

YAG セラミックスの熱膨張係数の測定

量子・物質工学科 植田研究室 櫻井謙司

1. 背景・目的

YAG は固体レーザーのホスト材料として広く用いられているが、そのほとんどが単結晶である。近年神島化学工業との共同研究により高品質な高透光性セラミックスの開発に成功した。セラミックス製造技術の向上は著しく、当研究室では単結晶をも凌ぐほどの出力が得られた。また、熱複屈折も単結晶よりも小さく測定された。このようにセラミックスは、単結晶に取って代わるポテンシャルを十分に有している。

このセラミックスは単結晶と比較して、大きなサイズでの作成、自由成形、希土類の高濃度添加が容易であり、安価、短時間での作成が可能という利点がある。

当研究室では、開発したセラミックスの物性測定を行っており、熱伝導率、熱複屈折の測定を行っている。しかし熱膨張率は重要なパラメータであるにもかかわらず、まだ測定されていないので今回測定する事となった。

2. 熱膨張係数について

$$\alpha = \frac{dL}{dT} \times \frac{1}{L_0} \doteq \frac{\Delta L}{\Delta T} \times \frac{1}{L_0} = \frac{L - L_0}{T - T_0} \times \frac{1}{L_0}$$

T_0 : 基準試料温度 [°C]

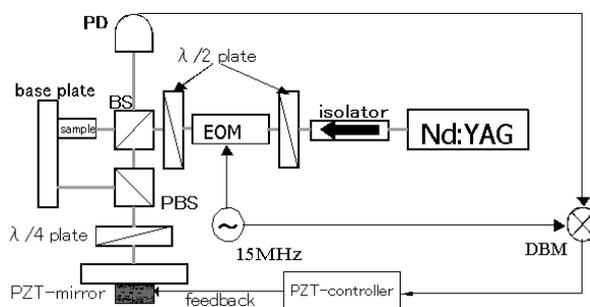
T : 試料温度 [°C]

L_0 : 基準温度での試料長 [m]

L : 試料長 [m]

熱膨張係数¹ α [K⁻¹]は上式で表されるような、温度に依存する係数である。この係数は熱レンズ効果、熱複屈折、サーマルショックパラメータに影響を及ぼし、これらは、高出力、高ビーム品質、高効率なレーザーを設計する際の重要なパラメータである。

3. 装置構成



EOM: Electro-Optic Modulator

BS: Beam Splitter

PBS: Polarizing Beam Splitter

PZT: Piezoelectric Transducer

PD: Photo Detector

DBM: Double Balanced Mixer

図 1 装置概要

¹ 今回測定したのは、正しくは平均線膨張係数である

図1に装置概要を示す。この装置はマイケルソン干渉計を変形した形となっており、普通はPZT-mirrorの部分にあるリファレンスマirrorが、サンプルに接着してあるベースプレートの部分に移動している、そしてサンプルの端面で反射したビームとベースプレートで反射したビームがBSで干渉するようになっている。

まず光源から出たビームはEOMを通り位相変調をかけられた後にBSでサンプル方向と、PZT-mirror方向の二本に分かれる。PZT-mirror方向へのビームはPZT-mirrorで反射してλ/4板を2回通る事により、偏光方向が90°回転するのでPBSで曲げられて、ベースプレートで反射する、同様にPZT-mirrorで反射してλ/4板を2回通り、PBSを通過して、BSでサンプル端面からの反射ビームと再び重ね合わされる。

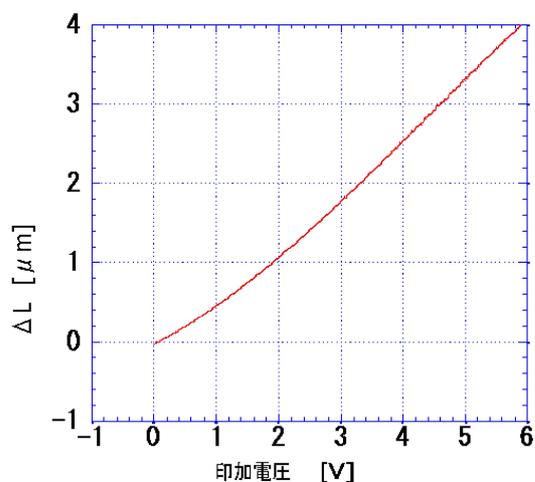
この干渉信号をPDで検出し、DBMで復調して、明干渉でロックがかかるようPZT-mirrorへ光路差を一定にするようなフィードバックをかける。

このようなロックのかかった状態で試料が伸びると、それに伴ってPZTも伸びる、この試料の伸びとPZTの伸びの比は2:1であるので、PZTの変位を測定することにより、試料の伸びを推定できる。

4. PZTの変位の測定

PZTにはヒステリシスがあり、電圧上昇時と下降時で、異なる電圧-変位曲線を通るという問題があるので、電圧から単純に変位を推定する事ができない。この問題を解決するために、PZTは常に伸びる、つまり常に電圧は上昇すると仮定し、毎回同じ電圧から測定を開始することにした。これにより、電圧からPZTの変位を求める事が可能となった。

