

ファイバの正常分散領域における超高速光子数スクイズド光生成のための手法

Generation of ultrafast photon-number squeezed state in normal dispersion regime

保坂有杜 (B4)

Aruto Hosaka

Abstract

-1.0dB photon number squeezing at 800 nm using a mode-locked Ti:sapphire laser pulse with a nonlinear optical fiber polarization interferometry is achieved. We find a novel dispersion managing scheme to increase pulse matching between signal and local oscillator pulses.

1. はじめに

コヒーレント状態の持つ光子数雑音をショット雑音以下に低減させた光子数スクイズド状態の発生にはさまざまな方法があるが[1], ソリトンパルスが生成可能な 1.55 μm 通信波長帯ではファイバにおける強い3次の非線形効果を用いて光子数スクイズド状態を生成する研究が広く行われてきた[2]。

一方で広くフェムト秒レーザとして用いられているモード同期 Ti:sapphire レーザの波長は 800 nm 帯であり, この波長はソリトンパルスの生成が不可能なファイバの正常分散にあたる。この波長帯域では非線形効果によるフェムト秒パルスのスペクトル広がり, ソリトンパルスの生成が不可能なことによる非線形効果自体の小ささにより, 光子数スクイズド状態を生成することが一般的に困難であるとされていた。

本研究では, あらかじめ負のチャープを加えたフェムト秒パルスをファイバに入射することでスペクトルの広がりを抑制し, 正常分散領域における非線形効果の小ささをパルスの強度で補うこととし

た。

2. 実験セットアップ

実験セットアップは Fig.1 の通りである。プリズム対で負の分散を加えたパルスをマイケルソン干渉計で分岐した上で一方の光に遅延を与え, 偏波保持シングルモードファイバに入射した。このとき, 遅延はファイバ出射後に2つのパルスが偏光干渉するように設定する。この2つのパルスを偏光ビームスプリッタ (PBS) を用いて偏光干渉させ, PBS を透過した光をフォトダイオードで受光し, その光子数ノイズをスペクトラムアナライザを用いてラジオ周波数 20 MHz で計測した。また, コヒーレント状態の光子数ノイズは真空の揺らぎをホモダイン計測することによって求めることとした。

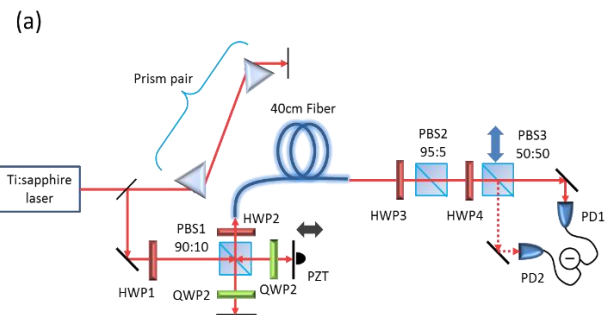


Fig. 1 Experimental setup for generation of photon-number squeezed state by Ti:sapphire laser pulses. HWP: half wave plate, PBS: polarization beam splitter, QWP: quarter wave plate, BS: 50:50 beam splitter, PZT: piezoelectric transducer.

