

複合活性媒質を用いた超短パルスレーザーの研究

白川 (晃) 研究室 東 祐軌

1、序論

近年超短パルスレーザーは、医療や観測、高エネルギー物理など様々な分野で応用されており、また、さらなる短パルス化、高出力化が望まれている。

超短パルスレーザー用の利得媒質は主にファイバーレーザーと固体レーザーの2つに分けられるが、固体レーザーはファイバーレーザーに比べて作用長が短いため非線形光学効果の発生を抑えることができるため、高出力超短パルス動作向きであると言える。そこで、本研究では複合活性媒質という固体の利得媒質を複数用いた手法を用いた高出力超短パルスレーザー用光源の開発を試みた。

2、原理

Yb^{3+} 添加 Y_2O_3 セラミックは広い利得帯域と高い非線形屈折率を持つため、これまでの研究で、カーレンズモード同期によって **68 fs** という非常に短いパルス動作が報告されている。しかし一方で最大平均出力は **540 mW** と高い値は得られていない^[1]。これは、 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ の蛍光スペクトルがカーレンズモード同期によって得られた広いスペクトルに比べて狭いため、利得を稼ぐことが出来ないといからである。図1に今回用いた $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックの吸収蛍光スペクトルを示す。そこで、本研究では $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックに加えて、同一共振器内に広い利得帯域を

持つ $\text{Yb}^{3+},\text{Na}^+$ 添加 CaF_2 単結晶を導入することで $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックによって得られた広いスペクトルを増幅することを試みた。図2に今回用いた $\text{Yb},\text{Na}:\text{CaF}_2$ 単結晶の吸収、蛍光スペクトルを示す。

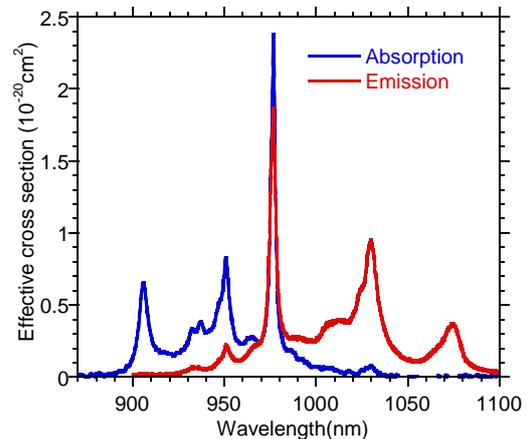


図1 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ の吸収蛍光スペクトル

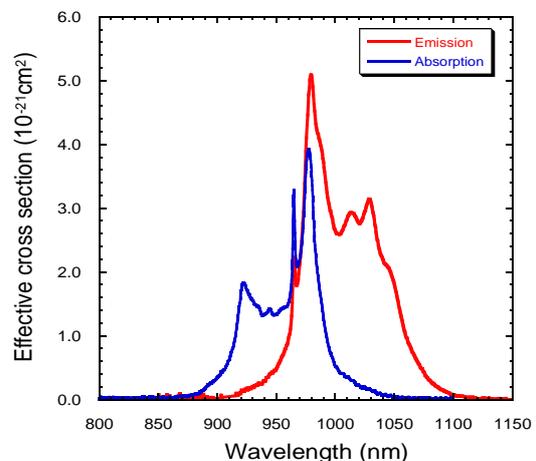


図2 $\text{Yb},\text{Na}:\text{CaF}_2$ の吸収、蛍光スペクトル

2、実験

本研究では $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックと Yb,Na:CaF_2 単結晶を複合活性媒質として用いたパルス幅 100 fs 以下、平均出力 2 W 以上を目標とする光源開発を目標としている。その準備として本実験では、(1) $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックを用いた CW モード同期実験、(2) Yb,Na:CaF_2 を用いた CW 発振実験、の 2 つの実験を行い、これらの利得媒質が複合活性媒質として有用であるかを評価した。

(1) $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックを用いた CW モード同期実験

実験配置図を図 3 に示す。励起光は波長 975nm のブロードストライプ LD を用い、結晶上でのビーム径がおよそ $120 \times 27 \mu\text{m}^2$ になるように集光した。また、分散補償にはプリズム対と分散補償鏡を用い、共振器 1 往復での不分散量は約 -4500fs^2 とした。また、SESAM は BATOP 社製の変調深さ 0.4% のものを使用した。損失を減らすために結晶とプリズムペアはブリュースター角で配置されている。

