

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19840018

研究課題名（和文） ガウス型量子状態の多モード・高精度制御の実現に向けた研究

研究課題名（英文） Manipulation and generation of multi-mode Gaussian quantum states

研究代表者

米澤 英宏 (YONEZAWA HIDEHIRO)

東京大学・大学院工学系研究科・特任講師

研究者番号：50451802

研究成果の概要：本研究は、連続量・量子情報処理の基本要素である、ガウス型量子状態の多モード・高精度制御の実現を目的とした。研究成果の一つは、モノリシック型 PPKTP 結晶によるスクイーズド光生成の実現である。これは、高レベルスクイーズド光の多モード生成につながる成果といえる。またもう一つの成果は、コヒーレント光に対するアダプティブホモダイン測定の実現である。アダプティブホモダイン測定とは、フィードバック制御を用いて従来よりも高精度な光の位相測定を実現する方法である。これは、量子状態の制御技術の確立につながる成果といえる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,350,000	0	1,350,000
2008 年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	450,000	3,105,000

研究分野：量子光学・量子情報

科研費の分科・細目： 応用物理学・工学基礎、応用光学・量子光工学

キーワード：スクイーズド光、連続量量子情報処理、ガウス型量子状態、ホモダイン測定

1. 研究開始当初の背景

量子情報処理は近年盛んに研究されている分野である。量子力学的効果を積極的に利用することで、秘匿性の高い暗号通信、超高速計算、大容量通信など、多くの技術革新の可能性を秘めている。現在、理論・実験両面からの研究が国内外問わず盛んに行われている。その中でも、光を使った量子情報処理技術は量子通信ではもちろんのこと、量子計算においても非常に重要な技

術である。我々は、光を使った連続量・量子情報処理技術に関する研究を行っており、世界的に見ても非常に先端的研究をこれまで行ってきた。光の連続量・量子情報処理においては、スクイーズド光の生成と操作が非常に重要なテーマであり、特に多くのモードを同時に扱うことで、より複雑な量子操作・計算が実現できる。従って、連続量・量子情報処理実験を推し進めていく上で、スクイーズド光に代表されるガウス型

状態（特に多モードの）に対して、生成・操作・制御の技術を確立することが重要といえる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで行われてきたガウス型量子状態操作の実験をさらに推し進めるために、光のガウス型状態の多モード・高精度制御を実現することである。つまり、多モード・高レベルのスクイーズド光を生成する技術、及び多モードのスクイーズド光を制御する技術を確立することが本研究目的である。

3. 研究の方法

本研究では主に以下の2つの実験を行った。

(1) モノリシック型 PPKTP 結晶によるスクイーズド光の生成

スクイーズド光を多モード同時に生成するためには、よりシンプルなスクイーズド光生成系を考える必要がある。これまで行われてきたスタンダードなスクイーズド光生成実験では、4つのミラーによって構成されるボウタイ型光共振器内に非線形結晶を配置した光パラメトリック発振器が用いられていた。この方法により、我々は非常に高レベルなスクイーズド光の生成に成功していたが、よりコンパクトかつシンプルなスクイーズド光生成方法として、非線形結晶の両端をミラー処理したモノリシック型共振器を考案した。仕様は、これまでの高レベルスクイーズド光生成実験を参考に検討・設計した。モノリシック型共振器の難しい点として、位相整合条件と共振条件を同時に如何にして満たすかという点がある。今回は、温度を制御することで、両方の条件を同時に満たせるよう設計した。実際に光学系を組み、モノリシック型共振器を温度で制御することで、スクイーズド光を生成した。

(2) アダプティブホモダイン測定

光の量子状態に対する制御法を研究するため、光の位相を精度よく推定できる方法であるアダプティブホモダイン測定の研究をおこなった。この実験では、コヒーレント光に対してホモダイン測定を行い、その測定結果をLO光の位相にフィードバックした。特に、広帯域なフィードバック系を構築し、アダプティブホモダイン測定の方法と通常の位相推定の方法であるデュアルホモダイン測定の方法を比較した。

