

Projekt

Faser-Resonatoren für die lichtbasierte Quantentechnologie (FaResQ)

Koordinator:

Prof. Dr. Stefan Linden
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Nussallee 12
53115 Bonn
Tel.: 0228 / 732183
E-Mail: linden@physik.uni-bonn.de

Projektvolumen:

1,6 Mio € (Förderquote 80,8%)

Projektlaufzeit:

01.02.2019 – 31.07.2022

Projektpartner:

- Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- Menlo Systems GmbH, Planegg

Die technische Grundlage für die Erschließung quantenphysikalischer Anwendungen

Die Erforschung neuer Quantentechnologien erfährt derzeit weltweit einen beträchtlichen Aufschwung. Dieser wird vor allem von den Erwartungen an die Leistungsfähigkeit des Quantencomputers gestützt. Doch auch andere Quantentechnologien versprechen erhebliche Fortschritte in den Bereichen Messtechnik, Sensorik, Medizintechnik oder Biotechnologie.

Die vielversprechendsten Anwendungen der Quantentechnologien sind jedoch kurzfristig nicht praktisch umzusetzen. Es fehlt hierfür die erforderliche Gerätetechnik, die in großen Teilen erst entwickelt werden muss. Die genutzten Quantenphänomene reagieren sehr empfindlich auf äußere Einflüsse und sind daher sehr kurzlebig. Ihre Bereitstellung und Kontrolle ist mit einem beträchtlichen apparativen Aufwand verbunden. Selbst dort, wo man bereits grundlegende Funktionen nachweisen konnte, ist die technische Beherrschung der Quantensysteme noch viel zu kostspielig und zu wenig robust für eine praktische Nutzung. Es gilt daher, in enger Zusammenarbeit zwischen den Herstellern der technischen Ausrüstungen und den Forschern in den Labors neue Geräte für den Einsatz in den Quantentechnologien zu entwickeln. Stabile und kostengünstige Systeme sollen die Aussichten auf eine erfolgreiche wirtschaftliche Nutzung der Quanteneffekte erheblich verbessern. Eine wesentliche Zielstellung der geförderten Projekte liegt darin, einheimische Unternehmen dabei zu unterstützen, sich als weltweit führende Ausrüster für Forschung und Entwicklung zu etablieren.



Bild 1: Die apparative Beherrschung von Quantenphänomenen für neue Anwendungen ist derzeit noch sehr kostenintensiv und benötigt hochqualifiziertes Personal. (Quelle: iStock.com/Maartje van Caspel)

Lichtbasierte Quantentechnologien

Die präzise Kontrolle der Eigenschaften von Licht und dessen Wechselwirkung mit Materie ist eine Grundvoraussetzung für eine Vielzahl von Quantentechnologien. Zum einen spielen die Quanteneigenschaften von Licht selbst für eine Reihe von Anwendungen unmittelbar eine Rolle. So werden bereits jetzt Quantenzustände von Licht zur sicheren Kommunikation in der Quantenkryptographie eingesetzt, und die Weiterentwicklung der Reichweite zu größeren Distanzen beruht auf der zukünftigen Fähigkeit effiziente Licht-Materie Schnittstellen für sogenannte Quanten Repeater zu realisieren. Zum anderen ist Licht auch ein ausgezeichnetes Werkzeug um Quantenzustände in Materie herzustellen, zu kontrollieren und auszulesen. Dies setzt ebenfalls die präzise Charakterisierung und Kontrolle von Licht und dafür geeignete optische Komponenten voraus. Beispielsweise haben sogenannte Frequenzkammgeneratoren die optische Frequenzmessung revolutioniert und werden bereits vielfach in Quantenexperimenten eingesetzt, um Laser genau auf die jeweiligen Quantenübergänge abzustimmen. Da viele Anwendungsszenarien den Transport von Quanteninformation in Glasfasern vorsehen, wird die Integration aller Komponenten in diesem technologischen Umfeld zukünftig eine immer wichtigere Rolle spielen.

Faser-Resonatoren als Schnittstelle zwischen Licht und Materie

Die Kontrolle von Licht bedeutet, Zugriff auf seine spektrale und/oder zeitliche Zusammensetzung zu besitzen. Eine Schlüsselkomponente hierfür sind optische Resonatoren, die einzelne Moden des elektromagnetischen Felds selektieren und gezielt kontrollierbar machen. Optische Resonatoren werden in der Quantentechnologie sowohl aufgrund ihrer Quanteneigenschaften als auch als „klassisches“ Bauteil eingesetzt. Eine starke Licht-Materie-Kopplung kann durch das Einbringen von geeigneten Materialien wie Atomen, Ionen oder Festkörperquantenemittern in einen abgestimmten optischen Resonator erzielt werden. Eine Möglichkeit der Manipulation der Quantensysteme lässt sich dann durch das Einstrahlen von geeigneten Mikrowellenpulsen erreichen. Optische Resonatoren können aber auch als „klassische“ Schlüsselkomponente für die Manipulation von Lichtfeldern in der Quantentechnologie eingesetzt werden, etwa als durchstimbare optische Filter.

In bisherigen Experimenten und Anwendungen wurden überwiegend Resonatoren verwendet, die aus diskreten konventionellen Spiegeln bestehen. Das vorliegende Projekt setzt an dieser Stelle an: Durch die direkte Integration von dielektrischen Spiegeln in die Endflächen der Glasfasern können optische Resonatoren hoher Güte mit besonders nutzbringenden Eigenschaften wie einem geringem Modenvolumen und eine effiziente Ankopplung an weitere Glasfasern realisiert werden. Diese optischen Faser-Resonatoren stellen somit eine erheblich verbesserte technische Lösung gegenüber makroskopischen Resonatoren dar und können für Anwendungen in den Quantentechnologien Schlüsselkomponenten sein. Konkret wird der Forscherverbund Lösungen für kompakte Resonatoren im Bereich ultravioletten Lichts, Modenfilter für Frequenzkämme auf Basis der Faser-Resonatoren sowie die Integration von miniaturisierten Mikrowellenelementen in der Fasertechnologie für die kohärente Spin-Kontrolle von atomaren und ionischen Quantensystemen erforschen.

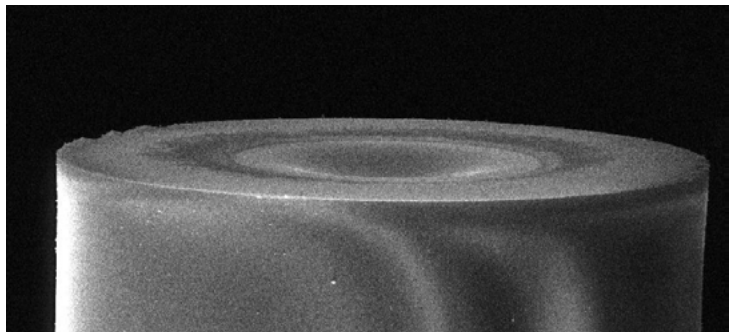


Bild 2: Faserendfläche nach der Bearbeitung mit einem CO₂-Laser.
(Quelle: Universität Bonn)