

Nd:YAG セラミックスと Nd:YAG 単結晶の

小信号利得の測定

電子物性工学科 植田研究室 上松 知宏

1, 背景・目的

YAG 結晶^[1]はレーザーにおいては、加工・分析に有用されてきた。ところが、単結晶体の YAG 結晶は生成するのに時間がかかる。その後、成形・加工と進めていくので、コスト的にも安価ではない。近年になってようやく、レーザー発振ができるほどの Nd:YAG セラミックスが開発されるようになった。セラミックスは多結晶体で、微結晶を固めて作るので、コスト的にも時間的にもかからない。また、大きな結晶・様々な形の結晶を作ることが可能である。

ところが、実際には Nd:YAG 単結晶と Nd:YAG セラミックスの物性の違いについては測られていない。

本研究では、光学的物性の一つである。小信号利得係数を測定し、違いを明らかにする。

2, 理論

小信号利得係数 g_0 ^[2] は 式で表される。

$$g_0 = \frac{P_p \cdot K_{eff} \cdot \dots}{h \cdot \dots \cdot A} \dots$$

ここで、

K_{eff} : 有効吸収効率

: 上準位にいる寿命

: 誘導放出断面積

A: ポンプの面積

P_p : ポンプパワー

である。

一方、飽和利得係数と小信号利得係数の関係は、次の 式で表される。

$$g = g_0 \frac{1}{\left(1 + \frac{I_{in}}{I_s}\right)}$$

ここで、

I_s : 飽和係数 である。

I_{in} : 入射光パワー

この飽和係数については、次の 式で表される。

$$I_s = \frac{h}{\dots}$$

また、飽和利得係数は次の 式で表せる。

$$g = \frac{\ln \frac{I_{out}}{I_{in}}}{L}$$

Lは励起光の当たる部分の長さ

ここで、 I_{in} は励起させる物質への入射光の強さ

I_{out} は励起させる物質からの出力光の強さ

である。

3, 実験装置

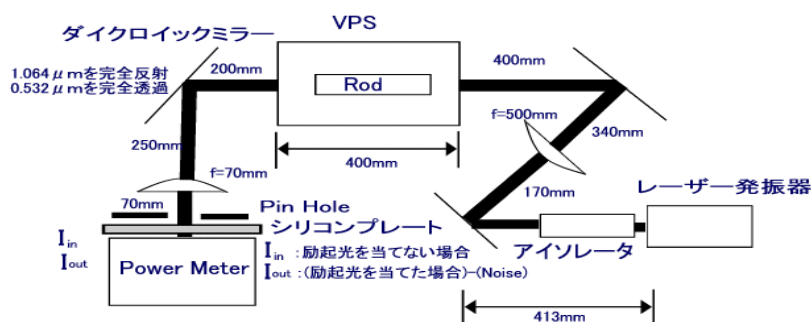


図1 測定装置

図1の説明をする。

レーザー発振源は出力波長 1.064 μm の NPRO を使っている。

最初にある平凸レンズはロッドの内部で、レーザーのビーム径が均一になるように、コリメートしている。なお、ロッド内のビーム径は理論計算であると $1.26 \pm 0.03 \text{ mm}$ になっている。

ダイクロイックミラーは、図1にも書いてあるが、1.064 μm の波長を持つ光を完全反射させ、0.532 μm の波長を持つ光を完全透過させる物である。ここで、発振波長の倍波を完全に分離している。

次にある2枚目の平凸レンズは集光用である。

ピンホールは光軸以外で発振された光を除去するための物である。ここで、光軸以外で発振された光とは、蛍光によるものや自然発振によるもの等である。ちなみにピンホールの口径は 3.60mm である。

パワーメーター直前にあるシリコンプレートは励起源である VPS から漏れてくる励起光 (0.808 μm) を除去するためである。

このシリコンプレートは 1.000 μm 以上の波長を持つ光の一部を透過。それ以下の波長を持つ光を吸収させるものである。なお、1.064 μm の光の場合は $37.8 \pm 0.1\%$ の透過率を持っている。

