

Si/CaF₂/CdF₂ サブバンド間遷移レーザ構造における CdF₂ 高速引き抜き層の導入と EL 増大効果

Increase of electroluminescence from Si/CaF₂/CdF₂ intersubband transition laser structures using CdF₂ extraction layer

東工大院総理工 〇望月雅人、金子大志、須田慶太、渡辺正裕

Tokyo Institute of Technology 〇M. Mochizuki, H. Kaneko, K. Suda, and M. Watanabe

E-mail: mochizuki.m.ae@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 CaF₂ と CdF₂ は、Si とエピタキシャル成長が可能で、Si とのヘテロ界面における伝導帯バンド不連続(ΔE_C)が 2.3eV(Si/CaF₂)と大きいため、近赤外波長帯までカバーする活性層の設計が可能である。

今回、SOI 基板上に Si 光閉じ込め層によるスラブ型導波路構造と電流注入機構を併せ持ち、Si/CaF₂/CdF₂ 積層ヘテロ構造による活性層 5 周期を有する QCL 構造において、LO フォノン散乱が高速なイオン性結晶である CdF₂ を引き抜き層とした構造を作製したところ、Si を引き抜き層とした場合と比較して明瞭な EL 発光ピークの増大を観測したので報告する。

【素子構造と作製プロセス】 素子の構造図を Fig.1 に示す。Si/CaF₂/CdF₂ 活性層を上下の Si 光閉じ込め層(Si-OCL)によって挟みこんでコアとし、その下部の BOX 層と上部透明電極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。Fig.2 に活性層バンドプロファイルを示す。活性領域は注入層、発光層、引き抜き層、緩和層からなり、バリア層に CaF₂、発光遷移層に Si、引き抜き層に Si または CdF₂ を用いた素子を作製し、EL スペクトルの比較を行う。

1 周期の膜厚構成は(0.62/1.55/0.62/2.48/0.62/0.62/0.62/10.85)[nm] であり、Si 遷移層の設計発光波長は 2.74μm (3→2 in Fig.2) とした。

作製プロセスは、まず SOI 層を反応性イオンエッチング(RIE)によって、下部 Si-OCL の n-Si を 140nm 残し、幅 200μm のトレンチ状にエッチングする。その後、水素雰囲気中の 900°C アニールにより原子レベル平坦化を行う。次に、スピノングラス(SOG)絶縁層で表面を覆った後、活性層成長領域をトレンチ状に窓開し、MBE 装置に搬入する。活性層成長領域表面の保護酸化膜を除去し、部分イオン化 MBE 法を用いて Ts=80°C で Si/CaF₂/CdF₂ ヘテロ構造による活性領域を 5 周期形成した後、導波路形成のため n-Si を 140nm 堆積させる。試料を大気中に取り出し、トレンチ外の SiO₂ 上に堆積された Si/CaF₂/CdF₂ 混合物をエッチング除去した上、コンタクト電極、及び活性層上部電極を窓開してリフトオフによる電極形成を行うことで完成となる。電流注入発光測定は、受光器に InSb 半導体検出器、分光には FT-IR(Nicolet 8700)を用い、1kHz の電流注入パルスに同期したロックイン検出を行った。

【実験結果】 パルス駆動にて EL 発光強度スペクトルを測定し、注入層の光子数で規格化した結果を Fig.3 に示す。25K で波長 2.28μm 及び 2.74μm 付近で明瞭な EL 発光ピークを観測した。引き抜き層に Si を用いた同構造の素子と比較すると、設計波長 2.74μm における光子数が 2.9 倍に増大しており、緩和時間の短い CdF₂ による高速な引き抜きの効果が示唆された。

【参考文献】 [1] 梶浦俊祐 他, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30p-ZB-2

[2] 瀬川美奈人 他, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 28p-G5-15

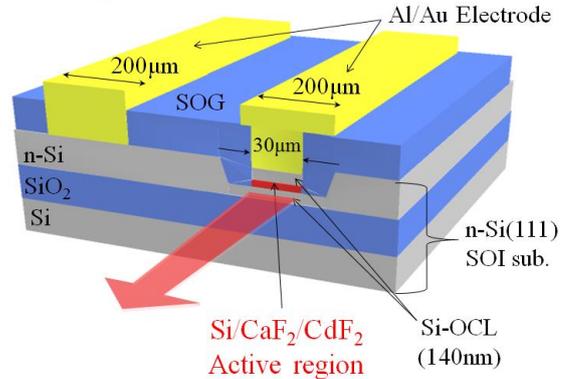


Fig. 1 素子構造

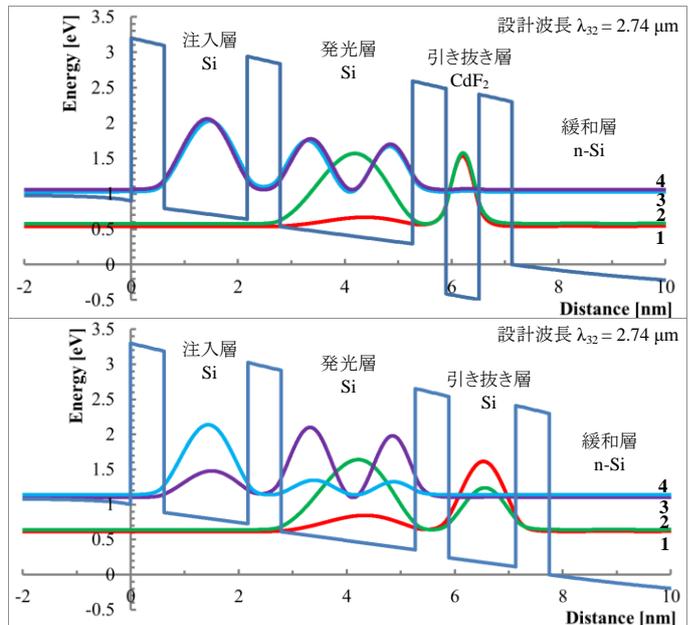


Fig. 2 活性層バンドプロファイル(上: 引き抜き層 CdF₂, 下: Si)

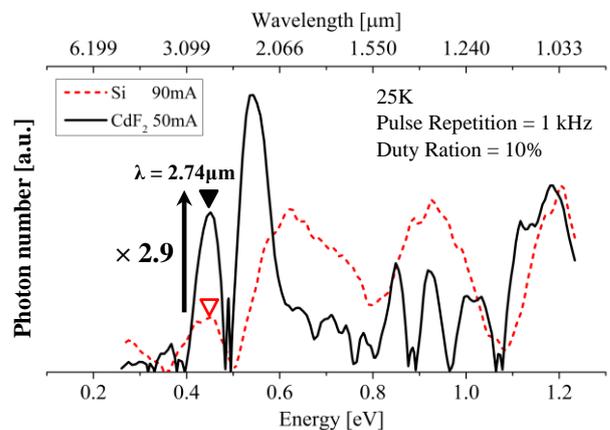


Fig. 3 EL光子数のエネルギースペクトル