

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20351

研究課題名（和文）光量子コンピュータの実現に向けた可干渉分岐の実証

研究課題名（英文）Demonstration of coherent bifurcation toward realization of optical quantum computing

研究代表者

高瀬 寛 (Takase, Kan)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：70963990

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：可干渉分岐は量子光の波動関数がガウス関数で与えられるとき、それを変位したガウス関数の和に分岐させるものである。当初の提案では、可干渉分岐操作にはユニバーサルスクイーズと呼ばれる実験的に利用の難易度が高い操作を必要とした。そこで研究実施者は、ブロッホメシア分解により分岐操作をユニバーサルスクイーズを用いない形に簡略化した。この簡略化された可干渉分岐操作を3光子までの光子数測定により実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、申請者が提案しているGKP量子ビットの生成手法の最も基礎となる技術である。本研究をさらに発展させることで光進行波中にGKP量子ビットを生成する難易度が大幅に低下し、光量子コンピュータ上で量子誤り訂正を実行可能になる。光量子コンピュータは優れたスケーラビリティや常温常圧での稼働、高いクロック周波数などからいち早い実用化が期待されており、本研究は量子技術の社会実証を推進する役割を果たしている。

研究成果の概要（英文）：When the wave function of quantum light is given by a Gaussian function, coherent bifurcation is used to split it into a sum of displaced Gaussian functions. In the original proposal, coherent bifurcation required an operation called a universal squeezer, which was difficult to implement experimentally. Therefore, the researchers simplified the coherent bifurcation by using Bloch Messiah decomposition. This simplified coherent bifurcation was demonstrated by photon number measurement up to three photons.

研究分野：連続量量子情報処理

キーワード：非ガウス型状態 伝令付き状態生成 量子コンピュータ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

光波束を用いた量子計算は、他の物理系で課題となっているスケーラビリティを有するため実用化が有望視されている。そこで光波束系の課題は汎用性や誤り耐性の実現になる。これらの課題は Gottesman-Kitaev-Preskill(GKP)状態と呼ばれる光量子状態を用意すれば解決し、実用的な光量子コンピュータを実現できるとされている。しかしGKP魔法状態の生成は非常に難しく、理論・実験両面のブレイクスルーが不可欠である。申請者は、可干渉分岐という独自の操作によるGKP魔法状態の生成を提唱した。可干渉分岐は、量子状態の波動関数を「ガウス関数」から「ガウス関数の重ね合わせ」に変換する操作である。この操作を単純な始状態に繰り返し作用させることで、櫛状の波動関数が特徴的なGKP状態を得ることができる。

2. 研究の目的

本研究は、申請者のGKP状態生成理論の核となる可干渉分岐の実験実証を目指す。この目標の達成は、高性能なGKP状態の生成を可能にし、光量子コンピュータの実用化に向けた重要なステップになると期待される。

3. 研究の方法

本研究は図1に示した実験系を構築し、1ステップの可干渉分岐を行う。入力光は、ガウス型の波動関数を持つスクイズド光である。この入力補助入力のスクイズド光と相互作用した後、光子検出を行うことで可干渉分岐が完了する。検出する光子数が多いほど性能のよい可干渉分岐になるが、実験の難易度も高くなる。本研究では既存の技術で現実的である2光子までの検出を行う。実験の可否は、出力状態をホモダイン測定で評価して判断する。

