

# リング共振器型高出力 $Tm^{3+}$ 添加ファイバーレーザー

電子工学科 植田研究室 廣瀬 祥史

## 1. 概要

ファイバーレーザーはハイパワーかつ高品質なビームを得ることができるが、 $Tm^{3+}$  添加ファイバーレーザーは  $Tm^{3+}$  イオンが準 3 準位系であるためにレーザー光の再吸収が起き、長いファイバーを用いての高出力化が困難であった。そこで我々はリング共振器型ダブルクラッド  $Tm^{3+}$  添加ファイバーレーザーについての研究を行った。励起光はファイバー中を循環することにより短いファイバーでも十分に吸収され、また短いファイバーを使うことによりレーザー光の再吸収を抑えることができるので高効率の発振が可能となる。入射光学系の非対称性を用いることで光アイソレーター等を用いずに単一方向発振を実現した。非対称性についての定性的な考察を試みた。非対称性は、レンズによる収差やミスアライメントが原因であると思われる。ミスアライメントによる影響を計算により見積もった。

## 2. 原理

私たちが考えたのが、図 1 のようなリング共振器型  $Tm$  添加ファイバーレーザー

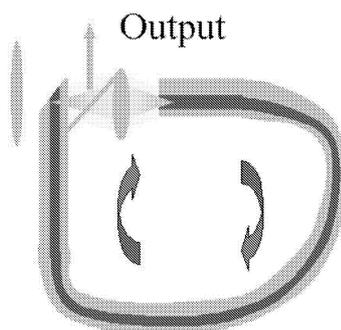


図 1: リング共振器型  $Tm$  添加ファイバーレーザー

である。図 1 のようにファイバー端面を 45 度に削り、励起光と出力光が再び循環するような構造になっている。このことによりファイバー中の励起光強度は高くなるので、強い反転分布を保つことができる。また、励起光が循環するので無駄なくすべてが吸収される。リング共振器型ファイバーレーザーにおいて、出力光を取り

出すときは単一方向から取り出すのが応用上良い。単一方向発振させるには右回りと左回りでロスに偏りをもちせればよいと考えられる。この場合レンズによる光学系により右方向、左方向のシングルモードファイバーへの結合効率の偏りにより実現しているものと思われる。

### 3. 実験系

図2に実験のセットアップを示す。

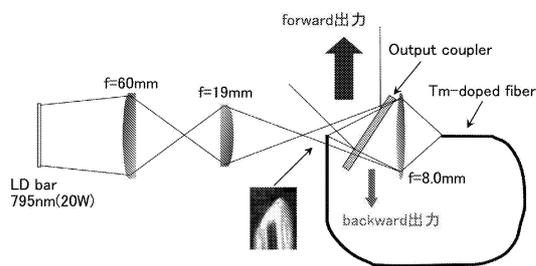


図 2: 実験のセットアップ

発振波長が795nmであるLDバーを2枚のシリンダリカルレンズを用いて、 $f=8.0\text{mm}$ のLD用コリメートレンズ (NAは0.5)を通して集光している。外から入れる励起光と循環している励起光とともに最小のロスでファイバーに集光するのは無理であるが、ここでは循環する励起光が極端にロスを生じないような設計になっている。ファイバーの端面は図中の写真のように45度に磨かれていて、励起光と出力光が再び循環するような構造になっている。今後、時計回りの方向をForward方向、半時計回りの方向をBackward方向と定義する。

### 4. 結果

図3および図4は、ファイバー長を変化させたときの出力光の変化である。単一方向に発振しているのがわかる。その差はファイバー長が80cmで励起光入力パワーが4Wのときで  $P_{\text{forward}}/P_{\text{backward}} = 80$  となっている。ファイバー長を長くしていくとForward方向出力は下がっているのがわかる。これは、レーザー光による再吸収

