

近赤外域分光器の作成とTm³⁺ファイバーレーザーのスペクトル特性

電子工学科 梶原淳志

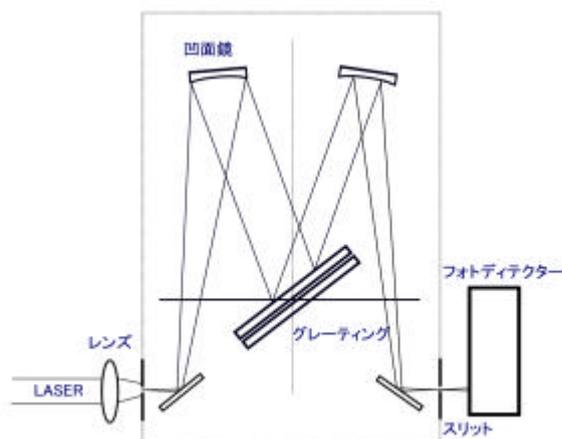
1. はじめに

アイセーフ波長領域(1.4 μm ~ 2.6 μm)の光を持つレーザーは、発振波長が水に対して強い吸収を示し、その吸収係数は代表的な固体レーザーとして知られる Nd:YAG レーザーの基本波 1.06 μm における吸収の約 1000 倍に相当する。このように水に対して強い吸収を示す 2 μm レーザーは、もし光が眼内に入射した場合でもレーザー光のエネルギーの大部分が眼球表面の水分で吸収され網膜まで到達することがないため、目に対する安全性が高い。これらの特長は、医療分野やレーザー加工、環境計測の分野で注目されており、逆に医療分野においては生体組織の 70 ~ 80%が水分で構成されていることからその吸収特性を利用した眼治療、外科手術などへの応用がなされている。

我々の研究室では 2 μm 帯のファイバーレーザーの高出力化に関する研究を行っており、今回の私の研究はアイセーフ・レーザーそのものの開発ではなく、アイセーフ波長を測定する部分に重きを置いたものである。まず、2 μm 帯に高い分光感度特性を持つフォトダイオードを用いた光検出器(フォトディテクター)を作製し、それを既製の分光器(モノクロメーター)と連動させ、LabVIEW で作製した仮想計測器(VI: ヴァーチャルインスツルメンツ)を用いて測定を行った。最終目的である波長 2 μm の光を測定する準備段階として、作製したフォトディテクターと仮想計測器の動作チェックを兼ね、P-添加ラマンファイバーレーザー(第1ストークス光 1.24 μm 、第2ストークス光 1.48 μm)のスペクトルを測定した。その後、発振波長 2 μm の Tm添加ファイバーレーザーにおける励起光学系を設計し、スペクトル測定を行った。また、Tm-Ho ファイバーレーザーの発振およびそのスペクトル測定を行った。

