

Nd:YAG セラミックスと Nd:YAG 単結晶の散乱の測定とその比較

電子物性工学科 植田研究室 三澤 啓一

目的

固体レーザーには単結晶の YAG がよく用いられる。これは、耐熱性や化学的安定性、また透明度といった点から、レーザー材料として適しているからである。しかし、単結晶は結晶成長によって作られるため、自由で大きな形を作るのが難しいという欠点がある。そのような単結晶の欠点を補うと期待されているのが YAG セラミックスである。YAG セラミックスは YAG の多結晶体であり、陶磁器と同じように、成形したものを焼結して作るので、自由かつ大きな形にすることができる。最近になって、この YAG セラミックスは、その品質の向上により単結晶に近い出力を得られるようになった。今後さまざまな用途に応用されると考えられる。そこで重要となってくるのが、その物性である。

固体レーザー材料として重要とされる透明度に注目すると、透明度というのは散乱や吸収によって決まり、散乱や吸収が少ないほど透明度が高くレーザー材料として適する。一方で、セラミックスの品質の向上というのは気孔や粒界の影響が少なくなったということであり、これら気孔や粒界というのは散乱と大きく関わる。また、吸収に関しては Nd:YAG セラミックスと Nd:YAG 単結晶に違いが無いことが判明している。したがって Nd:YAG セラミックスの散乱を Nd:YAG 単結晶の散乱と比べることで、現在のセラミックスの固体レーザー材料としての光学的品質を調べることにした。

実験方法

実験は YAG ロッドの端面からレーザー光を入射し、側面から出てきた散乱光を CCD カメラで見るという方法で行った(図1)。

用いたレーザーは、Nd:YAG の NPRO で波長が 1064nm、出力が約 100mw である。このレーザーを用いたのは、YAG ロッドの端面が波長 1064nm に対して AR コーティングされていたため、これによって端面での乱反射を抑えることができる。このレーザー光をレンズによってロッド径より細く、かつロッド内で平行になるようにし、ロッドの端面から入射する。このとき、ロッド内のビーム径は計算上 1.6mm で、ウェイトが入射端から 50mm(単結晶ロ

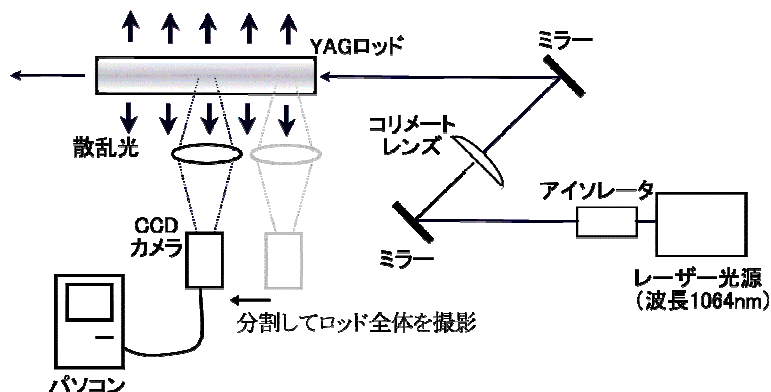


図1. 実験装置

ッドのほぼ中央)の位置にくるようにした。側面から出てきた散乱光は、レンズによって CCD に結像するのだが、このときのレンズはロッドの中心、つまり入射光が通っている位置にピントを合わせている。このようにピントを合わせることで、表面ついた小さなほこり等の汚れの影響を抑えられる。

この方法でロッド全体を、空間分解能を上げるため分割して撮影した。撮影した CCD の画像はパソコンに取り込み、この画像を元に、散乱光を数値化した。散乱光の数値化には、数値計算ソフト MATLAB を用いて、画像の色の強度を入射方向に対し垂直方向に足すことで行った。

