

エルビウム・イットリビウム共添加ダブルクラッドファイバーを用いた 単一偏光二波長光源の作製

量子物質工学科 0223006 勝又信哉

1 はじめに

現在、高出力ファイバーレーザーを用いた高効率可視光変換の研究が盛んである。エルビウム・イットリビウム共添加ダブルクラッドファイバーを用いた高出力な二波長同時増幅（ $1\mu\text{m}$ 帯と $1.5\mu\text{m}$ 帯）が可能になれば、その組み合わせで様々な可視光を出力する事が可能となる。そのため、本実験では、二波長同時増幅、単一偏光光源の作製を目的としている。単一偏光化については、高効率な第二高調波発生をさせるためである。（以後、エルビウムを Er、イットリビウムを Yb とする。）

2 実験原理

2-1 実験図

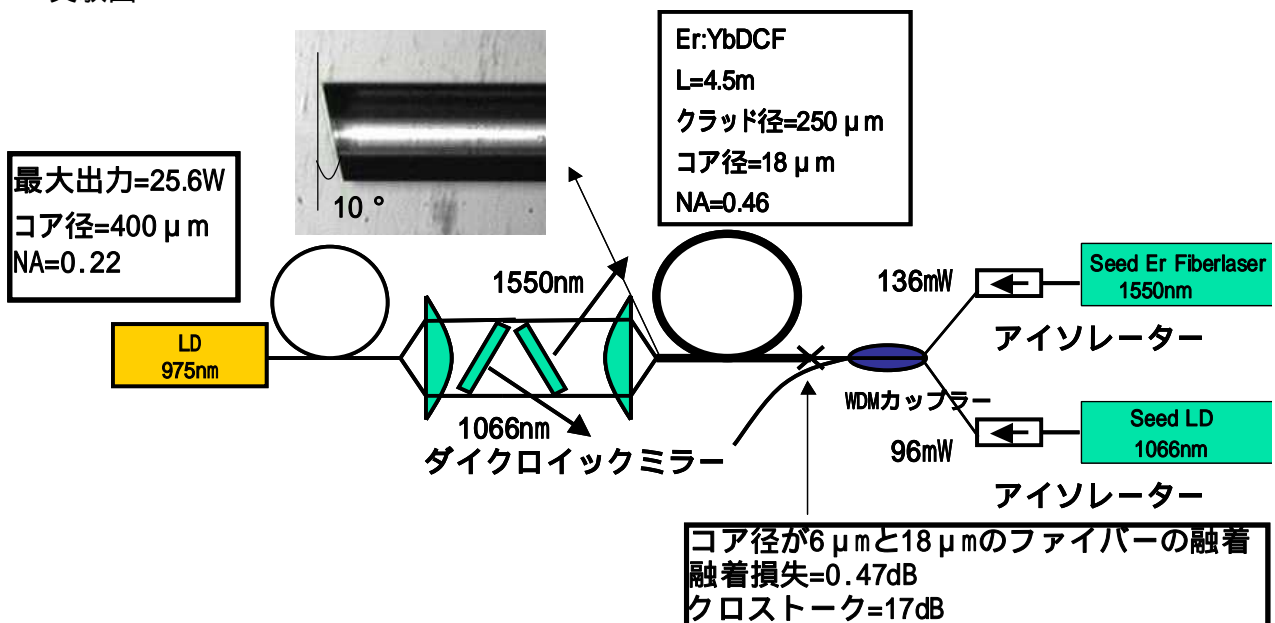


図 1 実験図

図 1 に実験図を示す。

本実験で使用されるファイバーはすべて偏波保持型のファイバーである。

1066nm（半導体レーザー）、1550nm のシード光を反射を防ぐためのアイソレーター、WDM カップラーを通し、Er:Yb 共添加ファイバーに入射する。

ファイバーは、波長 975nm、最大出力 25.6W の LD で励起され、二波長を増幅し、ダイクロイックミラーで二波長を取り出す装置となっている。

アイソレーターを通過後のパワーは 1066nm シード光が 96mW、1550nm シード光が 136mW となった。

偏波消比は、1066nm シード光は 17.7dB、1550nm シード光は 24.7dB であった。

また、ファイバー端面はフレネル反射を防ぐために、約 10° のアングルをつけて研磨してある。

1550nm シード光はマルチモードなので、まとめて述べる方法でシングルモード化した。

