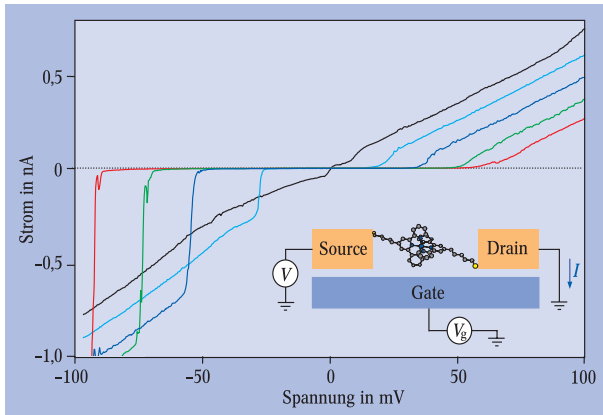


Dr. Heiko B. Weber,
Institut für Nano-
technologie, For-
schungszentrum
Karlsruhe, Postfach
3640, 76021 Karlsruhe

Widerstand zu tiefen Temperaturen hin logarithmisch ansteigen lässt. In den letzten Jahren wurde der Kondo-Effekt auch im Leitwert von sehr kleinen Strukturen wie Halbleiterquantenpunkten oder -ringen entdeckt. Die Phänomenologie ist hierbei allerdings eine andere, denn der Leitwert – nicht der Widerstand – steigt zu tiefen Temperaturen hin logarithmisch an. Analog dazu steigt beim Cornell-Experiment der Leitwert erstaunlicherweise bis nahe an den Idealwert von $2e^2/h$, was angesichts der komplizierten Molekül-Gold-Kopplung nicht selbstverständlich ist.

Im Harvard-Experiment wurde ein Molekül mit einem Divanadium-Kern gewählt, der viel enger in die Molekülstruktur eingewoben ist [2]. Hier kommt die molekulare Struktur des Gesamtmoleküls stärker zum Tragen, der Spin ist nicht auf einem Atom lokalisiert. Obwohl deshalb eine mikroskopische Deutung der Transportprozesse schwierig erscheint, zeigt der Molekülkontakt eine ganz ähnliche Phänomenologie der Kondo-Physik wie im zuvor beschriebenen Experiment.



Strom-Spannungskennlinien des Einzelmolekültransistors [1]. Bunte Linien: Ist die Ladung des zentralen Co-Ions festgelegt, dann ist der Strom bei kleinen Spannungen aufgrund der Coulomb-Abstoßung (Coulomb-Blockade) sehr stark unterdrückt. **Stellt man an der Gateelektrode hingegen das Potential so ein, dass der Co^{2+} - und der Co^{3+} -Zustand gleiche Energie besitzen, kann man das Ion kontinuierlich „umladen“. Dann kann Strom auch bei kleinsten Spannungen fließen (schwarze Linie).**

Die besondere Bedeutung dieser Experimente liegt darin, dass hier einige neue Techniken und ein sehr ausgefeiltes Moleküldesign zusammenwirken, um wohlvertraute Effekte auf der allerkleinsten Skala eines einzelnen Moleküls wiederzufinden: den Einzelelektronentransistor und den Kondo-Effekt. Die molekulare Elektronik bewegt sich weitgehend in noch nicht beschriftetem Neuland. Deshalb ist es um so wichtiger, dass man an Beispiel-

systemen die physikalischen Prinzipien klar identifizieren kann. Somit ist ein wichtiger Meilenstein für die molekulare Elektronik erreicht. Mit Sicherheit werden weit komplexere Experimente und vielleicht auch technologische Neuerungen folgen.

HEIKO B. WEBER

- [1] J. Park et al., Nature **417**, 722 (2002).
- [2] W. Liang et al., Nature **417**, 725 (2002).
- [3] H. Park et al., Nature **407**, 57 (2000).
- [4] J. Reichert et al., Phys. Rev. Lett. **88**, 176804 (2002).

