

フォトカソード電子銃駆動用の ファイバーレーザーの開発

大阪大学 産業科学研究所

堤 亮太

動機

- 現在、阪大、KEK、広大でLバンドフォトカソードRF電子銃の開発中
- そのフォトカソード駆動用に阪大でも独自にレーザー開発を実施
- 初段として阪大産研量子ビーム施設にあるLバンドライナックの自由電子レーザー実験での繰り返し数である108MHzのモードロックYbファイバーレーザー発振器を製作してきた

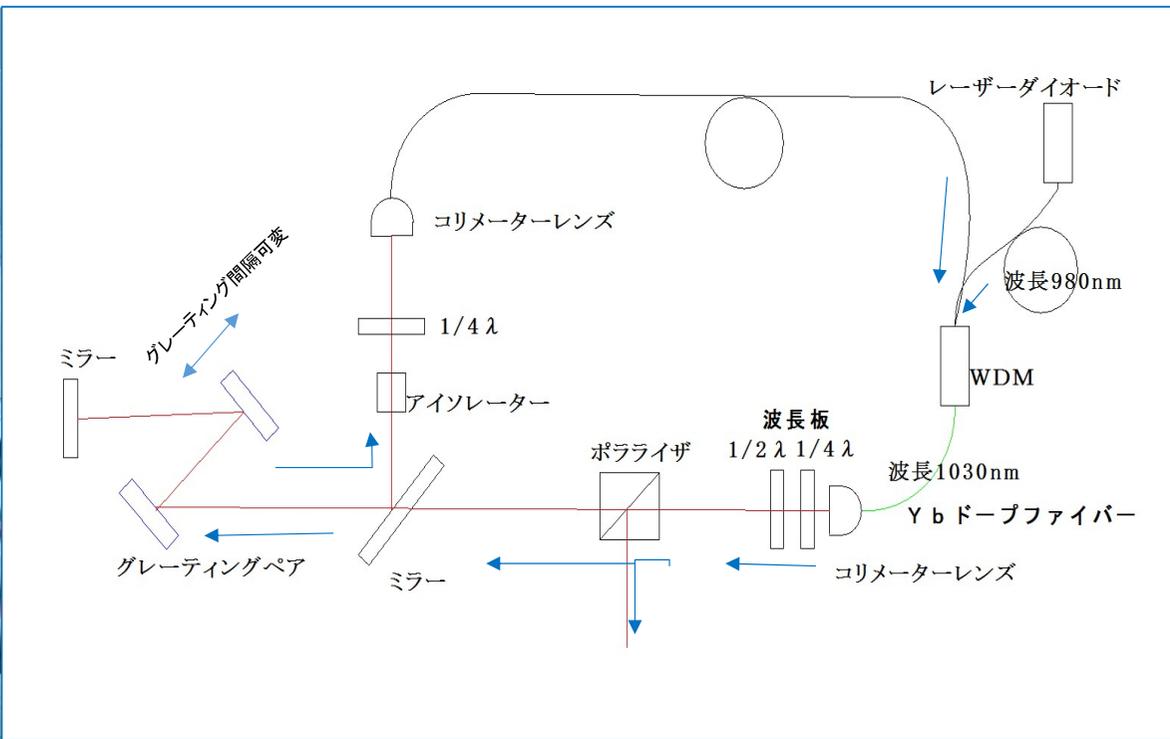
(現在は熱カソード電子銃)

