

論文審査の結果の要旨

氏名 堀切智之

本論文は5章からなる。第1章は、イントロダクションであり、量子鍵配布の原理、実験上の問題点、および本研究の意義が述べられている。第2章は、量子鍵配布の基礎事項に関するものであり、量子鍵配布の具体的手順および安全鍵生成率の定式化、伝令光子源および時間多重検出器の概要などが述べられている。第3章では、伝令光子源の安全鍵生成率が定量的に解析されている。第4章では、時間多重検出器による伝令光子源の多光子低減の実験について述べられている。第5章では、本研究のまとめと今後の展望が述べられている。

量子鍵配布の本質は、1ビットの情報を1光子によって伝送する点にある。しかしながら、理想的な単一光子源は未だに開発されていない。これまでの量子鍵配布実験には、1パルスあたりの平均光子数が1以下であるようなレーザー光（コヒーレント光）のパルス（weak coherent pulse）が光源として主に用いられてきた。しかし、コヒーレント光パルスの光子数はポアソン分布しており、2つ以上の光子を含む光パルスが一定の割合で存在する。そのような複数光子パルスは、第三者による盗聴を可能とするため、結果的に安全鍵生成率の劣化を招く。本研究の目的は、パラメトリック下方変換によって生成した光子対および光子数識別器を用いることにより、コヒーレント光パルスの欠点を回避した量子鍵配布の実用的光源を開発することにある。

パラメトリック下方変換によって生成した光子対の一方を受信側のトリガーとして検出し、他方を信号（伝令）光子として受信側に送ることにより、受信側の光子検出器のダークカウントを実効的に減少させることができる。第3章では、盗聴を見破るための強力な手法であるデコイ法と呼ばれる手法を前提として、パラメトリック下方変換を用いた伝令光子源の安全鍵生成率を初めて定量的に解析した。この解析により、伝令光子源の最長伝送距離がコヒーレント光パルスの140 kmから、理想的な単一光子源の最長伝送距離である170 kmにまで伸びることが示された。

トリガーの検出器として光子数を識別できる検出器を用い、この検出器が単一光子を検出した場合にのみ受信側にトリガー信号を送れば、複数光子が低減された（実効的に単一光子の）伝令光子源が実現できる。このアイデアに基づき、現存する単一光子検出器（threshold detector）を複数個組み合わせることで時間多重検出器を構成し、光子数識別を実現した場合の安全鍵生成率も第3章で解析されている。その結果、時間多重検出器を用いることによって、全ての伝送可能距離に対して約2倍の安全鍵生成率の向上が見られること

が確認された。

本研究では、パラメトリック下方変換を用いた伝令光子源に対し、実際に時間多重検出器を構築し、複数光子低減を始めて実現した。その詳細は第 4 章に述べられている。本研究では、複数光子低減の確認のために、伝令光子源が 2 光子を発生したときのみ、光源の強度相関を測定するというオリジナルな手法を用いた。その結果、時間多重検出器を用いることによって、約 10%の複数光子低減率が実現されていることが確認された。この低減率は時間多重検出器の量子効率（約 28%）によって制限される値である。本研究は、単に伝令光子源の複数光子低減を実現しただけでなく、高速論理回路を用いてリアルタイムに信号を処理して受信側にトリガー信号を送るスキームを構築した点にも意義があり、現実的な量子鍵配布への利用に繋がるものである。

なお、本論文の第 3 章は小林孝嘉氏、王海波氏、佐々木秀貴氏、第 4 章は小林孝嘉氏、竹野唯志氏、藪下篤史氏との共同研究であるが、論文提出者が主体的に研究を遂行したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。