
Cascaded Wavelength Conversion Processes in Lithium Niobate Waveguide Structures

Summary

Integrated quantum optics is a young field of research, and its impact on real-world quantum applications is growing rapidly. Efficient, compact, scalable and long-term-stable sources for quantum-optical states play an important role within that framework. The functionality of the sources is intended to guarantee the quality and quantity of the generated states, while high integration densities are desired. Mature technologies and the development of novel measurement methods and apparatus build the basis.

In this dissertation we describe the fabrication and thorough characterization of a nonlinear optical photon source. Its compact design, based on titanium-diffused, periodically poled waveguide structures in lithium niobate allows for the energy-efficient and long-term-stable operation. Several passive and active optical components on a single chip provide us with the generation of photon pairs with high brightness, and we are able to herald single photons with high efficiencies. We show that the functionalities of our photon-pair source suffices the prerequisites of applicable passive-decoy-state quantum cryptography, by which the photon-number-splitting attack of an eavesdropper can be detected and averted.

The main focus lies on cascaded nonlinear frequency conversion processes in periodically poled waveguide structures on the very same device. We show that cascaded sum-frequency generation from the telecom wavelength range to the visible is possible, and that we realized a tunable green laser source in this way. Using cascaded parametric down-conversion we generate almost noise-less three-photon quantum states on a single chip for the first time. Up to now, this was only possible using hybrid systems not benefiting from the prospects of integrated quantum optics in terms of compactness, interface-loss reduction, scalability, and long-term stability. In the outlook we propose an integrated four-photon source as one logic extension.

Zusammenfassung

Die integrierte Quantenoptik ist ein junges Forschungsfeld, dessen Bedeutung für Anwendungen im täglichen Leben stetig zunimmt. Effiziente, kompakte, skalierbare und langzeitstabile Quellen quantenoptischer Zustände spielen dabei eine tragende Rolle. Die Funktionalität der Quellen soll bei hohen Integrationsdichten auf einem einzigen Chip die Qualität und Quantität der erzeugten Zustände garantieren. Eine ausgereifte Technologie sowie die Entwicklung moderner Messmethoden und -instrumente stellen dafür die Basis dar.

In dieser Dissertation beschäftigen wir uns mit der Herstellung und der Charakterisierung einer nichtlinear-optischen Photonenquelle. Ihr kompaktes Design auf Basis Titan-diffundierter, periodisch gepolter Wellenleiterstrukturen in Lithiumniobat erlaubt einen energieeffizienten und langzeitstabilen Betrieb. Mehrere passive und aktive optische Komponenten auf einem einzigen Chip ermöglichen es, Photonenpaare mit hoher Ausbeute zu erzeugen und einzelne Photonen mit hoher Effizienz anzukündigen. Es wird gezeigt, dass die Funktionalität unserer Photonenpaarquelle den Anforderungen der Quantenkryptographie genügt, um photonenzahlbedingte Angriffe eines Störers zu erkennen und mittels passiver Köderzustände zu umgehen.

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf der Kaskadierung zweier nichtlinearer Frequenzkonversionsprozesse durch gepolte Wellenleiterstrukturen auf dem selben Bauelement. Es wird gezeigt, dass die kaskadierte Summenfrequenzerzeugung von klassischem Licht bei Telekommunikationswellenlängen hin zu sichtbarem Licht möglich ist, und dass damit eine abstimmbare grüne Laserquelle realisiert werden kann. Zudem wird die kaskadierte parametrische Fluoreszenz verwendet, um besonders rauscharme quantenoptische Drei-Photonen-Zustände erstmalig auf einem einzigen Chip zu erzeugen. Dies war bisher nur in hybriden Systemen möglich, die von den Vorteilen der Integrierten Quantenoptik im Hinblick auf Kompaktheit, Kompatibilität, Skalierbarkeit und Langzeitstabilität nicht profitieren. Wir geben einen Ausblick auf eine Vier-Photonen-Quelle als logische Erweiterung dieser Arbeit.