

フォトリソグラフィで作製した高 Q 値ナノ共振器 シリコンラマンレーザー

大阪府立大学
太田雄士

大阪公立大学

桂 正晃, 高橋 和

国立研究開発法人産業技術総合研究所
岡野 誠

1. はじめに

電子集積回路 (IC) と半導体レーザーは、動画配信, SNS, 金融など, 我々の暮らしに欠かせなくなった ICT サービスの根幹を担う製品である。IC の中核をなす材料は, 産業の頭脳とも呼ばれ始めたシリコンである。一方, 光通信技術に欠かせない半導体レーザーは III 族元素 (アルミニウム, ガリウム, インジウム) と, V 族元素 (窒素, リン, ヒ素) による III-V 族化合物半導体がほぼ 100% である。半導体レーザーが発明されて 60 年, 実用化して 40 年が経過したが, 実用的なシリコンレーザーは実現していない²⁾。

シリコンは間接遷移型半導体であり, 図 1(a) に示すように伝導帯の最低エネルギーの波数と価電子帯の最高エネルギーの波数が大きく異なる。電子が異なるエネルギー状態に遷移するためには, エネルギー保存則と波数の保存則 (運動量の保存則) が満たされる必要がある。光が持つ波数はとても小さい。そのため, 間接遷移型半導体の伝導帯電子は, そのエネルギーを光として放出して価電子帯に遷移することが困難である。そのため, シリコン中の励起電子のエネルギーの 99% 以上は, 大きな波数をもつフォノン(熱)として放出される (図中, 非輻射再結合)³⁾。

シリコンレーザーにより実現するビジネスはそれほど明快ではないが, この 10 年で, データセンター内のような短距離光通信が有望となってきた。データセンターの消費電力を抑えるキーテクノロジーとしてシリコン光素子 (導波路, 波長フィルター, 受光素子など) を集積化した小型トランシーバーが期待されている。半導体レーザー以外の光コンポーネントの中心材料は, 従来, ガラスであった。しかしガラスは小型化, 集積化には不向きであり, 作製コストも高い。シリコンはこれらの点でガラスを大きく凌駕しており, しかも屈折率がガラスの 2 倍以上あるため, 光を閉じ込める能力が高い。

シリコントランシーバーの光源に III-V 族化合物半導体レーザーを用いた場合, 異なる半導体チップ間の光接続を低コスト, 低損失で行うことが課題となる。光は屈折率が異なる界面で反射, 屈折を生じて, これが光損失となる。損失を低減する設計が見いだせても, 光素子を小さくするほどチップのアライメントが困難となり, アライメントがサブマイクロメートルずれただけで大きな光損失が生じる。それぞれの半導体チップの作製コストの 100 倍, ときには

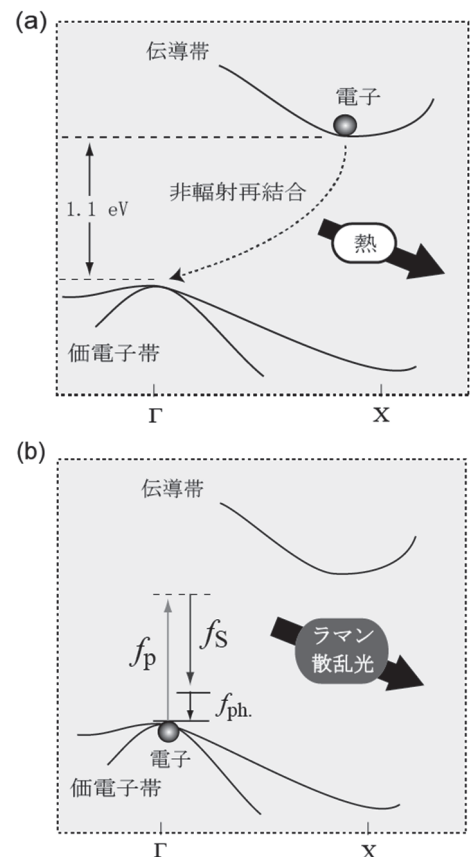


図 1 (a) シリコンのバンド図と非輻射過程. (b) ラマン散乱過程. f_p : 励起光の周波数, f_s : ラマン散乱光の周波数. f_{ph} : シリコンのフォノン周波数.