

周波数シェアリング法による サブ 10 fs パルスの瞬時電界波形観測

電子工学科 西岡研究室 上久保貴史

1. 序論

フェムト秒パルス光はフーリエ変換の関係から、広帯域なスペクトルを持ち、ガラス等の群遅延分散で、容易にパルス幅が広がる。パルスの正確な波形観測にはフーリエ位相を測定する必要がある。周波数シェアリング法は仮定や近似を一切用いずに、周波数空間でパルスを干渉させ、フーリエ位相を直接測定する方法である。今研究では周波数シェアリング測定系の設計を行い、光学素子を伝搬した後のフーリエ位相を評価し、パルスの瞬時電界波形を観測した。

2. 周波数シェアリング法の原理と測定系

パルス光の異なる周波数間を干渉をさせることにより、フリンジからフーリエ位相の情報を直接得ることが出来る。ここで、スペクトルフリンジは

$$S(\omega) = |E(\omega)|^2 + |E(\omega + \delta\omega)|^2 + 2|E(\omega)E(\omega + \delta\omega)| \times \cos[\phi_o(\omega + \delta\omega) - \phi_o(\omega)]. \quad (1)$$

$S(\omega)$: スペクトル強度 $E(\omega)$: 電界強度、 $\delta\omega$: (角)周波数シフト量 $\phi_o(\omega)$: フーリエ位相

(1)式で表せる。測定するパルスを2つに分け、一方に周波数シフト $\delta\omega$ を与え、それぞれを干渉させることでフーリエ位相の差をスペクトルの干渉縞として表すのである。

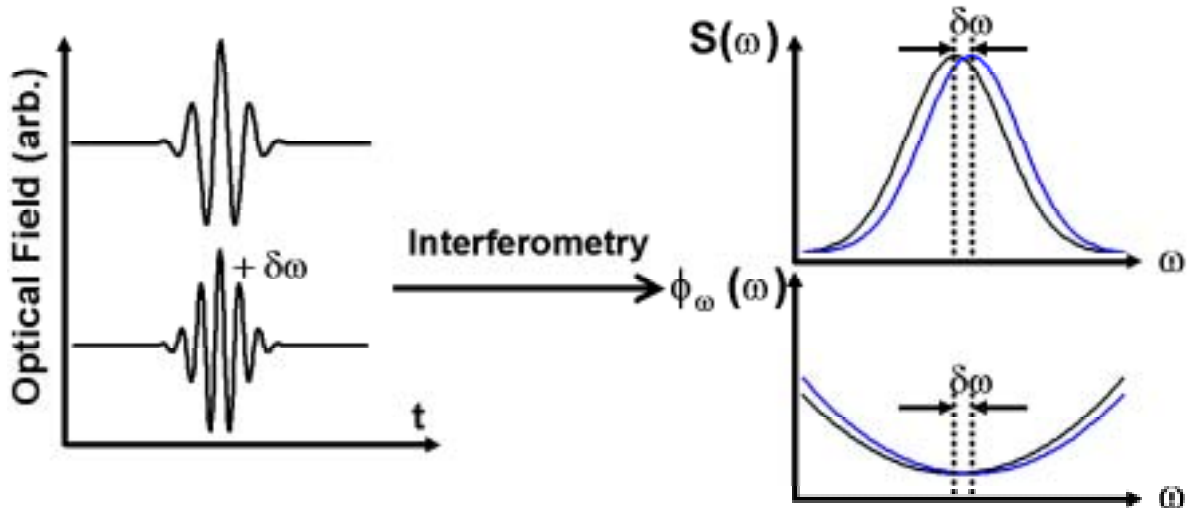


図 1 周波数シェアリング法の概念図

図 1 に示したのが概念図である。今研究では被測定パルスのみでフーリエ位相を測定できる SPIDER[1]を用いた。大きくチャープさせたパルス光に、時間差 τ を与えたレプリカパルスを混合させ、和周波を出力する。そのとき、チャープ光の混合周波数に差があるので、周波数シフトが与えられる。

