

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01361

研究課題名（和文）電流注入利得スイッチレーザー活性層の限界駆動高速非線形性とその電氣的制御

研究課題名（英文）Electrical control of ultrafast nonlinearity under extreme drive in current-injection gain-switched semiconductor lasers

研究代表者

秋山 英文（Akiyama, Hidefumi）

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：40251491

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：GaAs基板上成長の1000nm波長帯の高品質InGaAs量子井戸活性層を用い、リッジ型導波路レーザー構造を作製した。多数の自作LD素子から、8-12ピコ秒の高速短パルス発生を発生した。バイアス印加・多ステップパルス励起などの電氣的制御で、利得スイッチ成分を抑制した矩形パルスを発生した。市販で最速の変調帯域 30 GHzのDFB-LD素子入手し、利得スイッチ実験を行い、約90ps幅の電気パルス注入とシングルモードファイバ分散補正により、スペクトルフィルタリングや非線形パルス圧縮など付加的な手法を用いることなく、最短の5.3psパルス幅のフーリエ限界に近いパルスを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体中の非平衡高密度多体キャリアが有する非摂動領域の極端非線形性と高速性を理解し、電子工学的に活用する道筋が拓かれた。半導体レーザーの極端非線形性は、基礎物理学としても難敵であるが、活性層膜構造、共振器構造、電極構造、パッケージ構造や、バイアス、多ステップパルス励起などの電氣的制御手法を駆使することで、限界駆動下での高速極端非線形性を積極的に引き出すことは可能であり、電流注入半導体レーザーから高速パルスを直接発生することが可能であることが示された。MOPA化してシード光源としてこの半導体レーザーを用いれば、堅ろう・高自由度・高制御性の光源システム構築が可能になる。

研究成果の概要（英文）：We fabricated ridge-type waveguide laser diodes (LDs) based on high-quality InGaAs quantum well active layer with wavelength bands around 1000 nm grown on GaAs substrates. High-speed short pulses of 8-12 picoseconds were generated from a number of homemade LDs. Clean rectangular light pulses without spike pulse component were generated by electrical control of bias and multi-step pulse excitations. A commercially available DFB-LD with the fastest modulation bandwidth of 30 GHz was obtained, and gain switching experiments were performed with our developed setup. With 90-ps electrical pulse pumping and chirp compensation via a single-mode fiber, short pulse width of 5.3 ps near the Fourier transport limit was obtained without using additional spectral filtering or nonlinear pulse compression.

研究分野：半導体物理学

キーワード：半導体レーザー 利得スイッチ 電流注入 限界駆動 非線形

1. 研究開始当初の背景

半導体レーザーからの超短パルス直接発生の研究は、1990年代までは盛んに行われたが、特に「非線形性の理解・制御」の困難のため、ブームは一度沈静化し、一部の研究者らが、半導体レーザーの直接変調高速化、利得スイッチ、モード同期などによる単パルス発生の研究を継続してきた。近年、ピコ・フェムト秒光源の半導体レーザー化や低コスト化への社会的・産業的な要望から、これらの技術が再注目されている。

我々は、先端的な半導体レーザーに内在する難解な非線形性・量子物性と高速キャリアダイナミクスに関して、独自の基礎研究を積み重ねてきた。量子細線レーザーの研究で基礎力を磨き、2008年ころから1550nm波長帯・市販デバイスと、800nm波長帯・光励起・自作デバイスにおいて、利得スイッチングによる短パルス発生の学理研究を行ってきた。利得スイッチングは、強いポンピングに伴い、励起キャリア数の急速増大、反転分布の形成、光学利得の比例増大が起こる一方、一旦、光パルスが発生すると、誘導放出によるキャリア消費、それに比例した利得消失が起き、光パルスが立下がる現象である。レート方程式計算でシミュレートすることが出来る。我々は、これまでその基礎研究に取り組み、「パルス立上時間は活性層の飽和利得で、立下時間は、光子寿命(共振器寿命)で制限される」ことを実験・理論で明らかにし、さらに最近、半導体レーザーを限界的に強く励起(限界駆動)すると、半導体中の極端非線形性とバンド内緩和・スペクトル分離が巧く活用でき、原理的限界と思われていた光子寿命の壁を破る数ピコ秒から670フェムト秒の光パルスが得られることを、光励起実験で発見し、理論的にも検証した。

