

繰り返し周波数 1-GHz モード同期 Cr⁴⁺:YAG レーザーの設計

Design of a 1-GHz repetition-rate mode-locked Cr⁴⁺:YAG laser

保坂有杜 (M1), 澤田亮太 (B4)

Aruto Hosaka and Ryota Sawada

Abstract

A cavity of a mode-locked Cr⁴⁺:YAG laser with a repetition rate of 1 GHz is designed using a ABCD matrix. Based on our cavity design, we construct the cavity and attempt cw oscillation.

1. はじめに

ファイバの 3 次の非線形効果を用いたスクイーズド光生成において、ファイバ中で発生する位相ノイズである Guided acoustic wave Brillouin scattering (GAWBS) ノイズがスクイージングレベルを下げる要因として知られている。これを克服するためには GAWBS の応答よりも早い 1 GHz 以上の繰り返し周波数のフェムト秒レーザーを用いる必要がある。実際に高繰り返しレーザーを用いたスクイーズド光生成の実験はすでに報告されている [1,2].

本研究においては、ソリトン形成により高レベルの真空スクイーズドパルス生成が可能となる通信波長帯のレーザーとして知られる Cr⁴⁺:YAG レーザーの開発に取り組んだ。上述の通り、GAWBS ノイズ削減のため、繰り返し周波数が 1 GHz となるようにした。共振器の設計では、すでに先行研究で報告されている 1 GHz 以上の繰り返し周波数の Cr⁴⁺:YAG レーザーの共振器の形状に倣い [3,4], V 字型の共振器にて設計を行い、発振を目指した。

2. 共振器設計

ABCD 行列による共振器設計を行った。共振器は V 字型共振器とし、共振器内損失を防ぐために OH

基の少ない Fused silica を材質としたプリズムにより分散補償を行う。通信波長帯の光は Silica の異常分散領域にあたるため、silica を透過させるだけで分散補償を行うことができる。

用いる結晶は片側のみ Brewster カット、結晶長 18.3 mm の Cr⁴⁺:YAG 結晶 (吸収係数 1.1 /cm) である。通常の固体レーザーの結晶長に比べて結晶長が長くなっているのは YAG の熱レンズ効果を低減させるためである。また、1.55 μm は YAG のゼロ分散波長付近に相当するため、結晶長を長くすることによる分散補償の増大はほぼ無視できる。

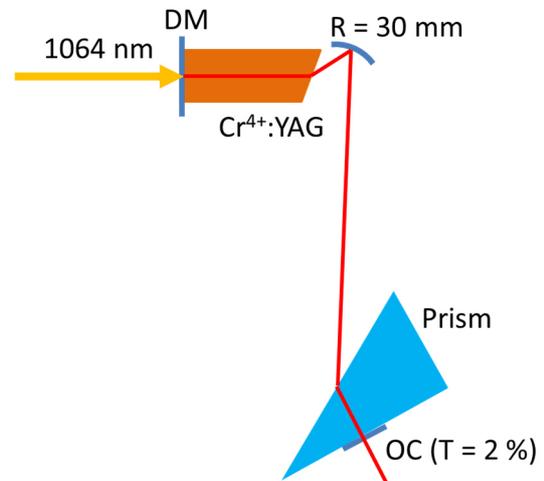


Fig. 1 Schematic view of mode-locked Cr⁴⁺:YAG laser. DM: dichroic mirror; OC: output coupler.

共振器の構成を Fig. 1 に示す。凹面ミラーは R = 30 mm のものを用いており、今回の共振器では非点収差は補償できないものとなっている。凹面ミラーへの入射角は $2\theta = 72^\circ$ である。

ABCD 行列による結晶内のモード径の計算結果

は Fig. 2 のようになっている。

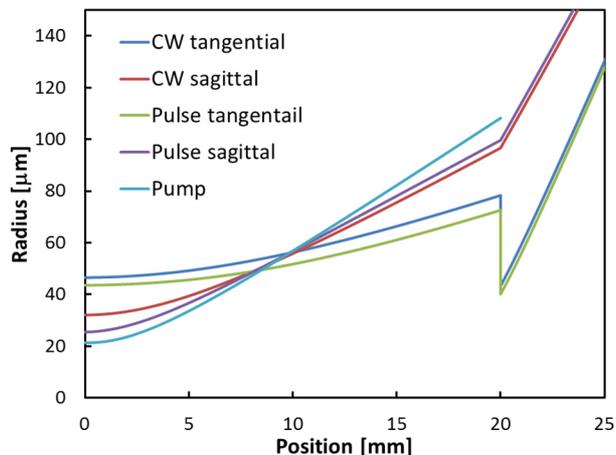


Fig. 2 Beam radius in a Cr^{4+} :YAG crystal.

