

負の熱光学効果を利用した共振器ソリトンの自動生成

Automatic generation of temporal cavity soliton with negative thermos-optic effect

慶大理工 [○]小島 知也, 加藤 拓巳, 中川 陽介, 糸部 大貴, 田邊 孝純

Keio Univ., [○]Tomoya Kobatake, Takumi Kato, Yosuke Nakagawa, Hiroki Itobe, and

Takasumi Tanabe

E-mail: takasumi@elec.keio.ac.jp

微小光共振器は光の非線形性を効率よく高めることができ, これを利用して低入力パワーにて, 四光波混合を連続的に生じさせ, 光カーコムを発生させる研究が盛んに行われている[1,2]. 光カーコムはデチューニングや入力パワーにより複数の状態に変化し, ソリトン状態では光パルスの揺らぎが少なくパルス幅も細い[3]. 微小光共振器は入力光強度に対して, 光カー効果による双安定状態を有するが, 状態遷移時にソリトン状態を取るため, 入力波長を掃引することでソリトン状態を実現する手法が提案されている[3] (Fig (a-1)). 本研究では CaF_2 のように負の熱光学係数を持つ共振器を用いることで, 波長掃引を行うことなくソリトンを生成できることを数値解析によって示したので報告する.

微小光共振器内で発生する光カーコムの解析には以下のような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 モデルを用いた[4]

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

さらに以下の方程式によって温度変化, 熱による共振波長のシフト量を計算し, (1)の波長離調量をその変数とすることで熱光学効果を計算に導入した.

$$\frac{d\tau_n}{dt} = -\Gamma_n T_n + \gamma_n P \quad (2)$$

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{dn_1}{d\tau_1} \frac{\Delta\tau_1}{n} + \frac{dn_2}{d\tau_2} \Delta T_2 \right) \quad (3)$$

T_n , Γ_n , γ_n , dn_1/dT_1 , dn_2/dT_2 はそれぞれ温度, 熱拡散, 吸収熱, 熱光学係数, 熱膨張係数であり $n=1,2$ は TO 効果と熱膨張に関わる部分をそれぞれ表している. 本研究では直径 1 mm, $Q = 10^7$ の CaF_2 共振器の共振波長に対し 0.05 pm 長波

長側にレーザを入力する状態を仮定した. 熱に関する係数は[5]の共振器形状を元に有限要素法により計算した.

ソリトンを生成するために新たに提案する手法では, 負の熱光学効果によって共振波長がシフトし自動的にデチューニング量に変化することを利用してソリトンを発生させる (Fig (a-2)). 共振器に光を入れた後の TO 効果による共振波長のシフトと共振器内のパワーを計算した結果が Fig (b-1,2)であり, 共振波長が負の方向にシフトすることで共振器内の光がソリトン状態に落ちている. 十分に時間が経過した時の時間波形とスペクトルを示したのが Fig (c-1,2)であり, 波長掃引をせずにソリトンを生成できたことがわかる.

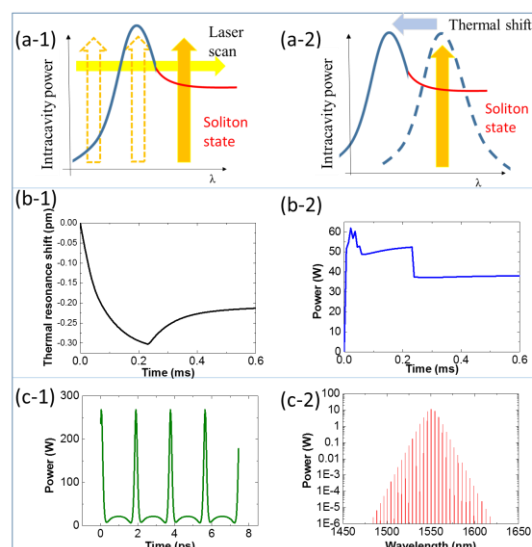


Fig (a-1) Laser wavelength scan method. (a-2) Proposed method. The resonance shift caused by TO effect and the light power in the cavity are shown in (b-1,2). (c-1,2) are the temporal waveform and the optical spectrum in the cavity in steady state.

- [1] T. Kippenberg, *et al.*, PRL. **93**, 083904 (2004).
- [2] P. Del'Haye, *et al.*, Nature **450**, 1214-1217 (2007).
- [3] T. Herr, *et al.*, Nat. Photon. **8**, 145-152 (2014)
- [4] S. Coen, *et al.*, Opt. Lett. **38**, 37-39 (2013).
- [5] I. Grudinin and N. Yu, Optica **2**, 221-224 (2015).