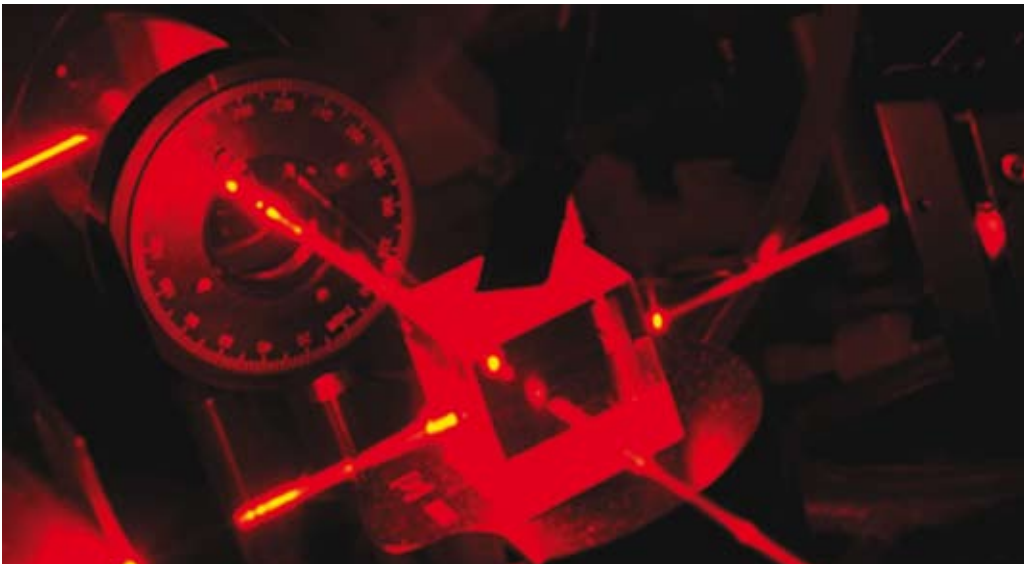




QUANTENINFORMATIONSVARBEITUNG

Glänzende Perspektiven für Festkörper-Qubits

DIE DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)
HAT DIE ZWEITE FÖRDERPERIODE (JULI 2007 BIS JUNI 2011)
DES SONDERFORSCHUNGSBEREICHS 631 BEWILLIGT.



Teil einer Apparatur für quantenoptische Experimente an Festkörper-Qubits.

VON RUDOLF GROSS

Im Sonderforschungsbereich (SFB) 631 „Festkörperbasierte Quanteninformationsverarbeitung: Physikalische Konzepte und Materialaspekte“ arbeiten in 18 Teilprojekten Forschergruppen der Technischen Universität München, der Ludwig-Maximilians-Universität München und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, unterstützt von einzelnen Arbeitsgruppen des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching, der Universität Regensburg und der Universität Augsburg. Nach den sehr erfolgreichen Arbeiten in der ersten Förderperiode wurde die Zahl der Teilprojekte von 15 auf 18 erhöht. Neben den 35 Teilpro-

jektleitern/innen sind mehr als 30 Doktoranden/innen und zahlreiche internationale Gäste an den Forschungsarbeiten beteiligt. In der für vier Jahre bewilligten zweiten Förderperiode wird der SFB 631 mit etwa zwei Millionen Euro pro Jahr gefördert.

Auf dem Weg zum Quantencomputer

Im Mittelpunkt des SFB 631 steht die festkörperbasierte Quanteninformationsverarbeitung (QIV), ein Forschungsgebiet, das sich stürmisch entwickelt, international immer mehr an Bedeutung gewinnt und Ideen und Konzepte aus der Informationstheorie, der Physik und der Mathematik verknüpft. Trei-

bende Kraft für die interdisziplinär arbeitenden Forscherteams sind die faszinierenden Eigenschaften von Quantensystemen und die Vision, in ferner Zukunft mit so genannten Quantenbits (Qubits) leistungsfähige Quanteninformationssysteme realisieren zu können. Als Stichworte sind hier der Quantencomputer und die Quantenkryptographie zu nennen. Falls die Realisierung solcher Systeme gelingt, würden dadurch viele Bereiche der heutigen Wissenschaft und Technologie revolutioniert.

Festkörper-Qubits

Quanteninformationssysteme arbeiten nicht mit klassischen Bits, die nur zwei wohl definierte Zustände annehmen können (Nullen und Einsen), sondern mit Qubits, die auch beliebige Kombinationen dieser beiden Zustände annehmen können. Mit Hilfe solcher Qubits können Quantencomputer Prozesse massiv parallel verarbeiten und dadurch bestimmte Probleme (z. B. die Zerlegung großer Zahlen in Primzahlen) wesentlich schneller lösen als heutige klassische Rechnerarchitekturen. Mittels Quantenkryptographie lassen sich sensible Informationen vollkommen sicher übertragen.

Ein wesentliches Problem bei der Realisierung von Quanteninformationssystemen ist die Entwicklung einer geeigneten Hardware. Fest-



körpersysteme, mit denen bereits unsere heutigen Informationssysteme realisiert werden, werden auch für die Implementierung von QIV-Systemen als viel versprechend angesehen. Als Qubits, den elementaren Einheiten von QIV-Systemen, kommen winzige Nanostrukturen aus Supraleitern, Halbleitern oder magnetischen Materialien in Frage.

Supraleitende Quantenschaltkreise

In der ersten Förderperiode des SFB 631 wurden bereits verschiedene Festkörper-Qubits erfolgreich hergestellt. Die Forschungsarbeiten am Walther-Meißner-Institut (WMI) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften konzentrieren sich auf die Herstellung und Untersuchung von supraleitenden Fluss-Qubits. In diesen ringförmigen Bauelementen werden quantenmechanische Superpositionszustände von links- und rechtszirkulierenden supraleitenden Strömen zur Realisierung eines Qubits verwendet.

