

800nm 帯 Super-continuum 光パルス波形整形用光学系の設計と構築

Design and Construction of Pulse Shaper for 800 nm Super-continuum Generated in an Ar gas filled Hollow Core Fiber

吉清健太(M1), 近藤昇平(M2), 大石裕(助教)

K. Yoshikiyo, S. Kondo, and Y. Oishi

Abstract

We designed and construct of the pulse shaper for super-continuum pulses generated in an Ar gas-filled hollow core fiber. Since this pulse shaper employs a prism pair for angular dispersion, this pulse shaper resulted GDD and TOD of the prism pair must be compensated. We demonstrated the compensation of those dispersion by another prism pair and a SLM in the pulse shaper.

1. はじめに

フェムト秒パルスレーザーは超高速性、広帯域性、高強度などの特性によりその応用は広い[1,2]。特にフェムト秒レーザーに波形整形技術を用いた研究では、波形整形器制御が可能となり、分子制御や量子制御など非常に興味深い研究が数多く展開されている[3,4]。これらと並行して波形整形技術も様々な研究がされ、近年では位相だけでなく振幅と位相の同時波形整形や偏光波形整形が実現している[5,6]。一方、古くから技術が確立されている位相波形整形は波長帯域を広げ、Super-continuum光パルスの波形整形が行われている[7]。

Super-continuum (SC)光パルスを波形整形する場合、従来の回折格子とレンズによる4f系ではスループットの低下や色収差の問題が生じる。そこでSC光パルスの波形整形では角度分散にプリズム、コリメートに凹面鏡を用いることが多い。しかし、この時注意しなければいけないのはプリズムによる材料分散が生じてしまう点である。この材料分散は大きすぎてしまうと波形整形器として機能しないため、その場合は波形整形器とは別に分散を取り除く光学系が必要となる。

SC光パルスの波形整形は整形パルスの自由度が増すため、高次の分散補償を目的とする以外にも分子制御や量子制御などへの応用が期待できる。そこで我々も新しい分子

制御や量子制御の実現を目指し、SC光パルス波形整形用光学系の設計と構築を行った。

2. 広帯域パルス波形整形用光学系の設計

Fig.1に広帯域フェムト秒レーザーパルス波形整形用光学系のセットアップを示す。中空ファイバを伝播後の広帯域フェムト秒レーザーパルスは、前述の通り、高効率化を実現するためプリズムによって角度分散された。ただし、使用したプリズムは分散量の大きい材料を選定しなければ、角度分散によるビームの広がり角は小さく焦点距離が長くなり過ぎてしまうので本実験ではHOYA社製E-FDS01を用いた。また、入射光が広帯域であるため色収差の影響も考慮してレンズは使用せず凹面鏡($f=660$)によるコリメートを行った。なお、本波形整形器は波長帯域を650~900nmに設定しており、各波長のフーリエ面での位置はFig.2のようになる。Fig.2よりこの波長帯域ではフーリエ面におけるビームの幅が約31.9mmとなり、本実験で使用する波形整形器 JENOPTIC 社製のSLM-S640の窓幅63.7mmに十分収まることがわかる。

4f系の角度分散材料としてプリズムを用いた波形整形器は高いスループットが期待できる一方でプリズムによる分散が問題となる。特に、本実験のように角度分散の大きいプリズムを用いた場合、波形整形器として機能しない程度の分散を持ってしまう可能性がある。実際、本実験で使用したプリズム E-FDS01 の分散によりFig.3(a)に示すように2次分散が大きく生じる結果となった。この状態では波形整形器として機能するのは困難であると判断し、波形整形器の前にプリズムペア(SF10)による分散補償を行う計画を立てた。Table.1にセルマイヤーの分散式より各プリズムの分散量を見積もった結果を示す。なお、この時4f系内のプリズム E-FDS01は挿入量を14mm、プリズムペア(SF10)は距離41cm、挿入量を5mmとして見積もった。プリズムペア

アによる分散補償をした結果をFig.3(b)に示す。Fig.3(b)よりプリズムペアによる分散補償はほぼ完了した結果となった。ただし使用したプリズムはサイズが小さく、広帯域用ではない。

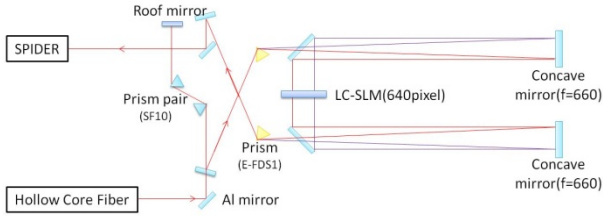


Fig.1 Schematic of a broadband pulse shaper used in this research.

