

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04296

研究課題名(和文)メタマテリアルTHz QCLsの高出力化と制御化に関する研究

研究課題名(英文)Research on high output and control of metamaterial THz QCLs

研究代表者

林 宗澤(Lin, Tsung-Tse)

国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・研究員

研究者番号：40585155

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高出力向けの発光層設計最適化に着目する、非平衡グリーン関数(NEGF)法に基づいた第一原理計算によって、THz QCL発光層のサブバンド準位設計から新規リーク電流の起源を明らかにし、そのリーク電流の低減方法を考案する。高温動作でも高い光利得を得る可変Al組成の障壁井戸発光層構造を始めて提案します。上位発振準位から高エネルギー準位経由の横方向リーク電流の減少と上位発振準位への注入電流の増大により、高い光利得の発光層を実現します。メタマテリアル構造の面発光THz QCLsの導波路を解析します。4.1THzのピーク出力1.3W、平均出力55mWの高出力THz QCLを実現しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

テラヘルツ量子カスケードレーザー(THz QCL)は狭線幅のサブバンド間遷移発光を利用した単極性の電流注入型半導体デバイスであり、発光層超格子の膜厚と材料の組成を制御することによってサブバンド間遷移エネルギー(発振周波数)を自由に設計することが出来るため、連続動作可能な小型半導体テラヘルツ光源として、分光、リアルタイムイメージング、ローカル超高速大容量無線通信など幅広い産業への応用が期待されている。本研究は高温動作および高出力動作に大きく影響する新規のリーク電流を解析しました。達成したワット級高出力THz QCLは実際のTHz応用について、手軽に使用できる光源になりました。

研究成果の概要(英文)：In this study, the origin of the new leak current in THz QCL is clarified via the operated energy levels and high energy subband levels. It is analyzed by the first-principles calculation based on the non-equilibrium green's function (NEGF) method. We focus on the optimization of the active structure and reducing the leak current via high energy levels with large injection current. It is the first proposal to develop a variable Al composition barrier-well active structure THz QCL in order to obtain high operation temperatures and large optical gain. The metal surface pattern is also analyzed by FDTD and 3D-CWT method for the surface emission THz QCL. We have achieved a 1.3 W peak output and an average output of 55 mW QCL at 4.1 THz.

研究分野：応用物理

キーワード：QCL THz

## 1. 研究開始当初の背景

テラヘルツ量子カスケードレーザー (THz QCLs) はワット級の高出力、連続動作、狭線幅などの特徴を有する小型の半導体テラヘルツ光源として、分光、リアルタイムイメージング、ローカル超高速大容量無線通信など幅広い産業への応用が期待されている。しかし現段階その最高動作温度は 250 K (@4 THz) と低く室温での動作にはまだ至っていない、この動作温度の時の出力は低温 (~10K) の時に比べて二、三桁を低下する。そして応用にとって重要な出力特性のアクティブ制御はまだ不完全な状態、今実際 THz 応用にはまだ使い難いと言われる。本研究では、現段階の THz QCLs ベースにして、現実的液体窒素 (LN<sub>2</sub>) 動作温度の高出力化の物性研究とデバイスのシステム化を実作する。そして今までの金属-金属導波路プロセスを利用して、応用向けの出力特性をアクティブ制御する為、メタマテリアル THz QCLs を提案する。これまで困難であった能動制御連続動作高出力ポータブル小型 THz 光源ユニットの実現すること目的とする。

現在 QCLs を使う THz 応用の研究が盛んに行われているが、QCLs の動作性能を最適化して、より実用の THz 応用に向かう研究は考えられていないのが現状である。ここで QCLs のノウハウを活かして、THz 波の能動制御をデバイスプロセスと一体化する。本研究を提案した「メタマテリアル THz QCLs の高出力化と制御化に関する研究」は、現段階(まだ室温 動作至らないでの THz QCLs 素子を実用的な動作温度帯に、NEGF による活性層設計とメタマテリアル構造の光出力制御から両方面アプローチ、LN<sub>2</sub> 動作温度帯の光利得を最大化する。一体化するメタマテリアルと周期性金属パターンを利用する導波路と外部共振器を製作し、連続動作高出力能動制御のポータブル小型 THz 光源ユニットを実現させることが期待できる。

