

高エネルギー動作・準3準位固体レーザーの最適動作条件の検討

Studies on optimum designs of high-energy, quasi-three-level solid-state lasers

新妻洋平¹, 佐藤篤¹, 寺崎知広¹, 浅井和弘¹, 石井昌憲², 水谷耕平², 板部敏和²
Y. Niituma¹, A. Sato¹, T. Terasaki¹, K. Asai¹, S. Ishii², K. Mizutani², and T. Itabe²

¹東北工業大学, ²独立行政法人・情報通信研究機構(NiCT)

¹Tohoku Institute of Technology

²National Institute of Information and Communications Technology (NiCT)

Abstract

Quasi-three-level solid-state lasers are useful as lidar transmitters operating in the near-infrared and mid-infrared wavelength regions. We have investigated an optimum design of a quasi-three-level Nd:YVO₄ laser capable of high-energy output. Preliminary experiments were performed by using a side-pumped Nd:YAG laser in four-level operation. A Q-switched output energy of 42 mJ was obtained at 1064 nm. At present, research continues to achieve quasi-three-level operation of the Nd:YVO₄ laser.

1. はじめに

従来より、大気観測のためのレーザーレーダ(ライダー)用光源には4準位動作のNd:YAGレーザーが多く用いられている。しかしながら、Nd:YAGレーザーの基本波及びその高調波だけでは測定対象が限られる。そのため、例えば差分吸収ライダーのように気体分子の吸収線を利用したライダーでは、準3準位動作の近赤外または中赤外の固体レーザーなどが使用されている。この準3準位レーザーはレーザー下準位イオンによるレーザー光の再吸収が起こるため、発振閾値が高いという性質がある¹⁾。

ライダー観測では、測定対象物や測定方法の違いにより、パルスエネルギーは低い繰り返し周波数が高いレーザーを用いる場合と、繰り返し周波数は低いパルスエネルギーが高いレーザーを用いる場合とがある。低エネルギー動作では一回のパルス発生に使用されるイオン(反転分布)は少ないため、再吸収損失を抑えるために有利な比較的小さな結晶を用いてレーザーを構成することが可能である。しかしながら、高エネルギー動作では、一度に大量のイオン(反転分布)を必要とするため、比較的大きな体積の結晶が必要となる。そのため、サイドポンプ型のロッドレーザーを使用することが多く、この場合レーザーロッドでの再吸収損失は高くなる。このことが、準3準位レーザーの設計を難しくする要因の一つとなっている。そこで、本研究では準3準位動作のNd:YVO₄レーザーに注目し、その最適動作条件について検討を行った。

2. 準3準位レーザーの特徴

表1は代表的な準3準位レーザーの結晶と発振波長を示す。このうち、波長946nmで発振するNd:YAGレーザーは水蒸気の吸収スペクトルのピークを利用したライダーへの応用が可能であり、また、波長2051nmで発振するTm,Ho:YLFレーザーはCO₂を測定対象とした差分吸収ライダーに利用されている。波長1.5μm帯のEr系レーザーは光通信

表1 代表的な準3準位レーザー²⁾⁻⁷⁾

結晶	発振波長(nm)
Nd:YVO ₄	914
Nd:YAG	946
Yb:YAG	1030
Er:glass	1540
Tm:YAG	2013
Tm,Ho:YLF	2051

用のファイバー技術、検出器技術が利用できるという利点を有しており、コヒーレントライダーの光源として注目されている。

図1は準3準位レーザーのエネルギー遷移過程を示す。E₁からE₃に励起されたレーザーイオンは、非放射遷移により直ちにE₂へと緩和し、E₂とE₁との間で、レーザー遷移が起こる。ここで、E₂及びE₁はそれぞれ複数のシュタルク準位からなっており、レーザー上準位E_uはE₂に、レーザー下準位E_l及び基底準位E_gはE₁に含まれる。準3準位レーザーは励起光子とレーザー光子のエネルギー変換効率(量子効率)が高く、非常に効率よく発振できる特徴がある。しかしながら、レーザー下準位が基底準位に近い場合、特に室温付近では、レーザー光の再吸収により発振閾値が高くなるという特徴がある。

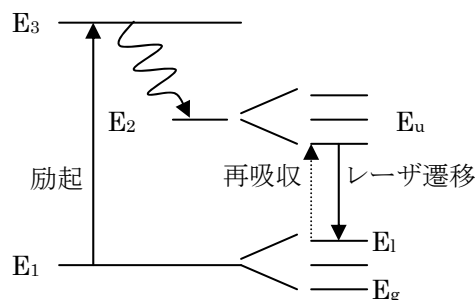


図1 準3準位レーザーのエネルギー準位図

3. 実験結果

本研究では、Nd:YVO₄に注目し準3準位動作における最適設計条件について検討した。動作解析の結果、高効率で発振させるためには低いドーパ率(Nd:0.1%程度)のNd:YVO₄結晶を用い、スタック型の高ピークパワーのLDにより励起する必要があることがわかった。この解析結果に基づき、レーザーロッドは結晶長 22mm、直径 3mm の0.1%Nd:YVO₄結晶とし、励起ヘッドはピークパワー1kWのLDを6個使用したサイドポンプ型の構成として、レーザーの試作を行った。