結果

測定に用いた試料は、Nd:YAG セラミックスが 0.6%Nd ドープ、直径 4mm、長さ 80mm。Nd:YAG 単結晶が 0.6%Nd ドープ、直径 3mm、長さ 104mm である。ただし、セラミックスは両端に金具が取り付けられていたため、測定できた長さは 60mm である。その結果を図2に示す。

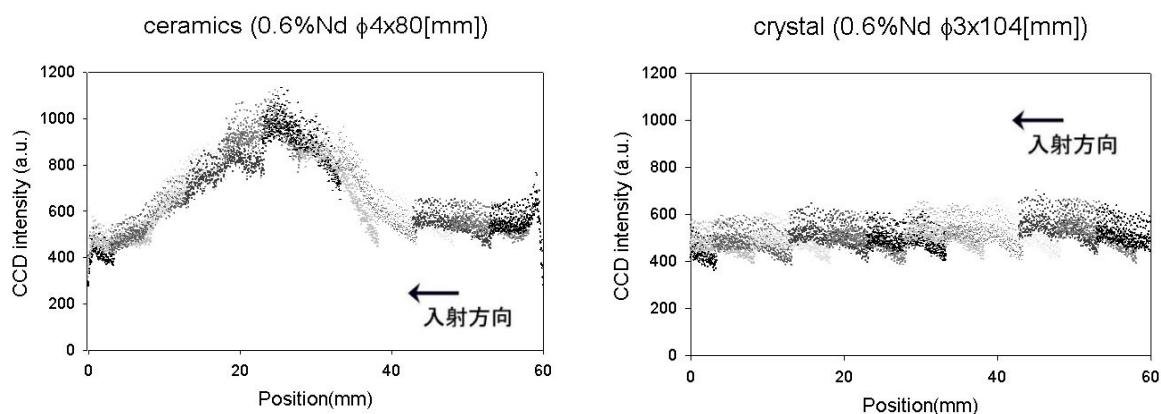


図2 . 測定結果

この測定結果からセラミックスと単結晶を比較したものが図3である。これより、セラミックスの方がロッドの中心付近で2倍ほど散乱が大きいことがわかる。

考察

中心付近で散乱が大きくなった原因として、次のようなことが考えられる。

1. セラミックスの両端に取り付けられた金具の影響。
2. 表面、または内部に大きな散乱体がある。
3. 気孔や粒界の量が均一でなく、中心付近に多い。

ただし、入射光はロッド径よりも細く、側面には当たってはいないので、金具や表面の影響はな

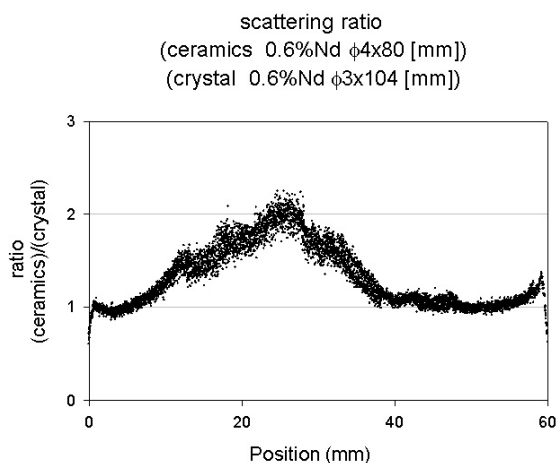


図3 . 散乱比

いと思われる。また、顕微鏡で内部に気泡らしきものを見つけたが(図4)、この位置は散乱の大きかった位置ではなく、また入射光もこの散乱体に当たらないようにしている。したがって、気孔や粒界が原因として考えられるが、YAG セラミックスの散乱は粒界に依存しないことが既に判明しており、気孔の量に偏りがあったと考えられる。なお、図の中央に明るく光る線が見えるが、これは顕微鏡のライトが上から当たっていて、それにロッド側面の丸い形状がレンズの働きをしたためと思われる。

しかし中心付近で散乱が大きくなるのが、このロッド特有のものなのか、それともセラミックス全般に言えることなのか、もしくは実験系に何か問題があったのではないかな等の疑問があったため、別のロッドについても測定を行った。

