

## 論文の内容の要旨

論文題目	Observation of two-photon interference with continuous variables (和訳: 連続変数を用いた二光子干渉の観測)
学位申請者	呉 道華

量子光学および量子情報の実験研究については大きくわけて(1)離散変数と(2)連続変数の二つである。前者には光の粒子性を注目し、識別できない光子間の量子干渉を根幹として行う。また、後者は光(電磁場)の波動性を注目し、電場の二つ直交位相振幅を観測量として扱う。本論文は、ホモダイン検出器を用いて連続変数である直交位相振幅を測定したデータから光子数の情報を評価する方法で本来単一光子検出器を利用して観測する二光子干渉現象を実験的に観測することができた。本論文は5章で構成されている。

第1章では、研究の背景および研究の目的などを述べた。続いて、本研究の位置付けと研究意義についてあげられた。

第2章では、本研究の関連する量子光学の基礎について述べた。まず、いろいろな古典状態および量子状態の特性を紹介した。続いて、本論文を利用するホモダイン検出器の原理について説明した。最後、光状態の二次強度相関関数と二光子干渉間の関係を初めて導きました。

第3章では、真空スクイーズド状態と純粋なブライトスクイーズド状態の生成の実験および実験結果を示し、議論を行った。二光子干渉は真空スクイーズド状態とコヒーレント状態を干渉させることで起こる現象であり、それらの位相差によって二光子確率を増減することができる。我々は2つの状態を干渉させる際の位相差を選択し、二光子確率が低減する振幅スクイーズド状態と増大する位相スクイーズド状態を生成した。光源として連続波の Nd:YAG レーザーを用いた。PPKTP 結晶を用いた光パラメトリック増幅器(OPA)によって真空スクイーズド状態を生成し、LOと干渉させることで雑音を特性した。この結果 1.5dB のスクイーミング、2.8dBのアンチスクイーミングを得た。それらの状態はホモダイントモグラフィによるWigner関数の構築によって生成を確認した。

第4章では、ホモダイン検出器を用いて干渉した光の二次強度関数の測定し、二光子干渉の実験観測を行った。2組のホモダイン検出器を用いたHanbury-Brown Twiss (HBT) 干渉計を使用してコヒーレント状態、二つディスプレイスクイズド状態の二次強度関数を測定した。この測定で二光子が検出されやすくなっているかを判断できる。コヒーレント状態ではコヒーレント状態のディスプレイメント $\alpha$ に関わらず $g^{(2)}(0)=1$ となった。振幅スクイズド状態とコヒーレント状態を干渉により生成したブライトスクイズド状態では $g^{(2)}(0)<1$ となるアンチバンチング状態が観測され、破壊的二光子干渉させていると判断できた。位相スクイズド状態とコヒーレント状態を干渉により生成したブライトスクイズド状態では常に $g^{(2)}(0)>1$ となるバンチング状態となり建設的二光子干渉させていると判断できた。

第5章では、まとめとして、本研究の成果、残された課題、および将来への展望について記した。

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名	呉 道華
審査委員主査	張 贇
委員	中川 賢一
委員	渡邊 昌良
委員	富田 康生
委員	清水 亮介
委員	
委員	

量子光学および量子情報の実験研究については大きくわけて(1)離散変数と(2)連続変数の二つである。前者の研究については、単一光子検出器を利用した測定方法で光の粒子性を根幹として行う。また、後者はホモダイン検出器を用いて光の直交位相振幅を観測量として扱う。本論文は、従来単一光子検出器を利用して観測する二光子干渉現象をホモダイン検出器により観測した。光子の統計特性と光の二次相関関数の関係を導き、測定した二次相関関数から光子干渉を観測した。本論文は以下の5章からなる。

第1章は序章であり、研究の背景と研究の目的が述べられている。本研究が当該学問分野においてどのような位置づけを与えることができるかと理解することができる。

第2章は本研究関連する量子光学の基礎詳述している。特にいろいろな量子状態の特性、ホモダイン検出器の原理および二光子干渉の原理を説明している。世界初めて二光子干渉と干渉した光の二次相関関数の関係を導出したことができた。研究着眼と成果に新規性を見出すことができる。

第3章では、スクイズド状態、ブライトスクイズドなど量子状態の生成の実験および実験結果を示し、議論を行った。二光子干渉は真空スクイズド状態とコヒーレント状態を干渉させるために、真空スクイズド状態の生成実験を行った。本論文は連続波の Nd:YAG レーザーを用いた、第二高調波を発生し、PPKTP 結晶を用いた光パラメトリック増幅器(OPA)によって1.5dB のスクイーミング、2.8dB のアンチスクイーミングの真空スクイズド状態を生成した。コヒーレント状態については、EOMで光の側帯波に純粋な状態を生成した。続いて、いろいろな量子状態の生成し、ホモダイントモグラフィによるWigner関数の構築によって生成した状態を確認した。

第4章では、ホモダイン検出器を用いて干渉した光の二次強度関数の測定し、二光子干渉の実験観測を行った。二組のホモダイン検出器を用いて二つしたディスプレイスクイズド状態およびコヒーレント状態の二次強度関数を測定した。従来単一光子検出器を利用して観測する二光子干渉現象を測定した二次強度関数を判定した。コヒーレント状態では、ディスプレイメント $\alpha$ に関わらず $g^{(2)}(0)=1$ となった。振幅スクイズド状態とコヒーレント状態を干渉により生成したブライトスクイズド状態では $g^{(2)}(0)<1$ となるアンチバンチング状態をはじめホモダイン検出器を用いて観測された。これは、破壊的二光子干渉させていると判断できた。一方、位相スクイズド状態とコヒーレント状態を干渉により生成したブライトスクイズド状態では常に $g^{(2)}(0)>1$ となるバンチング状態となり建設的二光子干渉と判断できた。初めてホモダイン検出器を用いて二光子干渉の実験観測を行うことは本研究に重要な意義を認めることができる。ホモダイン検出器で光の直交位相振幅を測定によって光の粒子性である光子の干渉を観測するおよび多光子干渉に関して新たな知見を得る研究を行うことが期待できる。また、未来の量子情報通信および量子計測の発展を支える基盤技術として応用面からも期待される。

第5章では、まとめとして、本研究の成果、残された課題、および将来への展望について記した。

以上、本論文では、量子光学連続変数領域に用いた測定方法で離散変数領域に観測する二光子干渉を実験的観測した。本研究の遂行にあたっては、両研究領域関する高度かつ幅広い知識と洞察力を必要とする。本方法も、未来量子光学両研究領域のリンクおよび量子情報通信領域の応用も期待される。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。