



### **Superlinse schafft neue Horizonte für hoch auflösende optische Mikroskopie**

**Neue Technik vom Max-Planck-Institut für Biochemie durchbricht die Auflösungsgrenze der optischen Infrarot -Mikroskopie**

Ein völlig neues optisches Mikroskopieverfahren, das einzigartige Möglichkeiten für die Beobachtung von lebenden Zellen und die Qualitätskontrolle und Charakterisierung von Halbleiterchips eröffnet, haben Forscher des Max-Planck-Instituts für Biochemie und der Universität von Texas, USA, entwickelt. Erstmals hatten die Wissenschaftler eine Superlinse mit einem Nahfeldmikroskop kombiniert und damit die bisherigen Auflösungsgrenzen überwunden (Science, 15. September 2006).

Max-Planck-Gesellschaft  
zur Förderung  
der Wissenschaften e.V.  
Referat für Presse- und  
Öffentlichkeitsarbeit

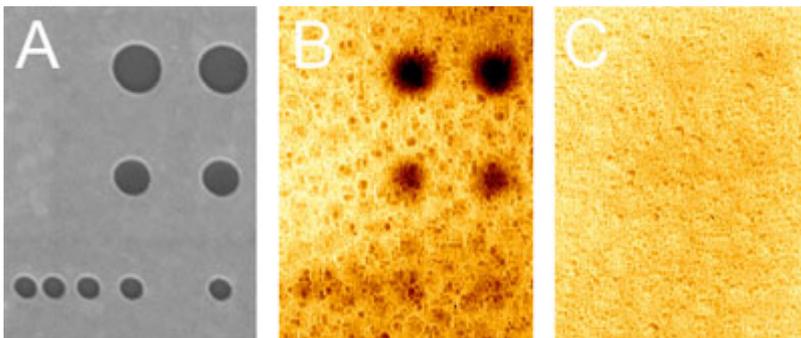
Hofgartenstraße 8  
80539 München

Postfach 10 10 62  
80084 München

Telefon: +49 (0)89 2108 - 1276  
Telefax: +49 (0)89 2108 - 1207  
[presse@gv.mpg.de](mailto:presse@gv.mpg.de)  
Internet: [www.mpg.de](http://www.mpg.de)

**Pressesprecher:**  
Dr. Bernd Wirsing (-1276)

**Chef vom Dienst:**  
Dr. Andreas Trepte (-1238)



**Abb. 1:** Darstellung eines Goldfilms in einem Infrarot-Nahfeld-Mikroskop, das mit einer Siliziumkarbid-Superlinse kombiniert wurde. Die Abbildung zeigt links ein elektronenmikroskopisches Bild des strukturierten Goldfilms (A), in der Mitte das Bild bei jener Wellenlänge des Infrarotlichts, bei der die Siliziumkarbid-Schicht ihre Superlinsen-Eigenschaften voll entwickelt (B) und rechts ein Kontroll-Bild bei einer Wellenlänge, bei der Siliziumkarbid keine Superlinsen-Eigenschaft besitzt.

*Bild: Max-Planck-Institut für Biochemie*

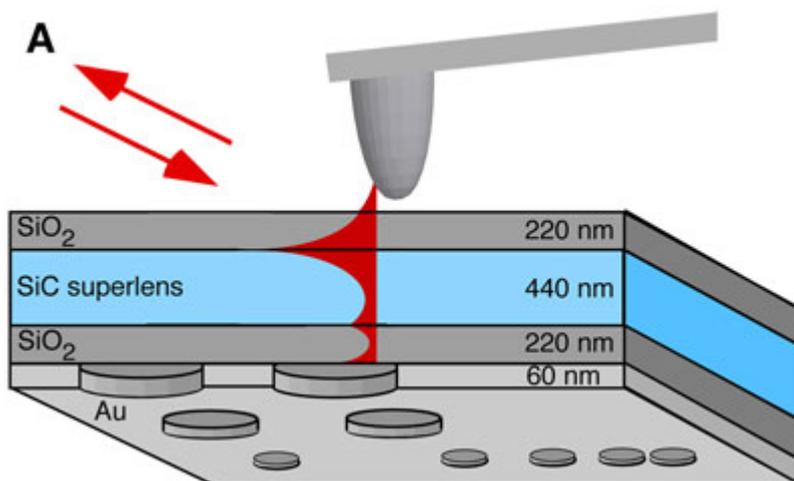
Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts (MPI) für Biochemie entwickeln seit Jahren so genannte optische Nahfeldmikroskope, um das Beugungslimit der Lichtmikroskopie zu überwinden. Beugung führt dazu, dass mit konventionellen Lichtmikroskopen alle Details, die kleiner sind als die Wellenlänge des Lichts, nicht mehr scharf abgebildet werden können. Als Pioniere der ultrahochoflösenden Nahfeldmikroskopie konnten der

ISSN 0170-4656

Nachwuchswissenschaftler Rainer Hillenbrand und seine Forschungsgruppe "Nano-Photonics" selbst mit langwelligem Infrarotlicht Auflösungen im Nanometerbereich erreichen [1,2]. Damit haben sie die Auflösung der konventionellen Infrarotmikroskopie mittlerweile um den Faktor 500 verbessert und die optische Lichtmikroskopie für die hochaufgelöste optische Charakterisierung von Nanostrukturen sowie für die biomolekulare Forschung nutzbar gemacht.