## 2. 研究の目的

今までの出力と応用面はまだ実用レベルとは言い難い。THz 発光素子と THz 波応用両方の 研究に橋を繋がる、上記問題点とこれまでの研究成果を踏まえ、以下の事項を行うことで、1. 非平衡グリーン関数法を利用して、高出力向けの発光層とデバイス構造の設計と作製。2. デバイス構造、小型外部共振器、導波路の設計とその一体化。出力特性制御の為、金属-金属構造に周期性のアレイ化して、二次 DFB 導波路とメタ表面構造の導入。

## 3. 出力振幅と周波数の能動制御の為、メタマテリアル THz QCLs の設計と作製。

本研究は THz 発光素子の設計から実作と THz 波応用の為の制御に一体化することを提案します。期間内に LN<sub>2</sub> 動作温度帯(70 ~ 100 K 前後)の連続動作高出力 THz QCLs、平均出力 mW 級(ピック出力 W 級)、シングルモード、振幅と周波数直接制御できる QCLs 素子を実現する。

## 3. 研究の方法

### 非平衡グリーン関数法 (NEGF) による高出力活性層の設計

今まで半古典の計算、低温(4 K)以上温度変化の時の解析は不得意である。低温からの解析 と設計の結果による、高い動作温度の実験結果はうまく一致しないことがある。ここで非平衡グリーン関数法に基づいた第一原理計算によって、直接に構造の光利得は計算できる、液体窒素温度から室温動作の温度依存光利得の変化はもっと直接にシミュレーションできる。今 QCLs の非平衡グリーン関数法プログラムは完成し、計算の結果と前的高温実験データの検証も問題なく一致する。

振幅と周波数能動制御のメタマテリアル THz QCLs の設計と作製実際の応用に向けて、単純な出力

だけではなく、レーザーの遠視野像(far field pattern)と出力特性の制御は応用にとって重要なパラメータ。金属-金属導波路(MMW)は高い光閉じ込めと光利得を得るですが、デバイスのサイズと THz の波長の差が大きすぎのため、綺麗な遠視野像はなかなか達成し難い。一つの解決法は表面の金属パタンとメタマテリアル構造を利用し、アレイ化の同時に周期性パタンを製作、二次分布フィードバック(2nd order distributed feedback; 2nd DFB)、アンテナとメタ表面外部共振器(metasurface external cavity)を設計し周波数変調と強度の増幅、及びより良い遠視野像の THz QCLs を実現する。このような集積デバイスは中赤外波長において、能動デバイスと導波構造の統合方法は実現している。しかし、THz 周波数領域では、THz 波を効率的に結合および誘導することが困難であるため、限られた劈開面およびこれらの構造を作製することは困難である、ここで THz QCLs をメタ表面(metasurface)により平面集積導波路構造が必要とされている。設計したメタマテリアル構造は ICP ドライエッチングプロセスを利用し、MMW THz QCLs 精密な金属パタンを同時に出来る。全部半導体ベースの大面積高出力 THz QCLs アレイの実現も可能である。こういう高い光閉じ込めと光利得の MMW のパタンを周期的なアレイを利用して、大面積化と振幅や周波数能動制御の THz QCLs デバイスユニットを実現する。

