

超広帯域コヒーレント過渡現象の測定と可視化

電子工学科 西岡研究室 今望武

1.はじめに

光パルスは自身もつ周波数成分の位相整合度で波形が決まる。超高速な情報を媒質から引き出すには位相情報を調べるのが重要となり、そのためには広帯域な周波数を持つ光で励起し、各周波数成分の位相を正確に調べるのが重要となる。本研究で目指している高速時間は1 fs(10^{-15} s)領域である。1 fsを得るためには広帯域な周波数が必要であり、その帯域は紫外から赤外までの可視域全体に渡る。本研究では超広帯域レーザーを用いて、各周波数成分の位相応答を調べるために分解能の高い相関計測を行い、fs領域の超高速時間情報を可視化することを目的とした。

2.周波数分解位相測定法

相関計測では、短い時間分解能を得るために、ハロゲンランプやチャープパルスなどの広帯域光源が利用されている。しかし、これらの光源ではフーリエ変換からなる高時間分解能は得られるものの、測定試料が常に光りに曝されるために動的な情報（吸収、利得、エネルギー緩和による動的な位相変化、時間情報など）は計測できない。

また、フェムト秒領域の時間分解能を実現しようとした場合、計測に必要な帯域は可視域全体に及び、干渉・相関計測から得られるフリンジは数フリンジとなる。位相分解能はフリンジ数で決まるので、この測定法では分解能が十分に得られない。

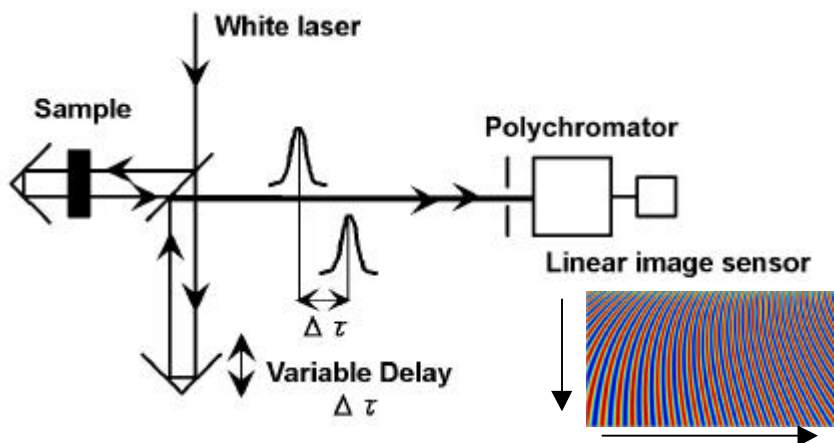


Fig.1 周波数分解位相測定法：ポリクロメータで周波数分解測定を行う。

そこで、本研究では周波数ごとに干渉を測定する方法を採用した。超高速情報をスペクトル分解すると、分割されたスペクトル成分はフーリエの関係からも、時間的に長い振動を持つことがわかる。これより、干渉計測も周波数ごとに分解して検出することにより長い時間でフリンジが得られ、周波数成分間の位相関係を正確に求めることができる。

この方法では周波数を 1024 チャンネルに分割しているため周波数分解能は 1024 倍、時間は $1/D$ より 1024 倍、双方考慮して 10^6 程度の測定の分解能が向上されている。

3. 超高速情報の可視化

測定系にはどれほどの時間分解能があるのかを知るために、超短パルスレーザーの自己相関を測定、可視化した。実験図を Fig.1 に示す。可視化の際に行ったことは、データの S/N を向上させるために時間方向に規格化をしたこと、df によるエネルギー補正（各周波数成分間の df が異なるため）である。可視化したものを Fig.2 に示す。

