

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00666

研究課題名(和文) 実環境下の損傷敏感試料に微細領域の動態観測技術をもたらす半導体電子ビーム源

研究課題名(英文) Semiconductor electron beam source that brings fine-area dynamics observation technology to damage sensitive samples

研究代表者

西谷 智博(Nishitani, Tomohiro)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・客員准教授

研究者番号：40391320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電子顕微鏡などの電子ビーム源の技術革新を目指して、従来とは電子生成原理が異なる光電効果を半導体に用いたフォトカソード技術に着目し、その半導体の材料と構造の最適化により、これまでにない高性能かつ多彩な電子ビーム生成の達成を目標としてきた。本研究の結果、窒化ガリウムやガリウムヒ素などの半導体を用いたフォトカソードにより、ビーム内の電子の運動量のばらつきが従来技術よりも一桁低く、かつ従来技術では困難な極めて短いナノ秒の時間幅で高い電流値を持つパルス電子ビームの生成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で達成した電子の運動量のばらつきが極少の電子ビームと従来困難であった極めて短い時間幅のパルス電子ビームの実現は、電子顕微鏡の核心技術である電子源の材料を金属から半導体へと刷新することで、実環境のまま分子・原子レベルで試料を観測する新奇技術を創出する可能性を持つ。本研究でも示唆した水溶液中で動き回る生きた生体分子や電池材料が充放電の様子などを分子レベルで観測するような潜在的応用例などから、本技術の社会実装により創薬だけでなくエネルギーなど幅広い分野で技術革新の源になると期待される。

研究成果の概要(英文)：For the first technological innovation in electron microscopy electron beam sources in 50 years, this study has worked to realize an electron beam with never-before-seen high performance and versatility using a semiconductor photocathode. By optimizing the materials and structures of semiconductors such as gallium nitride and gallium arsenide in this research, we succeeded in achieving high performance with electron momentum dispersion one order of magnitude lower than that of conventional technologies, a large current at the milliamper level, and generating pulsed electron beams with nanosecond width which is difficult with conventional technologies.

研究分野：電子ビーム源

キーワード：フォトカソード 電子ビーム 半導体 負電子親和力表面 パルス電子ビーム

1. 研究開始当初の背景

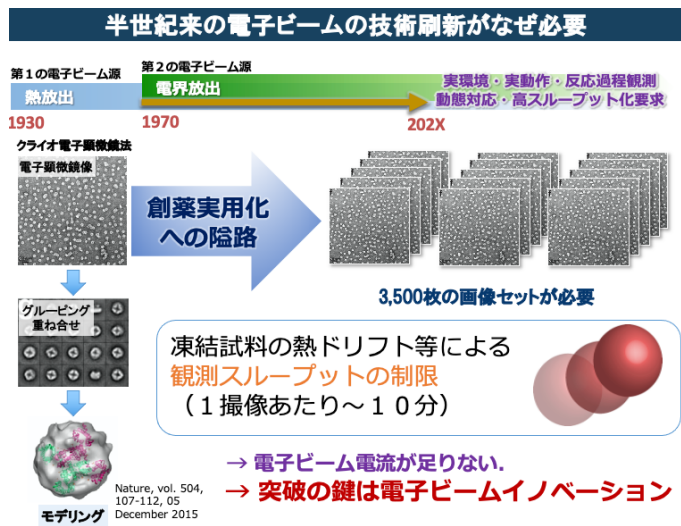
電子ビームは、電子顕微鏡や電子線描画など観測から加工まで幅広い学術・産業の基盤技術である。既存技術の電子ビームのほとんどが、エジソン効果を利用した熱型または、ショットキーやトンネル効果を用いた電界放出型の電子源により直流ビームとして生成されている。

