

自己位相変調を用いた 800 nm 帯 Super-continuum 光パルス発生の性能改善

Improvement in Super-continuum Generation around 800 nm by Self Phase Modulation

藤井令央 (M1), 伊佐 文宏(B4)

Leo Fujii, Fumihiko Isa

Abstract

We examine generation of a super-continuum pulses by self-phase modulation (SPM) in an Ar-gas filled hollow core fiber to improve stability. To reduce ionization of Ar-gas, we use circular polarization pulses because of its lower e-field amplitude compared with that of linear polarization. A spatial beam stabilized is also introduced.

1. はじめに

非線形効果を用いたフェムト秒パルスレーザーの広帯域化は、高次高調波やアト秒パルスの発生の際に用いられる数サイクルパルスの発生を可能にするため、幅広く研究が行われている。フェムト秒パルスレーザーの広帯域化を行う方法の一つとして中空ファイバがある[1]。この方法は自己位相変調(Self Phase Modulation:SPM)による広帯域パルスの発生だけではなく、ファイバが空間モードフィルタとして機能するためビーム品質の高いパルスが得られるメリットもある。

しかし、さらなる広帯域化を目指す場合、より高強度な光パルスを入射するかファイバに充填しているガスの圧力を高める必要があるが、ファイバの入射端付近で発生するガスのイオン化がファイバへのレーザーパルスの結合ロスやビーム品質の低下を招いてしまう。これを防ぐ方法としてガス圧勾配中空ファイバ[2]、円偏光入射[3]やイオン化しきい値の高い希ガスに変更する方法[4]が提案されてきた。

今回我々は、以前にも試みた経緯がある円偏光入射によってファイバ入射端面でのイオン化を抑える手法を利用して、広帯域レーザーパルスを高スループットかつ高い安定性で得ることを再び試みた。

2. Ar ガス封入中空ファイバによる広帯域パルス発生

Fig.1 に中空ファイバを用いた SPM による広帯域フェムト秒レーザーパルス発生の光学系のセットアップを示す。CPA からのパルスを、ビームスタビライザによって光軸を安定した状態で、焦点距離 400 mm のレンズを用いてコア径が 126 μm 、長さが 40 cm の中空ファイバに集光させた。この時、入射パルスの強度は 400 $\mu\text{J/pulse}$ 、時間幅は 50 fs、スペクトル幅は 20 nm であった。Fig.2 に FROG で測定した入射パルスの時間波形とスペクトル位相を示す。また、入射パルスの集光サイズは水平方向が 82 μm 、垂直方向が 73 μm 、 M^2 値は水平方向が 1.24、垂直方向が 1.27 であった。Fig.3 に焦点付近での入射パルスのビームサイズの変化を示す。また、Fig.4 にビームスタビライザが起動する前と後での、焦点面におけるビームの水平・垂直方向の時間変化を CCD で測定した結果を示す。Fig.4 から分かるようにビームスタビライザを起動させることでビームの集光点ドリフトが軽減された。

Fig.5 に SPM によって生じた広帯域レーザーパルスのガス圧変化に伴うスペクトルの変化を示す。ガス圧の上昇に伴ってスペクトルの広帯域化が促進されるのが確認できるが、ガス圧が 140 kPa を超

えると中空ファイバ出射後のビームの揺らぎが大きくなってしまった。

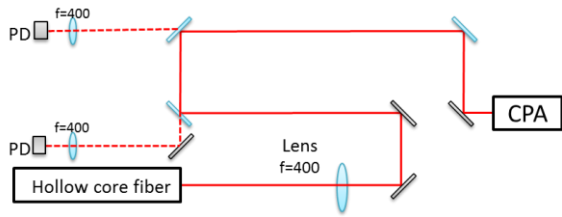


Fig. 1 Setup of spectrum broadening experiment using an Ar-gas-filled hollow core fiber

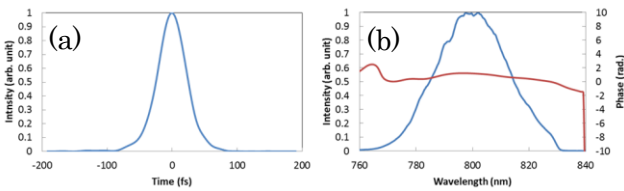


Fig.2 Characteristics of CPA pulses measured by FROG. (a)Intensity in the time domain. (b)Intensity (blue line) and phase (red line) in spectrum domain