Er:Yb 共添加ダブルクラッドファイバーの特性は、Er 濃度は、2000ppm（通常は濃度消光の関係で 1000ppm 程度が限界だが、2-4 に述べる方法で解決）、Yb 濃度は 30000ppm でマルチモードファイバーである。また、今実験では、シード光 1550nm のみで増幅した時を一波長増幅、1550nm と 1066nm で増幅した時を二波長増幅と呼ぶ。

2-2 1066nm シード光源について

図 2 に 1066nm シード光配置図を示す。

コリメートレンズの間にバンドパスフィルターをはさみ、1nm のバンドパスフィルターとファイバー端面で外部共振器を組み、単一偏光化する。また、バンドパスフィルターを傾げることで、発振する周波数を選択することができる。

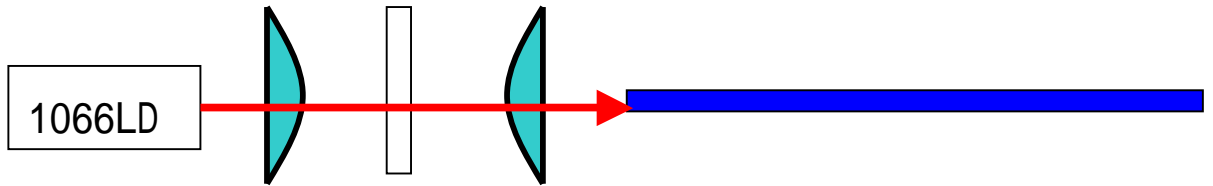


図 2 1066nm シード光配置図

2-3 1550nm Er Fiber Laser について

ファイバーレーザーであるので、共振器長が長く縦モード間隔(FSR)が 4.1MHz で、モード数は、6.3GHz となり、多数のモードが存在し、ビート雑音が存在する。ビート雑音の周期は、0.25MHz である。

2-4 Er:Yb 共添加ファイバーの利点

図 3 に Er:Yb 配置イメージ図を示す。Y がイットリビウム、E がエルビウムである。

Yb の吸収断面積は大きく (975nm 帯で Er は $0.2 \times 10^{-20} \text{cm}^2$ 、Yb は $2.0 \times 10^{-20} \text{cm}^2$) 短いファイバーでも十分に増幅することが可能である。また、Er 添加のみの時に起こる、クラスタリングによる濃度消光を Yb が Er を囲み、Er 間の距離を離すことによって、抑制することができる。