特に電界放出型電子銃は、熱型に比べ電流値は桁違いに小さいものの、1eV以下の小さいエネルギー分散の電子放出が可能であるため、可干渉性の必要な観測に利点をもち、その登場以来過去40年に渡り高空間分解能の電子顕微鏡技術に貢献してきた。ホログラフィー電子顕微鏡で世界最高性能の空間分解能を実現するだけでなく、クライオ電子顕微鏡においては、試料の急速凍結や画像解析、ステージの安定化、データ処理の高速・自動化などの技術進歩と共に、生体分子などの3次元構造解析を実現するなど、“より微細領域の観測”だけでなく“電子線損傷に敏感な試料”へと観測対象を拡張させてきた。さらに直接電子を検出可能なCMOS素子の開発により、“検出効率の向上やサブミリ秒までの”時間分解観測”が可能となり、近年では、SiNやSiCなどのメンブレン材料により、真空中で電子線を透過可能な液中セルが開発され、“実環境下”の観測が進みつつある。

すなわち次世代電子顕微鏡技術には、原子・分子レベルの微細領域の理解を“実環境下”であって“電子線損傷に敏感な試料”に対する“動態や反応”へと拡張させることが求められている。

そのような要求の顕在化例として、ライフサイエンス分野では創薬におけるスクリーニングプロセスでのクライオ電子顕微鏡法による生体分子の3次元構造解析やエネルギー分野ではペロブスカイト太陽電池製造における有機材料を含む結晶化プロセスの解明など、幅広い分野で電子顕微鏡技術の機能拡張が期待されている。

我々は、このような電子顕微鏡の機能拡張の鍵は、およそ50年前に登場した電界放出型電子源がもたらした技術革新と同様に電子放出の原理から異なる電子源への刷新にあると考えた。



2. 研究の目的

我々は、産業分野における50年ぶり電子源技術の刷新として、光電効果を用いた半導体フォトカソードに着目した。半導体フォトカソードからの電子ビームは、極小の電子のエネルギー分散や大きな電流の特性があるだけでなく、他技術にはないパルスビーム生成など、高度かつ多彩な性能を持つ。そのような性能を最大限に発揮させるためには、フォトカソード素子となる半導体材料の量子高率、パルスレーザーに対する時間応答性、光励起された伝導帯電子のエネルギー状態、表面処理毎の負電子親和力状態の利用に応じた制御が鍵となる。

そこで本研究では、半導体フォトカソードの量子効率、時間応答性、電子ビームの干渉性の向上及び表面処理毎の表面構造の理解に着目して、電子顕微鏡の機能拡張に適した次世代電子ビームを生成する半導体材料・構造・表面を備えた半導体フォトカソードを追求する。そのために、電子顕微鏡の新たな機能拡張に対する最もインパクトの高いターゲットの一つとして、液中でブラウン運動する試料の観測を設定し、観測に最適な電子ビーム条件(可干渉性、電流、パルス構造)を満たす半導体フォトカソード材料を実現する。

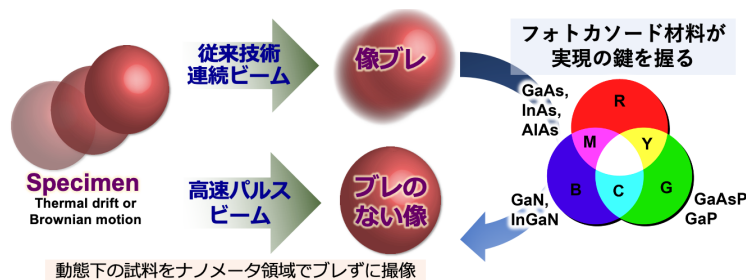


図 2-1 実環境下で試料の動態や反応をナノメータ領域で観測するための要素

3. 研究の方法

液中でブラウン運動する試料の観測のための半導体フォトカソード材料の実現には、可干渉性や電流、パルス特性などの電子ビーム条件の設定が不可欠であり、かつその実証までには電子顕微鏡の検出方法や液中試料ホルダーの開発まで必要となるため、以下の A から E までの項目を目標値として設定した。

設定した研究項目の全ては、図 3-1 通りフォトカソードに用いる半導体の材料や構造を設計し、結晶成長したサンプルに対する評価と元の設計のフィードバックによる最適化により達成する。

