

# 波長領域多重加算法の研究

舛谷 立春 指導教員:米田人紀

## 1 概要

現段階では結晶や回折格子などのオプティクスの影響により単一レーザーでの出力は限界にきている。そのため高出力化に向けてコヒーレントビーム結合(以下 CBC と呼ぶ)によりエクサワットクラスのレーザーを生成することができるのではないかと注目されている。エクサワットレーザーが開発されることにより QED 効果やなどの新分野や自然科学の分野において発展を見込むことができる。

本研究はで波長領域多重加算法について  $1\mu\text{m}$  帯のパルス波を持つファイバーレーザーの製作から行った。

## 2 原理

### 2-1 非線形偏波回転モード同期

非線形偏波回転(NPR と呼ばれる)はファイバーに光が入射した際、内部を透過する偏光の回転度合いがその入射光の強度により異なることである。これは高強度の光が入射した際にファイバーの屈折率が非線形により非線形屈折率変化を起しパルスに位相変化が生まれるため、高強度の光の方が低強度のものに比べ偏光は大きく回転する。この性質を利用し CW 光とパルス光を分離することでモード同期をかける方法が非線形偏波回転モード同期である。



図 1.偏波回転

### 2-2 Yb ファイバー

本研究で用いたファイバーはシリカガラスに希土類イオンであるイッテルビウムイオン( $\text{Yb}^{3+}$ )を添加した Yb ドープファイバーを使用した。図 2 に Yb のエネルギー準位と Yb 添加ファイバーの吸収断面積と放出断面積を示す[2]。エネルギー準位は基底状態を  $2F_{7/2}$ 、励起状態を  $2F_{5/2}$  の準位構造をしている。基底状態は  $2F_{7/2}$  からわかるように 4 つの準位をもち、励起準位は  $2F_{5/2}$  から 3 つの準位を持っている。また基底準位と励起準位のエネルギーギャップが大きいと多光子放出による非放射過程は生じず、 $\text{Yb}^{3+}$ イオンはイオン半径が小さいため高濃度電荷した際に濃度消光が起らない。これにより高濃度添加したドープファイバーの製作が可能になりファイバー長を短くすることができる。

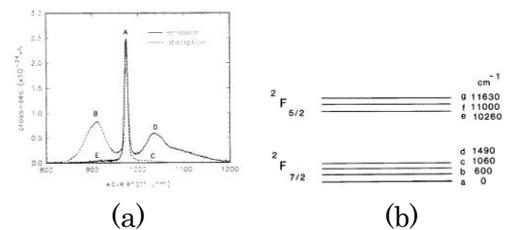


図 2, (a)Yb エネルギー準位 (b) Yb ファイバーの吸収断面積と誘導放出断面積

## 3 実験概要

### 3-1 非線形偏光回転

偏光によって偏光回転量が変化するかを入射光の強度を変化させていくことで偏光回転量が変化するかどうかを測定する。実験系を図 3 に示す。ファイバーに入射する前におかれている波長板で入射光の強度およ

び偏光を決定することができる。

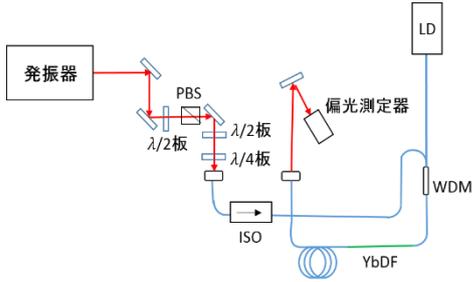


図 3.非線形偏光回転

### 3-2 Yb ファイバー共振器

レーザー媒質としてコア径  $6\mu\text{m}$  のダブルクラッド構造の Yb ドープファイバー (LIEKKI Yb1200 6/125DC) を使用した。この時の Yb ファイバー長は  $40\text{cm}$  であった。また励起光としては  $976\text{nm}$  の励起用 LD を使用し励起を行った。LD から出力された励起光は WDM を通り Yb ドープファイバーに入射しファイバー励起を行う。また励起されたのちに起こる視線誘導放出高により誘導放出が起こり Yb ファイバーのコアからは  $1030\text{nm}$  付近の光が出る。その後アイソレーター:ISO (共振器の方向を決める素子) を通りコリメーターによって平行ビームとなり空間へ出力される。

