

注入同期パルスチタンサファイアレーザーの開発： 超狭帯域線幅パルス光の発生

桂川研究室 五十野 由起

1. 目的・原理

注入同期の手法を用いて単一周波数化した波長可変パルスチタンサファイアレーザーの開発を行った。注入同期法とは、線幅の狭い Seed レーザー ($\ll 1\text{MHz}$) とパワーオシレーターの独立な 2 つのレーザーを組み合わせ、Seed レーザーにパワーオシレーターの発振光を引きずり込むことで両方のレーザーの特性を兼ね備えた、線幅が狭く(ほぼフーリエリット)高安定で高出力な出力を得る方法である。本研究では、このレーザーシステムに改良を加え、共振器長を長くすることでパルスの時間幅を長くして、さらに狭い線幅(数 MHz)のパルスを得ることを目的とした。そして、パルスの時間幅を長くした時も、フーリエリミットの関係が保たれ、線幅が狭くなっていくかを確かめた。

2. システム

これまでに製作された Z 型リング共振器の中に、対向させた曲率半径 2 万 mm の凹面鏡のペアを挿入して、4 回の折り返しの光路をつけた。これによって、全体はもとの共振器のサイズとほぼ変わることなくコンパクトに納められた。

特徴は、非常にコンパクトなサイズを保ちながら長い共振器長を得られることや、図 1 の と のミラーの反射角を変えるだけで、他の部分を調整することなく共振器を 0 パス(0.8m)から 4 パス(2.5m)に変えることが可能であるという点である。

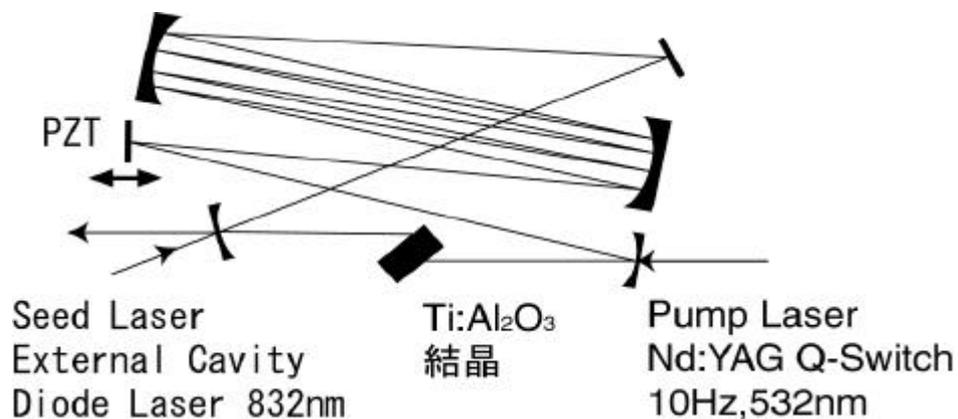


図 1

3. 性能評価

励起エネルギーに対する出力特性

図 2 は、発振出力の励起エネルギーに対する出力特性を示したグラフである。まず、Seed をかけると出力が 2 倍強増することが分かる。次に、Seed された状態で閾値は 29mJ/(1mm)、出力スロブ効率は 46% だった。また、最大出力は励起エネルギーが 50mJ の時 13mJ 得られ、この時の出絶対効率は 26% だった。

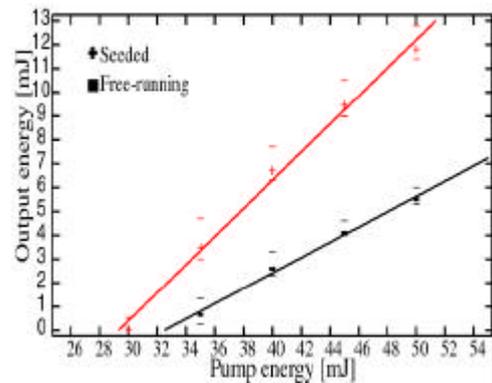


図 2

時間波形

図 3 は、共振器長 2.5m、励起エネルギー 50mJ に設定して測定した時間波形とスペクトルを示している。時間波形に振動が見えているが、解析した結果これは Seed しているモードのとなりの縦モードが少し混じっている影響だと分かった。ただし、周波数領域で確認した結果、強度比は非常に小さいので実用上問題はほとんどなかった。

