

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18059

研究課題名(和文) モジュレーションバリア構造を用いたTHz QCLs の動作高温化に関する研究

研究課題名(英文) Studies of high temperature operation THz QCLs by modulation barriers structure

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・光量子工学研究領域・研究員

研究者番号：40585155

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：同時に実現困難の期待される別々の注入、発光と引き抜き三機構をより高い設計自由度のモジュレーション発光層(変動的な高さバリアと井戸)を用いて、一つの構造の統合を実現する。発光バリアは他のバリアより低く設計すると同じ振動子強度維持する同時に表面ラフネス(IR)散乱が減少します。細高いエクステンションバリアを用いて、下発振準位から引き抜き準位振動子強度増やすとIR散乱を利用する、効率よく引き抜きを実現します。上発振準位から引き抜き準位空間的の分離もできる、高温のリーク電流を減少する。本研究は初めての高温動作実験デモを報告しました。高出力の素子(ピーク250mWと平均2.2mW)も実現しました。

研究成果の概要(英文)：Here we utilize the modulation barriers active region design with different barriers and wells height at one period of THz QCLs. In order to realize the difficult alternative consideration of barriers height at injection/extraction and emission layers. The wide-low barriers at emission layers reduce the non-radiative interface roughness (IR) scattering and keep the high optical gain. And the thin-high barriers improve the injection/extraction efficiency by the same IR scattering at injection/extraction layers. We demonstrate the first experimental results of high temperature operation THz QCLs designed by this kind of variable height structure. We also report the high output power THz QCLs with peak power 250 mW and average power 2.2 mW at low temperature; fabricate the compact potable 77K liquid nitrogen temperature Dewar condenser by THz QCLs with peak power 10 mW and average power 0.1 mW.

研究分野：テラヘルツ

キーワード：量子カスケードレーザー テラヘルツ

流の減少を実現する。これをベースにして、QCLs 結晶成長のノウハウを活かし、今まで使われないもう一つの自由度のバリア層と井戸層の高さを利用して、同時に実現困難な機構を統合する。さらに高い Al 組成の間接注入と対角遷移発光機構 THz QCLs の活性層構造の量子設計、発振上位準位の緩和時間を重視し、高 LO フォノンエネルギーによって、熱励起電子を介した LO フォノン散乱とサーマルバックフィリングを減少させる。高障壁の超格子と大きな対角遷移構造を使用し、高い選択性とスムーズな注入が可能な高温動作設計を実現する。上記研究計画を遂行し、最高動作温度が電子冷却温度以上の THz QCLs デバイスを実現する。

4. 研究成果

今まで同時に実現困難の期待される別々の注入、発光と引き抜き機構をより高い設計自由度のモジュレーション発光層（変動的な高さバリアと井戸）を用いて、一つの構造の統合を実現する。発光バリアは他のバリアより低く設計すると同じ振動子強度維持する同時に表面ラフネス（IR）散乱が減少します（図 2）。細高いエクステンションバリアを用いて、下発振準位から引き抜き準位振動子強度増やすと IR 散乱を利用する、効率よく引き抜きを実現します。同時に上発振準位から引き抜き準位空間的分離もできる、高温のリーク電流を減少する。

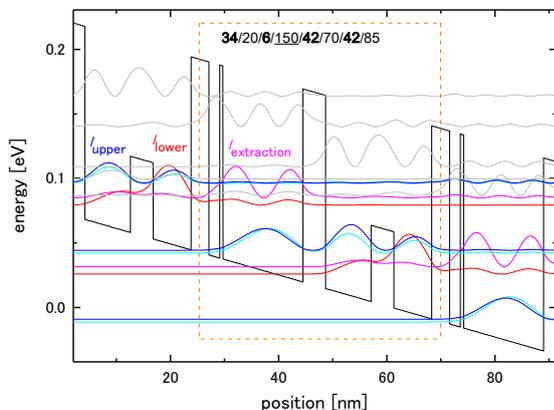


図 2 モジュレーション発光層（変動的な高さバリアと井戸） QCLs の設計

モジュレーション設計の高 Al 組成 $Al_{1-x}Ga_xAs/Al_{1-y}Ga_yAs$ 系構造を用いて平均 LO フォノンエネルギーを増大し、高温時の熱励起電子を介した LO フォノン散乱とサーマルバックフィリングを抑えることで、長年の課題と高温動作 THz QCLs を実現する。現時点の最高動作温度 150K はまた電子冷却温度たどり着いてないですが、こういう一週期何種類のバリア高さを使う THz QCLs の実験デモ本研究は初めて報告しました。

モジュレーション発光層の設計を使う、間接

注入+対角遷移発光を統合した設計を行う。間接注入で発振上下準位への注入効率と選択性を改善し、対角遷移発光により対角遷移の割合を大きくして、電子・電子散乱を低減させる。低周波数 THz QCLs の中でもより低い周波数での発振と最高動作温度を改良する。

同時にこういう自由度のモジュレーション発光層（変動的な高さバリアと井戸） QCLs 最高動作だけでなく、THz QCLs の高出力化設計も役に立ちます。本研究の THz QCLs の高出力化について、低温の動作ピーク出力 250 mW と平均出力 2.2 mW を実現しました。よりよく温度特性の結果、実用性ある液体窒素温度の出力もピーク 10 mW と平均 0.1 mW を報告しました。この結果を利用して、小型液体窒素デューワーを作成し（図 3）ポータブルな半導体 THz 光源を実現しました。