次に励起源として VPS^[3] を使った。

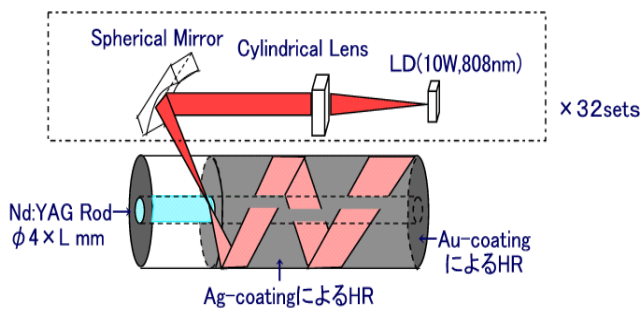


図2 VPSの装置概要

VPS は McDonnell Douglas Electronics System によって作られた LD array を円形に並べることによる ring 型の励起源である。

原理としては、出力 cw-10W、発振波長 0.808 μm の LD から、出力された光をシリンドリカルレンズで平行化し、球面ミラーで VPS 内のロッドに励起光として入射される。この3種類の光学機器の組み合わせがロッドに対して、円形に32個配置されてい

る。

ロッド受けの方は、銀または金でコーティングされていて、ほぼ 100% 反射を行わせるようになっており、一度、ロッド受け内に入射された励起光は何度もロッド受け内を反射し、ロッドに入射し何度も励起させる。その結果ロッドは光軸に対してはほぼ均一に励起させるという物である。

4, 実験方法

まず飽和係数を導出しよう。

については、(結果的にはほとんど違いがないのであるが) オーダー的には単結晶とセラミックスに違いはないものと仮定して、セラミックスの場合でも単結晶の値 $2.8 \times 10^{-19} \text{ W/cm}^2$ を使っている。

については当研究室の過去の測定^[4]で行われていて、図3のようになっている。

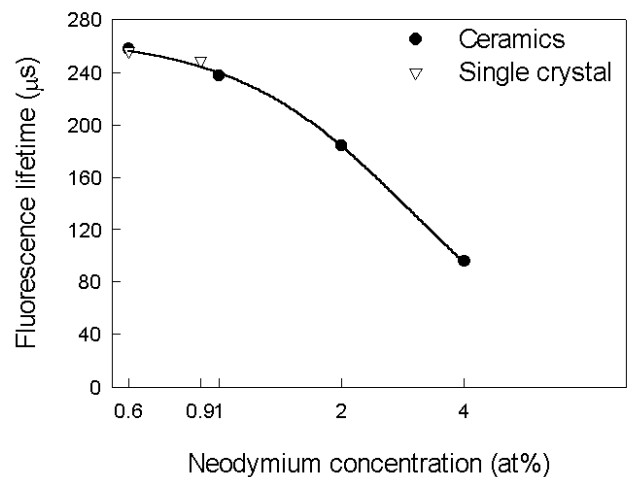


図3 Ndドーパ量と蛍光寿命

なお、上準位寿命と蛍光寿命はほぼ同じである。

今回測定に使った Rod は、

単結晶 : 0.6%Nd:YAG 4 × 104mm

セラミックス : 0.6%Nd:YAG 4 × 80mm

である。

0.6%の場合の は

	Ceramics	Single Crystal
$\tau (\mu s)$	257.6	256.3

図4 Ndドーパ量が0.6%の場合の

この結果から単結晶とセラミックスの についての違いはないので、共通の値 $257.0 \mu s$ の値を使用

する。

これらを式に代入すると

飽和係数は $I_s = 2.34 \times 10^3 \text{ W/cm}^2$ となる。

これを式に代入する。今回の測定では、 I_{in} は最大でも数 mW なので、 $\frac{I_{in}}{I_s}$ は 0 に近似できる。よって $g = g_0$ ということになる。

この結果から、式 = 式 (小信号利得係数 = 飽和利得係数) ということがいえる。

本研究では、励起光パワーを変化させて、そのときの様々なパワーを持つ光を入射させて、光の増幅率を測定し、そこから飽和利得係数を求めている。飽和利得係数を求めることが、先に述べたように小信号利得係数を求めること直結しているのである。

