

Kontakt zur Welt der künstlichen Atome

Wissenschaftler vom Lehrstuhl für Experimentelle Halbleiterphysik I (Prof. Gerhard Abstreiter) des Walter Schottky Instituts der TUM in Garching haben einen Meilenstein gesetzt auf dem Weg zu einer zukünftigen Quanten-Informationstechnologie: Es ist ihnen gelungen, so genannte künstliche Atome elektrisch zu kontaktieren und Quanten-Bits mit hoher Effizienz auszulesen. Die renommierte Fachzeitschrift Nature hat im August 2002 über die Ergebnisse berichtet.

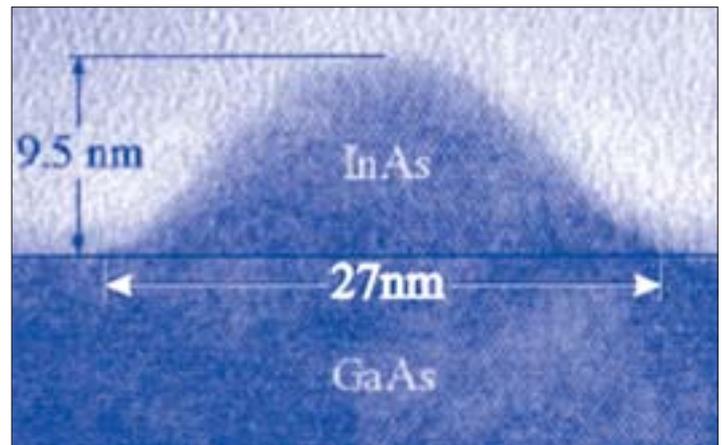
Die Wissenschaftler Prof. Artur Zrenner und Evelin Beham, Doktorandin, aus der Arbeitsgruppe Abstreiter haben ein neues optoelektronisches Bauelement entwickelt, das die Welt der Quantensysteme für zukünftige Anwendungen im Bereich der Quanten-Informationsverarbeitung erschließen könnte. Es handelt sich um eine Photodiode, die nur ein einzelnes Quantensystem in ihrer aktiven Zone enthält. Man könnte eine derart winzige Photodiode als die kleinste Solarzelle der Welt bezeichnen, ihre Funktionalität eröffnet jedoch weit mehr: Sie gestattet einen elektrischen Zugang zu einem einzelnen Quantensystem und macht es damit möglich, die Information eines Quanten-Bits in ein elektrisches Signal umzusetzen.

Kernstück der neuartigen Diode ist eine einzelne Halbleiter-Nanostruktur, ein Quantenpunkt. Dieser Quantenpunkt wird aus einer kristallinen Insel des Halbleitermaterials Indium-Gallium-Arsenid (InGaAs) gebildet, die in ebenfalls kristallines Umgebungsmaterial Gallium-Ar-

senid (GaAs) eingebettet ist. Mit Abmessungen im Bereich weniger Nanometer (ein Nanometer entspricht einem Millionstel Millimeter) ist der Quantenpunkt so klein, dass sein optisches und elektrisches Verhalten von den Gesetzen der Quantenmechanik bestimmt wird - man spricht von einem künstlichen Atom.

Für Anwendungen im Bereich der Quanten-Informationsverarbeitung lassen sich solche künstlichen Atome als Träger von Quanten-Bits verwenden, die im Gegensatz zu konventionellen Bits nicht nur die reinen Zustände »0« und »1« anneh-

der Sprache des Quanten-Bits entspricht ein mit einem Exziton besetztes künstliches Atom dem Zustand »1«. Der Zustand »0« liegt vor, wenn der Quantenpunkt unbesetzt ist. Mit der neu entwickelten Methode können die Quanten-Bits effektiv ausgelesen werden, und zwar auf sehr bequeme Weise mit Hilfe einer einfachen Strommessung. Ähnlich wie bei einer Solarzelle wird hier der durch das eingestrahelte Licht erzeugte Photostrom gemessen. Das optisch erzeugte Exziton wird im elektrischen Feld der Photodiode ionisiert, so dass Elektron und Loch das künstliche Atom verlassen und ei-



Querschnitt durch einen Quantenpunkt. In der transmissions-elektronenmikroskopischen Aufnahme erkennt man die einzelnen Atome der kristallinen Halbleiterstruktur. Eine derartige Insel aus dem Halbleitermaterial InAs enthält etwa 1 000 bis 100 000 Atome.

