

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05733

研究課題名(和文)窒化物半導体を用いた未開拓波長量子カスケードレーザの研究

研究課題名(英文) Research on unexplored frequency quantum-cascade lasers using nitride semiconductors

研究代表者

平山 秀樹 (Hirayama, Hideki)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員

研究者番号：70270593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 154,500,000円

研究成果の概要(和文)：窒化物半導体を用いて量子カスケードレーザ(Quantum Cascade Laser: QCL)を作製することにより、QCLの未踏周波数領域である5～12 THz帯のTHz-QCL、及び、波長3 $\mu$ m以下の赤外QCLを実現することを目的として研究を行った。GaN系THz-QCLからの誘導放出発光を観測し、その動作温度の向上を確認した。GaN系THz-QCLの光利得を第一原理計算により求め、室温における光利得が得られることを明らかにした。Si基板リフトオフプロセスを用いた両面金属導波路型GaN系QCLの作製を行い、電流注入を行った結果、解析で予測された電流-電圧特性を観測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、新規波長光デバイスの実現とそれらを実現する動作機構の物理的な理解に於いて学術的な意義が大きい。テラヘルツ光は、各種透視・非破壊検査用の光源として注目され、その応用範囲は、各種セキュリティ検査、火傷診断や癌細胞選別などの医療、電子産業、農業、各種工業、食品検査などと幅広い。また、近赤外-中赤外光は、光通信や環境計測を中心に応用範囲が広い。小型、連続動作、高出力が可能なTHz帯QCL、赤外QCLの未踏波長領域が実現すれば、応用分野の可能性は大きく広がり、我が国の経済発展への寄与が大きい。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to realize an unexplored frequency quantum-cascade lasers (QCLs) with frequency of 5 to 12 terahertz (THz) and with wavelength shorter than 3  $\mu$ m by fabricating a QCL using a nitride semiconductor. We observed stimulated emission from GaN-based THz-QCL and confirmed the improvement of its operating temperature. The optical gain of GaN-based THz-QCL was analyzed based on the first-principles calculation. It was clarified that the optical gain sufficient for lasing is obtained at room temperature. We fabricated a GaN/AlGa N QCL on a Si substrate and lifted off the Si substrate to fabricate a double metal waveguide (DMW) type QCL. Current injection was performed and we observed the current-voltage characteristics that was analytically predicted.

研究分野：総合理工

キーワード：量子カスケードレーザ 窒化物半導体 未開拓波長 サブバンド間遷移 テラヘルツ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電波の透過性と光の分解能を兼ね備え持つテラヘルツ光は、各種透視・非破壊検査用の光源として注目されている。その応用範囲は、セキュリティ検査、火傷診断や癌細胞選別などの医療、電子産業、農業、食品検査などと幅広い。また、近赤外-中赤外光は、光通信や環境計測を中心に応用範囲が広い。量子カスケードレーザ(QCL)は、中赤外からテラヘルツ周波数でレーザ発振が可能であり、超小型、高効率・高出力、狭線幅、長寿命、連続発振、安価、高耐久性などの性質を持つ優れた光源であり、社会的ニーズは大きくそれらの開発は経済的な観点から重要性が高い。従来のGaAs系およびInP系半導体を用いたQCLでは、1.2~5 THz帯および3~20 μm帯の中赤外で動作が可能である。一方、GaAs系のLOフォノン散乱エネルギーに近い5~12 THzのレーザ発振は難しく、また伝導体バンド不連続の限界から3 μmより短波のQCLの実現も難しかった。窒化物半導体を用いれば、未踏周波数を含む3~20 THzのテラヘルツ帯ならびに、中赤外の1~8 μm帯のQCLの実現が期待される。未開拓周波数のQCLが実現すれば、上記の応用分野が飛躍的に拡大することが期待され、我が国の経済発展への寄与が大きい。

2. 研究の目的

従来半導体を用いた量子カスケードレーザ(QCL)は、5~12 THz及び3 μm以下の波長の動作は不可能であり、動作範囲も大幅に制限されている。未踏の5~12 THz、1~3 μmのQCLを実現するために、本研究では、窒化物半導体の利用を提案する。材料をGaAs(Ee-LO=36meV)からGaN(Ee-LO=90meV)に変更することにより、光吸収周波数は8 THzから22 THz付近にシフトし、これまで不可能であった5~12 THzの実現が可能となる。AlN/GaNヘテロ構造のバンド不連続は最大で1.86 eVと大きいため、従来半導体では不可能であった1~3 μm帯のQCLを設計することができる。窒化物半導体を用いれば、1~8 μm帯及び、3~20 THz帯QCLが可能となり、QCLの動作範囲を著しく拡大することが可能である。本研究では、これまで培ってきた窒化物の高品質成長技術を進化させ、高品質GaN/AlGaN系超格子からなる量子カスケード構造を作製し、さらに、革新的量子構造を独自に設計することにより、未開拓領域を含む幅広い範囲のQCL動作を実現することを目標とする(図1)。具体的には、未踏の5~12 THz帯を含む3~20 THz領域のTHz-QCLとその室温発振の実現、ならびに、未踏の1~3 μm帯を含む1~8 THz中赤外QCLの実現が目標である。

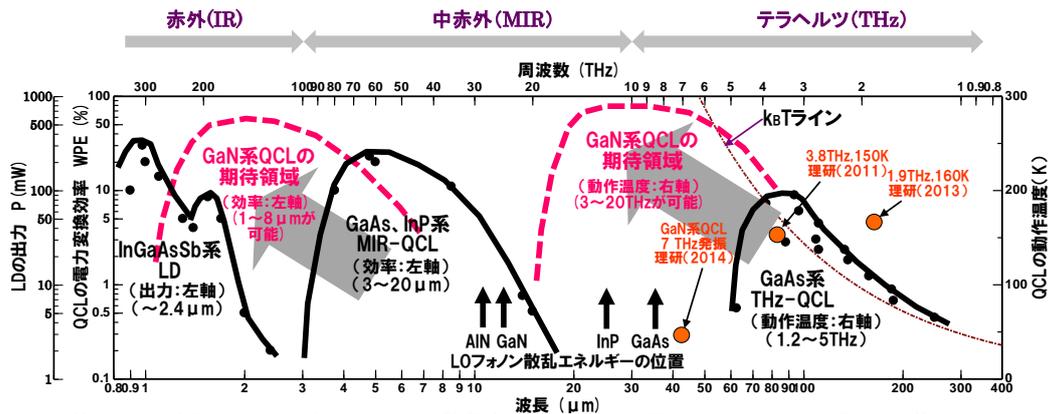


図1、赤外~THz半導体レーザの既実現動作領域、及び今後GaN系QCLで開発が期待される領域

3. 研究の方法

本研究では、以下の工程を導入して新規波長GaN/AlGaN系QCLの開発を行う計画である。

- (1) 発振に必要な光利得を発生させる革新的量子カスケード構造の第一原理計算による設計
- (2) MBE法、MOCVD法を用いたGaN/AlGaN多層QCL構造の高精度成長技術の開拓
- (3) 両面もしくは片面金属を用いた低損失導波路構造の作製によるGaN系QCLの実現
- (4) 1~8 μm帯赤外GaN系QCLの提案と誘電体閉じ込め導波路を用いたQCL実現