パルスモードの計算に際してはパルス幅 100 fs, 出力 500 mW, 繰り返し周波数 1 GHz を仮定している. CW モードにおけるモードマッチング効率は 73 % であり, パルスモードでは 78 % であった.

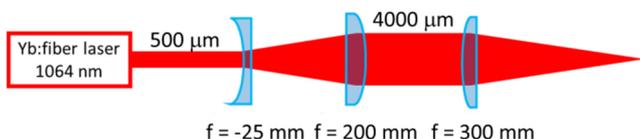


Fig. 3 Pump scheme for the Cr^{4+} :YAG laser.

励起光には最大 10 W 出力の単一縦モード Yb ファイバーレーザー (波長 1064 nm) を用いた. 励起光は $f = -25 \text{ mm}$ と $f = 200 \text{ mm}$ のレンズ対によって拡大され, $f = -300 \text{ mm}$ の集光レンズによって結晶端面に集光される (Fig. 3). 集光特性を CMOS カメラによって測定した結果は Fig. 4 の通りであり, ほぼ設計通りに集光されていることが確認できた. また実測された M^2 は 1.0×1.2 (tangential x sagittal) であった.

更にこの励起系により Cr^{4+} :YAG 結晶を励起したときの吸収特性を調べた結果を Fig. 5 に示した.

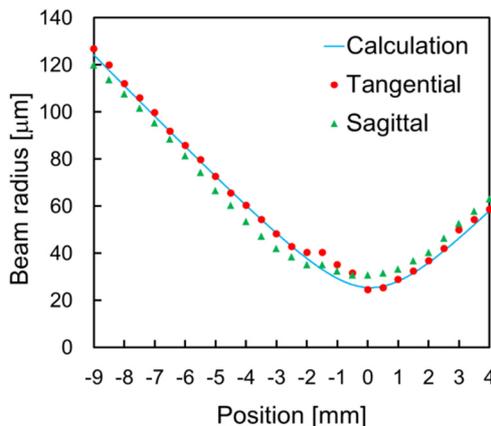


Fig. 4 Focusing property of the pump beam

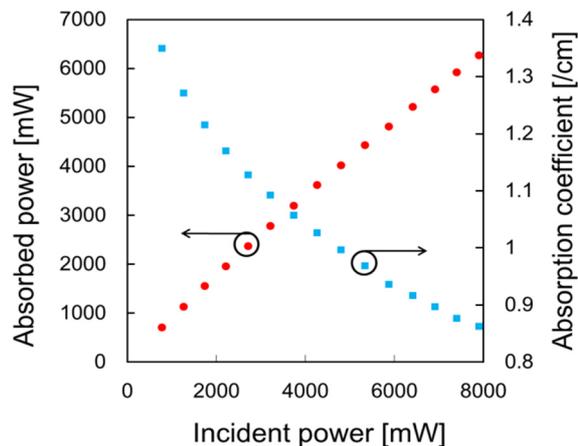


Fig. 5 Absorbed power in a Cr^{4+} :YAG crystal.

この結果から励起強度が上昇するにつれて吸収係数が落ちていく現象が確認された. これは Cr^{4+} :YAG の可飽和吸収特性によるものと考えられる.

実際にこれらの設計とデータに基づき共振器の構築を行い, 発振を試みたが, 発振には至っていない. これは, 結晶内での熱レンズ効果が原因と考えられる. そのため今後, 結晶内の熱レンズ効果を計算にいった再設計を行う予定である.

References

- [1] C. X. Yu, H. A. Haus, and E. P. Ippen, "Soliton squeezing at the gigahertz rate in a Sagnac loop," *Opt. Lett.* **26**, 669-671 (2001).
- [2] K. Bergman, H. A. Haus, E. P. Ippen, and M. Shirasaki, "Squeezing in a fiber interferometer with a gigahertz pump," *Opt. Lett.* **19**, 290-292 (1994).
- [3] T. Tomaru and H. Petek, "Femtosecond Cr⁴⁺:YAG laser with an L-fold cavity operating at a 1.2-GHz repetition rate," *Opt. Lett.* **25**, 584-586 (2000).
- [4] C. G. Leburn, A. A. Lagatsky, C. T. A. Brown, and W. Sibbett, "Femtosecond Cr⁴⁺:YAG laser with 4 GHz pulse repetition rate," *Electronics Lett.* **40**, 805-807 (2004).