このことから、半導体レーザー活性層は、上述の超高速の光学応答性を潜在的に有していることが明らかになった。しかし、光強度やキャリア密度に対する強い非線形性の制御は未だ難しく、電氣的帯域制限なども要因となり、電流注入型の半導体レーザーでは、超高速性は十分に引き出されてはいない状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、電流注入半導体レーザーにおいて、半導体レーザー活性層内部の高速極端非線形性の学問的理解を探りつつ、ピコ・フェムト秒の限界駆動利得スイッチパルスを直接に制御性良く発生する道を拓くことを目的とした。市販の半導体レーザーに加えて、自作の電流注入半導体レーザーについて、膜構造および共振器構造の新規設計と、DCバイアス・多ステップパルス励起などの電氣的制御を通じて、限界駆動下での高速極端非線形性を積極的に活用する方法を系統的に探ることを目指した。

背景で述べた通り、光励起実験により、半導体レーザーの利得スイッチ動作で限界的に強い駆動(限界駆動)を行うと、共振器寿命限界を破る超短光パルス発生が可能なが見えている。それによって、半導体中の非平衡高密度多体キャリアが有する非摂動領域の極端非線形性と高速性を学問的に理解し、電子工学的に如何に活用・制御するか、という本質的な問いが顕在化した。半導体レーザーの極端非線形性は、基礎物理学の研究者にとっても極めて難敵であり、整備された学理が未だ存在しない。しかし見方を変えれば、独創的・革新的な光技術の潜在資源がそこに存在している。もし、電流注入半導体レーザーから高速パルスを直接発生する方法論が得られれば、制御性の高い小型・堅ろう光源として、広い応用が拓ける。超高速光技術では、エレクトロニクスと同様に、光源・発振器と増幅器の分化(MOPA化)がシステム設計の基本である。シード光源は心臓部・エンジン部分であり、そこを半導体レーザー化できれば、ファイバー・ロッド・ディスクなど光増幅器技術と適宜組み合わせ、堅ろう・高自由度・高制御性の光源システム構築が可能になる。本研究は、半導体電子材料の超高速光学非線形性の理解と制御への挑戦であり、実用的にも学問的にも極めて大きな意義がある。

3. 研究の方法

初年度に自作試料の設計・作製・評価を進めた。エピ成長には、利用実績のあるエピファブを主に用いた。研究室保有のMBE装置も一部併用し、コストと時間を節約した。試料加工には、研究室保有の装置のほか、ヘビーユーザーとして使い慣れている筑波NIMS微細加工プラットフォームのクリーンルーム施設群の半導体加工共用設備を活用した。

作製された半導体レーザーは、まず、複数素子が連結したままのレーザーバーの状態、マイクロ秒パルスでの定常LD特性(電流-電圧特性、電流-光出力特性、発振しきい値、微分効率、内部損失、抵抗など)評価計測で選別した。選別後の良質試料について、LD周波数応答評価と利得スイッチ実験を行った。市販の高速パルス電源、高速アンプ、可変減衰器のほか、自作の駆動電源回路を用いた。高速フォトダイオード(PD)と高速サンプリングオシロスコープからなる測定系で、出力光パルスを計測した。さらに、オートコリレータによる自己相関計測によ

るパルス計測を行った。光強度の不足を補うためには、利得スイッチ光パルスを2-3桁増幅する低自然放光ノイズの希土類添加ファイバ増幅器を用いた。

市販品中で最速の変調帯域を有するDFB-LD素子を探し、利得スイッチ動作の実験を行った。

実験結果の学理を探索するために、様々な理論計算手法を調査し、2012年Chenらの非線形利得レート方程式理論および伝送行列法(TMM法)を用いたDFB-LD素子モデル計算を行った。

4. 研究成果

自作の半導体レーザー構造試料結晶は、不純物や欠陥など外因的效果を抑えた、均一性の高いクリーンで高品質のものをエピ成長し用いた。高品質性は、研究室の独自技術であるPL絶対効率とスペクトルの温度変化計測で評価・フィードバックして達成した。GaAs基板上の1030-1060nm波長帯の高品質InGaAs量子井戸活性層を用い、共振器構造として、単セクションリッジ型導波路レーザー構造を用いた。高速電気パルス電流注入のため、電極は小面積化が望ましいがワイヤボンディングの付着力との兼ね合いでサイズを調整し、電気容量を低減した。