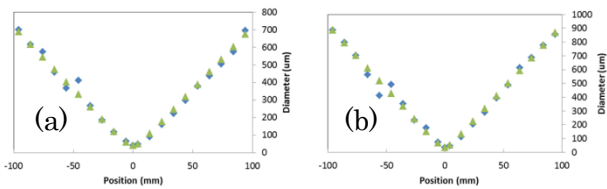


Fig.3 Diameter of focused beam in both directions. The blue dots are experimental result and the green dots are fitting value in (a)horizontal direction, and (b)vertical direction, respectively.

また、Fig.6 にビームスタビライザを起動させずにパルスを中空ファイバに入射させた時と、起動させた状態で入射させた時の広帯域化したパルスのスペクトルとその安定性を示す。この時のガス圧は 140 kPa とした。ビームスタビライザを起動させたことで、ビームのファイバへのポインティングが安定し、起動させていない時に比べて広帯域化していることが確認できたが、スペクトル安定性の向上は

確認できなかった。

また、ガス圧が 140 kPa の時に、中空ファイバの入射端面が青く光っているのが確認された。これは、入射ビームが高強度なため、Ar ガスがイオン化して発生していると考えられるため、次に述べる円偏光入射によってイオン化の抑制を試みた。

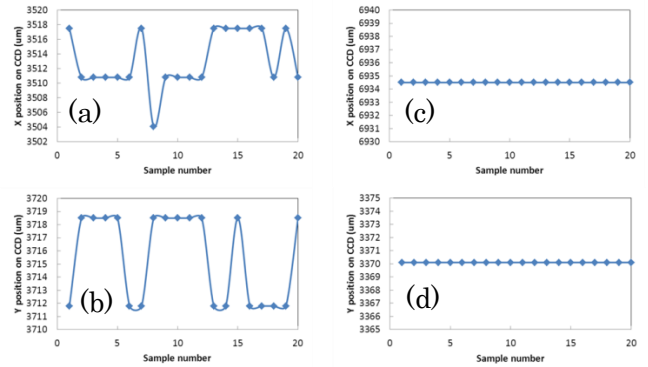


Fig.4 Beam position in both direction. (a) and (b) are beam position of horizontal and vertical direction with beam stabilizer OFF. (c) and (d) are those with beam stabilizer ON.

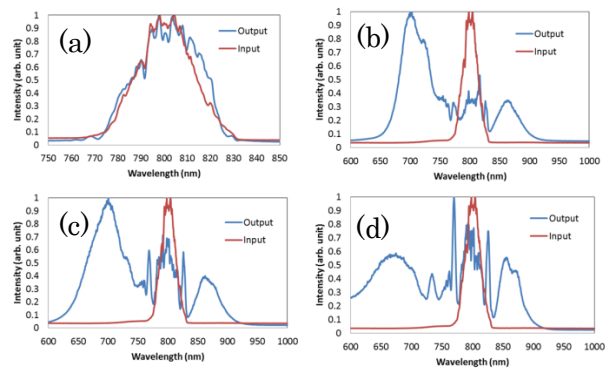


Fig.5. The result of spectral intensity of broadened pulse at various Ar gas pressure. Red line is spectrum of input pulse and blue line is spectrum of output pulse. Ar gas pressure were (a)17, (b)100, (c)140, and (d)180 kPa.

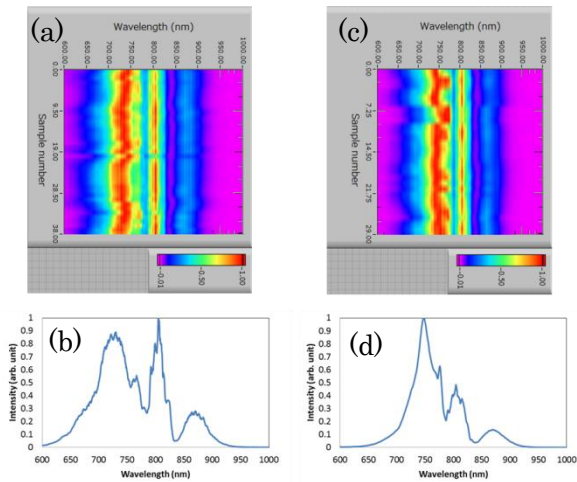


Fig.6. Temporal variations of the spectrum after the hollow core fiber (a) without and (c) with beam stabilizer. (b) and (d) are the corresponding time averaged spectra.

