

# Pr:ZBLAN ファイバレーザの波長同調特性

## Wavelength tuning of Pr:ZBLAN fiber laser

上村敏広(M2), 小城絢一郎(D2)

T.Kamimura and J. Kojoh

### Abstract

Pr:ZBLAN glass fiber has broad fluorescence spectrum so that it is a candidate for a broadband tunable laser medium. In this study, the aim was placed on the examination of broadband tenability of Pr:ZBLAN fiber lasers. Utilizing a SF11 prism as wavelength selection element, we demonstrated CW tunable Pr:ZBLAN fiber laser operation at orange/red ranging in 605-644nm and green ranging in 519-529nm. Utilizing a diffraction grating at grazing incidence as a wavelength selection element, we also demonstrated CW tunable Pr:ZBLAN fiber laser operation at red ranging in 630-641nm. A single line oscillation is attained with the grating tuning.

### 1 はじめに

近年、ファイバレーザを含む固体レーザの中で、特に可視光域で発振可能な固体レーザがさまざまな産業分野から注目を集めている。赤 (Red), 緑 (Green), 青 (Blue) は光の三原色 (RGB) であるが、この波長域で発振できる可視光レーザが開発できれば、レーザディスプレイやレーザ印刷の分野での光源として利用することができる。

GaN 系青色半導体レーザで励起可能な Pr ドープフッ化物レーザは、レーザディスプレイに必要な赤色、緑色光源として最適な波長での発振が可能のため[1]、可視光レーザとして特に有用であると考えられ我々も研究を進めてきた[2-4]。

Pr:ZBLAN ファイバレーザは赤色、緑色それぞれの発振スペクトル付近で広い利得スペクトル幅を持つため、波長同調が可能である[5]。波長可変レーザは分光計測や化学あるいは光通信の分野での応用が可能であり、Pr:ZBLAN ファイバレーザの可視光域発振において実現できれば、色素レーザに代わる固体レーザとな

りうる。本研究は、可視光域における半導体レーザ励起 Pr ドープファイバレーザの波長可変性を示すことを目的として実験を行った。

### 2 実験

#### 2.1 プリズム挿入波長同調実験

まず、波長選択素子としてプリズムを用いる実験を行った。Fig.1 に Pr:ZBLAN ファイバレーザプリズム挿入波長同調実験のセットアップを示す。GaN 系半導体レーザ (日亜化学製 500mW 級 LD, 波長 444nm, 最大励起電流 500mA) から発した光は  $f = 4.0\text{mm}$  の非球面レンズでコリメートされ、 $f = -20\text{mm}$  のシリンドリカル凹レンズと  $f = 100\text{mm}$  のシリンドリカル凸レンズにより水平方向が整形される。そのビームは  $f = 7.5\text{mm}$  の非球面レンズによって、Pr:ZBLAN ファイバに集光される。この Pr:ZBLAN ファイバはセントラル硝子社製のファイバ長 90mm, Pr ドープ濃度 3000ppm, コア径  $4.0\mu\text{m}$ , N.A.0.22 という仕様のファイバである。励起光入射側の端面は垂直カット、その反対側はフレネル反射によるレーザ発振を抑制するために 8 度で斜めカットされている。波長分散を得るためのプリズムの材質には SF11 を使用した。ファイバから出た光は  $f = 6.2\text{mm}$  の非球面レンズでコリメートされ、ブリュスター角でプリズムに入光する。この時 p 偏光はほぼ 100% 透過し分光される。これを入射側ファイバ端面に直接接触させた広帯域ミラーとプリズムからの屈折光を折り返す広帯域ミラー (共に 510-650nm で高反射率, 440-450nm で高透過率のダイクロイックミラー) で共振器を構成する。プリズム表面では s 偏光の一部は反射するのでその反射光をレーザ出力として取り出し Gentech 社製パワーメータで測定した。発振波長の変化は相馬光学の分光計 (S2000, 分解能 0.25nm) で測定した。

