

## Si/CaF<sub>2</sub> 量子井戸サブバンド間遷移レーザーの 近赤外波長活性層設計

### Design and analysis of Si/CaF<sub>2</sub> near-infrared intersubband transition lasers

東工大工学院 ○大野綜一郎, 劉龍, 齋藤侑祐, 近藤弘規, 渡辺正裕

Tokyo Tech, Soichiro Ono, Liu Long, Yusuke Saito, Hiroki Kondo, and Masahiro Watanabe

E-mail: ono.s.aq@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・光増幅の基本原理とする量子カスケードレーザー(QCL)は、シリコン(Si)集積回路技術と親和性の高い個体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 CaF<sub>2</sub> 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( $\Delta E_c$ )が比較的大きい(1~2.3eV)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。

我々はこれまでに、単一障壁トンネルダイオードや共鳴トンネルダイオードの電流電圧特性の評価から、CaF<sub>2</sub> の層厚が数原子層オーダーになると、Si-CaF<sub>2</sub> 界面の  $\Delta E_c$  及び CaF<sub>2</sub> の有効質量  $m^*$  等を膜厚に依存して補正する必要があることを報告してきた[1]。これまでに、2 原子層厚の CaF<sub>2</sub> の物性値を報告し[2]、また、補正された物性値を適用して波長 2.45 $\mu$ m のサブバンド間遷移スキームに基づく量子井戸の設計例等について報告してきた [3]。今回は近赤外領域( $\lambda < 2\mu$ m)の量子井戸設計とレーザーの閾値電流密度の理論解析を行ったので報告する。

【素子構造・準位設計】素子構造の模式図を Fig.1 に示す。Si/CaF<sub>2</sub> 活性領域を厚さ 50~100nm 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を仮定した。Fig.2 に電圧印加時の Si/CaF<sub>2</sub> の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。緩和層を除く1周期の膜厚構成は(0.62/1.24/0.62/2.48/0.93/1.86/0.93/1.55/0.93/

0.93/0.93)[nm]である。この設計例では発振波長は 1.71 $\mu$ m である。導波路のモード解析、及び、伝搬損失を  $20\text{cm}^{-1}$  と仮定した発振閾値電流密度計算を行ったところ、周期数  $N=10$  で 1.34  $\text{kA/cm}^2$  を得た。n-Si 層から注入可能な電流密度や注入効率についても併せて議論する。

#### 【参考文献】

- [1] K.Suda et al., Jpn. J. Appl. Phys. 54 04DJ05 (2015)
- [2] 田辺他, 春季第 63 回応用物理学会, 20a-S223-7 (2016)
- [3] 齋藤他, 春季第 64 回応用物理学会, 16p-P7-36 (2017)

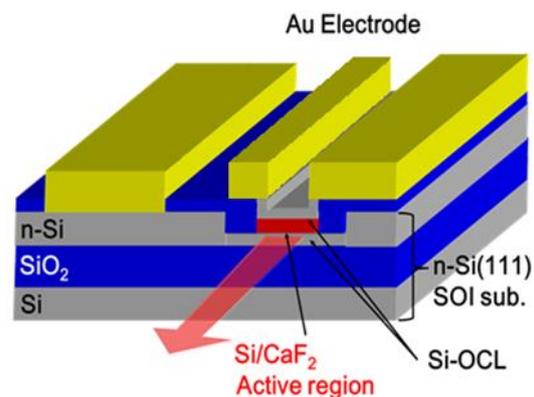


Fig.1 レーザ素子構造模式図

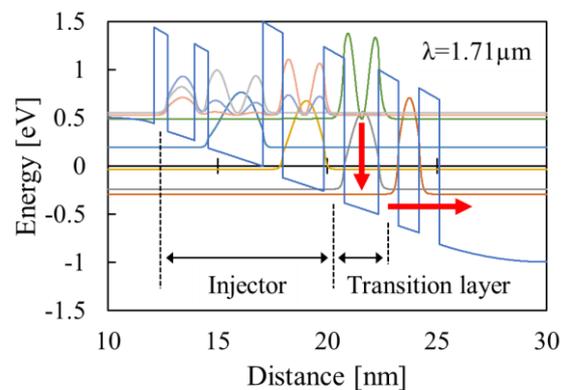


Fig.2 量子井戸バンドプロファイル