直接接合 熱処理効果

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、2011年10月以降、大阪市立大学において共同研究者である同大学准教授・梁とともに表面活性化接合法を使った異種半導体接合形成及び評価、表面活性化接合でなければ実現困難である素子に関する研究を進めてきた。具体的には、

- ・高効率・低コストを目指す Si 上 III-V 太陽電池 (接合界面: GaAs/Si)
- ・高速・高耐熱性 SiC/Si ダイオード、SiC/Si ヘテロバイポーラトランジスタ (接合界面: SiC/Si)
- ・高耐圧・高速動作素子を目指す Si(111)基板上 GaN 層/ GaAs 接合

等、本研究の対象となる GaN、SiC の接合研究を行った。佐賀大・嘉数教授とともに、

- ・ダイヤモンドと Si の集積化を目指すダイヤモンド単結晶/Si 基板接合

を行い、接合形成に成功し界面ナノ構造の評価を行っていた。梁はダイヤモンド単結晶と Si の接合の耐熱性の検討を行い、 $2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  (70%) もの熱膨張係数差にもかかわらず  $1000^\circ\text{C}$  の耐熱性を実証していた。

応募者等は、本科学研究費事業 (2018~2019 年度) に先立つ 2016~2017 年度に科学研究費・先端的萌芽研究 (16K13676) の支援を受けてダイヤモンド単結晶と Si の接合研究を実施した。上述の通り、接合形成に成功し  $1000^\circ\text{C}$  の耐熱性を実証した。この結果は、事前の予想に反して熱膨張係数差が接合の耐熱性を必ずしも制限しないということを示唆する。この考察を発展させて、ダイヤモンドと Si よりも熱膨張係数差が大きい組み合わせである「ダイヤモンドと GaN」「ダイヤモンドと SiC」「ダイヤモンドと Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>」であっても、接合条件の検討と接合後の薄層化により十分な耐熱性を持つ直接接合界面が実現されるという着想を得た。

梁は 6 か月間英国ブリストル大学 Kuball 教授のグループに滞在し、ダイヤモンド/Si 接合を含む種々の異種材料接合界面の評価を行った。同グループでは GaN 裏面にダイヤモンド層を製膜した「GaN-on-diamond」素子の研究を行っている。情報交換を通じて、GaN とダイヤモンドの間層が熱抵抗の増加を招き、所望の性能が得られていないこと、GaN とダイヤモンドの直接接合により究極のパワー素子が実現可能であること、が明らかとなった。GaN と同様に SiC、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 素子についてもダイヤモンドとの直接接合が熱抵抗低減につながる。特に Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は熱伝導率が低いいため Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄層とダイヤモンドの直接接合は極めて有用である。

本研究は上記の異種材料接合についての過去の研究の蓄積と、パワー素子とダイヤモンドの直接接合の必要性への理解の下で着想、実施された。

### 2. 研究の目的

結晶工学の観点から、ワイドギャップ高効率素子に向けて、ワイドギャップ薄層とダイヤモンドの直接接合、金属とダイヤモンドの直接接合に関する萌芽的な研究を行った。その具体的な目的は以下の通りである。

#### (1) ワイドギャップ材料薄層とダイヤモンドの直接接合の実現

応用上の重要性からワイドギャップ材料の内、GaN とダイヤモンドの直接接合に絞って研究を行う。直接接合を実現するとともに、界面の耐熱性を検証し、素子応用、エンジニアリング基板応用の可能性を明らかにする。具体的には、 $600^\circ\text{C}$  以上の耐熱性を備えた接合界面を創成し、接合後のワイドギャップ薄層上のオーミック電極形成・パワー素子実現の可能性を明らかにする。接合試料上のワイドギャップ材料、ダイヤモンド結晶成長の可能性を明らかにする。並行して、素子の裏面に中間層を介してダイヤモンド層を堆積するという従来の手法と比較して、直接接合の効果による熱抵抗の低減を目指す。

#### (2) 固相 - 固相界面相としてのワイドギャップ/ダイヤモンド接合界面のナノ構造、それらに対する熱処理による界面反応の効果の解明

直接接合試料に対して低温・長時間の熱処理を行うことで固相 - 固相界面相の反応が進行し、その物性が変化することが知られている。ダイヤモンド (立方晶) と GaN (六方晶) の接合界面では結晶対称性、構成元素が不連続である。このような界面相構造に対する熱処理の効果を明らかにし、界面の準安定性を解明する。