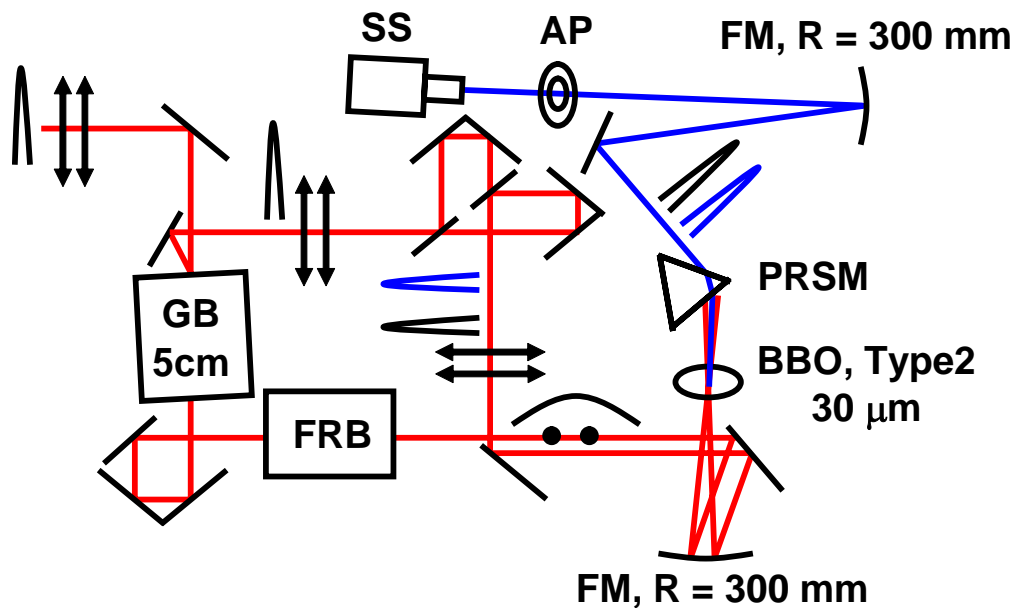


図2 周波数シェアリング測定系の全体図。GB : SF10 ガラスブロック、FRB : フレネルロムブロック、PRSM : 石英プリズム、BBO : b - BaB2O4、FM : 集光ミラー、AP : アパーチャー、SS : 分光器

図2が測定系の全体図である。高分散ガラスSF10で大きく周波数チャープさせたパルスを得る。被測定パルスはコーナーキューブで時間差 τ を与え、Type2のBBOでチャープ光との和周波を出力する。和周波と基本波の分光にプリズムを用い、集光ミラーで分光器に信号を絞って測定する。

SPIDERによる測定は、チャープパルスの混合周波数が連続光に近似できるほど充分広がる必要がある。チャープパルス幅を測定するため瞬時周波数の時間変化を測定した。レプリカパルスの片方を遮り、チャープパルスに時間遅延をかけて和周波光を出力し、スペクトル強度を測定する。