- A) 電界放出型電子源と同等の可干渉性を持つ電子放出
- B) 電界放出型電子源の 1000 倍以上の高い電流引出し (> 1 mA)
- C) 凍結試料のドリフト (~10nm/s) に対しては 1 ミリ秒、液中試料のブラウン運動 (水中の 1 μ m 径スチロールで平均 ~10 μ m/s) に対しては 100 ナノ秒以下の速い撮像が必要のため、パルス幅は 100 ナノ秒 ~ 1 ミリ秒の範囲で調整可能であること。
- D) パルス繰返し周波数は、最小 1 パルス生成から 100 マイクロ秒以下の間隔で連続してパルス生成が可能なこと。(1 kHz 以上*直接電子検出の高速 CMOS まで対応)
- E) パルス電子ビームが検出器やカメラと同期が可能であること。
- F) 様々な試料に対応するため、パルス内電荷量が連続的に調整可能であること。

上記項目は、図 3-1 に示す通り半導体材料作成・基本性能・ビーム評価(A, B, C, D)、要素技術から電子顕微鏡応用(E, F)まで対応する評価装置や要素デバイスにより遂行された。

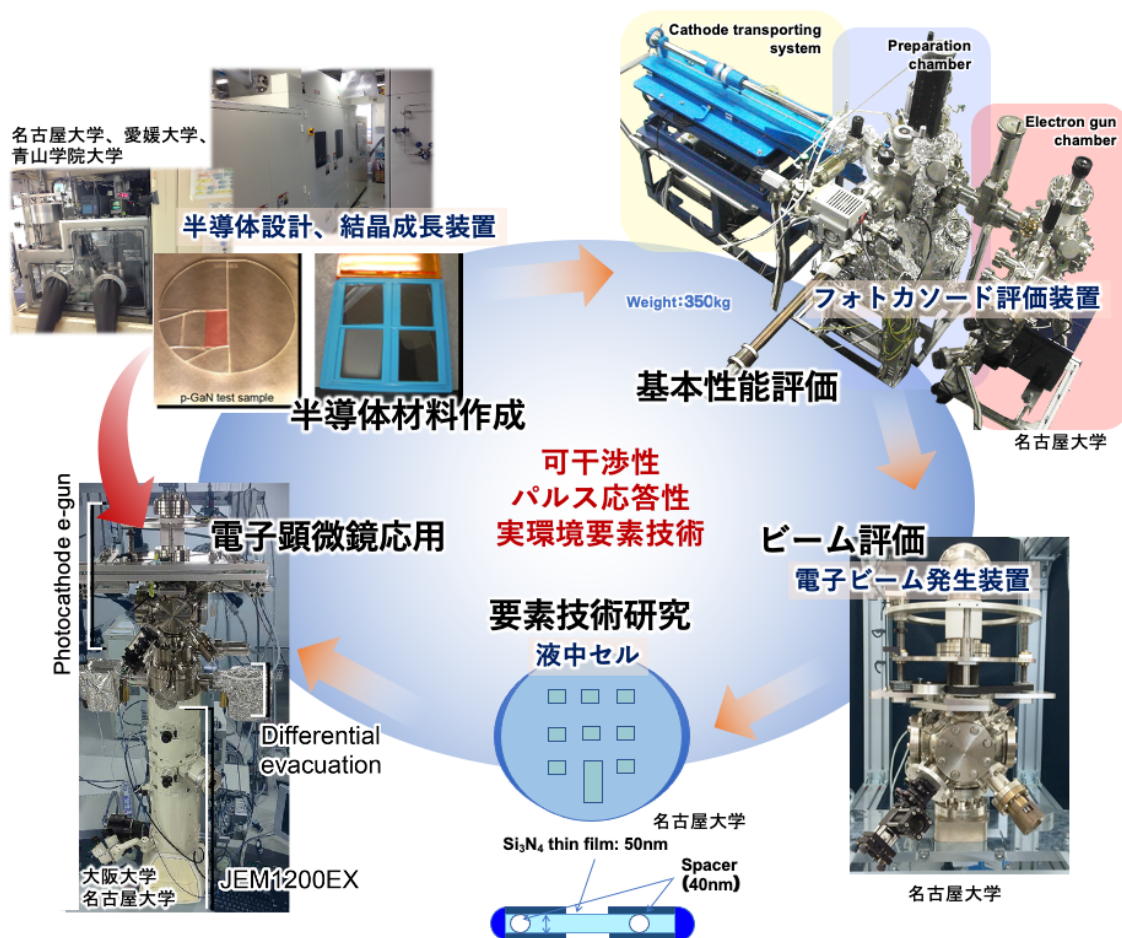


図 3-1 液中でブラウン運動する試料の観測のための半導体フォトカソード材料を実現する研究の方法: A から E まで掲げた研究項目は、半導体材料作成、基本性能・ビーム評価、要素技術から顕微鏡応用まで対応する評価装置や要素デバイスにより遂行した。

4. 研究成果

