

量子カスケードレーザとレーザ分光応用

(浜松ホトニクス株式会社) ○秋草直大・枝村忠孝

Quantum cascade lasers and spectroscopic applications
(Hamamatsu Photonics K.K.) Naota Akikusa and Tadatoka Edamura

Mid-infrared quantum cascade laser (QCL) and its spectroscopic applications are reviewed. Commercialization of QCL in industries supports the cutting-edge scientific technology of extensive research such as molecular spectroscopy. It contributes greatly to the future development of the optical science.

[序論] 中赤外レーザの量子カスケードレーザ (QCL) は、微量ガス計測用に実用化され 10 年が経過している⁽¹⁾。分子分光など学術分野への応用は、通常の半導体レーザよりも狭いレーザ線幅が実証^{(2),(3)}されていたにも関わらず、高精度の周辺機器などの商用化を待たねばならない状況が続いていた。ここ数年で周辺機器の商用化が進み、絶対周波数計測や光コムなどの実証例が報告され始めている。最新の QCL の開発動向や分光応用について概説する。

[特徴] 量子カスケードレーザは、中赤外 (4 μm ~10 μm) からテラヘルツ領域までの広い波長範囲で設計可能な半導体レーザである。多重量子井戸中に形成されるサブバンド間の発光電子遷移を利用したユニポーラな半導体レーザであり、正孔-電子対の再結合によりキャリア (電子) は消滅しないなど、レーザダイオード (Laser diode; LD) とは、発振原理が全く異なっている。量子カスケードレーザの活性層領域は、活性層が多段 (通常、30~50 段) にカスケード結合された構造を持ち “カスケード” レーザと呼ばれる所以となっている。

[応用例] 近赤外から約 3 μm までの短中赤外に制限されていたサブドップラー分光⁽⁴⁾、光コムへの同調⁽⁵⁾などの分光技術が、4 μm 以上の中間赤外にも展開されはじめている。我々とイタリア国立光学研究所 (CNR-INO) は、過飽和吸収キャビティリングダウン分光法 (saturated-absorption cavity ring-down spectroscopy; SCAR) により検出限界 5 ppq (pars per quadrillion) の大気中の放射性同位体炭素 $^{14}\text{CO}_2$ の計測に成功している⁽⁶⁾。

[今後] 中赤外帯の量子カスケードレーザのみならず、利得帯域が 1 μm を超える QCL ゲイン素子と MEMS 回折格子を用いた外部共振器型・波長掃引量子カスケードレーザの製品化⁽⁷⁾や、室温テラヘルツ差周波 QCL の開発に世界で初めて成功⁽⁸⁾している。QCL の発振波長域の拡大や高機能化に伴って、近赤外帯で実証されてきたレーザ分光技術の適用がいつそう進むであろう。中赤外帯の分子分光研究の動向や求められる性能について、議論できれば幸いである。

(1) 秋草直大, ほか: *OPTRONICS* **7** (2017) 92.

(2) S. Bartalini, et. al.: *Phys. Rev. Lett.* **104** (2010) 083904.

(3) S. Bartalini, et. al.: *Opt. Express.* **19** (2011) 17996.

(4) I. Galli, et. al.: *Opt. Lett.* **37** (2012) 4811.

(5) I. Galli, et. al.: *Opt. Lett.* **39** (2014) 5050.

(6) I. Galli, et. al.: *Optica* **3** (2016) 385.

(7) 枝村忠孝, ほか: *光アライアンス* **5** (2018) 6.

(8) K. Fujita, et. al.: *Nanophotonics* **7** (2017) 1795.