

微小光共振器を用いたモード同期レーザにおける数値解析

Numerical investigation of mode-locked laser with WGM microresonator

慶應理工電子¹, [○]今村 陸¹, 鈴木 S. L. P. 智生¹, 藤井 瞬¹, 石田 蘭丸¹, 田邊 孝純¹

Keio Univ. Elec. and Elec. Eng¹, [○]Riku Imamura¹, Tomoki S. L. Prugger Suzuki¹, Shun Fujii¹,

Rammaru Ishida¹, and Takasumi Tanabe¹

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

微小光共振器は光を微小領域に閉じ込めることができ、共振器内では光と物質の相互作用を極限まで高めることが可能である。本研究では微小光共振器を用いた受動モード同期レーザの開発を目標としている。実際に安定したパルス光を得るにあたり次の2つの技術が必要である。それは利得媒質としてエルビウムイオンと、モード同期素子として可飽和吸収体であるカーボンナノチューブ(CNT)を微小光共振器へ付与するというものである。

そこで本研究では研究の最初の段階として、Whispering Gallery Mode 共振器におけるモード同期についてモデルを構築し、モード同期に必要な条件について解析を行った。計算モデルは次式で表される非線形シュレディンガー方程式をもとにした。

$$t_R \frac{\partial E(t, \tau)}{\partial t} = \left[-\frac{\alpha_{\text{tot}}}{2} - \frac{iL}{2} \beta_2 \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} + iL\gamma|E|^2 + g(t) + \frac{g(t)}{\Omega_g^2} \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} - q(t, \tau) \right] E$$

ここで、右辺の第1項から順に、共振器の損失、共振器の分散、非線形効果である自己位相変調を表している。また第4項と第5項は共振器に添加されたエルビウムイオンの利得であり、第6項はカーボンナノチューブの可飽和吸収を表している。この式を解くことによって Fig. 1 (a) のような自己開始するモード同期が可能であることが明らかになった。また安定したパルスを得るための条件としてエルビウムイオンによる小信号利得と CNT の可飽和吸収による変調深さの関係 (Fig. 1 (b)) や、小信号利得とエルビウム添加共振器の群速度分散との関係 (Fig. 1 (c)) を求めた。Fig. 1 (b) および (c) より、利得の少ないことが予想される微小光共振器においては、より高い Q 値と小さい分散量が必要となる。これらの結果より WGM 微小光共振器のパラメータによって、自己開始し安定したモード同期パルスを得られることが判明した。計算結果を元に微小光共振器及び CNT の添加を行いモード同期を目指す。

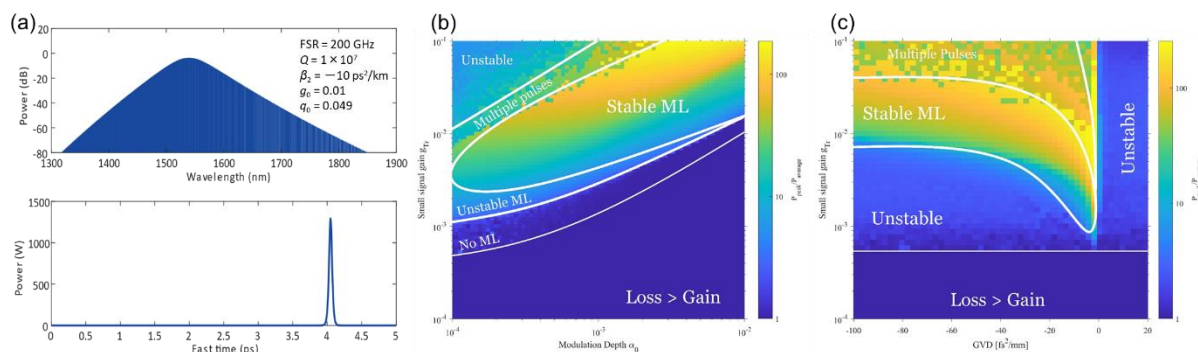


Fig. 1 (a) Calculated ML lasing in a WGM microresonator. From top to bottom; the graphs are the spectrum and waveform. These results show that mode-locking is possible with WGM microresonator parameters. (b) The relationship between the small signal gain of the erbium and the modulation depth of the saturable absorber. A stable ML (c) The relationship between the small signal gain and the group velocity dispersion of Er-doped microresonator.