3. 円偏光入射による広帯域パルス発生

実験セットアップの概略図を Fig.7 に示す。CPA パルスは直線偏光なので、中空ファイバの前後に $\lambda/4$ 波長板を設置して、円偏光を入射させた。入射パルスのエネルギー変化に伴う、直線偏光入射と円偏光入射によるパルス広帯域化の結果を Fig.8 に示す。また、各入射パルスエネルギーにおける透過率の測定結果を Table.1 に示す。中空ファイバの入射端面でのイオン化は、Fig.8 の(a), (b), (d)において確認され、(c), (e), (f)ではイオン化は起きなかった。

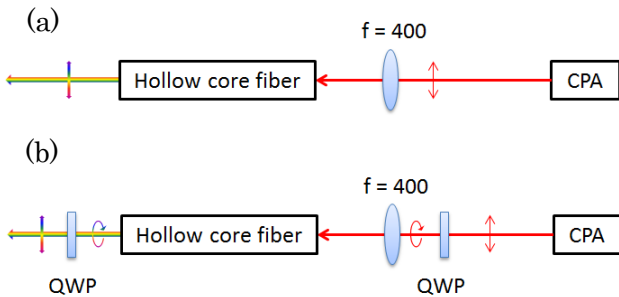


Fig.7. Experimental setup of super-continuum pulse generation by (a)linear polarization pulse and (b)circular polarization pulse.

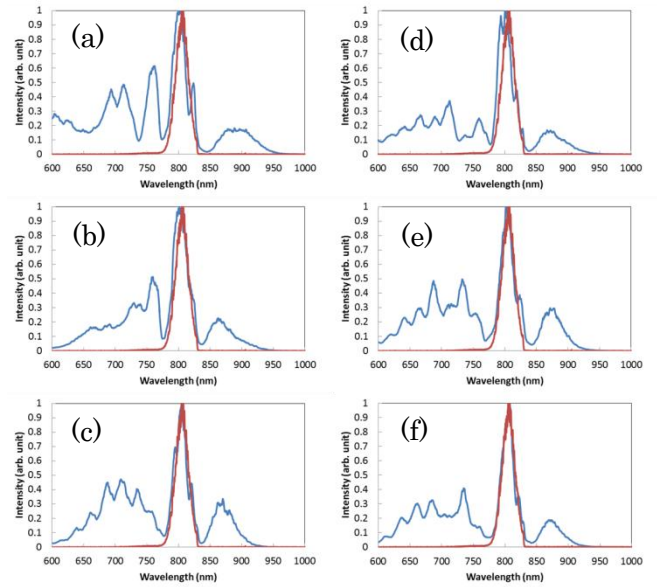


Fig.8. The result of spectral intensity of broaden pulse at various incident beam energy for linear polarization pulse [(a)~(c)] and circular polarization pulse [(d)~(f)]. Red line is spectrum of input pulse and blue line is spectrum of output pulse. The beam energy are 400 [(a) and (d)], 350 [(b) and (e)], and 300 μJ [(c) and (f)].

Table.1. The efficiency of transmission of linear polarization pulse and circular polarization pulse in hollow core fiber.

input energy [μJ]	linear polarization		circular polarization	
	Output [μJ]	Efficiency [%]	Output [μJ]	Efficiency [%]
300	83	27.7	88	29.3
350	82	23.4	97	27.7
400	76	19.1	96	24.0

4. まとめ

本研究では自己位相変調を用いた広帯域パルスの発生と、円偏光入射による封入ガスのイオン化の抑制を行った。Ar ガス封入中空ファイバによっておよそ 600-900 nm までのスペクトルの広帯域化が確認され、さらに入射光に円偏光を用いることで

350 mW までの入射パルスエネルギーに対して Ar ガスのイオン化を抑制することができた。

References

- [1] M.Niosoli et al, Opt. Lett., 22, 522 (1997)
- [2] A. Suda et al, Appl. Phys. Lett., 86, 111116 (2005)
- [3] X. Chen et al, Opt. Lett., 34, 1588 (2009)
- [4] J. Chen et al, Opt. Lett., 33, 2992 (2008)