

注入同期パルスチタン サファイアレーザーの製作

白田研究室 秋野陽介

1. 目的

固体水素を用いた誘導ラマン散乱の実験を行うことを念頭に外部共振器 CW 半導体レーザーにより注入同期された中心波長 832nm のパルスチタンサファイアレーザーシステムを製作した。既に、738nm を中心波長とするレーザーシステムは製作してあるが、今回はこれとほぼ同等で中心波長が 832nm のレーザーシステムを新しく製作した。

2. 原理

一般にレーザーシステムにおいて、高出力と高安定を両立することは容易ではなく、それを可能とする方法として、今回、注入同期法を用いた。注入同期法とは、独立にある 2 つのレーザーを組み合わせることにより、双方の特性を兼ね備えたレーザー出力を得る方法であり、今回は、高安定ながら、低出力な Seed レーザーと高出力な Power Oscillator の 2 台の独立なレーザーを組み合わせることにより、高安定かつ高出力なレーザー出力を得た。また、注入同期を行うためには、Power Oscillator の共振器の縦モードに、Seed レーザーの波長が一致するように、常に共振器長を安定化させる。このことをキャビティーロックといい、キャビティーロックをかけると、Power Oscillator の発振光を Seed レーザーの波長、縦モード、伝搬方向に引きずり込むことができる。

3. システム

今回製作したシステム概略図を Fig.1 に示した。本システムは、大きく 3 つに分けることができる。1 つ目に、Seed レーザーシステム、2 つ目に、Power Oscillator、3 つ目に、キャビティーロックを行うシステムの 3 つに分けられる。

Seed レーザーは外部共振器で周波数を安定化した、中心波長 832nm、出力 13mw の CW 半導体レーザーを用いる。このレーザー出力をアナモルフィックプリズムで円形に整形し、Isolator を通して、Power Oscillator に導入する。Power Oscillator は、4 枚のミラーと gain 媒質であるチタンサファイア結晶からなる Z 型リング共振器で構成されていて、共振器長は、800mm でコンパクトに、また、ビーム径が、1mm になるように設計した。

また、励起光は、Q スイッチ YAG レーザーの 2 倍波で、その出力を $\lambda/2$ 板で強度調節し、 $f=300\text{mm}$ のレンズで、チタンサファイア結晶の表面でビーム径が約 1mm でかつ結晶外で焦点がくるように絞り込んでいる。

キャビティーロックは、共振器内のある 1 つのミラーを移動量 $7\mu\text{m}$ のピエゾ素子と組み合わせ、ロックインアンプシステムから出力される 5KHz の変調信号により振動させることにより、共振器長に変調をかけている。また、Seed レーザーの透過光を共振器ミラーの裏で Photo Diode により検出し、ロックインアンプに入力、その出力を共振器長の制御信号として変調信号に加算、ピエゾ素

子にフィードバックすることによりキャビティーロックをかける。また、なんらかの要因でキャビティーロックが外れたことにより、シーディングが崩れた時、発振光が、LD に入らないように Isolator と同じ目的で分散プリズムを設置している。

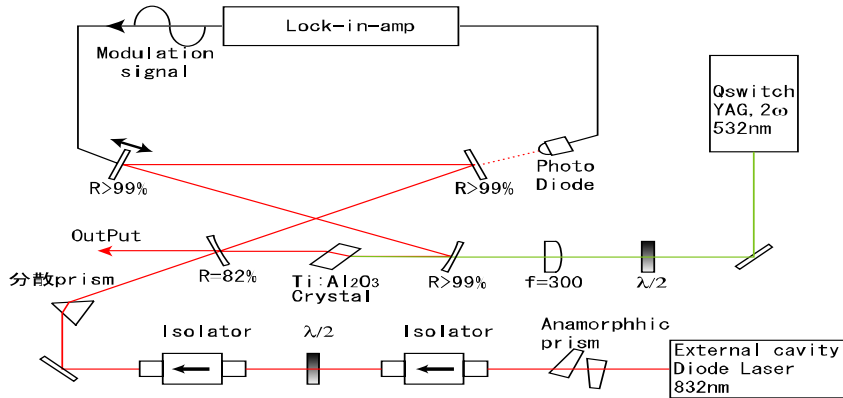


Fig. 1

4. 性能評価

・発振スペクトル

分光器で、Seed をかけた場合とかけてない場合の発振光のスペクトルを観測した所、Seed をかけないと波長が 790nm~815nm ぐらいまで広いスペクトルが観測されたのに対して、Seed をかけると、そのスペクトルのエネルギーは、全て Seed レーザーの波長である 832nm に引きずり込まれていた。

・励起エネルギーに対する出力特性

Fig.2 は発振出力の励起エネルギー依存性を示したグラフで、縦軸は、発振光の出力強度、横軸は、励起光強度を示している。Seed された状態で、閾値 11mJ(ϕ 1mm)、スロープ効率 41%、絶対効率 29%に対応し、これは、非常に高い効率を示している。また、Seed レーザーを入れると、入れない時に比べて、発振出力は、2.5 倍前後増加することがわかった。