Hillenbrand und sein Postdoktorand Thomas Taubner hatten die Idee, ihr Nahfeldmikroskop mit einer so genannten Superlinse zu kombinieren, um sowohl die Funktionalität ihres Nahfeldmikroskops als auch die der Superlinse zu erweitern. Die Entwicklung von Superlinsen ist ein international sehr aktuelles Forschungsthema, denn auch Superlinsen ermöglichen hoch aufgelöste optische Lichtmikroskopie. Allerdings war bisher noch unklar, wie man Superlinsen in ein optisches Mikroskopiesystem integrieren könnte. Auch stand die experimentelle Demonstration aus, dass sich damit tatsächlich kleine zweidimensionale Objekte abbilden lassen. Die Martinsrieder Physiker haben nun beides demonstriert und die Lichtmikroskopie damit einmal mehr einen gehörigen Schritt voran gebracht.

Das theoretische Konzept der Superlinse wurde im Jahr 2000 von Sir John Pendry am Imperial College, London, entwickelt. Die einfachste Form einer Superlinse ist eine dünne Scheibe eines Materials mit negativem Brechungsindex. Materialien mit einer solchen exotischen Eigenschaft sind derzeit allerdings noch in der Entwicklung. Sobald die Scheibe allerdings dünner als die verwendete Wellenlänge ist, können natürliche Materialien benutzt werden. Eine dünne Superlinse beispielsweise aus Silber ermöglicht optische Abbildungen mit einer Auflösung jenseits des Beugungslimits. Das mikroskopische Bild der Superlinse wird allerdings nicht vergrößert und kann nur indirekt mit aufwändigen Lithographiemethoden sichtbar gemacht werden. Durch die Kombination einer Superlinse mit ihrem Infrarot-Nahfeldmikroskop demonstrieren die MPI-Wissenschaftler nun erstmals die Möglichkeit, das Bild einer Superlinse durch optische Mikroskopie darzustellen. Die Martinsrieder Forscher setzen dabei eine Superlinse ein, die von Gennady Shvets und seinen Kollegen der Universität in Austin, Texas, speziell für sie angefertigt worden war und die aus einer nur 440 Nanometer (nm) dicken SiC-Schicht besteht, die auf beiden Seiten von einer 220 nm dicken Silizium-Oxid (SiO) Schicht umgeben ist (s. Abb. 2).



**Abb. 2:** Kombination eines Nahfeldmikroskops mit einer Superlinse: Das von der Siliziumkarbid (SiC)-Superlinse (hellblau) erzeugte Bild der Objekte (kleine Löcher in einem Goldfilm, in der Figur ganz unten dargestellt) erscheint an der Oberfläche und wird dort von der Nahfeldsonde, einer scharfen Abtastspitze (hellgrau), gestreut. Die roten Pfeile stellen den Infrarotlicht-Strahl dar, die roten Flächen das Infrarot-Nahfeld.

Bild: Max-Planck-Institut für Biochemie

In der Nahfeldmikroskopie wird die Probenoberfläche mit einer sehr feinen Sonde abgetastet, um die so genannten elektromagnetischen Nahfelder des Objekts zu erfassen. Jedes noch so kleine Objekt ist bei Beleuchtung von Nahfeldern umgeben, welche nicht dem Beugungslimit unterliegen, aber alle optischen Details des Objekts enthalten. Aus ihnen lassen sich Bilder mit ungeheurer Detailschärfe gewinnen. Ein Nachteil der Nahfeldmikroskopie war bisher, dass sie nur auf Oberflächenuntersuchungen beschränkt ist. Ein Einsatz in der Qualitätskontrolle von vergrabenen Halbleiterstrukturen war deshalb nur bedingt möglich. Der Blick ins Innere von Zellen war ganz ausgeschlossen: Der mechanische Kontakt der Sonde mit der weichen Membran und die wässrige Umgebung, die eine lebende Zelle benötigt, erschweren auch die Aufnahme hoch aufgelöster Bilder von Zelloberflächen.

