



Title	Quantum diffraction and interference of entangled photon pairs generated by spontaneous parametric down-conversion
Author(s)	清水, 亮介
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44338
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	し 清 水 亮 介
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 7 9 4 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 15 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	Quantum diffraction and interference of entangled photon pairs generated by spontaneous parametric down-conversion (パラメトリック下方変換により生成された「もつれ合い光子対」の量子回折と干渉)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 伊 藤 正 (副査) 教 授 張 紀久夫 教 授 菅 滋正 教 授 枝松 圭一

論 文 内 容 の 要 旨

近年、古典的な波動光学では理解することが出来ない多光子状態の光の振る舞いを理解するための新しい概念として“**photonic de Broglie 波**”が提唱されているが、この概念の妥当性、およびその有用性は未だに確立されていない。そこで、本学位論文では **photonic de Broglie 波** の概念の実験的検証に取り組んだ。

一般に多光子状態の **photonic de Broglie 波長** を測定することは現在の技術では困難であるが、本論文では二光子状態すなわち“**biphoton**”に限定すれば測定可能であることを見出し、二つの方法を用いて実験を行った。これらの方法ではパラメトリック下方変換により生成された光子対と **Mach-Zehnder 干渉計** とを用い、干渉計のどちらか一方の光路を **biphoton** として経由し、一方の出力ポートに **biphoton** として出力された光のみを検出する。すると、その干渉周期は **biphoton** の **photonic de Broglie 波長** を反映しているはずである。この様な状況を実現するための第一の方法として、二光子の量子干渉効果として知られている **Hong-Ou-Mandel 干渉** を用いた。また、第二の方法では光子対による干渉のコヒーレンス長の違いを利用した。その結果、これら二つの実験からともに **biphoton** の **photonic de Broglie 波長** を反映した周期を伴った干渉振動を観測することに成功した。

上述した **photonic de Broglie 波** の概念に従うような多光子状態の光は新しいイメージング技術へ応用が期待されている。しかし、そのイメージ形成過程は未だに明らかになっていない。そこで、光子対を構成する二光子間の量子相関効果が回折・干渉パターン形成に果たす役割を調べるために、一次元回折格子によるパラメトリック光子対の回折・干渉パターンを測定した。その結果、二光子が完全な相関を持ち、**biphoton** として振舞うような(量子的)回折・干渉パターンから、相関を全く持たない独立な二光子としての(古典的)パターンへと変化していく様子を観測することに成功した。また、得られた結果に対して空間相関効果を考慮した二光子波束に対するフーリエ解析を用いることでこれらの回折パターンをすべて再現することにも成功した。その結果、光子間の空間相関効果が回折・干渉パターン形成に重要な役割を果たすことを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

近年、古典的な波動光学では理解することが出来ない多光子のもつれ合い状態の光の振る舞いを理解するための新しい概念として、多光子状態の“**photonic de Broglie 波**”が提唱されているが、この概念の妥当性、およびその有用性は未だに確立されていない。また、**photonic de Broglie 波**の概念に従うような多光子状態の光はその特異な回折現象を利用して新しいイメージング技術への応用が期待されているが、そのイメージ形成過程は明らかになっていない。

本学位論文では多光子状態の“**photonic de Broglie 波**”の概念を実験的に検証し、さらに多光子状態を形成する光子間の量子相関効果が回折・干渉パターン形成に果たす役割を実験的に検証することを目的としたものである。

まず、一般の多光子状態の **photonic de Broglie 波長**の測定は困難であるが、二光子状態すなわち“**biphoton**”に限定すれば測定が可能であることを見出し、パラメトリック下方変換により生成された光子対と **Mach-Zehnder** 干渉計とを用いて、干渉計のどちらか一方の光路を **biphoton** として経由し、一方の出力ポートに **biphoton** として出力された光のみを検出すれば、その干渉周期は **biphoton** の **photonic de Broglie 波長**を反映しているはずであることを予想した。この予想に基づき、二光子の量子干渉効果として知られている **Hong-Ou-Mandel** 干渉を用いることによって、**biphoton** の **photonic de Broglie 波長**を反映した周期（1光子の半分の周期）を伴った干渉振動を観測することに成功した。

次に、上述したような、**biphoton**のみが関与した干渉を測定する別の方法として、光子対による干渉のコヒーレンス長の違いを利用する方法を提案し、実験を行った結果、この方法においても **biphoton** の運動量、すなわち **photonic de Broglie 波長**に対応した周期を持つ干渉を観測することに成功している。

さらに進んで、パラメトリック下方変換により生成された光子対を構成する光子間の量子相関効果が回折・干渉パターンの形成に果たす役割を調べるために、一次元回折格子によるパラメトリック光子対の回折・干渉パターンを測定した。その結果、二光子が完全な相関を持ち、**biphoton** として振舞うような（量子的）回折・干渉パターンから、相関を全く持たない独立な二光子としての（古典的）パターンへと変化していく様子を系統的に観測することに成功した。また、得られた結果に対して空間相関効果を考慮した二光子波束に対するフーリエ解析を用いることで、これらの回折パターンを再現できることを示した。

以上のように、本学位論文では、**photonic de Broglie 波**の概念の妥当性を実験的に実証したもので、多光子もつれ合い状態の光の振る舞いに対する基本的理解を進めた点で意義深いものである。さらに、**photonic de Broglie 波**の概念を回折現象に拡張し、光子間の空間相関効果が回折・干渉パターンの形成に果たす役割をも明らかにしており、もつれ合い光子を利用した新しいイメージング技術に対する寄与としても注目される。このように本論文は多光子状態の基礎と応用研究の双方の発展に寄与するところが大きく、博士（理学）の論文として価値あるものと認める。