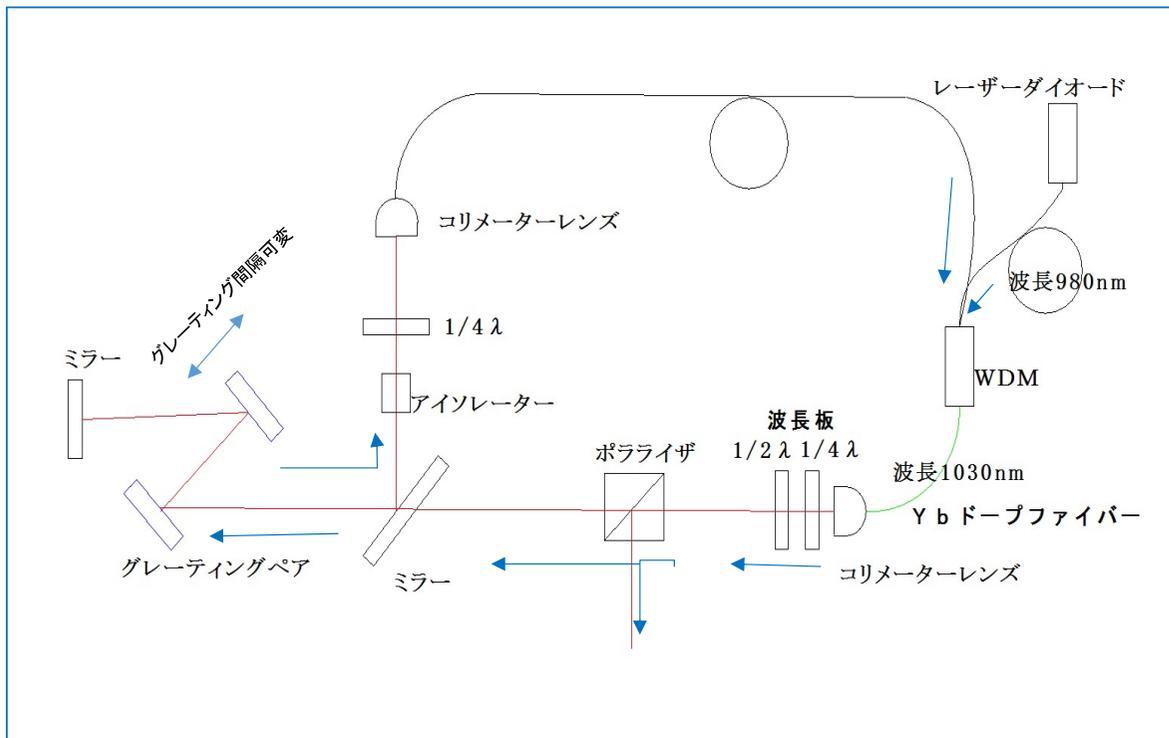
- 現在上記の108MHzに加え、繰り返し数4分の1の27MHzでの運転も開始し、108MHzでは観測されない空中での放電など比較的能量が高い
- これに合わせて将来的に27MHzでのフォトカソード駆動用レーザー発振器も望まれており受動モードロックYbファイバーレーザーを独自に開発中

モードロックとは

- レーザー発振器に立った複数のモードの位相関係を揃えること
- これによりモードの位相が揃っていないcw光からレーザー媒質のゲインスペクトルから得ることができる極短パルス光を発生させる。
- 外部から高周波を加え損失や屈折率を変調し、モードロックをかける方法を強制モードロック。外部から信号を加えないでモードロックをかける方法を受動モードロックという。
- 今回開発しているファイバーレーザーはグレーティング間隔を手動で勢いよく変えることによりモードロックをかける受動モードロックである。また机を叩くだけでモードロックがかかることもあった

27MHzモードロックYbファイバーレーザー発振器のセットアップ

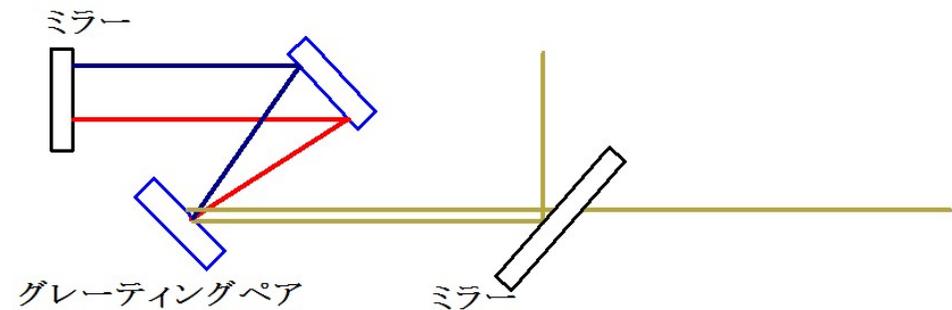




- Ybファイバーはレーザーダイオードからの980nmの光をポンプ光として励起
- 1030nm付近の光が自然発生し誘導放射を起こしCW光として増幅
- 波長板3つの組み合わせで偏光の向きを変えながらグレーティング間隔を変えていくとモードロックがかかりパルス光となる
- ファイバー中では波長の違いによる正の分散が起こり、パルス幅が広がる。それを打ち消すための分散を持つグレーティングペアを用いることによりパルス幅を保つ

