周波数 231 GHz で動作する室温非線形量子カスケードレーザ

A room-temperature nonlinear quantum cascade laser operating at 231 GHz

浜ホト中研 ^O林 昌平, 伊藤 昭生, 道垣内 龍男, 日高 正洋, 中西 篤司, 藤田 和上

HPK CRL, °Shohei Hayashi, Akio Ito, Tatsuo Dogakiuchi, Masahiro Hitaka, Atsushi Nakanishi, and

Kazuue Fujita

E-mail: shohei.hayashi@crl.hpk.co.jp, k.fujita@crl.hpk.co.jp

非線形光学差周波発生を利用したテラヘルツ量子カスケードレーザ光源(THz 非線形 QCL)は、現在、サブ THz ~6 THz をカバーする室温動作可能な唯一のモノリシック半導体レーザ光源である.近年、活性層構造と導波路構造の最適化により、THz 非線形 QCL の性能は大幅に向上している.我々のグループでは、非線形 QCL 光源の活性層に結合二重上位準位 (DAU)構造を採用しポンプ光である中赤外光を長波長化および高出力化することで、デバイスの高性能化・低周波動作に取り組み、周波数~0.6THz での室温動作を実証した.これは 10 年以上、極低温動作でさえ 1.2 THz に留まっていた QCL の低周波数側の限界を打破するものであった.

本研究では、高い非線形感受率を有する非線形 QCL [1]に効率的な THz 取り出し法を適用しモノリシック光半 導体における室温での最低周波数動作を目指した.その結果、初めて非線形 QCL において周波数 231 GHz にて室 温動作したので報告する.

QCL 結晶構造は、半絶縁性の InP 基板上に有機金属気相成長法(MOCVD)で成長を行った.また、中赤外ポンプ 光がレーザ発振するよう光閉じ込めのための誘電体導波路が形成されている。半絶縁性 InP 基板の前面は、チェ レンコフ放射される THz 光を取り出すために約 10°に研磨されている。加えて本デバイスでは、この研磨面に Si レンズを強く押し付け THz 光の自由空間への効率的な取り出しを行うレンズ結合チェレンコフ導波路[2]を採用し た.2 種類のシングルモードの中赤外ポンプ光(@DFB1, @DFB2)を発振させるためデバイス内部には 2 種類の DFB 回折格子をレーザ共振器内に作りこんでいる.このとき各ポンプ光の差周波(@THz= @DFB1-@DFB2)が 7.7 cm⁻¹ (~231 GHz)となるように DFB 回折格子をそれぞれ設定した.図1に本デバイスから空気中に取り出された差周波(~231 GHz)の伝搬シミュレーションの結果を示す.図2とその挿入図に、リッジ幅 14 µm、キャビティ長 3 mm の素子の パルス駆動における THz と MIR の電流-光出力特性と、スペクトル測定結果を示す.THz スペクトルの測定は Si ボロメータを検出器として用いた FTIR で行った.デバイスの THz スペクトルは MIR スペクトルの差周波と一致 しており、約 231 GHz のシングルモード動作を示した.これは電流注入にて室温動作する半導体レーザ光源とし て最も低い動作周波数である.



Fig.1 Three-dimensional COMSOL simulation of Cherenkov DFG propagation from the device to air.



Fig.2 Current-light output characteristics of a 3.0 mm-long, 14µm wide device for THz and MIR peak power. Inset shows room temperature THz emission and MIR pumps spectrum.

- [1] K. Fujita, et al., "Sub-terahertz and terahertz generation in long-wavelength quantum cascade lasers," *Nanophotonics*, vol. 8, No. 12, pp. 2235–2241, (2019).
- [2] K. Fujita, et al., "Broadly tunable lens-coupled nonlinear quantum cascade lasers in the sub-THz to THz frequency range," *Photonics Research*, vol. 10, No. 3, pp. 703–710, (2022).

[謝辞]

本研究の一部は総務省 SCOPE(受付番号 JP195006001)の委託を受けたものです.また本研究を遂行し本稿を まとめるに当り, 浜松ホトニクス株式会社中央研究所材料研究室 枝村忠孝氏、黒柳和良氏に深く感謝致し ます.