

# YAG セラミックスの散乱係数の計測

植田研究室 量子・物質工学科 戸倉川 正樹

## 1. 背景

単結晶は結晶成長に大きなものでは年単位の時間を要し、さらに高品質で大きいサイズのものを作ることは難しい。我々の用いているセラミックスは真空焼結法で製造されており、製造にかかる時間は大きさに関わらず 1 週間程である。単結晶ではできない程の高濃度の添加も可能であり、融点以下の温度で生成でき、セラミックスでしか実現できない試料もある。

セラミックスは 1~2 μm 程の粒の集合体でありトータルでは光学的に軸を持たず、厚さ 0.1~1nm の粒界を持つということが単結晶との違いである。その違いが個々の物理係数に対してどのような違いを生じるかという事を調べる必要があり、熱膨張率、散乱係数などが未計測である。

本研究室ではセラミックスを用いて単結晶に勝るとも劣らない出力、出力効率を出すことに成功している。しかしセラミックスは粒界の存在から、単結晶に比べて散乱が多いと言われがちである。しかし散乱係数は計測されておらず、早急に計測する必要性がある。

## 2. 概要と理論

本実験ではセラミックスの透過率から減衰定数  $\alpha_{\text{extinction}}$  を求め、次に積分球を用いて散乱光を直接的に計測し散乱量  $I_s$  を求めそれらから散乱係数  $\alpha_s$  を導出した。

まず表面でのエネルギー反射率  $R$  はセラミックス YAG の屈折率 1.83 より

$$R = \left( \frac{1 - 1.83}{1 + 1.83} \right)^2 = 0.086$$

入射光  $I_{\text{incident}}$  透過光  $I_{\text{transmitted}}$  減衰係数  $\alpha_{\text{extinction}}$  散乱係数  $\alpha_s$  反射率  $R$  試料の長さを  $L$  としたとき

$$I_t = I_i (1 - R)^2 \exp(-L \alpha_{\text{ext}})$$

これより

$$\alpha_{\text{ext}} = -\frac{1}{L} \ln\left( \frac{I_t}{I_i (1 - R)^2} \right)$$

微小長さ当りの散乱量は左式で表され、これを初期条件  $l = 0$  のとき  $I_s = 0$  で解くと右式となる

$$\frac{dI_s}{dl} = \alpha_s (1 - R) I_i \exp(-l\alpha_{ext}) \quad \alpha_s = \frac{I_s \alpha_{ext}}{I_i (1 - R) [1 - \exp(-L\alpha_{ext})]}$$

以下これを用いて散乱係数を測定する。

散乱光が等方的に発生すると、立体角を用いて計算すると約 28%の光が積分球内部に閉じこめられて 28%の誤差が生じる。実際は散乱光は等方的には発生しないので正確な値を知るためには散乱光の発生分布角が分からなければならない。

### 3. 減衰係数の測定

He-Ne レーザーを試料に照射し、照射パワー  $I_i$ 、透過パワー  $I_t$  を計測した。

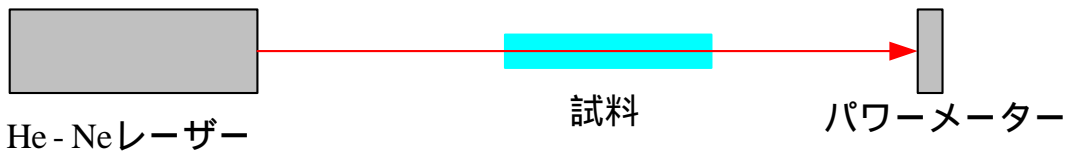


図 1 透過率測定図

実験データより計算すると 633nm で  $\alpha_{ext} = 0.025$  ( / cm )

### 4. 散乱光測定

光源は He-Ne レーザーであり、まずその光をカットフィルター、1/4 波長板を通し円偏光にし、次にビームスプリッターでサンプル光とリファレンス光に分ける。その後チョッパーにより前者は 2400Hz、後者には 240Hz の変調をかけて、それぞれをロックインアンプで検出している。

He-Ne レーザーの出力は 5mW (CW) 積分球のサイズは 200、レーザーが通過する積分球の穴の直径は 30mm、19mm と変更可能、L4 は  $f = 300$  であり最小ビーム径は 100  $\mu\text{m}$  である