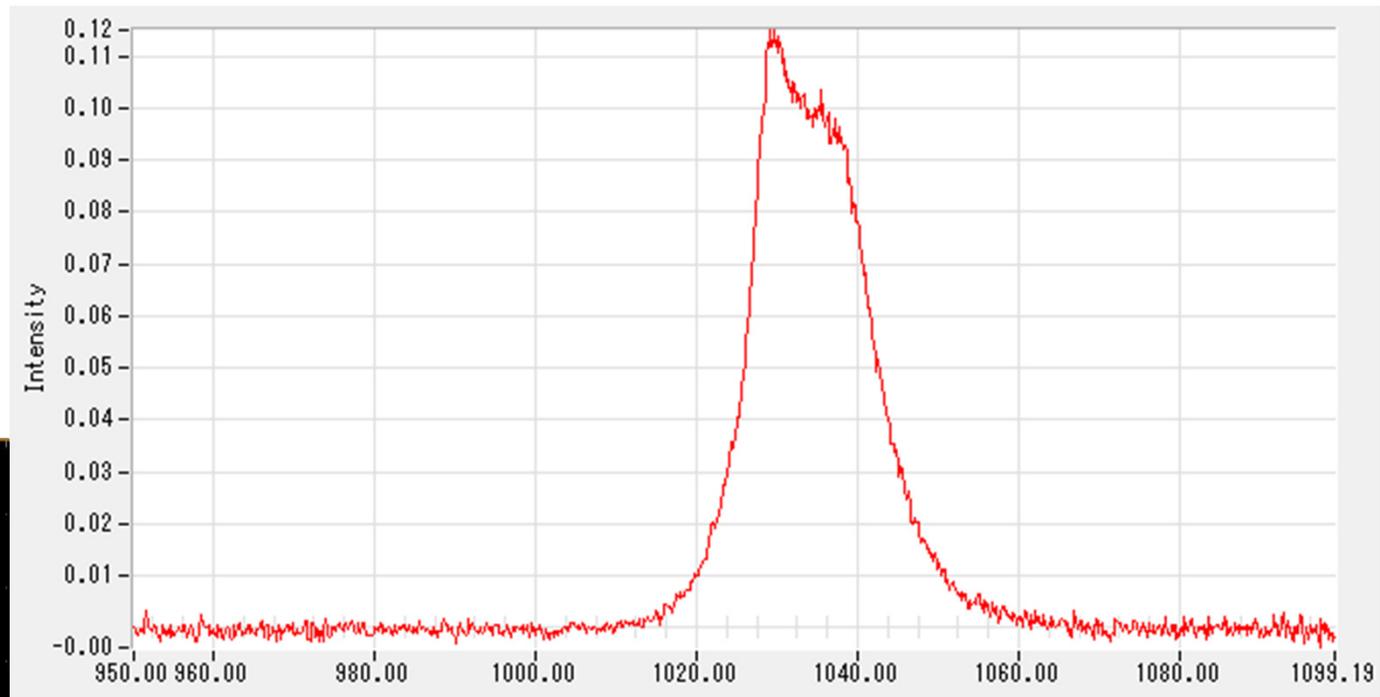
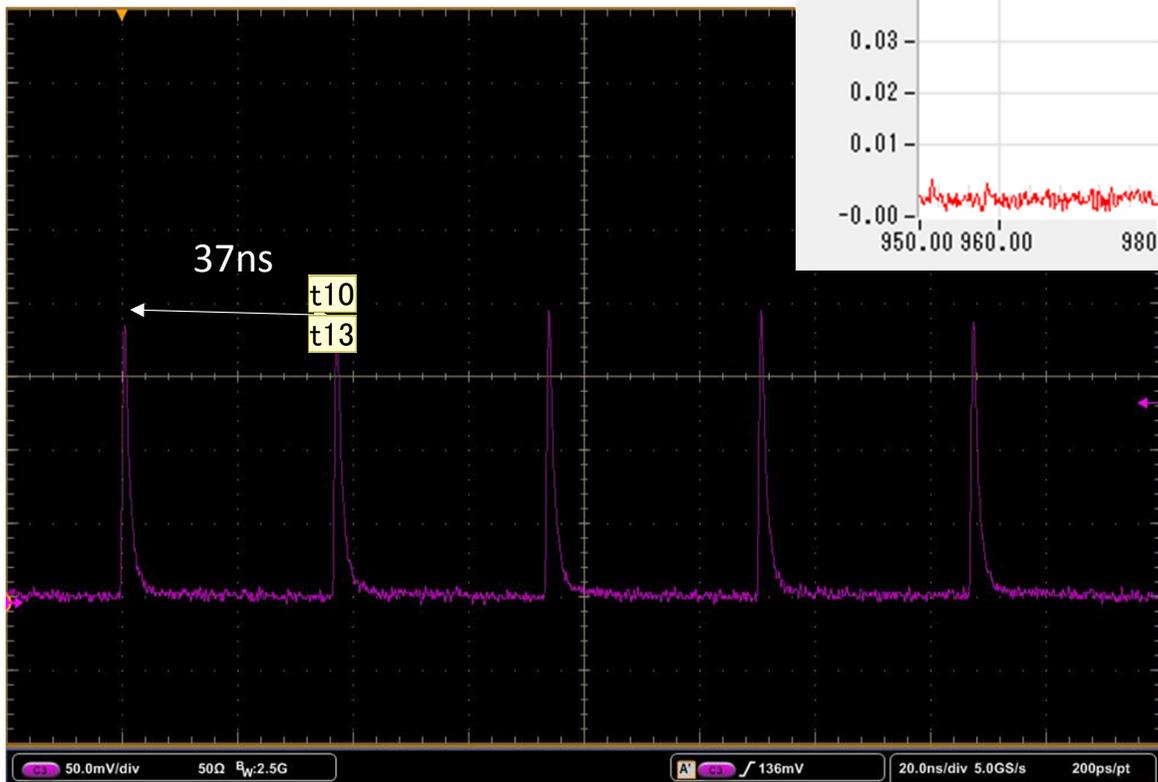
分散

