

## FLMOptChips

Femtosecond Laser Machining of Integrated Quantum Optical Chips

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Quantum Austria 1. Ausschreibung (2022)	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.10.2022	<b>Projektende</b>	30.09.2025
<b>Zeitraum</b>	2022 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Quantencomputer; Mach-Zehnder Interferometer; Integrated Photonics Chips; Waveguides, Femtosecond Laser Machining		

### Projektbeschreibung

Im Laufe des letzten Jahrhunderts hat die kontinuierliche Weiterentwicklung der Quantenphysik eine Vielzahl unterschiedlicher technologischer Anwendungen wie Transistoren oder Laser hervorgebracht, die aus dem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken sind. Ein besseres Verständnis der Quantenmechanik führte zur Entwicklung technologischer Plattformen, mit denen sich quantenmechanische Systeme wie Atome, Elektronen oder Photonen gezielt steuern lassen. Es ist zu erwarten, dass die Nutzung quantenmechanischer Phänomene in verschiedenen Anwendungsbereichen, wie Kommunikation, Sensorik und Informatik, eine immer größere Rolle spielen werden. Quantencomputerplattformen beispielsweise nutzen Quantenphänomene durch das so genannte Quantenbit (Qubit), die z.B. gefangene Ionen, supraleitende Schaltkreise, Defekte in Festkörpersystemen und Photonen realisiert werden. Obwohl derzeit noch unklar ist, welche dieser verschiedenen Qubit-Implementierungen in zukünftigen Quantencomputern zum Einsatz kommen werden, werden Photonen höchstwahrscheinlich eine zentrale Rolle spielen – entweder bei der Adressierung/Auslesung von Quantenzuständen oder als Träger von Quanteninformation.

Die Verwendung von Photonen in skalierbaren Quantencomputerplattformen erfordert die Entwicklung hochentwickelter optischer Netzwerke, die aus zahlreichen optischen Elementen bestehen, die eine zuverlässige Manipulation photonischer Qubits ermöglichen. Diese optischen Netze können jedoch nur selten auf praktische und zuverlässige Weise durch traditionelle "Freistrahl"-Optik, sondern nur durch integrierte photonische Schaltungen realisiert werden, weil sie eine höhere Betriebsrobustheit und auch ein größeres Miniaturisierungspotenzial haben, da die optischen Komponenten, aus denen die photonische Schaltung besteht, in ein einziges Substrat integriert werden. Femtosekundenlaser-Mikrobearbeitung (FLM) gilt als einer der vielversprechendsten Ansätze für die Realisierung integrierter photonischer Schaltungen. Bei FLM werden photonische Schaltungen durch direktes Einschreiben der optischen Komponenten in ein transparentes Substrat realisiert, was einen schnellen Prototyping-Ansatz bei der Entwicklung neuer photonischer Schaltungen ermöglicht. Die FLM-Plattform zeichnet sich darüber hinaus durch ihre große Prozessvielfalt aus, da diese Methode additive, subtraktive und transformative Technologien in ein und demselben Werkzeug kombiniert und gleichzeitig eine außergewöhnliche Flexibilität hinsichtlich der Bandbreite der mit diesem Ansatz bearbeitbaren Materialien aufweist.

FLM wird in dem hier vorgestellten Projekt als Herstellungsmethode für die Realisierung programmierbarer photonischer Schaltungen eingesetzt, die aus Mach-Zehnder-Interferometern und extern gesteuerten thermo-optischen

Lichtphasenverschiebungselementen bestehen und eine beliebige Manipulation von photonischen Qubits ermöglicht. Das Projekt zielt außerdem auf die Entwicklung einer optischen Vorrichtung ab, die eine nahezu verlustfreie Verbindung des photonischen Chips mit Photonenquellen und Detektoren über optische Fasern gewährleistet. Die Erfüllung der Projektziele würden das Potenzial von photonenbasierten Quantensystem untermauern und einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung zukünftiger quantenfähiger Geräte nicht zuletzt in Österreich leisten.

## **Abstract**

Over the last century, the continuous development of quantum physics sparked a wide variety of different technological applications such as transistors or lasers that became an indispensable part of today's life. Gaining an improved understanding of quantum mechanics further initiated the development of technological platforms that allow to specifically control quantum mechanical systems such as atoms, electrons or photons. The harnessing of quantum mechanical phenomena is expected to exponentially boost the development status in various application fields, including communication, sensing and computing. Quantum computing platforms, for example, exploit quantum phenomena through the so called quantum-bit (qubit). Nowadays, several different approaches are investigated for the technical implementation of qubits, such as trapped ions, superconducting circuits, defects in solid state systems and photons. Although it is currently quite unclear which of these different qubit implementations will be eventually utilized in future quantum computers, photons will most likely play a central role - either at the addressing/read-out of quantum states or as carriers of quantum information.

Using photons in scalable quantum computing platforms requires the development of sophisticated optical networks, composed of numerous optical elements, for a reliable manipulation of photonic qubits. These optical networks, however, can be seldom realized in a practical and reliable way through traditional "free-beam" optics but through integrated photonic circuitries. Integrated photonics basically exhibits the same characteristics as traditional optics but additionally allows for an increased operational robustness and miniaturizing potential by integrating the optical components constituting the photonic circuit in a single substrate. The femtosecond laser micromachining (FLM) technology platform is regarded as one of the most promising approaches for the realization of integrated photonic circuits. At FLM, photonic circuit designs are realized by directly inscribing the optical components in the bulk of a transparent substrate, essentially enabling for a rapid prototyping approach at the development of novel photonic circuits. The FLM platform further excels through its large process versatility as this method combines additive, subtractive and transformative technologies in the same tool while showing for an exceptional flexibility regarding the range of materials processable by this approach.

FLM is utilized in the herein presented project as the fabrication method for the realization of programmable photonic circuits composed of Mach-Zehnder interferometers and externally controlled thermo-optic light phase shifting elements. These optical components constitute a single-qubit gate that allows for an arbitrary manipulation of photonic qubits. The project additionally targets the development of an optical device that ensures for an almost loss-less interconnection of the photonic chip to separated photon generation/detection platforms via optical fibres. Fulfilling the project goals would underpin the potential of photon-based quantum systems and make a significant contribution to the development of future quantum-enabled devices, not least in Austria.

## **Projektpartner**

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH