

シリカトロイド共振器の光カーコム発生におけるラマン散乱の影響

Influence of Raman scattering on Kerr comb generation in a silica toroid microcavity

○加藤 拓巳、小島 知也、陳 哲倫、長野 拓真、田邊 孝純（慶大理工）

○Takumi Kato, Tomoya Kobatake, Zhelun Chen, Takuma Nagano, and Takasumi Tanabe (Keio Univ.)

E-mail: takumi@phot.elec.keio.ac.jp, takasumi@elec.keio.ac.jp

高 Q 値かつ低モード体積を実現する微小光共振器は、光密度を劇的に高めることができるため、低入力パワーにおいて非線形光学効果を効率よく起こすことができる。中でも、3次の非線形光学効果である四光波混合(FWM)を介した光コム発生が注目されており、モード同期を達成した例も報告されている[1,2]。本研究では、シリカトロイド共振器における光カーコム発生過程におけるラマン散乱の影響をシミュレーションにより解析した。広帯域なラマン散乱はシリカ特有であり、これによって、ラマン散乱と四光波混合が競合して、光カーコムの形成に寄与していることを示したので報告する。

微小光共振器内での光カーコムの発生過程の解析は摂動を含んだ非線形シュレーディンガー方程式である Lugiato-Lefever モデルを用いておこなった[3]。

$$t_R \frac{\partial^2 E}{\partial r^2} = \left(-\frac{\alpha}{2} - \frac{\kappa}{2} - i\delta - \frac{iL\beta_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} + N \right) E + \sqrt{\kappa} S \quad (1)$$

$$N = i\gamma L \left(\int_{-\infty}^{\infty} R(t') |E(t-t')|^2 dt' \right) \quad (2)$$

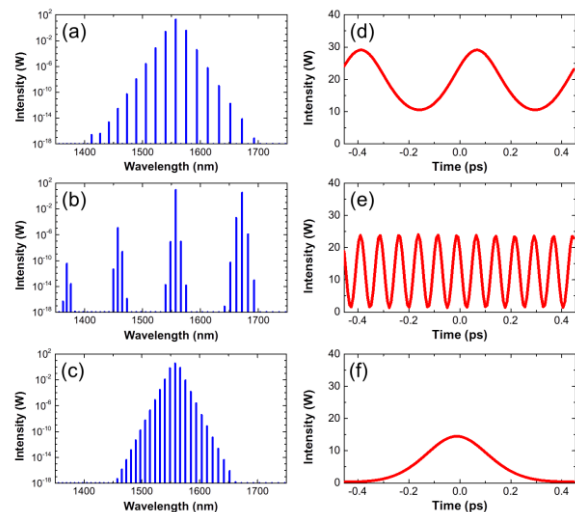
$$R(t) = (1 - f_R) \delta(t) + f_R h_R(t) \quad (3)$$

$$h_R = \left(\frac{\tau_1^2 + \tau_2^2}{\tau_1 \tau_2} \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_2} \right) \sin \left(\frac{t}{\tau_1} \right) \quad (4)$$

ここで、 t_R は共振器を1周するのに要する時間、 r は共振器を回る回数、 α, κ はそれぞれ共振器損失、結合損失、 δ_0 は共振周波数からの離調、 L は共振器長、 β_2 と γ はそれぞれ2次の分散、非線形光学係数、 S はポンプ光、 h_R はラマン応答関数であり、 f_R はその寄与である。共振器のパラメータはシリカトロイド共振器の値を用い、ラマン応答関数はシリカファイバでよく用いられる値を使用した[4]。

結合損失を変化させて、それぞれ計算をおこなった。 $Q_{\text{int}} = 5 \times 10^7$ に対して、それぞれ $Q_{\text{couple}} = 3 \times 10^7$ (図(a)), 1×10^8 (図(b)), 9×10^8 (図(c)) である。共振器に入力されるポンプ光の強さによ

って、FWM の利得が決定されるため、結合を変化させ、ポンプ光を減少させると 2-FSR の状態から 1-FSR 状態へ変化するのは既知であるが、その中間にラマン散乱が支配的な状態が存在することが分かった。これは FWM の利得とラマン散乱の利得が競合しているためだと考えられる。このような競合が生じるのは、FSR の大きい微小光共振器特有であり、光カーコムを解析する上で、影響が大きいことが分かった。当日は、実験的な事柄も紹介する予定である。



Figure, Calculated results of Kerr frequency comb generation in a silica toroid microcavity. Input wavelength and power is 1554 nm and 10 mW, respectively. Roundtrip time is 0.91 ps. Q_{couple} is 3×10^7 (a), 1×10^8 (b), 9×10^8 (c). (a-c) are output spectrum and (d-f) are temporal waveform of (a-c), respectively.

参考文献

- 1) T. Kippenberg, *et al.*, Science **332**, 555 (2011).
- 2) T. Herr, *et al.*, Nat. Photon. **8**, 145 (2014).
- 3) S. Coen, *et al.*, Opt. Lett. **38**, 37 (2013).
- 4) G. P. Agrawal, "Nonlinear fiber optics," Academic Press (1987).