- 自由空間中では各波長の速さは等しく、パルスの形を保ったまま進むがファイバー中では波長により屈折率が異なる。そのため波長によりファイバー中の速さが異なりパルスが広がってしまう。このことを**波長分散**という。
- そのためパルス幅が広がった分だけ縮める必要があり、グレーティングを用いて負の分散を与え補償する。
- ファイバー長、材質、中心波長から計算された分散値に合わせてグレーティングへの入射角度、間隔などを設計した。



t11

今回測定した パルスの波形と スペクトル



設計どおり27MHzでパルスが得られ、
波長板の組み合わせ、グレーティング
間隔によって長時間モードロックする
ことも確認された

スライド 7

t10 パルスは37ns間隔であり、27MHzで発生していることがわかる。
tsutsumi, 2014/08/06

t13 1020nmから1060nm付近まですそが広がっている
tsutsumi, 2014/08/06

t11 tsutsumi, 2014/08/06

t2
t3

Fig.1

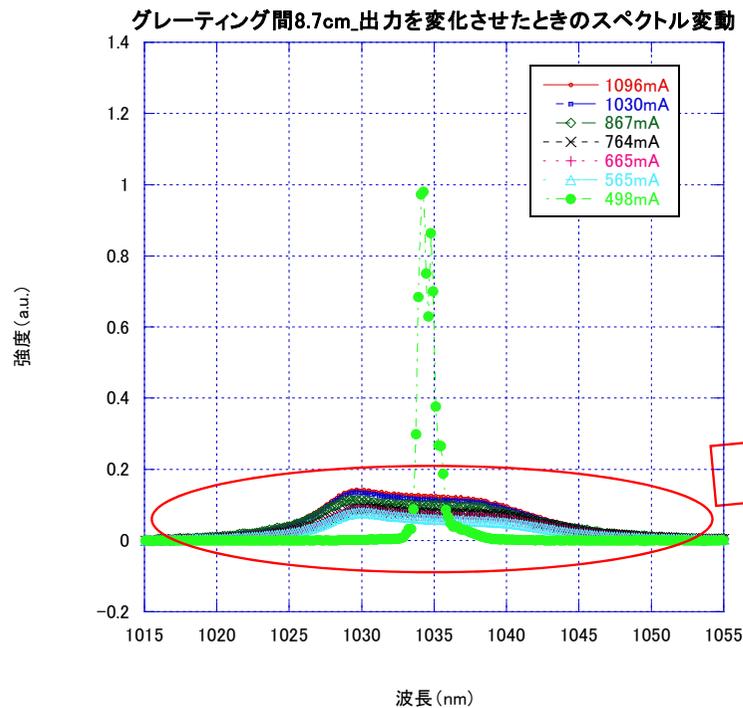
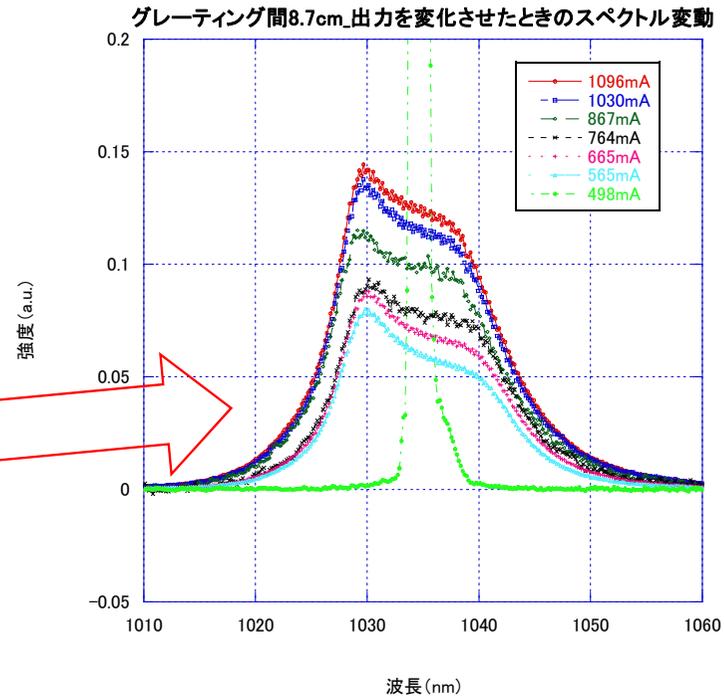


