

Pressemitteilung

Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF

Dr. Armin Müller

28.10.2024

<http://idw-online.de/de/news841920>

Forschungsergebnisse, Forschungsprojekte
Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik / Astronomie
überregional



Große Entwicklungserfolge bei Quantencomputern auf Basis von Spin-Photonen und Diamant

Geringerer Kühlbedarf, längere Operationszeiten, kleinere Fehlerraten: Quantencomputer auf Basis von Spin-Photonen und Diamant versprechen wesentliche Vorteile gegenüber konkurrierenden Quantencomputing-Technologien. Dem vom Fraunhofer IAF koordinierten Konsortium des BMBF-Projekts »SPINNING« ist es gelungen, die Entwicklung Spin-Photon-basierter Quantencomputer entscheidend voranzubringen. Am 22. und 23. Oktober 2024 präsentierten die Partner die bisherigen Projektergebnisse im Rahmen des Mid-Term-Meetings der BMBF-Fördermaßnahme »Quantencomputer-Demonstrationsaufbauten« in Berlin.

Sekundenschnell komplexe Probleme lösen, für die selbst moderne Supercomputer Jahrzehnte bräuchten – darin besteht das Versprechen von Quantencomputern. Doch so klar das Ziel vor Augen steht, so unklar ist der Weg dorthin. Denn bis heute konkurrieren mehrere Ansätze zur Realisierung von Quantencomputern miteinander. Und jeder hat hardware- wie softwareseitig spezifische Vor- und Nachteile, die sich von der Zuverlässigkeit über den Energieverbrauch bis hin zur Kompatibilität mit konventionellen Systemen erstrecken.

Unter der Koordination des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF arbeitet ein Konsortium aus 28 Partnern im Projekt »SPINNING – Quantencomputer auf Basis von Spin-Qubits in Diamant« daran, einen Quantencomputer auf der Grundlage von Spin-Photonen und Diamant zu entwickeln. Dieser soll sich durch geringeren Kühlbedarf, längere Operationszeiten und kleinere Fehlerraten als die anderen Quantencomputing-Ansätze auszeichnen. Das hybride Konzept des Spin-Photon-basierten Quantencomputers sieht darüber hinaus eine höhere Skalierbarkeit und Konnektivität vor, was eine flexible Verbindung mit konventionellen Computern ermöglicht.

Qubits durch Farbzentren in Diamant

»Im Projekt »SPINNING« wollen wir einen wichtigen Beitrag zum Ökosystem der deutschen Quantentechnologie leisten. Dafür nutzen wir die Materialeigenschaften von Diamant, um eine Quantencomputertechnologie zu entwickeln, die genauso leistungsfähig wie die anderen Technologien sein kann, aber keine ihrer spezifischen Schwächen aufweist. Wir erzeugen Qubits mithilfe von Farbzentren im Diamantgitter, indem wir ein Elektron wahlweise in einem von vier künstlich erzeugten Gitterdefekten (Vakanz-Zentren) fangen, die mit Stickstoff (NV), Silizium und Stickstoff (SiNV), Germanium (GeV) oder Zinn (SnV) dotiert werden. Der Elektronenspin koppelt sich durch magnetische Wechselwirkung mit fünf Kernspins benachbarter ¹³C-Kohlenstoffisotope. Der zentrale Elektronenspin kann dann als adressierbares Qubit genutzt werden«, erläutert Prof. Dr. Rüdiger Quay, Koordinator des »SPINNING«-Verbunds und Institutsleiter am Fraunhofer IAF.

»Die einzelnen Qubits bilden eine Matrixstruktur, das Qubit-Register. Der »SPINNING«-Quantencomputer soll aus mindestens zwei und später bis zu vier dieser Register bestehen, die wiederum auf weite Entfernungen von z. B. 20 m optisch gekoppelt werden, so dass ein übergreifender Informationsaustausch stattfinden kann«, so Quay weiter. Die

optische Kopplung zwischen den zentralen Elektronenspins und Registern wird durch einen optischen Router in Kombination mit einer Lichtquelle und einem Detektor zum Auslesen realisiert. Die einzelnen Zustände der Kernspins werden durch Hochfrequenzpulse gesteuert.

