

800 nmフェムト秒レーザーを用いた非ソリトン領域での非対称Sagnacループによる光子数スキューミング発生

Generation of photon-number squeezing using a femtosecond laser at 800 nm with an asymmetric Sagnac loop fiber interferometer in the region of non-soliton propagation

中込久幸(B4), 藤原悠二(M1)

H. Nakagome and Y. Fujiwara

Abstract

We experimentally demonstrated that squeezing can be generated even at 800 nm using conventional fiber optics when sufficient dispersion management with a 4-f pulse shaper is done for ultrashort pump laser pulses, although so far only the soliton wavelength at 1.5 μm has been employed in the squeezing pulse generation to increase nonlinear interaction. We achieved the highest photon number squeezing level of -1.32dB.

1 はじめに

最近、より圧搾度の高いスキューズド光の発生を目的とした研究が盛んに行われている。これは近年、連続変数による量子情報処理技術の実現に注目が集められており、高い忠実度で量子エンタングルメント状態を実現するために必要とされるからである¹。このスキューミングを発生する方法に、ファイバーの $\chi^{(3)}$ 非線形光学効果を用いる方法がある。我々はこの方法を用いて、これまでに1.5 μm 帯の超短パルス光を光源としたスキューズド光の発生に取り組んできた。この1.5 μm の波長域の場合、ファイバー内をソリトン伝搬し、高いピークパワーを保ったまま効率よく非線形光学効果を得ることができるので、より圧搾度の高いスキューズド光の発生を見込むことができる²。一方1.5 μm に対し、物質との相互作用をしやすい800 nm光源を用いたスキューズド光の発生は、将来量子メモリなどの量子情報処理技術を応用に据えられる研究分野である³。そこで本実験では、ファイバーの正常分散領域である800 nm光源を用い、非ソリトン伝搬においても光子数スキューミングを観測できるかを試みた。

2 実験

Fig.1 に実験セットアップを示す。光源、Sagnac ファイバー干渉計、ホモダイン検出系から主に構成される。非ソリトン領域である800 nmの場合、光がファ

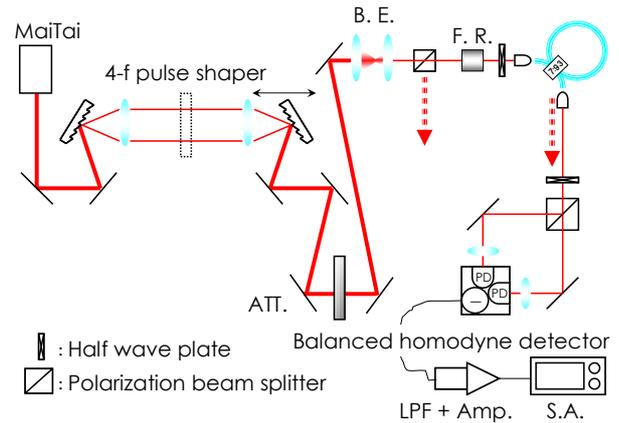


Fig.1 Experimental setup of photon-number squeezing: B.E.; Beam Expander, ATT.; Attenuator, F. R.; Faraday Rotator, LRF; Low-Pass Filter and S. A.; Spectrum Analyzer.

イバー干渉計内に入射する前に、Faraday Rotator (F. R.) 及びファイバーの腕の部分によって正常分散が乗るため干渉計内でピークパワーを得られないので、我々は入射光を4-f波形整形器に通し、その調整によって予め負分散をかける方法を採用した。本実験で用いた光源は、Spectra Physics社製Ti:Sapphireフェムト秒レーザー”MaiTai”で、中心波長820 nm、時間幅100 fs、繰り返し周波数79.2 MHzである。Sagnac干渉計には分岐比可変カップラ（Canadian Instrumentation & Research社作製）を用い、透過光と反射光を93:7に分け⁴非対称の干渉計を構築した。そしてSignal光の量子ノイズ状態を2つのPDで光電流として検出し、SNLとしてその差信号を、光子数スキューズド光としてその和信号をスペクトルアナライザ(ADVANTEST社製Q8384)で測定した。このときパルスの繰り返しによる信号飽和を避けるために15 MHzのLPF(Mini-circuit社製BLP15)を用い、微弱な信号をアンプ(NF社製SA-230F5)によって増幅して観測している。

3 光子数スクイーミング測定結果

Fig.2 は(a)分散補償をしていないもの、(b)最適な条件において得られた(-5950 fs²)光子数スクイーミングのパワー依存性をそれぞれ表している。(a)では干渉計入射前にパルス幅が広がってしまい非線形光学効果を得ることができなかったが、(b)において予め負分散をかけてパルスの広がり抑えたものではスクイーミングを見ることができた。これにより正常分散領域である 800 nm であっても、ファイバーの $\chi^{(3)}$ 非線形光学効果を用いてスクイーミングを観測できることがわかり、最大で-1.32dB の光子数スクイーミングを観測した。