#### 4. 研究成果

##### 研究成果まとめ

非平衡グリーン関数法に基づいた第一原理計算によって、テラヘルツ量子カスケードレーザーの発光層構造における電子密度分布・電流分布・光利得を直接計算する方法を開発しました。テラヘルツ量子カスケードレーザーの新しいリーク電流の解析および可変障壁井戸構造の量子カスケードレーザーの新規提案、各サブバンド準位間の相互作用とその影響を総合的に解析します。上位発光準位から発光過程に直接寄与しない遠距離の高エネルギーサブバンド準位への横方向リーク電流の存在を確認し、高出力動作および高温動作に対するこのリーク電流の影響を解析しました。同時に大電流注入が必要なバンドベンディング強く影響する高いドーピング濃度条件の条件で、設計準位の再アラインメントの構造最適化方法を提案し、素子の高出力化を成功しました。この新規構造を導入した THz QCLs を実際に作製し、デューティ比 1%の時、4.2 THz のピーク出力 1.31 W、デューティ比 5%の時平均出力 55m W に実現しました。この高出力発光層に利用して、メタマテリアル構造の面発光 THz QCLs の導波路金属表面パタンと金属 - 半導体フォトニック結晶構造に FDTD 法と 3D-CWT 法を利用して、解析とシミュレーションします。金属メタマテリアル-半導体フォトニック結晶構造を実作する、大面積メサの面発光型 THz QCLs の初期発振も成功しました。液体窒素冷却デューワーとスクリュー冷凍機を利用する小型サブワット級 THz 光源ユニット開発し、半導体ベース THz 応用の光源を提供します。

## 原著論文、査読あり

- (1) Tsung-Tse Lin, Li Wang, Ke Wang, and Hideki Hirayama, "Development of High Power Terahertz Quantum Cascade Lasers by Reducing Leakage Current using Non-Equilibrium Green's Function Method", *The Review of Laser Engineering* **48** (2020) 250-254.
- (2) Li Wang, Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Thomas Grange, Stefan Birner, and Hideki Hirayama, "Short-period scattering-assisted terahertz quantum cascade lasers operating at high temperatures", *Scientific reports* **9** (2019) 9446.
- (3) Li Wang, Tsung-Tse Lin, Ke Wang, and Hideki Hirayama, "Parasitic transport paths in two-well scattering-assisted terahertz quantum cascade lasers", *Applied Physics Express* **12** (2019) 082003.
- (4) Tsung-Tse Lin, Li Wang, Ke Wang, Thomas Grange, and Hideki Hirayama, "Optimization of terahertz quantum cascade lasers by suppressing carrier leakage channel via high-energy state", *Applied Physics Express*. **11** (2018) 112702.
- (5) Ke Wang, Thomas Grange, Tsung-Tse Lin, Li Wang, Zoltan Jehn, Stefan Birner, Joosun Yun, Wataru Terashima, Hideki Hirayama, "Broadening mechanisms and self-consistent gain calculations for GaN quantum cascade laser structures", *Applied Physics Letter*. **113** (2018) 061109.
- (6) Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama, "Variable barrier height AlGaAs/GaAs quantum cascade laser operating at 3.7 THz", *Phys. Status Solidi A*, **215** (2018) 1700424. (10.1002/pssa.201700424)
- (7) Ke Wang, Tsung-Tse Lin, Li Wang, Wataru Terashima, Hideki Hirayama, "Controlling loss of waveguides for potential GaN terahertz quantum cascade lasers by tuning the plasma frequency of doped layers", *Japanese Journal of Applied Physics*, **57** (2018) 081001.
- (8) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama, "High output power THz Quantum Cascade Lasers and their temperature dependent performance", *Journal of Infrared and Millimeter Waves*. **5** (2018) 513.

## 国際会議招待講演

- (9) Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama, "Optimization of terahertz quantum cascade lasers by suppressing a carrier leakage channel via a high energy state", 1st International Conference on Photonics Research (ICPR2018), Antalya, Turkey, October 8-12, 2018.
- (10) Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama, "THz-QCLs toward high output power near liquid nitrogen temperature operation", 14th International Conference on Modern Materials and Technologies (CIMTEC2018), Perugia, Italy, June 10-14, 2018.
- (11) Tsung-Tse Lin, "Recent progress of high power THz quantum cascade lasers", Nanotech Malaysia 2018, Kuala Lumpur, Malaysia, May 7-9, 2018.