- (1) 発振に必要な光利得を発生させる革新的量子カスケード構造の第一原理計算による設計

無駄な量子準位を排除した「純粋3準位」と「間接注入」機構を導入したGaN/AlGaN系QCLの設計を、非平衡グリーン関数法を用いた第一原理計算を用いて行う。現在、未だ最適化されていない機構を見だし、レーザ発振に必要な十分高い光利得が得られる構造を設計する。

- (2) MBE法、MOCVD法を用いたGaN/AlGaN多層QCL構造の高精度成長技術の開拓

QC構造では、量子準位と波動関数の精密な設計が要求されるために、原子1層精度の急峻な組成切り替えと平坦性、1%程度の膜厚精度が要求される。MBE法は、急峻な組成切り替えに優れているが、結晶欠陥が多い事が問題である。一方、MOCVD法では結晶欠陥密度は非常に低いが、ヘテロ界面での原子層揺らぎが大きい。本研究では両方のアプローチを検討する。

- (3) 両面もしくは片面金属を用いた低損失導波路構造の作製によるGaN系QCLの実現

GaN系QCLではサファイア基板のリフトオフが難しいため、片面金属導波路を用いている。本研究では、GaN/AlGaN活性層を基板からリフトオフするプロセスを開拓し、両面金属導波路を作製する。両面金属導波路の実現により、大きな光閉じ込め係数と導波路ロスの低損失化を

実現し、THz-QCL の発振動作を得る。また基板材料を変え片面金属導波路 QCL の作製も試みる。  
 (4) 1~8  $\mu\text{m}$  帯赤外 GaN 系 QCL の提案と誘電体閉じ込め導波路を用いた QCL 実現  
 GaN/AlN の大きい伝導帯バンド不連続を用い、1~2  $\mu\text{m}$  帯の QCL を設計する。導電性酸化膜ク  
 ラッド層を有する GaN 系赤外 QCL を提案し、1~8  $\mu\text{m}$  帯の QCL の実現を試みる。

#### 4. 研究成果

##### (1) GaN 系 THz-QCL からの誘導放出発光の動作温度の向上

本研究では、GaN 系 QCL からの 5~7 THz 誘導放出発光を確認した後、動作の高温化の研究を進めた。構造は、サファイア/AlN 基板上に作製した GaN/AlGaIn-QCL 構造を用い、2 量子井戸 (QW) 型 3 準位構造、シングルメタル導波路構造を用いた。MOCVD 法による高品質 AlN/AlGaIn バッファ層の形成、及び、MBE 法を用いた 150 周期の QCL 層の製膜によりサンプルを作製した。従来まで、誘導放出発光は、5K の低温でしか観測できなかったが、温度依存性を厳密に測定した結果、5.8 THz の QCL で最高動作温度 40K までの誘導放出を実現した。また、誘導放出光の偏波面依存性を調査した結果 TM モード光が観測され、レーザ共振器からの誘導放出発光であることを明らかになった。発光スペクトル半値幅は、いずれの場合でも、FTIR の測定限界以下の狭線幅が観測されており、誘導放出発光であること確認した。一方、得られた発光は、発光強度が 10  $\mu\text{W}$  程度で、GaAs 系 QCL の 1/100 程度の強度であるため、レーザ発振を確認するには至っていない。そこで、本研究では、GaN 系 QCL の光利得と低損失導波路に関する理論的検討を行い、理論と実験の対比から QCL 発振動作を証明する方法を進めた。

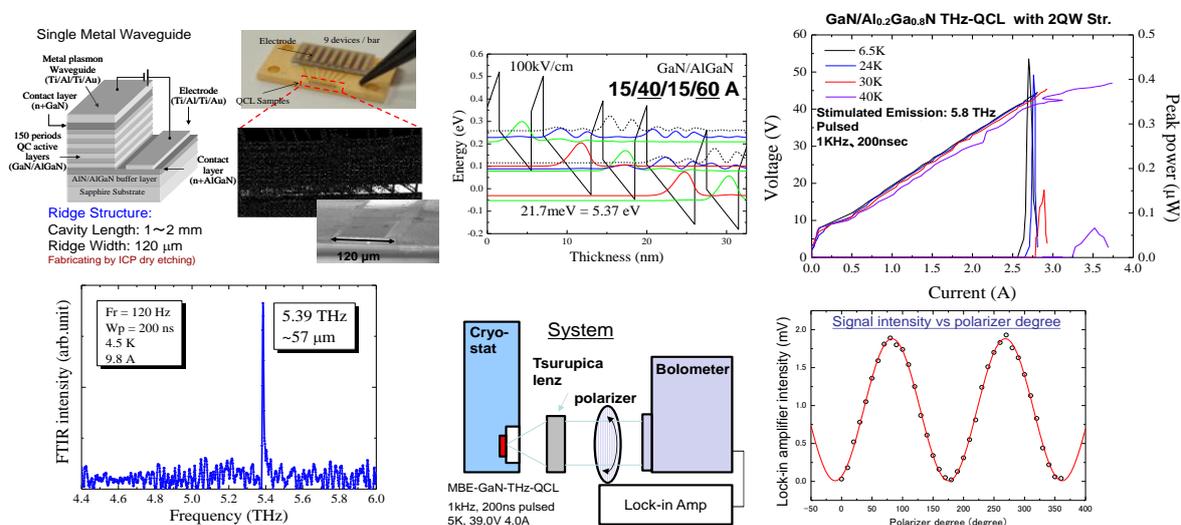


図 2、作製した GaN/AlGaIn-THz-QCL の構造と動作の温度依存性 (40K 動作を実現)、及び誘導放出光の TM モード発光の観測

##### (2) 非平衡グリーン関数を用いた厳密解析法による GaN 系 QCL の光利得の算出

GaN 系 QCL では、電子散乱過程が GaAs 材料系よりも大きく、不確定性原理に基づくレベルブロードニングによる光利得の減少が顕著である。従って、量子構造の設計に於いてこの効果を厳密に取り入れる必要がある。本研究では、考え得る主なレベルブロードニングに関する現象をすべて取り入れ、信頼性の高い解析により GaN 系 QCL の光利得計算を行った。