電子顕微鏡の新たな機能拡張に対する最もインパクトの高いターゲットの一つとして、液中でブラウン運動する試料の観測を目指し、設定した最適な電子ビーム条件（可干渉性、電流、パルス構造）を満たす半導体フォトカソード材料実現のために達成すべき研究項目を遂行し、目標項目別に次の通り達成した。

A) 電界放出型電子源と同等の可干渉性を持つ電子放出：達成度 100%

- フォトカソード材料として作成した InGaN 半導体と AlGaAs 半導体により、可干渉性として 0.1eV 以下の電子のエネルギー分散を達成し、電界放出電子源と同等以上の可干渉性を達成した。

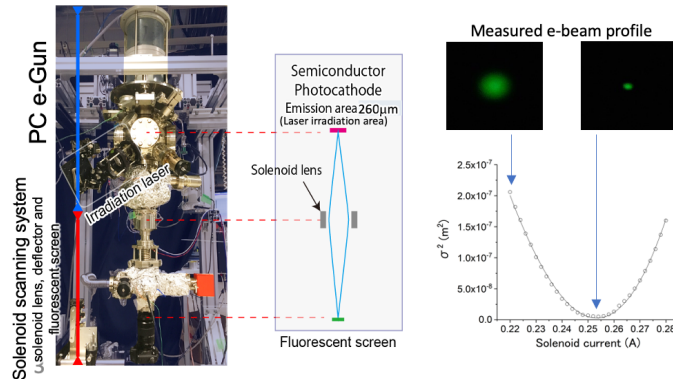


図 4-1 電子銃を用いたソレノイドスキャン法によるフォトカソード半導体の電子のエネルギー分散測定とその結果

B) 電界放出型電子源の 1000 倍以上の高い電流引出し (> 1 mA)：達成度 100%

- 目標とする 1mA の電流を最終目標とするパルス電子ビームの状態達成した (図 4-2)。

C) 凍結試料のドリフト (~10nm/s) に対しては 1 ミリ秒、液中試料のブラウン運動 (水中の 1 μm 径スチロールで平均 ~10 μm/s) に対しては 100 ナノ秒以下の速い撮像が必要のため、パルス幅は 100 ナノ秒 ~ 1 ミリ秒の範囲で調整可能であること。：達成度 100%

- 図 4-1 で示す通り、InGaN 半導体フォトカソードを用いた実験で、最短でパルス幅 7ns、立ち上りと立ち下がり共に 1.5ns と照射パルスレーザーの時間構造に一致した応答性を持つパルス電子ビーム生成を達成した。これにより 100 ナノ秒と設定した目標値よりも 10 倍以上早い時間応答性を持つ半導体材料を実現した。

