

Si/CaF₂ 量子カスケードレーザの導波路構造作製と評価

Fabrication and evaluation of waveguide structure of Si/CaF₂ quantum cascade lasers

東工大工学院、[○]近藤弘規、齋藤侑祐、渡辺正裕
 Tokyo Institute of Technology [○]H. Kondo, Y. Saito, 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解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、導波路の高い比屈折率差と側壁粗さから生まれる散乱損失を抑えるための作製プロセスについて検討し、側壁粗さの実測値から理論計算により伝搬損失の見積もりを行ったので報告する。

【素子構造と作製および評価プロセス】

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。

EB リソグラフィにより生じるレジストパターンエッジ部粗さを抑制する手法として、エッジ部の露光量を多くすることにより、レジストポリマー内の感度不均一の影響を低減する手法が報告されている^[2]。本研究ではこの手法を基にして側壁粗さの小さい導波路作製プロセスを調査した。

Si 基板に SOG を塗布し、導波路および活性層の成長領域となる幅 1.0 μm 、長さ 2.5 mm、深さ 700 nm の溝を EB 露光および CF₄ ガスを用いた反応性イオンエッチングにより形成した。描画の際にパターン内部を均一に露光したものとエッジ部分のみ露光強度を増大させたものの 2 通りを行った。レジストは gl2000-H を使用し、CF₄ によるドライエッチングで SiO₂ 層へ転写を行った。転写後、素子上部の SEM 像を観察したものを Fig.2 に示した。側壁の凹凸を二乗平方根平均値 σ により評価した。

【実験結果】

エッチング後の側壁粗さを実測した結果、パターン内部を均一に露光した場合(a)の粗さ σ_1 は 11.1 nm、エッジ部分の露光量を 2 倍に増大した場合(b)の粗さ

σ_2 は 7.38 nm となり、エッジ部分の露光量増大による粗さの低減効果を確認した。これは、発振波長 3.4 μm を仮定した場合、11.9 cm^{-1} の導波路損失に相当する。(Fig.3)

ウェット転写プロセス(c)と比較すると 3 倍近い改善が示唆された。発表では、予想されるレーザ閾値電流密度との関係についても議論する。

【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
- [2] Kenji Y. et al. Edge-Enhancement Writing for Electron Beam Nanolithography Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 (2003) pp. 3833-3837

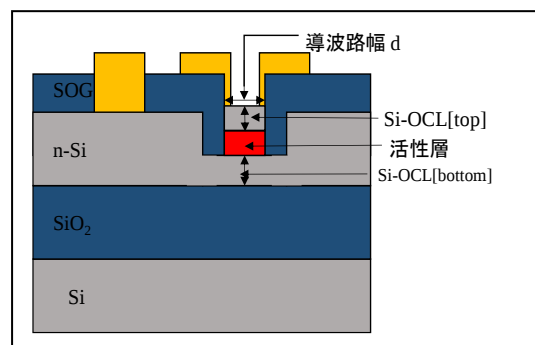


Fig. 1 素子構造

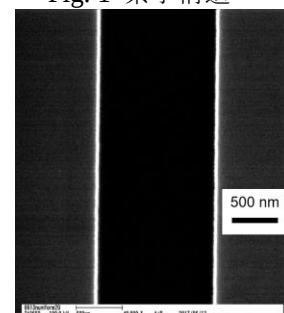


Fig.2 側壁上部SEM像

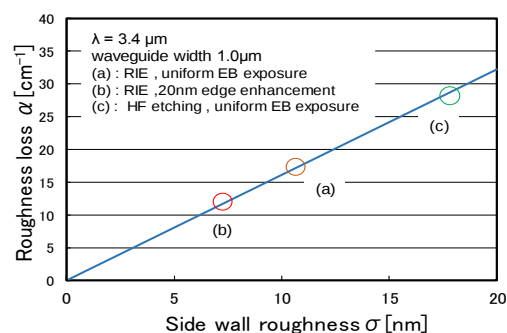


Fig. 3 損失の側壁粗さ依存性