

熱鈍感なマイクロコム

Thermally insensitive Kerr microresonator soliton comb

徳島大ポスト LED フォトニクス研究所¹, JST さきがけ², 徳島大院³, 電通大情報理工⁴

○久世 直也^{1,2}, 西本 健司³, 美濃島 薫^{1,4}

Inst. Post-LED Photon., Tokushima Univ.¹, JST PRESTO², Grad. Sch. Tokushima Univ.³, Univ. Electro-Commun.⁴

, ○Naoya Kuse^{1,2}, Kenji Nishimoto³, and Kaoru Minoshima⁴

e-mail address: kuse.naoya@tokushima-u.ac.jp

マイクロコム (特にモード同期状態であるソリトンコム) は小型で量産可能な光周波数コムとして注目され、光・THz 通信、LiDAR、チップスケール光原子時計などの応用に期待されている。しかし、マイクロコムの繰り返し周波数(f_{rep})やキャリアエンベロープオフセット周波数の位相雑音は熱雑音由来の熱光学効果によって制限され、ファイバーコムに比べると周波数精度、位相雑音特性が悪い。これまで位相雑音という観点では 2 台のブリルアンレーザに安定化する手法 [1]、長尺ファイバーに安定化する手法 [2]を用いることでフリーランニング時に比べ、40 dB 以上の繰り返し周波数の位相雑音の低減が実証されているが、システムが複雑になるという問題点がある。さらにはフィードバックループを構築する際にポンプ光の周波数を変調するため、コムモード 1 本ずつに着目すると、むしろ位相雑音が悪化するという問題点がある。本研究ではフィードバック制御を用いない、受動的な簡便な手法として、結合リング微小共振器系に着目する。結合リング微小共振器系において、2 つの微小共振器の共鳴周波数の相互作用の結果生じる Avoided mode crossing (AMX) の位置と強さを調整することで、熱に対して鈍感なソリトンコムを実現可能であることを数値計算により示す。

本研究で対象とする結合リング微小共振器系を図 1(a)に示す。マイクロコムを発生するメインリングに加え、補助リングを導入する。また補助リングの共鳴周波数を操作できるように補助リングの上にマイクロヒーターを設置する。熱鈍感なマイクロコムの実現のための基本概念は、“熱変化によって生じる f_{rep} 変化の総和をゼロにする”ことである。つまり、熱変化によって生じる、(i) 共振器長の変化に由来する f_{rep} 変化や、(ii) 離調 (= 共鳴周波数とポンプ光の周波数の差) の変化に由来する f_{rep} の変化の総和をゼロとする。(ii) の離調の変化による f_{rep} 変化には主に 3 種類あり、高次分散の影響、ラマン散乱の影響、AMX の影響がある。本研究では AMX の位置と強さ (図 1(b)) を自在に操作することで、熱変化による f_{rep} 変化の効果の総和をゼロにした、熱鈍感なマイクロコムが可能になる。数値計算では温度変化の効果を取り入れた Lugiato-Lefever Equation (LLE) を解く [3]。図 1(c) に ± 5 mK のランダムな温度変化を微小共振器に加えた時の f_{rep} (~ 340 GHz) の変化を示す。単一リング微小共振器系 (図 1(c) の青線) では 35 kHz の標準偏差の揺らぎがあるのに対し、結合リング微小共振器系 (図 1(c) の赤線) では 0.35 kHz の標準偏差に抑制することが示された。

[1] T. Tetsumoto et al. Nat. Photon. 15, 516 (2021). [2] N. Kuse et al. Commun. Phys. 5:312 (2022). [3] J. R. Stone et al. Phys. Rev. Lett. 125, 153901 (2020).

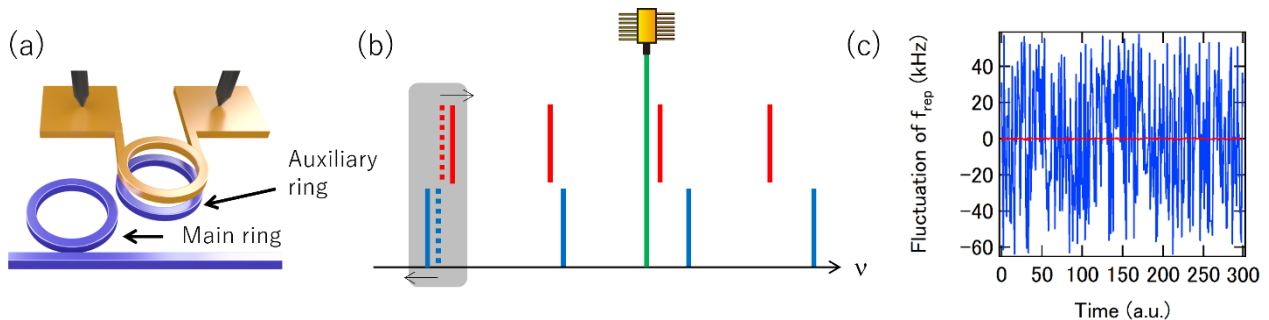


Figure 1. (a) Schematic of a coupled-ring microresonator. (b) Schematic of the working principle of a thermally insensitive soliton comb. When one of the resonance frequencies of the main ring (red lines) is close to one of the resonance frequencies of the auxiliary ring (blue lines), the AMX (highlighted by the gray area) is induced, causing the impulsive interaction. (c) The fluctuation of f_{rep} for a single ring (the blue curve) and coupled-ring resonator (the red curve) when random temperature fluctuation of ± 5 mK is added.