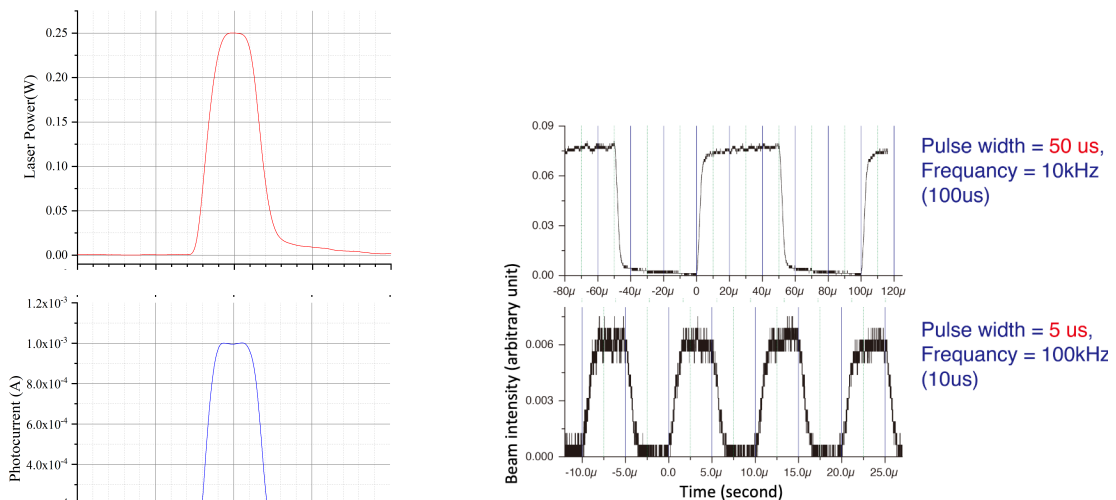


図 4-2 InGaN フォトカソードからのナノ秒パルス幅を持つパルス電子ビームの生成

図 4-3 パルス幅と周波数を変調させた電子ビーム生成: 最大で 100kHz の周波数を達成。

- ブラウン運動ターゲット試料の検証のため、20-50nm 程度の液膜の厚さが可能な液中試料ホルダーを独自に開発し、水溶液中の~20nm 直径の金ナノ粒子試料のブラウン運動の様子を観測した。

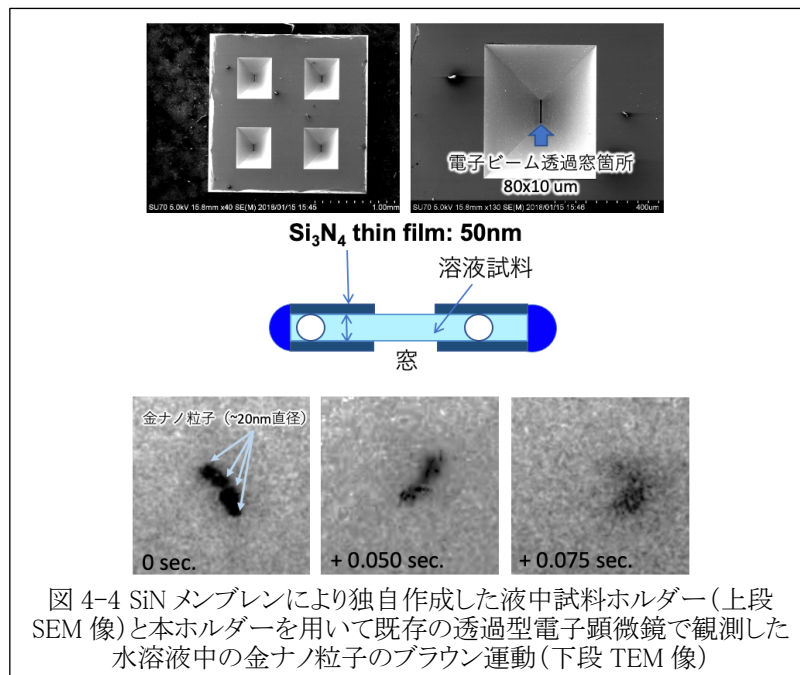


図 4-4 SiN メンブレンにより独自作成した液中試料ホルダー(上段 SEM 像)と本ホルダーを用いて既存の透過型電子顕微鏡で観測した水溶液中の金ナノ粒子のブラウン運動(下段 TEM 像)

D) パルス繰返し周波数は、最小 1 パルス生成から 1 0 0 マイクロ秒以下の間隔で連続してパルス生成が可能なこと。(1 kHz 以上*直接電子検出の高速 CMOS まで対応) : **達成度 100%**