#### (3) 金属材料とダイヤモンドの直接接合の実現、界面構造の解明

ダイヤモンド直接接合を応用上価値の高い技術とするためには、ダイヤモンドと金属材料の直接接合の実現、界面構造の解明が必要不可欠である。パワーエレクトロニクスモジュールにおける放熱構造を模擬する Al/ダイヤモンド直接接合、Cu/ダイヤモンド直接接合の実現、界面のナノ構造の解明、熱処理による界面ナノ構造変化の解明を目的とする。

### 3. 研究の方法

上記の目的を達成するために大阪市立大・梁剣波講師、佐賀大学・嘉数誠教授を共同研究者とし、以下の研究を行った。断面 TEM 観察用試料作製、高倍率観察に当たり、東北大学金属材料研究所の大野裕准教授、清水康雄助教の協力を得た。顕微ラマン散乱による直接接合界面の評価に関して英国ブリストル大学 Martin Kuball 教授との国際共同研究を行った。ダイヤモンドは材料メーカーの協力で入手した。具体的な手法は以下の通りである。

(1) 表面活性化接合を用いて、ダイヤモンドとワイドギャップ半導体の直接接合の実現を目指した。試料表面に Ar 原子ビームを照射後に加圧することで接合が形成される。応募者のダイヤモンド、GaN、SiC の接合研究の蓄積に基づき、薄層上の素子作製 (電極形成) や結晶成長に耐える高い耐熱性を有する界面を創成するために接合条件 (表面活性化条件、加圧条件 (圧力、時間、

温度等)) 接合後のワイドギャップ材料の薄層化手法を探索した。(大阪市立大学)  
 (2) 接合済みのダイヤモンド表面にダイヤモンド結晶成長の検討、ダイヤモンド素子プロセスの検討を行った(佐賀大)  
 (3) 固相-固相界面相の構造、原子間の結合状態、歪分布、熱抵抗、それらに対する熱処理効果を断面 TEM 観察、顕微ラマン測定により調べた。東北大学、ブリストル大学の協力を得て実施した(大阪市立大)。

#### 4. 研究成果

以下に記載の通り、ダイヤモンドと異種材料直接接合界面が準安定状態にあることを示すとともに、ダイヤモンド/Si 界面において、界面の耐熱性の起源を示唆する結果を得た。

##### (1) ダイヤモンド/Si 直接接合の界面物性の熱処理依存性、直接接合上デバイスプロセス

ワイドギャップ材料とダイヤモンドの接合実現、素子化検討の準備段階として、ダイヤ/Si 接合の耐熱性(耐熱温度 1000°C)を活かして、Si 基板上に接合されたダイヤ上に FET 用のダイヤ層をエピタキシャル成長した。更に FET 作製、動作実証を行った。接合から素子作製に至るプロセスフロー、作製した FET 外観、素子特性を図 1 に示す。ダイヤ層製膜やその後のプロセスでは最高温度 800°C まで試料が加熱される。FET 動作実現に至ったことにより界面が実用レベルの耐熱性を持つことを実証した( )。