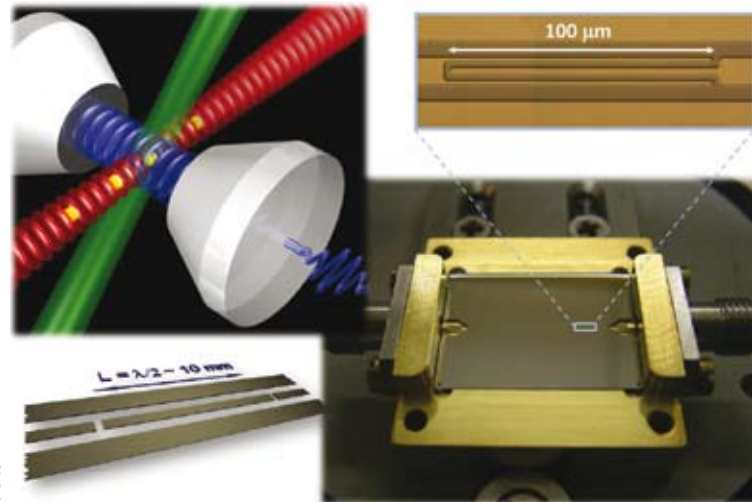
In der zweiten Förderperiode sollen solche Fluss-Qubits an supraleitende Mikrowellenresonatoren angekoppelt werden, wodurch faszinierende quantenelektrodynamische Experimente mit künstli-

chen Festkörpersystemen möglich werden. Da diese Experimente analog zu quantenoptischen Experimenten an Atomen in einem optischen Resonator sind, spricht man von „Quantenoptik auf einem Chip“.

Interdisziplinärer Ansatz

Auf dem Weg zu brauchbaren QIV-Systemen müssen die Forschungsteams des SFB 631 allerdings noch viele physikalische und technologische Fragen lösen. Dazu wird ein stark interdisziplinärer Ansatz verwendet. Durch die Kombination neuester experimenteller und theoretischer Methoden und Techniken wollen die Forscher die physikalischen Grundlagen der Festkörper-Qubits im Detail verstehen und lernen, wie diese effektiv kontrolliert, manipuliert, gekoppelt und ausgelesen werden können. Gleichzeitig wollen sie die materialwissenschaftliche und technologische Basis für eine erfolgreiche Implementierung von festkörperbasierten QIV-Systemen schaffen.

Um diese ehrgeizigen Ziele zu erreichen, bündelt der SFB 631 im Großraum München Forschungsaktivitäten aus den Bereichen der Quanteninformationstheorie, der



SFB 631

theoretischen und experimentellen Festkörperphysik, der Quantenoptik, der Materialwissenschaften und der Nanotechnologie.

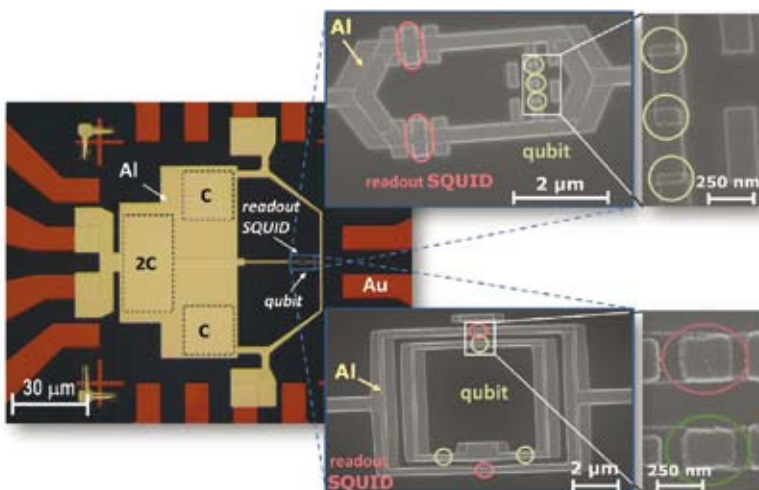
Frauen- und Nachwuchsförderung

Ein wichtiges Ziel des SFB 631 ist die Förderung von Frauen und des wissenschaftlichen Nachwuchses. Mit zwei neuen Teilprojektleiterinnen konnte der Frauenanteil in der zweiten Förderperiode wesentlich erhöht werden. Die erfolgreiche wissenschaftliche Arbeit und Nachwuchsförderung im SFB haben bereits in der ersten Förderperiode dazu geführt, dass neun junge Teilprojektleiter auf eine Professur an anderen Universitäten berufen wurden. Aufgrund der Attraktivität und hohen Aktualität des Forschungsgebiets des SFB 631 und seines Münchener Umfeldes konnten diese durch exzellente Nachwuchswissenschaftler/innen ersetzt werden.

Der Autor ist Direktor des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Ordinarius für Experimentalphysik an der TU München und Sprecher des SFB 631.

SFB 631

Experimenteller Aufbau für Quantenexperimente an natürlichen Atomen in einem optischen Resonator (links oben) und an supraleitenden Quantenbits („künstlichen Atomen“) in einem Mikrowellenresonator (rechts unten). Die anderen Bilder zeigen die Struktur des Mikrowellen-Streifenleiterresonators und eines Einkoppelkondensators.



Supraleitender Quantenschaltkreis mit Fluss-Qubit und SQUID-Ausleseinheit (rechts Ausschnittsvergrößerungen).