- 図 4-3 通り周波数およびパルス幅が変調可能なパルスビーム生成シーケンス構築を実現し、当初目標にした周波数 1kHz を二桁上回る 100kHz の高周波数のパルスシステムを達成した。

E) パルス電子ビームが検出器やカメラと同期が可能であること。: **達成度 100%**

- 設定目標 C), D) で構築したレーザーシステムは、外部トリガーシグナル制御しており、10 ナノ秒を切る速さで 100kHz 周波数まで対応していることから、目標とした既存の CCD カメラ (30 フレーム/秒) との同期には十分な仕様を達成した。

加えて、ここまでの研究に利用してきた電子ビーム発生装置を性能向上させるために、電子加速電圧が最大で 100kV である電子ビーム発生装置の開発 (図 4-5) に着手し、電子ビーム生成まで至った。今後 50nm を超える厚さの液膜の液中試料の観測実証に向けた準備も完了したことを付け加えておく。

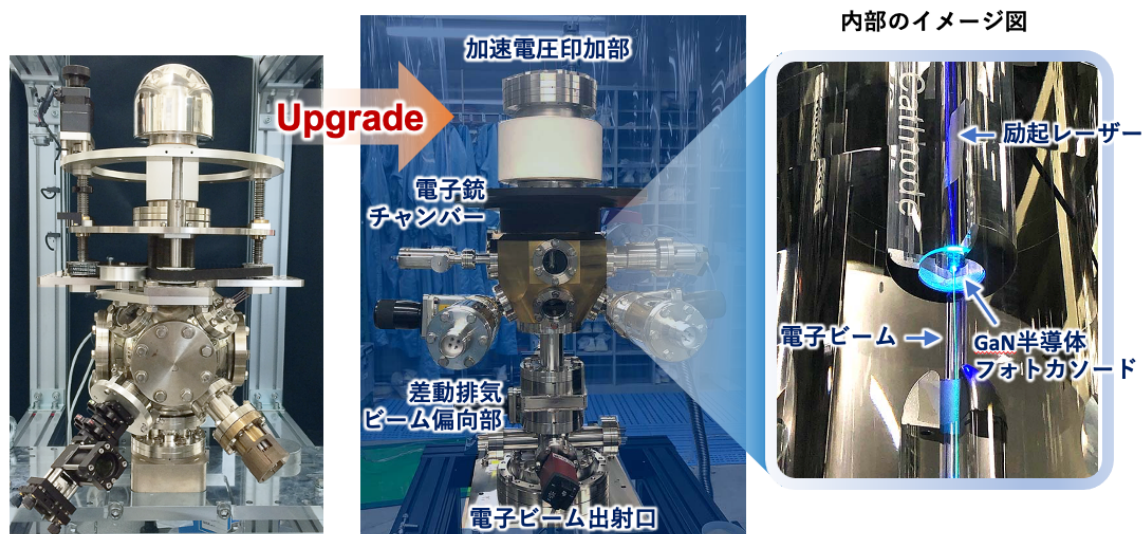


図 4-5 従来のフォトカソード用電子発生装置 (最大 50kV 加速) と 100kV 電子ビーム加速が可能なフォトカソード用電子発生装置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7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 Yasuda Hidehiro, Nishitani Tomohiro, Ichikawa Shuhei, Hatanaka Shuhei, Honda Yoshio, Amano Hiroshi | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Development of Pulsed TEM Equipped with Nitride Semiconductor Photocathode for High-Speed Observation and Material Nanofabrication | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Quantum Beam Science | 6. 最初と最後の頁 5~5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/qbs5010005 | 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 Morita Iori, Ishikawa Fumitaro, Honda Anna, Sato Daiki, Koizumi Atsushi, Nishitani Tomohiro, Tabuchi Masao | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 AlGaAs/GaAs superlattice photocathode grown by molecular beam epitaxy: correspondence between room temperature photoluminescence and quantum efficiency | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SBBK02 ~ SBBK02 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abd6e0 | 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 Sada Y., Meguro T. | 4. 巻 513 |
| 2. 論文標題 Study on work function and corresponding electron emission during NEA activation of GaAs surfaces | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Applied Surface Science | 6. 最初と最後の頁 145699 ~ 145699 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2020.145699 | 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 Inagaki Yuta, Meguro Takashi | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Study on surface processes and photoemission properties of NEA-GaAs after repetitive sequence of thermal pretreatment and NEA activation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 045504 ~ 045504 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7ef3 | 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 Masaru Jono, Yuhi Sada, Takashi Meguro | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 ANALYTICAL STUDY ON TPD MEASUREMENTS DURING NEA ACTIVATION PROCESS | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 39th Symposium on Materials Science and Engineering | 6. 最初と最後の頁 14-18 |
| 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 無 |
