

CaF₂/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作製プロセス

Fabrication process of near-infrared wavelength quantum cascade laser using CaF₂/Si heterostructures

東工大工学院 ○ 鄭 源幸, 劉 龍, 小柳 陽平, 渡辺 正裕

Tokyo Institute of Technology, Gensai Tei, Long Liu, Yohei Koyanagi, and Masahiro Watanabe

E-mail: tei.g.ab@m.titech.ac.jp

【はじめに】量子井戸におけるサブバンド間遷移を誘導放出・光増幅の基本原理解とする量子カスケードレーザ(QCL)は、シリコン(Si)集積回路技術との高い親和性を持ち、シリコンフォトンクス用光源としての可能性を有している。本研究で用いるフッ化物系絶縁体 CaF₂は、Si と積層エピタキシャル成長が可能で Si との界面における伝導帯バンド不連続(ΔE_C)が比較的大きい(1~2.3[eV])ため、近赤外波長領域までをカバーする QCL の設計を可能にするという特徴を持つ[1]。今回は近赤外領域($\lambda < 2[\mu\text{m}]$)の量子井戸設計とレーザの閾値電流密度の理論解析および設計に基づき、素子作製を行った。

【活性層設計・素子構造・作製】Fig.1 に電圧印加時の CaF₂/Si 活性層バンドプロファイル、及び遷移に関する状態の確率密度分布を示す。バンドプロファイル解析にはシュレーディンガー方程式とポアソン方程式を連立する自己無撞着法を用いた。1 周期の膜厚構成は

(0.62/1.24/0.62/2.48/0.62/1.86/0.93/1.55/0.93/0.93/0.93/1.22)[nm](CaF₂/Si, 下線部 n 型ドープ)である。この設計例では遷移層における発振波長は 1.70[μm]である。

また、本設計における遷移層に到達可能な電流密度は 81.1[kA/cm²]、閾値電流密度は周期数 N=25 で 1.31[kA/cm²]との計算結果を得た。素子構造の模式図を Fig.2 に示す。CaF₂/Si 活性領域を厚さ 100[nm]の n-Si 光閉じ込め層(OCL)で挟み、スラブ型導波路を形成する。ここで、OCL は活性領域への電流注入の役割も同時に担っている。活性領域は、注入層・遷移層・引抜層と緩和層からなる。この 4 つの層を 1 周期として複数周期を積層する構造である。作製プロセスに関しては、まず SOI 基板に反応性イオンエッチング(RIE)を行い下部 OCL として n-Si を 100nm 残し、250[μm]×2.5[mm]のトレんチを形成する。次に 1.0[μm]厚のスピノンガラス酸化膜(SOG)で覆った後、RIE によ

って 1.0[μm]×2.5[mm]の導波路を形成し、分子線エビタキシー法(MBE)によって CaF₂/Si 積層構造の活性領域と上部 OCL の結晶成長を行う。その後、RIE による電極コンタクト用穴あけを行い、電極を蒸着しリフトオフ、劈開を行い完成となる。

【結果と考察】RIE による導波路形成により、ウェットエッチングを使用した際[2]に比べてサイドエッチングによる導波路幅広がりを大幅に改善させた(2.7[μm]→1.0[μm])。活性層周辺の劈開後の断面 SEM 画像を Fig.3 に、導波路と電極 SEM 画像を Fig.4 に示す。この作製プロセスを適用して作製した導波路構造において、シングルモードで伝搬する透過光を確認した。今後、電流注入による電流電圧特性並びに光放出特性の評価を進める。

【参考文献】

- 斎藤他, 春季第 65 回応用物理学会, 19-P9-2 (2018)
- 大野 総一郎, "CaF₂/Si 積層ヘテロ構造を用いた量子カスケードレーザの基礎研究", Master's thesis, 東京工業大学, 2019

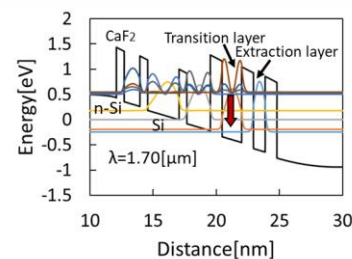


Fig.1 CaF₂/Si 活性層バンドプロファイル

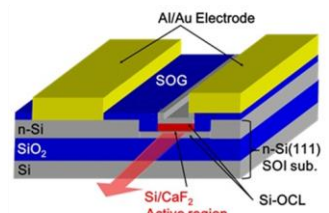


Fig.2 レーザ素子模式図

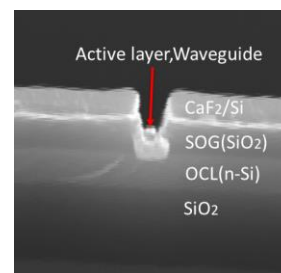


Fig.3 活性層周辺の断面 SEM 画像

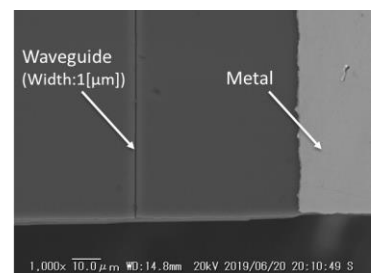


Fig.4 導波路、電極 SEM 画像