

Künstlerische Darstellung eines kugelförmigen Quantenpunktes (fluoreszierendes Kugelensemble), eingebettet in eine Halbleiteroberfläche (blaue, grüne und gelbe Kugeln).

Quantenpunkt-Transistoren:

Eine flexible Alternative zu Silizium?

Quantenpunkt-Logikschaltungen liefern die lange gesuchten Bausteine für innovative Geräte, darunter druckbare Elektronik, flexible Displays und medizinische Diagnostik.

» Henning Wriedt, USA-Korrespondent



Forscher des Los Alamos National Laboratory und deren Kollegen von der University of California, Irvine, haben grundlegende elektronische Bauelemente aus winzigen Strukturen, den sogenannten Quantenpunkten, geschaffen und daraus funktionale Logikschaltungen zusammengesetzt.

Dr. Victor I. Klimov ist ein Fellow des Los Alamos National Laboratory (LANL), Director of the Center for Advanced Solar Photophysics (CASP), ein Energy Frontier Research Center (EFRC) des US Department of Energy (DOE), und Leiter des Nanotechnology and Advanced Spectroscopy Teams. Er ist zudem ein Fellow von APS und OSA und ein Empfänger des Humboldt Research Awards.

Die Innovation verspricht einen kostengünstigeren und fertigungsfreundlichen Ansatz für komplexe elektronische Geräte, die sich mit einfachen, lösungsbasierten Techniken in einem Chemielabor herstellen lassen. Sie sind lang gesuchte Komponenten für eine Vielzahl innovativer Elektronikschaltungen.

Vielseitige Einsatzbereiche

«Potenzielle Anwendungen des neuen Verfahrens für elektronische Geräte, die auf ungiftigen Quantenpunkten basieren, umfassen unter anderem druckbare Elektronikschaltungen, flexible Displays, Lab-on-a-Chip-Diagnostik, tragbare Geräte, medizinische Tests, intelligente Implantate und die Biometrie», sagte Dr. Victor Klimov, ein auf Halbleiter-

Nanokristalle spezialisierter Physiker in Los Alamos und Hauptautor eines Berichtes, der diese neuen Ergebnisse in «Nature Communications» erläutert.

Leicht zugängliche, chemische Verfahren

Jahrzehntlang verlässt sich die Mikroelektronik auf besonders reines Silizium, das in einer speziell geschaffenen Reinraumumgebung verarbeitet wird. In letzter Zeit wurde die Silizium-basierte Mikroelektronik jedoch von mehreren alternativen Technologien herausgefordert, die die Herstellung komplexer elektronischer Schaltungen ausserhalb eines Reinraums durch kostengünstige, leicht zugängliche chemische Verfahren ermöglichen.

Interessante Alternative

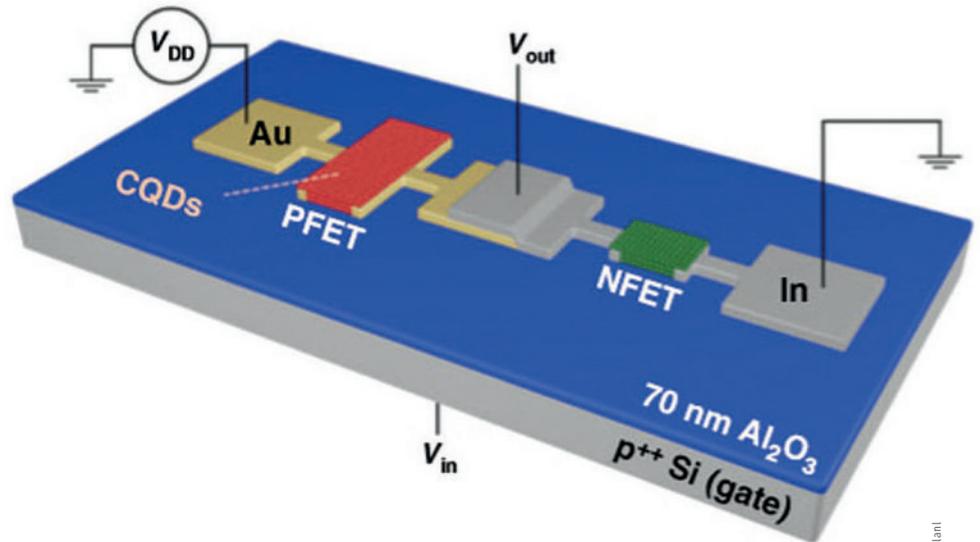
Kolloidale Halbleiter-Nanopartikel, die mit chemischen Methoden in viel weniger strengen Umgebungen hergestellt werden, sind eine solche neue Technologie. Aufgrund ihrer geringen Grösse und ihren einzigartigen Eigenschaften, die direkt von der Quantenmechanik beeinflusst werden, benennt man diese Partikel als Quantenpunkte.