Photonenpaare: gemeinsam durch dick und dünn

Messungen der Transmission verschränkter Photonen durch metallische Gitter zeigen, dass die Verschränkung auch nach der Umwandlung in Oberflächenplasmonen erhalten bleibt.

Quantenkryptographie, Teleportation und Quantencomputing sind Phänomene, die auch außerhalb von Forscherkreisen Aufsehen erregen, nicht zuletzt weil sie sich unserem klassischen Naturverständnis entziehen. So ist die Nichtlokalität der Quantenwelt dafür verantwortlich, dass eine Messung an einem Teilchen instantan die Eigenschaften eines anderen Teilchens festlegen kann. Der Zustand eines derartigen Teilchenpaares heißt verschränkt, d. h. er kann nicht in Einzelteilchen-Wellenfunktionen faktorisiert werden.

Photonen zum Beispiel lassen sich durch parametrische Fluoreszenz in BBO-Kristallen leicht verschränken [1]. Dabei wird ein Pumpphoton in zwei zueinander orthogonal polarisierte Photonen von halber Energie umgewandelt. Es entstehen Photonen in zwei Propagationsrichtungen, deren Polarisationen isotrop verteilt, jedoch perfekt antikorreliert sind. Typischerweise können mit dieser Methode ca. 30 000 Photonenpaare pro Sekunde erzeugt werden.

Um den Grad der Verschränkung zu untersuchen, misst man in einem Aufbau wie in Abb. a die Polarisation der Photonenpaare mittels der Polarisatoren P1 und P2 und registriert sie in Koinzidenz auf den Photodetektoren D1 und D2. Gelingt eines der verschränkten Photonen durch den Polarisator P1, ist

die Wahrscheinlichkeit, dass das zweite Photon durch P2 transmittiert wird, gleich null, falls P1 und P2 parallel stehen, und eins, falls sie gegeneinander um 90° gedreht sind. Fixiert man P1 auf den Winkel ϕ_1 und misst die Koinzidenzzählrate als Funktion des Winkels von P2, erhält man eine Polarisationskorrelation wie in Abb. c. Sind die Photonen nicht verschränkt (z. B. durch eine ungewollte Messung der Polarisation eines der beiden Photonen), so ist die Wahrscheinlichkeit, ein Photon nach Transmission durch P2 zu detektieren, unabhängig von der Stellung von P1. Eine Beimischung unverschränkter Photonen verringert also den Kontrast der Messung, d. h. die Signalamplitude S dividiert durch die maximalen Zählrate Z . Somit ist der Kontrast ein Maß für die Verschränkung.

Zum Leidwesen derjenigen, die sich Anwendungen von Quantenphänomenen wie der Verschränkung erhoffen, zerstört eine Kopplung an die klassische Welt die Kohärenz der Quantenzustände. Als klassische Phänomene werden auch gemeinhin die so genannten Oberflächenplasmonen (OP) behandelt. Sie sind kollektive Schwingungen von etwa 10^{10} Elektronen, die an der Oberfläche von Metallen wellenartig propagieren können. Altewischer et al. [2] von der Universität Leiden zeigen jedoch, dass die Verschränkung sogar erhalten bleibt, wenn die Photonen in Oberflächenplasmonen und sodann wieder in Photonen umgewandelt werden. Die OP verhalten sich also wie ein Quantenphänomen.

Um eine Kopplung der Photonen an die OP-Moden zu gewährleisten, verwenden die niederländischen Forscher einen 200 nm dicken Goldfilm, der mit einem rechtwinkligen Lochraster (Gitterkonstante 700 nm, Lochdurchmesser 200 nm) versehen ist (siehe Abb. b). Bei geeigneter Wahl der Photonenenergie werden die diagonal verlaufenden OP-Moden auf der vorderen Filmseite resonant angeregt. Die optisch angeregten OP-Moden koppeln durch die Löcher an OP auf der Rückseite des Films, deren Energie dann wieder als Photonen abgestrahlt wird. Die erzielte Transmission von 4 % des einfallenden Lichts ist etwa zehnmal so groß wie es eine Rechnung auf Grund der Geometrie des Films erwarten ließe [3].

