

論文審査の結果の要旨

氏名 藪下 篤史

本論文は、「広帯域パラメトリック光子対の発生とその微弱分光等への応用実験 (Generation of broadband photon pairs and its application to absorption spectroscopy and quantum key distribution)」を、5章からなる和文でまとめたものである。広帯域パラメトリック光子対の持つ量子力学的絡み合いの性質を用いて、分光実験への応用と量子暗号鍵配布の基礎実験のデモンストレーションを行い、その結果と解析を述べている。第1章では、導入として、光の量子的性質として近年注目されているさまざまな量子力学的絡み合いを有する光子対を用いた実験、特に、本研究でも用いられる自発的パラメトリック下方変換により発生する周波数や偏光の絡み合った光子対を用いた実験の概要を述べている。第2章では、自発的パラメトリック下方変換を用いた広帯域にわたる周波数絡み合い光子対の発生方法とその評価結果を述べている。第3章では、第一の応用実験として行った、周波数絡み合い光子対を用いた吸収分光測定の研究を記述している。第4章では、第二の応用実験として行った、周波数多重量子暗号鍵配布にむけた基礎実験の手法と結果を記述している。第5章では、まとめを述べている。なお、付録として、実験を遂行する指針として必要な計算、すなわち、位相整合計算により BBO 結晶の角度に応じて自発的パラメトリック下方変換光がどのように変化するかのシミュレーション、分光系の波長較正と分解能の見積りを行った結果を述べている。

本研究で用いた、自発的パラメトリック下方変換による光子対の発生と、発生した微弱な絡み合った光子対の同時計数測定を行う実験装置は、藪下氏が独自に構築したオリジナルなものであり、アラインメントのための工夫などが織り込まれている。周波数の絡み合いを良くするために、連続波チタンサファイアレーザーを光源として用い、自作した第二高調波発生共振器により 430nm の連続波光をつくり、これをポンプ光としている。そして、これを短焦点距離のレンズにより BBO 結晶内に絞込み、自発的パラメトリック下方変換による広帯域周波数絡み合い光子対を発生する。その光子対をビームスプリッタで分岐し、時間相関光子検出装置を用いて同時計数を行うものである。

本研究では、第一の応用実験として、吸収分光へのデモンストレーションをおこなった。偏光ビームスプリッタによりシグナル光とアイドラー光を分けて、アイドラー光の側には試料をおいてその透過光を検出し、シグナル光の側には回折格子を置いて分光した光を同時検出する。シグナル光側を分光しているにもかかわらず、試料の透過分光スペクトルが検出できることを、初めて提案し実証することに成功したものであり、真空紫外や赤外領域での分光実験に適用した場合の利点も指摘している。

第二の応用実験として、上記の方法で発生される量子絡み合いを持った広帯域光子対を

用いて周波数多重量子暗号鍵配布の実験を行うためにポイントとなる、偏光絡み合い状態の評価測定を行った。ここでは、光子対を無偏光ビームスプリッタを用いて分岐し、それぞれのビームを偏光子を通して同時検出する（その際、片方のビームはさらに回折格子で分光して検出する）。片方の偏光子1のさまざまな角度設定に対して、他方の偏光子2の角度をスキャンすると、同時計数が最大となる偏光子2の角度にシフトが観測された。一方、シミュレーションを行って、偏光絡み合いがあるときのみこの角度のシフトが起こり、偏光絡み合いがない場合は単に振幅だけが変化することを示しており、上記の実験結果が、発生された広帯域の光子対が偏光絡み合いを持っていることの証明となっていることを明らかにしている。データのSN比やシフト量の大きさにさらなる改善の余地はあるが、周波数多重量子暗号鍵配布実験の基礎実験として価値のあるものと判断される

総じてこれらの成果は、量子力学的絡み合いを持った光子対を発生し、その特性を生かした新しい応用実験の可能性を拓くものとして、高く評価できる。

なお、本論文の中核をなす研究内容は指導教官らとの共著論文として学術誌に印刷公表ないしは公表予定であるが、測定装置の開発、実験の遂行、結果の解析など大部分は論文提出者が主体となって行ったものと判断される。

よって、論文審査委員会は全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認めた。