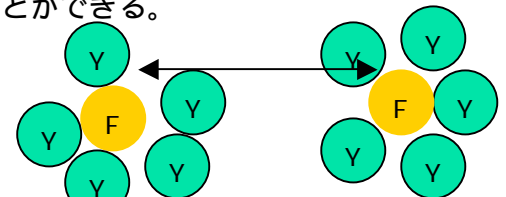


図 3 Er:Yb 配置イメージ図

2-4-2 Er:Yb エネルギー準位図

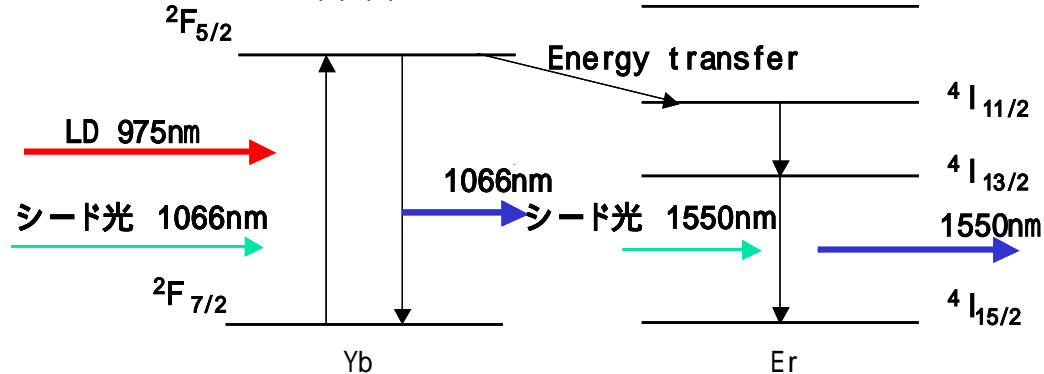


図 4 Er:Yb エネルギー準位図

図 4 に Er:Yb エネルギー準位図を示す。

一波長時は、975nmLD で Yb を励起し、励起されたものは、Er 側にエネルギー移動を起こす電子と、1030nm ピークの増幅自然放出光 (ASE) をするものがあるが、二波長増幅を行うと、Yb 側でも 1066nm で増幅されるので、ASE を抑制し、安定に二波長を増幅することができる。

2-5 偏波保持型ダブルクラッドファイバーについて

図 5 にダブルクラッドファイバー、図 6 に偏波保持ファイバーを示す。

本実験では、単一偏光出力も目的のため、偏波保持型 Er:Yb 共添加ダブルクラッドファイバーを使用する

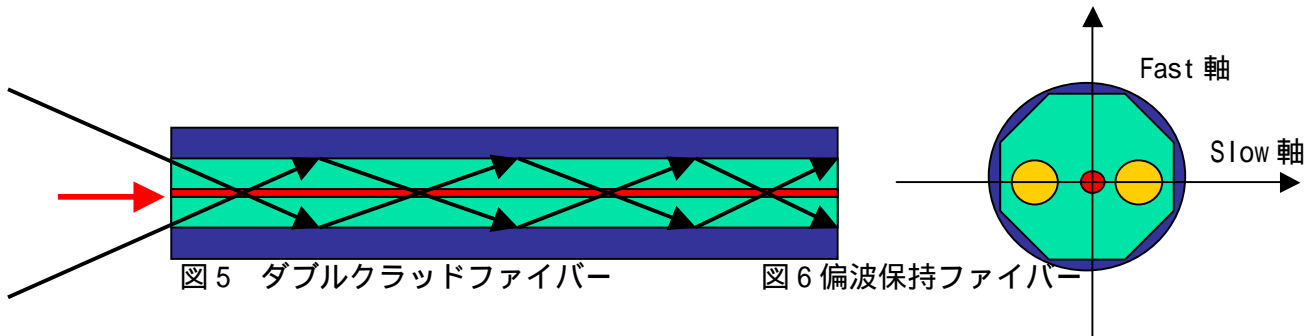


図5で示す通り、シード光を Er:Yb が添加されたコアに入射し、内部クラッドに励起光を入射しコアを励起していく。そのため、励起光は、広い面積に入射でき、高エネルギー、ビーム品質の悪い LD でも使用できる。

偏波保持については、図6にあるように、コア付近の二つの丸い部分に B_2O_3 がドーブされており、Fast 軸 Slow 軸それぞれで偏波が保持される。Fast 軸とは、ファイバーの屈折率が最小、Slow 軸は屈折率が最大の部分である。

