

## 微小光共振器による位相制御された光周波数コム光源の開発

研究代表者

田邊孝純 慶應義塾大学理工学部電子工学科

共同研究者

神成文彦 慶應義塾大学理工学部電子工学科

津田裕之 慶應義塾大学理工学部電子工学科



### 1. 研究の背景と達成目標

微小光共振器を用いると光を小さな領域に強く閉じ込めることができる。共振器の中では、光と物質の相互作用が究極的に高まり、容易に光学非線形効果を得ることができる。本研究ではシリカ製の微小光共振器を用いて、共振器内で発生する四光波混合光を利用して、共振器の共鳴波長に一致した縦モード間隔での光コムの発生を目指す。シリカトロイド微小光共振器はチップ集積可能であり、発生する光コムは理想的には位相関係が保たれるので、チップに微弱な連続光を入れるだけで自動的に高速な繰り返し光パルスが発生可能な素子が開発できることが期待される。すなわち本研究では、シリカトロイド微小光共振器において、微弱な連続光から高繰り返し光パルス列の発生とその制御の実現を目指す。また本素子を将来的に実験室から持ち出すことを想定し、機械的に安定した光入出力系の開発も行う。

### 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・レーザリフロー時の熱分布を詳細に解析することで、均一なトロイド微小光共振器の作製に成功し、等間隔な縦モード間隔を有する微小光共振器を作製した。
- ・光の閉じ込め係数を表す  $Q$  値  $> 2.1 \times 10^6$  のトロイド微小光共振器の作製を実現した。
- ・多角トロイド微小光共振器を用いて、テーパ光ファイバを共振器の側面に接触させても最適な結合が得られることを示した
- ・約 200 mW の光入力で縦モード間隔が 850 GHz 間隔の光コムの発生に成功した。

### 3. 研究成果

高  $Q$  値シリカトロイド微小光共振器を作製するためにキーとなるのが、レーザリフロープロセスであり、熱源となる  $\text{CO}_2$  レーザを共振器に均一に照射することで、ディスク状の共振器の表面を熔融させて、光が共振器の淵を周回する際の光散乱を低減させ、等間隔の縦モードを有し、光閉じ込め係数をあらかず  $Q$  値  $> 2.1 \times 10^6$  のシリカトロイド微小光共振器の作製を実現した。

次に、シリカトロイド微小光共振器における 3 次非線形効果の理論解析をおこない、光ファイバと共振器の結合を最適に設計することで、熱の影響を受けずに 3 次光学非線形を観察できることを示した。本成果はアメリカ光学学会の注目論文として *Spotlight on Optics* に選定された。

そこで、作製したシリカトロイド微小光共振器に 1550 nm の連続光を入射し、出力スペクトルを測定し(図 1)、共振器の縦モード間隔に一致した四光波混合光が発生していることを確認した。スペクトル間隔から見積もられる繰光パルスの繰り返しレートは 850 GHz であった。

最後に、本素子を実験室外に持ち出すため、従来円形形状のみであった共振器を多角形状化し、テーパ光ファイバを共振器に接触させた状態でも最適な光結合が得られることを示した。本成果は、チップ上で実現する光コム光源の実験室外への持ち出しの可能性につながる成果である。

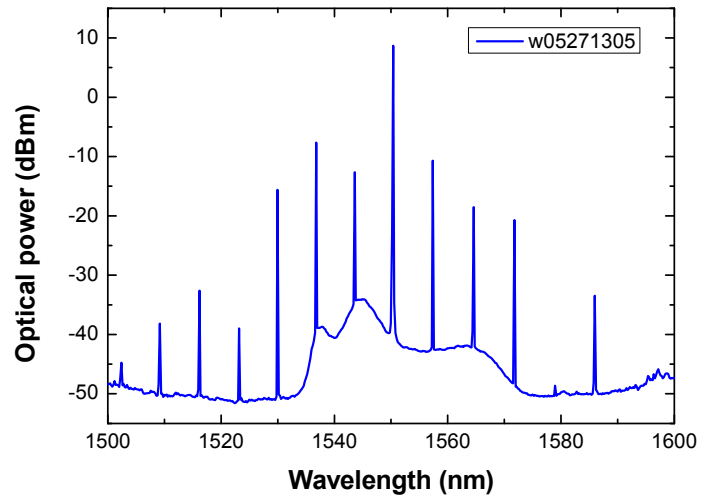


図1：約 200 mW の連続光を入力したときに発生するシリカトロイド微小光共振器からの光コムのスペクトル。

#### 4. 今後の展開

チップ上で実現する光コム光源の開発は、急速に競争が激化してきた。多くは大型な固体レーザに匹敵する周波数安定性を目指して研究を進めているが、我々はチップ上で実現する

光源という特色を最大限に活用するために、実験室外への持ち出しに注力することで、本研究を純粹基礎研究から課題達成型基礎研究へと展開させていけると考えている。

#### 5. 発表実績

国際学術論文

- [1] T. Kato, W. Yoshiki, R. Suzuki, and T. Tanabe, "Octagonal silica toroidal microcavity for controlled optical coupling," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 101, 121101 (2012).
- [2] W. Yoshiki and T. Tanabe, "Analysis of bistable memory in silica toroid microcavity," *J. Opt. Soc. Amer. B*, Vol. 29, No. 12, pp. 3335-3343 (2012). (spotlight on optics に選定)
- [3] H. Kudo, Y. Ogawa, T. Kato, A. Yokoo, and T. Tanabe, "Fabrication of whispering gallery mode cavity using crystal growth," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 102, 211105 (2013).

査読付き国際会議論文発表

- [1] W. Yoshiki and T. Tanabe, "Rigorous analysis of bistable memory in silica toroid microcavity," Conference on Lasers and Electro-Optics and International Quantum Electronics Conference (CLEO2012), CM2M.8, San Jose, May 6-11 (2012).
- [2] W. Yoshiki, K. Ishikawa, and T. Tanabe, "Demonstration of wavelength tuning of silica toroid microcavity via additional laser reflow," The European Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-IQEC), CK-P.7, München, May 12-16 (2013).
- [3] H. Kudo, R. Suzuki, A. Yokoo and T. Tanabe, "High-Q sapphire WGM cavities fabricated by crystal growth," The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2013), San Jose, June 9-14(2013)
- [4] R. Suzuki, T. Kato and T. Tanabe, "Octagonal toroid microcavity for mechanically robust coupling with optical fiber", The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2013), JTu4A.44, San Jose, June 9-14 (2013).
- [5] H. Kudo, R. Suzuki, T. Kato, A. Yokoo and T. Tanabe, "Analysis and experimental measurement of the Q factor of hexagonal microcavities fabricated with crystal growth," CLEO-PR & OECC/PS, WI1-4, Kyoto, June 30-July 4 (2013).