

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04145

研究課題名（和文）マルチゲート構造を持つ超伝導電界効果トランジスタの研究

研究課題名（英文）Studies on superconducting field-effect transistors with multi-gate structures

研究代表者

立木 実 (TACHIKI, Minoru)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・ナノアーキテクニクス材料研究センター・主幹研究員

研究者番号：50318838

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ボロンドープ超伝導ダイヤモンドをソース・ドレイン電極に用い、2次元正孔ガス(2DHG)をチャンネルに用いたダイヤモンド電界効果トランジスタ(FET)を作製し、ゲート電圧によるドレイン電流の変調効果を極低温において実現した。超伝導ダイヤモンドチャンネルFETの超伝導電流の直接ゲート変調にもはじめて成功した。Bi2212銅酸化物超伝導体を劈開貼り付け法や、希塩酸処理法およびPLD成膜法によって超薄膜化した。超伝導トランジスタの動作理解に必要な磁束量子の駆動状態を観測するために、磁気光学薄膜センサの独自開発を行い、単一磁束量子レベルの運動をリアルタイムに観察できる磁気光学顕微鏡システムの開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超伝導ソース-ドレイン電極および2次元半導体チャンネルをすべてダイヤモンドで構成された、近接効果型ダイヤモンド電界効果トランジスタ(FET)の変調動作を極低温で確認できたことや、超伝導体チャンネルの超伝導電流を直接ゲートで変調する直接変調型ダイヤモンド超伝導FETの動作のデモンストレーションができたことによって、低炭素社会へ向けて、低損失なエネルギー活用に資する将来の超伝導FET開発に対する意義は大きい。また、単一磁束量子レベル分解能の動的観察が可能な磁気光学顕微鏡システムを開発したことで、超伝導デバイスや超伝導線材などの評価と改善に役立たせることができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Diamond field-effect transistors(FETs) using boron-doped superconducting diamond as the source and drain electrode and a two-dimensional hole gas (2DHG) as a channel was fabricated, and the modulation effect of the drain current by the gate voltage was demonstrated at low temperatures. We have also succeeded in direct gate modulation of the superconducting current of a superconducting diamond channel FET. Superconducting Bi2212 ultrathin film was made by cleaving method, dilute hydrochloric acid treatment method, and PLD deposition method. In order to observe the vortex behavior, which is necessary for understanding the operation of superconducting transistors, we developed a magneto-optical thin-film sensor and succeeded in developing a magneto-optical microscope system that can observe the motion of a single vortex in real time.

研究分野：超伝導

キーワード：超伝導 電界効果トランジスタ ダイヤモンド 銅酸化物 磁気光学顕微鏡 磁束量子

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 効率的な電力利用において、低損失デバイスであるワイドギャップ半導体の研究が近年精力的に行われており、ダイヤモンド、SiC、GaN、 $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ といったワイドギャップ半導体を用いたパワーデバイスが開発されてきている。これらのデバイス(FET、ダイオード等)は高耐電圧特性を利用したパワーデバイスであるが、他のパワーデバイスとして、電気抵抗ゼロで流れる超伝導電流を制御できる三端子スイッチング素子である超伝導トランジスタがあり、超伝導直流送電の電流の制御や超伝導モーターなど超伝導電気機器の制御に利用できると考えられる。

(2) チャンネルに半導体を用いて、ソース、ドレイン電極を超伝導材料とする近接効果型のFETや、超伝導薄膜チャンネルを直接ゲート電界で変調する直接変調型のFETなどが提案されている。理論的な予想特性に対して、実際には極薄の高品質超伝導薄膜化技術の問題や、ゲート絶縁膜との良好な界面形成の難しさなどで電流変調はわずかなものに留まっている。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究は超伝導チャンネルの電界変調により、超伝導電流を制御するための超伝導電界効果トランジスタの現象解明・動作機構実現のための基礎研究を行うものである。