3 実験結果 1066nm、1550nm 付近のスペクトルについて

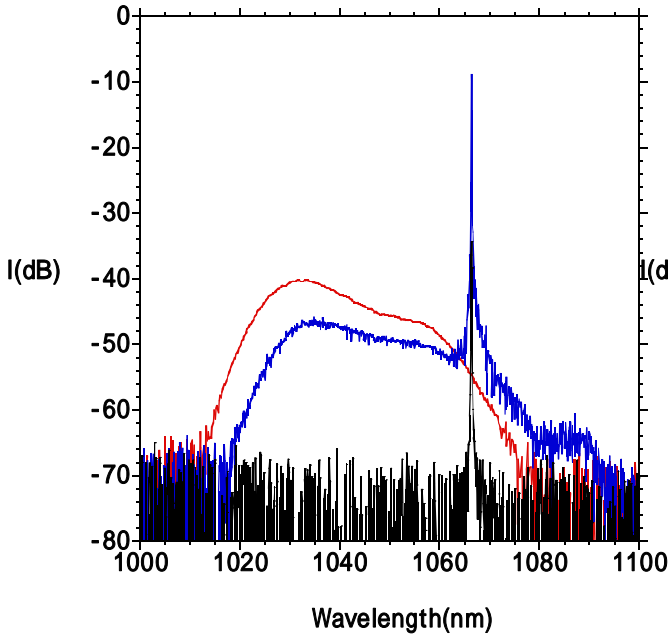


図7 Yb 側スペクトル

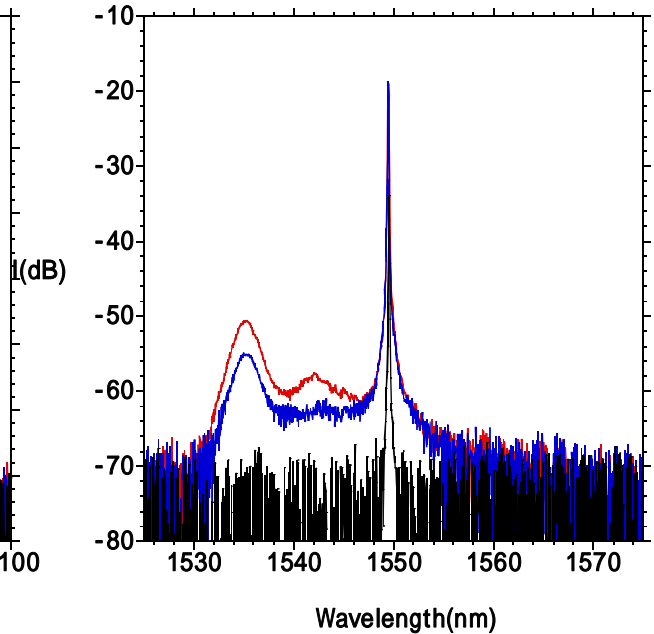


図8 Er 側スペクトル

図7に1066nm付近のスペクトルを、図8に1550nm付近の一、二波長増幅時、シード光のスペクトル(黒線がシード光、赤線が一波長増幅時、青線が二波長増幅時である)、図9一、二波長増幅時パワー特性を示す(赤線が1066nm 黒線が1550nmで実践が二波長増幅時、点線が一波長増幅時)。Yb 側スペクトルでは、一波長増幅時は1030nmをピークとした。ASEが発生していて、発振は起こっていない。最大 power=2.75W だった。

二波長増幅時は、1066nmで増幅されており、最大 Power=6.62W であった。

Er 側スペクトルについては、一波長増幅時は、最大 Power=5.11W、二波長増幅時は、最大 Power=4.18W だった。二波長増幅時に、パワーが低下したのは、1066nmで増幅されているため、エネルギー移動が起きる確立が低下したからである。

二波長のエネルギー比率は、シード光のパワーを変えることによってある程度調整することができる。調整の範囲については、図9のパワー特性の一波長時、二波長時の間である。