まず予備実験として、安価で入手が容易なNd:YAG結晶(発振波長 1064nm)を用いて動作実験を行った。光学設計は準3準位動作に対して行っているが動作実験は4準位動作で行った。図2はノーマル発振時における入出力特性を示す。実験条件は、LDのパルス幅を200 μ s、パルス繰り返し周波数を10Hz、LDの冷却水温度を29 $^{\circ}$ Cとし、また、共振器は平面全反射鏡と平面出力鏡により構成し、共振器長を150mmとした。励起エネルギー931mJ、出力鏡反射率50%の時、最大出力177mJが得られた。また、このとき最大変換効率19%が得られた。

続いて、図3に示される構成により、EO Qスイッチを用いたQスイッチ動作実験を行った。図4はQスイッチ動作時における出力エネルギー及びパルス幅を示す。実験条件は、LDパルス幅200 μ s、LD繰り返し周波数10Hz、LDの冷却水温度を29 $^{\circ}$ C、全反射鏡の曲率半径を1m、凸面出力鏡の曲率半径を5m、共振器長を500mm、Qスイッチディレイを205 μ sとした。また、オプティカルダメージを回避するため、出力鏡の反射率を20%、励起エネルギーの上限を653mJとした。励起エネルギー653mJの時に、ノーマル発振で62mJ、Qスイッチ発振で42mJの最大出力が得られ、このときQスイッチパルス幅は11nsであった。現在、Nd:YVO₄結晶による準3準位動作実験の準備を進めている。

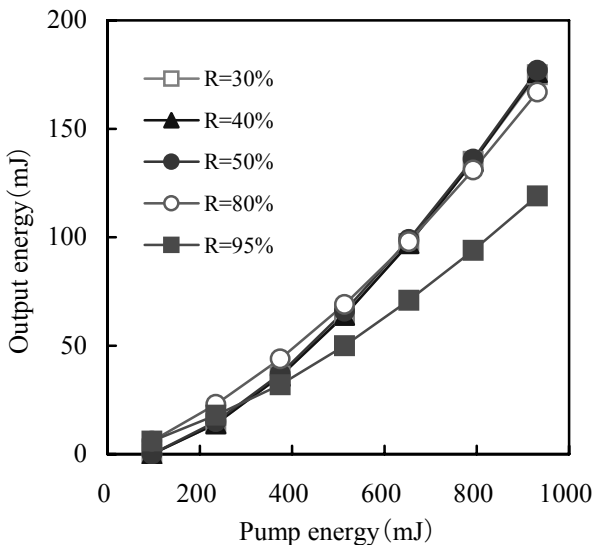


図2 ノーマル発振時における入出力特性

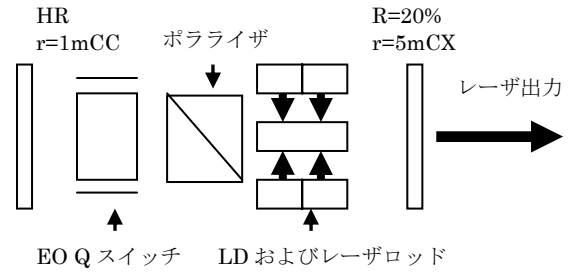


図3 Qスイッチレーザーの構成

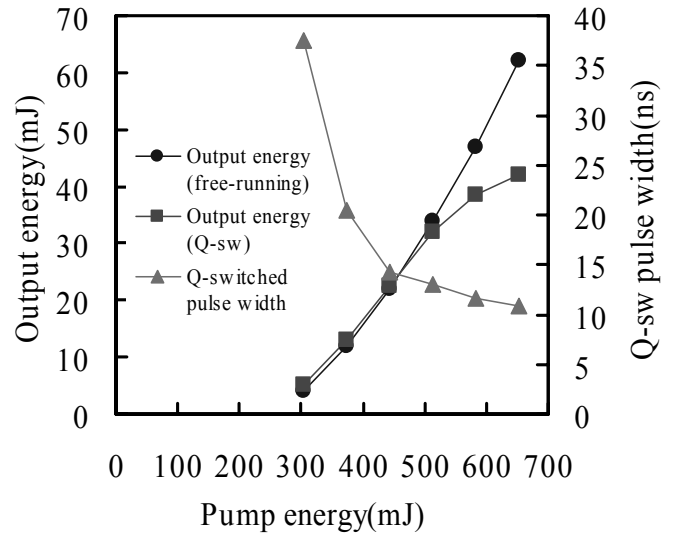


図4 Qスイッチ動作特性

4. おわりに

本研究では、シミュレーションに基づき準3準位Nd:YVO₄レーザーの基礎設計を行い、予備実験として、試作したNd:YAGレーザーによる動作実験を行った。今後、レーザーロッドをNd:YVO₄に置き換えることにより、準3準位動作実験を進める。

参考文献

- 1) 小林 喬郎, 固体レーザー, 日本分光学会測定法シリーズ (1997).
- 2) P. Blandin, F. Druon, F. Balembois, and P. Georges, *Opt. Lett.* **31**, 214 (2006).
- 3) T. Kellner, F. Heine, G. Huber, and S. Kuck, *Appl. Opt.* **37**, 7076 (1998).
- 4) J. Ye, L. S. Me, and J. L. Hall, *Opt. Soc. Am. B.* **17**, 927 (2000).
- 5) W. C. Liu, S. N. H. Walter, D. L. Veasey, and P. Peskin, *Appl. Opt.* **39**, 6165 (2000).
- 6) A. Sato, K. Asai, and T. Itabe, *Appl. Opt.* **37**, 6395 (1998).
- 7) G. J. Koch, B. W. Barnes, J. Y. Beyon, F. Amzajerjian, J. Yu, R. E. Davis, S. Ismail, S. Vay, M. J. Kavaya, and U. N. Singh, *Appl. Opt.* **43**, 5092 (2004).