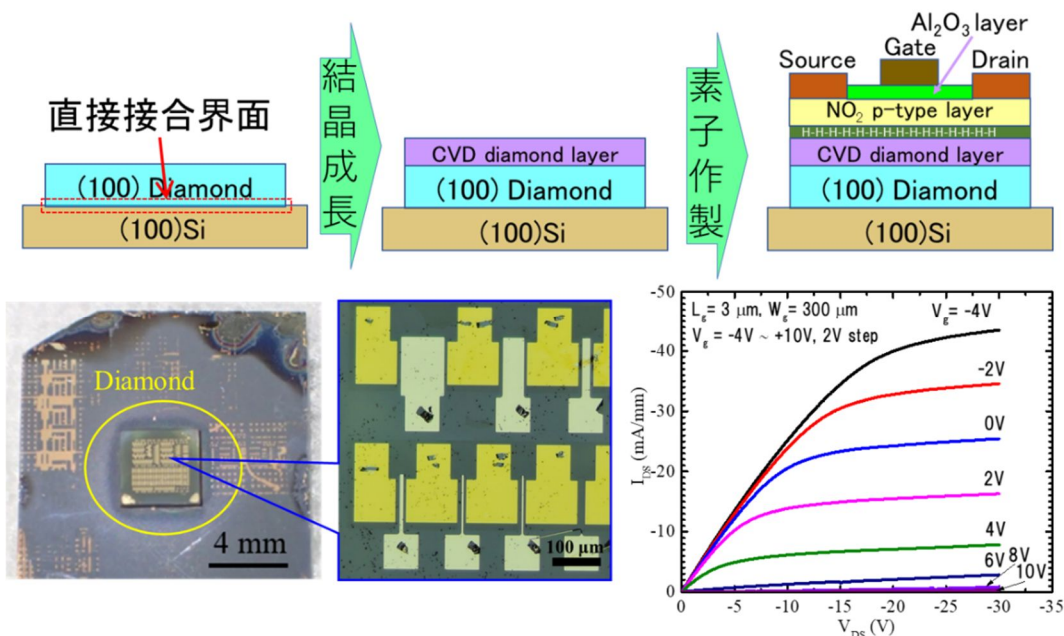


図 1 . Si 基板上に直接接合されたダイヤモンド上に作製されたダイヤモンド FET。

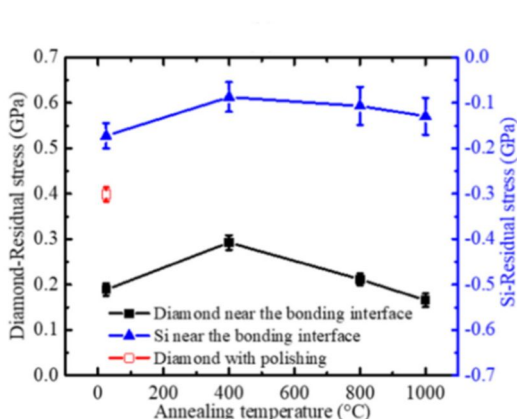


図 2 . Si /ダイヤモンド接合における応力の熱処理温度依存性。

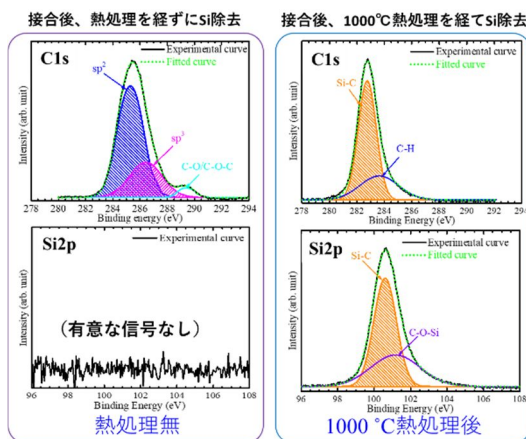


図 3 . Si 基板除去後のダイヤモンド表面の XPS 測定結果。

界面のダイヤモンド/Si 直接接合の熱処理による応力変化を顕微ラマン散乱測定により評価した。熱処理によって界面付近のダイヤモンド、Si の応力は増加しないことを明らかにした(、図 2)。熱処理による界面の組成変化を、熱処理を行わずに Si 基板を除去したダイヤモンド表面の XPS 測定と、1000°C 熱処理後に Si 基板除去を除去したダイヤモンド表面の XPS 測定を行うことにより評価した。熱処理後に Si 基板を除去したダイヤモンド表面から、C 原子に加えて Si

原子が存在することを示す信号 (Si2p) が検出された ( 、 図 3 )。これにより熱処理時により界面に Si とダイヤモンドの中間層 (混晶層) が形成されていることが分かった。熱処理により応力増加が起こらないメカニズムとして混晶層が歪の効果を緩和している可能性を示した。

#### (2) ダイヤモンド / GaN 直接接合の実現及び耐熱性の検証

Si 基板上に結晶成長した GaN エピタキシャル基板とダイヤモンド結晶の直接接合に成功した。Si 基板除去後に熱処理された接合界面の断面 TEM 観察を行い、中間層の存在の実証、600°C までの耐熱性、熱処理による中間層厚の減少を確認した。