(2) 超伝導電流を制御する三端子素子は、現状十分な性能の物が得られておらず、半導体デバイスで一般的な電界効果トランジスタ(FET)の超伝導版である超伝導チャンネル直接変調型FETが候補の1つである。このデバイスの実現に向けて、キャリア濃度の制御が可能である酸化物超伝導体およびダイヤモンド超伝導体を用いて、マルチゲートFETによる電界効果の実現を目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 10K程度の $T_c$ を持つ111配向超伝導ダイヤモンド薄膜を絶縁性単結晶ダイヤモンド基板上にマイクロ波プラズマCVD法により作製する。ボロンの仕込み濃度を調整し、超伝導特性とキャリア濃度の最適化を行う。FZ法による高品質Bi2212単結晶からグラフェン等と同様な劈開法によりc軸配向単結晶薄膜を取り出し、絶縁基板上にファンデルワールス力により固定する。また、パルスレーザー蒸着法(PLD法)によるBi2212の薄膜化も検討する。

(2) ダイヤモンド上のゲート絶縁膜の形成には、原子層堆積法(ALD)による $\text{Al}_2\text{O}_3$ といった薄膜の半導体のマルチゲートFETプロセスに使用される技術を適用するほか、希塩酸処理などにより、Bi2212表面上に形成される絶縁性の塩化酸化ビスマス( $\text{BiOCl}$ )層によるゲート絶縁膜形成についても検証を行う。

(3) ドレイン電極を超伝導材料とする近接効果型のFETや、超伝導薄膜チャンネルを直接ゲート電界で変調する直接変調型の超伝導FETを作製し動作を確認する。

(4) 超伝導チャンネルの磁束状態の評価のために、高性能で極低温測定が可能な磁気光学顕微鏡を開発し、磁束量子などの観察を行うとともに、理論的なシミュレーションによる解析も行う。

### 4. 研究成果

(1) 超伝導層/2次元正孔ガス(2DHG)層/超伝導層の3領域からなるダイヤモンド電界効果トランジスタ(FET)を世界で初めて作製し、ゲート電圧によるドレイン電流の変調効果を温度1K~10Kにおいて観測した。2DHGチャンネルの微細化で、超伝導FETに発展できる基礎データ取得に成功した。超伝導チャンネルの微細化でダメージ層が問題となっていたが、初年度は、エッチング側壁面の超伝導転移温度の低い面方位で常伝導化することで、超伝導電流が流れる細い稜線を形成する稜線伝導型のデバイスを新たに開発した。付随した研究として、これまでで最小となるジョセフソン接合幅 $3\mu\text{m}$ での単一段差型ジョセフソン接合にて、直流、交流ジョセフソン効果の観測、およびdc-SQUIDとしての動作に成功した。

(2) ボロンドープダイヤモンド超伝導層/2次元正孔ガス(2DHG)層/ボロンドープダイヤモンド超伝導層からなるダイヤモンド電界効果トランジスタ(FET)の開発を進め、まずは超伝導層から水素末端ダイヤモンド-原子層堆積(ALD) $\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面に発生する2DHGへの近接効果によって超伝導電流を誘起する超伝導FETの実現を目指した。その結果1.6Kの極低温環境下でのドレイン電流変調を実証した。オン抵抗は、 $V_{GS} = -3.5\text{V}$ のとき1.6Kと12.0Kでそれぞれ $5.3 \cdot \text{mm}$ 、 $29.0 \cdot \text{mm}$ となり、1.6Kの時に、12Kの場合と比較して1/5以下となった。これは、1.6Kの場合にボロンドープダイヤモンドが超伝導化したことにより電極の抵抗が消失したことや、超伝