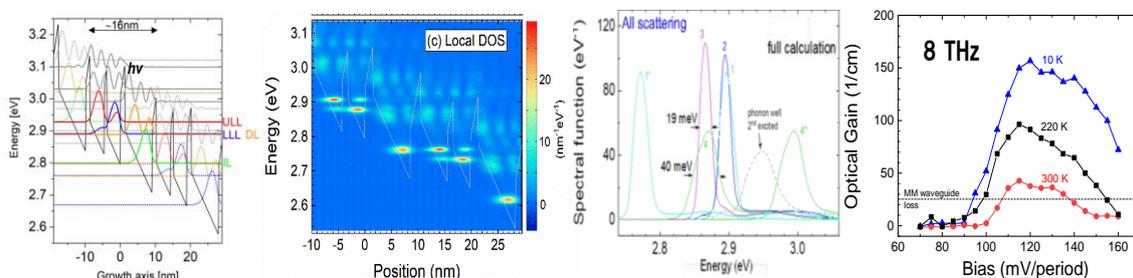


図 3、NEGF 法を用いた GaN/AlGaIn 系 QCL の光利得の算出 (8 THz で室温 50  $\text{cm}^{-1}$  の光利得)

本研究では、GaN 系 QCL の非平衡グリーン関数法 (NEGF 法) 解析を新たに立ち上げ、2 年の議論を通して高い信頼性における光利得の解析結果を得た。レベルブロードニングに関して、電子・LO フォノン散乱、電子・電子散乱の導入だけでは不十分であり、電子・不純物散乱の効果が大きいことを明らかにした。また、発光の際のレベルブロードニングにおける相関効果を自己整合的に計算に取り入れた。解析の結果、8 THz 帯 GaN/AlGaIn 系 QCL において、10K で 160  $\text{cm}^{-1}$ 、室温で 50  $\text{cm}^{-1}$  の光利得が算出され、GaN 系 QCL の室温発振が可能であることが示された。

### (3) 両面金属、片面金属、GaN系QCL低損失導波路の検討

GaN系QCLの低損失導波路を幅広く検討した。従来、基板として用いていたサファイアは、屈折率に異方性があり、導波路に平行方向の屈折率はGaNよりも高いため、光閉じ込め構造にふさわしくないことが分かった。片面金属導波路様の基板としては、GaNより屈折率が低いAlN、SiCが適していることが分かった。しかし、AlNバルク基板は不純物混入による光吸収があり、また、SiC基板上的AlN系エピは熱膨張差の関係からクラックが入りやすいなど問題がある。そこで本研究では、Si基板上にQCLを作製しSi基板リフトオフによる両面金属導波路の作製の検討を始めた。GaN系両面金属導波路では、95%以上の光閉じ込め係数と $30\text{cm}^{-1}$ 以下の導波路損失が得られることが解析から示された。導波路ロスを下げるためには、コンタクト層の厚さとドーピングレベルを調整する必要があることが分かった。

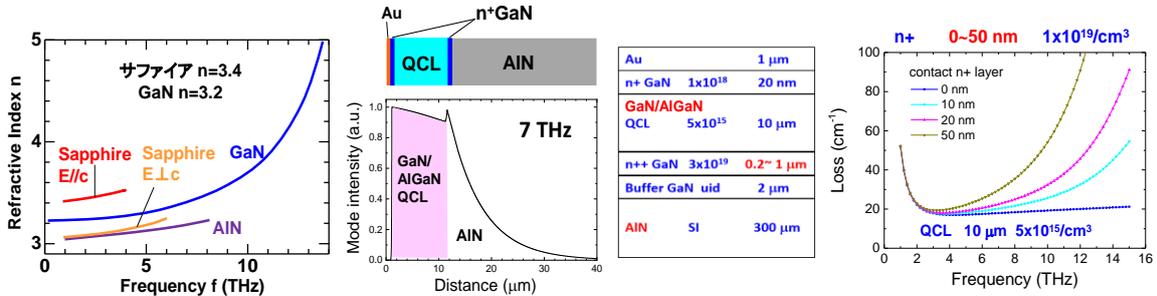


図4、片面金属、両面金属、GaN系QCL導波路の光閉じ込めと導波路ロスの解析例

### (4) 横リーク電流阻止による大幅なQCL特性改善の提案とGaAs系QCLによる実証

THz-QCLにおいて、発振上位準位から近隣の高次量子準位へ電流がリークして、光利得が低下している事がNEGF解析から明らかになった。本研究では、横リーク電流を阻止する事により光利得が大幅に向上し、動作の高温化と高出力化が可能であることを明らかにした。GaAs系THz-QCLでは、横リーク電流の阻止により、高温動作における光利得が著しく向上し、温度230Kで動作が可能である事が示された。横リーク電流阻止によりGaN系QCLの光利得も大幅に向上することが明らかになった。本研究では、GaAs系QCLに横リーク電流阻止構造を適用し、大幅な高出力化を達成した。4 THz帯のGaAs/AlGaAs系QCLで従来の出力(数十mW)から大幅に向上し750mW(確認された最高出力は900mW)の高出力動作を得た。また最高動作温度についても、グループ内最高値175Kが得られた。

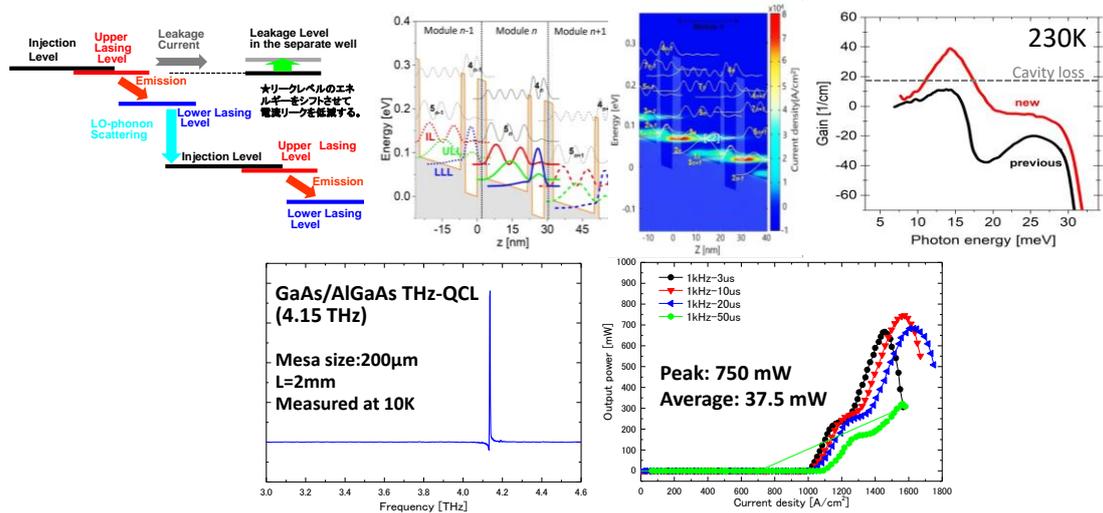


図5、横リーク電流阻止構造を用いたTHz-QCLの光利得向上の解析例、ならびに、GaAs系4THz帯QCLにおける効果の実証(同効果の導入で4.15 THzに於いて0.75Wの高出力を実現した。)