GaN 電子デバイス作製においてオーミック電極形成に必要な熱処理温度は 600°C であり、この温度はプロセス全体を通じての最高温度である。従って、今回の結果はダイヤモンド直接接合を従来の GaN 電子デバイス作製プロセスに組み込むことが可能であることを意味する。更に Si 基板除去後の GaN エピタキシャル層の顕微ラマン散乱測定を行い、Si 基板上の GaN 層から得られるラマン信号からのずれを確認した。GaN 層中の格子歪の変化によるものと考えられる。今後、熱処理後の界面の評価を行い、GaN 層中の歪を系統的に評価する。

#### (3) ダイヤモンド / 金属直接接合の断面 TEM 観察、耐熱性検証

多結晶ダイヤモンド / Al 接合を実現した。昇温下での断面 TEM 観察を行い、Al の融点 (660°C) 付近までの耐熱性 (耐熱温度: 600°C) と熱処理による中間層の薄層化を確認した ( 、 図 4 )。

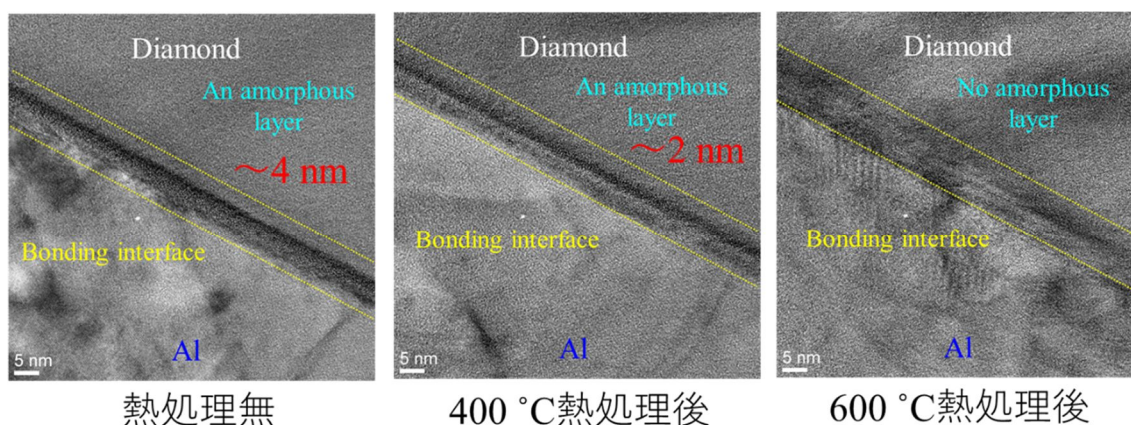


図 4 . 熱処理されたダイヤモンド / Al 接合界面の断面 TEM 像。

また、多結晶ダイヤモンド / Cu 接合を実現し ( )、Al との接合の場合と同様に、Cu の融点 (1085°C) 付近までの耐熱性 (耐熱温度: 1000°C) を実証した。断面 TEM 観察により、ダイヤモンド / Al 接合と同様に熱処理による中間層の薄層化を確認した ( 図 5 )、更にダイヤモンドに直接接合された Cu 層の熱抵抗を評価し、接合界面の熱抵抗が蒸着 Cu 層 / ダイヤモンド界面の熱抵抗とほぼ一致すること (ともに  $\sim 1.7 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{K/W}$ )、その値はハンダ層を介した接合の熱抵抗値 (厚さが 10-100  $\mu\text{m}$  の AuSn ハンダの場合に  $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ m}^2\text{K/W}$ ) を大きく下回ることを示した ( )。

