

Linz, 22. Februar 2016

JKU-ForscherInnen ging Licht auf: Weltweit erster Silizium-Quantenpunkt laser gebaut

Künftig werden die Signale auf Computerchips nicht mehr ausschließlich elektrisch übertragen, sondern zunehmend mit Licht. Da Computerchips auf Silizium basieren, dieses aber für Lichtquellen nicht geeignet ist, stehen die Chipentwickler vor Problemen. JKU-WissenschaftlerInnen präsentierten nun eine vielversprechende Lösung: Den weltweit ersten Silizium-Germanium-Quantenpunkt laser.

Aufgrund der ständigen Miniaturisierung verlaufen inzwischen in einem nur wenige Quadratzentimeter großen Computerchip mehrere Kilometer an Kupferleitungen zur elektrischen Signalübertragung. Das führt zu hohen elektrischen Widerständen und entsprechend niedrigen Taktfrequenzen. Die Datenübertragung zwischen Rechenzentren und auch im Internet nutzt schon seit längerem Lichtsignale in optischen Glasfaserkabeln. Weltweit wird nun intensiv daran gearbeitet, die Signalübertragung auch innerhalb eines einzelnen Computer-Chips optisch - also mit Lichtgeschwindigkeit - zu übertragen. Doch das wirft neue Probleme auf.

Keine Alternative zu Silizium

„Silizium ist leider ein indirekter Halbleiter, das heißt, es ist für effiziente Lichtquellen nicht geeignet“, so Dr. Moritz Brehm vom Institut für Halbleiter- und Festkörperphysik der JKU (Institutsvorstand: Univ.-Prof. Armando Rastelli). Im Gegensatz zu direkten Halbleitern, aus denen konventionelle Leuchtdioden (LEDs) hergestellt werden, benötigen indirekte Halbleiter zur Erzeugung eines Lichtquants einen *Dreiteilchenprozess* (siehe Kasten unten). „Die Wahrscheinlichkeit, dass tatsächlich Licht ausgesendet wird, sinkt durch dieses Problem um mehrere Zehnerpotenzen“, erklärt Brehm. Eine Abkehr vom Silizium kommt aber nicht in Frage: „Direkte Halbleiter lassen sich nur mit unwirtschaftlich hohem Aufwand in Computerchips integrieren, die wiederum aufgrund der erreichbaren Miniaturisierung auch in Zukunft ausschließlich auf dem Halbleitermaterial Silizium beruhen werden.“

Weltweit wird daher intensiv nach Konzepten und Materialien für die „*monolithische Integration*“ von Lichtquellen auf Silizium-Chips gesucht. Darunter versteht man die parallele Fertigung von Bauelementen auf ein und demselben Substratmaterial, hier also einer kristallinen Silizium-Scheibe.

Neuer Ansatz: Quantenpunkte

Genau das ist einem Team um Dr.ⁱⁿ Martyna Grydlik und Dr. Moritz Brehm (Abteilung Halbleiterphysik) nun gelungen – mit Hilfe von Quantenpunkten. Quantenpunkte sind wenige Nanometer (1 Nanometer = 1 Millionstel Millimeter) große physikalische Objekte, in denen Ladungsträger (Elektronen und Löcher) wie in Käfige eingeschlossen werden. Aufgrund der kleinen Abmessung der Quantenpunkte (sie bestehen nur aus einigen tausend Atomen) werden Quantenpunkte auch künstliche Atome genannt. Allerdings kann man, im Gegensatz zu richtigen Atomen, die physikalischen Eigenschaften der Quantenpunkte gezielt durch deren Herstellung steuern.



Abb.1: v.l.: Dr.ⁱⁿ Martyna Grydlik, Dr. Moritz Brehm

Germanium-Beschuss

Damit waren die JKU-PhysikerInnen aber noch nicht zufrieden: Um den Käfig noch kleiner zu machen, wurden die Quantenpunkte mit Germanium-Ionen beschossen und so kontrolliert einzelne Defekte eingebracht. „Damit werden die Käfige so klein, dass die ‚Heisenbergsche Unschärferelation‘ wirkt und den ‚Dreiteilchenprozess‘ überflüssig macht“, so Dr.ⁱⁿ Martyna Grydlik.

