

高出力 GaN ダイオード励起 Pr:フッ化物ガラスファイバー赤色レーザー

High Power GaN Diode Laser Pumped Pr³⁺ doped fluoride glass fiber Red laser

上村敏広(B4), 橋本浩平(D3)

T. Kamimura and K. Hashimoto

Abstract

We demonstrated continuous-wave laser oscillation at 635nm with a Pr³⁺ doped ZBLAN fluoride glass fiber pumped by utilizing a high power GaN diode laser. The highest output power of 67.7mW was obtained.

1 はじめに

可視光レーザーは、画像表示、バイオイメージング、医療といった様々な分野で注目されているが、特にレーザーの単色性、集光性といった特徴を利用して色再現性が良く、高解像度な画像表示が可能な画像表示システムの応用に期待がされている。

Pr³⁺イオンをドープしたレーザー材料は、可視光域に多数のエネルギー遷移を持つ。ファイバー材料においては、Pr³⁺ドープ材料フッ化物ファイバーで可視光レーザー発振が実現されている[1][2]。近年では、ZBLAN (ZrB₄-BaF₂-LaF₃-AlF₃-NaF)フッ化物ガラス材料が注目されており、赤、オレンジ、緑色のレーザー発振が実現している[3][4][5]。

我々は、440nm 帯の GaN 系半導体レーザー励起による Pr³⁺ドープ固体レーザーによって単純な装置構成で高い電気-光変換効率をもつ 635nm 帯域のディスプレイに適した赤色レーザーを実現するために研究を行っている[6]。

本研究では、GaN 系半導体レーザーを励起源とした Pr³⁺ドープ ZBLAN ガラスファイバーレーザーを報告する。また、その吸収スペクトル、発光スペクトルおよび蛍光寿命といった分光学的特性も測定した。

2 実験

Fig.1 に 635nm 赤色レーザー実験セットアップを示す。本研究では Pr を 3000ppm ドープしたコア径 3 μ m、

N.A.が 0.22、長さ 400mm の ZBLAN ファイバーを使用した。実験では、Pr:LiYF₄ 結晶でのレーザー発振実験と同様に日亜化学製の最大出力 500mW の 444nm の GaN 系半導体レーザーを使用し、その励起電源には旭データシステム社製の ALP-7033CA を使用した。LD から出た半導体レーザー励起光は f=4.0mm の非球面レンズによって平行光としたのちに、f=50mm と f=-20mm のシリンダリカルレンズ対によって、ビーム形状を真円になるようにした。ファイバーへの入射には、f=3.0mm の非球面レンズを使用した。ファイバー端から出てきた 635nm 赤色レーザー光を f=7.5mm の非球面レンズで平行光にして、その光を赤色全反射ミラー (R>99.5%) で反射してファイバーに赤色光を戻した。赤色レーザー光は励起光の入射側に置いた励起光を高透過 (T>99.5%)、赤色光を高反射 (R>99.5%) するダイクロイックミラーを用いて取り出した。

また、レーザー発振実験に先がけて、Pr³⁺のドープ率を変えた ZBLAN ガラスについて分光測定をそれぞれ行った。吸収スペクトルの測定には、日立 U-2000 ダブルビーム分光光度計を用いて測定した。蛍光測定には 444nm LD を励起光として、相馬光学製の CCD タイプの分光計を(分解能 2.0nm)使用し、蛍光寿命の測定には Q-スイッチ Nd:YAG レーザーの 3 倍波で励起した光パラメトリック共振器を使用した。

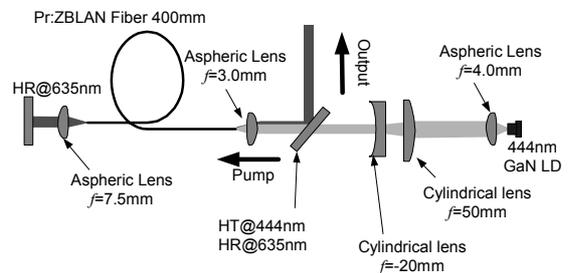


Fig.1 Experimental setup of Pr³⁺ doped ZBLAN fiber laser with high reflection mirror at one fiber end.

3 実験結果

Fig.2 に Pr^{3+} のドーピング率を変えた ZBLAN ガラスの吸収スペクトルを示す。442nm 付近に吸収のピークを持っているため、440nm 帯の GaN 系半導体レーザーによる高効率な励起が可能であることが分かる。Pr:YLF に比べてガラス母材では、吸収スペクトルの広帯域化が見られ、励起用半導体レーザー制御において有利であるといえる。

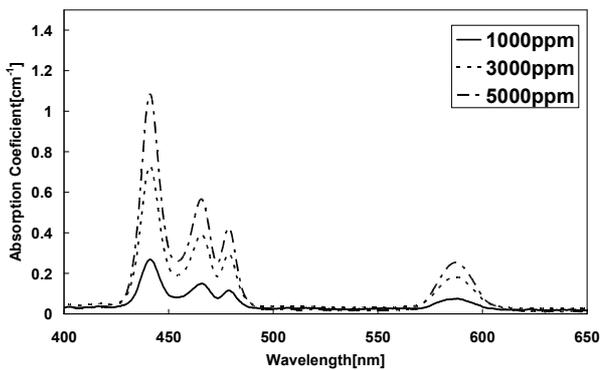


Fig.2 Absorption coefficient of Pr^{3+} doped ZBLAN glass for various Pr^{3+} dope concentration.