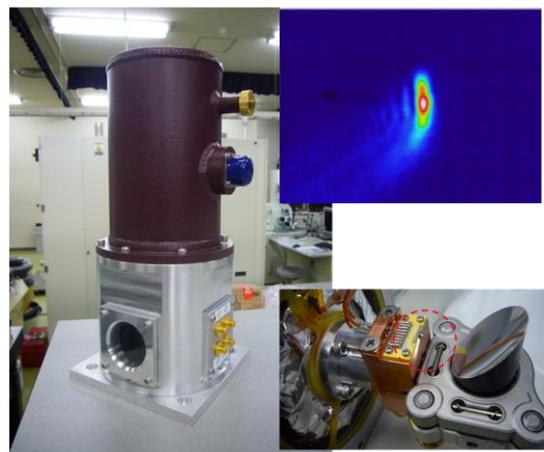


図 3 THz QCLs を使った液体窒素デューワー、その内部構造と THz カメラの測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

①平山 秀樹、寺嶋 亘、林 宗澤 “テラヘルツ量子カスケードレーザーの進展”、レーザー研究、査読有、44 巻、2016、520-526
<http://www.lsj.or.jp/laser/44/4408.pdf>

②林 宗澤、寺嶋 亘、平山 秀樹 “The improvement of output power characteristics of THz QCLs in 77 K Dewar condenser”、信学技報 IEICE Technical Report、査読無し、vol. 115、no. 387、2015、37-40

<http://www.ieice.org/ken/index/ieice-techrep-115-387.html>

③平山 秀樹、寺嶋 亘、林 宗澤、佐々木美穂 “Recent progress and future prospects for terahertz quantum-cascade lasers”、応用物理、査読有、84 巻、2015、918-923
<https://www.jsap.or.jp/ap/2015/10/ob840918-e.xml>

[学会発表] (計 13 件)

①林宗澤、平山秀樹“高出力 THz QCLs の進展”NICT 小金井本部、NICT—理研合同テラヘルツ研究交流会、2017 年 2 月 27 日

②Wataru Terashima, Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama “Recent Progress of GaN-based Terahertz Quantum Cascade Lasers”, 5th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2016), Sendai, Japan, November 2, 2016

③Tsung-Tse Lin, Wataru Terashima, and Hideki Hirayama, “THz quantum cascade lasers toward high output power near liquid nitrogen temperature operation with Dewar condenser” The 41st International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2016), Copenhagen, Denmark, September 25, 2016

④H. Hirayama, W. Terashima, T. -T. Lin, S. Toyoda and N. Kamata “Progress of THz Quantum Cascade Lasers using Nitride Semiconductor”, 74th Device Research Conference (DRC 2016), Newark, Delaware, USA, June 21, 2016

⑤Tsung-Tse Lin, Hideki Hirayama “Modulation Active Structure Design Indirect Injection Sheme THz QCLs”, EMN meeting on terahertz, San Sebastian, Spain, May 16, 2016

⑥林 宗澤、寺嶋 亘、平山 秀樹“77 K 動作 THz-QCL の高出力化の試み”、第 63 回春季応用物理学会学術講演会、東工大大岡山キャンパス 2016 年 3 月 20 日

⑦林 宗澤、平山 秀樹“77 K デュワータイプ THz-QCL の高出力化”、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 2015 年 12 月 21 日

⑧ Tsung-Tse Lin, Hideki Hirayama “Indirect injection scheme THz QCLs with high operation temperature” , EMN meeting on Vacuum Electronics, Las Vegas, USA, November 22, 2015

⑨林宗澤、平山秀樹“間接注入機構を用いた THz QCL 高温動作の進展”、理研シンポジウム第 3 回「光量子工学研究」和光、2015 年 11 月 12 日

⑩林 宗澤、平山 秀樹 “モジュレーションバリア構造を用いた 3.7THz 145 K 量子カスケードレーザ” 第 76 回応用物理学会学術講演会、名古屋国際会議場 2015 年 9 月 15 日

⑪ Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama, “ Modulation barrier design Al_xGa_{1-x}As/GaAs terahertz quantum cascade lasers” The 13th International Conference on Intersubband Transitions in Quantum Wells (ITQW2015), Vienna, Austria, September 8, 2015

⑫ Tsung-Tse Lin and Hideki Hirayama, “AlGaAs/GaAs quantum cascade lasers with modulation Al composition barriers design lasing at 3.7 THz, 145 K” The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT 2015), Hamamatsu, Japan, September 1, 2015

⑬林 宗澤、寺嶋 亘、平山 秀樹“テラヘルツ量子カスケードレーザの最近の進展”平成 27 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 長崎大学 文教キャンパス 2015 年 8 月 26 日

[図書] (計 2 件)

①Tsung-Tse Lin "(chapter) THz QCLs Design Toward Real Applications" Quantum Cascade Lasers (QCLs): Types and Applications, ISBN: 978-1-53610-387-8, Nova Science Publishers, Inc. 2016

②Tsung-Tse Lin "(chapter) THz QCLs Design Toward Real Applications" Quantum Cascade Laser, ISBN 978-953-51-4905-7, InTech Publishers, Inc. 2016

6. 研究組織

(1)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

研究領域・研究員

研究者番号 : 40585155