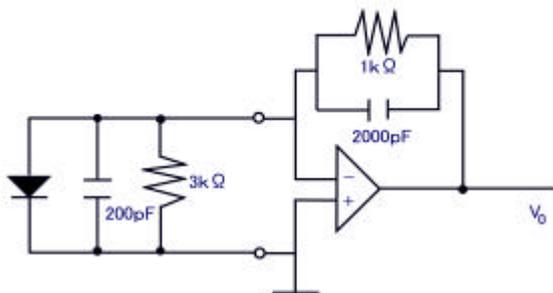
2. 分光システム

今回、分光器は CVI 社の CM110 を用いた。その構造図を下に示す。

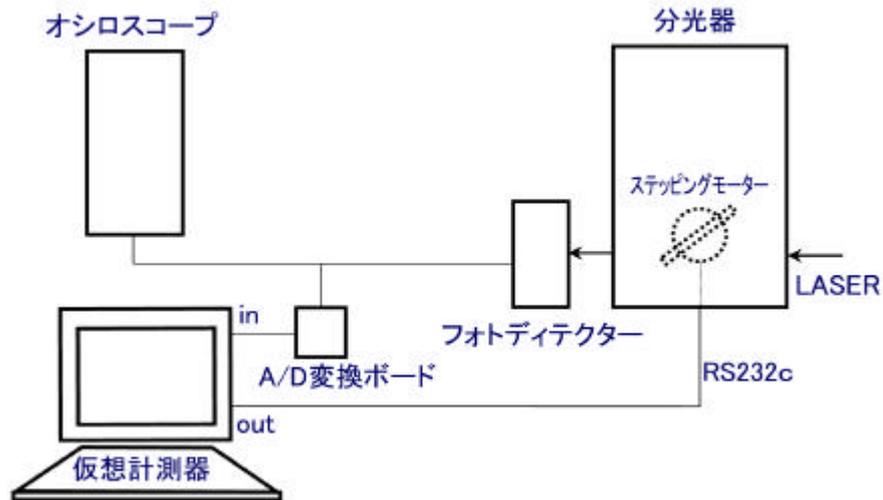


この分光器には Grating1(1200groove/mm)、Grating2(600groove/mm)の 2 枚のグレーティングがついており、それぞれの upper limit は 1500nm、3000nm である。

また今回、2 μm 帯に高い分光感度特性を持つフォトダイオード(InGaAs)を用いてフォトディテクターを作製した。その回路図を下に示す。

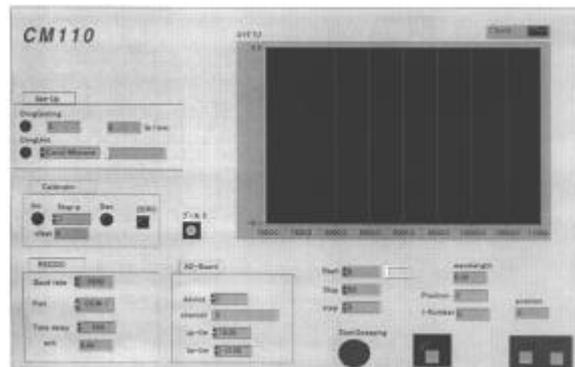


作製したフォトディテクター、分光器を用いて構築した分光システムを下に示す。



分光器のステッピングモーターを制御する RS232C とフォトディテクターからの出力信号を A/D 変換する A/D 変換ボードを同期させてスペクトルの測定を行った。今回用いた A/D 変換ボードは Resolution 16bits、Sampling Rate 200 k sample/s である。

また制御信号を出力し、またフォトディテクターからの出力信号を取り込む仮想計測器を LabVIEW を用いて作製した。LabVIEW とはグラフィカルプログラミング言語「G」をベースにした開発環境で、プログラミング操作をテキスト言語ではなくグラフィック記号で表すことが出来るものである。測定のインターフェースは下図のようになる。

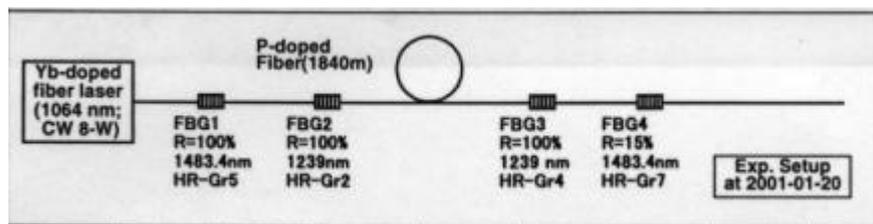


3. スペクトル測定

3.1 P-添加ラマンファイバーレーザー

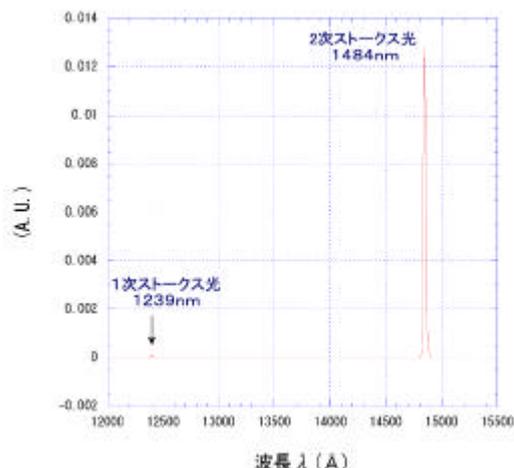
まず今回構築した分光システムの動作チェックを兼ね、P-添加ラマンファイバーレーザーのスペクトル測定を行った。