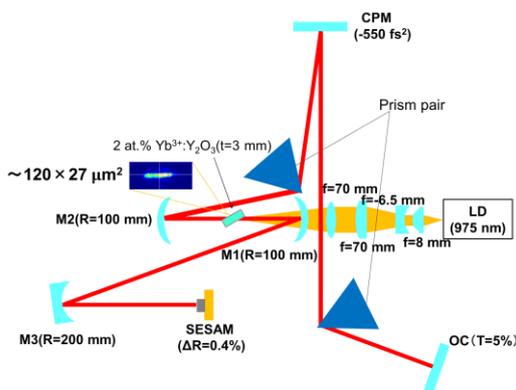


図 3 実験配置図 (CW モード同期)

この実験によって得られた入出力特性を図 4 に示す。励起パワー 5.0 W でシングルパルス CW モード同期の最大出力 442 mW を得た。図 5 にこのときのパルストレイン、図 6 にスペクトルと SHG 自己相関係を用いて測定した自己相関波形を示す。スペクトル幅は約 1.6 nm で、パルス幅は sech^2 を仮定すると 707 fs であった。このときの時間帯域幅積は 0.319 であったので、フーリエ限界に近い結果が得られた。

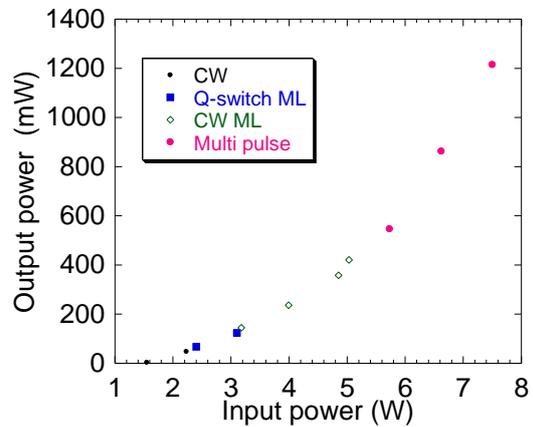


図 4 入出力特性

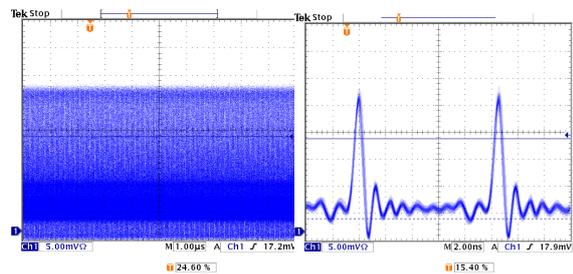


図 5 パルストレイン

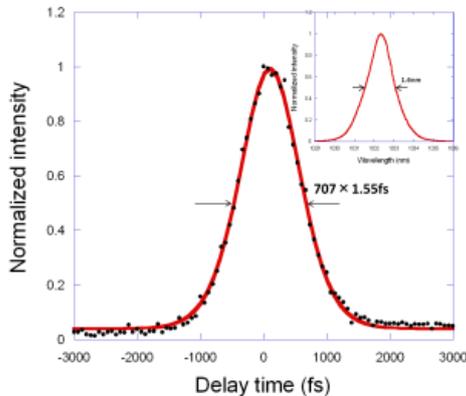


図6 スペクトルと自己相関波形

しかし、本実験では 100 fs 以下を目標のパルス幅としているので、今回の結果は目標に比べて非常に広いパルス幅となってしまった。SESAM の変調深さを深くすることでより短いパルスを得ることが期待できるが、100 fs 以下のパルスを得るためにはカーレンズモード同期が必要だと考えられる。しかし、カーレンズモード同期には緻密な共振器設計と非常にシビアなアライメントを要するため今回の実験では成功させることができなかった。従って、今後の展望としては、カーレンズモード同期を成功させることが第一に挙げられる。

(2) Yb,Na:CaF₂ を用いた CW 発振実験

同様に実験配置図を図 7 に示す。励起光は波長 975 nm のファイバー結合型 LD を使い、結晶上でのビーム径が直径 150 μm になるように集光した。出力透過鏡の曲率半径は 100 mm であり、透過率は 1,3,5% のものを使用し、結果を比較した。また、共振器長はおよそ 97 mm であり、出力が最大になるように共振器長は適宜変更した。

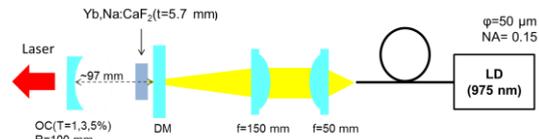


図7 実験配置図 (CW 発振)