PZTの変位は図1の装置において、ロックをかけない状態でPZTに電圧をかけた時の干渉信号の強度変化より読み取った。結果を図2に示す。



試料の伸び x [μm] (電圧を上昇させた時)
 $x = 0.401V + 0.0863V^2 - 6.55 \times 10^{-3} \times V^3$

図2 PZTの電圧-変位特性

5. サンプルのセットアップ

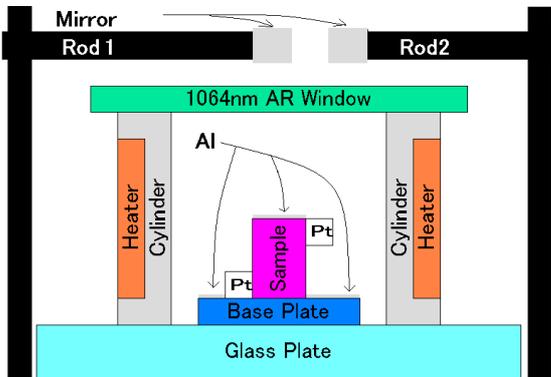


図 3 サンプルセットアップ(横からの図)

図 3 にサンプルのセットアップを示す。

サンプルの両端面を光学研磨して、ベースプレートに密着させ、まわりを接着材で固めた後に、ベースプレートの表面とサンプルの端面に Al を蒸着した。

次にサンプルの上部と下部に一つずつ白金抵抗温度計を接着し、試料温度にはこの二つの温度の平均値を用いた。

そしてこのベースプレートをガラスの台の上に密着させ、同様に接着した。

更にシート型ヒーターを巻いた Al の筒で覆った後、1064nm の AR コートを施した窓を筒の上部にセットした。このように Al の筒で覆う事により、ほぼ均一な加熱に成功した。

6. 結果

本装置では試料の伸びしか測れないので、あらかじめマイクロメータで長さを測り、これを基準試料長 L_0 とした。

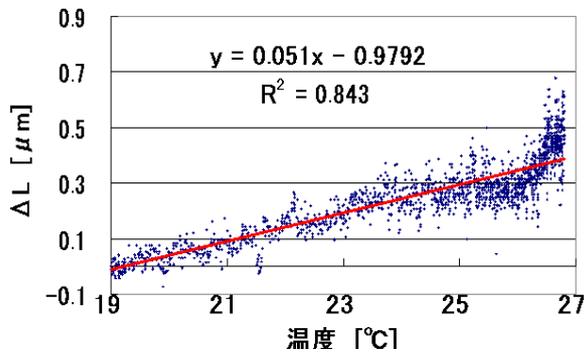


図 4 1%at.YAG の測定結果

L_0 : 21.00[mm]

熱膨張係数 $2.4 \times 10^{-6} [K^{-1}]$

単結晶 YAG の文献値 $7.8 \times 10^{-6} [K^{-1}]$

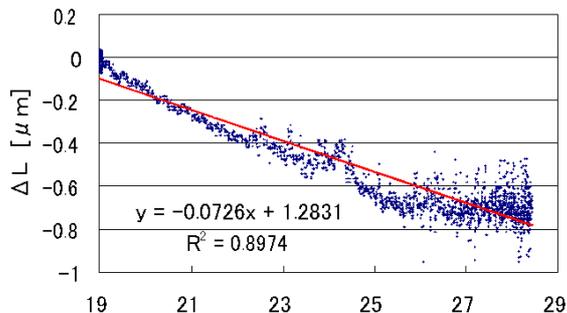


図 5 合成石英(SQ) の測定結果

L_0 : 14.54[mm]

熱膨張係数 $-5.0 \times 10^{-6} [K^{-1}]$

合成石英の文献値 $0.5 \times 10^{-6} [K^{-1}]$

7. 考察

YAG セラミックス、合成石英ともに文献値よりも非常に小さく測定された。まことに残念ながらこれは信用できる値とは言えない。

本装置では図 3 の様に、試料直前に二枚のミラーで横から来たビームを下方向に曲げており、このミラーを保持するロッドの熱膨張が rod1 と rod2 で異なっていると考えられ、このことが大きな測定誤差の原因と考えられる。実際に、サンプルの代わりに Al 平面ミラーをセットし、ヒーターを rod1 に近く設置した場合と rod2 に近く設置した場合の二通りで計測すると、本来ならば両方とも熱膨張率は 0 のはずがだが、rod1 に近い場合は負の熱膨張率、rod2 に近い場合は正の熱膨張率が測定された。

8. 今後の課題

- ・rod1、rod2 を一本にまとめて膨張の影響を小さくする
- ・今回は光学台が除振構造ではなかったが、除震台上で工学系を組む
- ・素子を低くコンパクトに配置し、振動、膨張などの影響を抑える
- ・昇温速度をあげて、短時間で測定することにより外乱を小さくする
- ・フィードバック回路を改善し、安定なロックがかかるようにする

参考文献

- 1) 霜田光一, レーザー物理入門, 岩波書店, 2000
- 2) レーザ計測ハンドブック. レーザ計測ハンドブック編集委員会編. 丸善, 1993.
- 3) W.Koechner “Solid-State Laser Engineering 4th ed.” (Springer, Berlin).
- 4) ラシィ(山中惣之介, 宇佐美興一共訳), 通信方式:情報伝送の基礎, 朝倉書店