導電極からの巨視的波動関数のしみだしにより半導体チャンネルの抵抗が減少した可能性が考えられる。

(3) 近接効果型の超伝導 FET を実現するためには、チャンネルの移動度をさらに向上させることが重要である。図 1 に示すように従来の C-H チャンネルデバイスと比べて高移動度が期待できる Si 終端ダイヤモンド (C-Si-O) をチャンネルに、(111) 超伝導ポロンドープダイヤモンドをソースドレイン電極に用いたデバイスについてチャンネル長  $L_{SD}$  を 250nm、絶縁膜である  $Al_2O_3$  膜厚を 50 nm とした横型ダイヤモンド MOSFET を作製し、極低温環境下での FET 動作を検証した(図 1)。1.6 K のオン抵抗は 12K の場合と比較して小さくなっていることが分かる。これについても同様に、1.6K では  $T_c$  を下回ったことによるソースドレイン抵抗の消滅と、チャンネルに一部超伝導電流が流れたことにより、総抵抗が減少したことによるものと考えられる(図 2)。

最終年度においては、超伝導体であるポロンドープダイヤモンドチャンネル FET の超伝導電流の直接ゲート変調にもはじめて成功した。

(4) 単結晶 Bi2212 銅酸化物超伝導体を劈開貼り付け法により薄膜化し、低加速電圧で均質にエッチングすることが可能なカウフマン型イオン源による Ar イオンエッチング装置によって超伝導チャンネル

を  $3.8 \mu\text{m}$  程度に微細化した。また、Bi2212 に希塩酸処理をおこなうことで、Bi2212 超伝導層を超薄膜化すると同時に、Bi2212 が絶縁性の塩化酸化ビスマス( $BiOCl$ )層に転換されることを利用した、ゲート絶縁膜層の形成についても調査した。その結果、Bi2212 は超伝導特性の大きな劣化がなく超薄膜化できるものの、現状では  $BiOCl$  の電気特性からはゲート絶縁膜には現状適していないという結果が得られている。また、汎用半導体シミュレータを用いて 3 次元シミュレーションを行い、マルチゲートチャンネルにおけるキャリア濃度の電界変調効果を知ることができるようになった。チャンネルの面キャリア密度を減少させる観点から PLD 法による Bi2201 膜をバッファとした Bi2212 極薄膜層の形成を行い、超伝導特性を確認した。

(5) 超伝導トランジスタは動作時に磁束量子の運動によって抵抗が生じるため、動作の理解には磁束量子の運動を把握することが重要である。超伝導トランジスタの動作理解に必要な磁束量子の駆動状態を観測するために、リアルタイム磁気イメージングが可能である、磁気光学顕微鏡システムを開発した。システムの性能向上に大きく寄与するのが、磁気光学薄膜センサの Verdet 定数(磁場に対する偏光回転角の変化率)であり、成膜中にターゲットから発生する大型の液滴粒を遮蔽版によって取り除く独自のエクリプス PLD 法(図 3)により高性能な磁気光学薄膜センサの開発を行い、単一磁束量子レベルの運動をリアルタイムに観察できる磁気光学顕微鏡システムの開発に成功するとともに、ニオブ材料の単一磁束量子および磁束量子クラスター形成のその場観察に成功した(図 4)。これに付随して、磁束量子間の相互作用を微視的理論により広く記述できる理論モデルに基づいて、有限要素法や磁束量子の分子動力学法による数値シミュレーション法を開発し、単独磁束量子の運動および磁束量子クラスター形成のシミュレーションを行い、磁束量子の運動を理論的に可視化し、磁気光学顕微鏡による実験結果との比較を行った。

また、開発した磁気光学顕微鏡により、高温超伝導体薄膜や  $MgB_2$  コンポジット超伝導体において、磁束侵入過程の様子の磁気顕微鏡によるリアルタイム観察を行った。