時間幅は 90ns となり、ほぼ設計通りロングパルスが得られた。このレーザーは、パルスの立ち上がりの揺れが大きいことが弱点だが、パルス幅の立ち上がりの揺らぎは、パルス幅の $\pm 19\%$ で 20% 以内に抑えられていた。

スペクトル

図 4 は、掃引型ファブリペローをゆっくりスキャンしてとったパルスのスペクトルを示している。装置幅を取り除いてスペクトルを評価した結果線幅は $3.7 \pm 0.1\text{MHz}$ になった。

時間幅 90ns に対してのフーリエ限界が 3.5MHz なので、得られたパルスはほぼフーリエ限界の線幅を持ったパルスだと言える。

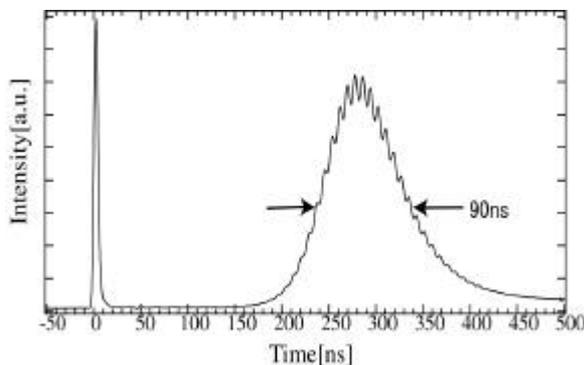


図 3

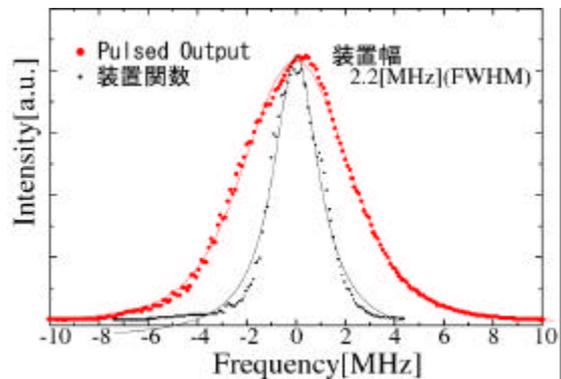


図 4

時間領域からの線幅の評価

線幅と装置幅が近いところがあるので、より高精度に線幅を評価するためにビートをとり時間領域から線幅を評価した

、図5の様に、Seed光の一部取り出し、A/Oモジュレータに2回通すことで160MHzシフトさせた回折光とパルス光を重ねヘテロダイン検波して、Beat信号をフォトレシーバで検出した。

図6は、細線が検出されたBeat信号を示していてパルス幅100nsだった。太線は、バイプラナーを用いて同時に測定した時間波形を示している。

図7は、細線がビート信号の振動成分だけ取り出した信号を示している。太線は、細線にSinフィッティングをかけたグラフである。

2つのグラフを比べると、波形がほとんど同じことから、この波形はChirpしていない、フーリエリミットに近いパルスであることが確かめられた。

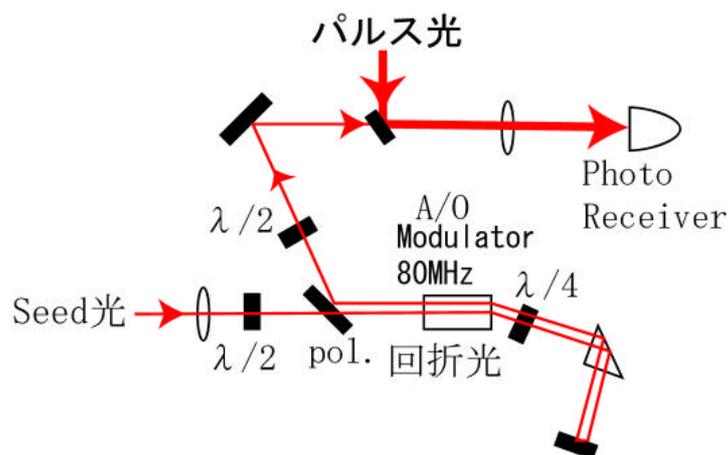
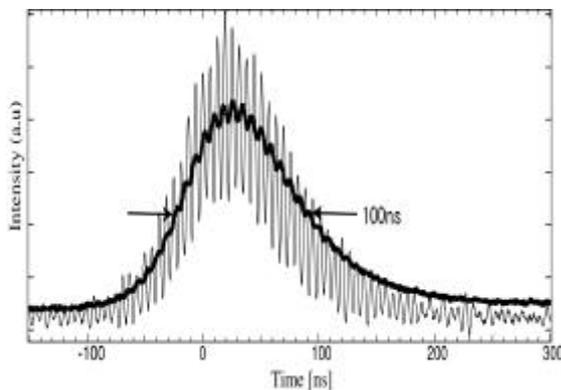


