

超広帯域パルス発生に向けての多重パス増幅器の改良 Improvement of Multi-pass Amplifier for Ultra-broadband Pulse Generation.

近藤 昇平(M1), 吉清健太(B4), 大石裕

S. Kondo, K. Yoshikyo and Y. Oishi

Abstract

We complete the development of a multi-pass amplifier. The output laser energy after pulse compression is 980 μ J, which is approximately twice as much as one in the last year. The output energy is sufficient to produce ultra-broadband pulses with a rare-gas filled follow tube. However, the beam quality at M^2 of ~ 1.5 is still need improvement.

1. はじめに

最近の超短パルス技術は数サイクルパルスを発生し、希ガス中で高次高調波を発生してアト秒パルスを得るまでに達している[1]。数サイクルパルス幅にパルス圧縮する技術はいくつかあるが、最も広く使われている技術は希ガス中空ファイバにおける自己位相変調 (SPM: Self Phase Modulation) を用いたものである[2]。中空ファイバを用いる利点は、確実に広帯域化になることと出射後のビームプロファイルの質が良いことが挙げられる。昨年本研究室では、この中空ファイバを用いて白色光の発生を試みたが中空ファイバの入射強度が 400 μ J であり、入射強度が十分ではなかった。中空ファイバ中では 3 次の非線形性 SPM よってスペクトルが広帯域化するの、入射強度を強くすればさらに広帯域化可能となる。しかし、入射端の集光強度が強くなると自己収束やイオン化という問題が生じてファイバのスループットが悪くなる上、プラズマ吸収によって広帯域自体も制限される。

我々は、入射強度を強くするために多重パス型 2nd Amp. の改良を行いそのビームクオリティを調べた。

2. 実験と結果

2.1 2nd Amp. の改良

昨年度より高いパルスエネルギーの出力のために 2nd Amp. の構築に着手した[3]。励起光源には LD 励起 Nd:YLF レーザ (Coherent 社 Evolution15, 1kHz 繰返

し動作時に 12 mJ) を導入し、マルチパス方式を採用して飽和増幅領域でのエネルギー取り出しを行った (Fig.1.)。

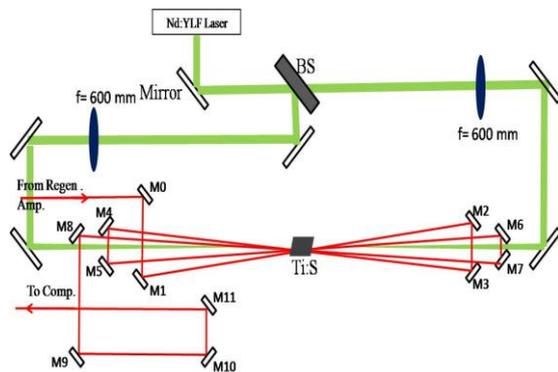


Fig.1. Experimental setup of the second-stage 4-pass-amplifier. The pump beams are focused to a Ti:sapphire crystal (20 mm length) placed at the center of the amplifier.

今年度、2nd Amp. の出力が 3.0 mJ、その励起効率が 20% 以上となるように調整を行った。その結果を Fig.2 に示す。再生増幅器からのパルスエネルギーが 0.95 W、励起パワーが 7.80 W である。4 pass 増幅後のパワーは、2.63 W となった。

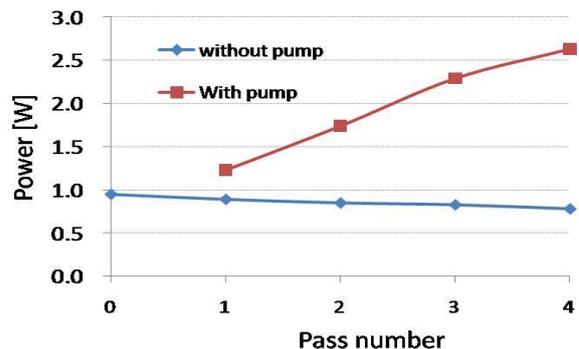


Fig.2. Power evolution of the multi-pass amplifier with the pumping laser power of 20.5 W.

次に励起パワーを変えて 4pass 後の増幅出力を調べた (Fig.3)。励起パワーが 8.8 W のときに増幅パワーが 2.98 mJ、取り出し効率は 23.1% となり、当初の目的出

力を達成できた。

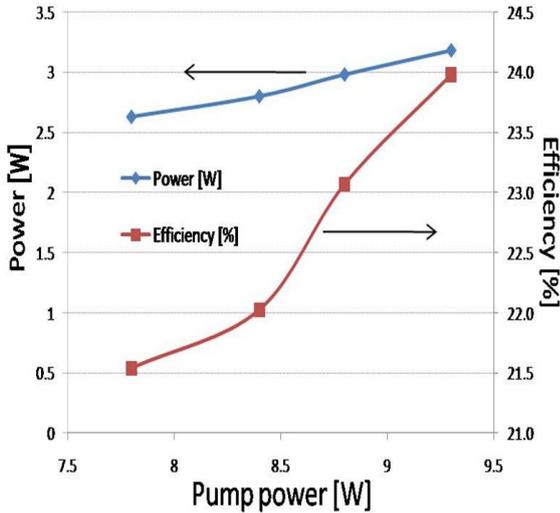


Fig.3 Amplifier laser output as a function of excitation laser power.

