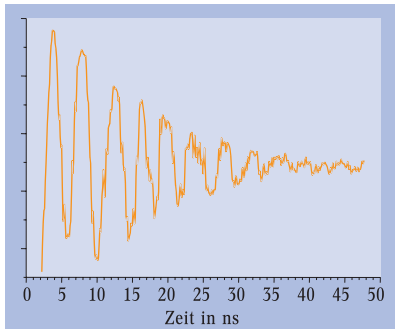
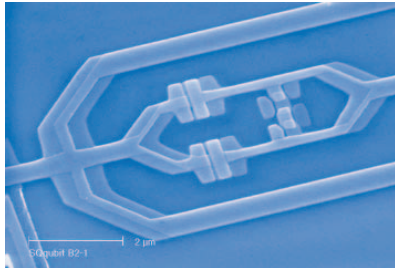


Dr. Yuriy Makhlin,
Prof. Dr. Gerd Schön
und Dr. Alexander
Shnirman, Institut
für Theoretische
Festkörperphysik,
Universität Karlsruhe,
Engesserstr. 7,
76128 Karlsruhe

Oszillationen auch an Fluss-Qubits zu demonstrieren [1]. Sie führten verschiedene, aus der NMR-Technik bekannte Experimente durch: Rabi-Oszillationen, Ramsey-Interferenzen und Spinechoexperimente. (Im Gegensatz zu diesen Quantenoszillationen ist der Josephson-ac-Effekt eine klassische Zeitent-



Das Fluss-Qubit der Delfter Gruppe besteht aus einem kleinen Ring (rechts) mit drei Josephson-Kontakten (hergestellt mit Schattenbedampfungsmethoden aus zwei Richtungen) und dem größeren Auslese-SQUID mit zwei Kontakten [1]. Im unteren Teil sind die Oszillationen im Auslesesignal dargestellt.

wicklung.) Das in verschiedener Hinsicht optimierte System besteht aus einem supraleitenden Ring mit drei Josephson-Kontakten (Abb.). Es hat zwei Eigenzustände mit entgegengesetzter Richtung des zirkulierenden Stromes, die als die beiden logischen Zustände eines Qubits dienen. Diese beiden Zustände unterscheiden sich makroskopisch, denn sie involvieren Milliarden von Elektronen. Die kohärenten Oszillationen belegen, dass auch makroskopische Systeme in einer Superposition von Quantenzuständen vorkommen können, und beantworten damit zugleich die vor Jahren von Leggett [6] gestellte Frage, ob diese fundamentale Eigenschaft der Quantenmechanik auch auf diesem Niveau gültig ist.

Alle bisher beschriebenen Experimente manipulierten nur ein einzelnes Josephson-Qubit, nichttriviale quantenlogische Operationen erfordern aber die Kopplung von Qubits und die Erzeugung verschränkter Zustände. Diese Zustän-

de sind an sich schon interessant, wie das bekannte Einstein-Podolsky-Rosen-Experiment verdeutlicht. In der neuen Arbeit der NEC-Gruppe wurden nun zum ersten Mal kohärente Oszillationen an zwei gekoppelten Ladungs-Qubits beobachtet [2]. Die Analyse der Oszillationen deutet darauf hin, dass ein verschränkter Zustand vorlag, wenn es auch noch nicht gelang, die Korrelation des verschränkten Zustandes direkt zu messen.

Beide Experimente sind wichtige Meilensteine auf dem Weg zu Festkörper-Quantenbauelementen. Mit den erfolgreichen Experimenten an dem Fluss-Qubit wurde eine neue Route eröffnet. Weitere Experimente werden zeigen, welche der Varianten (Fluss-, Ladungs- oder gemischte Qubits) die geeignetsten sind. Die Experimente an zwei gekoppelten Qubits sind der erste Schritt auf dem Weg zu quantenlogischen Bauelementen mit mehre-

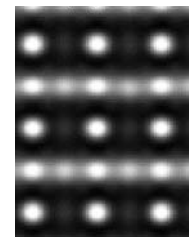
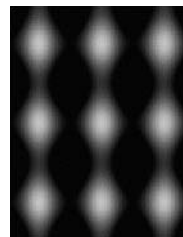
ren (wenigen) Qubits mit möglichen Anwendungen z. B. in der Quantenkryptographie. Sie sind auch der erste Schritt auf dem langen Weg zum Quantenregister mit möglicherweise bis zu Tausenden von Qubits, wie sie für interessante Quantenalgorithmen benötigt werden.

YURIY MAKHLIN, GERD SCHÖN,
ALEXANDER SHNIRMAN

- [1] I. Chiorescu et al., Scienceexpress 10.1126/science.1081045, erscheint in Science
- [2] Yu. A. Pashkin et al., Nature **421**, 823 (2003)
- [3] Yu. Makhlin, G. Schön, A. Shnirman, Rev. Mod. Phys. **73**, 357 (2001)
- [4] Y. Nakamura, Yu. A. Pashkin und J.S. Tsai, Nature **398**, 786 (1999)
- [5] D. Vion et al., Science **296**, 886 (2002)
- [6] A. J. Leggett, A. Garg, Phys. Rev. Lett. **54**, 857 (1985)

Sauerstoff im Visier

Bereits vor weit über 100 Jahren hat Ernst Abbe gezeigt, wie sich Sammel- und Zerstreulinsen zu einem optischen Aplanaten anordnen lassen, in dem die Abbildungsfehler der einzelnen Linsen kompensiert werden. Daher verfügen heute auch einfachste optische Geräte über eine Bildqualität, die in der Optik mit Elektronen noch vor wenigen Jahren unerreichbar erschien. Die Ursache liegt darin, dass runde Elektronenlinsen immer Sammellinsen sind, also der Gegenpart fehlt, um die Abbildungsfehler zu kompensieren. Daher ist es mit einem gewöhnlichen Elektronenmikroskop nicht möglich, einzelne Atome aufzulösen, selbst wenn die de-Broglie-Wellenlänge der Elektronen nur ein Zehntel eines Atomradius beträgt. In den letzten Jahren ist es jedoch gelungen, die Fehler von runden Elektronenlinsen mithilfe unrunder Linsen, insbesondere Sextupol-Linsen, zu korrigieren und dadurch mit einem 200-keV-Elektronenmikroskop eine Auflösung von 0,13 nm zu erreichen.¹⁾ Knut



Urban und Mitarbeiter am Forschungszentrum Jülich haben nun gezeigt, dass sich mit einem solchen aberrationskorrigierten Transmissionselektronenmikroskop einzelne Sauerstoff-Atome in Perowskiten abbilden lassen.²⁾ Zu diesen keramischen Materialien gehören zum Beispiel SrTiO₃, das aufgrund seiner hohen Dielektrizitätskonstante in der

Hochfrequenzelektronik eingesetzt wird, sowie der Hochtemperatur-Supraleiter YBa₂Cu₃O₇. Während in einem „normalen“ Mikros-

kop nur die schweren Strontiumatome zu sehen sind (links), zeigt das korrigierte Mikroskop auch die leichten Sauerstoffatome (rechts; beide Abbildungen sind Simulationen). Mit dieser Abbildungstechnik ist es nun erstmals möglich, Abweichungen vom korrekten stöchiometrischen Verhältnis oder Strukturdefekte, die die elektronischen Eigenschaften der Materialien beeinträchtigen, ortsaufgelöst nachzuweisen. (SJ)

¹⁾ vgl. Phys. Bl., Mai 1998, S. 411

²⁾ C. L. Jia, M. Lentzen und K. Urban, Science **299**, 870 (2003)