電氣的制御で、高速非線形性を積極的に引き出すために、素子と電気回路あるいはRF伝送路(マイクロストリップ、同軸ケーブル、あるいはRFコネクタ)の特性を考慮して様々な接続と駆動を試した。高出力のサブナノ秒電気パルスを作るため、駆動回路として、高速パルサーとRFアンプを組み合わせたモジュールを作製した。また、LDドライバICを用いた駆動回路を検討し、評価ボードをテストの上で活用した。

レーザーバーから、優良な特性を示した素子を選別して、チップ分割し、TOCANパッケージまたは高速電極パターンつきサブキャリアへ実装(マウントおよびワイヤボンディング)した。実装後素子について、CWおよびマイクロ秒パルス電流注入による定常LD特性評価を行った。パッケージ試料やサブキャリア試料へRFコネクタをつなぎ、ケーブル・バイアスティ、DCバイアス源および高速短パルス駆動電源へと接続した。各部品・素子の電氣的帯域の劣化をチェックするために、ネットワークアナライザを用いた周波数応答評価を行い、利得スイッチ用の高速電気パルス励起が可能であることを確認した。

利得スイッチ光パルス発生実験では、低速のペDESTAL成分を除去するため、角度可変フィルタを用いてスペクトル切出しを行って評価を行った。パルスの詳細なスペクトルダイナミクス測定のために、長さの異なる線形分散補償用のファイバを導入し、サンプリングオシロスコープ測定および自己相関測定を行った。駆動パルス電源をモード同期ファイバレーザーパルスと同期して相互相関計測を行うためのPLLシンセサイザの利用もテストした。パッケージ済み試料と、高速短パルス駆動電源をつなぐ際に、高速電気パルスのバンド幅の劣化や反射などを起こさずにつなぐために、新たな治具を開発した。開発した治具を用いてRFコネクタを経由する方法と経由しない方法の両方について、実験を行った。高速フォトダイオード(PD)と高速サンプリングオシロスコープからなる測定系で、出力光パルスの励起強度依存性を計測した。高速短パルス駆動電源自体のジッターの影響が問題になることが解ったので、それを回避する方策を工夫した。多数の試作素子の測定結果から、それぞれのデバイスパラメータおよび電氣的制御パラメータに対して、パルス幅、立ち上がり、立下り、遅延などのデータを抽出し、それらをデータベース化した。素子にはバラつきも存在したが、8-12ピコ秒の高速短パルス発生を実現するFP型のLD素子を多数得ることが出来た。

また、DCバイアス・多ステップパルス励起などの電氣的制御を加えることで、矩形パルスを発生させつつ、スパイク状の利得スイッチ・緩和振動成分を低減する光出力制御が可能であることも見出された。

市販品中で最速の変調帯域を有するDFB-LD素子を探したところ、変調帯域30GHzの1270nmDFB-LD素子が存在し、入手可能であることが解った。素子を入手して、上記と同様の計測系を用いて、利得スイッチ動作の実験も進めた。約90psの幅の電気パルスを注入し、分散補正用にシングルモードファイバを透過させ、光パルスを発生・評価分析した。スペクトルフィルタリングや非線形パルス圧縮など付加的な手法を用いることなく、最短の5.3psパルス幅のフーリエ限界に近いパルスを得た。

