

## OptoQuant

Optically Integrated Quantum Computing

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Quantenforschung (QFTE), Quantenforschung und -technologie (QFTE), QFTE 2020 national	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.06.2021	<b>Projektende</b>	31.08.2024
<b>Zeitraum</b>	2021 - 2024	<b>Projektlaufzeit</b>	39 Monate
<b>Keywords</b>	Quantencomputer; Ionenfallen; Integrierte Optik		

### Projektbeschreibung

Aktuell werden verschiedene Architekturen von Quantenprozessoren zur Realisierung von Quantencomputern international erforscht: von gespeicherten Ionen, über supraleitende Resonatoren bis hin zu Fehlstellen in Kristallstrukturen. Diese Ansätze konzentrieren sich meistens auf die Realisierung eines monolithischen Quantenprozessors in einer einzelnen Apparatur. Damit stellen sich aber langfristig mehrere Skalierbarkeitsprobleme: von der Standardisierung von Schnittstellen, über die Miniaturisierung und Automatisierung in der Fertigung, bis hin zur Realisierung von Quantenprozessornetzwerken. Das OptoQuant-Projekt nimmt sich dieser Probleme an und

- erarbeitet die Grundlagen für eine zukünftige Standardisierung von Ionenfallen-Prozessoren um die Entwicklung und das Testen von Prozessoren durch unterschiedliche Anwender zu vereinheitlichen und zu beschleunigen,
- erforscht und realisiert Ionenfallen mit integrierter Optik auf Basis moderner Halbleiter-Fertigungsprozesse, um Ionenfallen mit garantiert hoher Qualität auf lange Sicht einer Massenfertigung zuführen zu können, und
- legt dabei die Grundlagen für Netzwerke von Quantencomputern sowie Quantenkommunikation basierend auf Ionenfallen.

Aktuelle Forschungsbestrebungen in anderen Forschungsgruppen verfolgen und erweitern die Fähigkeiten von Ionenfallen-basierten Prozessoren von einer auf mehrere Prozessorzonen um parallel Quantenoperationen auszuführen. Zusätzlich werden erste optische Elemente in Ionenfallen integriert: basierend auf der weitverbreiteten CMOS-Technologie werden Fallen entwickelt, und optische Wellenleiter direkt in die Substrate integriert. Das Problem bei diesem Ansatz ist, dass die mit dieser Fertigung kompatiblen Materialien das, für viele Ionenspezies benötigte, ultraviolette Licht stark absorbieren, was die Skalierbarkeit einschränkt. Die Architektur von OptoQuant erforscht und erweitert fortschrittliche Methoden aus der Halbleiterfertigung mit Mehrschichtproduktionsverfahren. Dies erlaubt die Verwendung von Quarzglas, welches bis weit in den UV Bereich transparent ist was das beschriebene Absorptionsproblem löst. Zusätzlich werden in das Quarzglas mit Hilfe von ultrakurzen Laserpulsen direkt Wellenleiter "geschrieben", mit dem Ziel diese sowohl einmodig als auch polarisationserhaltend zu realisieren - was bisher mit diesen Materialien noch nicht demonstriert wurde.

Ein erster Meilenstein des Projekts ist die Realisierung von einmodigen und polarisationserhaltenden Wellenleitern in UV-kompatiblen Substraten. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden die ersten Ionenfallen produziert die einerseits

kompatibel mit industrieller Fertigung sind und andererseits mit Hilfe der integrierten Wellenleiter mehrere Prozessorzonen ermöglicht. Diese Fertigungsmethoden werden einem aktuell noch nicht existierenden Standardisierungsprozess zugeführt, der die Lieferkette von kompatiblen Materialien, Montage und Qualitätskontrolle auf Basis standardisierter Schnittstellen bis zur Charakterisierung des Ionenfallenprozessors abdeckt.

## **Abstract**

Currently, multiple architectures of quantum processors for the realization of quantum computers are being pursued internationally: from trapped ions, superconducting circuits to defects in crystal structures. These approaches usually focus on the implementation of a single quantum processor in a single apparatus. In the long term, however, this poses several scalability problems: from the standardization of interfaces, via miniaturization and automation in production to the realization of quantum processor networks. The OptoQuant project addresses these problems and (a) works on a standardization of ion trap processors to unify and accelerate the development and testing of processors by different users, (b) realises ion traps with integrated optics based on industrial manufacturing processes to be able to mass produce ion traps with guaranteed high quality in the long run and (c) lays the foundations for quantum computer networks and quantum communication based on ion traps.

Current research efforts in other research groups work on extending the capabilities of ion trap-based processors from one to several processor zones to perform quantum operations in parallel. In addition, first optical elements will be integrated into ion traps. Based on CMOS technology, traps will be developed and optical waveguides will be integrated directly into the substrates. The problem with this approach is that the materials used in CMOS manufacturing strongly absorb the ultraviolet light required by many ion species, which limits the achievable efficiency. OptoQuant researches and extends advanced methods from semiconductor production with multi-layer production processes. This allows the use of quartz glass, which is transparent far into the UV range which solves the absorption problem. Here, waveguides are "written" directly into the quartz glass with the aid of ultrashort laser pulses, achieving both: single-mode guiding and maintaining polarization; something that has not yet been achieved within this material.

A first milestone of the project is the implementation of single-mode and polarization-maintaining waveguides in UV-compatible substrates. Based on these findings, the first ion traps will be produced which are compatible with industrial production on the one hand and enable multiple processor zones with the help of the integrated waveguides on the other. The developed manufacturing methods will be the basis of a currently non-existing standardization process covering the supply chain from compatible materials, assembly and quality control based on standardized interfaces to the characterization of the ion trap processor.

## **Projektkoordinator**

- Infineon Technologies Austria AG

## **Projektpartner**

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
- Universität Innsbruck