Fig.2



グレーティングの間隔がどの出力においてもパルスの広がりを打ち消す設計値である8.3cmよりも大きい位置(8.7cmなど)でモードロックがかかり、パルス光となった。

また出力を上げるとモードロックがかかるグレーティング間隔の幅が広くなり、モードロックがかかりやすくなり、また長時間安定となる。

スライド 8

t2 ポンプ光の出力を変えたときのスペクトルを色別で表している。
tsutsumi, 2014/08/06

t3 出力を下げていくとパルスの強度も下がっていき緑色の498mAではモードロックがはずれパルスではなくなりcw光となった
tsutsumi, 2014/08/06

t5
t6 t7
t9

Fig.3

LD 571mA グレーティング間隔を変化させたときのスペクトルの違い t8

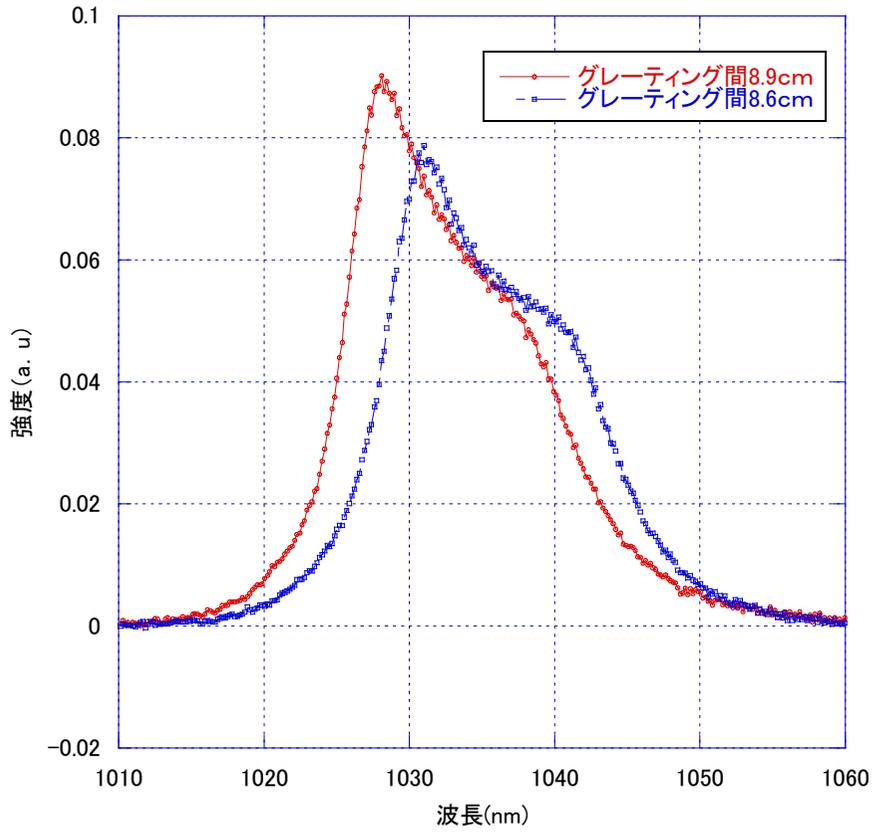
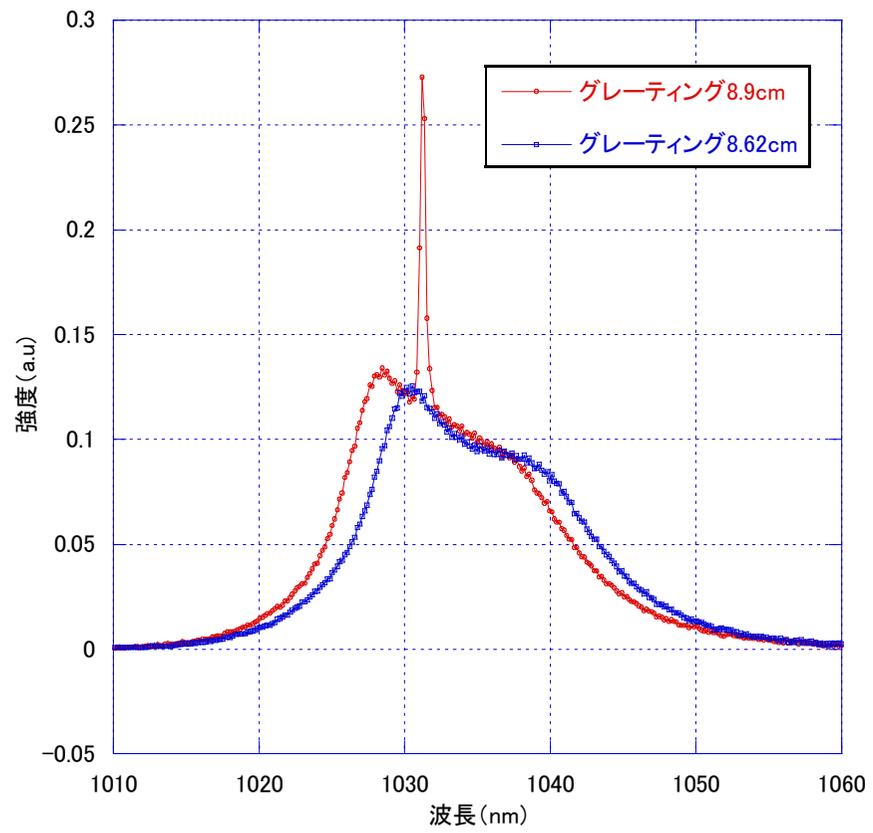


Fig.4

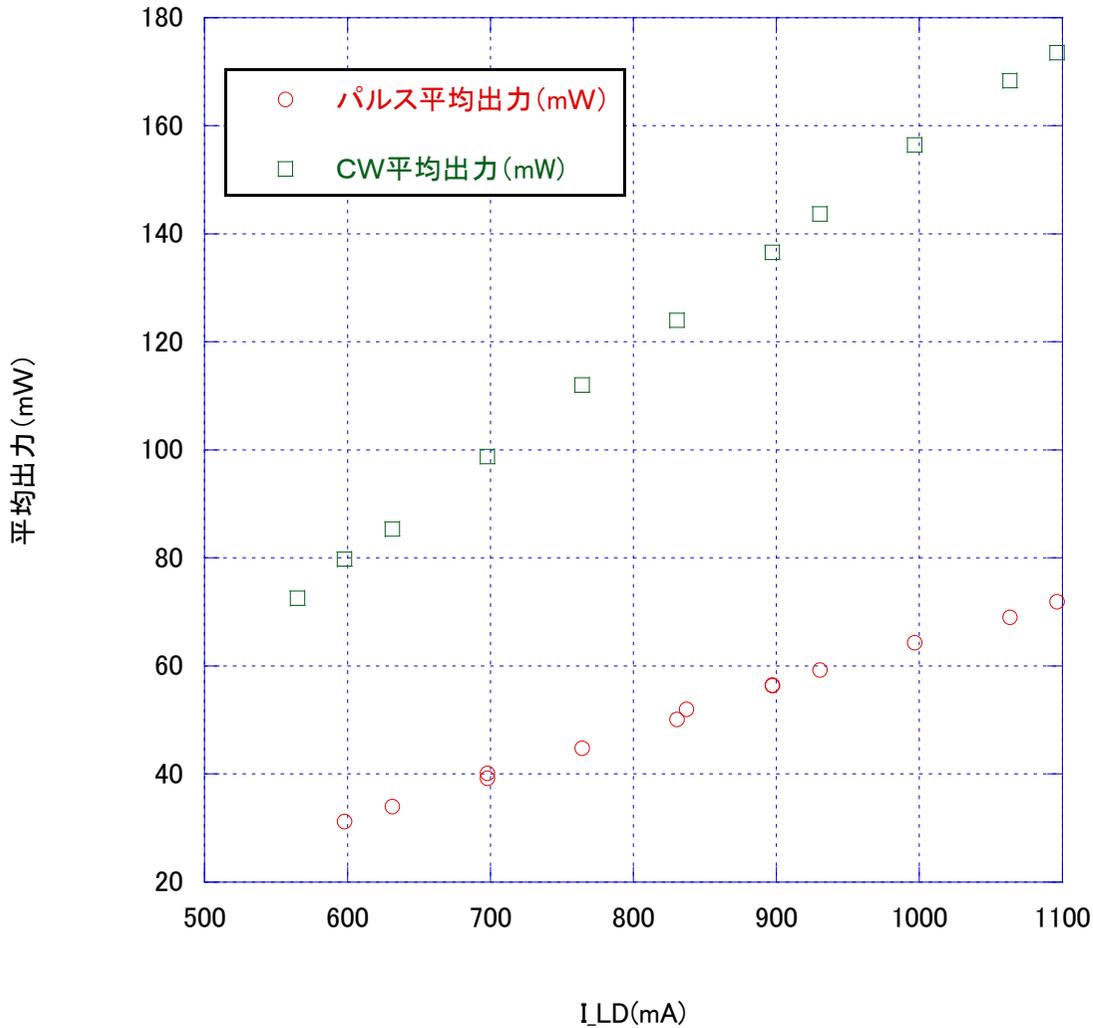
LD 930mA グレーティング間隔を変化させたときのスペクトルの違い



スライド 9

- t5 fig3はグレーティングペア間隔を変えたときのスペクトルの変化を示した赤が青よりも3mmだけ長い
tsutsumi, 2014/08/06
- t6 長い方が全体的に波長の短い側に遷移しているのが分かる。なぜ
tsutsumi, 2014/08/06
- t7
tsutsumi, 2014/08/06
- t9 fig4はポンプ光出力930mAのときグレーティング間隔を変化させたときのスペクトルを色分けしている。