これらの実験結果を、理論計算と比較した。理論計算としては、2012年Chenらの非線形利得レート方程式理論を用いた。DFBレーザーについては、伝送行列法(TMM法)を用いて素子を詳細にモデル化し、その素子モデルに対して、非線形利得レート方程式理論計算を行った。線形チャープと非線形チャープの様子が、理論と実験で定性的によく一致した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計39件（うち査読付論文 38件 / うち国際共著 16件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Zheng Shiqi, Qin Deyang, Wang Rui, Pan Yuxin, Weng Guoen, Hu Xiaobo, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 63
2. 論文標題 Regulating the crystal orientation of vapor-transport-deposited GeSe thin films by a post-annealing treatment	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 2752 ~ 2752
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.521605	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 Cao Fuyi, Jiang Dongxin, Liu Yuejun, Tian Yunpeng, Ran Xu, Long Yisu, Ito Takashi, Hu Xiaobo, Weng Guoen, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 16
2. 論文標題 Subnanosecond Marx Generators for Picosecond Gain-Switched Laser Diodes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPHOT.2023.3342450	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 Cao Fuyi, Su Zhan, Wang Cong, Chen Yuhao, Weng Guoen, Wang Chang, Hu Xiaobo, Akiyama Hidefumi, Chu Junhao, Chen Shaoqiang	4. 巻 124
2. 論文標題 Carrier tunneling and transport in coupled quantum wells: Modeling and experimental verification	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 161106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0202473	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 Fujimoto Tomohiro, Kurihara Takayuki, Murotani Yuta, Tamaya Tomohiro, Kanda Natsuki, Kim Changsu, Yoshinobu Jun, Akiyama Hidefumi, Kato Takeo, Matsunaga Ryusuke	4. 巻 132
2. 論文標題 Observation of Terahertz Spin Hall Conductivity Spectrum in GaAs with Optical Spin Injection	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 16301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.132.016301	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 Shibata Keisei, Oda Kazumasa, Nishizawa Tomohiro, Hazama Yuji, Ono Ryohei, Takaramoto Shunki, Bagherzadeh Reza, Yawo Hiromu, Nureki Osamu, Inoue Keiichi, Akiyama Hidefumi	4. 巻 145
2. 論文標題 Twisting and Protonation of Retinal Chromophore Regulate Channel Gating of Channelrhodopsin C1C2	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10779 ~ 10789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c01879	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 Kobayashi Masataka, Nakamura Takahiro, Nakamae Hidekazu, Kim Changsu, Akiyama Hidefumi	4. 巻 48
2. 論文標題 Gain-switched pulse generation of 5.3 ps from 30 GHz-modulation-bandwidth 1270 nm DFB laser diode	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 6344 ~ 6344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.510237	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 Xu Rongbin, Akiyama Hidefumi, Zhang Baoping	4. 巻 70
2. 論文標題 Impacts of SiO ₂ -Buried Structure on Performances of GaN-Based Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Electron Devices	6. 最初と最後の頁 5701 ~ 5706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TED.2023.3309617	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 Su Zhan, Cao Zhenghao, Cao Fuyi, He Yawen, Zhang Jing, Weng Guoen, Hu Xiaobo, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 472
2. 論文標題 Crystallization mechanism and lasing properties of CsPbBr ₃ perovskites by chemical vapor deposition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 144906 ~ 144906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2023.144906	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 Wang Rui, Qin Deyang, Zheng Shiqi, Weng Guoen, Hu Xiaobo, Tao Jiahua, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 260
2. 論文標題 Influence of S-content ratios on the defect properties of Sb ₂ (S _x , Se _{1-x}) ₃ thin-film solar cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 112501 ~ 112501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2023.112501	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 Qin Deyang, Pan Xingyu, Wang Rui, Pan Yanlin, Wang Youyang, Zhang Jianing, Ding Xiaolei, Chen Yuhao, Zheng Shiqi, Ye Shoujie, Pan Yuxin, Weng Guoen, Hu Xiaobo, Tao Jiahua, Zhu Ziqiang, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 263