図5



図

6

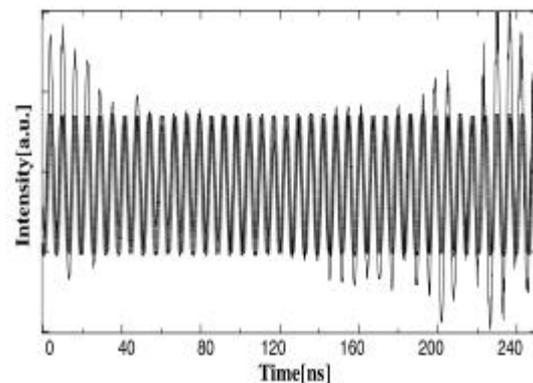


図7

、図 8 は、パルス幅の立ち上がりの揺らぎが少し大きいことを無視して励起エネルギーを 35mJ に下げたの時の Beat 信号を示している。パルス幅は、400ns となった。

図 9 は、太線がビート信号の振動成分だけ取り出した信号を示している。細線は、太線に Sin フィッティングをかけたグラフである。

先程と同様に 2つのグラフを比べると、波形がほとんど同じことから、この波形は Chirp していない、 $800 \pm 100\text{kHz}$ のフーリエリミットに近いパルスだと言える。

評価の誤差はあるが、サブメガヘルツのフーリエリミットパルスの可能を示している。

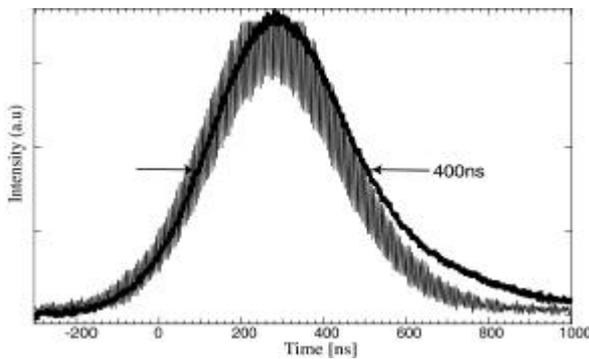


図 8

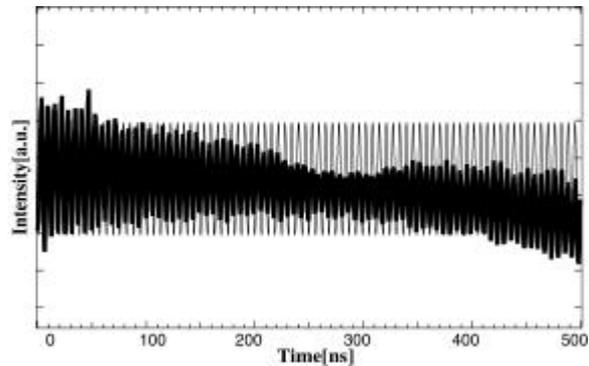


図 9

4. まとめ

共振器長可変の注入同期パルスチタンサファイアレーザーを製作した。

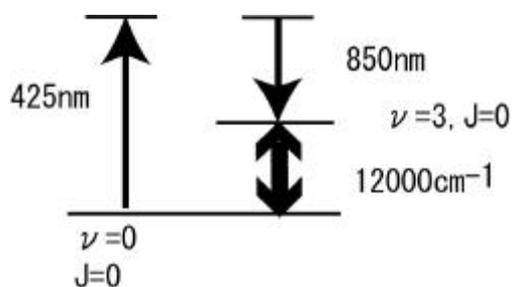
線幅 $3.7 \pm 0.1\text{MHz}$ (時間幅 90ns) のフーリエトランスリミットパルスを得た。

(最大出力 13[mJ], ピークパワー 150[KW])

線幅サブメガヘルツのフーリエリミットパルスを得た。

5. 用途

ラマンコヒーレンスプリパレーションの実験



Muonium の 1s-2s 遷移の観測