変調ドープ法を用いた THz QCL の特性改善に関する検討

Doping Study for High-Performance Terahertz Quantum Cascade Lasers

ウォータールー大工 [1]，理研 [2]　○(D) 三好 哲平 [1,2]，林 宗澤 [2]，王 利 [2]，Dayan Ban[1]，
Zbig Wasilewski[1]，平山 秀樹 [2]

Univ. of Waterloo [1], RIKEN[2] ◦(D)Teppei Miyoshi[1,2], Tsung-Tse Lin[2], Li Wang[2], Dayan Ban[1],
Zbig Wasilewski[1], Hideki Hirayama[2]

E-mail: teppei.miyoshi@uwaterloo.ca

序論　250K の最高動作温度の更新が報告されて以来、テラヘルツ量子井戸カスケードレーザー（THz QCL）の室温動作に向けた研究がますます加熱している。[1] 素子の動作温度向上については、これまでにも様々な要素技術の検討が行われてきたが、不純物ドーピングを取り扱った研究については報告例が限られており、更に包括的な検討が必要である。本研究では、GaAs/$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ の二重量子井戸から構成される共鳴フォノン構造（図）をベースとし、ドーピング手法（量、位置、分布）が素子特性へ与える影響の調査をデバイスシミュレーションと実験から行なっている。

方法　ドーピング条件の影響を比較するため、レート方程式をベースとしたデバイスシミュレーター[2, 3]から計算される光学ゲインを用いた。単一モジュールに対するドーピングを前提とし、ドーピング位置の影響を調べるための 4 パターン（A~D）と、分布の影響を調べるための 4 パターン（A と E~G）の比較を行なった。さらに、アンドープの条件（H）についても調査を行なった。(外部からのキャリア注入を想定している。）計算では、熱浴温度を 250K とし、全てのドーピング条件で、シートドーピング密度を 1.0×10^{10} ~ 1.0×10^{12}cm^{-2} まで変化させ、得られたゲインの最大値を比較した。

結果　ドーピング位置の比較では、フォノンウェルへのドーピング(A)が最も効果的(63.1cm^{-1})であることがわかった。また、分布条件では、フォノンウェルへの一様ドープ(F)において高いゲイン(76.2cm^{-1})が得られた。アンドープ条件(H)は、全ドープ条件中、最も高いゲイン(222.7cm^{-1})を示した。実験では、上記の結果に基づいた条件を検証している。

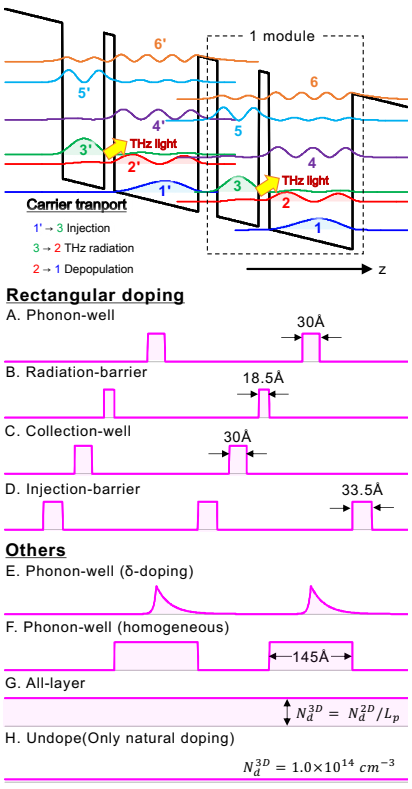

Fig. Two-well resonant-phonon structure and examined doping patterns.

参考　[1] A. Khalatpour *et al.*, Nat. Photon. **15**, 16 (2021).　[2] T. Miyoshi and D. Ban, J. Appl. Phys. **129**, 153102 (2021).　[3] T. Miyoshi and D. Ban, J. Appl. Phys. **130**, 183103 (2021).

© 2022年 応用物理学会