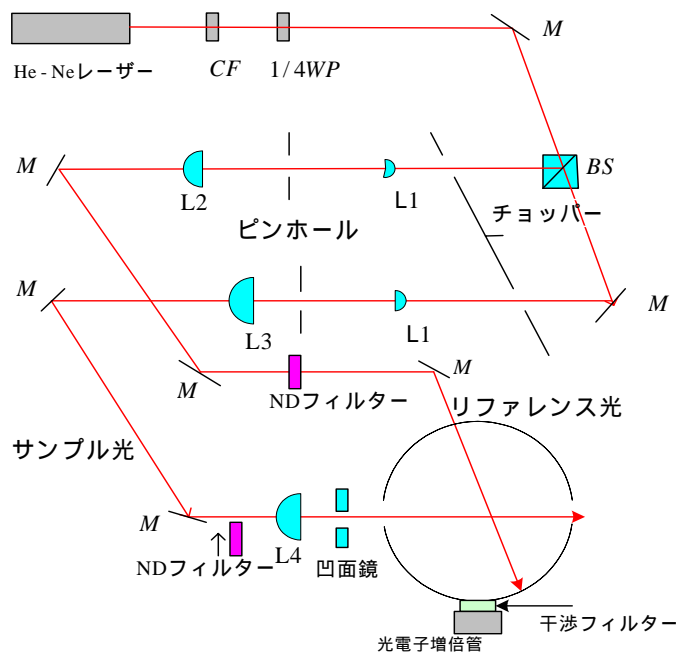


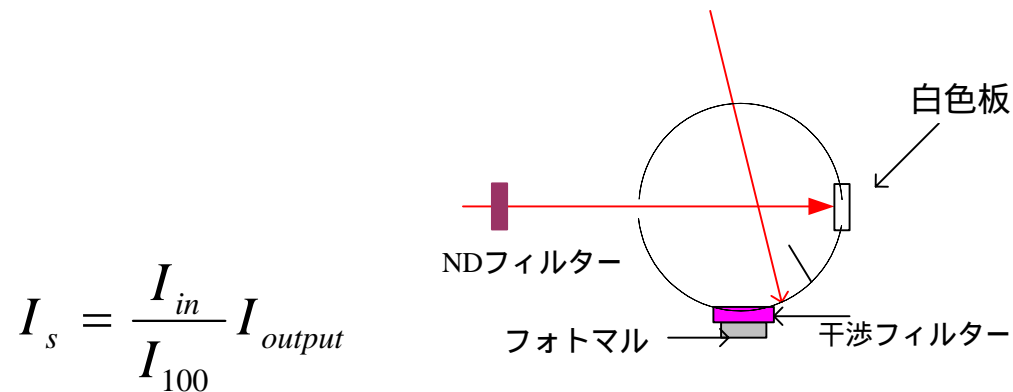
図 2 散乱光測定全体図

得られるロックインアンプの出力は光電子増倍管の設定と積分球の状態に影響を受けるので、リファレンス光を用いて較正をおこなっている。

今回測定する試料は Nd が添加されており 633nm の波長に対して、吸収があるので自然放出による影響が出ないように、干渉フィルターによって 633nm 以外の光はカットしている。

#### 4.1 較正式の作成

図3の装置に基準白色板（99.9%散乱物質）をセットし、飽和しないようサンプル光をNDフィルター（透過率 0.0013）を通し減衰させ、そのときのロックインアンプのサンプルシグナル、リファレンスシグナルを測定した。出力は積分球の状態とフォトマルの設定に影響されるのでサンプルシグナルをリファレンスシグナルで割ったものを、再びNDフィルター透過率 0.0013 で割り、それを出力  $I_{100}$  とした。出力は散乱量に線形であるとし



