

# 超短パルスレーザー励起による広帯域過渡吸収の研究

米田研究室

近藤大介

## 1. はじめに

1995年に発表された「Absorption of Ultrashort Pulses by Solid Targets Heated Rapidly to Temperatures 1~1000eV」の論文の中で、石英に関する興味深い現象が観測された。この論文の内容は、いろいろな固体物質 (Ta, Au, Cu, Al, Quartz) に超短パルスレーザーを照射した時に、照射された固体物質の吸収率の変化を観測したということである。図1に照射した際の超短パルスレーザーの強度に関する吸収率の変化を示した。

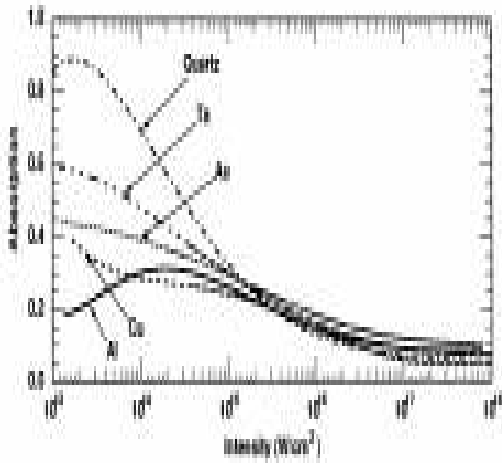


図1 レーザー強度による吸収率変化

図1では  $10^{13} \sim 10^{14} \text{W/cm}^2$  のレーザー強度では、Quartz (石英) が飛びぬけて高い吸収率を示している。常温では石英の吸収率はとても低いのにに対して、超短パルスレーザーを照射することにより温度を上げた状態では吸収率が高くなるのは

どのような原因で起きているのだろうか。

高強度の超短パルスレーザーを照射しても、石英が壊れたりしているわけではない。そうすると、この吸収率が上がる原因として考えられるのは、石英内のバンド構造に変化が生じて吸収しやすいバンド構造になっていると考えられる。1995年に発表された論文ではレーザーの波長でしか観測されていないため、広帯域での観測が必要である。

石英内のバンド構造が変化する可能性が考えられるが、図2に示しめした石英のバンド構造を用いて説明できる。

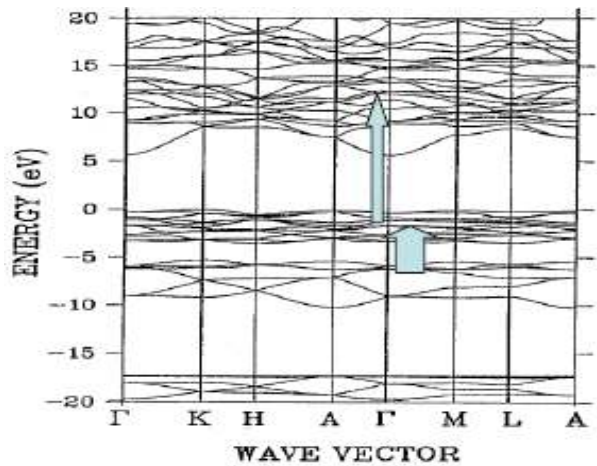


図2 石英のバンド構造

超短パルスレーザーでは、石英のエネルギーギャップ (9eV程度) のエネルギーを2光子吸収や多光子吸収を起こすことによって補える。そうすると、電子がエネルギーを受け取り、エネルギーギャップを超えて遷移する。すると遷移した電

子の場所に空きが生じる。その空きを目がけて下のところから電子が遷移してくる。3s から 3p に電子が遷移するのに必要なエネルギーは 2~3eV と低いので可視光の波長帯でもその分のエネルギーを補うことが可能である。(3s-3p バンド間遷移) このようなバンド構造の変化があると考えられるため、超短パルスレーザーを照射した石英には吸収率の変化が顕著に現れると考えられる。

このようなバンド構造の変化があるのなら広い波長帯で吸収が生じるのか、生じるのであればどの波長で強く吸収が生じているのか。また、超短パルスレーザー照射により屈折率の変化が起きて反射しているのではないかを調べなければならない。

本研究では、紫外と赤外ではどちらの方が吸収しやすいかを調べることを調べ、屈折率変化を調べた。

## 2 吸収率に関する実験

チタンサファイアの光 (745nm) とそれを BBO クリスタルに照射することによって生じる光 (322nm) の二種類の光をプローブ光として実験をした。以下の図 3 に実験装置図を示した。