この実験によって得られた入出力特性を図 8 に示す。また、出力透過鏡の透過率とスロープ効率をまとめた結果を表 1 に示す。

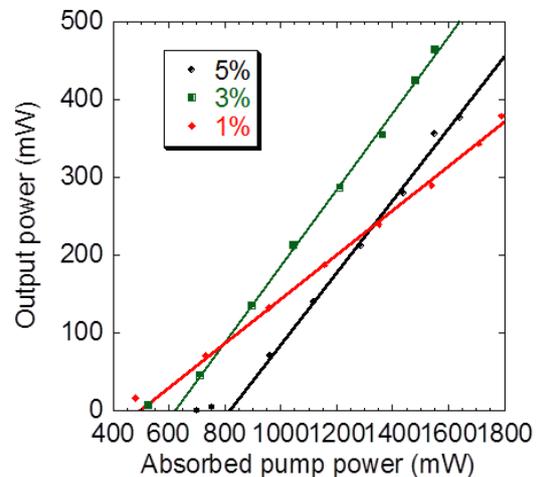


図8 入出力特性

表1 透過率とスロープ効率

OCの透過率	スロープ効率
1%	28.5%
3%	49.1%
5%	46.3%

表 1 より、出力透過鏡の透過率 3% 時に、最大スロープ効率 49.1% を得ることができた。スロープ効率は CaF₂ が増幅器としてどれ程有用であるかを示す指標の一つであるが、今回の実験により、高いスロープ効率を得ることができたので、増幅

器としては非常に有用であると言える。
 図9にそれぞれの透過率について最大励起時の発振スペクトルを示す。

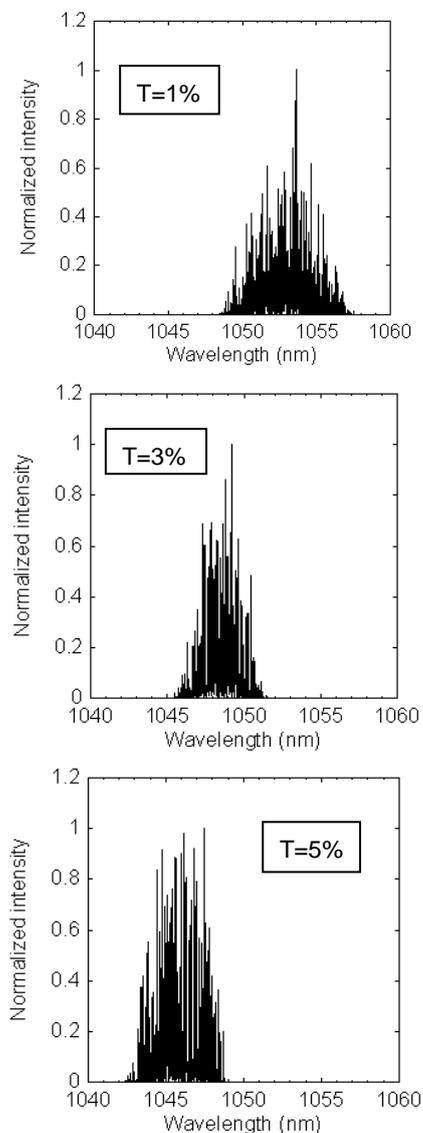


図9 発振スペクトル

スペクトルを見ると、透過率が高くなるにしたがってピーク波長が短波長側にシフトしていることが分かる。これは、短波長側は再吸収の影響により励起密度が低いときは利得が少ないため、共振器の損失が小さいときは長波長側の利得が先に損失を超えるためである。

4、まとめと今後の展望

本実験では、 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックと $\text{Yb,Na}:\text{CaF}_2$ 単結晶を複合活性媒質として用いた高出力超短パルスレーザー光源開発の準備として、 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックを用いた CW モード同期実験と $\text{Yb,Na}:\text{CaF}_2$ を用いた CW 発振実験を行った。

CW モード同期実験では、最大平均出力 442 mW、スペクトル幅 1.6 nm、パルス幅 707 fs の短パルスを得ることが出来た。しかし、これは目標としているパルス幅より遥かに広い値なので、今後はより短いパルスを得られることが期待できるカーレンズモード同期に取り組む。

$\text{Yb,Na}:\text{CaF}_2$ 単結晶を用いた CW 発振実験では、最大スロープ効率 49.1%を得ることが出来た。

$\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ セラミックを用いたカーレンズモード同期に成功次第、同一共振器に $\text{Yb,Na}:\text{CaF}_2$ 単結晶を導入し、増幅を行う。

5、参考文献

[1] Masaki Tokurakawa, Akira Shirakawa, Ken-ichi Ueda, Hideki Yagi, Meichin Noriyuki, Takagimi Yanagitani and Alexander A. Kaminskii

"Diode-pumped ultrashort-pulse generation based on $\text{Yb}_{3+}:\text{Sc}_2\text{O}_3$ and $\text{Yb}_{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ ceramic multi-gain-media oscillator"
 OPTICS EXPRESS Vol. 17, No. 5(2009)