### (5) Si基板上GaN系QCLの高品質結晶成長、両面金属導波路の作製と電流注入の実現

両面金属導波路の導入は、光閉じ込め係数の向上と導波路ロスの低減の観点から、GaN系THz-QCLのレーザ発振の近道であると考えられる。本研究では、Si基板上への高品質GaN/AlGaAs活性層の結晶成長と、ウェットケミカルエッチングによるSi基板リフトオフの工程を用いて、両面金属導波路GaN系QCLを作製した。高品質Si/AlN/AlGaAsテンプレート基板は、市販品を用いた。Si/AlN/AlGaAsテンプレート上にGaN/AlGaAs-QCL構造をMBE結晶成長により作製し、良好な構造を得た。Si基板のリフトオフ工程において基板が非常に割れやすいため、ソフトワックスを用いた2回転写プロセスを用いて両面金属導波路を作製した。劈開により共振器ミラーを形成後、

低温でパルス電流注入を行った。その結果、解析から予測される電流-電圧特性が得る事が出来た。しかし、レーザ発振には至らなかった。原因は今のところ不明であるが、プロセスが複雑なために、予測しない電流リークパスが発生している可能性がある。現在 GaAs 系両面金属導波路 QCL で用いていると同様の 1 回の転写プロセスを試み、作製に成功したところである。また、SiC 基板上的低貫通転位密度 AlGaIn バッファの作製も並行して進めており、片面金属導波路 QCL の形成ができつつある。これらの検討については 2019 年度までに結果が間に合わなかったが、電流注入によるレーザ発振を引き続き検討する予定である。

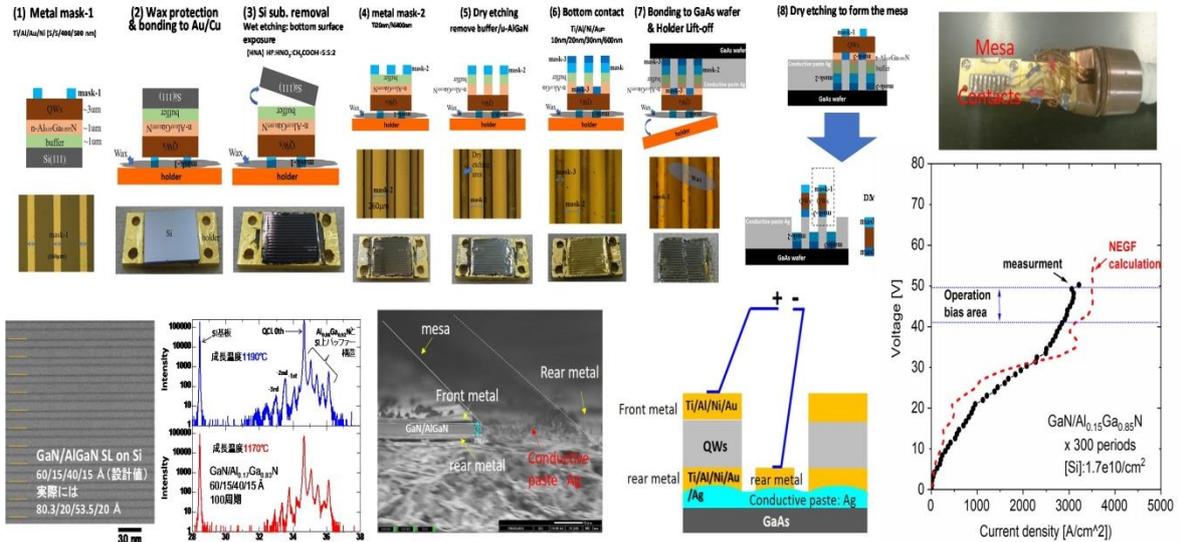


図 6、Si 基板上 GaN/AlGaIn 高品質 QC 構造の結晶成長、2 回転写プロセスを用いた両面金属導波路の形成プロセス、及びパルス電流注入による電流-圧特性の結果

(6) 1~3 μm 帯赤外 GaN 系 QCL の構造提案と光利得の解析

GaAs/InP 系 QCL は 4~11 μm の波長域で 30% 程度の高効率動作が確認されており、室温で 10 ワットクラスの高出力動作が実現している。伝導体のバンド不連続が InAlGaAs/InP 系半導体よりも 3 倍以上大きい GaN/AlN 系半導体では、1~6 μm の波長帯で高出力動作が期待できる。本研究では、NEGF 法を用いた厳密解析により GaN 系赤外 QCL の光利得を求め、発振に十分な光利得が得られることを明らかにした。また、実現可能な構造として、導電性酸化物をクラッド層に用いた導波路構造を提案した。今後、試作と動作実証を進めたいと考えている。

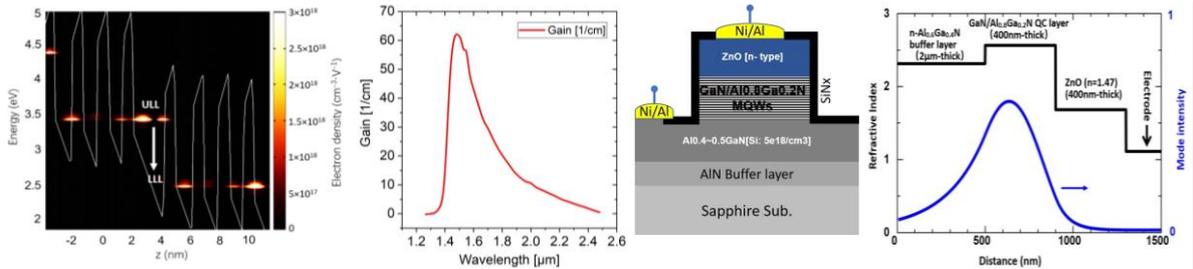


図 7、波長 1.5 μm の GaN 系赤外 QCL の量子構造提案と NEGF 法を用いた光利得解析、ならびに、導電性酸化物クラッド層を用いた QCL 構造の提案