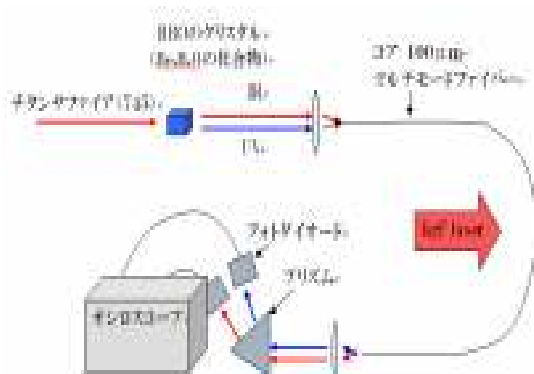


図 3 吸収に関する実験装置図

実験方法としては、745nm と 322nm の光をコア径 100  $\mu\text{m}$  のマルチモードファイバーに入れ、出力側にプリズム分光器を設置し波形をオシロスコープで観測した。照射系としては、側面から超短パルスレーザーである KrF レーザーを照射した。オシロスコープで観測した波形を図 4 に示した。また、時間に対する照射前と照射後の強度比をとったものを図 5 に示した。

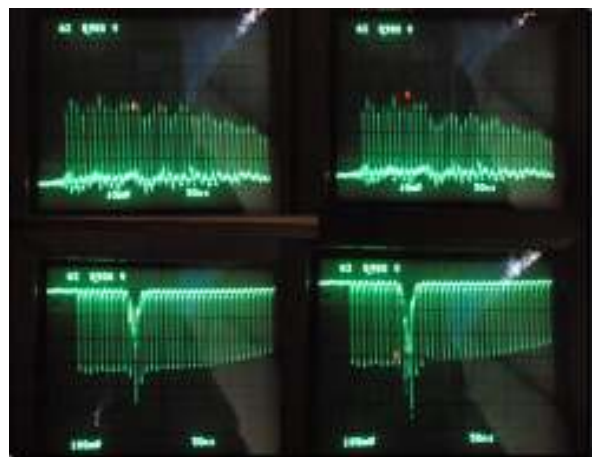


図 4 超短パルスレーザー照射前と照射後の波形変化 (上 : 322nm 下 : 745nm)

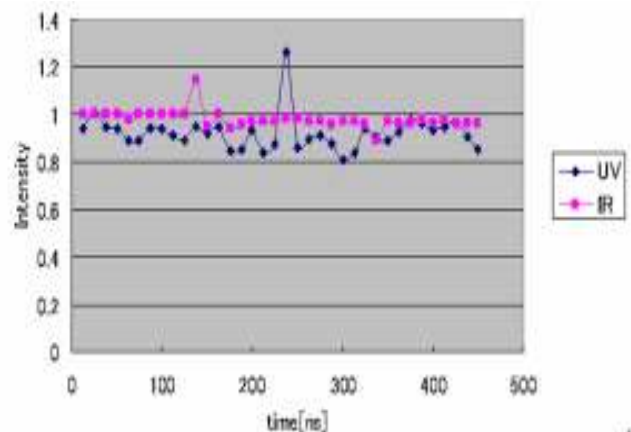


図 5 時間に対する 2 波長の光ごとの強度比

このグラフから、322nm の波長の光では

吸収があったことが確認できた。745nmの波長の光では吸収がほんのわずかしか起こってないことが分かった。また、322nmの波長で吸収が生じて基に戻るまでに100ns程度の時間がかかったことが分かった。吸収が止む原因としては、励起状態にある原子が緩和して基の状態に戻るためであるからだと考えられた。

### 3 屈折率に関する実験

次に、干渉計をつくり超短パルスレーザーを照射することによる屈折率変化を求める実験を行った。以下の図6に干渉計の実験装置を示した。

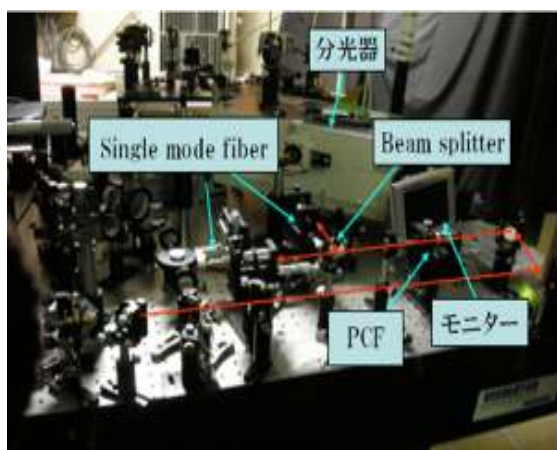


図6 干渉計の実験装置

チタンサファイア (745nm) の光をビームスプリッターで分け2本のシングルモードファイバーに入れた。そして2本のファイバーから出てくる光を分光器を通して干渉させた。つぎに、チタンサファイアの光をPCF(フォトニッククリスタルファイバー)に入れて白色光を出し干渉させ、広い波長範囲での干渉縞の変化を見ようとした。しかし、チタンサファイアの光強度が強すぎるためPCFの端面が破

