

密度空間分布の時間分解観測によるフェムト秒レーザー誘起 ガラス構造変化過程

(京大院理) ○坂倉政明・寺嶋正秀

1. 研究背景と目的

ガラス内部にフェムト秒レーザーを集光照射することにより、ガラス内部の微小領域に構造変化を引き起こす現象は、透明固体媒質内部に三次元構造を書き込む技術として近年多くの注目を集めている。構造変化は、レーザー照射によって発熱を伴って照射部分が熱膨張すると予想されるにもかかわらず、レーザー強度がある程度弱い場合は、照射部分が高密度化することが知られている。これまでは、構造変化部分の定常状態のラマンや発光スペクトルなどにより、固体で閉じ込められた領域が高温高压状態になることが構造変化のメカニズムの本質であると言われているが、高温高压状態がどのようにして高密度状態を引き起こしているのかを時間分解で観測している研究例は全くない。精密に加工する技術を確立するためにも、メカニズムの理解は重要な課題であり、その解明が望まれている。

本研究では、レーザー照射部分の屈折率変化を高速で検出することが可能な過渡レンズ法を構築し、フェムト秒レーザーによって誘起されるシリカガラスの屈折率上昇の初期過程の観測を試みた。また、過渡レンズ信号の画像測定と位相回復法によって得られた屈折率分布の時間変化を詳細に検討した。

2. 方法

過渡レンズ法は光熱変換分光法の一つであり、光励起した領域を透過した Probe 光の広がり(レンズ効果)から、屈折率分布の時間変化を検出する手法である。(図 1) 屈折率変化を解析することにより、屈折率変化の要因となる温度上昇、密度変化を知ることができる。本実験では、励起光として、パルス幅が約 0.5ps の 775nm の laser pulse を用い 20 倍の対物レンズを用いてシリカガラス内部に集光照射して構造変化を引き起こした。プローブ光は、励起光を BBO 結晶に通して得た 388nm の laser pulse を光学的時間遅延に通して用いた。過渡レンズ信号の検出法として、Probe 光をピンホールに通すことによって、レンズ効果による空間的広がりを、中心部分の光強度の変化として光電子増倍管で検出する方法と、レンズ効果による Probe 光の光強度分布の変形を、CCD カメラを用いて検出する方法を用いた。

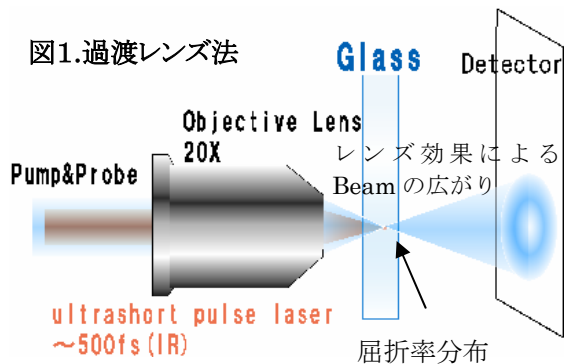
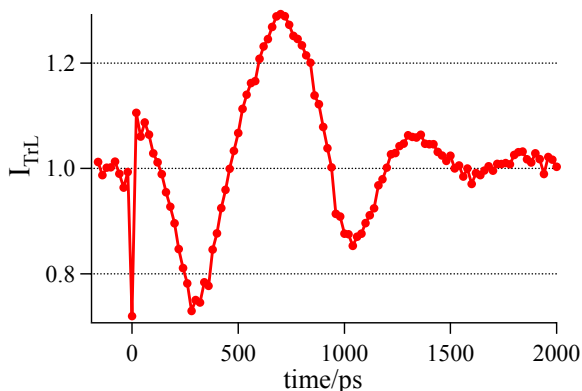


図2. 過渡レンズ信号の時間変化



3.結果と考察

〈3.1〉 図2にピンホールによりプローブ光の中心部分の光強度を検出した過渡レンズ信号を示す。励起光はSelf focusingによってプローブ光よりも焦点を結ぶ距離が短くなるため、プローブ光は過渡レンズとなった構造変化部分を透過してから、焦点を結ぶことになる。そのような場合、形成される屈折率分布が凸レンズ状であれば観測面においてプローブ光は広がり、凹レンズ状ならば集光されることになる。従って、図2に示す過渡レンズ信号では、強度が強ければ凹レンズが、弱ければ凸レンズが形成されていることを示している。この過渡レンズ信号の形からレーザー照射部分が収縮－膨張－収縮と振動していると考えられる。