2. 論文標題 Temperature sensitivity of adjustable band gaps of Sb ₂ (S, Se) ₃ solar cells via vapor transport deposition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 112582 ~ 112582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2023.112582	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 He Yawen, Su Zhan, Cao Fuyi, Cao Zhenghao, Liu Yuejun, Zhao Chunhu, Weng Guoen, Hu Xiaobo, Tao Jiahua, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 12
2. 論文標題 Lasing properties and carrier dynamics of CsPbBr ₃ perovskite nanocrystal vertical-cavity surface-emitting laser	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 2133 ~ 2143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2023-0081	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 Tamaya Tomohiro, Akiyama Hidefumi, Kato Takeo	4. 巻 107
2. 論文標題 Shear-strain controlled high-harmonic generation in graphene	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L081405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.L081405	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 Sakuma Jun, Kamide Kenji, Mochizuki Toshimitsu, Takato Hidetaka, Akiyama Hidefumi	4. 巻 16
2. 論文標題 Output-power equivalence of two- and four-terminal photovoltaic-thermoelectric hybrid tandems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 014003 ~ 014003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/acb12d	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 Wang Rui, Qin Deyang, Ding Xiaolei, Zhang Qipei, Wang Youyang, Pan Yanlin, Weng Guoen, Hu Xiaobo, Tao Jiahua, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 556
2. 論文標題 Optimisation of Sb2S3 thin-film solar cells via Sb2Se3 post-treatment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 232451 ~ 232451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2022.232451	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 Ono Ryohei, Osawa Keita, Takahashi Yutaka, Noguchi Yoshifumi, Kitada Nobuo, Saito-Moriya Ryohei, Hirano Takashi, Maki Shojiro A., Shibata Keisei, Akiyama Hidefumi, Kanno Ken-ichiro, Itabashi Hideyuki, Hiyama Miyabi	4. 巻 434
2. 論文標題 Quantum yield of near-infrared bioluminescence with firefly luciferin analog: AkaLumine	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 114270 ~ 114270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2022.114270	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 Kumagai Ryo, Ono Ryohei, Sakimoto Shu, Suzuki Chiharu, Kanno Ken-ichiro, Aoyama Hiroshi, Usukura Junko, Kobayashi Masataka, Akiyama Hidefumi, Itabashi Hideyuki, Hiyama Miyabi	4. 巻 434
2. 論文標題 Photo-cleaving and photo-bleaching quantum yields of coumarin-caged luciferin	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 114230 ~ 114230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2022.114230	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 Wang Youyang, Li Liying, Hu Xiaobo, Jia Yun, Weng Guoen, Luo Xianjia, Chen Shaoqiang, Akiyama Hidefumi	4. 巻 54
2. 論文標題 Revealing Sub-Cell Degradation of Multi-Junction Solar Cells by Absolute Electroluminescence Imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 2022 IEEE 49th Photovoltaics Specialists Conference	6. 最初と最後の頁 0468-0471
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/PVSC48317.2022.9938663	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 Tian Jiao, Weng Guoen, Liu Yuejun, Chen Shengjie, Cao Fuyi, Zhao Chunhu, Hu Xiaobo, Luo Xianjia, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi, Chen Shaoqiang	4. 巻 5
2. 論文標題 Gain-switching in CsPbBr ₃ microwire lasers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-022-00938-8	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 Zhu Lin, Huang Shanshan, Akiyama Hidefumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Diagnosis and Breakeven Analysis of GaInNAs Subcell Incorporated in Monolithic Lattice-Matched Five-Junction Solar Cell	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Photovoltaics	6. 最初と最後の頁 1487 ~ 1494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPHOTOV.2022.3195090	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 Zhu Lin, Wang Yongtao, Pan Xu, Akiyama Hidefumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Theoretical modeling and ultra-thin design for multi-junction solar cells with a light-trapping front surface and its application to InGaP/GaAs/InGaAs 3-junction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 35202 ~ 35202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.466168	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 Jia Yun, Ding Xiaolei, Wang Rui, Wang Youyang, Zheng Shiqi, Hu Xiaobo, Weng Guoen, Chen Shaoqiang, Sakurai Takeaki, Akiyama Hidefumi	4. 巻 244