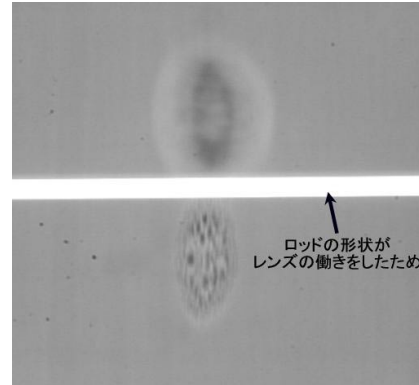


図4 . セラミックスの内部にあった気泡

結果 2

この時用いたロッドは、Nd:YAG セラミックスが 1.0%Nd ドープ、直径 3mm、長さ 100mm。Nd:YAG 単結晶は前回と同じく、0.6%Nd ドープ、直径 3mm、長さ 104mm である。その結果を図5に示す。両端で強度がゼロになっているが、これはロッドを支えていた部分が影になって CCD に写らなかったためである。

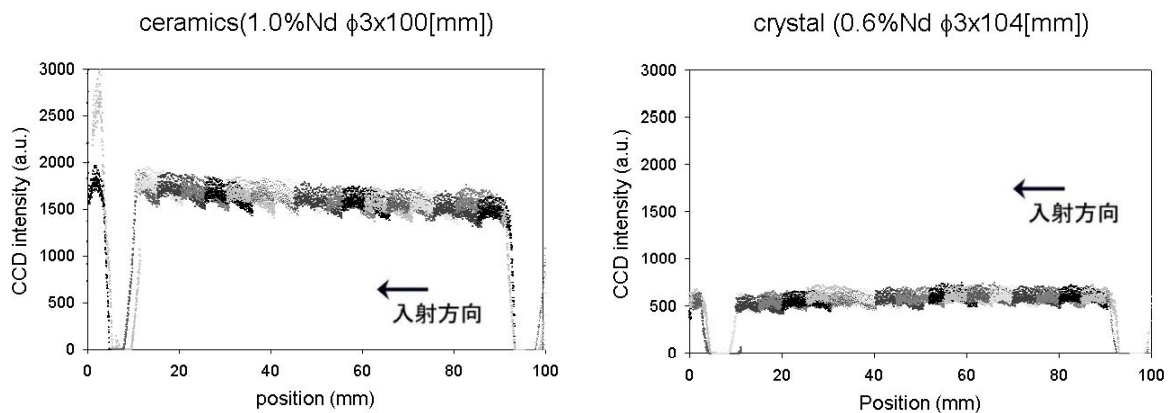


図5 . 別のロッドを測定した結果

この結果を元に Nd:YAG セラミックスを Nd:YAG 単結晶と比較したものが図6である。これによると、Nd:YAG セラミックスの方が Nd:YAG 単結晶よりも全体的に 3 倍ほど散乱が大きいことがわかり、前回のような中心付近でのみ散乱が大きくなるようなことはなくなった。

