

数サイクルレーザー用自己相関計の開発

岡野泰彬

自然科学研究機構 分子科学研究所 分子制御レーザー開発研究センター

1. はじめに

分子科学の分野では、物質の診断・制御・機能発現をはじめとして多岐にわたり先端レーザーを用いた研究が行われている。先端レーザーの中でも短パルス性・高強度性を持つものに超短パルスレーザーがあるが、近年の技術発展によりパルス幅が 10 fs (10×10^{-15} s) を切る最先端のレーザーを市販品として利用することが可能となってきた。このようなレーザー光は、パルス幅内に光の振動電場が数回しかないことから数サイクルレーザーとも呼ばれ、短パルス性だけでなく光の振動電場の影響があらわになるなど極限光としても注目されている。最近、当研究センターの関連研究室においてもこのような超短パルスレーザーが導入されつつあり、数サイクルレーザー光に対応した計測器整備の必要性が高まってきた。本報告では、10 fs を切る超短パルス光に対し機器開発を通じたノウハウの蓄積を目的として、フリンジ分解自己相関法 (Fringe-Resolved Autocorrelation: FRAC) によるパルス評価装置の開発を行ったのでこれについて紹介したい。

2. フリンジ分解自己相関法および超短パルス光の特徴について

一般に、超短パルスレーザーのパルス評価には実時間計測ではなく相関計測が用いられることが多い。これは、フェムト秒のパルス波形を直接計測できる機器が現状では存在せず、超高速の光検出器でも応答速度は高々数 10 ps (10×10^{-12} s)、最速のストリークカメラでも時間分解能は数 100 fs とフェムト秒の時間変動には追従できないためである。本報告で用いた自己相関法では、ビームスプリッターなどによりパルスを二つに分岐し、光路差をつけることでこの二つのパルスの相対時間をずらしながら非線形媒質上で重ね合わせて二次の相関信号を計測する。このとき、どのくらいの時間パルス同士の重なりが残っているかを測定することによりパルス幅やパルス波形を知ることができる。特に FRAC ではパルス間の干渉を利用することでパルス波形だけでなく位相情報を反映した信号を得ることができるので、数サイクルレーザーのような超短パルス光診断に用いられている。詳細な原理は参考文献^[1,2]に譲るが、一般的に図 1 ように大きく分けてマイケルソン干渉計と非線形光学結晶 (BBO: β -ホウ酸バリウム結晶)、検出器 (PMT: 光電子増倍管) の 3 部から構成される。マイケルソン干渉計では一方の腕にシェイカー (スピーカー) を配置し、腕の長さを連続的に変化させることで二つのパルスの重なるタイミングを制御する。図 2 に示すように製作した FRAC では相関信号をオシロスコープによりサンプリング計測した。