2. 論文標題 A new lock-in amplifier-based deep-level transient spectroscopy test and measurement system for solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Solar Energy	6. 最初と最後の頁 507 ~ 515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solener.2022.08.062	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 Wang Youyang, Li Liying, Jia Yun, Hu Xiaobo, Weng Guoen, Luo Xianjia, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Defect induced current coupling in multi junction solar cells revealed by absolute electroluminescence imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Photovoltaics: Research and Applications	6. 最初と最後の頁 1410 ~ 1422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pip.3601	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 Nakamura Tetsuya, Imaizumi Mitsuru, Sato Shin-ichiro, Ohshima Takeshi, Akiyama Hidefumi, Okada Yoshitaka	4. 巻 132
2. 論文標題 Differences in radiation damage to carrier lifetimes in the neutral and depletion regions of InGaP and GaAs solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 115701 ~ 115701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0099106	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 Kumagai Ryo, Ono Ryohei, Akiyama Hidefumi, Itabashi Hideyuki, Hiyama Miyabi	4. 巻 792
2. 論文標題 Photo-bleaching of firefly luciferin with UV irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 139414 ~ 139414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2022.139414	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 Kumagai Ryo, Ono Ryohei, Akiyama Hidefumi, Itabashi Hideyuki, Hiyama Miyabi	4. 巻 792
2. 論文標題 Photo-bleaching of firefly luciferin with UV irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 139414 ~ 139414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2022.139414	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 Liu Yuejun, Weng Guoen, Cao Fuyi, Wang Youyang, Wan Wenjian, Wang Chang, Nakamae Hidekazu, Kim Changsu, Hu Xiaobo, Luo Xianjia, Luo Shuai, Chen Shaoqiang, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Carrier dynamics of AlGaAs/AlAs asymmetric double quantum wells with different barrier thickness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 1291 ~ 1291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.447078	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 Xia Peiyu, Tamaya Tomohiro, Kim Changsu, Lu Faming, Kanai Teruto, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Akiyama Hidefumi, Kato Takeo	4. 巻 104
2. 論文標題 High-harmonic generation in GaAs beyond the perturbative regime	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121202(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L121202	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 Katsumi Ryota, Ota Yasutomo, Tajiri Takeyoshi, Kakuda Masahiro, Iwamoto Satoshi, Akiyama Hidefumi, Arakawa Yasuhiko	4. 巻 29
2. 論文標題 Unidirectional output from a quantum-dot single-photon source hybrid integrated on silicon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 37117 ~ 37117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.440218	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 Hu Xiaobo, Tao Jiahua, Wang Rui, Wang Youyang, Pan Yanlin, Weng Guoen, Luo Xianjia, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi	4. 巻 493
2. 論文標題 Fabricating over 7%-efficient Sb ₂ (S,Se) ₃ thin-film solar cells by vapor transport deposition using Sb ₂ Se ₃ and Sb ₂ S ₃ mixed powders as the evaporation source	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 229737 ~ 229737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2021.229737	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 Weng Guoen, Yan Jiyu, Chen Shengjie, Zhao Chunhu, Zhang Hanbing, Tian Jiao, Liu Yuejun, Hu Xiaobo, Tao Jiahua, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Akiyama Hidefumi, Chu Junhao	4. 巻 9
2. 論文標題 Superior single-mode lasing in a self-assembly CsPbX ₃ microcavity over an ultrawide pumping wavelength range	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photonics Research	6. 最初と最後の頁 54 ~ 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/PRJ.409884	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 Nakamura Tetsuya, Yanwachirakul Warakorn, Imaizumi Mitsuru, Sugiyama Masakazu, Akiyama Hidefumi, Okada Yoshitaka	4. 巻 130