〈3.2〉 励起光の集光部分では非線形的励起により光強度の空間分布であるGaussian形とは異なった屈折率分布が形成されているであろう。そこで、過渡レンズ透過後のプローブ光のビーム形を観測することで、屈折率分布を求めることを試みた。図3は励起光がない時のプローブ光と励起後600psの励起光照射部分を透過したプローブ光の、光軸を中心とした光強度の動径分布である。励起光がない場合はほぼGaussian形をしているが、過渡レンズを透過したプローブ光はレンズ効果によって中心部分の強度が強くなり、周囲が弱くなっていることが分かる。信号の解析はFresnelの回折積分を用い、屈折率分布 $TrL(r)$ の計算を位相回復法により行った。励起後のいくつかの時刻での屈折率分布を図4に示す。300psで中央の屈折率が最大になり、600psで中央が凹レンズ状であることが分かるが、これは図2で示す過渡レンズ信号からの解釈に一致する。しかし、いくつかの点で図2の信号から推定したレンズ形成とこの方法で求めた屈折率分布(図4)との間で違いも見られた。

現在は、様々な励起光強度での屈折率分布を測定しており、討論会ではこうした測定法による違いやダイナミクスに関連した議論を行う予定である。

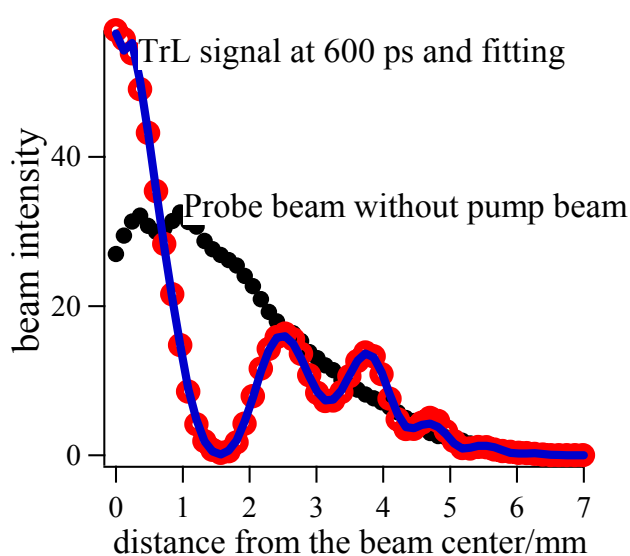


図3. 過渡レンズ効果によるプローブ光の強度分布の変化

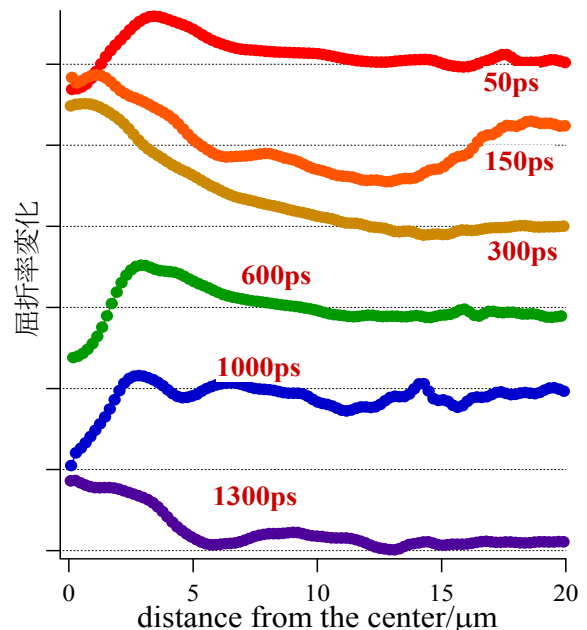


図4. 位相回復法によって得られた励起後50～1300psの光照射部分の屈折率変化の分布。破線はそれぞれ屈折率変化が0を示す。