赤い実線が1066nm二波長増幅時、赤い点線が一波長増幅時のASE、黒い実線が二波長、点線が一波長増幅時のものである。縦軸が強度(dB)。

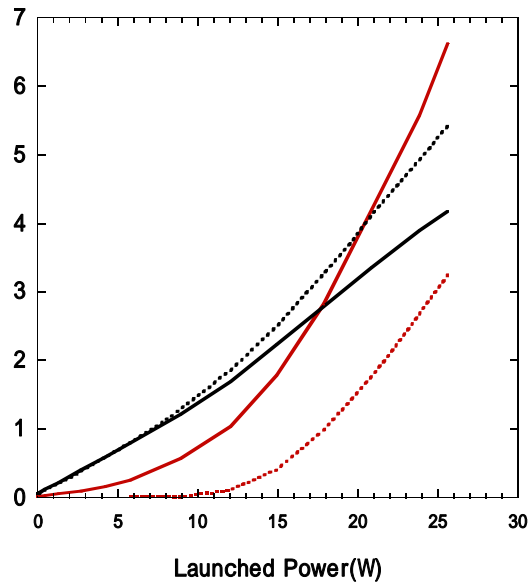


図9 一、二波長増幅時パワー特性

3-2 1550nm M^2 測定結果

図10に1550nm M^2 フィッティングのグラフ、図11にCCDカメラでレーザーを正面から撮った映像を示す。1550nmシード光は、マルチモードなので、シングルモードになっているか確認を行うため、 M^2 測定を行った。

黒線がx軸、赤線がy軸の結果である。フィッティングを行った結果、 $M_x^2=1.22$ 、 $M_y^2=1.24$ であり、シングルモードと言えた。また、シングルモード化するために、Er:Yb共添加ダブルクラッドファイバーに曲率を加えた。曲率半径は1~1.5cmである。計算の結果、第二高調波発生に用いるリチウムナイオベートの結晶長は15cm程度まで使用できることがわかった。

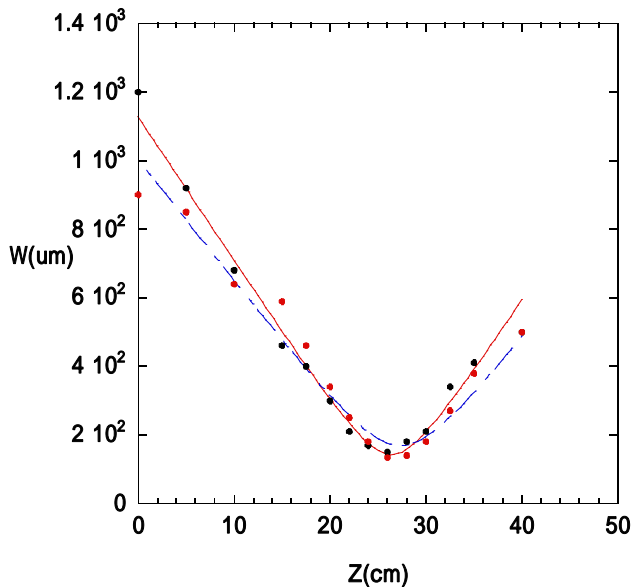


図10 1550nm M^2 フィッティング

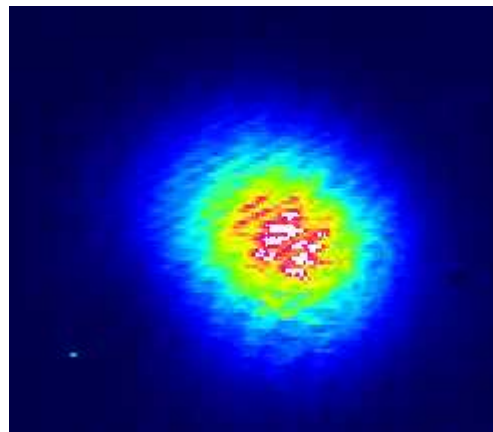


図11 CCD正面映像

3 まとめと今後の展望

二波長を1066nmは6.62Wに、1550nmは4.18Wに増幅することに成功した。偏波消光比が増幅の前後で、1066nmは17.7dBから6.5dBに、1550nmは24.7dBから11.5dBに減少した。これはファイバーの融着点のクロストークが原因と考えられる。現在2.5cmのリチウムナイオベートを用いて、1550nmの第二高調波(775nm)発生に進んでいるが、高い変換効率を得られていない。セルマイヤー方程式の赤外域で有効なものを再考察し、再実験を行う。