ポンプ光を比較的高い出力ではグレーティング間隔を変えると赤色のようにつのが立つことがあり、これは不安定でモードロックがかかったりかからなかったりし、cwの光が混じっているのではないかと考えられる
tsutsumi, 2014/08/06
- t8
tsutsumi, 2014/08/06

ファイバーレーザー出力



- レーザーダイオードの電流値を変え、つまりポンプ光の出力を変えたときのファイバーレーザー発信器の出力変化

- 平均出力の最大はCWで173.6mWのときパルスで71.9mW

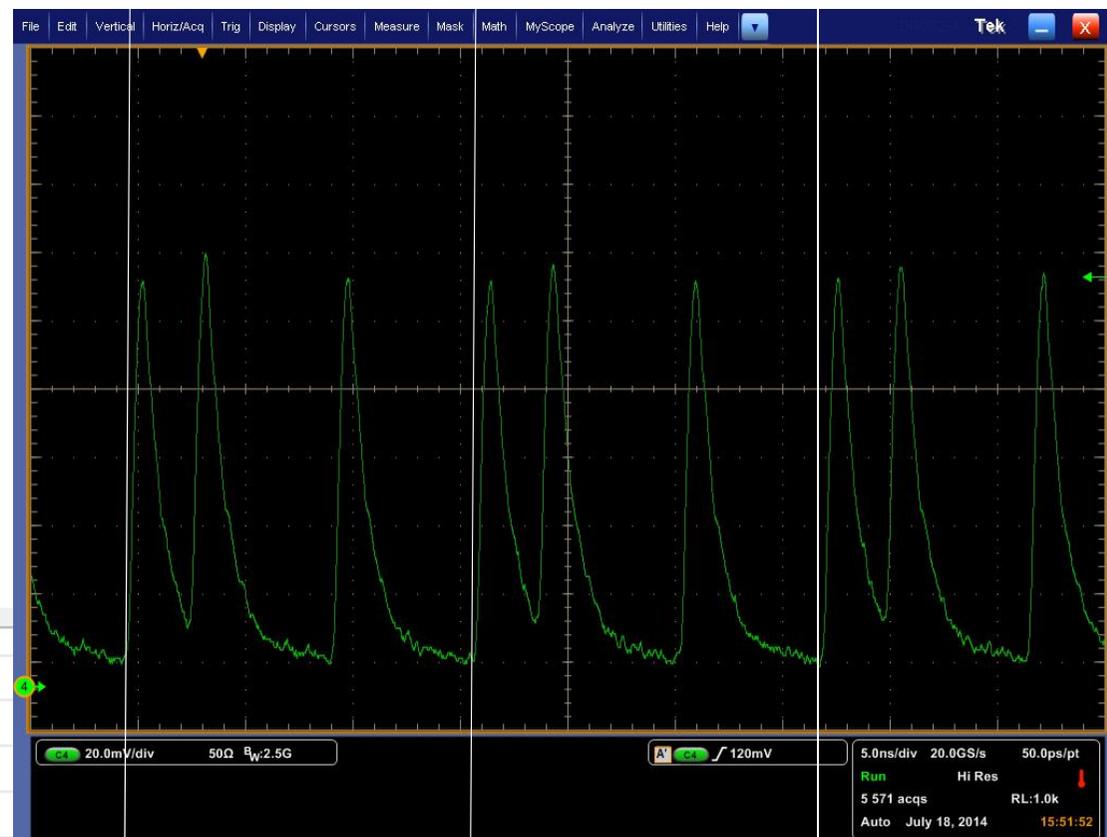
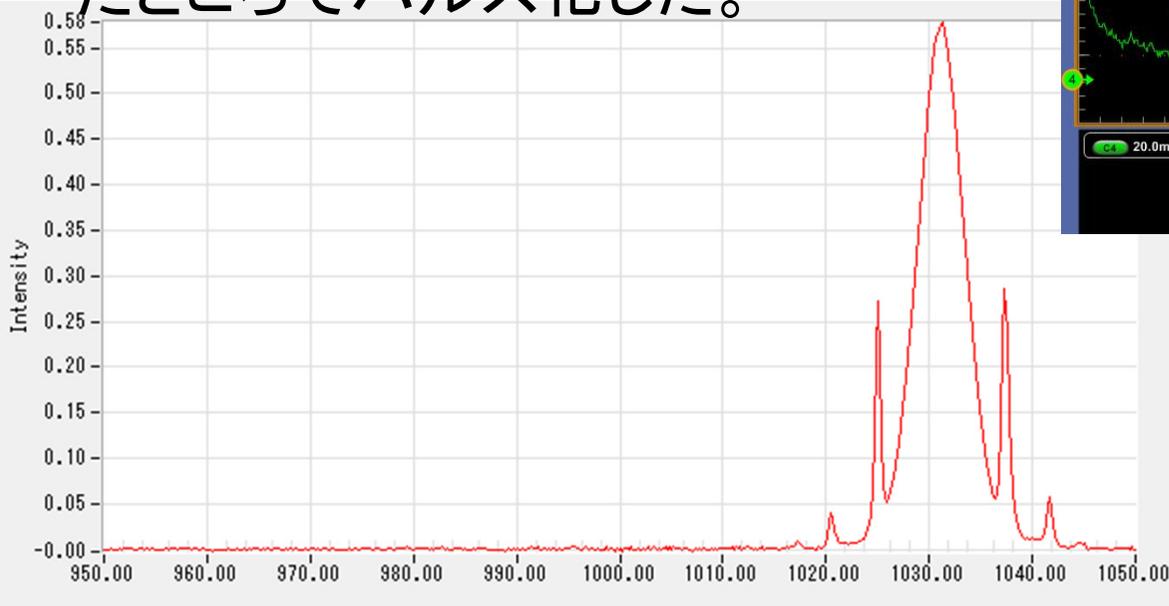
- このとき1パルスあたり平均2.7nJである