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

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 -
1. 著者名 Wang Ke, Grange Thomas, Lin Tsung-Tse, Wang Li, Jehn Zoltan, 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 -
1. 著者名 Lin Tsung-Tse, Hirayama Hideki	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 2017年
3. 雑誌名 physica 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 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 Lin Tsung-Tse	4. 巻 6
2. 論文標題 Design for Stable Lasing of an Indirect Injection THz Quantum Cascade Laser Operating at Less Than 2 THz	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Materials Science and Applications	6. 最初と最後の頁 230 ~ 230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.ijmsa.20170605.11	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 Hirayama H.	4. 巻 Vol. 96
2. 論文標題 Growth of High-Quality AlN on Sapphire and Development of AlGaN-Based Deep-Ultraviolet Light-Emitting Diodes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Semiconductors and Semimetals	6. 最初と最後の頁 85 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/bs.semsem.2016.11.002	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 Tran Binh Tinh, Hirayama Hideki, Jo Masafumi, Maeda Noritoshi, Inoue Daishi, Kikitsu Tomoka	4. 巻 Vol. 468, No. 15
2. 論文標題 High-quality AlN template grown on a patterned Si(111) substrate	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 225 ~ 229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2016.12.100	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 Masafumi Jo, Issei Oshima, Takuma Matsumoto, Noritoshi Maeda, Norihiko Kamata and Hideki Hirayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Structural and electrical properties of semipolar (11-22) AlGa <sub>N</sub> grown on m-plane (1-100) sapphire substrates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi (c)	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) 10.1002/pssc.201600248	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 B. T. Tran, H. Hirayama, M. Jo, N. Maeda, D. Inoue, T. Kikitsu	4. 巻 -
2. 論文標題 High-Quality AlN Template Grown on a Patterned Si (111) Substrate	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	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) <a href="https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2016.12.100">https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2016.12.100</a>	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 B. T. Tran, N. Maeda, N. Jo, D. Inoue, T. Kikitsu and H. Hirayama	4. 巻 6
2. 論文標題 Performance improvement of AlN crystal quality grown on patterned Si (111) substrate for deep UV LED applications	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 35681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep35681	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 平山秀樹	4. 巻 44
2. 論文標題 テラヘルツ量子カスケードレーザーの進展	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 520-526
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 平山秀樹	4. 巻 100
2. 論文標題 AlGaIn紫外LEDの進展と展望	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 照明学会誌	6. 最初と最後の頁 115-118
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 M. Jo, N. Maeda and H. Hirayama	4. 巻 9
2. 論文標題 Enhanced light extraction in 260 nm light-emitting diode with a highly transparent p-AlGaIn layer	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 012102-1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.9.012102	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 平山秀樹, 寺嶋亘, 林宗澤, 佐々木美穂	4. 巻 84
2. 論文標題 テラヘルツ量子カスケードレーザーの進展と今後の展望	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 918-923
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 M. Jo and H. Hirayama	4. 巻 55
2. 論文標題 Growth of non-polar a-plane AlN on r-plane sapphire	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 05FA02-1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.55.05FA02	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 B. T. Tran, H. Hirayama, N. Maeda, M. Jo, S. Toyoda and N. Kamata	4. 巻 5
2. 論文標題 Direct growth and controlled coalescence of thick AlN template on micro-circle patterned Si substrate	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 14734
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep14734	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117件 (うち招待講演 41件 / うち国際学会 52件)