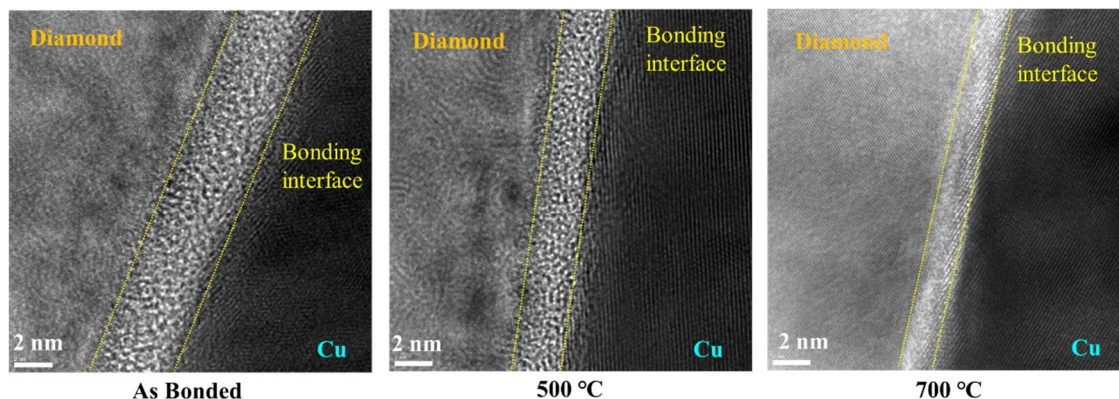


図 5 . 熱処理されたダイヤモンド / Cu 接合界面の断面 TEM 像。

#### (4) ダイヤモンド直接接合に関する社会への発信

上記成果を基に 2 件の特許出願を行った ( 、 )、更に講演会での講演、展示会での出展、招待論文執筆により上記成果の社会への発信を行った ( - )。

< 引用文献 >

Jianbo Liang, Satoshi Masuya, Seongwoo Kim, Toshiyuki Oishi, Makoto Kasu, and Naoteru Shigekawa, "Stability of diamond/Si bonding interface during device fabrication process", *Appl. Phys. Express* 12, 016501 (2019) (5 pages). DOI: 10.7567/1882-0786/aaeedd

Jianbo Liang, Yan Zhou, Satoshi Masuya, Filip Guemann, Manikant Singh, James Pomeroy, Seongwoo Kim, Martin Kuball, Makoto Kasu, Naoteru Shigekawa, "Annealing effect of surface-activated bonded diamond/Si interface", *Diamond and Related Materials*, 93, pp. 187-192, 2019. DOI: 10.1016/j.diamond.2019.02.015

Jianbo Liang, Shoji Yamajo, Martin Kuball, and Naoteru Shigekawa, "Room-temperature direct bonding of diamond and Al", *Scripta Mater.* 159, pp. 58-61 (2019). DOI: 10.1016/j.scriptamat.2018.09.016

Shinji Kanda, Yasuo Shimizu, Yutaka Ohno, Kenji Shirasaki, Yasuyoshi Nagai, Makoto Kasu, Naoteru Shigekawa, and Jianbo Liang, "Fabrication of diamond/Cu direct bonding for power device applications", *Jpn. J. Appl. Phys.* 59, SB, SBBB03 (2020) (5 pages). DOI: 10.7567/1347-4065/ab4f19

Jianbo Liang, Yutaka Ohno, Yuichiro Yamashita, Yasuo Shimizu, Shinji Kanda, Naoto Kamiuchi, Seongwoo Kim, Koyama Koji, Yasuyoshi Nagai, Makoto Kasu, and Naoteru Shigekawa, "Characterization of Nanoscopic Cu/Diamond Interfaces Prepared by Surface-Activated Bonding: Implications for Thermal Management," *ACS Appl. Nano Mater.* published online on 25 Feb. 2020. DOI: 10.1021/acsnm.9b02558

梁 劍波、重川直輝、嘉数 誠 特願 2018-094186

梁 劍波、重川直輝 特願 2019-125039

梁 劍波「ダイヤモンドと異種材料の直接接合による高効率デバイスの実現」(マテリアル新技術説明会、JST 東京本部、2019年11月12日)

「低熱抵抗モジュール実現を目指すダイヤモンド異種材料直接接合」(NEDO フェスタ in 関西 2019、大阪、2019年12月17-18日)