によりロスが増えたためと思われる。次に、どのようにして単一方向発振を実現し

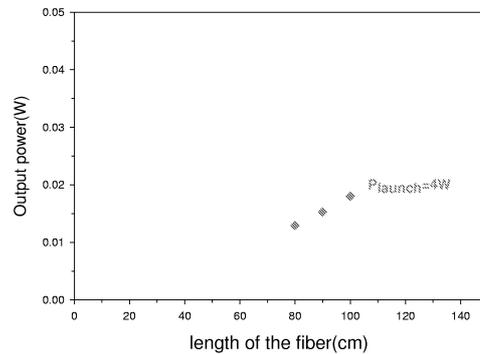
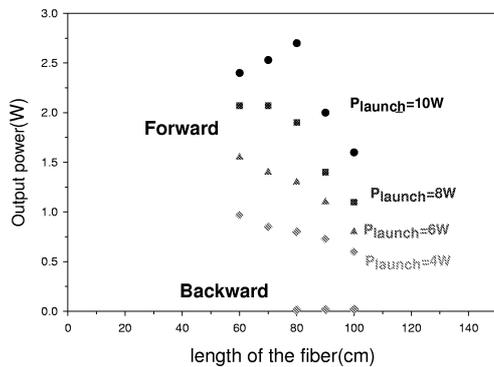


図 3: ファイバー長を変化させたときの出力光の変化 (Output coupler の透過率は 50%)  
 図 4: ファイバー長を変化させたときの出力光の変化 (backward 方向、Output coupler の透過率は 50%)

ているかを考える。像転送により結合効率にアンバランスは生じない。では、どのようにして結合効率に違いができるのであろうか。z 軸 (光の進む方向) のミスアライメントにより結合効率はどう変わるのかを考えた。

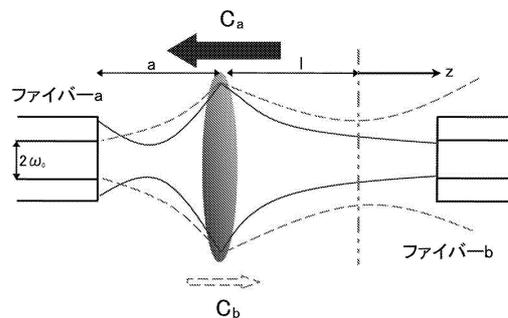


図 5: ミスアライメントによる結合効率

図 5 のようにファイバー b をビームウエストよりも z だけずれた位置にいると考える。

波長は、 $2\mu\text{m}$ 、 $a=l=16[\text{mm}]$ 、 $f=8.0[\text{mm}]$ 、コアの屈折率が 1.45 という条件で計算した。図 6 は  $100\mu\text{m}$  前後移動したときのグラフであるが、 $40\mu\text{m}$  ほど動かすと、急に差が出てきているのがわかる。ビーム径がウエストの  $\sqrt{2}$  倍になり波面が平面波から球面波へと変わっていく領域は  $z = z_{0b}$  で、この計算条件だと  $z_{0b} = 160\mu\text{m}$  であるが、その変わり目から急激な変化がみられる。ミスアライメントのほか

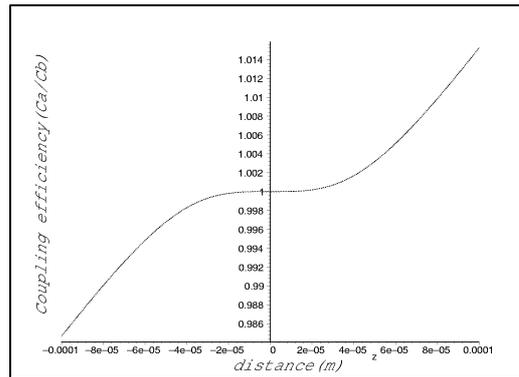


図 6: ミスアライメントの距離と結合効率の比の関係

バランスが生じる要因としては、レンズの収差が考えられる。

## 5. まとめ

- リング共振器型 Tm 添加ファイバーレーザーを実現した。最大スロープ効率は 39%、最大出力は 2.7 W を得た。(励起光パワー 11.6 W)
  - ファイバーの出力端を 45 度に削ることで励起光もレーザー光も循環するようにした。
  - 励起光も循環することで、ファイバー長を短くし再吸収によるロスをおさえることができた。
- 単一方向出力を得た。
  - ファイバーからファイバーへの結合効率の違いを利用している。結合効率のアンバランスは、ミスアライメント、レンズの収差などにより起こるものと思われる。
  - ミスアライメントにより結合効率のアンバランスが生じることが計算により確かめられた

## 6. 今後の方針

結合効率のアンバランスはファイバのミスアライメントや、レンズの収差によるものと考えられるが、定性的に考えたことを実験的に確かめてみる必要がある。結合効率などのロスを見積もった上でさらに共振器を最適することが可能である。