1. 発表者名 T. T. Lin, K. Wang, L. Wang, and H. Hirayama
2. 発表標題 Development of high-power THz-QCL by suppressing residual leakage current
3. 学会等名 19th East Asia Sub-millimeter-wave Receiver Technology Workshop and 5th RIKEN-NICT Joint Workshop on Terahertz Technology
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Wang, L. Wang, T. T. Lin, and H. Hirayama
2. 発表標題 Recent progress towards realizing GaN/AlGaIn quantum cascade lasers
3. 学会等名 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会 (LQE)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤川紗千恵, 石黒稔也, 王科, 藤代博記, 平山秀樹
2. 発表標題 GaN系QCL実現に向けたSi基板上GaN/AlGaIn超格子構造の作製
3. 学会等名 理研シンポジウム 第6回「光量子工学研究」-サブ波長フォトニクス研究と新たな光量子工学の展開-
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 L. Wang, T. T. Lin, K. Wang, and H. Hirayama
2. 発表標題 Design of asymmetric two-wells indirect pumping terahertz quantum cascade lasers for high-temperature operation
3. 学会等名 理研シンポジウム 第6回「光量子工学研究」-サブ波長フォトニクス研究と新たな光量子工学の展開-
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Wang, T. T. Lin, L. Wang, K. Fukuda, and H. Hirayama
2. 発表標題 Approach toward GaN-based terahertz quantum-cascade laser
3. 学会等名 理研シンポジウム 第6回「光量子工学研究」-サブ波長フォトニクス研究と新たな光量子工学の展開-
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Wang, N. Meda, and H. Hirayama
2 . 発表標題 Hybrid growth of AlGa <sub>N</sub> deep ultraviolet light emitting diodes by MBE and MOCVD
3 . 学会等名 The International Workshop on Nitride Semiconductors 2018 (IWN 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Wang, T. T. Lin, L. Wang, J. Yun, W. Terashima, H. Hirayama, T. Grange, Z. Jehn, and S. Birnner
2 . 発表標題 Broadening mechanisms and self-consistent gain calculations for GaN quantum cascade laser structures
3 . 学会等名 The International Workshop on Nitride Semiconductors 2018 (IWN 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. T. Lin, K. Wang, L. Wang and H. 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 International Conference on Photonics Research (ICPR 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Wang, L. Wang, T. T. Lin and H. Hirayama
2 . 発表標題 Theoretical and experimental approaches for GaN/AlGa <sub>N</sub> Hz quantum cascade lasers
3 . 学会等名 日本学術振興会162委員会第110回研究会・特別公開シンポジウム
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 T. T. Lin, K. Wang, L. Wang and H. Hirayama
2. 発表標題 Increased output power of THz-QCLs by reducing leakage current via upper levels
3. 学会等名 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 H. Hirayama
2. 発表標題 [Tutorial] Resent progress of THz-QCLs
3. 学会等名 International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Wang, T. Grange, T. T. Lin, L. Wang, S. Birner, J. Yun, W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 Broadening mechanisms and simulation for GaN based THz QCLs by non-equilibrium Green's function method
3. 学会等名 8th International Quantum Cascade Laser School and Workshop (IQCLSW 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 L. Wang, T. T. Lin, K. Wang and H. Hirayama
2. 発表標題 Improving the optical gain at high temperature in THz-QCLs by using asymmetric two-wells scheme
3. 学会等名 8th International Quantum Cascade Laser School and Workshop (IQCLSW 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Fujikawa, T. Ishiguro, K. Wang, W. Terashima, H. Fujishiro and H. Hirayama
2 . 発表標題 Evaluation of GaN-based THz-QCL structure on Si substrate grown by MOCVD
3 . 学会等名 The 19th International Conference on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (ICMOVPE-XIX) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Hirayama, M. Jo, W. Terashima, N. Maeda, T. T. Lin, and K. Wang
2 . 発表標題 Current status and future of III-nitride ultraviolet and THz emitters
3 . 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2017) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2 . 発表標題 Design of THz QCLs toward high output power by variable height active structure near liquid nitrogen temperature operation
3 . 学会等名 The 7th Annual World Congress of Nano Science and Technology-2017 (Nano S&T-2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 N. Kamata, K. Matsuda, T. Fukuda and Z. Honda
2 . 発表標題 Nonradiative recombination centers in UV-LEDs revealed by below-gap excitation light at low current injection
3 . 学会等名 The 11th Int. Symp. on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Wang, T. T. Lin, W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 Waveguide design for GaN/AlGaIn terahertz quantum cascade lasers
3. 学会等名 The 8th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 Design THz quantum cascade lasers toward high output power near liquid nitrogen temperature operation
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Wang, T. T. Lin, W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 Waveguide design for GaN/AlGaIn terahertz quantum cascade lasers
3. 学会等名 14th International Conference on Intersubband Transitions in Quantum Wells (ITQW2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 THz quantum cascade lasers toward high output power near liquid nitrogen temperature operation
3. 学会等名 14th International Conference on Intersubband Transitions in Quantum Wells (ITQW2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 THz quantum cascade lasers toward high output power near liquid nitrogen temperature operation
3. 学会等名 The 24th Congress of the International Commission for Optics (ICO-24) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 Design of indirect injection scheme THz QCLs with high operation temperature
3. 学会等名 The 44th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 Variable height active structure design THz QCLs operating at 3.7 THz with the maximum operation temperature 145 K
3. 学会等名 The 44th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. T. Lin, W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 THz quantum cascade lasers toward high output power near liquid nitrogen temperature operation with Dewar condenser
3. 学会等名 The 44th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Wang, T. T. Lin, L. Wang, J. Yun and H. Hirayama
2. 発表標題 Simulation of optical gain for GAN terahertz quantum cascade lasers by using non-equilibrium green's function method
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 L. Wang, T. T. Lin, K. Wang and H. Hirayama
2. 発表標題 New design of GaAs based THz-QCL for obtaining high optical gain by indirect-injecting asymmetric-wells superlattice structure
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. T. Lin, K. Wang, L. Wang, K. Fukuda and H. Hirayama
2. 発表標題 Recent progress of high-power THz-QCLs
3. 学会等名 理研シンポジウム 第5回「光量子工学」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 L. Wang, T. T. Lin, K. Wang and H. Hirayama
2. 発表標題 THz-QCL designs for high-temperature operation far acrossing the KT limitation
3. 学会等名 理研シンポジウム 第5回「光量子工学」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Wang, T. T. Lin, L. Wang, J. Yun, W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 Calculation of optical gain and design of low waveguide loss for GaN terahertz quantum cascade lasers
3. 学会等名 理研シンポジウム 第5回「光量子工学」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石黒稔也, 藤川紗千恵, 王科, 前田哲利, 町田龍人, 藤代博記, 平山秀樹
2. 発表標題 Si基板上へのGaN系THz-QCL構造のMOCVD成長と評価
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Wang, T. T. Lin, W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 aveguide design for GaN/AlGaIn terahertz quantum cascade lasers
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. T. Lin, W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 250 mW output power operation of GaAs-based THz quantum cascade lasers
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Hirayama
2. 発表標題 Future of III-Nitrides-Efficient UVC Emitter and Terahertz QCLs
3. 学会等名 Photonics Conferense 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 W. Terashima, T. T. Lin and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Recent progress of GaN-based terahertz quantum cascade lasers
3. 学会等名 5th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Hirayama
2. 発表標題 Current Status and Future of III-Nitride Ultraviolet and THz Emittres
3. 学会等名 International Workshop on Nitiride Semiconductors (IWN 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Hirayama, W. Terashima, S. Toyoda and N. Kamata
2. 発表標題 Progress of THz Quantum Cascade Laser using Nitride Semiconductor
3. 学会等名 74th Device Research Conference (DRC 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 Modulation active structure design indirect injection scheme THz QCLs
3. 学会等名 EMN Meeting on Terahertz 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平山秀樹、寺嶋亘、林宗澤
2. 発表標題 テラヘルツ量子カスケードレーザの進展と展望
3. 学会等名 レーザー学会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 半導体発光デバイス未踏領域の進展と展望
3. 学会等名 理研・分子研合同研究会 第13回エクストリーム・フォトンクス (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 THz量子カスケードレーザの進展と展望
3. 学会等名 第140回微小光学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平山秀樹、寺嶋亘、林宗澤
2. 発表標題 テラヘルツ量子カスケードレーザの進展と今後の展望
3. 学会等名 応用物理学会・テラヘルツ電磁波技術究例会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 寺嶋亘、林宗澤、平山秀樹
2. 発表標題 テラヘルツ量子カスケードレーザの最近の進展
3. 学会等名 レーザーカオス研究会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Matsumoto, I. Oshima, N. Maeda, M. Jo, N. Kamata and H. Hirayama
2. 発表標題 Growth of deep-UV (11-22) AlGaIn quantum wells on m-plane (1-100) sapphire substrates
3. 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2016 (IWN2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 I. Oshima, T. Matsumoto, N. Maeda, M. Jo, N. Kamata and H. Hirayama
2. 発表標題 Structural and electrical properties of semipolar (11-22) AlGaIn grown on m-plane (1-100) sapphire substrates
3. 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2016 (IWN2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 B. T. Tran, H. Hirayama, N. Maeda, M. Jo, D. Inoue and T. Kikitsu
2 . 発表標題 Improvement of AlN crystal quality on Si substrate for deep UV-LED Applications
3 . 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2016 (IWN2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Lin, W. Terashima and H. Hirayama
2 . 発表標題 THz quantum cascade laser toward high output power near liquid nitrogen temperature operation with dewar condenser
3 . 学会等名 The 41th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 W. Terashima and H. Hirayama
2 . 発表標題 Realization of Unexplored Frequency Terahertz Quantum Cascade Lasers by using III Nitride Semiconductors
3 . 学会等名 The 25th International Semiconductor Laser Conference (ISLC2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 B. T. Tran, H. Hirayama, N. Maeda, M. Jo, D. Inoue and T. Kikitsu
2 . 発表標題 Effect of patterned-Si substrate on crystalline quality of AlN template
3 . 学会等名 The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE18) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Jo and H. Hirayama
2. 発表標題 Fabrication of a-plane AlGaIn quantum wells on r-plane sapphire
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2016 (CSW2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 林宗澤, 寺嶋亘, 平山秀樹
2. 発表標題 高出力THz-QCLの進展
3. 学会等名 第3回理研-NICT合同テラヘルツワークショップ/第17回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ke Wang, W. Terashima, T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 Current status and next challenges for GaN-based QCLs
3. 学会等名 第3回理研-NICT合同テラヘルツワークショップ/第17回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大島一晟, 定昌史, 前田哲利, 鎌田憲彦, 平山秀樹
2. 発表標題 m面サファイア基板上半導性AlGaIn/AlNの結晶成長と量子井戸発光特性
3. 学会等名 電子情報通信学会 レーザエレクトロニクス研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 林宗澤, 寺嶋亘, 平山秀樹
2. 発表標題 高出力THz QCLの最近の進展
3. 学会等名 理研・分子研合同研究会 第13回エクストリーム・フォトニクス
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 林宗澤, 平山 秀樹
2. 発表標題 高出力(250mW) THz量子カスケードレーザーの進展
3. 学会等名 第4回「光量子工学研究-若手・中堅研究者から見た光量子工学の展開-」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大島一晟, 定昌史, 前田哲利, 鎌田憲彦, 平山秀樹
2. 発表標題 半極性AlN基板を用いた高効率LEDの開発
3. 学会等名 第4回「光量子工学研究-若手・中堅研究者から見た光量子工学の展開-」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tsung-Tse Lin, Wataru Terashima and Hideki Hirayama
2. 発表標題 Progress of high-power (250 mW) quantum cascade lasers
3. 学会等名 RAPAC2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 林宗澤, 寺嶋亘, 平山秀樹
2. 発表標題 THz quantum cascade lasers toward high output power operation
3. 学会等名 第63回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森島嘉克, 平山秀樹, 飯塚和幸, 山崎進一, 西村良男, 山腰茂伸
2. 発表標題 310nm帯紫外LED用Ga2O3 (-201)基板上AlGaN (0001)エピタキシャル膜の成長
3. 学会等名 第63回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 前田哲利, Tran Tinh, 定昌史, 平山秀樹
2. 発表標題 n-AlGaNパッファー層の2段化によるAlGaN 系DUV LEDの高効率化
3. 学会等名 第63回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大島一晟, 定昌史, 前田哲利, 鎌田憲彦, 平山秀樹
2. 発表標題 m面サファイア基板上半極性AlGaN/AlN層の結晶成長とドーピング及び量子井戸発光特性
3. 学会等名 第63回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平山秀樹, 寺嶋亘, 林宗澤
2. 発表標題 テラヘルツ量子カスケードレーザの進展と今後の展望
3. 学会等名 第63回応用物理学会春期学術講演会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 半導体光デバイスの基礎と今後 - 青色LEDから深紫外LED、LD、QCLへ -
3. 学会等名 第63回応用物理学会春期学術講演会チュートリアル講演 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Hirayama, M. Jo, N. Maeda and N. Kamata
2. 発表標題 Recent Progress of AlGaIn Deep-UV LEDs
3. 学会等名 IS-Plasma 2016 / IC-PLANTS2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 AlGaIn系深紫外LEDの進展と展望
3. 学会等名 太陽紫外線防御研究委員会第26回シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 化合物半導体を用いた未開拓波長光デバイス，深紫外LED及びTHz-QCLの開発
3. 学会等名 産総研シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Hirayama and W. Terashima
2. 発表標題 Progress of GaN/AlGaN THz-quantum cascade lasers
3. 学会等名 2016 SPIE Photonic West（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 寺嶋巨
2. 発表標題 「未来の光」テラヘルツ光と未開拓領域テラヘルツ量子カスケードレーザの開発
3. 学会等名 工学院大学年未講演会2015（招待講演）
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 寺嶋巨，平山秀樹
2. 発表標題 GaN系未開拓波長QCLの進展
3. 学会等名 電子情報通信学会電子デバイス研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 林宗澤, 寺嶋亘, 平山秀樹
2. 発表標題 The improvement of output power characteristics of THz QCLs in 77 K Dewar condenser
3. 学会等名 電子情報通信学会電子デバイス研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 W. Terashima and H. Hirayama
2. 発表標題 Precise growth control for AlGaIn/GaN Superlattices by MBE and MOCVD for developing GaN-based THz quantum cascade lasers
3. 学会等名 EMN 3CG (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 W. Terashima
2. 発表標題 Development of GaN/AlGaIn based terahertz quantum cascade lasers
3. 学会等名 EMN Hong Kong Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 テラヘルツ量子カスケードレーザの進展と今後の展望
3. 学会等名 量子現象利用デバイス技術分科会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 寺嶋亘, 平山秀樹
2. 発表標題 GaN系THz-QCLの最近の進展
3. 学会等名 電子情報通信学会レーザー・量子エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 定昌史, 平山秀樹
2. 発表標題 無極性a面AlGaN/AlNの高温成長と深紫外発光特性
3. 学会等名 電子情報通信学会レーザー・量子エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大島一晟, 定昌史, 前田哲利, 鎌田憲彦, 平山秀樹
2. 発表標題 m面サファイア上AlGaN/AlNの結晶成長と光学特性
3. 学会等名 電子情報通信学会レーザー・量子エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 殺菌用深紫外LEDの進展と今後の展望
3. 学会等名 光とレーザーの科学技術フェア(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 Indirect injection scheme THz QCLs with high operation temperature
3. 学会等名 EMN meeting on Vacuum Electronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 林宗澤, 平山秀樹
2. 発表標題 接注入機構を用いたTHz QCL高温動作の進展
3. 学会等名 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 寺嶋亘, 平山秀樹
2. 発表標題 GaN系THz-QCLの最近の進展
3. 学会等名 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 定昌史, 平山秀樹
2. 発表標題 無極性a面AlNの高温成長と深紫外LEDへの応用
3. 学会等名 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 定昌史, 平山秀樹
2. 発表標題 p型AlGaIn透明コンタクト層を用いた深紫外LEDの注入機構最適設計
3. 学会等名 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 B. T. Tran, N. Maeda and H. Hirayama
2. 発表標題 Development of high-quality AlN crystals on patterned Si substrates for deep-UV LEDs
3. 学会等名 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大島一晟, 定昌史, 前田哲利, 鎌田憲彦, 平山秀樹
2. 発表標題 無極性m面サファイア上AlGaIn/AlNの結晶成長と深紫外発行特性
3. 学会等名 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 金沢裕也, 松本卓磨, 鎌田憲彦, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹
2. 発表標題 サファイア加工基板上AlNの結晶成長とそれを用いた深紫外LEDの実現
3. 学会等名 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」
4. 発表年 2015年