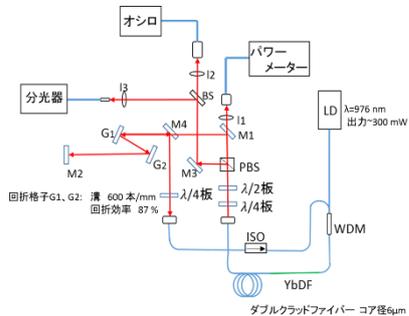


図 4. Yb ファイバー共振器

### 3-3 波長分離・融合光学素子の性能評価

本研究では CBC の手法としてビームを波長領域に分解した後結合させる波長領域

多重化加算をとる。そのためビーム結合を行うビームを一度波長領域において分離する必要があり、その際の分光素子として IBS 蒸着膜のシャープカットフィルターを用いる。このフィルターの反射と透過のスペクトルは角度に依存し変化するため、図 5 に示すような実験系により角度による透過率、反射率と角度によるスペクトルの関係を測定した。

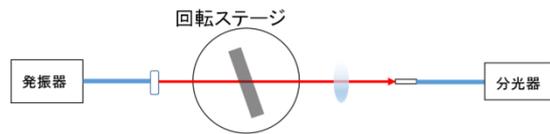


図 5.光学素子性能評価

## 4 結果

### 4-1 非線形偏波回転

入力偏光に応じて偏光回転量が変化するか入力光の偏光を入社前の波長板を調整することで直線偏光、楕円偏光、円偏光に変化させ入力したときの回転量がどのように変化するかを確認した。まず入射光の強度により回転量が変化するかを確認した。この時入射光は  $1\text{mW}\sim 23\text{mW}$  で変化させ、この時の変化を図 6 に示す。

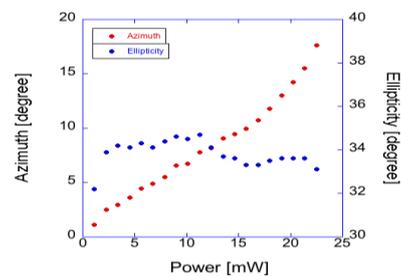
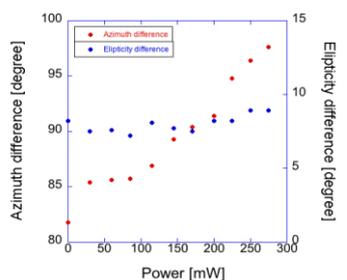


図 6. 入力強度と偏光回転量

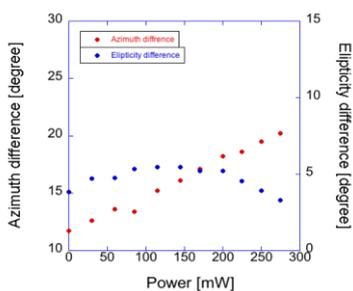
これより入射光の強度に依存し偏光回転が起こることがわかる。

また入射光の偏光状態と偏光変化量の関係性を確認した。入射光の偏光を直線偏光、

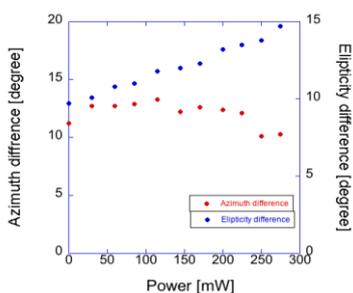
楕円偏光、円偏光としそれぞれの変化量を図 7(a)、(b)、(c)に示す。これより低出力時に円偏光の方が偏光変化量は大きく、入射の偏光状態によっては、偏光変化量が少ない状態があることが確認できた。



(a)



(b)



(c)

