

# フェムト秒パルスによる非線形屈折率と非線形吸収の評価

電子工学科 西岡研究室 今村 紘嗣

## 1章 序論

本研究では、モードロック Ti: Sapphire レーザーのフェムト秒パルスを用いた Z-scan 法により、光学ガラスの非線形屈折率・非線形吸収の測定を行った。これまで、ナノ秒パルスを用いることが多かったが、フェムト秒で問題となる電子分極による非線形効果に加え、熱効果や電子なだれなどの他の非線形効果も同時に測定してしまう。これに対して、フェムト秒パルスでは非共鳴電子分極のみが測定できる。同時に、多光子吸収の測定も可能である。また、本研究では、1パルスあたりのエネルギーが 6 nJ である。これほど小さなパルスエネルギーで測定できたのは、初めてである。

試料として、非線形吸収を用いた周波数多重ホログラムに実際に用いる Schott 社の色ガラス、フェムト秒レーザーのカー媒質として用いる Yb ドープ QX ガラス、高屈折率を有することで知られているサファイア、赤外線付近の光を吸収する合成石英に関して実験を行った。また、試料のプリユスター角を測定し、線形屈折率を求めた。これより線形屈折率と非線形屈折率の関係について実験的に考察した。

## 2章 Z-scan 法による非線形屈折率の評価

物質の屈折率  $n$  は、光強度が十分に強い場合は光の強度によって変わる。光電場を  $E$  とすると、その効果は

$$n = n_0 + \frac{n_2}{2} |E|^2 = n_0 + \gamma I \quad (\text{式 2-1})$$

で表される。ここで、 $n_0$  は線形屈折率、 $n_2$  は非線形屈折率、 $I$  は光強度である。 $\gamma$  は非線形カー係数で、 $n_2$  と  $\gamma$  は  $n_2 = (cn_0/40\pi)\gamma [m^2/W]$  のような関係を持つ。強い光が非線形媒質を通ったときに、試料の内部では自己集束が起こる。非線形媒質を焦点付近で、前後させると  $Z < 0$ 、 $Z > 0$  では図 2-1 のように自己集束が起こる。

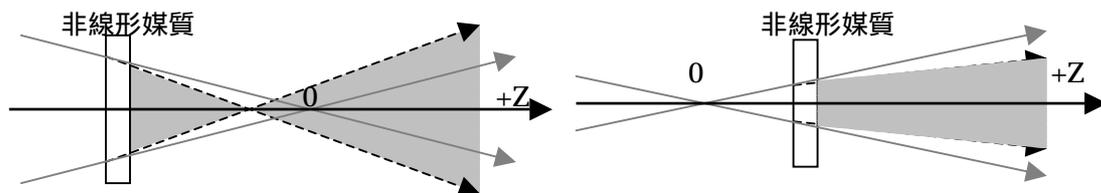
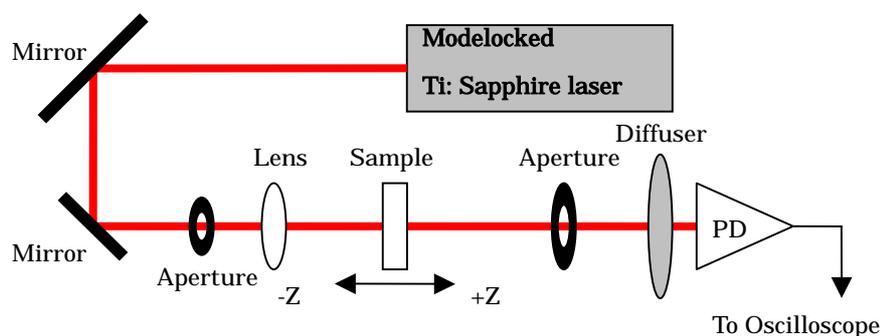


図 2-1 試料透過後の自己集束

以下に、Z-scan 法による非線形屈折率の評価について、概要図を示す。



今回の実験では Gaussian ビームではなく Top-Hat ビームを使用した。レンズの直前のアパーチャーの直径を 2.3、3.3、4.5mm と変え、後方のアパーチャーは 2.4mm で固定して測定を行った。測定の結果は以下ようになった。各曲線の  $F$  number は青色が 49.5、ピンク色が 32.0、オレンジ色が 23.5 である。