2.2 M² の測定

2nd Amp.からの光を中空ファイバに入れるためにビームクオリティの測定(M²の測定)を行った。その実験系を Fig. 4.に示す。まずは He-Ne レーザをガイドレーザとして中空ファイバに入射する。そして、中空ファイバのチャンバーとその前の f=600 mm との間にウェッジプレートとプリズムを設置して一部の光を取り出し CCD カメラに入射させる。そして、2nd Amp.からの光パルスを He-Ne と空間的に重なるように調整し、CCD カメラの位置を前後にずらすことにより M²を測定した。中空ファイバ内にレーザを入射する際に 2nd Amp.光パルスのビーム径を $\omega_0 = 43.75\mu\text{m}$ としたいので(1)式を用いて CPA からのビーム径 ω を見積もった。(M²の値は 1.3 と仮定した。) その結果、ビーム径 $\omega = 4.53\text{mm}$ となり入射光パルスをその値になるように調整した。

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{M^2 \lambda z}{\pi \omega_0^2}\right)^2} \quad (1)$$

M²の測定結果を Fig.5.に示す。このときの 2nd Amp.後の出力は 2.3 mJ であった。実験結果に基づいて M²

の値を変えて実験値とのフィッティングを行った。その結果、y 方向の M² 値は 1.16, x 方向の M² の値は 1.42 となった。また、それぞれの最小スポットサイズは y 方向が 60 μm , x 方向のスポットサイズは y 方向の最小スポットサイズの位置が 0.5 cm ずれて 80 μm あった。この結果から、中空ファイバに入る際のビームが楕円形となっており非点収差が起きていることが分かる。また、入射強度を高めればより非点収差が大きくなりビームクオリティが劣化することがわかった。

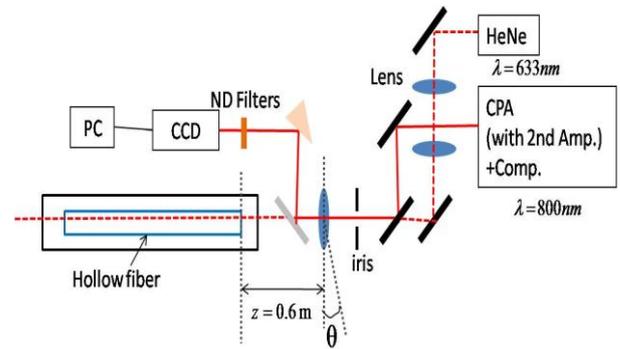


Fig.4. Experimental setup for adjusting the beam incidence into a hollow fiber.

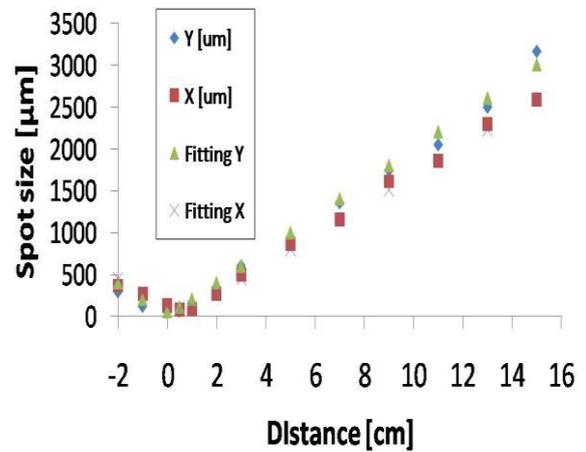


Fig.5. Beam spot size focused by an f=400 mm lens as a function of distance from the lens.

また、昨年度と今年度(2nd Amp.の改良後)の CPA 後の光パルスのパワー、M² 値、透過率の比較を Table 1 に示す。

Table 1 .Comparison of the output laser power, M^2 factor and transmission efficiency for the beams before and after improvement.

	2010FY	2009FY
Pulse energy	980 μ J	400 μ J
M2 factor	~1.5	1.2~1.3
Transmission	~33%	~33%

2.3 中空ファイバに入れるためのビームプロファイル調整

中空ファイバへの入射パワーは昨年度と比べて2倍となる980 μ Jとなった。2.2節でも述べているようにx方向のスポットサイズが中空ファイバのコア径よりも大きく中空ファイバのコア径よりも大きいため、入射ビーム径 ω を変えた。この時もx方向とy方向の最小スポットサイズの位置のずれが起こり、非点収差が起こっていた。そのため中空ファイバの直前のf=600mmを傾けることで擬似のシリンドリカルレンズとして作用させ心円のビームプロファイル発生した。その結果、x方向が17.7 μ m, y方向が17.6 μ mとほぼ心円となった。このときの集光強度は 13.3×10^{15} W/cm²である。昨年度白色光発生実験を行った際は、2nd.Amp.無しでの集光強度が 2.6×10^{15} W/cm²[4]であったため、約4倍

に集光強度が大きくなった。

3. まとめ

今年度は2nd.Amp.を用いることでCPAからのパルスエネルギーが400mJから980mJと約2倍となった。ビーム径をx方向が17.7mm, y方向が17.6mmと中空ファイバのコア径の約半分の値に整形し、集光強度を 13.3×10^{15} W/cm²まで向上させた。しかし、このパルスをガス圧が30kPaのAr.ガスが注入されている中空ファイバに入れるとイオン化が起こり十分な広帯域化ができなかった[5]。この解決策としては、イオン化ポテンシャルの高いNeガスに代えることが必要である。

参考文献

- [1]R. Kienberger et al, Nature **427**, 817 (2004).
- [2] M. Nisoli et al, Appl. Phys.Lett. **68**, 2793 (1996).
- [3]大石裕, 神成研究室アニュアルレポート,(2009)
- [4]根本寛之, 慶應義塾大学卒業論文(2009)
- [5]吉清健太, 神成研究室アニュアルレポート(2010)