P-添加ラマンファイバーレーザーは WDM(波長多重通信技術)において長距離伝送するための広帯域な光増幅器として期待されているファイバーラマン増幅器の励起用の光源として提案されたもので 1330 cm^{-1} のラマンシフトを持ち、波長 1064 nm を用いて励起するとラマン効果によって 1239 nm に 1 次ストークス光、 1484 nm に 2 次ストークス光が現れる。



励起光源には Yb YAG(1064nm)を用いた。1 次ストークス光(1239nm)については反射率 100% の FBG を用いて共振器を組み、2 次ストークス光(1484nm)については反射率 100%、15% の FBG を用い、2 波長同時発振を可能にしている。

測定結果を下図に示す。測定には Grating1 を用いた。



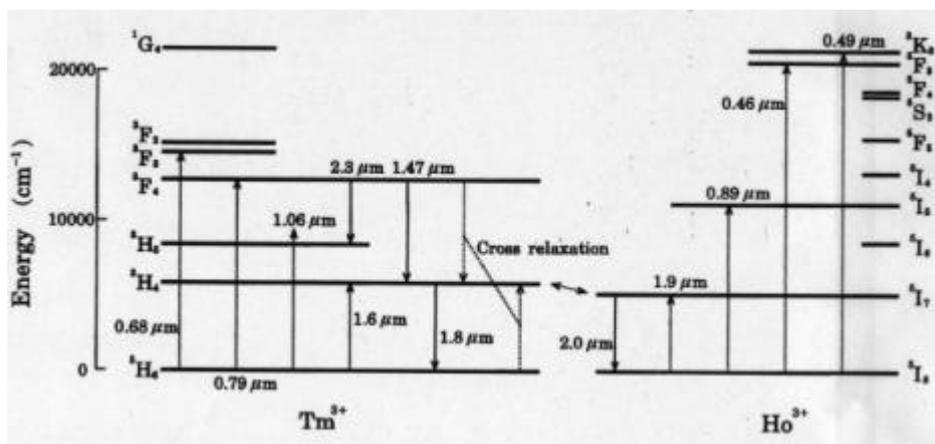
上図を見てわかるように、1次ストークス光、2次ストークス光のスペクトルをそれぞれ観測することができ、構築した分光システムが正常に機能していることを確認した。

3.2 Tm 添加ファイバーレーザー

今回、Tm 添加ファイバーレーザーの励起光源である LDbar の一部(中央部分)に破損が見つかり、励起光がファイバーカップルする際に、double peak になってしまったりうまく集光せず、レーザー発振自体が困難になってしまい、スペクトル測定をおこなうことができなかった。著しくパワーは落ちるが double peak の片方を使い、それをさらにうまく集光させてファイバーカップルさせる方法も試みたが、うまく集光させることが出来なかった。

