

## Mitgliedsporträt: nextnano GmbH



**Garching bei München.** – Die nextnano GmbH ist eine Ausgründung des Lehrstuhls für Theoretische Halbleiterphysik des Walter Schottky Instituts der Technischen Universität München und entwickelt Simulationssoftware für elektronische und optoelektronische Nano-Halbleiterbauelemente.

Für die Erforschung und Simulation von Terahertz-Quantenkaskadenlasern auf Silizium-Germanium-Basis erhält sie nun 300.000 € von der Europäischen Union. Zusammen mit Projektpartnern soll ein Miniatur-Halbleiterlaser entwickelt werden, der zur etablierten siliziumbasierten CMOS-Fabrikationstechnologie kompatibel ist.

Optoelektronische Halbleiterbauelemente wie LEDs oder Laser werden typischerweise mit sogenannten III-V-Halbleitern realisiert. Dies sind Verbindungen, die aus Elementen der III. und V. Hauptgruppe des Periodensystems zusammengesetzt sind, wie beispielsweise GaAs, InP oder GaN, deren quantenmechanische Struktur einen direkten („strahlenden“) Bandübergang aufweist. Silizium und Germanium aus der IV. Hauptgruppe hingegen sind Halbleiter mit indirekter Bandlücke und daher nicht ohne Weiteres für optoelektronische Anwendungen geeignet, weil die effiziente Emission von Photonen eine direkte Bandlücke erfordert.

Die Vision der Siliziumphotonik ist die Erweiterung der etablierten CMOS-Fabrikationstechnologie um photonische Bauelemente. Leider ist es schwierig und teuer Fabrikationsprozesse der Siliziumindustrie mit der Technologie der III-V-Halbleiter zu kombinieren.

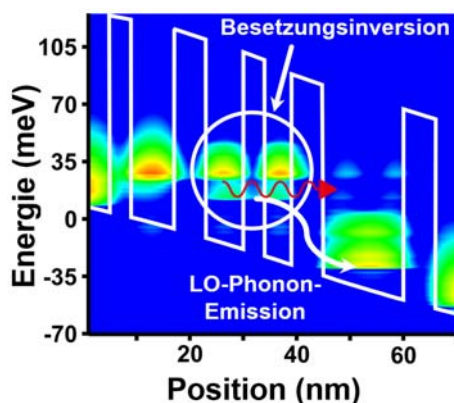


Bild 1: Funktionsprinzip eines Quantenkaskadenlasers: Das Bild zeigt die berechnete energieaufgelöste Elektronendichteverteilung. Bild: T. Kubis.

ren. Eine Lösung des Problems könnten Laser auf SiGe-Basis sein. Quantenkaskadenlaser (QCL) haben den Vorteil, dass ihr Funktionsprinzip unabhängig von der Art der Bandlücke ist. Auf Bild 1 wird gezeigt wie durch eine extern angelegte Spannung Elektronen von links nach rechts beschleunigt werden. Sie tunneln quantenmechanisch durch die Barrieren des Leitungsbandprofils (weiße Linie). In der „aktiven Zone“ (weißer Kreis) füllt sich auf diese Weise das obere Energieniveau. Da gleichzeitig das untere Energieniveau unter Aussendung von LO-Phononen (quantisierte Gitterschwingungen des Kristalls) effizient entleert wird, entsteht zwischen beiden Niveaus eine sogenannte „Besetzungsinversion“, eine der beiden Grundvoraussetzungen für das „Lasern“. Zwischen oberem und unterem Energieniveau findet stimulierte Emission von Photonen statt (roter Pfeil). Die Wellenlänge des Lasers ist durch den energetischen Abstand dieser Niveaus festgelegt und kann mittels „Wavefunction Engineering“ in der Designphase eingestellt werden.

QCLs decken den Wellenlängenbereich vom mittleren über das ferne Infrarot bis hin zur THz-Strahlung ab. Mögliche kommerzielle Anwendungsfelder von THz-Strahlungsquellen sind die Molekülspektroskopie, z.B. die Identifikation komplexer Kohlenstoffverbindungen wie TNT, sogenannte „Ganzkörperscanner“ zur Detektion von Metallgegenständen bei Sicherheitskontrollen, die automatisierte Untersuchung von Postsendungen auf gefährliche Substanzen und die medizinische Diagnostik (Haut- und Brustkrebserkennung). Das größte Hindernis für einen breiten Einsatz dieser Technologie ist das Fehlen von preiswerten und kompakten THz-Quellen. Bislang wurden weder THz-QCLs bei Raumtemperatur noch QCLs des Silizium-Germanium-Materialsystems realisiert. Beide Lücken sollen nun mit dem EU-Projekt „Far-infrared Lasers Assembled using Silicon Heterostructures (FLASH)“ geschlossen werden. Hierbei soll ein THz-Quantenkaskadenlaser auf SiGe-Basis entwickelt werden, der bei Raumtemperatur betrieben werden kann und mindestens 1 mW optische Leistung emittiert. Im Unterschied zu herkömmlichen QCLs findet im SiGe-Materialsystem der Elektronentransport in den sogenannten L-Tälern des Leitungsbandes statt. Das Design sieht Schichtfolgen

aus Germanium-Quantentöpfen und Barrieren aus einer Silizium-Germanium-Legierung vor. Das Wachstum der etwa 1000 SiGe/Ge-Kristallschichten, die jeweils nur wenige Atomlagen dick sind (ca. 1-10 Nanometer), erfolgt mit chemischer Gasphasenabscheidung (CVD).



Dr. Thomas Grange (nextnano GmbH) stellte beim Kick-Off-Workshop des FLASH-Projekts in Rom die Nichtgleichgewichts-Greensfunktionsmethode (NEGF) zur Simulation des quantenmechanischen Transports von Elektronen in QCLs vor. Bild: nextnano GmbH.



Das Projekt wird während der nächsten drei Jahre durch die EU im Rahmen des „Horizon 2020 Future and Emerging Technologies“-Programms gefördert (FET-Open Research and Innovation Action). Die Gesamtförderungsumme beträgt 3,2 Mio € Koordinator ist die Università degli studi di Roma Tre aus Italien. Weitere Mitglieder des Konsortiums sind die ETH Zürich (Schweiz), die University of Glasgow (Großbritannien) und die IHP GmbH (Innovations for High Performance Microelectronics / Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik) aus Frankfurt (Oder). Das Konsortium besteht aus Experten im Bereich der Siliziumchipherstellung, der Si/SiGe/Ge-Epitaxie, der THz-/Infrarotspektroskopie, sowie der Simulation und des Designs von Quantenkaskadenlasern. Ziel ist die Entwicklung eines preiswerten und kompakten THz-Lasers, der zur Silizium-CMOS-Technologie kompatibel ist.

### Nähere Infos

[www.flash-project.eu](http://www.flash-project.eu)  
[www.facebook.com/FLASHFETOPEN](https://www.facebook.com/FLASHFETOPEN)  
 Video zur Funktionsweise eines Quantenkaskadenlasers: [www.nextnano.com/QCL](http://www.nextnano.com/QCL)

### Kontakt

nextnano GmbH  
 Dr. Stefan Birner  
 E-Mail: [Stefan.Birner@nextnano.com](mailto:Stefan.Birner@nextnano.com)