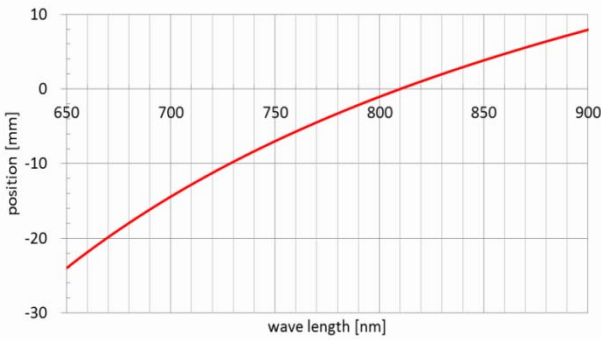


Fig.2 Calculated distribution of spectral components on the Fourier plane of the broadband pulse shaper.

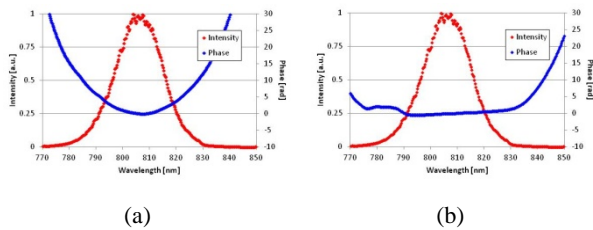


Fig.3 SPIDER measurements of the pulse: (a) before compression; and (b) after Compression by an external prism pair.

Table.1 The amount of dispersion in each stage.

	GDD [fs ²]	TOD [fs ³]	TOD [fs ⁴]
E-FDS1	7509.5	5424.4	1592.1
prism pair	-7521.9	-23372.9	-28065.9
total	-6.2	-2991.4	-1103.1

3. 波形整形器の校正

波形整形器の光学系の配置が完了後、波形整形器の印加電圧と位相変調量の校正を行った。この校正を行うセット

アップとして、Fig.1の角度分散プリズム(E-FDS1)直後に1/2波長板を、波形整形器直後に偏光子と分光器を配置した。このセットアップによって波形整形器は位相変調から強度変調の波形整形器となるため、液晶素子への印加電圧と位相変調量の関係が分光器で直接確認することが出来る。Fig.4に波形整形器の全液晶素子に同量の電圧を印加した時の800nmの位相変調量を測定した結果を示す。波形整形器として機能させる場合、位相変調量は 2π 以上あれば良いため、本実験ではFig.4の電圧値が150-550 [1/4095 V]の区間を用いて位相変調を行った。

Fig.4の印加電圧と位相変調量の関係は波長毎に異なり、特に広帯域波形整形を行う場合ではその差は顕著に表れる。このため、本来は各波長において校正値を取得する必要があるが、この校正値は任意の波長の校正値があれば計算で求めることができ、実験値と計算値に大差はないため今回は計算により各波長の校正値を算出した。任意の波長 λ [nm]、電圧値 U [1/4095 V]における位相変調量 $\phi(U, \lambda)$ は、校正値のある波長を λ_m 、その校正値を $\Gamma(U)_{\lambda_m}$ 、液晶素子の屈折率を Δn とすると以下の式で求められる。

$$\phi(U, \lambda) = \Gamma(U)_{\lambda_m} \cdot \frac{\lambda_m}{\lambda} \cdot \frac{\Delta n(\lambda)}{\Delta n(\lambda_m)} \quad (1)$$

$$\Delta n(\lambda) = \frac{\Delta n_{\infty} \cdot \lambda}{\sqrt{\lambda^2 - \lambda_0^2}} \quad (2)$$