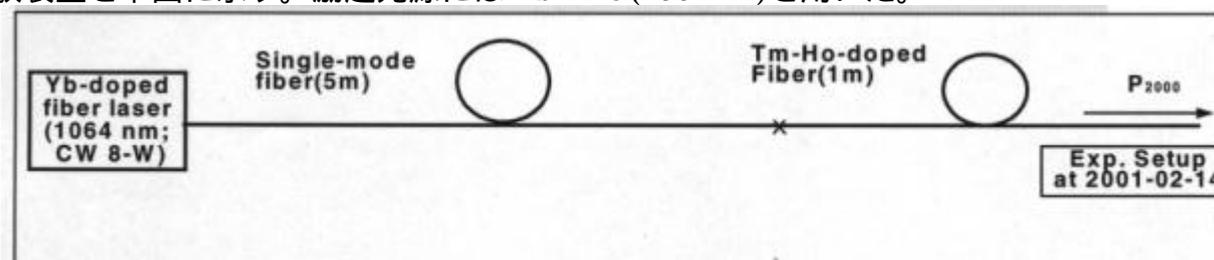
3.3 Tm - Ho ファイバーレーザー

まず Tm - Ho の順位構造図を示す。

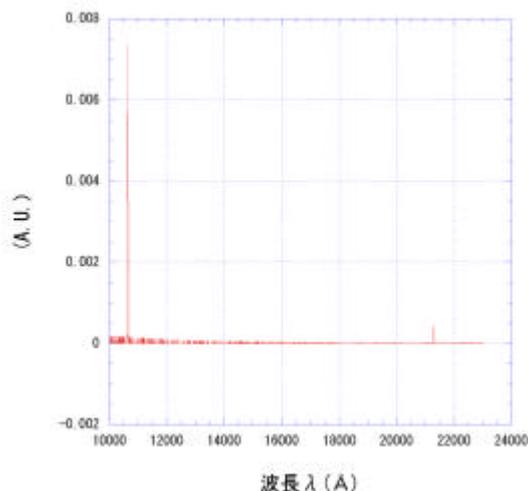


波長 1064nm を用いて励起すると、まず Tm の 3H_5 に励起され、非放射緩和で 3H_4 に落ちる。ここで、Tm の 3H_4 と Ho の 5I_7 が熱的に平衡な共鳴準位であるため、これらの準位間でエネルギー転送 (energy transfer) が起こり、Ho の 5I_7 と 5I_8 間の遷移を用いて波長 $2 \mu\text{m}$ のレーザー光を発振する。

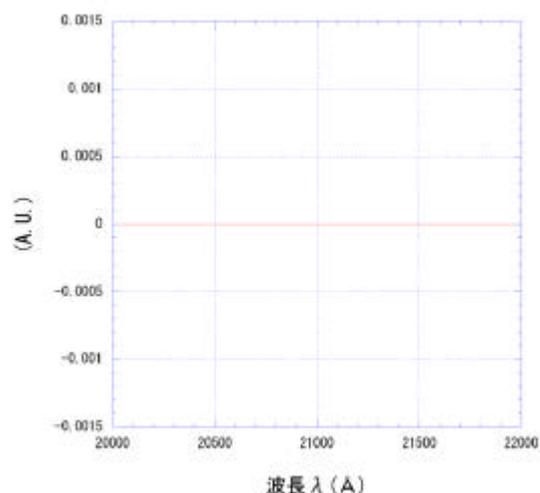
実験装置を下図に示す。励起光源には Yb YAG(1064nm)を用いた。



Tm - Ho ファイバーレーザーのスペクトル測定の結果を以下に示す。



Tm - Ho ファイバーレーザーの
スペクトル測定



フィルタリング後

上の左図を見ると $2\ \mu\text{m}$ 帯に peak が現れているのがわかる。しかし、これが本当に Tm - Ho ファイバーレーザーが発振したものなのか、もしかすると励起光(1064nm)の2次回折光なのではないだろうかという疑念から、ファイバーの出力端に、励起光を反射し、 $2\ \mu\text{m}$ 帯の光を透過するフィルタを置いて再度測定を行ったところ右図のようにフラットになってしまった。このことから最初に測定したときに $2\ \mu\text{m}$ 帯に現れた peak は Tm - Ho が発振したものではなく、励起光の2次回折光であるということがわかった。

レーザー発振させることができなかった理由として ESA(励起準位吸収)が考えられる。実際、実験中にもファイバーから青色の光が強く出ていた。これを解消するためには、 $2\ \mu\text{m}$ の FBG を用いて共振器を組むことが必要だと考えた。

4. まとめ

- $2\ \mu\text{m}$ 帯に高い分光感度特性を持つフォトダイオードを用い、光検出器(フォトディテクター)を設計、作製した。
- LabVIEW でディスプレイ上に仮想計測器を作成し、それと分光器とを連動させ、P - 添加ラマンファイバーレーザーのスペクトル測定を行い、構築した分光システムが正常に機能していることを確かめた。
- Tm 添加ファイバーレーザーのスペクトル測定は LDbar の一部 LD の破損による不具合によって困難になってしまった。
- Tm - Ho ファイバーレーザーは ESA(励起準位吸収)が強く出てしまい発振させることができず、スペクトル測定を行うことができなかった。

5. 今後の課題

- 今回、達成することが出来なかった Tm 添加ファイバーレーザーを新たな励起光源を用いるか、もしくは現状のままさらに別の方法で発振させ、そのスペクトル測定を行う。
- Tm - Ho ファイバーレーザーに当研究室において現在開発中の $2\ \mu\text{m}$ 帯 FBG を用い共振器を組み、発振させ、そのスペクトル測定を行う。
- 作製した近赤外域分光器を用いて他のアイセーフ波長領域のレーザー光のスペクトル測定を行う。