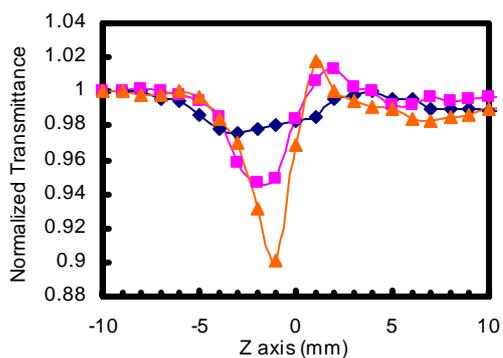


図 2-2 色ガラスでの非線形屈折率の測定結果

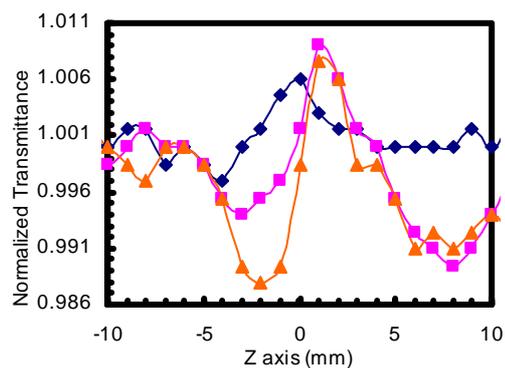


図 2-4 サファイアでの非線形屈折率の測定結果

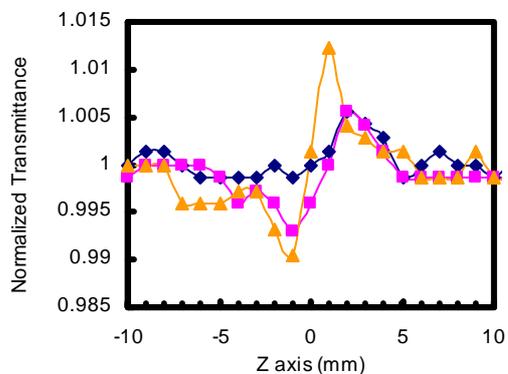


図 2-3 Yb QX glass での非線形屈折率の測定結果

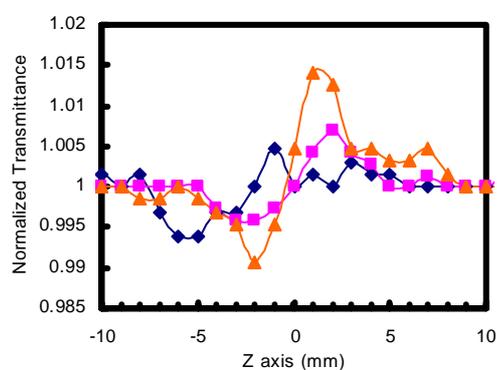


図 2-5 合成石英での非線形屈折率の測定結果

### 3章 Z-scan 法による非線形吸収の評価

非線形吸収に関しては、以下のような概要で測定を行った。

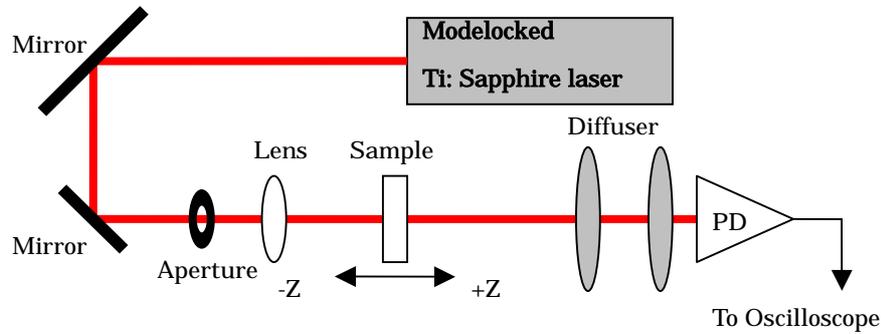


図 3-1 Z-scan による非線形吸収の測定

非線形吸収の測定は非線形屈折率の測定の際の後方アパーチャーをはずし、拡散板を加えただけである。測定方法は非線形屈折率と同様にアパーチャーの直径を変えて測定を行った。測定した結果、色ガラス以外では吸収は見られなかった。各曲線の  $F$  number は非線形屈折率と同様、青色が 49.5、ピンク色が 32.0、オレンジ色が 23.5 である。ここで、非線形吸収係数を求める。