5, 測定結果

まず、はじめに、単結晶の場合の小信号利得係数と励起光パワーとの関係は図5に示す。

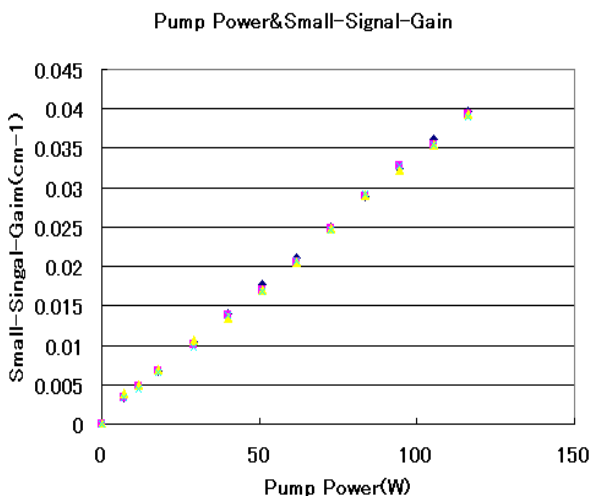


図5 単結晶の時の励起光パワーと小信号利得係数の関係

これを見る限りでは、式の通りに、小信号利得係数は励起光パワーに比例している。

次にセラミックスの場合の小信号利得係数と励起光パワーの関係を図6に示す。

図6では励起光パワーが80Wを越えたあたりから、微妙にはあるが、小信号利得係数の伸び率が減少しているとも思える。

この理由として考えられるのは、ロッド内の内部欠損にが生じていることによる散乱の影響や結晶内のビームの吸収率が違うことによる影響、ロッド

の熱レンズ効果による影響と考えられるが、内部欠損の場合はその欠損部分に光が当たらないようにロッドに入射しているので、その影響は考えにくい。また、吸収の違いというのであれば、いきなり飽和しているという状態にはなり得ない(最初からなんかしらの影響がでているはず)。最後に残ったロッドの熱レンズ効果によって、ロッド内でビーム径が狭まり、ビームのパワー密度があがり、その結果として、ビームが飽和をしてしまったのではないかということが考えられる。

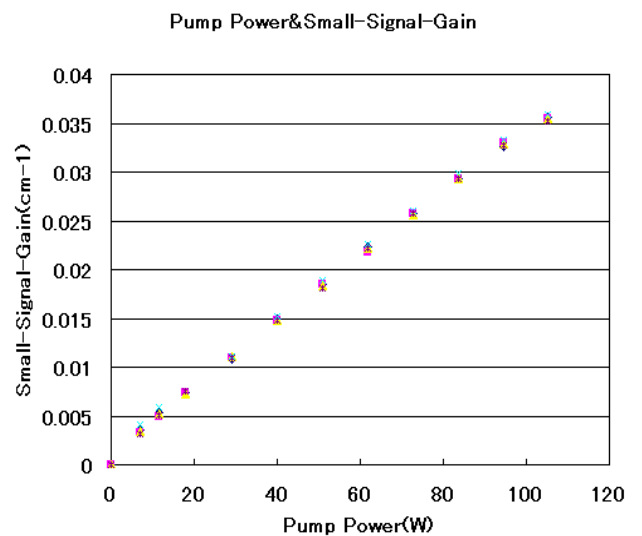


図6 セラミックスの時の励起光パワーと小信号利得係数の関係

次に単結晶の場合とセラミックスの場合の比較を試みる(図7)