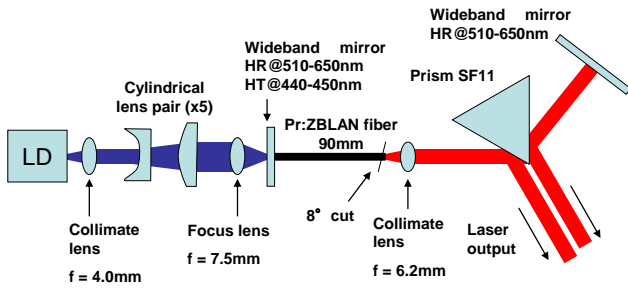


Fig.1 Experimental setup of tunable Pr:ZBLAN fiber laser inserting prism

## 2.2 斜入射回折格子挿入波長同調実験

次に、斜入射回折格子を波長選択素子として用いる実験を行った。Fig.2にPr:ZBLANファイバレーザ斜入射回折格子挿入波長同調実験のセットアップを示す。励起系および使用するPr:ZBLANファイバはプリズム挿入波長同調実験で使用したものと同一である。ファイバから出た光は $f = 6.2\text{mm}$ の非球面レンズでコリメートされ、斜入射回折格子に入射する。このときの入射角は回折格子の法線方向に対して80度である。コリメートされた光は所要の波長が回折格子上で1次回折光として回折され、広帯域アルミミラーで反射されて、元きた光路をたどりファイバに戻され、入射側広帯域ミラーで共振器の一端を構成する。このとき回折格子の0次回折光がレーザ出力として取り出される。レーザ出力として取り出しGentech社製パワーメータで測定した。発振波長の変化は相馬光学の分光計(S2000, 分解能0.25nm)で測定した。

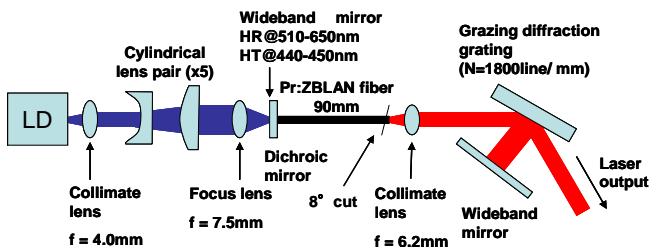


Fig.2 Experimental setup of tunable Pr:ZBLAN fiber laser with a grazing diffraction grating

## 3 実験結果

### 3.1 プリズム挿入波長同調実験

Fig.3にオレンジ色～赤色帯域にかけてのGaN系LDの励起電流(200mA, 300mA, 400mA, 500mA)に対して各波長の波長同調のレーザ出力を示した。励起電流500mA時に、605～644nmにかけて連続的に波長同調が得られて、その同調幅は39nmだった。Fig.4に緑色帯域にかけてのGaN系LDの励起電流(300mA, 400mA, 500mA)に対して各波長の波長同調のレーザ出力を示した。励起電流500mA時に、519～529nmにかけて連続的に波長同調が得られて、その同調幅は10nmだった。