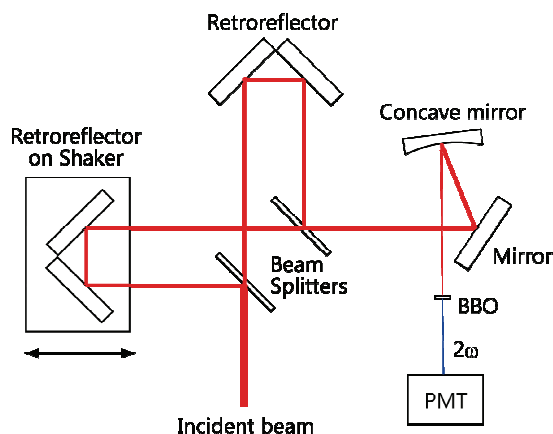


図 1: フリンジ分解自己相関系の概念図

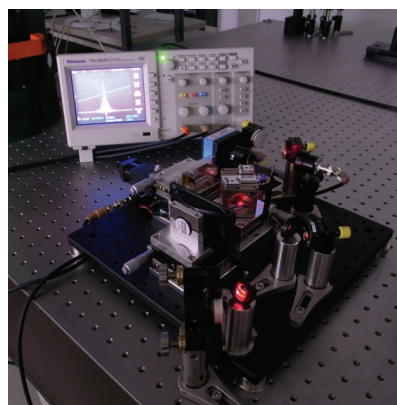


図 2: 製作したフリンジ分解自己相関計

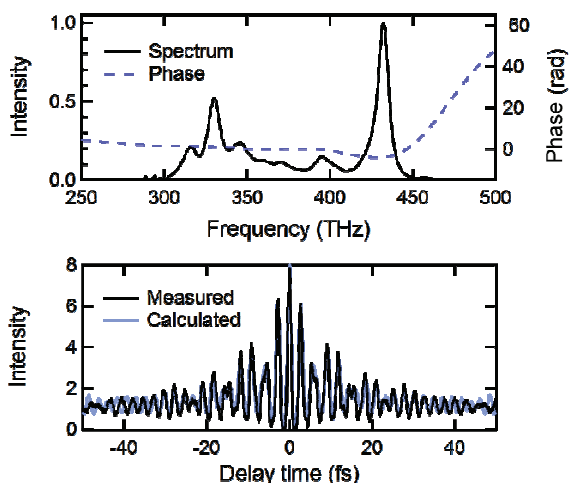


図3：(上図) パルス光のスペクトルおよび下図より見積もったスペクトル位相。(下図) 計測した FRAC 信号および分散を考慮した計算値。

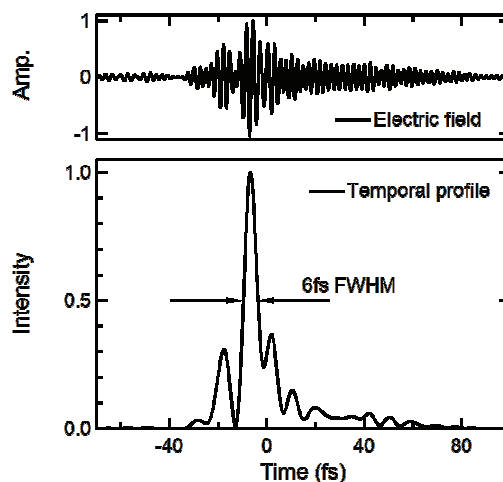


図4：見積もった電場波形（上）とパルス波形（下）

一方、計測対象である超短パルス光は様々な色の光の重ね合わせにより実現されており、パルス幅の逆数に相当する広いスペクトル帯域をもっている。このため、FRACに使用する光学素子について対応波長はもちろんのこと素子による分散特性を考慮して設計することが求められる。分散はプリズムのように波長による屈折率の違いによって起こるが、これは光の進む速度が異なることを意味しており波長に依存してパルス幅の広がり（チャープ）が生じる。製作した FRAC では、このような分散の影響を少なくするためにビームスプリッターなどの透過素子は薄いものを、可能な限り低分散の反射素子を用いるなど、十分に吟味して光学素子を選択した。また、現在では高度に分散量を設計したチャープミラーなどの分散補償光学素子が市販されているため、このような素子を合わせて装置を構築することも可能となっている。

3. 数サイクルレーザー光の計測例

製作した FRAC を用いて取得したデータを図3下段に示す。横軸はシェイカーの移動量に対応した相対遅延時間である。計測したレーザー光は市販の数サイクルレーザーから出射した光であり、そのスペクトルを図3上段に示した。横軸は周波数表記であるが、波長 600 – 1000 nm にわたって広帯域なスペクトルをもっている。このスペクトルを用いて FRAC 信号を解析すると波長成分毎の位相のずれを見積もることができる（図3上段破線）。これらの情報からパルスの電場波形とパルス波形を見積もったものが図4である。パルス幅は、慣用的に用いられている全幅半値（FWHM：Full-width at Half-maximum）として評価すると 6 fs となる。実際には中央の主成分の他にいくつかの構造が連なっているが、これらは位相ずれとスペクトル波形に起因しており、より詳細な分散補償を行うことでパルス形状の改善が期待される。

4. まとめ

本報告では数サイクルレーザー用に開発したフリンジ分解自己相関計について紹介した。発表では、現在行っている計測機器の小型モジュール化や、紙面では記載できなかった具体的な技術について紹介したい。

謝辞

本報告で紹介した自己相関計は分子科学研究所大森研究室向けに開発したものであり、大森賢治教授の支援の下に製作および装置の評価を進めた。ここに感謝の意を表す。また、本報告の一部は分子科学研究所所長奨励研究費により行ったものある。

参考文献

- [1] J. M. Diels et al., *Applied Optics* **23**, 1270 (1985).
- [2] F. Träger (Ed.), *Springer Handbook of Lasers and Optics*, (Springer, 2007).