2. 論文標題 Reducing Shockley-Read-Hall recombination losses in the depletion region of a solar cell by using a wide-gap emitter layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 153102 ~ 153102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0060158	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 H. Ogawa, R. Ono, Y. Noguchi, N. Kitada, R. Saito, Moriya, S. A. Maki, H. Akiyama, H. Itabashi and M. Hiyama	4. 巻 97
2. 論文標題 Absorption Spectra for Firefly Bioluminescence Substrate Analog: TokeOni in Various pH Solutions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photochem Photobiol	6. 最初と最後の頁 1016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/php.v97.5	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 Zhao Chunhu, Tao Jiahua, Tian Jiao, Weng Guoen, Liu Huimin, Liu Yuejun, Yan Jiyu, Chen Shengjie, Pan Yanlin, Hu Xiaobo, Chen Shaoqiang, Akiyama Hidefumi, Chu Junhao	4. 巻 420
2. 論文標題 High performance single-mode vertical cavity surface emitting lasers based on CsPbBr ₃ nanocrystals with simplified processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 127660 ~ 127660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2020.127660	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 Weng Guoen, Tian Jiao, Chen Shengjie, Yan Jiyu, Zhang Hanbing, Liu Yuejun, Zhao Chunhu, Hu Xiaobo, Luo Xianjia, Tao Jiahua, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi	4. 巻 8
2. 論文標題 Electron Hole Plasma Lasing Dynamics in CsPbCl _m Br _{3-m} Microplate Lasers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 787 ~ 797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.0c01512	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 Wang Youyang, Li Liying, Sun Yifan, Xu Jinjia, Jia Yun, Hong Jianyu, Hu Xiaobo, Weng Guoen, Luo Xianjia, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi	4. 巻 229
2. 論文標題 Adaptive automatic solar cell defect detection and classification based on absolute electroluminescence imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 120606 ~ 120606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2021.120606	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 Jia Yun, Wang Youyang, Hu Xiaobo, Xu Jinjia, Weng Guoen, Luo Xianjia, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Akiyama Hidefumi	4. 巻 225
2. 論文標題 Diagnosing breakdown mechanisms in monocrystalline silicon solar cells via electroluminescence imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solar Energy	6. 最初と最後の頁 463 ~ 470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solener.2021.07.052	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 Wang Rui, Wang Youyang, Pan Yanlin, Qin Deyang, Weng Guoen, Hu Xiaobo, Tao Jiahua, Luo Xianjia, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Chu Junhao, Akiyama Hidefumi	4. 巻 220
2. 論文標題 Improving the performance of Sb2S3 thin-film solar cells by optimization of VTD source-substrate proximity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solar Energy	6. 最初と最後の頁 942 ~ 948
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solener.2021.03.052	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 Jia Yun, Wang Youyang, Hu Xiaobo, Weng Guoen, Tian Jiao, Luo Xianjia, Chen Shaoqiang, Zhu Ziqiang, Akiyama Hidefumi	4. 巻 230
2. 論文標題 Electroluminescence imaging of laser induced defect formation in Cu(In, Ga)Se2 solar cell	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 111160 ~ 111160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2021.111160	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 中村 考宏, 中前 秀一, 金昌 秀, ソダーバンル ハッサネット, 杉山 正和, 秋山 英文	4. 巻 28
2. 論文標題 レーザー加工用LDシード光源の開発 ピコ秒利得スイッチ半導体レーザー	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 レーザ加工学会誌	6. 最初と最後の頁 30-35
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29件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 秋山英文
2. 発表標題 超高速半導体レーザー利得スイッチの基礎と応用
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林真隆, 中村考宏, 曹伏毅, 中前秀一, 金昌秀, 陳少強, 秋山英文
2. 発表標題 変調帯域30GHzDFB 半導体レーザーによる5.3ps 利得スイッチパルス発生
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田桂成, 小田和正, 西澤知宏, 挾間優治, 小野稜平, 寶本俊輝, Reza Bagherzadeh, 八尾寛, 濡木理, 井上圭一, 秋山英文
2. 発表標題 レチナール発色団のねじれとプロトン化によるチャンネルロドプシンC1C2のチャンネル開閉メカニズム
3. 学会等名 沖縄県青年会館