1 . 発表者名 H. Hirayama and W. Terashima, S. Toyoda and N. Kamata
2 . 発表標題 Terahertz quantum-cascade laser based on III-nitride semiconductors
3 . 学会等名 ISGN-6 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 W. Terashima and H. Hirayama
2 . 発表標題 Up to 40 K lasing operation of 5.7 THz GaN/AlGaIn quantum cascade laser
3 . 学会等名 ISGN-6 (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 M. Jo, N. Maeda and H. Hirayama
2 . 発表標題 Fabrication of a 260-nm light-emitting diode with a transparent p-AlGaIn layer
3 . 学会等名 ISGN-6 (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 Y. Kanazawa, H. Hirayama, N. Maeda, M. Jo, N. Kamata, Y. Kashima, E. Matsuura, S. Shimatani, M. Kokubo, T. Tashiro, T. Ohkawa, R. Kamimura and Y. Osada
2 . 発表標題 High-quality AlN template for deep-UV LEDs grown on facet controlled patterned sapphire substrate (FC-PSS)
3 . 学会等名 ISGN-6 (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 I. Ohshima, M. Jo, N. Maeda, N. Kamata and H. Hirayama
2 . 発表標題 Growth and optical properties of semi-polar AlN/AlGaN layers grown on m-plane sapphire substrates
3 . 学会等名 ISGN-6 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 M. Jo and H. Hirayama
2 . 発表標題 Growth of non-polar a-plane AlN on r-plane sapphire
3 . 学会等名 ISGN-6 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 B. T. Tran, H. Hirayama, N. Maeda and M. Jo
2 . 発表標題 Growth of AlN template and AlGaN MQWs on micro-circle patterned Si substrate
3 . 学会等名 ISGN-6 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 H. Hirayama
2 . 発表標題 Development of unexplored frequency semiconductor light sources; deep-UV LEDs and THz-QCLs
3 . 学会等名 WPI-AIMR ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 未踏波長半導体デバイス - 深紫外LEDとTHz-QCLの進展 -
3. 学会等名 電気学会パワー光源産業技術調査専門委員会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Hirayama, W. Terashima, S. Toyoda and N. Kamata
2. 発表標題 THz quantum cascade lasers using nitride semiconductors
3. 学会等名 VI Workshop on Physics and Technologies of Semiconductor Lasers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Hirayama
2. 発表標題 Recent progress and future prospects of AlGaIn deep-UV LEDs
3. 学会等名 ISOM '15 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 寺嶋巨, 平山秀樹
2. 発表標題 GaN/AlGaIn系量子カスケードレーザの5.76THz, 40Kにおける動作
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 林宗澤, 平山秀樹
2. 発表標題 モジュレーションバリア構造を用いた3.7THz 145K量子カスケードレーザ
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 定昌史, 平山秀樹
2. 発表標題 r面サファイアを用いたa面AlNの高温成長
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 金沢裕也, 平山秀樹, 前田哲利, 定昌史, 鎌田憲彦, 鹿嶋行雄, 松浦恵里子, 嶋谷聡, 小久保光典, 田代貴晴, 大川貴史, 上村隆一郎, 長田大和
2. 発表標題 ファセット表面加工基板上に成長した深紫外LED 用高品質AlN テンプレート
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大島一晟, 定昌史, 前田哲利, 鎌田憲彦, 平山秀樹
2. 発表標題 m 面サファイア基板上半極性AlN/AlGaN 層の結晶成長と光学特性
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Tran, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹
2. 発表標題 Growth and Optical Properties of AlN/AlGa <sub>N</sub> Heterostructures on Patterned Si Substrate
3. 学会等名 第76回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 Modulation barrier design Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As/GaAs terahertz quantum cascade lasers
3. 学会等名 ITQW2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Hirayama and W. Terashima
2. 発表標題 Progress of THz quantum cascade laser using nitride semiconductors
3. 学会等名 ICNS-11 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. T. Lin and H. Hirayama
2. 発表標題 AlGaAs/GaAs quantum cascade lasers with modulation Al composition barriers design lasing at 3.7 THz, 145 K
3. 学会等名 FTT2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 B. T. Tran, H. Hirayama, N. Maeda, M. Jo, and S. Toyoda
2. 発表標題 Direct growth of thick AlN template on micro-circle patterned-Si substrate
3. 学会等名 CLEO Pacific Rim 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 AlGaIn窒化物半導体の結晶品質向上とデバイス化技術, 深紫外LEDの応用展開
3. 学会等名 サイエンス&テクノロジー社セミナー (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 林宗澤, 寺嶋亘, 平山 秀樹
2. 発表標題 テラヘルツ量子カスケードレーザの最近の進展
3. 学会等名 平成27年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Hirayama and W. Terashima
2. 発表標題 Recent progress of THz-QCLs using nitride-based semiconductors
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics 2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 B. T. Tran, H. Hirayama, S. Toyoda and N. Maeda
2. 発表標題 Direct growth and controlled coalescence of thick AlN template on circle patterned-Si substrate
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 踏波長光デバイスを目指して - 深紫外LEDとテラヘルツQCLの開発 -
3. 学会等名 第38回光通信研究会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 「未来の光」深紫外線、テラヘルツ光の魅力
3. 学会等名 理研仙台一般公開セミナー (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 未踏の光テラヘルツの地形を拓く - テラヘルツ量子カスケードレーザの開発 -
3. 学会等名 平成27年度「理研と親しむ会」第23回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Hirayama
2. 発表標題 Recent progress AlGaIn deep-UV LEDs by improving light-extraction efficiency
3. 学会等名 2015 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 窒化物を用いた未開拓領域光デバイスの展望
3. 学会等名 第34回電子材料シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹
2. 発表標題 「未来の光」深紫外線, テラヘルツ光の魅力
3. 学会等名 三鷹ネットワーク大学講座 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 平山秀樹, 前田哲利, 定昌史, 鎌田憲彦
2. 発表標題 AlGaIn系深紫外LED高効率化の進展と展望
3. 学会等名 第143回結晶工学分科会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