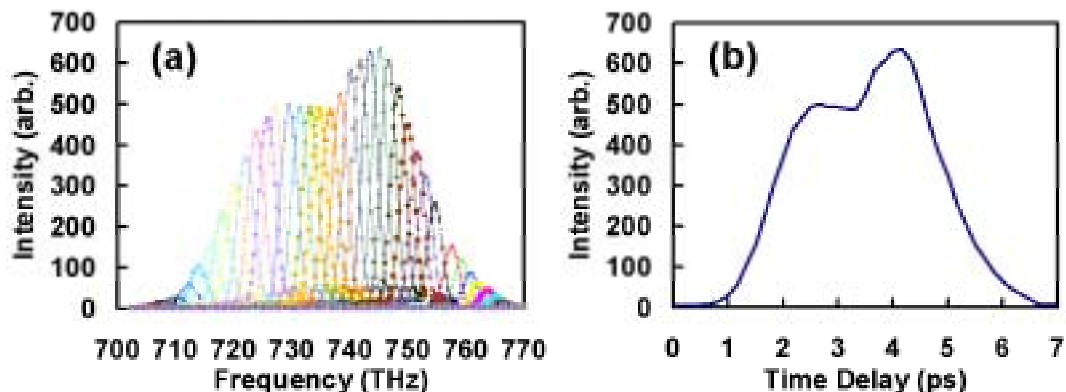


図3 (a)和周波光のスペクトル (b)時間遅延対光強度

図3は1 mmのBBOで測定した和周波光で、(a)は時間遅延を変化させたときのスペク

トル変化を示し、遅延に対して周波数が高くなったので正の分散である。(b)は時間遅延に対するピーク強度変化を示し、測定の結果、全幅で 6.5 ps までチャープパルスは広がっていた。フーリエ限界で 10 fs のパルス幅に対し、6.5 ps は連続光近似が充分成り立つ。

3. フーリエ位相の評価とパルス幅の変化

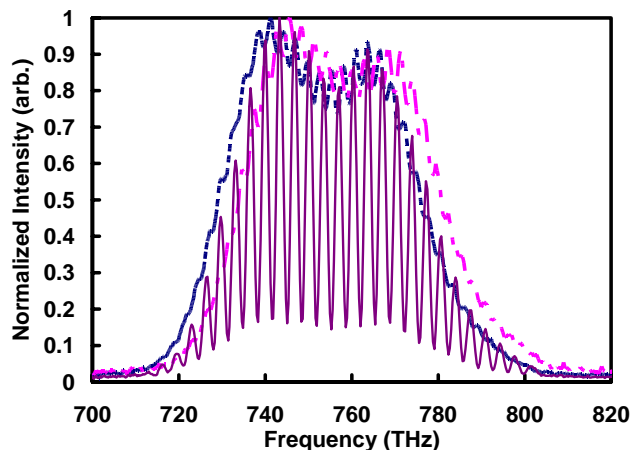


図 4 和周波光のスペクトル

(点線：基本和周波光、一転鎖線：周波数シフト和周波光、実線：干渉フリンジ)

図 4 に測定データを示す。周波数シフト量は 4.6 THz、時間遅延 τ は 300 fs である。干渉データをフーリエ変換・逆変換し、フーリエ位相 $\phi_{\omega}(\omega)$ を評価する。

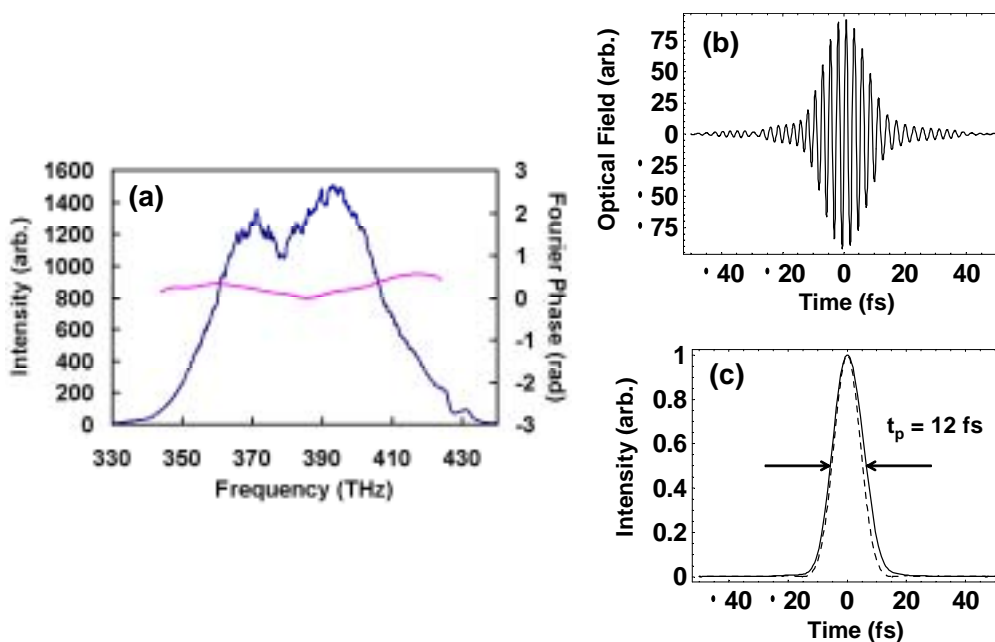


図 5 基本パルスのフーリエ位相と瞬時波形

(a)スペクトルとフーリエ位相 (b)瞬時電界波形 (c)光強度とパルス幅 (点線：TL パルス)

