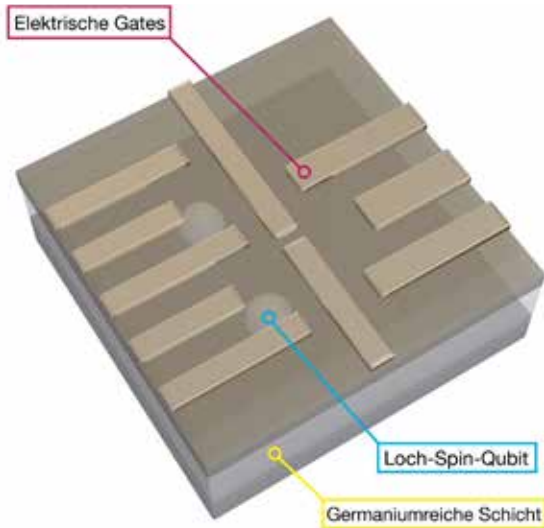


Quantenbits aus Löchern

Wissenschaftler des IST Austria haben ein neues und vielversprechendes Qubit gefunden – an einem Ort, an dem es eigentlich nichts gibt. Dies könnte als Basis für einen Quantencomputer dienen.



Loch-Spin-Qubits in germaniumreicher Schicht. Die beiden Löcher sind auf die nur wenige Nanometer dicke germaniumreiche Schicht beschränkt. Darüber bilden einzelne Drähte mit angelegten Spannungen die elektrischen Gates. Die positiv geladenen Löcher spüren den Einfluss der Drähte und können so innerhalb ihrer Schicht bewegt werden. © Daniel Jirovec

In der Welt der Quantenmechanik können Forscher sogar den leeren Raum, das Fehlen von etwas, zu ihrem Nutzen kontrollieren. Wissenschaftler der Katsaros Gruppe am Institute of Science and Technology (IST) Austria haben nun gemeinsam mit einem internationalen Team in einem Experiment gezeigt, wie sie die Abwesenheit von Elektronen in einem Festkörper kontrollieren können. Diese Löcher wollen sie als Basis für einen Quantencomputer nutzen.

Quantencomputer mit ihren Versprechen, neue Materialien zu ermöglichen und Antworten auf bisher unlösbare mathematische Fragen zu finden, sind ein Traum vieler Physiker. Nun nähern sie sich in vielen Labors auf der ganzen Welt langsam nützlichen Realisierungen. Doch es gilt noch enorme Herausforderungen zu meistern. Eine zentrale ist die Konstruktion von stabilen Quantenbits – der Grundeinheit der Quantencomputer, kurz Qubit genannt, die sich miteinander vernetzen lassen.



In einem in Nature Materials veröffentlichten Paper unter der Leitung von Daniel Jirovec (Bild) vom IST Austria haben Wissenschaftler ein vielversprechendes System für zuverlässige Qubits gefunden. Dafür haben sie eng mit dem L-NESS Inter-university Centre in Como in Italien zusammengearbeitet.

Spin im Nichts. Die Forscher konstruierten das Qubit mit Hilfe des Spins von sogenannten Löchern. Jedes Loch ist nichts anderes als die Abwesenheit eines Elektrons in einem Festkörper.

Erstaunlicherweise kann ein fehlendes negativ geladenes Teilchen physikalisch so behandelt werden, als ob es ein positiv geladenes Teilchen wäre. Es kann sich sogar im Festkörper bewegen, wenn ein benachbartes Elektron das Loch auffüllt. Dadurch bewegt sich das als positiv geladenes Teilchen beschriebene Loch vorwärts.

Diese Löcher tragen sogar die quantenmechanische Eigenschaft des Spins und können miteinander wechselwirken, wenn sie sich nahekommen. „Unsere Kollegen von L-NESS haben verschiedene Mischungen aus Silizium und Germanium nur wenige Nanometer dick übereinander aufgetragen. Das erlaubt uns, die Löcher in die germaniumreiche Schicht in der Mitte einzusperren“, erklärt Jirovec. „Auf der obersten Schicht haben wir winzige elektrische Drähte – sogenannte Gates – angebracht, um die Bewegung der Löcher zu steuern, indem wir Spannung an sie anlegen. Die elektrisch positiv geladenen Löcher reagieren auf die Spannung und können extrem präzise innerhalb ihrer Schicht bewegt werden.“

Mit dieser Steuerung auf einer Skala von Nanometern haben die Wissenschaftler zwei Löcher nahe zueinander gebracht, um aus ihren wechselwirkenden Spins ein Qubit zu erzeugen. Doch damit dies funktioniert, mussten sie das ganze Experiment einem Magnetfeld aussetzen. Hier kommt ihr innovativer Ansatz ins Spiel.

Qubits verknüpfen. Mit ihrem Aufbau können Jirovec und seine Kollegen nicht nur Löcher verschieben, sondern auch deren Eigenschaften verändern. Dadurch konnten sie das Qubit aus den beiden wechselwirkenden Spins der Löcher kreieren, indem sie weniger als zehn Millitesla an Magnetfeldstärke verwendeten. Das ist ein schwaches Magnetfeld im Vergleich zu ähnlichen Qubits, die mindestens zehnmals stärkere Felder benötigen.