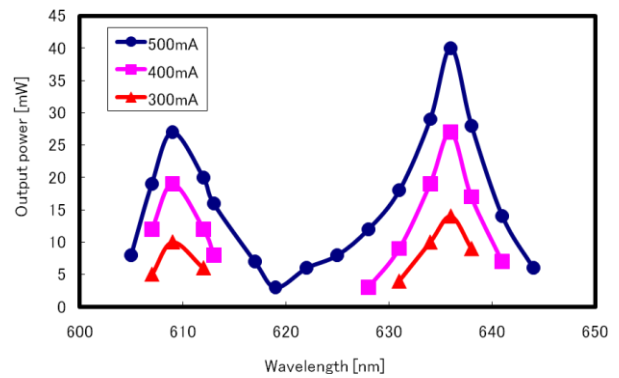


Fig.3 Orange/red power tuning curve of Pr:ZBLAN fiber laser with a prism SF11

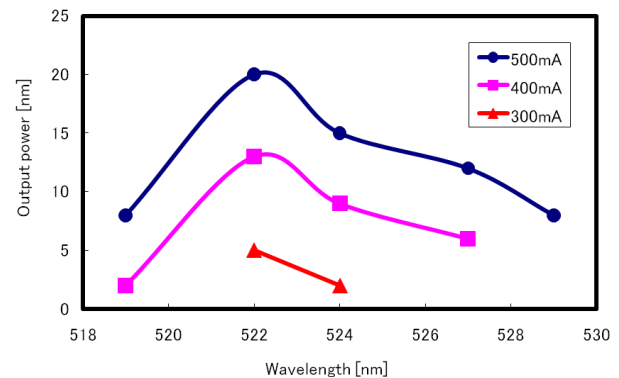


Fig.4 Green power tuning curve of Pr:ZBLAN fiber laser with a prism SF11

### 3.2 斜入射回折格子挿入波長同調実験

Fig.5に赤色帯域においてのGaN系LDの励起電流(200mA, 300mA, 400mA, 500mA)に対して各波長

の波長同調のレーザ出力を示した。励起電流 500mA 時に、630~641nm にかけて連続的に波長同調が得られて、その同調幅は 11nm だった。また、ピークの出力が得られたのは、プリズム挿入実験時と同様に 636nm においてであり、最大 12mW の出力であった。プリズム挿入実験に比べ同調幅が広がらなかった理由としては、利得が小さな波長域においてはファイバへ戻る 1 次回折光が弱くなり発振閾値に届かなかったのではないかと考えられる。

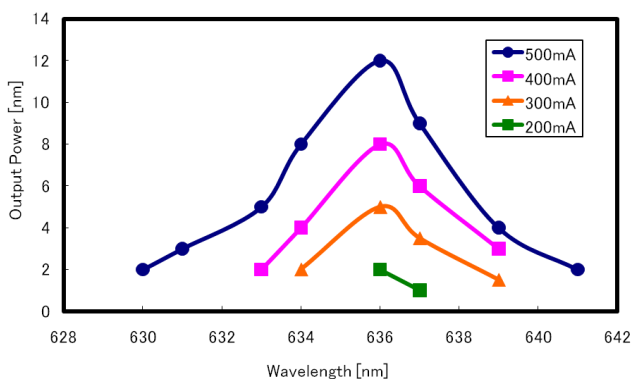


Fig.5 Red power tuning curve of Pr:ZBLAN fiber laser with a grazing diffraction grating

### 3.3 狭帯域化の効果

斜入射回折格子挿入型共振器における波長同調においては、同時に狭帯域化の効果も期待できる。その狭帯域化の効果を確認するために波長分散素子を挿入せずに平面鏡 2 枚のミラーで共振器を構築した場合の発振スペクトル幅、斜入射回折格子挿入型共振器の発振スペクトル幅、さらにこの共振器にアナモルフィックプリズムを挿入しビームを拡大し回折格子の分解能を高めた場合の発振スペクトル幅の 3 つを測定し比較した。アナモルフィックプリズムの倍率は 6 倍であり、通常発振時および斜入射回折格子共振器におけるレーザビーム径  $D = 1.38\text{mm}$  を、 $D = 8.28\text{mm}$  に拡大させて回折格子に入光させた。Fig.6 に平面鏡 2 枚での発振時のレーザ発振スペクトルを示す。このときピークの  $1/e$  となる位置をビームのスペクトル幅としたところ、その幅は  $1.20\text{nm}$  となった。また、複数のピークが確認された。これは Pr ドープ材料の特徴である、複雑な発光遷移構造において、異なる波長のレーザ発振が同時に起こっているた

めと考えられる。Fig.7 に斜入射回折格子共振器（アナモルフィックプリズム未挿入）のレーザ発振スペクトルを示す。このときの発振スペクトル幅は  $0.60\text{nm}$  となり、通常発振の約 1/2 になり狭帯域化が確認された。また、通常発振時にみられた複数のピークではなく単一のピークが確認された。Fig.8 にアナモルフィックプリズムを挿入したときの発振スペクトルを示す。このときの発振スペクトル幅は  $0.45\text{nm}$  であり、アナモルフィックプリズムがない場合よりも線幅が狭くなっていることが確認された。