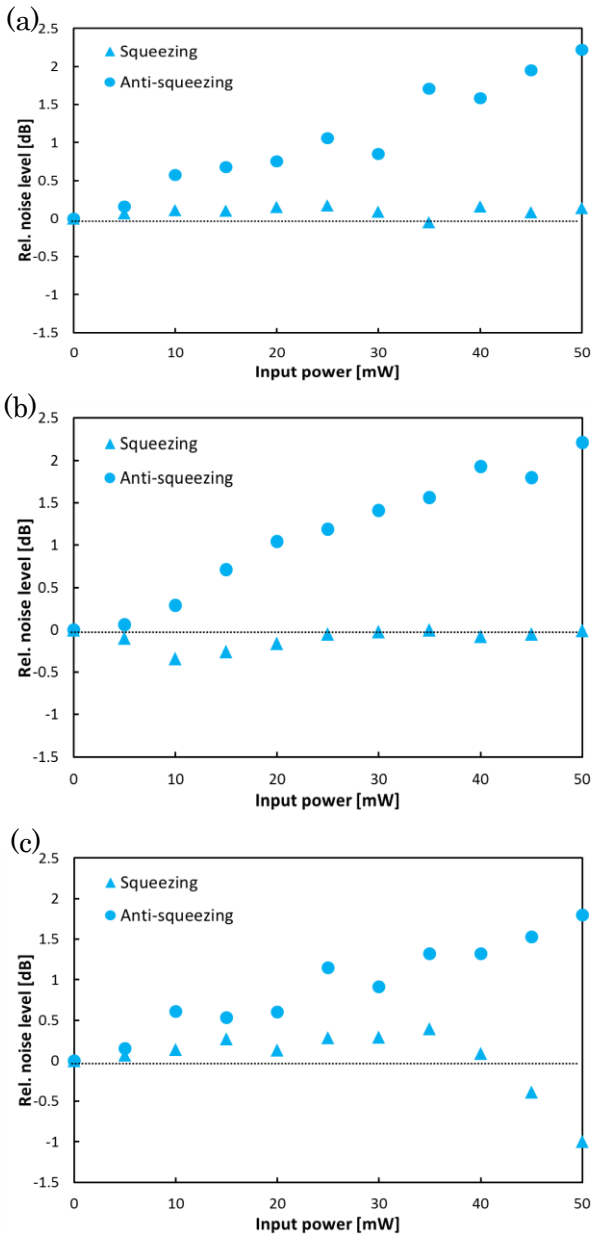


Fig. 2 Plots of intensity noise relative to the SNL as a function of laser power coupled in to the fiber.

(a) When A Fourier transform limited (FTL) pulse was launched into the fiber. (b) When An FTL pulse could be formed at the middle of the fiber. (c) An FTL pulse could be formed at the end of the fiber.

3. 実験結果

A. ファイバ入射前 FTL

ファイバ入射直前でフーリエ限界パルス (FTL)

となるようにパルスに負分散を加えたときのスクイーミングレベル, アンチスクイーミングレベルの強度依存性を計測した結果は Fig. 2(a)の通りである。このときは非線形効果の小ささとスペクトルの不一致によりスクイズド状態を得ることはできなかった。

B. ファイバ中央 FTL

ファイバの中央で FTL になるように負分散を加えたときのスクイーミングレベル, アンチスクイーミングレベルの強度依存性を計測した結果は Fig. 2(b)の通りである。ファイバ入射強度 10 mW のときに最も高いスクイーミングレベル (-0.34dB) を得ることができた。これは先ほどのファイバ入射直前で FTL になる場合に比べて FTL パルスになる前後で高い非線形性が得られるためだと考えられる。しかし, 強度を上げていくと 2 つのパルスのスペクトルの不一致が現れ, 偏光干渉しなくなることによって光子数スクイズドが得られなかったのだと考えられる。

C. ファイバ出射後 FTL

ファイバ出射後に FTL になるように負分散を加えた場合のスクイーミングレベル, アンチスクイーミングレベルの強度依存性を計測した結果は Fig. 2(c)の通りである。このときは FTL の前後で高い非線形性が得られるということはないので入射強度 10 mW のときには光子数スクイズド状態を得ることはできなかった。しかし, 入射強度を高めた場合, 高い非線形性が得られると同時にスペクトルが狭帯域化するため, 2 つのパルス間でのスペクトルの不一致が解消される。そのため, ファイバ入射強度 50 mW のときに最も高いスクイーミングレベルが得られたものだと考える。

4. 真空スクイズド光発生実験

さらに我々は真空スクイーズド光の発生を目指して実験を行った。実験セットアップは本研究室の中込らが過去に行ったものと完全に同じである。

しかし、負分散によるパルス整合報法を用いても真空スクイーズド状態を生成することができなかった。偏光干渉の精度を示す **Visibility** は中込らが行った実験よりは低いものの（中込らが **99.5 %** であるのに対して我々の実験では **98 %** 程度）、等価損失に換算しても真空スクイーズド光生成においてこれは大きな問題とはならない。

今回は真空スクイーズド光生成に失敗した原因を特定することはできなかった。

5. まとめ

ファイバ正常分散領域において光子数スクイーズド状態を生成することに成功した。単純に **FTL** パルスをファイバに入射させるだけでは成功しなかったが、負分散を加え、ファイバ中央で **FTL** になるようにすることで **-0.34dB**、ファイバ出射後に **FTL** になるように負分散を加えることで **-1.0dB** のスクイージングレベルをそれぞれ達成した。

[1] S. R. Friberg, *et al.* Phys. Rev. Lett. **77**, 3775(1996)

[2] S. Schmitt, *et al.* Phys. Rev. Lett. **81**, 2446(1998)

[3] H. Nakagome, *et al.* Opt. Express **19**, 1051(2011).