

Si/CaF₂ 量子カスケードレーザの導波路構造設計

Design and analysis of Si/CaF₂ quantum cascade lasers

東工大工学院, ○近藤弘規, 齋藤侑祐, 田辺直之, 渡辺正裕

Tokyo Institute of Technology °H. Kondo, Y. Saito, N. Tanabe and M. Watanabe

E-mail: kondo.h.ac@m.titech.ac.jp

【はじめに】 シリコン(Si)量子井戸におけるサブバンド間遷移を光増幅の基本原理とする量子カスケードレーザ(QCL)は, Si 集積回路技術と親和性の高い発光素子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, 近赤外波長帯までカバーする量子井戸活性層の設計が可能という特徴を有する.

我々はこれまでに, 電流注入可能なスラブ型導波路構造に Si 量子井戸活性層を形成し, その EL 発光特性を報告してきた^[1]が, 今回, その導波路構造を仮定した 2 次元導波モード解析を行い, 単一モード発振が期待される条件を満たす構造設計および閾値電流密度の周期数依存性について検討したので報告する.

【素子構造と設計プロセス】

素子の導波路構造図を Fig.1 に示す. Si/CaF₂ 活性層を上下の Si-光閉じ込め層(OCL)によって挟んでコアとし, その下部の SiO₂ と上部大気層をクラッドとするスラブ型導波路を構成する. また, Si-OCL は電流注入用の導電層を兼ねる. 活性層領域は注入層, 発光層, 引き抜き層, 緩和層からなり, 障壁層および引き抜き層に CaF₂, 発光遷移層に Si, 緩和層に n-Si を用いた活性層構造を仮定した.

本素子における 1 周期の膜厚構成は, (0.93/1.24/0.93/1.86/0.62/3.1/0.93/7.75)[nm]であり, Si 遷移層の設計発光波長は 3.4 μ m とした.

設計方法は, まず遷移層のサブバンド間エネルギーの設計により決まる発振波長を設定し, 単一モードとなる導波路幅を決め, 閾値電流密度を最低とする OCL の厚さを計算する. 活性層厚がある程度大きくなると Si-OCL 厚の増加に対し光閉じ込め係数が単調減少となるため電流注入の際に必要な厚さを考慮して計算を行った.

【解析結果】

導波路幅 $d = 0.5\text{--}1.0\ \mu\text{m}$ について, 活性層周期数 $N = 40$ 程度で閾値電流密度が $0.5\ \text{kA/cm}^2$ 付近の最低値を取ることがわかった. $N = 40$ 程度までは, 活性層厚の増加に対して光閉じ込め係数が増加するが, それを超えると, 注入電流を流すために最低限必要な OCL が光閉じ込め係数の上限を与えることによる. 単一モードとなる範囲で導波路幅を変化させて閾値電流密度を検証したところ最低値を与える周期数に若干の差があるものの同様の結果が得られた. 導波路幅 $1.0\ \mu\text{m}$ における基本モードの強度分布図を Fig.3 に示す.

【参考文献】

- [1] 望月他, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-A27-2, 2014

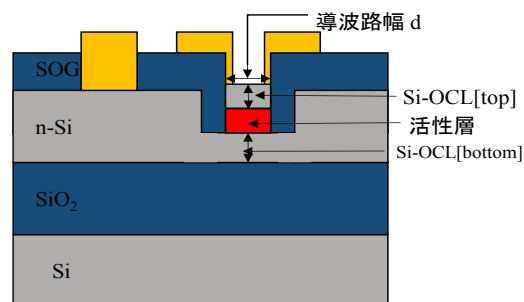


Fig. 1 素子構造図

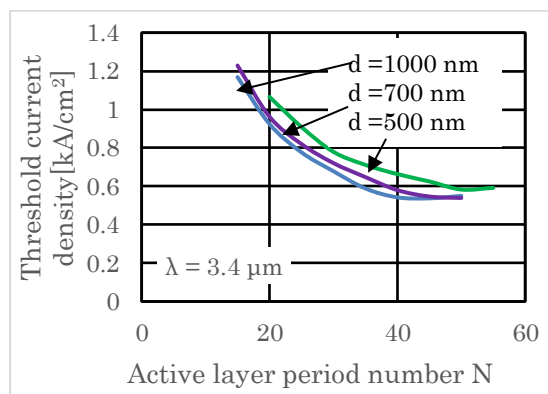


Fig. 2 閾値電流密度

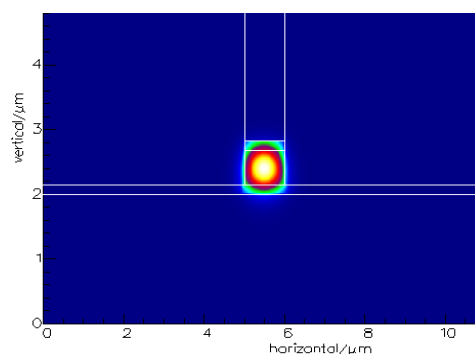


Fig. 3 基本モード強度分布図