## 国内会議招待講演

- (12) 林 宗澤 "高出力テラヘルツ QCL の進展" テラヘルツ波科学技術と産業開拓第 182 委員会 第 45 回研究会、オンライン開催、2021 年 4 月 8 日。
- (13) Tsung-Tse Lin, Wang Ke, Wang Li, and Hideki Hirayama "Recent progress of high-power THz QCLs", 理研シンポジウム第 6 回「光量子工学研究」和光、2018 年 11 月 19-20 日。

## 特許

(14) 特許 2018-037012 “量子カスケードレーザー素子” 王利, 林宗澤, 平山秀樹 (2018)

## プレス発表

(15) “高温動作可能な高出力テラヘルツ量子カスケードレーザー” 林宗澤, 王科, 王利, 平山秀樹  
(2019 年 2 月 15 日)

## 国際会議発表

(16) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang, and Hideki Hirayama, “Optimization of THz QCLs by Suppressing a Leakage Current via High Energy States” The 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2019), Paris, France, September 1-6, 2019.

## 国内会議発表

- (17) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang, and Hideki Hirayama, “Progress on high output power THz QCLs developed by reducing horizontal parasitic current leakage” 電子デバイス研究会(ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム)、東北大学電通研 片平北キャンパス ナノ・スピン総合研究棟 2019 年 12 月 23-24 日.
- (18) Tsung-Tse Lin, Wang Ke, Wang Li, and Hideki Hirayama “0.45 Watt power GaAs-based THz QCL developed by reducing horizontal current leakage utilizing variable Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As barriers-wells height structure”、理研シンポジウム第 7 回「光量子工学研究」和光、2019 年 12 月 9-10 日.
- (19) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, and Hideki Hirayama “0.44 Watt power GaAs/AlGaAs THz QCL developed by reducing horizontal current leakage” 第 80 回秋季応用物理学会学術講演会、北海道大学 2019 年 9 月 17-21 日.
- (20) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama “Development of high power THz QCLs by suppressing residual leakage current” NICT-理研合同テラヘルツ研究交流会 2018 年 12 月 11-13 日.
- (21) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama “上位準位へのリーク電流低減による THz-QCLs の高出力化” 第 79 回秋季応用物理学会学術講演会、名古屋国際会議場 2018 年 9 月 18-21 日.
- (22) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama “高出力化テラヘルツ量子カスケードレーザーの進展”, レーザ・量子エレクトロニクス合同研究会 2018 年 8 月 23-24 日.
- (23) Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama “Increasing the output power of THz QCLs by reducing the carrier leakage pass from the lasing levels” NICT-理研合同テラヘルツ研究交流会 2018 年 2 月 9-10 日.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tsung-Tse Lin, Li Wang, Ke Wang, and Hideki Hirayama	4. 巻 48
2. 論文標題 Development of High Power Terahertz Quantum Cascade Lasers by Reducing Leakage Current using Non-Equilibrium Green's Function Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Review of Laser Engineering	6. 最初と最後の頁 -
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 -
1. 著者名 Li Wang, Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Thomas Grange, Stefan Birner, and Hideki Hirayama	4. 巻 9
2. 論文標題 Short-period scattering-assisted terahertz quantum cascade lasers operating at high temperatures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 9446-9446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-45957-8	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 Li Wang, Tsung-Tse Lin, Ke Wang, and Hideki Hirayama	4. 巻 12
2. 論文標題 Parasitic transport paths in two-well scattering-assisted terahertz quantum cascade lasers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 082003-082003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab2b56	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 Lin Tsung-Tse, Wang Li, Wang Ke, Grange Thomas, Hirayama Hideki	4. 巻 11
2. 論文標題 Optimization of terahertz quantum cascade lasers by suppressing carrier leakage channel via high-energy state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 112702-112702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.112702	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 Ke, Grange Thomas, Lin Tsung-Tse, Wang Li, Zoltan Jehn, Birner Stefan, Yun Joosun, Terashima Wataru, Hirayama Hideki	4. 巻 113
2. 論文標題 Broadening mechanisms and self-consistent gain calculations for GaN quantum cascade laser structures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 061109-061109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5029520	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 Ke, Lin Tsung-Tse, Wang Li, Terashima Wataru, Hirayama Hideki	4. 巻 57