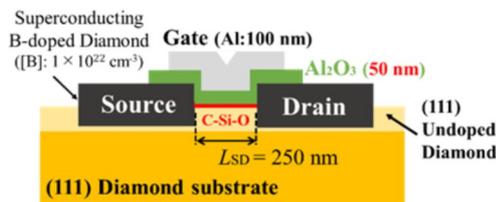


図 1 C-Si-O チャンネル FET の模式図

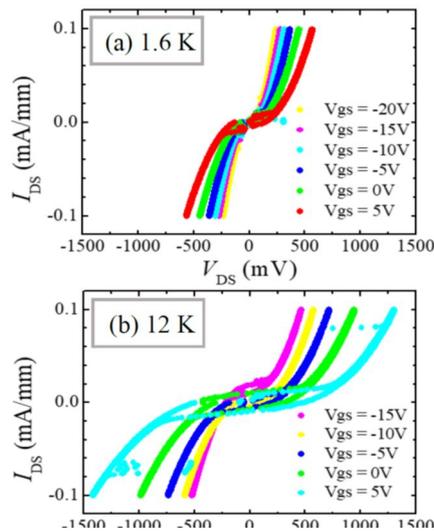


図 2 FET の低温動作特性

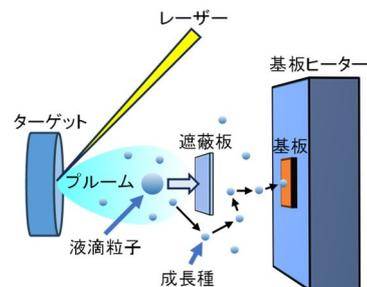


図 3 エクリプス PLD 成膜法

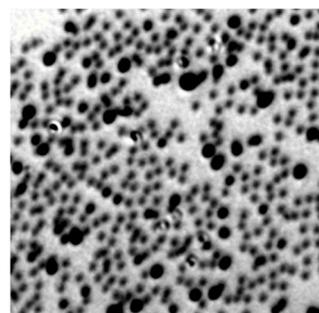


図 4 磁束量子および磁束量子クラスターの磁気光学顕微鏡像

## 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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsumoto Akiyoshi, Tachiki Minoru, Ooi Shuuichi	4. 巻 33
2. 論文標題 Development of YBCO Patterned Multi-Filamentary Film Using Photolithography Method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/tasc.2023.3244515	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 Teramachi Nanami, Nakaaki Iku, Hashimoto Aoi, Ooi Shuuichi, Tachiki Minoru, Arisawa Shunichi, Seto Yusuke, Sakurai Takahiro, Ohta Hitoshi, Valenta Jaroslav, Tsujii Naohito, Mori Takao, Uchino Takashi	4. 巻 108
2. 論文標題 Strong phase coherence and vortex matter in a fractal system with proximity-induced superconductivity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155146(1~13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevb.108.155146	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 Matsumoto Akiyoshi, Tachiki Minoru, Ooi Shuuichi, Teranishi Ryo, Inoue Masayoshi	4. 巻 34
2. 論文標題 Microstructural Study of YBCO Thin Films With Stripe-Patterned Substrates for Ultra-Fine Multi-Filaments	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/tasc.2024.3366159	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 Fujimoto Hiroki, Matsumoto Akiyoshi, Ooi Shuuichi, Tachiki Minoru, Inoue Masayoshi, Teranishi Ryo	4. 巻 34
2. 論文標題 Consideration of Magnetic Flux Distribution in Multi-Filamented YBa2Cu3O7- Films by Controlling Crystal Array Using Surface-Modified Substrate	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/tasc.2024.3362729	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 Morishita Aoi, Amano Shotaro, Tsuyuzaki Ikuto, Kageura Taisuke, Takahashi Yasuhiro, Tachiki Minoru, Ooi Shuuichi, Takano Miwako, Arisawa Shunichi, Takano Yoshihiko, Kawarada Hiroshi	4. 巻 181
2. 論文標題 Crystal analysis of grain boundaries in boron-doped diamond superconducting quantum interference devices operating above liquid helium temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 379 ~ 388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.04.097	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 Ooi S., Tachiki M., Konomi T., Kubo T., Kikuchi A., Arisawa S., Ito H., Umemori K.	4. 巻 104