| 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 Sato Daiki, Nishitani Tomohiro, Honda Yoshio, Amano Hiroshi | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 Recovery of quantum efficiency on Cs/O-activated GaN and GaAs photocathodes by thermal annealing in vacuum | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology B | 6. 最初と最後の頁 012603 ~ 012603 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/1.5120417 | 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 Sato Daiki, Honda Anna, Koizumi Atsushi, Nishitani Tomohiro, Honda Yoshio, Amano Hiroshi | 4. 巻 223 |
| 2. 論文標題 Optimization of InGaN thickness for high-quantum-efficiency Cs/O-activated InGaN photocathode | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Microelectronic Engineering | 6. 最初と最後の頁 111229 ~ 111229 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mee.2020.111229 | 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 Inagaki Yuta, Meguro Takashi | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Study on surface processes and photoemission properties of NEA-GaAs after repetitive sequence of thermal pretreatment and NEA activation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 045504 ~ 045504 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7ef3 | 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 Sada Y., Meguro T. | 4. 巻 513 |
| 2. 論文標題 Study on work function and corresponding electron emission during NEA activation of GaAs surfaces | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Applied Surface Science | 6. 最初と最後の頁 145699 ~ 145699 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2020.145699 | 査読の有無 無 |
| 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19件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 2件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 高輝度パルス 電子源の開発 |
| 3. 学会等名 日本顕微鏡学会 関西支部特別講演会：高速観察・計測と高感度観察・計測 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 半導体フォトカソードを用いた電子ビーム技術の応用開発と事業化 |
| 3. 学会等名 公益社団法人 応用物理学会, 次世代リソグラフィ技術研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 GaN系半導体フォトカソードを用いた光電子ビームの実用とスタートアップ企業による事業化 |
| 3. 学会等名 一般社団法人GaNコンソーシアム：光を用いた新たな応用展開 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 Electron Beam Technology Innovation by Semiconductor Photocathodes and its Commercialization |
| 3. 学会等名 第39 回電子材料シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 半導体フォトカソード電子源を特徴とする電子ビーム検査技術, Innovative inspection technology opened by photo electron beam from III-V semiconductors |
| 3. 学会等名 応用物理学会2-4回合同極限ナノ造形・構造物性研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鹿島将央, 佐藤大樹, 小泉淳, 飯島北斗, 西谷智博, 本田善央, 天野浩, 目黒多加志 |
| 2. 発表標題 NEA活性化方法におけるInGaNフォトカソードの電子放出特性の違い, The difference of InGaN photocathode with photoemission characteristic in NEA activation method |
| 3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 I. Morita, F. Ishikawa, A. Honda, D. Sato, A. Koizumi, T. Nishitani, M. Tabuchi |
| 2. 発表標題 AlGaAs/GaAs superlattice grown by molecular beam epitaxy for its application to semiconductor photocathode |
| 3. 学会等名 Solid State Devices and Materials 2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐田雄飛、城生大、目黒多加志 |
| 2. 発表標題 NEA活性化過程における量子効率とCs吸着状態のO ₂ 供給量依存性 |
| 3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 城生大、佐田雄飛、目黒多加志 |