(但し、 $\Delta n_{\infty}=0.2002$, $\lambda_0=327.44$ nm)

式(1),(2)とFig.4の結果より600-900nmでの校正値をFig.5に示す。

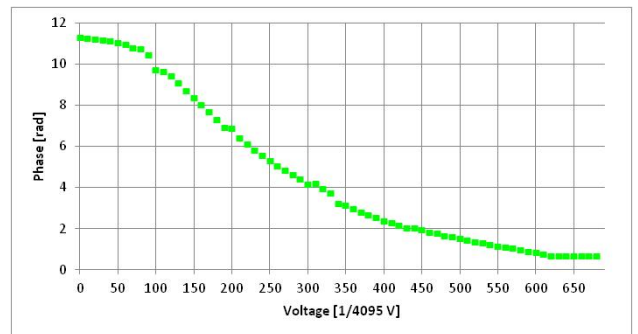


Fig.4 A calibration curve of phase for voltage measured at 800nm.

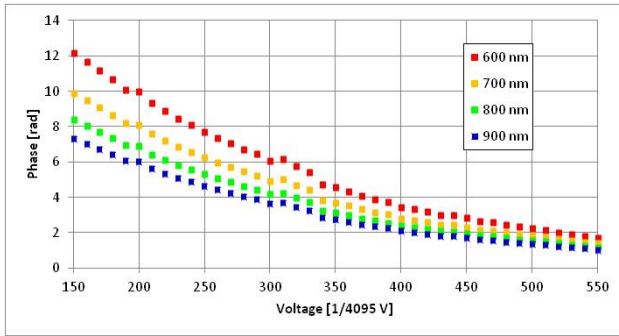


Fig.5 The calculated calibration curves of phase for applied voltage at various wavelengths.

4. 波形整形器による分散補償

第2章で述べたように、プリズムペア(SF10)により波形整形器内のプリズム E-FDS01の分散補償はほぼ完了した結果となった。しかし、Table.1で示したように3次分散はまだ完全に補償されていない。そこで、波形整形器を用いて3次分散の補償を行った。Fig.6(a)に補償前、(b)に補償後の結果を示す。なお、この実験において波形整形器には2000 fs³の3次分散を印加した。この値はTable.1の値と比べ若干少ないが、その原因は測定パルスの波長帯域が狭いため高次の分散の影響が少ないせいではないかと考えられる。

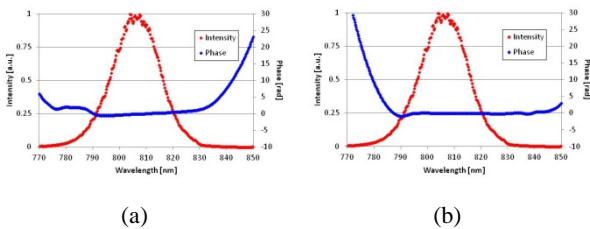


Fig.6 SPIDER measurements of the pulses : (a) before compression; and (b) after Compression by pulse shaper.

5. まとめ

本研究ではアルゴンガス充填中空ファイバにより発生するSC光パルスを波形整形するため波形整形用光学系の設計と構築を行った。本研究で構築した波形整形器は4f系での角度分散材料としてプリズムを用いたことにより、2次分散として約7500fs²、3次分散として約5400fs³の分散が生じた。これらの分散の内、2次分散をプリズムペアで、3次分散を波形整形器で補償することで分散補償を行った。今後は、実際に希ガス充填中空ファイバによる発生するSC光パルスの分散補償を試みる。

References

- [1] T. Sekiawa et al, Nature **432**,605(2004)
- [2] M. Dantus et al, Chem. Rev., **104**, 1813(2004)
- [3] H. Rabitz, et.al., Science, **292**, 709 (2001).
- [4] M. Shapiro, et.al.,Chem. Phys. Lett., **126**, 6, 541, (1986).
- [5] T. Brixner et. al.,Opt. Lett., **26**, 557 (2001)
- [6] L. Polachek, et. al., Opt. Lett., **31**, 631(2006).
- [7] T.Binhammer, et al, IEEE J. Quantum Electron., **41**, 1552(2005).