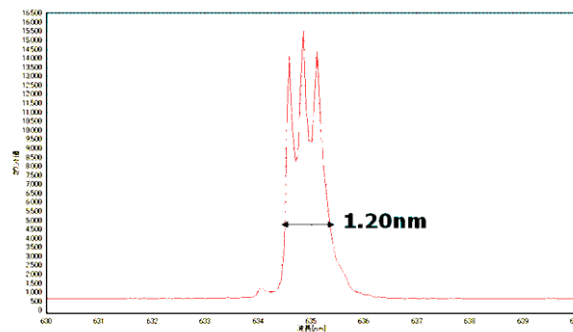


Fig.6 Emission spectrum of free run Pr:ZBLAN fiber laser

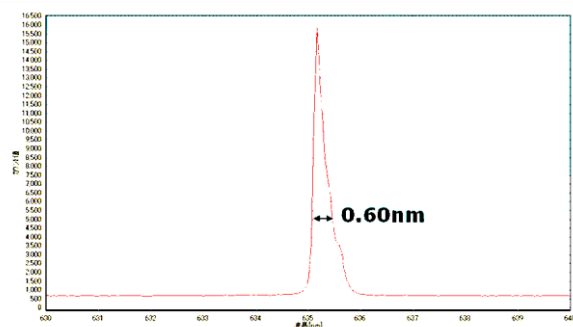


Fig.7 Emission spectrum of Pr:ZBLAN fiber laser with a grazing diffraction grating

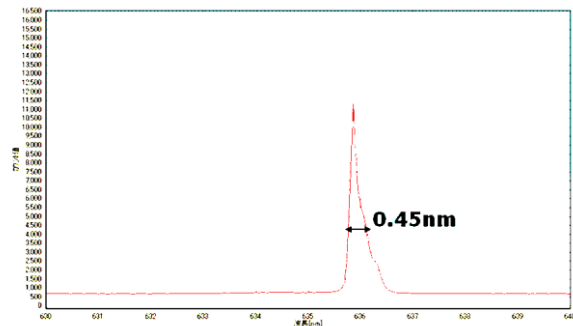


Fig.8 Emission spectrum of Pr:ZBLAN fiber laser with a grazing diffraction grating and anamorphic prism

## 4 結論

本研究において、Pr:ZBLAN ファイバレーザにプリズムを挿入し共振器を構築し、波長同調実験を行い、オレンジ色～赤色帯域においては、605～644nm まで最大 39nm の波長同調が得られた。また、緑色帯域においては、519～529nm まで最大 10nm の波長同調が得られた。このとき、複数の遷移線での発振が同時に得られた。

一方、Pr:ZBLAN ファイバレーザを斜入射回折格子で共振器を構築し、その波長同調特性を計測した。波長同調特性は赤色帯域 630～641nm にかけて、11nm の同調幅が得られ、単一遷移での発振を確認した。また、斜入射回折格子挿入による狭帯域化の効果を確認した。

以上より、半導体レーザ励起 Pr ドープファイバレーザは、可視域で広範囲に波長同調可能なレーザであることが実証できた。

## References

- [1] A.Richter, E. Heumann, G. Huber, and B. H. T.Chai, Appl. Phys. B **58**, 149 (2004)
- [2] K. Hashimoto, and F. Kannari, Opt. Lett. **32**, 2493 (2007)
- [3] K. Hashimoto, and F. Kannari, Jpn. J. Appl. Phys. **46**, 589 (2007)
- [4] Priyanka Agrawal, 慶應義塾大学理工学研究科修士論文 (2009).
- [5] H. Okamoto, K. Kasuga, I. Hara, and Y. Kubota, Opt. Express **17**, 20227 (2009)