図 7.偏光変化量

#### 4-2 Yb ファイバー共振器

ここで Yb レーザーから得られるレーザー光スペクトルを図 8 に示す。CW のスペクトル波形は同図 (a) に、CW 成分の強い

パルス光スペクトル波形は同図 (b) に、フェムト秒パルス光のスペクトル波形は同図 (c) に示す。この時 CW 成分の強いパルス光は不安定な状態でモードロックがはずれやすい状態である。この時のスペクトルの中心波長は 1030nm であり、(c)における波長幅は 22nm であった。波長板を回転させることで共振器内の CW 成分を排除し広いスペクトル幅を持つスペクトルを得ることができた。しかし(c)のスペクトルにおいても回折格子による分散補償が不十分だったためかモードロックが安定してかからなかった。

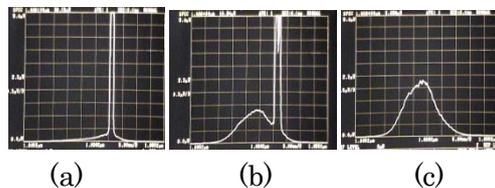


図 8.Yb ファイバレーザスペクトル

#### 4-3 光学素子の性能評価

光学素子である Semrock 社製の IBS 蒸着膜のシャープカットフィルターの評価を行った。まずフィルターによるロスの評価を行うために透過率と反射率の関係性を調べた。角度におけるそれぞれの関係を図 9 に示す。図 9 からわかるようにフィルターによるロスは最大で 1%未満であったためロスによる影響は考えなくてよいことが分かる。

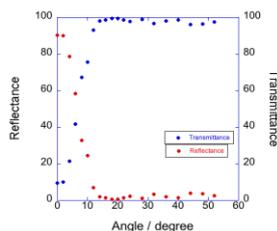


図 9.角度による透過率、反射率

また角度による分解能と使用可能波長領域について図 5 に示される実験系により測定を行った。この時の目標分解能は 20nm のバンド幅で 10 チャンネル程度が見込める 1nm 以下である。結果を図 10 に示す。目標分解能を満たすものは角度 0~3 度の時の 0.8nm でありその時の使用可能波長領域幅は 4nm であった。今回使用した IBS フィルターは 1064nm 対応であったためこの対応波長を異なったものを使用することで目標分解能を満たした分解能で 20nm 程度の波長領域幅を分解することが可能である。

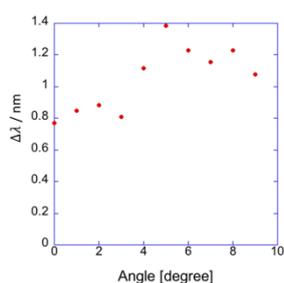


図 10.角度による分解能

## 5 まとめ

Yb ファイバーレーザーの製作を行った。励起用 LD の出力と波長は十分励起用 LD の条件を満たすものであり、スロープ効率 40% の CW 光を発振させることができた。非線形偏波回転を用いたモードロックについては一枚の  $\lambda/2$ 、2 枚の  $\lambda/4$  枚を用いて共振器内の CW 成分を落とし幅広いスペクトル幅を持つ光のみを選択することができた。しかし回折格子対の分散補償が不十分だったため安定したモードロックをかけることができなかった。

波長多重化では、波長分離をさせる光学素子性能が重要になる。Semrock 社製の IBS 蒸着膜のシャープカットフィルターを分離

素子とするために、その入射角度に対する透過スペクトルを測定した。この研究で最も重要となる反射から透過に変わるスペクトル幅は、入射角 0 度から 14 度の範囲では 1nm 付近であることが分かった。これにより、Yb ファイバーレーザーのバンド幅内に 6 チャンネルの多重化を設定することができることが分かった。

## 6 今後の展望

Yb ファイバーレーザーにおいて回折格子対における分散補償が不十分なためにコリメーターや他のおプティクスの影響も含め分散値の再計算を行いモードロックによる安定したパルス光の製作を行いたいと考えている。また加算においてフィルターの特性で毛でなく加算に関係してくるフィードバック方法も考える必要がある。

## 7 参考文献

- [1] レーザー物理学入門 霜田光一著 岩波新書
- [2] H.M.Pask, et al" Ytterbium-Doped Silica Fiber Lasers: Versatile Sources for the 1-1.2  $\mu\text{m}$  Region" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL.1, NO.1, APRIL 1995