Fig.3 に 444nm で励起した際の蛍光スペクトルを示す。480nm, 522nm, 605nm, 635nm において強い蛍光が確認された。444nm のピークは励起光が観測されたものである。5000ppm ドープのサンプルにおいて、濃度消光が確認された。

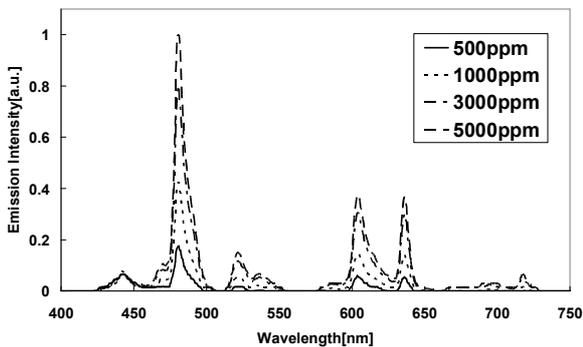


Fig.3 Fluorescence spectra of Pr^{3+} doped ZBLAN glass for various Pr^{3+} dope concentration.

Fig.4 に蛍光寿命を示す。強度の半減期を蛍光寿命とすると、500ppm, 1000ppm, 3000ppm, 5000ppm の各

サンプルでそれぞれ 27.0 μs , 24.6 μs , 18.0 μs , 14.2 μs となった。3000, 5000ppm では、蛍光の減衰プロファイルが単純な自然関数ではないことから、濃度消光の影響があると考えられる。

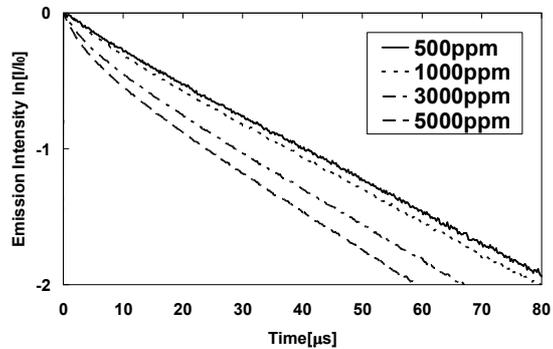


Fig.4 Decay of the $^3\text{P}_0$ emission in Pr^{3+} doped ZBLAN glass for various Pr^{3+} dope concentration.

Fig.5 に 635nm 赤色レーザー発振出力特性を示す。ここでは、Pr:ZBLAN ファイバーと同じコア径および N.A.を持つ silica ファイバーにてカップリング効率を 54%と見積もり、入射パワーから換算した吸収パワーを横軸としている。この時、閾値は 54mW, スロープ効率は 37%となった。

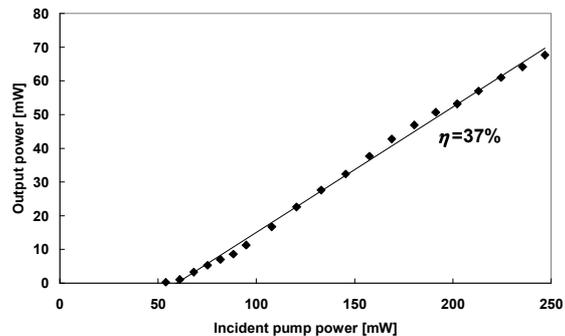


Fig.5 Output power as a function of estimated absorbed pump power for Pr^{3+} :ZBLAN fiber laser with high reflection mirror at one fiber end.

4 結論

本研究では、GaN 系半導体レーザーを励起源とした Pr^{3+} :ZBLAN ファイバーによるレーザー発振実験および分光測定を行った。

分光特性の測定においては、吸収スペクトル、蛍光

スペクトル, 蛍光寿命をそれぞれ測定した。
Pr³⁺:ZBLAN ガラスは 442nm で吸収のピークをもち,
444nm 半導体レーザーで励起したところ 480nm,
522nm, 605nm, 635nm で強い蛍光が確認された。

また, Pr³⁺:ZBLAN ファイバーによるレーザー発振実験においては, 発振閾値 54mW, 最大出力 67.7mW, スローブ効率 37%というレーザー発振を確認した。

References

- [1] R. Smart, J. Carter, A. Tropper, D. Hanna, S. Davey and S. Carter, *Opt. Commun.* **86**, 337 (1991)
- [2] J. Allain, M. Monerie and H. Poignant, *Electron. Lett.* **27**, 189 (1991)
- [3] D. Piechler, D. Craven, N. Kwong and H. Zarem, *Electron. Lett.* **29**, 1857 (1993)
- [4] M. Baney, L. Yang, J. Ratcliff and K. Chang, *Electron. Lett.* **31**, 1842 (1995)
- [5] A. Richrer, H. Scheife, E. Heumann, G. Huber, W. Seelert and A. Diening, *Electron. Lett.* **41**, 14(2005)
- [6] K. Hashimoto and F. Kannari, *Opt. Lett.* **32**, 2493 (2007)