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田桂成, 小田和正, 西澤知宏, 挾間優治, 小野稜平, 寶本俊輝, Reza Bagherzadeh, 八尾寛, 濡木理, 井上圭一
2. 発表標題 チャンネルロドプシンC1C2におけるレチナール発色団のねじれとプロトン化によるチャンネル開閉メカニズム
3. 学会等名 第78回日本物理学会年次大
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田桂成, 小田和正, 西澤知宏, 挾間優治, 小野稜平, 寶本俊輝, Reza Bagherzadeh, 八尾寛, 濡木理, 井上圭一, 秋山英文
2. 発表標題 レチナール発色団のねじれとプロトン化によるチャンネルロドプシンC1C2のチャンネル開閉制御
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田桂成, 川崎佑真, 寶本俊輝, 渡部誠也, 福田昌弘, 小野稜平, 加藤英明, 秋山英文, 井上圭一
2. 発表標題 光開閉型陰イオンチャンネルロドプシンGtACR1の光反応中におけるレチナル発色団の構造変化に関する研究
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田桂成, 小田和正, 西澤知宏, 挾間優治, 小野稜平, 寶本俊輝, Reza Bagherzadeh, 八尾寛, 濡木理, 井上圭一, 秋山英文
2. 発表標題 レチナル発色団のねじれとプロトン化によるチャンネルロドプシンC1C2のチャンネル開閉メカニズム
3. 学会等名 第23回日本光生物学協会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Kamide, Jun Sakuma, Toshimitsu Mochizuki, Hidetaka Takato, Hidefumi Akiyama
2. 発表標題 Universal lossless coupling formula for 2-terminal PVTE hybrids: Theory and experiments
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Sakuma, Kenji Kamide, Toshimitsu Mochizuki, Hidetaka Takato, Hidefumi Akiyama
2. 発表標題 Lossless hybridization in series-connected PVTE hybrid tandems for output-power optimization
3. 学会等名 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Youyang Wang, Liying Li, Xiaobo Hu, Yun Jia, Guoen Weng, Xianjia Luo, Shaoqiang Chen, Hidefumi Akiyama
2. 発表標題 Revealing Sub-Cell Degradation of Multi-Junction Solar Cells by Absolute
3. 学会等名 Electroluminescence Imaging 2022 IEEE 49th Photovoltaics Specialists Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hidefumi Akiyama
2. 発表標題 Absolute EL measurement and Internal-radiative-efficiency analysis for re-designing CPV cells
3. 学会等名 18th International Conference on Concentrator Photovoltaic Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤本知宏, 栗原貴之, 室谷悠太, 神田夏輝, 玉谷知裕, 金昌秀, 秋山英文, 加藤岳生, 松永隆佑
2. 発表標題 GaAsにおける光誘起異常ホール伝導ダイナミクス(I): 逆スピンホール効果のテラヘルツ周波数特性と微視的起源
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 藤本知宏, 栗原貴之, 室谷悠太, 神田夏輝, 玉谷知裕, 金昌秀, 秋山英文, 加藤岳生, 松永隆佑
2. 発表標題 GaAsにおける光誘起異常ホール伝導ダイナミクス(II): 光照射中の振動構造の起源
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 玉谷知裕, 秋山英文, 加藤岳生
2. 発表標題 せん断応力を用いたグラフェンの高次高調波スイッチング
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 矢野 裕子, 高宮 健吾, 藤川 沙千恵, 八木 修平, 矢口 裕之, 小林 真隆, 秋山 英文
2. 発表標題 窒素 ドープGaAs 中の等電子トラップに局在した励起子分子の束縛エネルギーに関する研究
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 上出健仁、佐久間惇、望月敏光、高遠秀尚、秋山英文
2. 発表標題 直列2端子PVTEハイブリッドの普遍的ロスレス結合公式
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 佐久間惇、上出健仁、望月敏光、高遠秀尚、秋山英文
2. 発表標題 二端子直列太陽電池-熱電素子タンデムの出力最大化設計手法
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 小林真隆、中村考宏、中前秀一、松井康浩、秋山英文
2. 発表標題 利得スイッチ1270 nm DFB 半導体レーザーによる5.3ps パルス発生
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 中村徹哉、今泉充、浅見明太、ヤンワチラークン ワラーコン、杉山正和、秋山英文、岡田至崇、佐藤真一郎、大島武
2. 発表標題 ヘテロpn接合による太陽電池効率と耐放射線性の向上
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤本知宏、栗原貴之、室谷悠太、神田夏輝、金昌秀、秋山英文、松永隆佑
2. 発表標題 バルクGaAsのスピンの選択光励起によるテラヘルツ異常ホール伝導ダイナミクスの観測
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山 英文
2. 発表標題 量子細線および利得スイッチレーザーの性能を支配する半導体非線形性
3. 学会等名 応用物理学会中国四国支部主催・若手半導体研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山英文
2. 発表標題 太陽電池の限界効率理論と超高効率化への基礎課題
3. 学会等名 学振125/R031委員会合同研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山英文
2. 発表標題 新たな太陽電池の絶対EL評価の基礎と応用
3. 学会等名 第19回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム（第2回日本太陽光発電学会学術講演会）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上圭一、柴田桂成、小田和正、西澤知宏、挾間優治、小野稜平、濡木理、秋山英文
2. 発表標題 カチオンチャンネルロドプシンC1C2のチャンネル開閉におけるレチナールの構造変化とプロトン移動の役割
3. 学会等名 第22回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryo Kumagai, Ryohei Ono, Hidefumi Akiyama, Hideyuki Itabashi, Miyabi Hiyama
2. 発表標題 hoto-bleaching of firefly luciferin
3. 学会等名 第37回化学反応討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上圭一、柴田桂成、小田和正、西澤知宏、挟間優治、小野稜平、濡木理、秋山英文
2. 発表標題 チャンネルロドプシンC1C2のチャンネル開閉のダイナミクスの研究
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田桂成、渡部誠也、福田昌弘、川崎佑真、小野稜平、加藤英明、井上圭一、秋山英文
2. 発表標題 陰イオンチャンネルロドプシンGtACR1におけるレチナール発色団の構造変化とフォトサイクル
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田桂成、小田和正、西澤知宏、挟間優治、小野稜平、濡木理、井上圭一、秋山英文
2. 発表標題 チャンネルロドプシンC1C2の光中間状態におけるレチナール発色団の構造ダイナミクス
3. 学会等名 第59回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田桂成、小田和正、西澤知宏、挟間優治、小野稜平、濡木理、井上圭一、秋山英文
2. 発表標題 チャンネルロドプシンC1C2の光中間状態におけるレチナール発色団の構造変化
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------