図 5 の(a)が基本スペクトルと評価したフーリエ位相、(b)が瞬時電界波形、(c)が光強度波

形とパルス幅である。フーリエ限界のパルス幅が 10 fs で、分散により 2 fs 広がっている。次に、このフーリエ位相を基準とした 2.3 mm の石英板を伝搬後のフーリエ位相を示す。

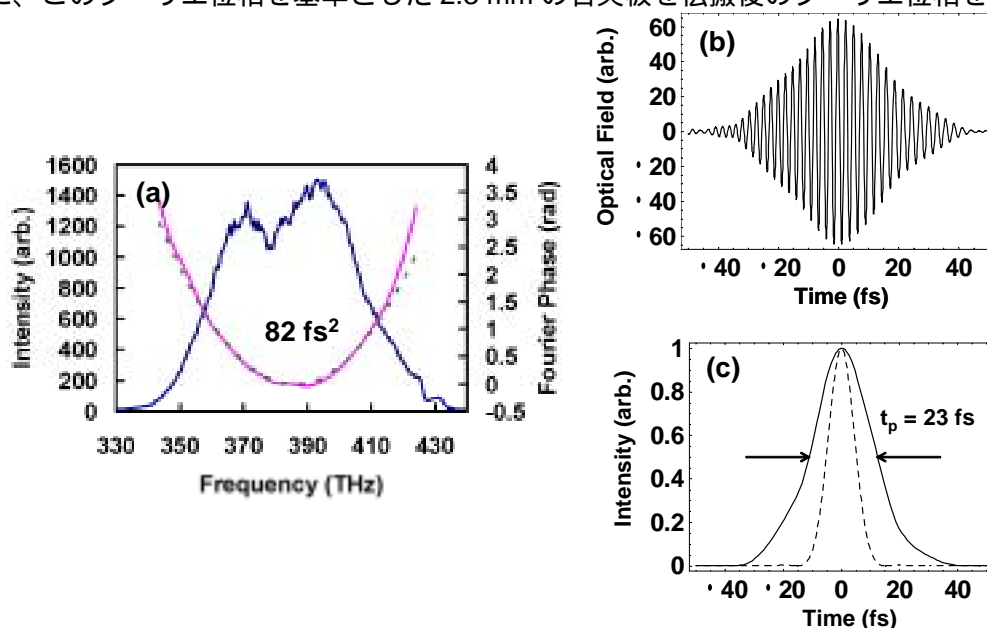


図6 2.3 mm 伝搬後のフーリエ位相と瞬時波形

(a)スペクトルとフーリエ位相 (点線：文献値)

(b)瞬時電界波形 (c)光強度とパルス幅 (点線：TL パルス)

図6 (a)のフーリエ位相は、文献値[2] = 80 fs²、測定値 = 82 fs²となり、相対誤差 3%の良好一致が得られた。(b)瞬時電界波形、(c)光強度を示す。パルス幅が 23 fs となり、フーリエ限界から 13 fs 広がっている。

4. 結論

周波数シェアリング測定系を設計し、10 fs パルスの正確な瞬時電界波形を観測することができた。石英板の群遅延分散(80 fs²)でフーリエ位相を相対誤差 3%の精度で測定できた。今後の展望として、位相変化に適した負分散素子でパルス整形を行いたい。さらに、自己位相変調、位相共役波等の非線形なフーリエ位相変化も評価できるはずで、微少な位相変化や弱い光強度のパルスを測定するため、高分散ガラスの表面反射を用いず直接測定系に入射する等の最適化を行いたい。

5. 参考文献

1. C. Iaconis, I. A. Walmsley : Opt. Lett. **24**, 1314(1999).
2. Jean-Claude Diels, Wolfgang Rudolph : ULTRASHORT LASER PULSE PHENOMENA (1996).