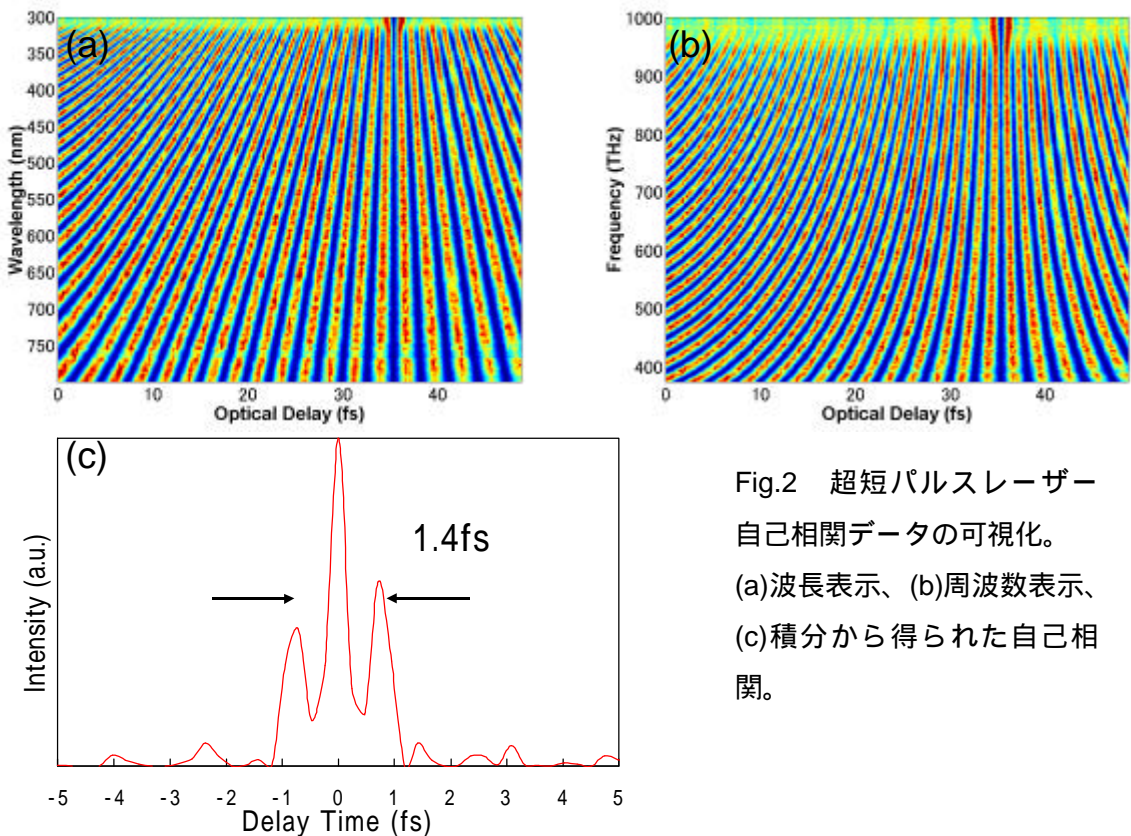


Fig.2 超短パルスレーザー自己相関データの可視化。
(a)波長表示、(b)周波数表示、
(c)積分から得られた自己相関。

Fig.2 の(a)では縦軸に波長をとったことにより、各波長ごとの位相関係が一目瞭然となった。また、波長-周波数変換をすることにより(Fig.2(b))フーリエ積分が可能となり、求められた自己相関(Fig.2(c))の FWHM は 1.4fs であった。

次にガラスの分散を測定した。群速度はエネルギーの進行速度、つまり wavepacket の速度となる。つまり $dk/d\omega = \text{const.}$ をトレースすることによって、群速度分散が可視化される。その様子を Fig.3 に示す。

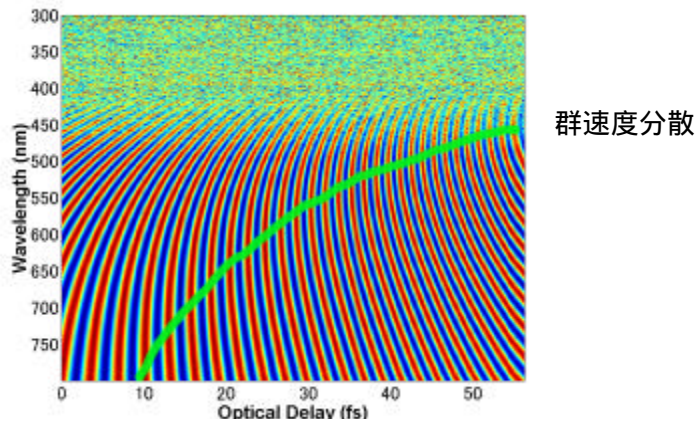


Fig.3 群速度分散の直読

次に Rh6G で測定を行った。同測定では励起状態と非励起状態を作り、比較を行った。可視化した結果を Fig.4 に示す。この図から読みとれることは、励起・非励起共に 530nm

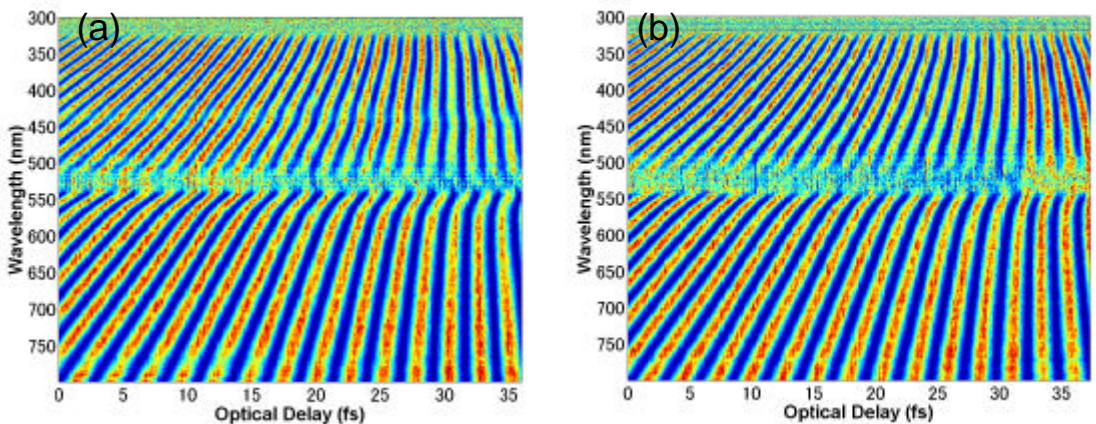


Fig.4 (a)励起状態 Rh6G、(b)非励起状態 Rh6G の位相時間応答

付近に吸収が見られること、励起状態(a)では 550nm 付近に利得による位相遅れが 430nm 付近では ESA(Exited State Absorption:上準位の吸収)が見られることである。また同図より、本来は 30~33fs に揃うはずの位相が、吸収帯では 4~6fs へと位相が進んでいる異常分散も確認できる。

4.まとめ

超広帯域コヒーレント過渡現象の測定と可視化についてまとめる。

- 1.測定系(波長 300-800nm)の時間分解能は 1.4fs
- 2.分散媒質の群速度分散の直読が可能
- 3.位相変化、エネルギー緩和の様子の直感的理解

今後は位相応答が複雑である 2 パルスエコー(エネルギー緩和)や 3 パルスエコー(エネルギー緩和と位相緩和)の測定に用いる。