

散乱体透過後の超短パルス光の伝播特性と波面制御

¹神戸大分子フォト, ²神戸大院理

○太田 薫^{1,2}

Characterization of the Propagation and Wavefront Shaping of Ultrashort Optical Pulses through a Scattering Media

○Kaoru Ohta^{1,2}

¹ *Molecular Photoscience Research Center, Kobe University, Japan*

² *Department of Chemistry, Graduate School of Science, Kobe University, Japan*

【Abstract】 When a coherent light propagates in a scattering media, the scattered light forms a destructive interference pattern, which is known as “speckle”. It was considered that this light scattering was a fundamental obstacle for molecular spectroscopy and optical microscopy. However, it was shown that one can focus the light at a desired target even in a scattering media by spatially shaping the wavefront of the incident light. This is based on the fact that the scattering process is linear and deterministic. In this study, we are developing the spatio-temporal pulse-shaping technique to control the amplitude and phase of ultrashort pulses both in space and time. For ultrashort pulses, it is important to control not only the wavefront of the pulse but also the spectral phase distortions caused by the transmission of the dispersive media. We used the pulse shaper to manipulate the optical properties of ultrashort pulses in time domain.

【序】 光学的に不透明で不均一な媒質をレーザーなどのコヒーレント光が透過する際には、光の散乱や拡散が起こり、ある特定の場所に光を効率よく集めることが非常に困難となる。このため、光散乱は分光法や微小領域のイメージングにおいて大きな障害となると考えられてきた。近年、空間領域での波形制御法を巧みに利用することにより、光散乱が起こる系においても特定の場所に光を集光させることが可能であることが示された [1]。図 1 に波形制御法の原理を示す。観測面のある 1 点に到達する光にはあらゆる方向から入射した拡散光が寄与する。波形制御法により、伝播する光の各波面の位相を制御し、観測点で位相を一致させることができれば、お互いが干渉することにより強め合い、ある特定の場所の光強度が大幅に増大する。空間領域での波形制御法を超短パルス光に適用する場合、散乱過程が波長に依存するため、必ずしも自明ではなく、時間特性を含めた制御が必要である。本研究では、空間領域と時間領域での波形制御法を組み合わせることにより、散乱体透過後の超短パルス光を空間上の任意の一点に集光し、時間方向に広がった超短パルス光の特性を操作、最適化することを目的としている。

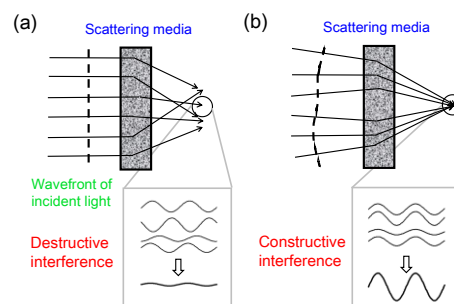


Fig. 1 Principle of wavefront shaping. (a) The scattered light forms a destructive interference pattern. The interference takes place randomly. (b) The wavefront of the incident light is shaped so that the light can be focused at a desired target. The shaped light interferes constructively to maximize the intensity at the target.

【実験】光源には非同軸光パラメトリック増幅器で発生させた可視領域の広帯域パルス光を用いた。このパルス光を時間領域でのパルスシェーパーにより、スペクトルの位相を制御し、その特性は多光子パルス内干渉位相スキャン (Multiphoton Intrapulse Interference Phase Scan) 法により評価した。空間領域での光散乱の波形制御法や伝播特性の計測には、透過行列 (Transmission Matrix) をベースとした手法を用いた [2]。この手法では、まず空間領域の波形制御に用いる液晶空間光位相変調器の一部を 1024 (縦方向 32、横方向 32) 個の領域に分け、各要素の位相が 0 と π で構成されるアダマール行列を書き込む。この変調器に入射されたパルス光は散乱体を透過後、レンズによりピンホール ($25\ \mu\text{m}$ 径) に集光する。ピンホールを透過したパルス光は分光器に導入し、CCD 検出器によりそのスペクトルを測定した。アダマール行列の表示に使用した残りの表示部分を参照光用として使い、アダマール行列部分に対応した変調光と参照光の干渉を測定することで透過行列の位相を求めた。散乱体としては拡散角度 0.5 度のビーム整形ディフューザーを用いた。

【結果・考察】透過行列の位相共役を計算し、その値を液晶空間光位相変調器に書き込むことで、超短パルス光の強度を最適化することができる。スペクトル分解した透過行列の行は空間光位相変調器の 1024 個の領域に対応し、列は各波長に対応した位相成分を表す。実験結果から、透過行列の位相共役の計算において、どの波長領域の成分を取り入れるかで、最適化した超短パルス光のスペクトル分布が異なることがわかった。一例として $590\ \text{nm}$ から $610\ \text{nm}$ の波長領域の部分行列を取り出し、超短パルス光の強度を最適化した結果を図 2 に示す。図 2 より、 $600\ \text{nm}$ でのスペクトル強度は最適化前に比べて 10 倍程度に増大しているが、 $650\ \text{nm}$ よりも長波長側では強度増大の割合が小さいことがわかった。図 3 は最適化前と最適化後のビーム形状を CCD カメラで計測した結果を示している。最適化前では散乱によるスペckルパターンのみが観測されているが、最適化後には選択した空間領域の光強度が増大していることがわかる。散乱体透過後の超短パルス光のスペクトル特性は周波数領域でのスペクトル干渉法で評価した。講演では、時間領域でのパルスシェーパーによる超短パルス光の時間特性の制御、最適化についても合わせて議論したい。

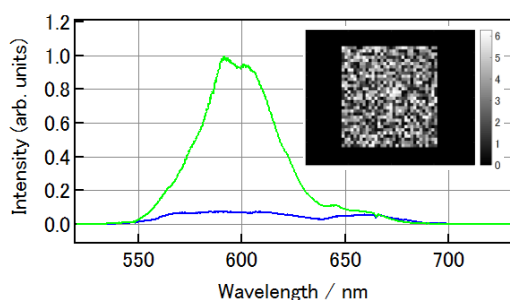


Fig. 2 Spectra of ultrashort pulses before (blue) and after (green) optimization of the wavefront of the input pulses. Inset shows the phase pattern of the spatial light modulator used to generate the optimized spectra.

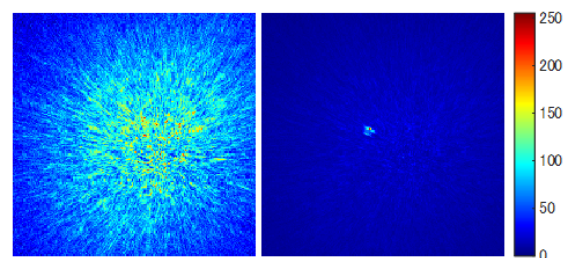


Fig. 3 Transmission images of ultrashort pulses before (left) and after (right) optimization of the wavefront of the input pulses.

【参考文献】

- [1] I. M. Vellekoop and A. P. Mosk *Opt. Lett.* **32**, 2309 (2007).
- [2] S. M. Popoff *et al. Phys. Rev. Lett.* **104**, 100601 (2010).