In ihrem Demonstrationsexperiment platzierten Taubner und Hillenbrand die Superlinse zwischen die Sonde des Nahfeldmikroskops und dem "Objekt", einem mit Löchern durchsetzten hauchdünnen Goldfilm, der durch die Linse hindurch mit Infrarotlicht beleuchtet wurde. Die SiC-Superlinse verstärkt die Infrarot-Nahfelder des Objekts und verhält sich somit ähnlich einer Superlinse aus Silber für UV-Licht. Mit der Nahfeldsonde konnten die Physiker das Nahfeld des Goldfilm-Testobjektes an der Siliziumoxid-Oberfläche abtasten, die dem Objekt gegenüber lag, und aus dem Streulicht der Nahfeldsonde ein Infrarotbild gewinnen, das sehr deutlich die Objekte - das Lochmuster des Goldfilms - zeigte. Damit erbrachten sie den Beweis, dass Objekte, deren Größe nur ein Zwanzigstel der Wellenlänge des eingestrahlten Infrarotlichtes betrug, also 540 Nanometer, erkannt werden konnten, obwohl sie mehr als 880 Nanometer von der Spitze des Nahfeldmikroskops entfernt waren.

Die Bilder der Martinsrieder Forscher liefern damit die höchste relative Auflösung (bezogen auf die Wellenlänge), die jemals mit einer Superlinse erzielt wurde. Das extrem aufwändige Lithografie-Verfahren zum Sichtbarmachen des Bildes entfiel vollständig. Die Forscher konnten auf diese Weise erstmalig Bilder einer Superlinse mit einem rein optischen Verfahren aufzeichnen.

Die Resultate der Martinsrieder Forscher haben weit reichende Konsequenzen sowohl für die Entwicklung moderner und zukünftiger Hochtechnologien als auch für deren industrielle Qualitätskontrolle. "Die Kombination von Superlinse und Streulicht-Nahfeldmikroskopie hat vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in völlig unterschiedlichen Gebieten", so Rainer Hillenbrand, der als Preisträger im Nachwuchswettbewerb Nanotechnologie vom Bundesforschungsministerium für dieses Forschungsprojekt gefördert wird. "Unser Infrarot-Nahfeldmikroskop mit Superlinse ermöglicht es der Halbleiterforschung, elektronische oder optoelektronische Bauelemente enorm detailliert optisch untersuchen und auch kontrollieren zu können".

Insbesondere ist es nun möglich, in die Tiefe zu schauen, ohne die Probe dabei zu beschädigen. Denn viele Bausteine der Nanotechnologie sind extrem empfindlich und müssen deshalb durch entsprechende Beschichtungen geschützt werden. Durch Reflexionsbeleuchtung könnten sogar Bauelemente auf undurchsichtigen Substraten abgebildet werden.

Auch für die biologische und medizinische Forschung ist die Kombination "Nahfeldmikroskop-Superlinse" von höchstem Interesse: Die Nahfeldsonde kann völlig störungsfrei Biomaterialien abtasten, da sie keinen Kontakt mit ihnen bekommt. Bisher bereitet der mechanische Kontakt zwischen den Nahfeldsonden und den weichen Biomaterialien große Schwierigkeiten, so dass man keine scharfen nahfeldmikroskopische Bilder erhielt. Zum Studium von Proteinen oder Membranen an lebenden Zellen müssen diese zudem in einem wässrigen Kulturmedium gehalten werden. "Diese Probleme können durch den Einsatz einer Superlinse umgangen werden, weil bei unserer neuen Technik biologische Objekte in ihrer natürlichen Umgebung räumlich von der Nahfeldsonde getrennt sind", so Thomas Taubner, der mittlerweile an der Universität in Stanford, USA, forscht. "Die Abbildung der Linsenoberfläche mit dem Nahfeldmikroskop stört weder die biologischen Objekte noch muss die Nahfeldsonde in Flüssigkeit getaucht werden."

Mit ihrer neuen Entwicklung haben die Physiker aus Martinsried die internationale Messlatte in der optischen Nahfeldmikroskopie erneut angehoben. In Zukunft wollen die Wissenschaftler mit noch dünneren und noch besseren Superlinsen die Auflösung ihrer Technik bis in die Dimension von Makromolekülen vorantreiben.

**Verwandte Links:**

- [1] [MPG-Pressemitteilung "Kristalle im Nanofokus" vom 30. August 2004](#)
- [2] [MPG-Pressemitteilung "Infrarotantenne als 'Nano-Lupe' vom 10. Juli 2004](#)
- [3] [Website der Forschungsgruppe "Nano-Photonics"](#)
- [4] [Webpage der Forschungsgruppe Gennady Shvets, University of Austin, Texas](#)
- [5] [Nachwuchswettbewerb "Nanotechnologie" des Bundesforschungsministerium BMBF](#)

**Originalveröffentlichung:**

Thomas Taubner, Dmitriy Korobkin, Yaroslav Urzhumov, Gennady Shvets, Rainer Hillenbrand  
**Near-Field Microscopy Through a SiC Superlens**  
*Science, 15 September 2006*

**Kontakt:**

Dr. Rainer Hillenbrand  
[Max-Planck-Institut für Biochemie, Martinsried](#)  
Tel.: 089 8578-2455/ oder -2824  
Fax: 089 8578-2641  
E-mail: [hillenbr@biochem.mpg.de](mailto:hillenbr@biochem.mpg.de)