

シリコンフォトニック結晶光ナノ共振器におけるラマン効果の 増強に関する研究

高橋 和（大阪府立大学・21世紀科学研究機構）

高 Q 値と波長程度の微小モード体積を半導体内部で同時に実現することが可能なフォトニック結晶光ナノ共振器は、既存技術では利用困難であった光効果に基づくデバイス創成が期待されている。研究代表者はこれまでフォトニック結晶共振器として世界最高 Q 値 250 万を持つシリコンナノ共振器の作製に成功しており [1]、この新規な光素子を用いた極微小シリコンラマンレーザ素子開発を目指している。その実現に向けて本研究では、シリコンフォトニック結晶高 Q 光ナノ共振器におけるラマン効果増大の検証を実験的に行う。 Q 値数百万、長さ数 μm のシリコンナノ共振器を利得媒質として用いることで物質と光の相互作用を飛躍的に高め、既存技術では実現不可能な極微小シリコンラマンレーザデバイス開発の可能性を探る。

近年 LSI の処理速度、コスト、消費電力はますますデータ伝送部分が支配するようになってきている。そのため光配線が注目を集め、既存技術との整合性・コストの観点からシリコンを主体とした光集積回路技術が世界中で精力的に研究されている。シリコン光配線には様々な技術的課題が存在するが、とりわけ大きな問題はシリコンが間接遷移型半導体であるため光増幅器の構成が物理的に困難な点である。これまで様々なエンジニアリングによりシリコンのバンド間遷移確率の増大が試みられてきたが、2002 年にバンド間遷移ではなく誘導ラマン

散乱を用いた光増幅方式が提案され [2]、2005 年にシリコン導波路を用いたラマンレーザ連続発振が Intel 社から報告されている [3]。しかし Intel 社のデバイスには改善すべき課題がいくつかある。なかでも光利得を得る為の導波路長が 4.8 cm と長いこと、発振閾値が数百 mW と高いこと、2 光子吸収により発生したキャリアを引き抜く為に PiN 構造と印加電圧 10 V を要することが挙げられる。 Q 値数百万、長さ数 μm のナノ共振器を利得媒質に用いればラマン効果が増強されるので印加電圧なしでラマンレーザ連続発振が可能と予想され、この点が本研究の最大の特色である。このようなデバイスは未来 LSI への導入が期待されている光配線技術における波長変換器・光増幅器、医療・バイオ・環境分野で重要な安価な近赤外レーザ光源という幅広い応用可能性を持つと考えられ、ハイリスクではあるが挑戦がいのあるテーマである。

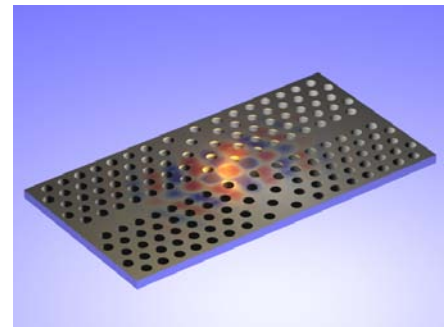


図 1. 光ナノ共振器。空気孔の格子定数を僅かに変えた部分に光が閉じ込められる。

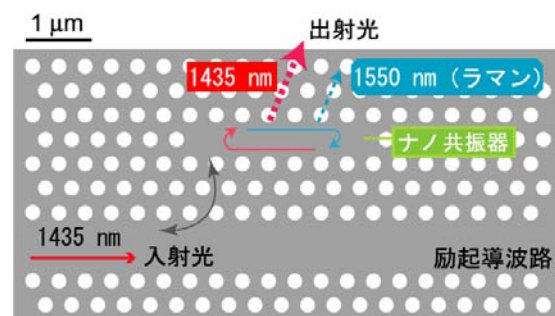


図 2. ナノ共振器からのラマン散乱光放出の模式図。共振波長 1435 nm、ラマン散乱光 1550 nm。

図2は高 Q ナノ共振器におけるラマン散乱光発生の概略図である。例えばナノ共振器の共振波長が1435 nm のとき励起導波路に1435 nm の光を入射すると共振器に入射光が捕獲される。このとき共振器内ではラマン効果によりシリコンの光学フォノンエネルギー15.6 THz 分だけエネルギーシフトした波長1550 nm の光が生成され、共振器上部へ励起光と同時に放出される。物質と光の相互作用は Q/V に比例するので、 Q 値数百万、波長の3乗程度のモード体積を持つナノ共振器内では、通常のシリコン細線導波路やフォトニック結晶導波路に比べて強いラマン散乱光強度が得られると期待される。

しかしラマン散乱は効率の低い3次の光非線形効果であり、その散乱光は微弱光になることが知られている。加えてナノ共振器は微小体積ゆえに共振器内に入射できる光エネルギーが非常に小さい。そのためナノ共振器による増強効果が得られたとしてもナノ共振器からのラマン散乱光の検出には高度な顕微分光測定系構築が求められる。光通信波長域におけるシリコンからのラマン散乱光の顕微分光は報告例が少ないため、図3に示すような顕微光学系を独自に開発する。励起光を遮断する高性能フィルターや液体窒素冷却方式のInGaAs検出器、ロックイン測定などを用いるなど検出感度を向上させる工夫を施す予定である。

ナノ共振器からのラマン散乱光を光通信波長帯において確認した次には、共振器の Q 値と体積の大きさがラマン効果とその他の光非線形効果にどのような影響をもたらすか系統立てて調べていく。ナノ共振器の Q 値とモード体積 V は共振器構造や空気孔パラメータを変えることで共振波長を同一に保ちながら変化させることが可能であるので、様々な共振器構造における散乱光強度の変化を観察することでこの系におけるラマン効果増大の学理を理論計算と比較しながら解明していく予定である。これらの研究を通してラマンレーザ連続発振に向けた課題を明らかとしたい。特にどの程度の Q 値が必要で閾値はどの程度まで小さくできるのかを明確にする。

参考文献

- [1] Y. Takahashi, *et. al.*, Opt. Express **15**, 17206-17213 (2007).
- [2] R. Claps, *et. al.*, IEE Electron. Lett. **38**, 1352 (2002).
- [3] H. Rong, *et. al.*, Nature **433**, 725-727 (2005).

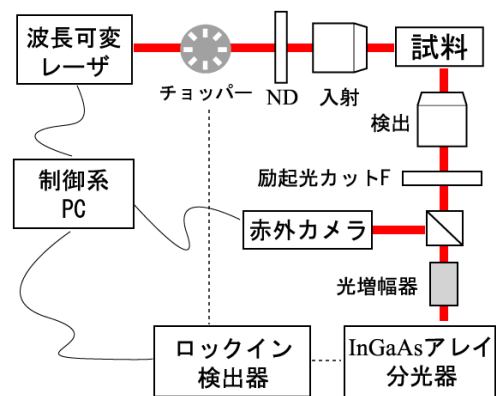


図3. ナノ共振器からの微弱ラマン光を測定するための顕微分光系。