壊されるなどの障害があったので、白色光ではなく745nmの特定の波長で調べてから広帯域での屈折率変化を調べるといったようにした。

チタンサファイアの光を干渉させKrFレーザーを片方のファイバーに照射して干渉縞の変化を観測する際の実験系を加え図7に示した。

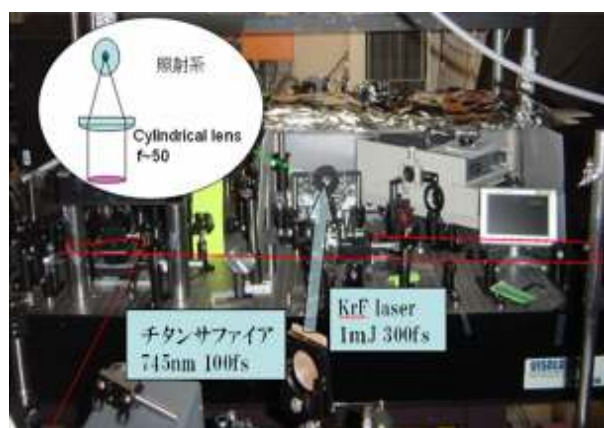


図7 照射系を加えた実験装置

干渉縞を作り、片方のファイバーを超短パルスレーザーで照射した際の干渉縞の変化を図8、9に示した。



図8 超短パルスレーザー照射前の干渉縞

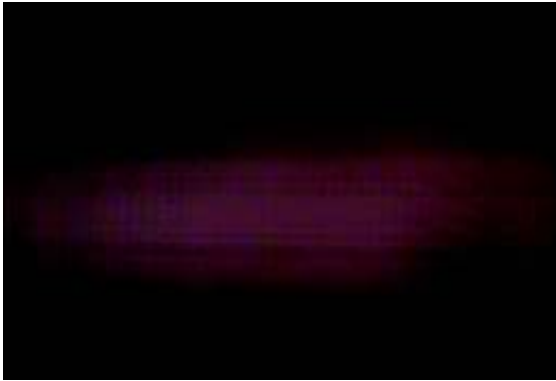


図9 超短パルスレーザー照射後の干渉縞

超短パルスレーザーを照射する前と、照射した後では干渉縞に変化が観測出来た。干渉縞の明るさの強度が減少し、干渉縞にズレが生じた。このことは、超短パルスレーザーを照射した方のファイバーに屈折率変化が生じ、2本のファイバーに光路差が生じたことを示している。しかし、これは目で観測することは出来たが干渉縞が動的であったため数値的など干渉縞の詳しいことを調べることは出来なかった。この原因は空気の揺らぎでファイバーに影響を及ぼしていると考えられる。

#### 4 結論

吸収に関する実験では、赤外に比べ紫外の波長帯に吸収があった。アメリカやフランスでは吸収に関する実験が行われており 400nm の波長域に吸収のピークがあると発表されている。したがって、今回の実験で出た結果は 400nm で吸収のピークがあるという結果に貢献できるデータであることが分かった。

屈折率に関する実験では、745nm という特定の範囲ではあるが、超短パルスレーザーを照射した部分の屈折率に変化が生

じていることが分かった。残念なことに数値化することが出来なかったが、目で確認できたことでも大きな前進である。

#### 5 今後の課題

吸収に関する実験はアメリカなどで研究されているので、屈折率に関する実験データが必要である。したがって、745nm の波長での屈折率変化を正確に求めて、PCF を用いて広帯域での屈折率変化を求めなければならない。そのためにも、うまく進んでいない現状の原因の見つけ打破することを早急にしなければならない。

#### 6 参考文献

1. O. L. Landen , S. H. Glenzer , G. Gregori  
「Final Report LDRD 02-ERD-013 Dense Plasma Characterization by X-ray Thomson Scattering」
2. Richard. W. Lee , Stephen J. Moor , and Hyun-kyung Chung  
「Finite temperature dense matter studies on next-generation light sources」  
J. Opt. Soc. Am. B/Vol20, No 4/April 2003
3. Kozaburo Tamura and Masanori Inui  
「Structural changes and the metal-non-metal transition in supercritical fluids」  
J. Phys. : Condens. Matter 13 (2001)