4. 研究成果

(1) モノリシック型 PPKTP によるスクイーズド光の生成

この実験では、実際にモノリシック型共振器を温度制御によりロックすることに成功し、さらにスクイーズド光の生成に成功した。特

に、-6dB程度のスクイーズド光を観測した。スクイーズレベル自身は改善の余地があるが、共振器内部ロスの低減などが観測され、これまで以上に高レベルのスクイーズド光を生成できる可能性が示された。その点で非常にインパクトのある結果と言える。また、本研究は多モードスクイーズド光の同時生成につながり、より高次の量子操作の実現が期待でき、その点でも非常にインパクトがあると言える。

(2) アダプティブホモダイン測定

本研究では、CWコヒーレント光に対するアダプティブホモダイン測定を実現した。実際に通常の位相推定の方法であるデュアルホモダイン測定と比較したところ、確かに推定精度の向上が見られた。位相推定は光通信や光による計測技術など幅広い応用範囲を持っており、これも非常にインパクトのある成果といえる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. H. Yonezawa, S. L. Braunstein, and A. Furusawa
"Experimental demonstration of quantum teleportation of broadband squeezing"
Phys. Rev. Lett. 99, 110503-1-4 (2007).
2. H. Yonezawa, A. Furusawa, and P. van Loock
"Sequential quantum teleportation of optical coherent states"
Phys. Rev. A 76, 032305-1-5 (2007).
3. C. Marquardt, U. L. Andersen, G. Leuchs, Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
"Experimental demonstration of macroscopic quantum coherence in Gaussian states"
Phys. Rev. A 76, 030101(R)-1-4 (2007).

〔学会発表〕(計 22 件)

【国際】

1. G. Masada, K. Nagashima, H. Yonezawa,

- T. Suzudo, Y. Satoh, H. Ishizuki, T. Taira, A. Furusawa
 "Generation of Squeezed States of Light at 860 nm with Periodically Poled MgO:LiNbO₃ Crystal"
 Advanced Solid State Photonics, TuC2, Denver (Feb. 1, 2009)
2. H. Yonezawa (invited)
 "Continuous variable quantum information processing with squeezed states of light"
 The XII International Conference on Quantum Optics and Quantum Information, Lithuania, (Sep. 20, 2008)
3. K. Nagashima, G. Masada, H. Arao, Y. Takeno, H. Yonezawa and A. Furusawa
 "Generation of highly squeezed light at 860 nm"(poster)
 International Nano Optoelectronic Workshop, Shonan Village, (Aug. 3, 2008)
4. S. Armstrong, M. Yukawa, R. Ukai, J. Yoshikawa, H. Yonezawa, P. van Loock and A. Furusawa
 "Experimental generation of four mode continuous variable cluster states"(poster)
 International Nano Optoelectronic Workshop, Shonan Village, (Aug. 5, 2008)
5. N. Lee, Y. Takeno, H. Yonezawa, J. Webb, E. Huntington and A. Furusawa
 "Broadband Quantum Teleportation"
 The 4th Asia Pacific Conference in Quantum Information Science, Cairns, (Jul. 3, 2008)
6. C. Marquardt, U. L. Andersen G. Leuchs, Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
 "Experimental demonstration of macroscopic quantum coherence in Gaussian states"
 CLEO/QELS2008, QMB1, San Jose, (May. 5, 2008)
7. H. Yonezawa, S. L. Braunstein, and A. Furusawa
 "Teleporting Below the Vacuum Noise Level: Non Local Transfer of Squeezing and Entanglement"
 CLEO/QELS 2007, QTu11, Baltimore, (May 8, 2007)
8. Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
 "9 dB Quadrature Squeezing at 860 nm with Periodically Poled KTiOPO₄"
 CLEO/QELS 2007, QTu12, Baltimore, (May 8, 2007)
9. H. Yonezawa and A. Furusawa (invited)
 "Quantum teleportation and related quantum information processing"
 Continuous Variable Quantum Information Processing workshop 2007, St. Andrews, (Apr. 13, 2007)
10. Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
 "Creation of 9dB squeezing with periodically poled KTiOPO₄" (Poster)
 8th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nano Structures, WeP-6, The University of Tokyo, (Apr. 9, 2008)
11. H. Yonezawa and A. Furusawa
 "Teleportation of squeezed states"
 8th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nano Structures, ThC-4, The University of