Ein kolloidaler Quantenpunkt besteht aus einem Halbleiterkern, der mit organischen Molekülen bedeckt ist. Aufgrund dieser hybriden Natur kombinieren sie die Vorteile gut bekannter traditioneller Halbleiter mit der chemischen Vielseitigkeit molekularer Systeme.

Grundstein moderner CMOS-Technologie

Diese Eigenschaften sind attraktiv für die Realisierung neuartiger, flexibler elektronischer Schaltungen, die sich auf praktisch jede Oberfläche drucken lassen, einschliesslich Kunststoff, Papier und sogar auf die menschliche Haut. Diese Fähigkeit könnte zahlreichen Wirtschaftsbereichen zugutekommen, darunter Unterhaltungselektronik, Sicherheit, digitale Beschilderung und medizinische Diagnostik.

Ein Schlüsselement elektronischer Schaltungen ist ein Transistor, der als Stromschalter funktioniert und durch eine angelegte Spannung aktiviert wird. Normalerweise werden Transistoren in Paaren von n- und p-Typ-Bauteilen geliefert, die den Fluss negativer beziehungsweise positiver elektrischer Ladungen steuern. Solche Paare von komplementären Transistoren sind der Grundstein der modernen CMOS-Technologie, die Mikr



Durch die Aufbringung von Gold (Au)- und Indium (In)-Kontakten erhalten die Forscher zwei entscheidende Arten von Quantenpunkt-Transistoren auf demselben Substrat und öffnen damit die Tür zu einer Vielzahl innovativer Elektronikschaltungen.

prozessoren, Speicherchips, Bildsensoren und andere elektronische Geräte ermöglicht.

Langjährige Forschung

Die ersten Quantenpunkt-Transistoren wurden bereits vor fast zwei Jahrzehnten demonstriert. Die Integration von komplementären n- und p-Typ-Bauelementen in derselben Quantenpunktschicht blieb jedoch eine langjährige Herausforderung.

Darüber hinaus konzentrierten sich die meisten Bemühungen in diesem Bereich auf Nanokristalle auf der Basis von Blei und Kadmium. Diese Elemente sind hochgiftige Schwermetalle, was den praktischen Nutzen der demonstrierten Bauelemente stark einschränkt.

Problem der Toxizität gelöst

Das Forscherteam aus Los Alamos und dessen Mitarbeiter von der University of California, Irvine, haben gezeigt, dass sie mit schwermetallfreien Kupfer-Indium-Selenid (CuInSe₂)-Quantenpunkten sowohl das Problem der Toxizität lösen als auch gleichzeitig eine einfache Integration von n- und p-Transistoren in derselben Quan-

tenpunktschicht erreichen konnten. Als Beweis für den praktischen Nutzen des entwickelten Verfahrens erstellten sie funktionierende Schaltungen, die logische Operationen ausführen.

Die Innovation, die Klimov und seine Kollegen in ihrem neuen Bericht vorstellen, erlaubt es ihnen, p- und n-Typ-Transistoren zu definieren, indem sie zwei verschiedene Metallkontakte (Gold bzw. Indium) verwenden.

Einfache Integration

Sie vervollständigten die Bauelemente, indem sie eine gemeinsame Quantenpunktschicht auf die vorstrukturierten Kontakte aufbrachten. «Dieser Ansatz erlaubt die einfache Integration einer beliebigen Anzahl von komplementären p- und n-Typ-Transistoren in derselben Quantenpunktschicht, die als kontinuierlicher, unstrukturierter Film mit standardisiertem Spin-Coating hergestellt wurde», sagte Klimov.

Unterstützt wurde dieses Forschungsprojekt vom «Laboratory Directed Research and Development» (LDRD) Programm am Los Alamos National Laboratory und dem University of California (UC) Office of the President. «

SCHRIFTTUM

J. Yun, J. Lim, J. Roh, D. C. J. Neo, M. Law, and V. I. Klimov, Solution-processable integrated CMOS circuits based on colloidal CuInSe₂ quantum dots, Nature Communications, DOI: 10.1038/s41467-020-18932-5.

QUELLE

 **Los Alamos**
NATIONAL LABORATORY
Los Alamos National Laboratory
<http://www.lanl.gov>