Projektergebnisse: Demonstration verschränkter Qubit-Register bei hoher Fidelität

Anlässlich des Mid-Term-Meetings der Fördermaßnahme »Quantencomputer-Demonstrationsaufbauten« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), in dessen Rahmen »SPINNING« gefördert wird, hat das Konsortium am 22. und 23. Oktober 2024 in Berlin die bisherigen Projektergebnisse vorgestellt, die sich durch bemerkenswerte Erfolge kennzeichnen. Es gelang dem Projektteam, erstmals die Verschränkung von zwei Registern aus je sechs Qubits über eine Distanz von 20 m erfolgreich zu demonstrieren und dabei eine hohe mittlere Fidelität (»Treue« i. S. der Ähnlichkeit der verschränkten Zustände) zu erreichen.

Weitere Projekterfolge umfassen signifikante Verbesserungen in der zentralen Hardware und Software sowie der Peripherie für den Spin-Photon-basierten Quantencomputer: Das Basismaterial und dessen Bearbeitung, die Realisierung von Farbzentren in Diamant zur Erzeugung von Qubits, konnten ebenso verbessert werden wie die Technologie der photonischen Resonatoren. Die Grundlage hierfür bildete ein besseres Verständnis der vier Defekttypen im Diamant-Gitter sowie der Fehlermitigation von Qubits auf Diamant-Basis. Ferner ist es dem Konsortium gelungen, die für den Betrieb des Quantencomputer nötige Elektronik zu entwickeln und erste Anwendungen des Quantencomputers für künstliche Intelligenz zu zeigen.

Vorteile im Vergleich mit SSJ-Quantencomputer

Der exemplarische Vergleich der Zwischenergebnisse aus »SPINNING« mit den Kennzahlen von Quantencomputern auf Basis supraleitender Josephson-Kontakte (superconducting Josephson junctions, SJJs), in deren Entwicklung bislang weltweit ein Vielfaches der Ressourcen investiert wurde, unterstreicht den Wert der im Projekt geleisteten Arbeit: Der bislang zwölf Qubits umfassende Spin-Photon-basierte Quantencomputer erreicht im Ein-Qubit-Gatter mit einer Fehlerquote von $< 0,5\%$ das gleiche Ergebnis wie die prominenten SJJ-Modelle Eagle (127 Qubits) und Heron (154 Qubits).

Bei der Kohärenzzeit übertrifft der Spin-Photon-basierte Quantencomputer mit einer Länge von über 10 ms die SSJ-Modelle ($> 50 \mu\text{s}$) deutlich, obwohl die Distanz bei der Verschränkung mit 20 m gegenüber wenigen Millimetern um ein Vielfaches größer ausfällt.

Ausblick: Herausforderungen in Resonatordesign und Softwareentwicklung

Die verbliebenen technischen Herausforderungen bis zum Projektabschluss umfassen einerseits die Weiterentwicklung des Resonatordesigns hin zu einer verbesserten Reproduzierbarkeit und einer genaueren Ausrichtung. Zum andern arbeiten die Forschenden an einer weiteren Verbesserung der Software, die die Steuerungskontrolle des Spin-Photon-basierten Quantencomputers automatisieren soll.

Über das Projekt »SPINNING«

»SPINNING« wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF mit der Fördermaßnahme »Quantencomputer-Demonstrationsaufbauten« im Rahmenprogramm der Bundesregierung »Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt« gefördert. Das Fraunhofer IAF leitet das »SPINNING«-Konsortium aus sechs Universitäten, zwei gemeinnützigen Forschungseinrichtungen, fünf industriellen Unternehmen (KMU und Spin-offs) sowie 14 assoziierten Partnern.

Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF (Koordinator)
Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB
Forschungszentrum Jülich GmbH
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Universität Konstanz
Universität Heidelberg
Technische Universität München
Universität Ulm
Diamond Materials GmbH, Freiburg im Breisgau
NVision Imaging Technologies GmbH, Ulm
Qinu GmbH, Karlsruhe
Universität Stuttgart
Quantum Brilliance GmbH, Stuttgart
Swabian Instruments GmbH, Stuttgart
14 assoziierte Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft

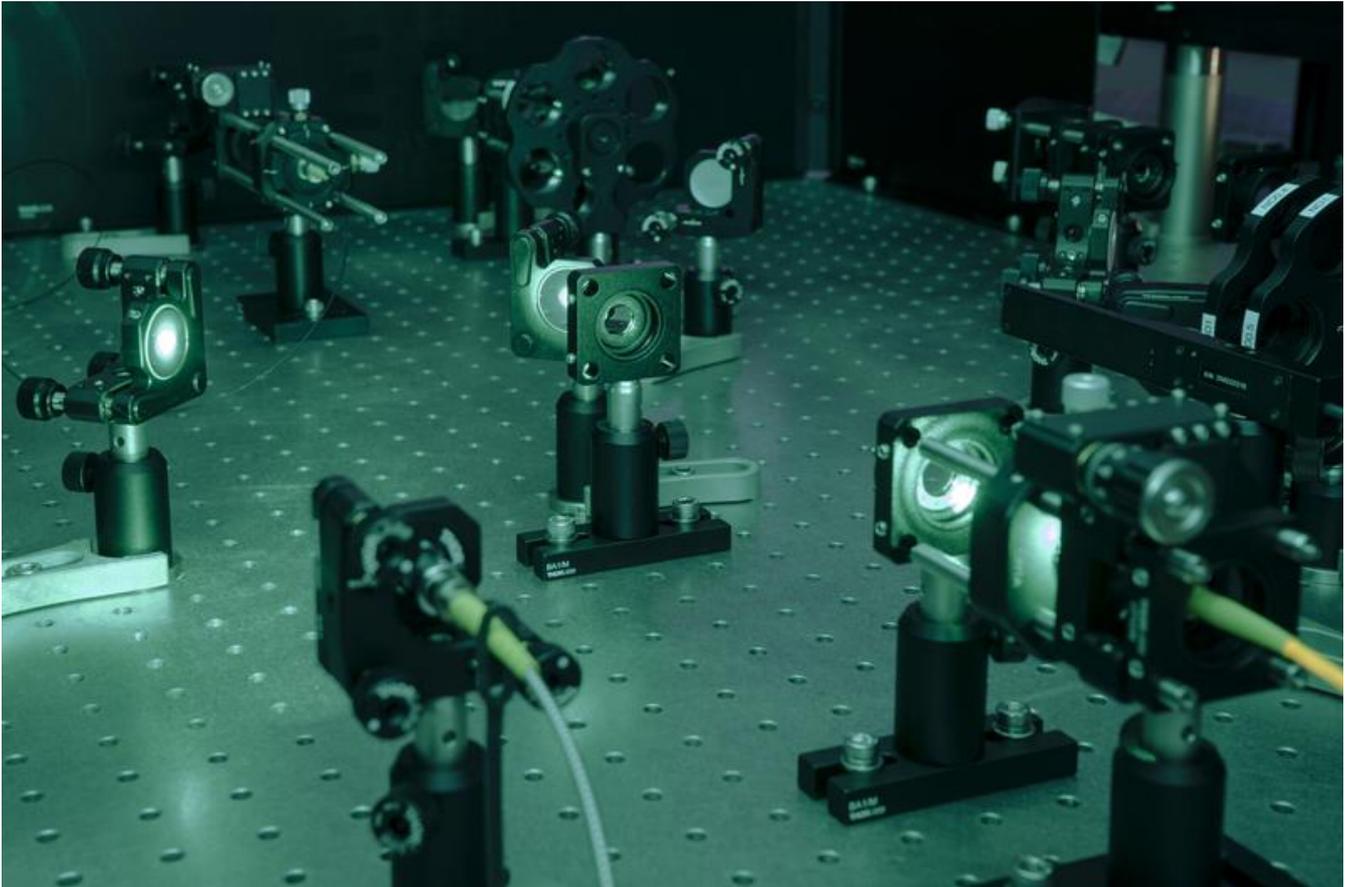
Erfahren Sie mehr über die Partner und ihren Beitrag zum Projekt:
<https://www.spinning-quantencomputing.de/de/partner.html>

