

QMIRACT

Sensitivity-Enhanced Quantum Mid-Infrared Optical Coherence Tomography for Advanced Ceramics Manufacturing

| | | | |
|---------------------------------|---|------------------------|------------|
| Programm / Ausschreibung | Quantum to Market 2024/25 | Status | laufend |
| Projektstart | 01.11.2025 | Projektende | 31.10.2028 |
| Zeitraum | 2025 - 2028 | Projektlaufzeit | 36 Monate |
| Keywords | integrated photonics, quantum sensing, photonics, mid-infrared technologies | | |

Projektbeschreibung

Das Projekt konzentriert sich auf die Nutzung neuartiger photonischer Quantensensortechniken, um ein einzigartiges Instrument mit einer monolithischen pumpenverstärkten Quelle verschränkter Photonen für die fortgeschrittene Materialforschung, die Qualitätskontrolle und -sicherung sowie die abfallfreie Produktion in High-Tech-Industrien mit hohem Marktbedarf und Wachstumspotenzial zu entwickeln. Die Entwicklung basiert auf der Nutzung der Eigenschaften verschränkter Photonenpaare in einem einzigartigen, kostengünstigen System, das hochempfindliche Strukturanalysen, Bildgebung und effiziente Defektoskopie ermöglicht. Der anvisierte Markt ist die aufstrebende additive Hightech-Keramikherstellung. Die vorgeschlagene Lösung soll neue Einblicke in die Eigenschaften keramischer Werkstoffe (mit besonderem Schwerpunkt auf komplexen Mehrkomponententeilen) bieten, die additive Fertigung fördern und einfache At-Line-Messungen zur Überprüfung und Validierung digital entworfener Teile anbieten. Die Fortschritte in der additiven Keramikfertigung sind in vielen Bereichen von großer Bedeutung, von der Biomedizin (Entwicklung von Implantaten) bis hin zu industriellen Anwendungen und der Mikroelektronik. Das Projekt zielt darauf ab, hochgradig maßgeschneiderte und effizientere Fertigungslösungen zu schaffen, um die Leistung und die Spezifikationen von Keramikteilen zu verbessern, den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen zu verringern und folglich die Kosten zu senken, was eine Bereicherung zahlreicher Bereiche und einen wirtschaftlichen Fortschritt verspricht.

Um die Ziele des Projekts zu erreichen, wird die optische Kohärenztomographie (OCT) im mittleren Infrarotbereich entwickelt—eine Weiterentwicklung der OCT, die sich die Quantentechnologien zunutze macht, um die Empfindlichkeit und Auflösung in industriellen Anwendungen bei geringeren Kosten zu verbessern.

Eine Schlüsselinnovation dieses Projekts ist die Integration einer pumpenverstärkten Quelle verschränkter Photonen auf einer vollständig monolithischen Plattform, ein neuartiger Ansatz, der in der nichtlinearen Interferometrie und Metrologie mit unentdeckten Photonen noch nicht demonstriert wurde. Es wird erwartet, dass dieser Fortschritt die OCT-Empfindlichkeit erheblich verbessert und neue Möglichkeiten für industrielle Anwendungen eröffnet.

Die Projektpartner streben daher hochauflösende und hochempfindliche zerstörungsfreie Prüfverfahren an, die sich für die vielseitige Untersuchung verschiedener physikalischer Eigenschaften und morphologischer Analysen eignen. Um dieses Ziel zu erreichen, werden neue Konzepte der Quantensensorik genutzt. Die Implementierung dieser Methoden im mittleren IR-Spektralbereich unter Ausnutzung der Quantennatur des nicht-klassischen Lichts ermöglicht die Beseitigung spezifischer

Nachteile klassischer Methoden, wie z.B. zu hohe Sondenleistung und hohes Rauschen, und vermeidet ineffiziente Detektion.

Die Projektpartner Austrian Lithoz GmbH (Firmenpartner), Austrian Research Center for Non-Destructive Testing GmbH (RECENDT) und das Österreichische Institut für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI) arbeiten gemeinsam an der Entwicklung, Erforschung, Weiterentwicklung und Anwendung neuer Quantensensortechniken zur Material- und Prozessverbesserung in der angewandten Produktion von High-Tech-Keramik.

Abstract

The project focuses on leveraging novel photonic quantum sensing techniques to develop a unique instrument featuring a monolithic pump-enhanced source of entangled photons for advanced materials research, quality control and assurance, and zero-waste production in high-tech industries with strong market demand and growth potential. The development is rooted in the exploitation of the properties of entangled photon pairs in a unique, cost-effective system capable of high-sensitivity structural analysis, imaging, and efficient defectoscopy. The targeted market is emerging high-tech additive ceramics manufacturing. The proposed solution aims to provide new insights into the properties of ceramic materials (with a special focus on complex multi-component parts), to promote additive manufacturing, and to provide easy at-line measurements for verification and validation of digitally designed parts. The progress in additive ceramics manufacturing is of high importance across multiple fields, from biomedicine (implant development) to industrial applications and micro-electronics. The project aims to create highly customized and more efficient manufacturing solutions to improve the performance and specifications of ceramic parts, reduce energy consumption and CO2 emissions, and consequently lower costs, which promises to enrich numerous fields and provide economic progress.

Quantum mid-infrared optical coherence tomography (OCT)—an advanced evolution of OCT that leverages quantum technologies for improved sensitivity and resolution in industrial applications at reduced costs—will be developed to achieve the project's objectives.

A key innovation of this project is the integration of a pump-enhanced source of entangled photons on a full monolithic platform, a novel approach that has not yet been demonstrated in nonlinear interferometry and metrology with undetected photons. This advancement is expected to significantly enhance OCT sensitivity, opening new possibilities for industrial applications.

Thus, project partners strive to achieve high-resolution and high-sensitivity non-destructive testing capabilities suitable for versatile examination of various physical properties and morphological analysis. Emerging quantum sensing concepts will be exploited to achieve this goal. Implementing these methods in the mid-IR spectral range, exploiting the quantum nature of non-classical light, enables the elimination of specific drawbacks arising from classical methods, such as excessive probing power and high noise, and avoids inefficient detection.

Project Partners Austrian Lithoz GmbH (company partner), Austrian Research Center for Non-Destructive Testing GmbH (RECENDT), and Austrian Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI)—will collaborate to develop, study, advance, and apply new quantum sensing techniques for material and process improvement in the applied production of high-tech ceramics.

Projektkoordinator

- Research Center for Non Destructive Testing GmbH

Projektpartner

- Lithoz GmbH
- Österreichische Akademie der Wissenschaften