Tokyo, (Apr. 10, 2008)

【国内】

12. 政田元太、植田幹也、高橋走、米澤英宏、鈴木剛、佐藤康弘、石月秀貴、平等拓範、古澤明
“ PPMgLN 結晶による波長 860nm スクイーズド光の生成 “
日本物理学会第 64 回春季大会、27pSK -2、p142、立教大学（東京都）(2009 年 3 月 27 日)
13. 永島航洋、米澤英宏、古澤明
“ PPKTP モノリシック共振器によるスクイーズド光生成の研究 “
日本物理学会第 64 回春季大会、27pSK -1、p142、立教大学（東京都）(2009 年 3 月 27 日)
14. 中根大輔、荒生肇、米澤英宏、Trevor Wheatly、Elanor Huntington、古澤明
“ アダプティブホモダイン測定によるスクイーズド光の位相推定の研究 II “
日本物理学会第 64 回春季大会、27pSK -5、p143、立教大学（東京都）(2009 年 3 月 27 日)
15. 永島航洋、政田元太、竹野唯志、米澤英宏、古澤明
“ PPKTP 結晶による波長 860nm スクイーズド光の生成 “
日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA -1、p139、岩手大学（盛岡市）(2008 年 9 月 22 日)
16. アームストロング聖士、鵜飼竜志、吉川純一、米澤英宏、Peter Van Loock、古澤明
“ クラスタ状態を用いた 1 モードガウシアン操作の実現 II “
日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA -5、p140、岩手大学（盛岡市）(2008 年 9 月 22 日)
17. 鵜飼竜志、アームストロング聖士、吉川純一、米澤英宏、Peter van Loock、古澤明
“ クラスタ状態を用いた 1 モードガウシアン操作の実現 I “
日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA -4、p140、岩手大学（盛岡市）(2008 年 9 月 22 日)
18. 荒生肇、米澤英宏、Trevor Wheatley、Elanor Huntington、古澤明
“ アダプティブホモダイン測定によるスクイーズド光の位相推定の研究 “
日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA -2、p139、岩手大学（盛岡市）(2008 年 9 月 22 日)
19. 政田元太、永島航洋、岡野悠、荒生肇、竹野唯志、米澤英宏、古澤明
“ PPKTP 結晶による波長 860nm スクイーズド光の生成 III “
日本物理学会第 63 回年次大会、23pQD -6、近畿大学（大阪市）(2008 年 3 月 23 日)
20. 竹野唯志、李憲之、米澤英宏、古澤明
“ 光子検出により非ガウス化したスクイーズド光の量子テレポーテーションの研究 “
日本物理学会第 63 回年次大会、24pQD -9、近畿大学（大阪市）(2008 年 3 月 24 日)
21. 湯川光彬、鵜飼竜志、米澤英宏、古澤明
“ 連続量 4 モードクラスタ状態の生成 “
日本物理学会第 63 回年次大会、24pQD -7、近畿大学（大阪市）(2008 年 3 月 24 日)
22. 李憲之、竹野唯志、米澤英宏、古澤明
“ 広帯域量子テレポーテーションの研究 “
日本物理学会第 63 回年次大会、24pQD -8、近畿大学（大阪市）(2008 年 3 月 24 日)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

米澤 英宏 (YONEZAWA HIDEHIRO)
東京大学・大学院工学系研究科・特任講師
研究者番号： 50451802

(2)研究分担者

(3)連携研究者