これを見ると、単結晶の場合でもセラミックスの場合でもそれほど傾きの度合いには違いがない。傾き(励起1w当たりの小信号利得係数)は図8に示しておく。

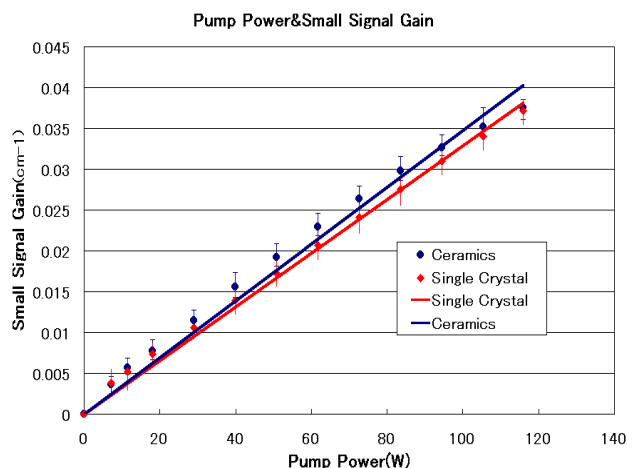


図7 励起パワーと小信号利得係数の関係の比較

単結晶もセラミックス傾きはほとんど変わらないということが言える。このことを視覚的にわかるように、傾き（励起光パワー1W 当たりの小信号利得係数）の値を実際に図8で比較してみよう。

	単結晶	セラミックス
励起光パワー1W 当たりの小信号利得係数 (cm^{-1}/W)	$3.48^{-4} \pm 0.14^{-4}$	$3.29^{-4} \pm 0.15^{-4}$

図8 図7のグラフ傾きの比較

図8をみれば、ほとんど同じということが言える。つまり、Nd:YAG セラミックスは小信号利得係数という点に関しては Nd:YAG 単結晶とほとんど同じということである。

6 , 結論

測定結果から Nd:YAG Single Crystal と Nd:YAG Ceramics との小信号利得係数の違いはほとんどないといえる。

しかし、小信号利得係数は励起光パワーによって、変化していくので、実際には比較としては不適切である。

その点を解決するために理論式 を使って、物質固有の定数である に変換しておく。その比較結果を図9に示す。

	単結晶	セラミックス
(W/cm^2)	2.8×10^{-19}	3.0×10^{-19}

図9 Single Crystal と Ceramics の誘導放出断面積 の比較

これを見る限りでは、誘導放出断面積も単結晶とセラミックスの場合で違いはほとんどないということが言える。

7 , まとめ

Nd:YAG セラミックスが Nd:YAG 単結晶と光学的物性が同じかと言うことについて、そのうち一つである小信号利得を測定、比較をしたが、Nd:YAG 単結晶と YAG セラミックスの小信号利得係数にも、誘導放出断面積にも違いはなかった。

今後の課題をとして、本研究は1種類の rod ずつの比較である。つまり、今回使った rod が本当に濃

度が 0.6%であったかどうかは実際（生成の時に生まれる誤差）にはわからない。この不安定要素をなくするためには、0.6%Nd ドープの他の rod についても同様の測定を行い、統計的に濃度が同じという条件の下で判断する必要もある。

また、濃度依存性があるかないかを調べるために、数種類のドープ量の rod を調べていく必要がある。

これが、小信号利得係数を測定した本研究に対する課題であるが、これ以外に、レーザー発振において、必要となってくる他のパラメータについても、測定・比較していく必要がある。

9 , 参考文献

- [1],Walter Koehner “Solid-State Laser Engineering 4th” Springer, Berlin, Heidelberg
- [2],U.Roth,ThomasGraf,E.Rochat,K.Haroud,Jürg E.Balmer,and Heinz P.Weber“Saturation, Gain, and Noise Properties of a Multipass Diode-Laser-Pumped Nd:YAG CW Amplifier”IEEE J.Quantum Electron.**34** 1987(1998)
- [3],N.Uehara,K.Nakahara,andK.Ueda ”Continuous-wave TEM₀₀ – mode 26.5-W-output virtual-point-source diode-array-pumped Nd:YAG laser ” Opt.Lett.**20**,1707(1995)
- [4],J.Lu,M.Prabhu,J.Song,C.Li,J.Xu,K.Ueda,A.A.Kaminskii,H.Yagi,T.Yanagitani:”Opticalproperties and highly efficient laser oscillation of Nd:YAG ceramics” Appl. Phys B **71** 469(2000)