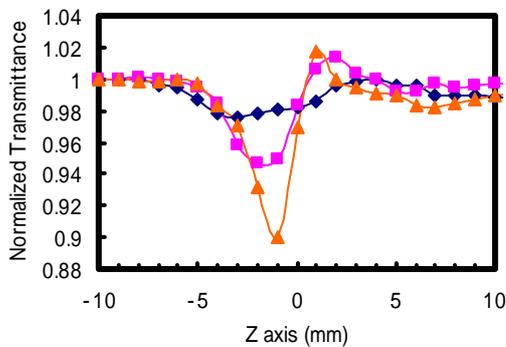


図 3-2 色ガラスにおける非線形吸収の測定結果

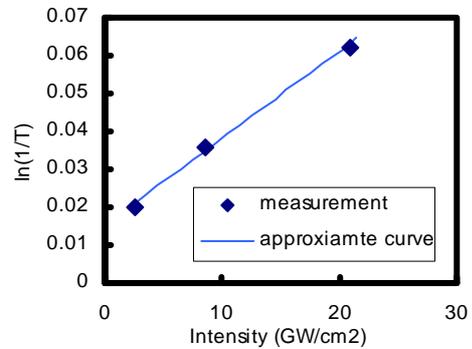


図 3-3 光強度と  $\ln(1/T)$  の関係

まず図 3-2 より、縦軸に  $\ln T$ 、横軸にサンプル内での光強度  $I$  をとり図 3-3 を得る。近似直線の式が

$$\ln(1/T) = 2.3 \times 10^{-16} I + 0.015$$

であるので、この傾きから、非線形吸収係数を求める。

$$\beta L = 2.3 \times 10^{-16} \Leftrightarrow \beta = \frac{2.3 \times 10^{-16}}{L}$$

したがって、非線形吸収係数  $\beta$  は  $\beta = 1.095 \times 10^{-2}$  (cm/GW) となった。

## 4章 結論

線形屈折率と非線形屈折率の測定の結果を以下にまとめる。

表 4-1 線形屈折率と非線形屈折率の比較

	線形屈折率 $n_0$	線形屈折率 文献値	非線形屈折率 $n_2 (\times 10^{-13} \text{ esu})$	非線形屈折率文献値 $n_2 (\times 10^{-13} \text{ esu})$
色ガラス	1.52	1.53	2.96	
Yb QX glass	1.52	1.53	1.09	
サファイア	1.75	1.76	1.29	1.4
合成石英	1.44	1.45	1.36	1.4

次に、縦軸を非線形屈折率  $n_2$ 、横軸に線形屈折率  $n_0$  をとりグラフを書くと、下図のようになる。

図 4-1 より、色ガラスだけ非線形屈折率の値が大きくなった。これは色ガラスだけ、非線形吸収が見られたためである。

本研究は、フェムト秒パルスによる非線形屈折率と非線形吸収の評価について述べた。今回は繰り返しパルスで測定を行ったが、オシロスコープでパルス 1 発

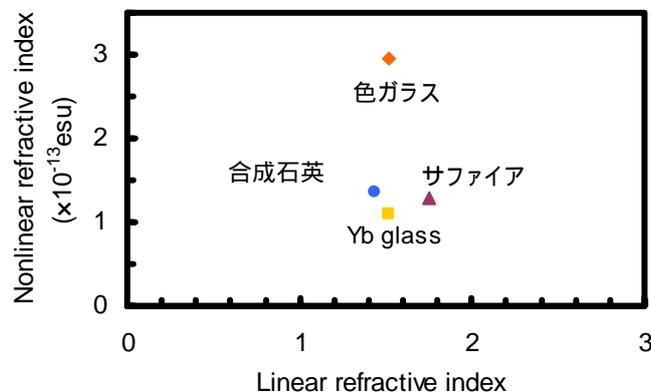


図4-1 線形屈折率と非線形屈折率の比較

ずつの波形を観測できた。このことはシングルパルスで測定できたということを示し、6nJのピークパワーで非線形効果は観測できたということである。またモード同期レーザーを使用したため、安定した測定が行えた。今後時間積分をして測定を行えば、よりよい精度で測定が可能である。非線形吸収に関しては、色ガラス以外観測できなかったが、再生増幅器などを通して、パルスのピーク強度を上げると、2光子吸収、3光子吸収などで非線形吸収の観測が可能である。