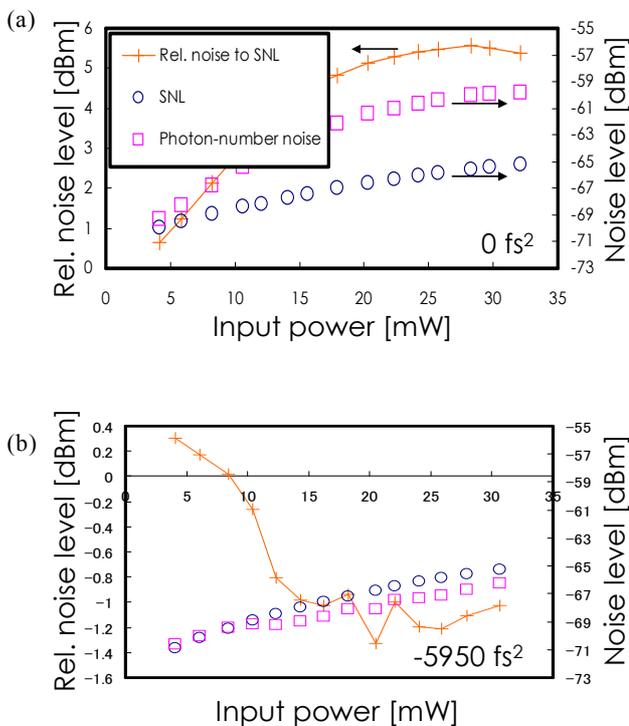


Fig.2 Measurements of photon-number squeezing: (a) shows noise level with no normal dispersion compensation. (b) shows noise level with negative dispersion(-5950 fs²) to the input pulse.

また Fig.3 にパルスに与える負分散量とスクイーミング量の関係を示す。本実験で最大のスクイーミング量を得たときの負分散量は-5950 fs²であり、この値はF.R.でパルスにかかる正常分散量-1390 fs²こそ補償しているものの、ファイバーの腕による正常分散量-8144 fs²は補償しきれていない(Sagnac 干渉計に入る前のファイバーの腕の部分で既に TL パルスになっている)負

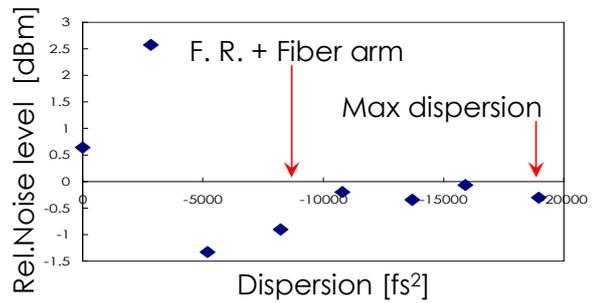


Fig.3 Relation between negative dispersion and squeezing level: F. R. and fiber arm; -9500 fs², as max dispersion as possible on our setup; -18960 fs²

分散量である。つまりこの結果は、効率よく非線形光学効果を得られるよう干渉計の中心でピークが立つよう高い負分散をかけていくと、逆にスクイーミング度合いが悪くなるという傾向があることを示している。これは、非対称干渉計であるため左右周りでパルスの受ける非線形光学効果が異なるので、左右周りそれぞれのパルスのスペクトル波形に差異が生じ、Sagnac 干渉計内で干渉するときに、効率よく干渉を起こすことができないことに起因すると考えられる。Fig.4 に入射パルスに負分散をかけていないときとかけた(-5950 fs²)ときの Sagnac 干渉計からの戻り光 (Fig.1 の左の点線) のスペクトルを示す。パワーは本実験系における最大入射パワー32mW である。このようにパルスに負分散する分散量によって、パルスの受ける非線形光学効果が変わり、それぞれのスペクトルの広がり方が異なるため、非対称 Sagnac ループ干渉計では大きな光子数スクイーミングを得ることができないと考えられる。

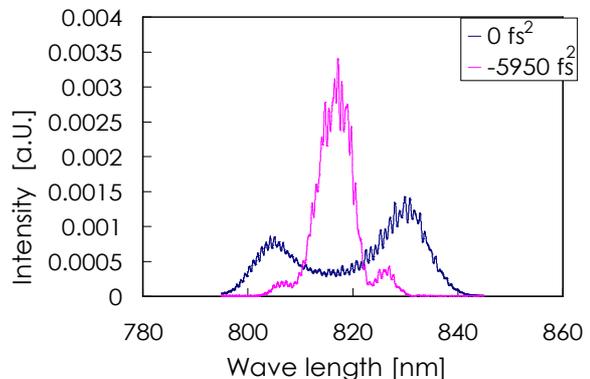


Fig.4 Spectrum of reflected light from the Sagnac loop. Input power is the max power coupled to the loop; 32 mW.

4 まとめ

本実験により，非ソリトン伝搬領域であってもファイバーの $\chi^{(3)}$ 非線形光学効果を用いてスクイーミングを観測できることがわかった(-1.32 dB)。しかしながら非対称 Sagnac ループ干渉計を用いる場合には，高い非線形光学効果を得るとかえって干渉の効率が落ちてしまい，スクイーミングの度合いが下がることが確認された。

References

- [1] N. Take, et al. Phys. Rev. A **72**, 042304 (2005).
- [2] C. X. Yu, H. A. Haus, and E. P. Ippen, Opt. Lett, **26**, 669 (2001).
- [3] A. Ourjoumtsev, R. T. Brouri, J. Laurat, and P. Grangier, Science **323**, 83 (2006).
- [4] S. Schmitt, J. Ficker, M. Wolf, F. König, A. Sizmann, and G. Leuchs, Phys. Rev. Lett. **81**, 2446 (1998).