Doch warum ist das relevant? „Durch die Verwendung unserer Germaniumschichten können wir die benötigte Magnetfeldstärke reduzieren. Das erlaubt die Kombination unseres Qubits mit Supraleitern, die normalerweise durch starke Magnetfelder gehemmt werden“, erklärt Jirovec. Supraleiter – Materialien ganz ohne elektrischen Widerstand – ermöglichen aufgrund ihrer quantenmechanischen Natur die Verknüpfung mehrerer Qubits. Dies könnte Forschern ermöglichen, neuartige Quantencomputer zu bauen, die Halbleiter und Supraleiter kombinieren. Diese Loch-Spin-Qubits sind nicht nur wegen diesen neuen technischen Möglichkeiten, sondern auch wegen ihrer Verarbeitungsgeschwindigkeit vielversprechend. Mit bis zu einhundert Millionen Operationen pro Sekunde sowie ihrer langen Lebensdauer von bis zu 150 Mikrosekunden scheinen sie für Quantencomputing besonders gut geeignet zu sein. Normalerweise müssen Forscher einen Kompromiss zwischen diesen Eigenschaften eingehen, aber dieses neue Design bringt beide Vorteile zusammen.

Quantum Computing with Holes

Scientists found a new and promising qubit at a place where there is nothing.

In the world of quantum mechanics, researchers can even make empty space, the lack of something, do their bidding. Scientists from the Katsaros group at the Institute of Science and Technology (IST) Austria together with an international team of researchers have now created a new setup to control the absence of electrons in a solid material. They want to use these holes as a basis for a quantum computer.

Quantum computers with their promises of creating new materials and solving intractable mathematical problems are a dream of many physicists. Now, they are slowly approaching viable realizations in many laboratories all over the world. But there are still enormous challenges to master. A central one is the construction of stable quantum bits – the fundamental unit of quantum computation called qubit for short – that can be networked together.

In a study published in Nature Materials and led by Daniel Jirovec from the Katsaros group at IST Austria in close collaboration with researchers from the L-NESS Inter-university Centre in Como, Italy, scientists now have created a new and promising candidate system for reliable qubits.

Spinning Absence

The researchers created the qubit using the spin of so-called holes. Each hole is just the absence of an electron in a solid material. Amazingly, a missing negatively charged particle can physically be treated as if it were a positively charged particle. It can even move around in the solid when a neighboring electron fills the hole. Thus, effectively the hole described as positively charged particle is moving forward.

These holes even carry the quantum-mechanical property of spin and can interact if they come close to each other. “Our colleagues at L-NESS layered several different mixtures of silicon and germanium just a few nanometers thick on top of each other. That allows us to confine the holes to the germanium-rich layer in the middle,” Jirovec explains. “On top, we added tiny electrical wires – so-called gates – to control the movement of holes by applying voltage to them. The electrically positively charged holes react to the voltage and can be extremely precisely moved around within their layer.”



Using this nano-scale control, the scientists moved two holes close to each other to create a qubit out of their interacting spins. But to make this work, they needed to apply a magnetic field to the whole setup. Here, their innovative approach comes into play.

Linking Qubits

In their setup, Jirovec and his colleagues cannot only move holes around but also alter their properties. By engineering different hole properties, they created the qubit out of the two interacting hole spins using less than ten millitesla of magnetic field strength. This is a weak magnetic field compared to other similar qubit setups, which employ at least ten times stronger fields.

But why is that relevant? “By using our layered germanium setup we can reduce the required magnetic field strength and therefore allow the combination of our qubit with superconductors, usually inhibited by strong magnetic fields,” Jirovec says. Superconductors – materials without any electrical resistance – support the linking of several qubits due to their quantum-mechanical nature. This could enable scientists to build new kinds of quantum computers combining semiconductors and superconductors.

In addition to the new technical possibilities, these hole spin qubits look promising because of their processing speed. With up to one hundred million operations per second as well as their long lifetime of up to 150 microseconds they seem particularly viable for quantum computing. Usually, there is a tradeoff between these properties, but this new design brings both advantages together.

Headlines

Fighting Illegal Waste Dumping

The City plans to crack down on the recent rise of illegal dumping and the disposal of non-recyclables at city recycling stations. p. 8

Summer Childcare Options 2021

A wide range of childcare services will be available in Klosterneuburg during the summer holidays. Eligible parents can use a summer childcare voucher to help cover the cost of camps or courses. p. 11

Still Waters Run Deep

Check out our behind-the-scenes look at the popular Strandbad Klosterneuburg. It offers a natural pool, several chlorinated pools, a slide, and various sporting activities directly next to the Danube. p. 14

From Cars to Kids

A former car dealership in Weidling should be turned into a 7-group kindergarten. It will be eco-friendly. p. 19