

# シリコンナイトライド微小光共振器の光学特性評価

大塚民貴(M1)

シリコンナイトライド微小光共振器は、マイクロリング光共振器のひとつであり、光の閉じ込め性能が非常に高いため、微小光共振器内で効率的に 3 次の非線形光学効果を引き起こすことが出来る。このことから、非線形光学効果を利用したマイクロコムの発生に適しており、大容量光通信や LiDAR など様々な用途に応用が期待される。本研究では、シリコンナイトライド共振器の特性評価を行い、大容量光通信への応用可能性の検討を行った。

キーワード：微小光共振器，マイクロコム，ソリトンステップ

## 1. 背景

光周波数コムとは、周波数軸上に等間隔に並んだモード成分からなる光のことであり、周波数スペクトルが楕円状に見えることから光周波数コム(Optical frequency comb)と呼ばれる。1999 年に Hänsch らによって超短パルスモード同期レーザを用いた光周波数コムで周波数計測ができることが発表された。この研究は 2005 年に精密分光への貢献によりノーベル物理学賞を受賞している。

近年、この光周波数コムを微小光共振器を用いることによって発生させる研究が盛んに行われている。微小共振器にはマイクロリング光共振器が多く用いられており、マイクロリング光共振器は高い Q 値を持ち、光閉じ込め性能が優れている。このようなマイクロリング微小光共振器に光を入射すると、内部の光エネルギー密度が高まり、光と物質の相互作用が強まることで、非線形光学効果が観測される。マイクロコムは、このような非線形光学効果を用いて発生させた光コムをいう。マイクロコムは、従来の超短パルスモード同期レーザを用いた光周波数コム発生システムから、更なる小型化、低コスト化、省エネルギー化の可能性を持っている[1,2]。

## 2. シリコンナイトライド微小共振器

シリコンナイトライド微小共振器は、高い光閉じ込め性能を持ち、CMOS 互換プロセスで作製されることから、構造の精密な作製が可能であり、一般的に広く使用されているプラットフォームである。結晶型光共振器と比較し、シリコンナイトライド微小光共振器の Q 値は、製造プロセス中のエッチングに起因する表面粗さによって引き起こされる散乱損失のため制限される。しかし、これはシリカやフッ化物より数十倍高い非線形屈折率によって非常に小さいモード領域となるため補償される。最近の研究では、製造プロセスの改善に努めることにより、 $10^7$  の高 Q 値シリコンナイトライド微小光共振器が実証されました[3,4]。

## 3. シリコンナイトライド微小光共振器の特性評価

シリコンナイトライド微小光共振器は共振器の設計を行い、Ligentec というファウンダリに作製を依頼し

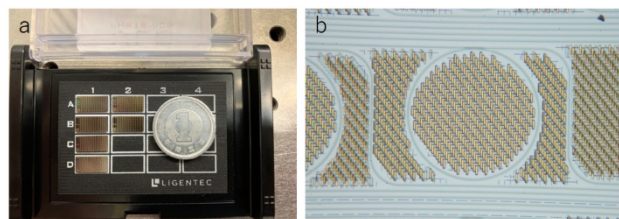


図 1 : (a)  $5 \times 10$  [mm] のシリコンナイトライドチップ。1 チップに約 100 個作製可能。 (b) シリコンナイトライド微小光共振器。

た。設計にあたり変化させたパラメータは、リングの直径、導波路の幅、ギャップ幅の 3 点である。リングの直径は共振器長に依存するマイクロコムのモード間隔である FSR を任意の値とするために変化させた。導波路幅は先行研究[5]を参考に設計を行った。ギャップは導波路とリングの結合を変化による Q 値を調べるため、 $0.3 \mu\text{m} \sim 0.52 \mu\text{m}$  と幅広く変化させている。

納品されたシリコンナイトライド微小光共振器の基礎特性の評価を行った。まず光学 Q 値の測定を行った。測定方法は、シリコンナイトライド微小光共振器に波長可変レーザを用いてレーザを入力する。入力波長を掃引し、波長ごとの透過強度をパワーメータで測定する。測定した結果から、 $\Delta\lambda$  を求め、そこから Q 値を算出する。

測定した結果、Q 値は  $10^6$  を超えており、マイクロコム発生に十分な Q 値を得ることが出来た。ここで測定したシリコンナイトライド微小光共振器は  $\text{FSR} = 99.84$  [GHz],  $\text{Gap} = 0.36$  [ $\mu\text{m}$ ], Q 値は  $1.4 \times 10^6$  であった。

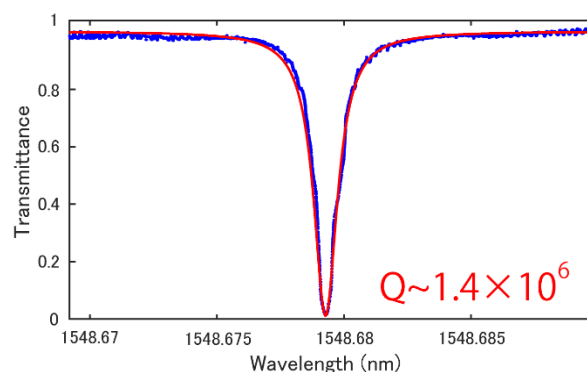


図 2 : 測定した透過スペクトルから 1 つを抜き出し、ローレンツ関数にフィッティングした結果。

#### 4. シリコンナイトライド微小光共振器を用いたマイクロコム発生および応用の検討

十分な Q 値を確認したシリコンナイトライド微小光共振器を用いてマイクロコムの観測を行った。マイクロコムは、外部入力レーザーの波長を短波長側から長波長側へ掃引することによって発生させることができる。シリコンナイトライド微小光共振器内で非線形光学効果である四光波混合が連続的に発生することによって形成される。観測されたマイクロコムを図 3 に示す。