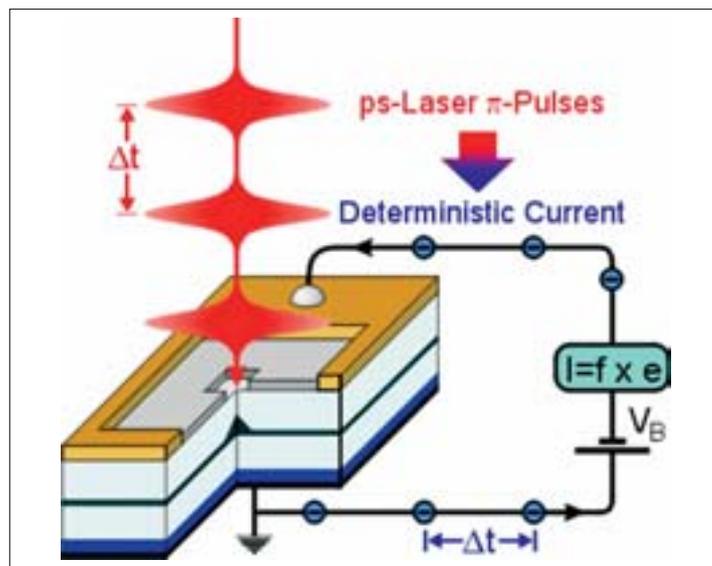
men können, sondern auch beliebige Mischzustände. Zur Erzeugung von Quanten-Bits im künstlichen Atom wurden Elektron-Loch-Paare benutzt, die zusammen im Quantenpunkt ein einziges Teilchen bilden, ein Exziton. Mittels kurzer optischer Laserpulse, die von dem künstlichen Atom absorbiert werden, sind Exzitonen gezielt herstellbar. In

nen Photostrom bilden. Gerade durch den einfachen Zugang zum Zustand des Quanten-Bits über die Strommessung ist das neue Bauelement zukunftsweisend für neuartige Anwendungen in der Quanten-Informationstechnologie.

Besonders interessant wird die Situation bei der gezielten Herstellung des Zu-

stands »1«, da in diesem Fall genau ein Exziton im künstlichen Atom vorliegt. Jeder Laserpuls erzeugt dann genau ein Exziton, das ein Elektron-Loch-Paar zum Photostrom beisteuert und da-

exakt definierte elektrische Ströme umzusetzen. Das erlaubt in Zukunft, exzitonische Quanten-Information elektrisch auszulesen. Diese neue und bis jetzt unerreichte optoelektronische



Schematische Darstellung der Einzelquantenpunkt-Photodiode. Kurze Laserpulse generieren unter bestimmten Bedingungen im Quantenpunkt exakt ein Elektron-Loch-Paar pro Lichtimpuls, das in einem externen Stromkreis nachgewiesen werden kann.

mit zum Transport genau einer Elementarladung durch den Stromkreis führt. Diese Quantenpunkt-Photodiode ist demnach eine optisch getriggerte Einzel-Ladungsquelle, die einzelne Elektronen oder Löcher als Antwort auf einzelne Laserpulse liefert - quasi auf Bestellung. Auf diese Weise kann das neue Quanten-Bauelement frequenzgesteuerte Ströme gemäß der einfachen Beziehung $I=f \cdot e$ erzeugen, wobei f die Wiederholfrequenz der Laserpulse und e die Elementarladung ist.

Funktionalität verbindet die Welt der kohärenten optischen Anregungen im künstlichen Atom mit jener der Einzel-Elektron-Effekte im Bereich der Nanoelektronik.

Evelin Beham

Mit einem derartigen Bauelement ist es also möglich, optische Anregungen in einzelnen Quantensystemen mit hoher Effizienz in

Neues vom Bund der Freunde

Der Bund der Freunde der Technischen Universität München e. V. (BdF) hat in seiner Mitgliederversammlung am 15. November 2002 einen neuen Vorstand gewählt. Nachfolger des langjährigen Vorstandsvorsitzenden Dr. Otto Majewski wurde Dr. Burkhard Göschel, Mitglied des Vorstands der BMW AG; sein Stellvertreter im Vorstand des BdF ist - qua Amt - TUM-Präsident Prof. Wolfgang A. Herrmann. Die Position des Schriftführers hat Prof. Konrad Weckerle inne, Vorstandsvorsitzender der Rhein-Main-Donau AG. Mitglieder des BdF-Kuratoriums sind neben den Vorstandsmitgliedern Prof. Christoph Zenger, Ordinarius für Informatik V der TUM, Dr. Peter Alexander Wacker, Sprecher der Geschäftsführung der Wacker-Chemie GmbH, Prof. Juliane C. Wilmanns, Leiterin des Instituts für Geschichte der Medizin und Medizinische Soziologie der TUM, und RA Gerhard Hess, Hauptgeschäftsführer des Bayerischen Bauindustrieverbands e.V.

Wie es Tradition ist, stand neben den organisatorischen Punkten der Mitgliederversammlung auch ein Festvortrag auf der Tagesordnung: Prof. Ann-Kristin Achleitner, Ordinaria für Unternehmensgründung/Entrepreneurial Finance (DtA-Stiftungslehrstuhl) der TUM sprach über »Entrepreneurship an der TU München - innovativ und (fast) umfassend«. Außerdem wurden sieben mit je 1 550 Euro dotierte BdF-Promotionspreise verliehen (s. S. 51).

Unikapitäne unter sich



Zur Amtseinführung von Prof. Bernd Huber, neuer Rektor der Ludwig-Maximilians-Universität München, am 9. Oktober 2002 überreichte TUM-Präsident Prof. Wolfgang A. Herrmann als Geschenk einen Bierkrug. Huber solle gelegentlich mit seinem Kollegen ein Bier aus Weihenstephan trinken, so der TUM-Chef in bester Laune, denn schließlich sei die TUM die einzige Universität der Welt mit eigener Bierbrauerei (gegründet 1040). Foto: Marcus Schlaf