2. 論文標題 Controlling loss of waveguides for potential GaN terahertz quantum cascade lasers by tuning the plasma frequency of doped layers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 081001-081001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.081001	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 Lin Tsung-Tse, Wang Ke, Wang Li and Hirayama Hideki	4. 巻 37
2. 論文標題 High output power THz quantum cascade lasers and their temperature dependent performance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Infrared and Millimeter Waves	6. 最初と最後の頁 513-517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11972/j.issn.1001-9014.2018.05.001	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 Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama	4. 巻 215
2. 論文標題 Variable barrier height AlGaAs/GaAs quantum cascade laser operating at 3.7 THz	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi A	6. 最初と最後の頁 1700424-1700424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201700424	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14件(うち招待講演 5件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang, and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Optimization of THz QCLs by Suppressing a Leakage Current via High Energy States
3. 学会等名 The 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang, and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Progress on high output power THz QCLs developed by reducing horizontal parasitic current leakage
3. 学会等名 電子デバイス研究会(ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Wang Ke, Wang Li, and Hideki Hirayama
2. 発表標題 0.45 Watt power GaAs-based THz QCL developed by reducing horizontal current leakage utilizing variable Al <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> As barriers-wells height structure
3. 学会等名 理研シンポジウム第7回「光量子工学研究」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, and Hideki Hirayama
2. 発表標題 0.44 Watt power GaAs/AlGaAs THz QCL developed by reducing horizontal current leakage
3. 学会等名 第80回秋季応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Optimization of terahertz quantum cascade lasers by suppressing a carrier leakage channel via a high energy state
3. 学会等名 1st International Conference on Photonics Research (ICPR2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama
2. 発表標題 THz-QCLs toward high output power near liquid nitrogen temperature operation
3. 学会等名 14th International Conference on Modern Materials and Technologies (CIMTEC2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin
2. 発表標題 Recent progress of high power THz quantum cascade lasers
3. 学会等名 Nanotech Malaysia 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林 宗澤
2. 発表標題 高出力テラヘルツQCLの進展
3. 学会等名 テラヘルツ波科学技術と産業開拓第182委員会 第45回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang, and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Progress on high output power THz QCLs developed by reducing horizontal parasitic current leakage
3. 学会等名 電子デバイス研究会(ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Wang Ke, Wang Li, and Hideki Hirayama
2. 発表標題 0.45 Watt power GaAs-based THz QCL developed by reducing horizontal current leakage utilizing variable Al <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> As barriers-wells height structure
3. 学会等名 理研シンポジウム第7回「光量子工学研究」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Development of high power THz QCLs by suppressing residual leakage current
3. 学会等名 NICT-理研合同テラヘルツ研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama
2. 発表標題 上位準位へのリーク電流低減によるTHz-QCLsの高出力化
3. 学会等名 第79回秋季応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama
2. 発表標題 高出力化テラヘルツ量子カスケードレーザーの進展
3. 学会等名 レーザ・量子エレクトロニクス合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Ke Wang, Li Wang and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Increasing the output power of THz QCLs by reducing the carrier leakage pass from the lasing levels
3. 学会等名 NICT-理研合同テラヘルツ 研究交流会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 量子カスケードレーザー素子	発明者 王利, 林宗澤, 平山 秀樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-037012	取得年 2018年	国内・外国の別 国内

〔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
---------	---------