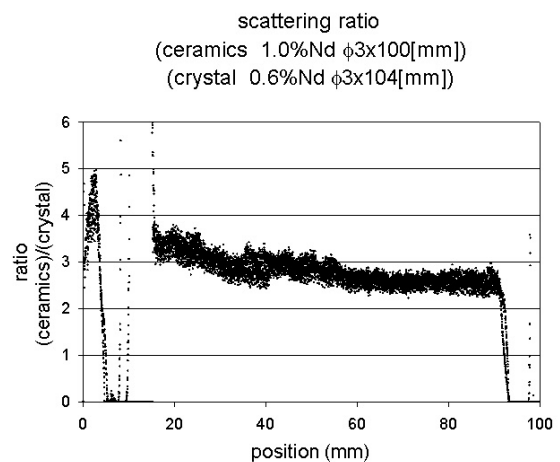


図6 . 別のロッドについての散乱比

考察 2

結果 2 から、中心付近で散乱が大きくなったのは、前回用いたロッド特有のものであると考えられる。

また今回の実験に関して、前回1~2倍ほどであった散乱が、3倍ほどと大きくなっている。これはNdのドーパ量の違いであるとも考えられるが、その他にも、前回のNd:YAGセラミックスのロッドは直径が4mmと単結晶の直径3mmよりも大きく、この違いが影響したと思われる。実際、直径が4mmと直径が3mmのNd:YAG単結晶について比較すると図7のような結果となり、直径の大きい方が散乱は小さく、0.6倍ほどになる。つまり最初のロッドも、径が3mmであったなら1.6~3.3倍ほど散乱が大きかったと考えられる。

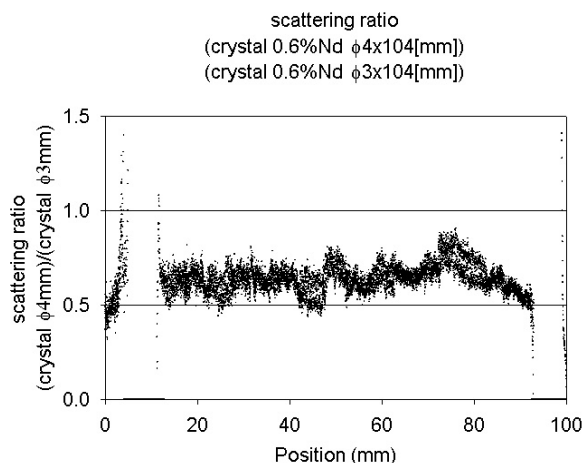


図7 . ロッド径の違いによる比較

まとめ

以上のことから、Nd:YAGセラミックスはNd:YAG単結晶よりも散乱が大きく、光学的品質という点からは、まだ単結晶の方に優位性があると考えられる。

しかし、測定に用いたNd:YAG単結晶のロッドについて気になる点があった。図8はNd:YAGセラミックスとNd:YAG単結晶、それぞれの側面の表面状態を暗視野顕微鏡で見たものである。なお、図にある白い2本の線は、図4の顕微鏡写真同様、ライトを上から当てていて、それにロッドの形状がシリンドリカルレンズのような働きをして出来たものと思われる。ここで暗視野顕微鏡は、散乱体があると白く光って見えるのだが、それによれば単結晶の表面に散乱体が数多く存在し、不透明になっていることがわかる。よって、セラミックスよりも単結晶の散乱の方が小さかったのは、これら表面の散乱体がロッドの中から出てきた散乱光を妨げていたとも考えられる。

したがって、今回の実験からでは、Nd:YAGセラミックスがNd:YAG単結晶より散乱が大きいとは言い難い。

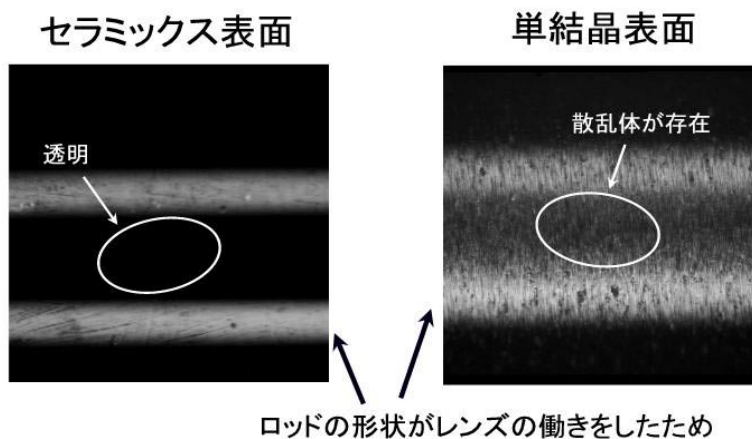


図8 . ロッド側面の暗視野顕微鏡写真