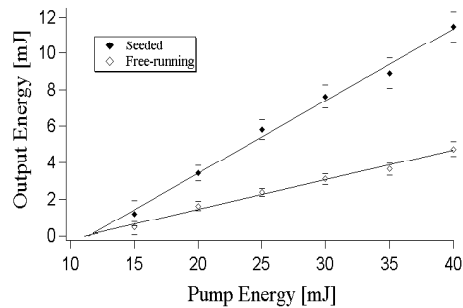


Fig. 2

・時間波形&Pulse Jitter

Fig.3 は、発振光の出力パルスを 100shots 重ねたもので、励起光が、結晶に入射した時の時間を原点である。励起エネルギーが、40mJ の時、時間幅は、25ns で、スムーズな時間波形を示していた。また、Fig.3 から、励起エネルギーが大きいほ

ど、立ち上がりは早く、立ち上がりのずれも時間幅に対して、小さく抑えられることがわかる。これは、励起エネルギーが大きいほどフィードバックが、早くなることを示していて、安定化につながる。

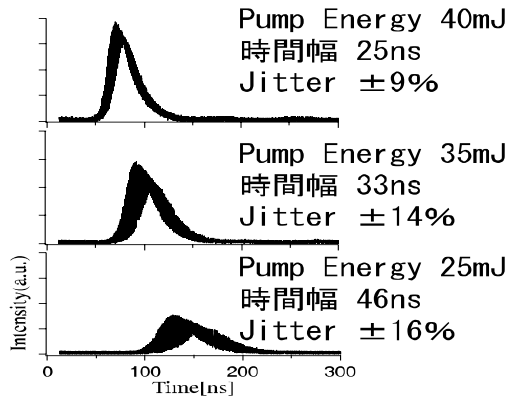


Fig. 3

・ Spectrum Profile

Fig.4 は、Seed された発振出力のスペクトルをスペクトルアナライザにより観測した図で、Fig.4 から装置関数を取り除いてスペクトルプロファイル

を評価した結果、線幅は、13MHz となり、極めて狭い線幅を示していた。この時の時間幅は 33ns なので、時間幅と線幅の積は、0.43 となりこのことから、Fourier Transform Limit Pulse に限りなく近いパルスが、得られたことがわかった。

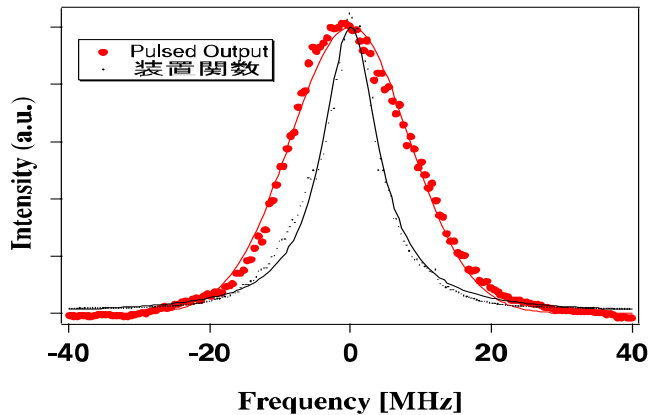
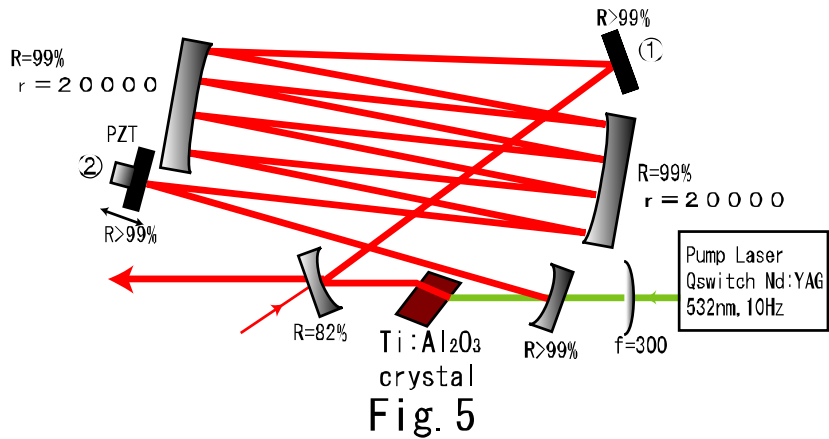


Fig. 4

5 . Long Cavity の設計

さらに狭い線幅を得るために、Fig.5 のような共振器を設計している。線幅を狭くするためには、時間幅を長くする必要がある。そのために、Fig.5 のように今までの Z 型リング共振器に 4 回折り返しのパスを加えることにより、共振器長を長くすることで、時間幅を長くしようとしていた。この共振器の利点は、非常にコンパクトで、と のミラーの入射角をかえるだけで、他の部分をいじることなく、0-4 パスのアライメントが可能であるという点である。この設計が、実現されると、立ち上がりのジッターを時間幅に対して小さく抑えたまま 100ns ぐらいの長い時間幅が得られるであろうと予測され、この時のパル

すが、Fourier Transform Limit Pulse に近いパルスだと仮定したら、約 4MHz の線幅が、得られるであろうと予測される。



6. まとめ

パルスチタンサファイアレーザーシステムの製作を行い以下の特性を得た。

1. 発振波長 832nm
2. 単一縦モードパルス出力 11.5mJ
3. 単一縦モードパルス幅 25ns
4. 単一縦モードパルスジッター $\pm 9\%$ 以内(パルス幅に対して)
5. スペクトル幅 13MHz $\tau \cdot \nu = 0.43$

6. 今後の課題

1. Long Cavity の完成とその特性評価
2. アンプ、2倍波を取り出すシステムの製作
3. 固体水素を用いた誘導ラマン散乱の実験