2. 論文標題 Observation of intermediate mixed state in high-purity cavity-grade Nb by magneto-optical imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 064504(1~7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.064504	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25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 大井 修一, 立木 実, 茂筑 高士, 井藤隼人, 菊池 章弘, 有沢 俊一, 久保毅幸, 梅森健成.
2. 発表標題 磁気光学イメージングによる高純度ニオブ中の単一磁束量子観察
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y.Hashimoto, C.Wakabayashi, Y.Takahashi, Y.Takano, M.Tachiki, S.Ooi, H. Kawarada
2. 発表標題 Reduction of Etching Damage and SQUID Operation of Single-Crystalline Diamond Josephson Junctions by Ridge Conduction Structure
3. 学会等名 2023 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston, USA, Nov 26-Dec 1, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 C. Wakabayashi, Y. Hashimoto, M. Takeuchi, S. Ooi, M. Tachiki, Y. Takano, H.Kawarada
2. 発表標題 Supercurrent modulation in superconducting boron-doped diamond thin films by field effect
3. 学会等名 3rd International Symposium on Design and Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤本大貴, Guo Zimeng, 波多 聡, 寺西 亮, 松本 明善, 大井 修一, 立木 実
2. 発表標題 Zrをパターンニングした基板上でフィラメント構造化した MOD-YBCO薄膜のTEMによる微細組織観察
3. 学会等名 第106回低温工学・超電導学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 寺町七海, 中明育, 橋本碧維, 大井 修一, 立木 実, 有沢 俊一, 櫻井敬博, 太田仁, 近藤隼, 幾原雄一, バレンタ ヤロスラフ, 辻井 直人, 森 孝雄, 内野隆司
2. 発表標題 超伝導フラクタルナノ複合体の位相コヒーレンス形成と渦糸構造
3. 学会等名 第29回 渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中明育, 櫻井敬博, 太田仁, 大井 修一, 立木 実, 有沢 俊一, 幾原雄一, 近藤隼, 大石一城, 坂口佳史, 幸田章宏, 内野隆司
2. 発表標題 超伝導/常伝導フラクタルナノ複合化合物の自発渦糸形成
3. 学会等名 第29回 渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立木 実, 大井 修一, 茂筑 高士, 井藤 隼人, 菊池 章弘, 有沢 俊一, 久保 毅幸, 梅森 健成
2. 発表標題 GLパラメータが臨界値に近い超伝導体の磁束量子ダイナミクス
3. 学会等名 第29回 渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本 明善, 立木 実, 大井 修一, 寺西亮, 波多聰, 郭子萌, 高紅葉, 井上昌睦
2. 発表標題 フォトリソグラフィ法を用いたREBCOマルチフィラメント薄膜の開発
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浦中智貴, 寺西亮, 立木 実, 松本 明善
2. 発表標題 REBa2Cu3O7- 超伝導薄膜の硬さ試験における最大荷重が硬さ評価に及ぼす影響
3. 学会等名 2023年度 日本金属学会九州支部 日本鉄鋼協会九州支部 軽金属学会九州支部 合同学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中明 育, 櫻井 敬博, 太田 仁, 瀬戸 雄介, 大井 修一, 立木 実, 有沢 俊一, 内野 隆司
2. 発表標題 フラクタル構造を有する超伝導ナノ複合体の巨視的位相コヒーレンス形成と磁束構造
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内雅治, 若林千幸, 太田康介, 成田憲人, 高橋康裕, 蔭浦泰資, 高野義彦, 立木 実, 大井修一, 有沢俊一, 川原田 洋
2. 発表標題 C-Si-0チャンネルを用いたダイヤモンドMOSFETの 極低温環境下における動作実証
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内 雅治, 若林 千幸, 高橋 泰裕, 太田 康介, 蔭浦 泰資, 高野 義彦, 立木 実, 大井 修一, 有沢 俊一, 川原田 洋
2. 発表標題 超伝導ソース・ドレイン間のチャンネル微細化と極低温(1.6 K)でのドレイン電流変調
3. 学会等名 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内 雅治, 若林 千幸, 高橋 泰裕, 太田 康介, 蔭浦 泰資, 高野 義彦, 立木 実, 大井 修一, 有沢 俊一, 川原田 洋
2. 発表標題 近接効果型の超伝導ダイヤモンドFET実現に向けた極低温(1.6 K)動作検証
