

# CaF<sub>2</sub>/ Si ヘテロ構造を用いた近赤外波長量子カスケードレーザの低電界化に向けた構造提案

## Suggestion of Mid-Infrate Wavelength Quantum Cascade Lasers Structures for Lower electricfield using CaF<sub>2</sub>/ SiHeterostructure

東工大工学院 ○ 杉山 裕太、鈴木 飛雄馬、范 志遠、渡辺 正裕

Tokyo Tech, Yuta Sugiyama, Hyuma Suzuki, Zhiyuan Fan, Masahiro Watanabe

E-mail: sugiyama.y.ao@m.titech.ac.jp

【はじめに】 量子井戸サブバンド間の遷移による、誘導放出・光増幅を基本原理とする量子カスケードレーザ (QCL) にシリコン (Si) を用いることで、Si によるレーザの作成が可能となる。さらに、Si 集積技術と高い親和性をもつため、シリコンフォトニクスにおける光源としての利用に期待できる。

Si 系 QCL の実現に向けて、本研究では量子井戸障壁材料にフッ化物系絶縁体の CaF<sub>2</sub> を採用している。理由は CaF<sub>2</sub> は Si との格子不整合が 0.6% と小さく、伝導体不連続 ( $\Delta E_c$ ) が 1.23 eV と大きいためである。つまり、シリコンフォトニクスを意識した近赤外波長 QCL の設計に有利な材料といえる。[1]

CaF<sub>2</sub>/ Si による近赤外波長帯 QCL について、我々は今までに 1.65  $\mu\text{m}$ , 1.70  $\mu\text{m}$  の量子井戸活性層の設計例を電流注入発光特性とともに提案してきた [?, ?]。今回は今までの設計例に対して、注入層の井戸数を増やすことで低電界化を狙った 1.76  $\mu\text{m}$  の量子井戸活性層の設計例を提案し、その設計例について、反転分布形成及びレーザ発振の可能性を共鳴トンネル電流、サブバンド内・間散乱時間、共鳴トンネル時間、閾値電流密度の観点から報告する。

【素子構造・活性層設計】 Fig.1 に電圧印加時の提案する CaF<sub>2</sub>/ Si 活性層バンドプロファイル及び遷移に関与する波動関数の確率密度分布を示す。Fig.1 より活性層は、注入層・遷移層・引抜層及び遮断層・緩和層の 4 層・5 領域による 1 周期で構成され、複数周期を積層する構造となっている。そしてこの遷移層の遷移波長は 1.76  $\mu\text{m}$  である。また緩和層の材料は n-Si であり、フ

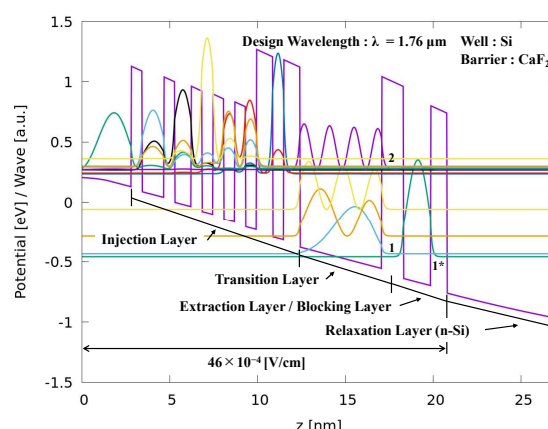


図 1: CaF<sub>2</sub>/Si 活性層バンドプロファイル

リーキャリア吸収損失としきい値電流密度のトレードオフを考慮して  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  (0.93 nm) と  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  (8.37 nm) で構成されている。

さらにこの設計の注入層は 7 つの障壁によって構成されており、電界を先行研究の  $81 \times 10^4 \text{ V/cm}$  (設計波長 1.65  $\mu\text{m}$ ) から  $46 \times 10^{-4} \text{ V/cm}^2$  とおおよそ半分に低下させることに成功している。

【反転分布形成】 Si 量子井戸構造中のフォノン散乱によるサブバンド間散乱 (準位  $2 \leftarrow 1$ )、及び共鳴トンネルのブロードニングを伴う電子引き抜き (準位  $1 \leftarrow 1^*$ ) を想定し散乱時間  $\tau_{21} \cong \tau_2 = 0.63 \text{ ps}$ ,  $\tau_1 = 0.31 \text{ ps}$  と概算した。以上のことから、反転分布条件 ( $\tau_{21} > \tau_1$ ) を達成してサブバンド設計の可能性を示した。

### 【参考文献】

- [1] G.Tei et al., Jpn.J.Appl.Phys.**60** SBBE03(2021)
- [2] 鄭他, 春季第 83 回応用物理学会, 22p-P05-1 (2022).
- [3] 斎藤他, 春季第 65 回応用物理学会, 19-P9-2 (2018).