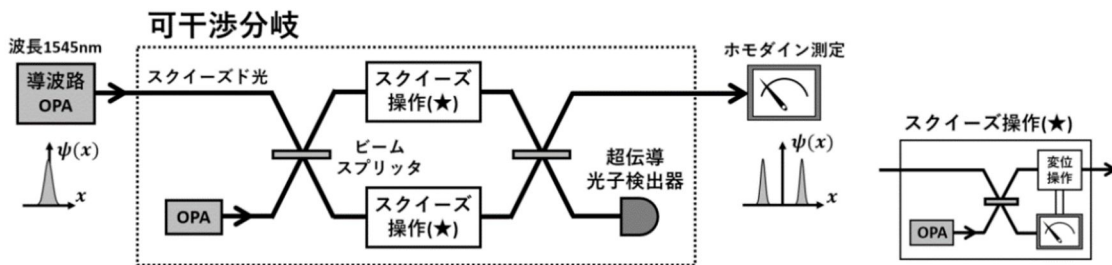


図1. 研究提案時の想定実験系

4. 研究成果

当初の提案では、可干渉分岐操作にはユニバーサルスクイーズと呼ばれる実験的に利用の難易度が高い操作を必要とした。そこで研究実施者は、プロットホメシア分解と呼ばれる数学的分解を利用することで、この分岐操作(または連続的に実行される分岐操作)をユニバーサルスクイーズを用いない形に簡略化した。この成果は学術論文として出版した(Takase et al., npj Quantum Information 9, 98 (2023))。さらにこの簡略化された可干渉分岐操作の実験的実証を目指した。図1の実験系は、図2のように簡略化された。実験では、まず2つの導波路 PPLN から生成したスクイズド光をビームスプリッタで干渉させる

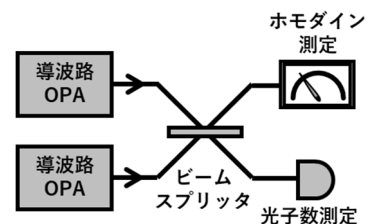


図2. 簡略化した実験系

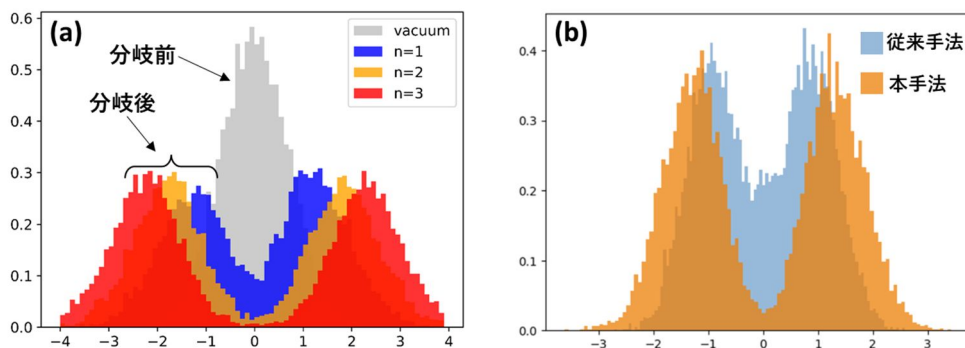


図3. 実験結果。(a)検出光子数 n と分岐幅の関係(b)n=2 での本手法と従来手法の比較

ことで量子もつれ光を用意した。さらに量子もつれ光の一方のチャンネルを 4 台の超伝導ナノワイヤ単一光子検出器に接続し、3 光子までの光子数測定を行った。図 2 はその結果である。申請者の過去の理論(Takase et al., Phys. Rev. A 103, 013710 (2021))により、干渉に用いるビームスプリッタの反射率を適切に設定することで、さらにはより多くの光子数を測定することで、出力状態の波動関数の分岐をより大きくすることができることが分かっている。図 2 (a)からはその傾向が明らかに確認できる。さらに図 2 (b)は本手法と、類似する先行手法を比較したものである。理論予測通り本手法のほうが大きな分岐を実現できており、量子性の高い優れた操作が実現できたことを示している。以上のことより、可干渉分岐操作の実証に成功したと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takase Kan, Fukui Kosuke, Kawasaki Akito, Asavanant Warit, Endo Mamoru, Yoshikawa Jun-ichi, van Loock Peter, Furusawa Akira	4. 巻 9
2. 論文標題 Gottesman-Kitaev-Preskill qubit synthesizer for propagating light	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 npj Quantum Information	6. 最初と最後の頁 98
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41534-023-00772-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kan Takase
2. 発表標題 Arbitrary Gottesman-Kitaev-Preskill state synthesizer
3. 学会等名 Frontiers in Optics（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------