So erzeugen die modifizierten Quantenpunkte auch noch bei Raumtemperatur effizient Licht, welches künftig für die Informationsübertragung auf Computerchips verwendet werden soll. Für die Realisierung des Silizium-Germanium-Lasers haben die ForscherInnen die Quantenpunkte in Mikro-Scheibenresonatoren (siehe Abbildung 2) mit etwa zwei Mikrometern Durchmesser eingebettet (1 Mikrometer = 1 Tausendstel Millimeter). Das Licht wird in der Scheibe ständig reflektiert und läuft damit dauernd im Kreis. Dabei werden die eingebetteten Quantenpunkte zur Lichtaussendung angeregt, was wiederum das umlaufende Licht so lange verstärkt, bis schließlich die Schwelle zur Lasertätigkeit überschritten wird.

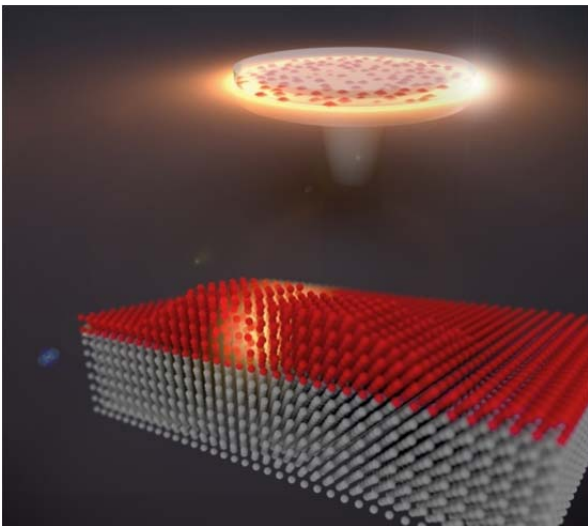


Abb. 2: Auf Silizium gewachsener Germanium-Quantenpunkt mit lokal gestörtem Kristallgitter. Im Hintergrund ein schematisches Bild eines Mikro-Scheibenlasers mit Germanium-Quantenpunkten (rot) als Verstärkermaterial. Illustration: Florian Hackl

Industrie bereits interessiert

Der Linzer Quantenpunkt-Laser, dessen Realisierung gerade in der Fachzeitschrift „ACS Photonics“ veröffentlicht wurde, wird zurzeit noch optisch angeregt. Der nächste Schritt der JKU-PhysikerInnen zielt darauf ab, einen elektrisch angeregten Laser herzustellen, der sich vollständig auf Chipebene in einen digitalen Silizium-Schaltkreis integrieren und von dort auch ansteuern lässt. Die Grundlagen für den Silizium-Germanium-Quantenpunktlaser wurden im Rahmen von mehreren FWF-geförderten Projekten erarbeitet. Die anschließende Bauelementintegration soll in Zusammenarbeit mit der österreichischen Halbleiterindustrie erfolgen, die bereits großes Interesse signalisiert hat.

Vielfältige Möglichkeiten

Neben der Integration von Silizium-basierten Lichtquellen für die optische Inter- und Intra-Chip-Signalübertragung bergen die neuartigen Nanostrukturen auch das faszinierende Potential, sogenannte Einzelphotonenquellen erstmals auf Siliziumbasis herstellen zu können. Dadurch ließe sich Quantenkryptographie und herkömmliche Elektronik auf ein und demselben Silizium-Chip vereinigen. „Aber das wird erst die Zukunft zeigen, wir sind noch am Anfang“, meint Dr. Brehm mit Blick auf neue Herausforderungen.

Dreiteilchenprozess:

Im Gegensatz zu direkten Halbleitern, wie z.B. Galliumnitrid, benötigen indirekte Halbleiter neben einem Elektron und einem Loch noch ein drittes Teilchen zur Erzeugung eines Lichtquants.

Mehr Infos zum Institut:

jku.at/hfp

Artikel in „ACS Photonics“:

<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsp Photonics.5b00671>

Kontakt:

DI Dr. Moritz Brehm
Abteilung Halbleiterphysik
0732 2468 9688
moritz.brehm@jku.at