3. 学会等名 第36回ダイヤモンドシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 C. Wakabayashi, Y. Takahashi, T. Kageura, Y. Takano, M. Tachiki, S. Ooi, S. Arisawa, H. Kawarada
2. 発表標題 Low Temperature Operation of 2DHG Diamond FETs with Superconducting Diamond Sources and Drains aiming at JoFET or SCFET operation
3. 学会等名 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 C. Wakabayashi, Y. Takahashi, T. Kageura, Y. Takano, M. Tachiki, S. Ooi, S. Arisawa, H. Kwarada
2. 発表標題 1.6K Operation of Diamond FETs with Superconducting Diamond Sources and Drains targeting JoFET or SCFET operation
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 立木 実, 大井 修一, 茂筑 高士, 井藤 隼人, 菊池 章弘, 有沢 俊一, 久保 毅幸, 梅森 健成
2. 発表標題 磁気光学イメージングによる高純度ニオブ材料における単一磁束量子および磁束量子クラスター形成の動的観測
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大井 修一, 立木 実, 茂筑 高士, 井藤 隼人, 菊池 章弘, 有沢 俊一, 久保 毅幸, 梅森 健成
2. 発表標題 磁気光学イメージングによる高純度ニオブにおける少数単一磁束量子のクラスター化観察
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大井 修一, 立木 実, 茂筑 高士, 井藤 隼人, 菊池 章弘, 有沢 俊一, 久保 毅幸, 梅森 健成
2. 発表標題 Observation of vortex clusters using magneto-optical imaging sensors fabricated by an eclipse-PLD method
3. 学会等名 35th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大井 修一、立木 実、菊池 章弘、有沢 俊一、許斐太郎、井藤隼人、久保毅幸、加古永治、阪井寛志、梅森健成
2. 発表標題 Magneto-optical imaging of vortex bundles in high purity Nb
3. 学会等名 The 34th International Symposium on Superconductivity (ISS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大井 修一、立木 実、菊池 章弘、有沢 俊一、許斐太郎、久保毅幸、井藤隼人、加古永治、阪井寛志、梅森健成
2. 発表標題 Observation of intermediate mixed state in high-purity cavity grade Nb by MO imaging
3. 学会等名 TTC 2022, TESLA Technology Collaboration (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若林 千幸、高橋 泰裕、蔭浦 泰資、高野 義彦、立木 実、大井 修一、有沢 俊一、川原田 洋
2. 発表標題 ダイヤモンドSQUIDを構成するジョセフソン接合の微細化
3. 学会等名 第82回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若林 千幸、高橋 泰裕、太田 康介、新倉 直弥、荒井 雅一、蔭浦 泰資、高野 義彦、立木 実、大井 修一、有沢 俊一、川原田 洋
2. 発表標題 超伝導ソースドレインを有する2 DHGダイヤモンドMOSFETの低温動作
3. 学会等名 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林 千幸、高橋 泰裕、蔭浦 泰資、高野 義彦、立木 実、大井 修一、有沢 俊一、川原田 洋
2. 発表標題 ダイヤモンドSQUID磁気センサの感度向上に向けたジョセフソン接合の微細化
3. 学会等名 第35回 ダイヤモンドシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大井 修一、立木 実、菊池 章弘、有沢 俊一、許斐太郎、井藤隼人、久保毅幸、加古永治、阪井寛志、梅森健成
2. 発表標題 磁気光学イメージング法による超高純度ニオブの磁束状態観測
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大井 修一、立木 実、茂筑 高士、有沢 俊一
2. 発表標題 希塩酸処理によるBi2212超薄膜化
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	大井 修一  (Ooi Shuuichi)  (10354292)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテク トニクス研究拠点・主任研究員   (82108)	

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	川原田 洋  (Kawarada Hiroshi)  (90161380)	早稲田大学・理工学術院・教授    (32689)	

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