| 2. 発表標題 yo-yo法を用いたNEA活性化過程の昇温脱離スペクトル測定 |
| 3. 学会等名 第39回法政大学イオンビーム工学研究所シンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tomohiro Nishitani, Daiki Sato, Haruka Shikano, Tomoaki Kawamata, Atsushi Koizumi, Hokuto Iijima, Masao Tabuchi |
| 2. 発表標題 SEM imaging using photo-electron beam by semiconductor photocathode |
| 3. 学会等名 The 63th International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology and Nanofabrication (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Daiki Sato, Tomohiro Nishitani, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano |
| 2. 発表標題 Surface Functional Recovery with Anneal Treatment for GaN Photocathode |
| 3. 学会等名 The 63th International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology and Nanofabrication (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 半導体材料・機能性表面・光励起・ビーム物理の技術融合が実現する電子ビームイノベーション |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 システムナノ技術に関する特別研究専門委員会(SNT)、第3回研究会「エキゾチックな分野間融合による新たな萌芽へ」 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 電子ビームの技術刷新で挑む損傷敏感試料・動態・反応の微細領域観測 |
| 3. 学会等名 第238回 有機エレクトロニクス材料研究会「有機半導体、タンパク質の電子状態を動的に捉える」(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西谷智博 |
| 2. 発表標題 半導体フォトカソードで実現する1ショット電子顕微鏡 |
| 3. 学会等名 イメージング研究会「～基礎物理から産業応用まで～」(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 I. Morita, F. Ishikawa, T. Nishitani and M. Tabuchi |
| 2. 発表標題 MBE growth of AlGaAs superlattice for photocathode |
| 3. 学会等名 38th Electronic Materials Symposium EMS-38 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 出射 幹也, 村田 文浩, 山下 海人, 七井 靖, 黄 晋二, 渊 真悟 |
| 2. 発表標題 InGaAsP系フォトカソードの量子効率に対する電子親和力の影響 |
| 3. 学会等名 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 森田 伊織, 石川 史太郎, 西谷 智博, 田淵 雅夫 |
| 2. 発表標題 フォトカソード応用AlGaAs超格子試料のMBE成長 |
| 3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 森田伊織, 石川 史太郎, 西谷 智博, 田淵 雅夫 |
| 2. 発表標題 フォトカソード応用AlGaAs系材料のMBE成長 |
| 3. 学会等名 2019年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 森田伊織, 石川 史太郎, 西谷 智博, 田淵 雅夫 |
| 2. 発表標題 フォトカソード応用のためのAlGaAs系ヘテロ構造の分子線エピタキシャル成長 |
| 3. 学会等名 2019年度 応用物理学会中国四国支部 若手半導体研究会 |
| 4. 発表年 2019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 | 目黒 多加志 (Meguro Takashi) (20182149) | 東京理科大学・理学部第二部物理学科・教授 (32660) | |
| 研究分担者 | 洗平 昌晃 (Araida Masaki) (20537427) | 名古屋大学・未来材料・システム研究所・助教 (13901) | |
| 研究分担者 | 成田 哲博 (Narita Akihiro) (30360613) | 名古屋大学・理学研究科・准教授 (13901) | |
| 研究分担者 | 本田 善央 (Honda Yoshio) (60362274) | 名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授 (13901) | |
| 研究分担者 | 石川 史太郎 (Ishikawa Fumitaro) (60456994) | 愛媛大学・理工学研究科(工学系)・准教授 (16301) | |
| 研究分担者 | 田淵 雅夫 (Tabuchi Masao) (90222124) | 名古屋大学・シンクロトロン光研究センター・教授 (13901) | |
| 研究分担者 | 市川 修平 (Ichikawa Shuhei) (50803673) | 大阪大学・超高压電子顕微鏡センター・助教 (14401) | |

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 | 保田 英洋 (Yasuda Hidehiro) (60210259) | 大阪大学・工学研究科・教授 (14401) | |
| 研究分担者 | 七井 靖 (Nanai Yasushi) (80755166) | 青山学院大学・理工学部・助教 (32601) | |

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 |
|---------|---------|
| | |