重川直輝、梁 劍波、「(招待論文)半導体基板の常温直接接合技術」電子情報通信学会和文論文誌 C、印刷中

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Liang Jianbo, Zhou Yan, Masuya Satoshi, Guemann Filip, Singh Manikant, Pomeroy James, Kim Seongwoo, Kuball Martin, Kasu Makoto, Shigekawa Naoteru	4. 巻 93
2. 論文標題 Annealing effect of surface-activated bonded diamond/Si interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 187 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2019.02.015	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 Liang Jianbo, Masuya Satoshi, Kim Seongwoo, Oishi Toshiyuki, Kasu Makoto, Shigekawa Naoteru	4. 巻 12
2. 論文標題 Stability of diamond/Si bonding interface during device fabrication process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 016501 ~ 016501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/aaeedd	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 Liang Jianbo, Yamajo Shoji, Kuball Martin, Shigekawa Naoteru	4. 巻 159
2. 論文標題 Room-temperature direct bonding of diamond and Al	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 58 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2018.09.016	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 Liang Jianbo, Ohno Yutaka, Yamashita Yuichiro, Shimizu Yasuo, Kanda Shinji, Kamiuchi Naoto, Kim Seongwoo, Koji Koyama, Nagai Yasuyoshi, Kasu Makoto, Shigekawa Naoteru	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 ACS Applied 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 Kanda Shinji, Shimizu Yasuo, Ohno Yutaka, Shirasaki Kenji, Nagai Yasuyoshi, Kasu Makoto, Shigekawa Naoteru, Liang Jianbo	4. 巻 59
2. 論文標題 Fabrication of diamond/Cu direct bonding interface for power device applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBB03 ~ 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 重川直輝、梁 剣波	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 半導体基板の常温直接接合技術	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会和文論文誌C	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 梁 剣波、神田 進司、榎谷 聡士、嘉数 誠、重川 直輝
2. 発表標題 パワーデバイス応用に向けたダイヤモンド/Cu直接接合の形成
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 中村 祐志、榎谷 聡士、嘉数 誠、重川 直輝、梁 剣波
2. 発表標題 高出力デバイス応用に向けたGaAs/Diamond直接接合の作製
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 神田 進司、山條 翔二、Martin Kuball、重川 直輝、梁 剣波
2. 発表標題 Siと接合したダイヤモンド基板上のFETの作製
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 Jianbo Liang, Shoji Yamajo, Martin Kuball and Naoteru Shigekawa
2. 発表標題 Room-Temperature Direct Bonding of Diamond to Aluminum
3. 学会等名 New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jianbo Liang, Satoshi Masuya, Seongwoo Kim, Toshiyuki Oishi, Makoto Kasu, and Naoteru Shigekawa
2. 発表標題 The combination of Diamond devices with Si LSI by surface activated bonding
3. 学会等名 29th International Conference on Diamond and Carbon Materials (国際学会)
4. 発表年 2018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 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020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 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 Y. Nakamura, Y. Shimizu, Y. Ohno, K. Shirasaki, Y. Nagai, M. Kasu, N. Shigekawa, and J. Liang
2. 発表標題 Fabrication of GaAs/diamond direct bonding for high power device applications
3. 学会等名 13th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Liang, Y. Shimizu, Y. Ohno, K. Shirasaki, Y. Nagai, S. Kim, M. Kasu, M. Kuball, and N. Shigekawa
2. 発表標題 Interfacial characterization of GaN/diamond heterostructures prepared by room temperature bonding for high power device applications
3. 学会等名 13th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Jianbo Liang, Makoto Kasu, Martin Kuball and Naoteru Shigekawa
2 . 発表標題 Direct Bonding of GaN and Diamond Without an Intermediate Layer at Room Temperature
3 . 学会等名 13th International Conference on Nitride Semiconductors 2019 (ICNS-13) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 J. Liang, Y. Zhou, S. Masuya ; F. Guemann, M. Singh, J. Pomeroy, S. Kim, M. Kuball, M. Kasu, N. Shigekawa
2 . 発表標題 Effect of annealing temperature on diamond/Si interfacial structure
3 . 学会等名 2019 6th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration (LTB-3D 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Kanda, S. Masuya, M. Kasu, N. Shigekawa, and J. Liang
2 . 発表標題 Fabrication of Diamond/Cu Direct Bonding for Power Device Application
3 . 学会等名 2019 6th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration (LTB-3D 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 J. Liang, N. Shigekawa
2 . 発表標題 Direct bonding of diamond and Cu at room temperature for power device application
3 . 学会等名 13th New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 知的財産権	発明者 梁剣波、重川直輝、 嘉数誠	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-094186	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 知的財産権	発明者 梁剣波、重川直輝	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-125039	出願年 2019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	嘉数 誠  (Kasu Makoto)  (50393731)	佐賀大学・理工学部・教授   (17201)	
研究 分担者	梁 剣波  (Liang Jianbo)  (80757013)	大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授   (24402)	
研究 協力者	大野 裕  (Ohno Yutaka)	東北大学・金属材料研究所・准教授   (11301)	
研究 協力者	清水 康雄  (Shimizu Yasuo)	東北大学・金属材料研究所・助教   (11301)	
研究 協力者	K u b a l l M a r t i n  (Kuball Martin)	University of Bristol, UK・教授	