## 〔図書〕 計2件

1. 著者名 H. Hirayama	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 474 (85-120)
3. 書名 SEMICONDUCTORS AND SEMIMETALS [III-Nitride Semiconductor Optoelectronics]	

1. 著者名 H. Hirayama	4. 発行年 2015年
2. 出版社 Springer Series in Material Science	5. 総ページ数 75-113
3. 書名 III-Nitride Ultraviolet Emitters -Technology and Applications-	

## 〔出願〕 計4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	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 窒化物半導体量子カスケードレーザー	発明者 平山秀樹, 寺嶋亘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2015-148786	出願年 2015年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 窒化物半導体量子カスケードレーザー	発明者 平山秀樹, 寺嶋亘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、15180589.2	出願年 2015年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 窒化物半導体量子カスケードレーザー	発明者 平山秀樹, 寺嶋亘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、14/823686	出願年 2015年	国内・外国の別 外国

## 〔取得〕 計0件

〔その他〕

テラヘルツ量子素子研究チーム  
<http://www2.riken.jp/lab/THz-device/>  
 平山量子光素子研究室  
<http://www2.riken.jp/lab/optodevice/index.html>

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	鎌田 憲彦  (Norihiko Kamata)  (50211173)	埼玉大学・理工学研究科・教授    (12401)	
研究分担者	寺嶋 亘  (Wataru Terashima)  (30450406)	国立研究開発法人理化学研究所・平山量子光素子研究室・研究員   (82401)	削除：平成29年12月4日