以下この式を用いている。

図3 100%補正図

#### 4.2 前方・後方散乱の測定

図4、図5のように試料をセットし前方、後方への散乱量  $I_f$   $I_b$  を測定した。

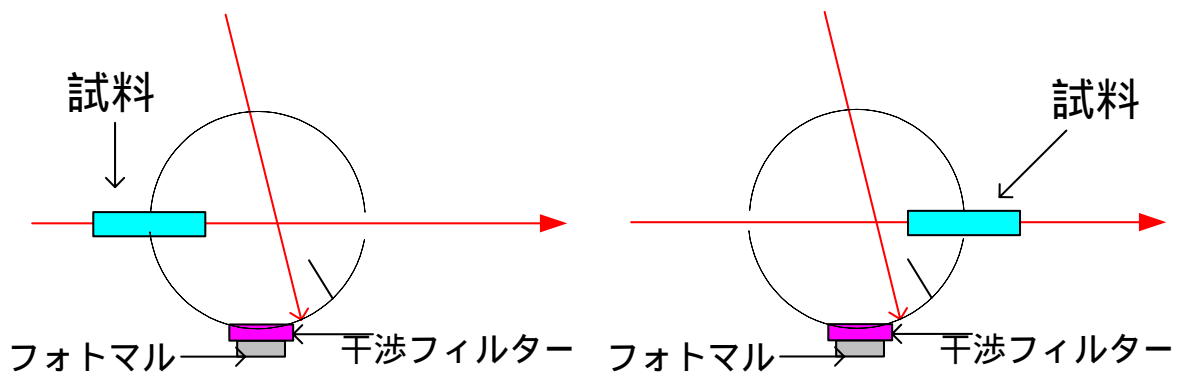


図4 前方散乱測定図

図5 後方散乱測定

## 5 . 結果

セラミックス試料 A の結果を表 1 に示す

表 1 試料 A 測定データ

	(/cm)	$I_f : I_b$ 比	$I_f$ mv	$I_b$ mv
A3 4mm (表面散乱)		1.04	1.9	1.8

下記 A1、A2 の I は A3 を表面散乱のみと仮定し表面散乱の分を引いたものである。

	(/cm)	$I_f : I_b$ 比	$I_f$ mv	$I_b$ mv
A1 140mm	0.00012	2.25	30.4	13.5
A2 50mm	0.00011	2.15	12	5.6

結果を見ると A1、A2 では内部の散乱量は長さに比例しており、また散乱量は前方への散乱量のほうが約 2 倍となっている。また誤差は散乱光の発生角度分布などに依存し、まだ不確定さを多く含んでいる。

## 6 . 結論

今回測定された試料 A (セラミックス) の内部での散乱係数は  $1 \times 10^{-4}/\text{cm}$  ととても小さく、セラミックスであるから散乱が多く、レーザー媒質に向かないというような事はなく、研磨や AR コート、HR コートの状態による散乱の増加の方がはるかに大きいのではないかと考えられる。またほとんどないと思われていた 633nm でも散乱係数と比べてはるかに大きい吸収係数を持っていることがわかり、吸収による影響の方が大きいと思われる。

文献によると単結晶 YAG の 1064nm における散乱係数は  $2 \times 10^{-3}/\text{cm}$  となっている。レイリー散乱を考えれば 633nm では 1064nm の約 10 倍散乱するはずであるが 1/10 の散乱量となっている。これはセラミックスと単結晶の物理の違いと言うわけではなく、測定法の違いによる可能性が考えられる。文献の散乱係数は 1064nm では吸収係数は 0 として減衰係数から散乱係数を導出しているの、散乱以外による減衰が含まれている可能性があるのに対して、積分球を用いた計測では散乱光を直接計測しているの、比較して小さな値となる可能性は十分考えられる。散乱係数としては積分球を用いて計測した値の方が正しい値であると考えられる。

$$\alpha_{\text{extinction}} = \alpha_{\text{scattering}} + \alpha_{\text{absorption}} + ? \neq \alpha_{\text{scattering}}$$

今回の結果ではセラミックスと単結晶の散乱係数を比較することはできないが、単結晶を用意し、積分球を用いて計測することにより二つの散乱係数を比較することは可能であると考えられる。

### 参考文献

- 1 . Optical spectra of undoped and rare-earth-(=Pr,Md,Er,andEr)doped transparent ceramic  $Y_3Al_5O_{12}$   
著者 Masami Sekita, Hajime Haneda, and Shinichi Shirasaki, Takagimi Yanagitani
- 2 . Absorption and scattering of light by small particles  
著者 Craig F. Bohren, Donald R. Huffman
- 3 . Experimental verification of Rayleigh scattering cross sections Hans Naus and Wim Ubachs  
OPTICS LETTERS March 1,2000/ Vol.25, No.5