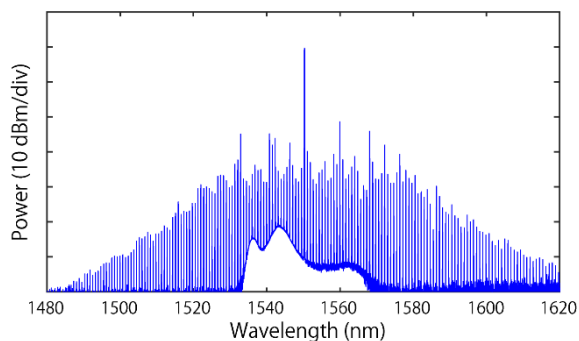


図 3：シリコンナイトライド微小光共振器を用いて発生させたマイクロコムのスペクトル。

近年、マイクロコムを応用した WDM 通信の研究が報告されている[6]。今後の Society 5.0 実現に向けて伝送容量の増大が続いていき、新たに高精度な光源の需要が高まっていく中、この需要を満たす光源としてマイクロコム光源が適していると考えられる。そのため、本研究では、マイクロコムの WDM 通信応用の可能性を検討した。マイクロコムを WDM 通信へ応用するために国際電気通信連合により規定された ITU-T グリッドを考慮する必要がある。本研究では、熱光学効果を応用し、ITU-T グリッドへの合わせこみを行った。熱光学効果を応用し ITU-T グリッドへ合わせこみ、ITU-T グリッドのアンカー周波数をポンプすることにより、マイクロコムを発生させた。発生させたマイクロコムはポンプ波長を中心に、波長誤差 0.1 nm 以下で 20 ch 以上の合わせこみを達成した (図 4)。

光通信に応用する場合、狭線幅なレーザーが求められる。そのため、発生させたマイクロコムの線幅測定を行った。線幅測定は自己遅延ヘテロダイン法を用いて行い、遅延は 2 km とした。測定し、得られた結果を図 5 に示す。得られた線幅は、およそ 80 kHz となっており、十分な狭線幅であるといえる。

#### 5. 結論

シリコンナイトライド微小光共振器の特性評価を行った。Q 値は  $1.4 \times 10^6$  を得ることができ、マイクロコム発生に十分な Q 値であった。マイクロコム発生を行い、IFSR の MI コムを発生させた。さらに、光通信応用を見据え、ITU-T グリッドに合わせたマイクロコムの発生も行い、波長誤差 0.1 nm 以下の合わせこみを達成した。その際、線幅を測定し

た結果、約 80 kHz の線幅を得ることが出来、十分な狭線幅であることを確認した。

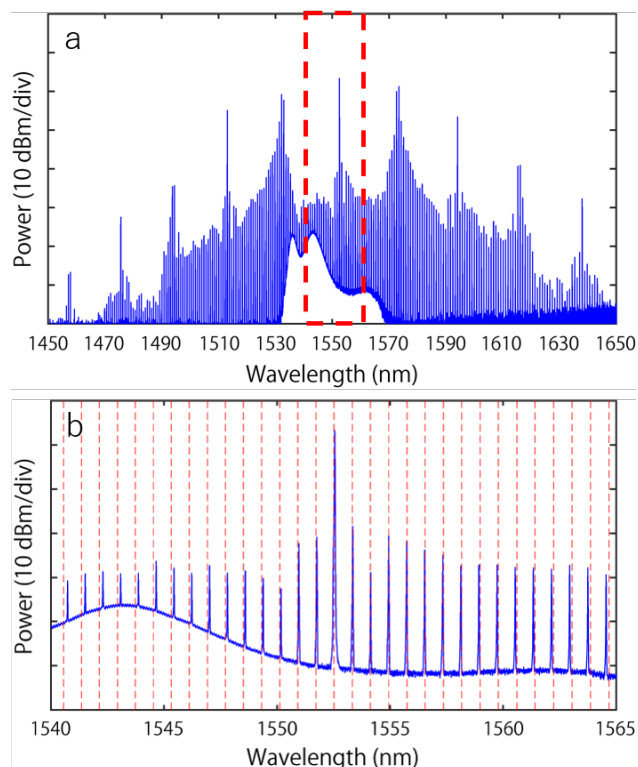


図 4:(a)ITU-T グリッドに共振波長を合わせこみ、発生させたマイクロコム。(b)発生させたマイクロコムの 1540 nm ~ 1565 nm 範囲の拡大図。青線：マイクロコムのスペクトル、赤線：ITU-T グリッド

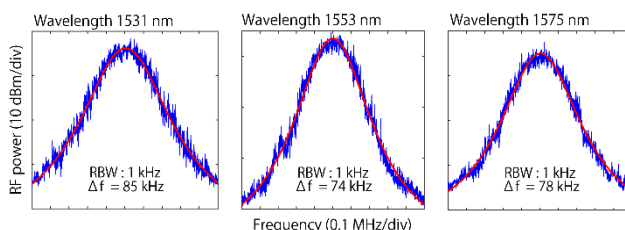


図 5: 発生させたマイクロコムの線幅。左から波長 1531 nm, 1533 nm, 1575 nm のスペクトルを測定している。

#### 参考文献

- [1] P. Del’Haye, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 063901 (2011)
- [2] T. J. Kippenberg, *et al.*, Science **332**, 555 (2011)
- [3] Y. Xuan, *et al.*, Optica **3**, 1171 (2016)
- [4] X. Ji, *et al.*, Optica **4**, 619 (2017)
- [5] A. Kordts, *et al.*, Opt. Lett. **41**, 452 (2016)
- [6] Pablo Marin-Palomo, *et al.*, Nature **546**, 274 (2017)