

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 湯川 光彬

量子光学とは量子力学的性質を有した光の量子状態の生成やその検証について研究する分野である。また、純粋科学的見地からだけでなく、量子情報処理という量子力学の性質を用いた情報処理への応用にもつながるため近年広く注目を集めている。

興味深い量子状態の一つに光子数状態と呼ばれる状態がある。光子数状態とは光子数が確定した状態であり、特徴的な非古典的性質を持つことが知られている。このような状態は光子数相関のある量子もつれ状態と光子検出を組み合わせることで生成でき、これまでも先行研究がある。また、光子検出に変位操作と呼ばれる量子状態操作を組み合わせることで異なる光子数状態の重ね合わせを生成できることも知られている。現状では0から2光子状態までの生成実験の報告がある。

最大光子数を3まで大きくできるとさらに多様な量子状態が得られる。この状態の中には3次位相状態と呼ばれる状態も含まれる。この状態はユニバーサルな連続量量子情報処理に必須である3次位相ゲートの実装のために必要であり、量子情報処理の発展に非常に重要な量子状態と言える。このように最大光子数を大きくすることは、より高等な量子情報処理の実現に寄与すると言える。本研究ではこのような背景から0から3光子状態までの重ね合わせの生成を行った。生成した量子状態は4種類にのぼり、これにより任意の重ね合わせが生成可能であることを示した。

本論文は以下の5章からなる。以下に各章の内容を要約する。

第1章では、研究の背景として量子光学、量子情報処理のこれまでの発展の経緯を述べている。その経緯を踏まえ、本研究の目的、および研究題目の新規性とその将来性に関して記述している。

第2章では、本研究を遂行するために必須となる量子光学に関する基礎知識を述べている。具体的には光の量子状態の記述方法や具体的な量子状態の紹介、実験的に得られた量子状態の測定、検証手法についてなどである。後半は0から3光子状態までの重ね合わせの一つとして3次位相状態と呼ばれる状態があり、これが連続量量子情報処理に有用である旨を解説している。さらに光子数状態の重ね合わせの生成手法について述べている。

第3章では、本研究の実験系について述べている。まずは実験系全体について概略を説明している。その後、各要素について詳細に解説している。先行研究と同じ技術を用いている部分も多いが、先行研究よりも実験難易度の高い本研究を成功させるにあたり課題となる点がある。これは最大光子数を大きくする上で避けられないのだが、それらの困難を克服する実験上の工夫もあわせて述べられている。具体的には、変位操作を行う光学系、ロックが外れた時の対処、測定時間短縮のための光子検出効率の最適化などである。

第4章では、本研究の結果についてまとめている。本研究では0から3光子状態までの

重ね合わせを生成することが目的であるが、予備実験として生成した 1 光子状態、2 光子状態、0 と 1 光子状態の重ね合わせの結果を初めに述べている。次に本題である 0 から 3 光子状態までの重ね合わせの結果をまとめている。生成した状態は 3 光子状態、シュレディンガーの猫状態、0 光子状態と 3 光子状態の重ね合わせ、3 次位相状態の 4 種類である。それぞれの状態について固有の特徴を見出すことに成功している。これは本実験の手法において、変位操作を適切に設定することで任意の 0 から 3 光子状態までの重ね合わせを生成できることを意味しており、本研究の目的を達成したと結論づけている。また、生成した状態の非古典性を光学ロス補正なしに確認できたため、これらの状態の量子情報処理への応用が可能であることが同時に示されている。最後に実験系に残された改善の余地について議論している。

第 5 章では本研究の結果を総括し、今後の展望について述べている。

以上のように本研究では 0 から 3 光子状態までの重ね合わせを生成することに成功した。複数種類の状態を生成したことにより、変位操作を適切に選ぶことで任意の重ね合わせが生成できることを示せた。3 光子状態までの重ね合わせを生成したという先行研究はないが、本研究では実験的困難を克服することで初めて得られたものである。特に最大光子数を 3 まで大きくすることで 3 次位相状態を生成できたことは意義がある。この状態はユニバーサルな連続量量子情報処理に必須である 3 次位相ゲートに用いられる重要な状態として知られているからである。また、ロスの補正なしに状態の非古典性を得られたことで、生成状態の量子情報処理への応用も期待できる。本研究の成果は、0 から 3 光子状態までの重ね合わせという新しい量子状態の生成手法を開発したことであり、その結果は今後のさらなる高等な量子情報処理の実現にもつながる重要な意義があるものと認められる。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。