- パルスをガウス型と仮定した場合

フーリエ変換限界パルス幅は約80fs

➤また繰り返し数27MHzを作る前に60MHzとなる周期長で発振器を作成した。

➤グレーティング間隔3.2cmで分散が補償されるように設計したが実際には8cm付近でモードロックがかかり大きくはずれたところでパルス化した。



上の波形の様に1周期に3つのパルスができている状態でモードロックするときもあった。

t12

また27MHzでセットアップする前に60MHz付近
tsutsumi, 2014/08/06

結論と今後の課題

- 設計どおり27MHzでパルスが得られ、波長板の組み合わせ、グレーティング間隔によって長時間モードロックすることも確認された
- モードロックしたときのパルス動作の平均出力は35mW~70mW
- 出力を上げるとモードロックがかかるグレーティング間隔の幅が広くなり、モードロックがかかりやすくなり、また長時間安定となる。
- しかし設計値以外でのグレーティング間隔では分散補償がファイバー中での実際の分散と異なる為、パルス幅が広がってしまい特性が変化していると考えられる。フォトディテクターではパルス幅(100fs)よりも時間分解能が悪く、パルスの特性が分からない。よってこれからの課題としてパルス特性を測る必要がある
- 長時間での出力安定性、周波数カウンタを用いて繰返し周期の安定性を測定していく
- 出力増幅器を後段に作成していき、100Wを目標に増幅させる

ご清聴ありがとうございました

- ポンプ光の方が出力高いけどなぜポンプ光そのままつかわないの
- Cw光のほうが出力高いのなんで(ロスが増えてるとすいていしていますが勉強中です
- Ybから1030nmでてるのになぜ1035のところでグラフのピークたってるの？
- 買ったらかんの？27MHzで実際にその性能でるかわからないので

これから目標Wまで上げるには発振器から特性を知り調整できなければならないので発振器から自作しました
100Wで何Cえられると計算してるの？

27MHzは何クーロンえられてる？

- 熱カソードとフォトカソードのメリットデメリット
- 熱カソードは電子量多いが使える電子に限られる
- チョッパーで切ってもいいがおしりが使えなかつたりする
- ハードで作りこむのでパルス幅とかかえにくい
- フォトカソードは与えるレーザーのパルスによってパルス幅変えやすい