

MEEDGARD

Memory-Enhanced Entanglement Distribution with Gallium ARsenide quantum Dots

Programm / Ausschreibung	Quantenforschung (QFTE), Quantenforschung und -technologie (QFTE), Quantenforschung und -technologie, Ausschreibung 2023, transnational	Status	laufend
Projektstart	01.06.2024	Projektende	31.05.2027
Zeitraum	2024 - 2027	Projektlaufzeit	36 Monate
Keywords	quantum memory, entanglement, spin-photon entanglement, quantum communication, semiconductor quantum dots, strain-tuning, laser microprocessing, heterogeneous bonding		

Projektbeschreibung

Kommunikationsnetzwerke, die die Quanteneigenschaften von Photonen und Materie zur Datenübertragung nutzen, sind grundsätzlich sicherer als herkömmliche Netzwerke und werden in der kommenden Ära der Quanteninformationsverarbeitung unverzichtbar. Der grundlegende Baustein für ein solches Quantennetzwerk ist ein Knoten, an dem fliegende photonische Qubits und stationäre Materie-Qubits Informationen effizient und mit hoher Genauigkeit austauschen können. Während mehrere Kandidatenplattformen existieren, zeichnen sich Halbleiter-Quantenpunkte (QDs) aufgrund ihrer optischen Eigenschaften aus: Sie sind die hellsten und kohärentesten Quantenemitter im Festkörper. Jüngste Entwicklungen zur Verbesserung der elektronischen und nuklearen Spinkohärenz in QDs haben die Argumente dafür gestärkt, dieses System als Schwerpunkt einer konzertierten Anstrengung für ein Gerät zu platzieren, das für eine vollständige Hardware-Stack-Demonstration geeignet ist.

Wir schlagen vor, das Fachwissen mehrerer Forschungsgruppen mit komplementären Fähigkeiten und Schwerpunkten zu kombinieren, um eine All-in-One-Gerätelieferung zu erreichen: ein Halbleiter-QD-System, das in der Lage ist, eine Verschränkung zwischen einem Materie-Qubit und einem photonischen Qubit zu erzeugen und diese Verschränkung für 100 Millisekunden zu speichern, eine 105-fache Verbesserung gegenüber früheren QD-basierten Ergebnissen. Wir werden dies mit maßgeschneidertem und theoriegeleitetem QD-Wachstum liefern, um optische und Spin-Eigenschaften zu optimieren, die wir in spektroskopischen Messungen verifizieren werden. Wir werden ein solches QD-Gerät mit (1) einer Dehnungs-Engineering-Plattform integrieren – die die Abstimmung der Schnittstelle zwischen einem Elektronenspin-Qubit und einem Kernregister ermöglicht; (2) eine optische Mikrokavität – die eine effiziente Photonenkopplung ermöglicht; und (3) Hochfrequenzantennen – die eine dynamische Entkopplung des Kernspinregisters für 100 ms ermöglichen. Jedes akademische Mitglied unseres Konsortiums hat mehrere Ergebnisse zu den oben genannten grundlegenden Elementen entweder separat oder im Rahmen von bi-/trilateralen informellen Kooperationen produziert; Dieses Projekt wird die Ressourcen bereitstellen, um Mitglieder zusammenzubringen und ihre vorhandenen Ressourcen zu nutzen, um eine

einzigartige und äußerst wirkungsvolle Demonstration von Quantengeräten zu produzieren. Ein Industriepartner mit Expertise in der heterogenen Integration im Wafermaßstab wird zur Entwicklung hochgradig reproduzierbarer und skalierbarer Herstellungsprozesse beitragen. Der Erfolg von MEEDGARD hätte direkte Auswirkungen auf zukünftige Investitionen in halbleiterbasierte Quantennetzwerke.

Abstract

Communication networks that use the quantum properties of photons and matter for transferring data are fundamentally more secure than traditional networks and will become indispensable in the coming era of quantum information processing. The fundamental building block for such a quantum network is a node where flying photonic qubits and stationary matter qubits can exchange information efficiently and with high fidelity. While multiple candidate platforms exist, semiconductor quantum dots (QDs) stand out owing to their optical properties: they are the brightest and most coherent quantum emitters in the solid-state. Recent developments in improving electronic- and nuclear-spin coherence in QDs have further strengthened the case for placing this system as the focus of a concerted effort towards a device capable of a full hardware stack demonstration.

We propose to combine the expertise of multiple research groups with complementary skills and focuses to achieve an all-in-one device delivery: a semiconductor QD system capable of producing entanglement between a matter qubit and a photonic qubit and storing this entanglement for 100 milliseconds, a 105 improvement over previous QD-based results. We will deliver this with tailored and theory-guided QD growth to optimise optical and spin properties, which we will verify in spectroscopic measurements. We will integrate such a QD device with (1) a strain-engineering platform – allowing tuning of the interface between an electron spin qubit and a nuclear register; (2) an optical micro-cavity – allowing efficient photon coupling; and (3) radiofrequency antennas – allowing dynamical decoupling of the nuclear spin register for 100 ms. Each academic member of our consortium has produced multiple results on the above foundational elements either separately or within bi-/tri-lateral informal collaborations; this project will provide the resources to bring members together and leverage their existing resources to produce a unique and highly impactful quantum device demonstration. An industrial partner, with expertise on wafer-scale heterogeneous integration, will contribute to the development of highly-reproducible and scalable fabrication processes. MEEDGARD's success would have direct ramifications for future investment in semiconductor-based quantum networking.

Projektkoordinator

- Fachhochschule Vorarlberg GmbH

Projektpartner

- EV Group E.Thallner GmbH
- Universität Linz