Über das Fraunhofer IAF

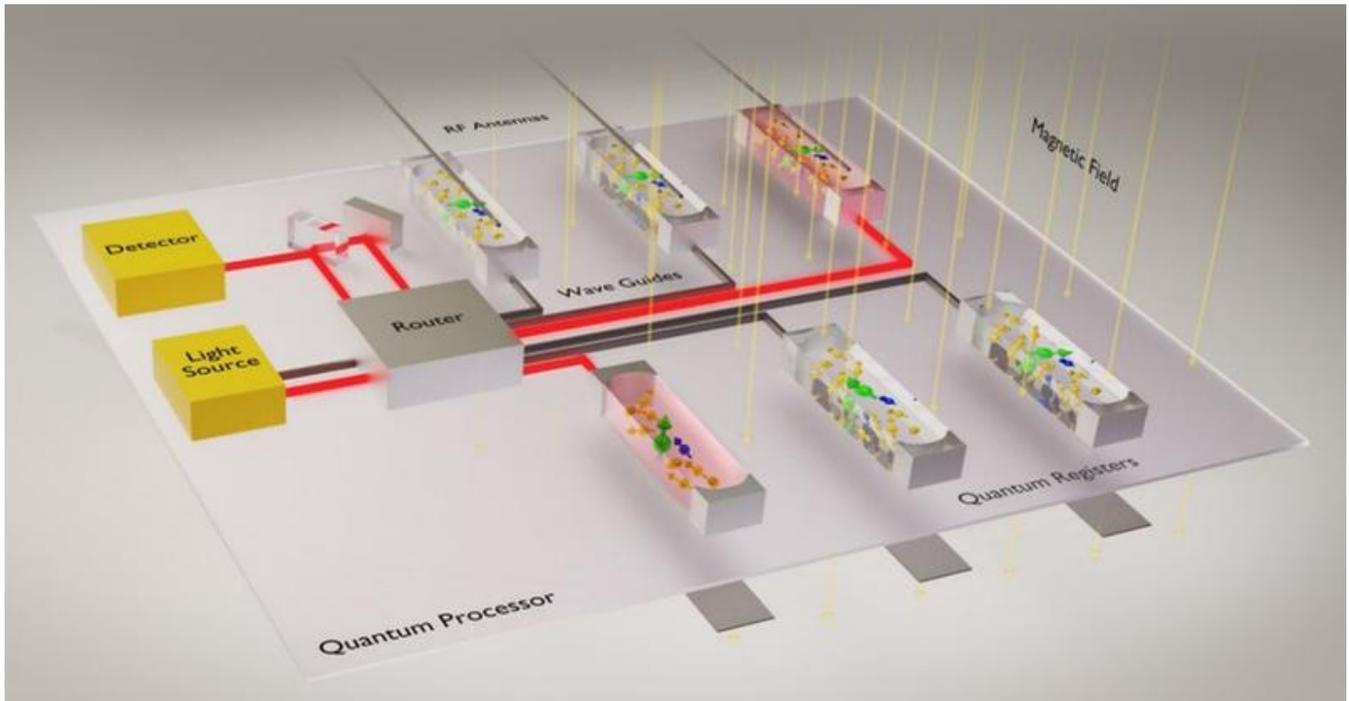
Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF ist eine der weltweit führenden Forschungseinrichtungen auf den Gebieten der III/V-Halbleiter und des synthetischen Diamanten. Auf Basis dieser Materialien entwickelt das Fraunhofer IAF Bauelemente für zukunftsweisende Technologien, wie elektronische Schaltungen für innovative Kommunikations- und Mobilitätslösungen, Lasersysteme für die spektroskopische Echtzeit-Sensorik, neuartige Hardware-Komponenten für Quantencomputer sowie Quantensensoren für industrielle Anwendungen. Mit seinen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten deckt das Freiburger Forschungsinstitut die gesamte Wertschöpfungskette ab – angefangen bei der Materialforschung über Design und Prozessierung bis hin zur Realisierung von Modulen, Systemen und Demonstratoren. <https://www.iaf.fraunhofer.de/>

URL zur Pressemitteilung: <https://www.spinning-quantencomputing.de/> – Projektwebsite

URL zur Pressemitteilung: <https://www.iaf.fraunhofer.de/de/forscher/quantensysteme/quantencomputing.html> – Quantencomputing am Fraunhofer IAF



Optischer Laboraufbau zur Demonstration von Spin-Photon-basiertem Quantencomputing am Fraunhofer IAF
© Fraunhofer IAF



Schematische Darstellung eines Spin-Photon-basierten Quantenprozessors, der aus sechs optisch gekoppelten Quantenregistern besteht
© Fraunhofer