

Ein neues Mikroskop für Nanoteilchen

LMU/MPQ-Wissenschaftler können mit einem neuartigen Mikroskop die Details einzelner Nanopartikel abbilden.

Materialien aus Nanopartikeln spielen heute in vielen Bereichen des täglichen Lebens eine große Rolle. Entsprechend wichtig ist es, sowohl ihre äußere Form als auch ihre optischen und elektronischen Eigenschaften genau zu kennen und zu charakterisieren. Konventionelle optische Mikroskope können dies nicht leisten, denn die Partikelgröße – einige zig Nanometer – liegt weit unterhalb der Auflösungsgrenze von rund 400 nm. Daher lässt sich z.B. auf die Form der Partikel nur aus deren spektralen Eigenschaften schließen. Da die Signale bei der Wechselwirkung von Licht mit einzelnen Nanoteilchen im Allgemeinen extrem schwach sind, wurden solche Untersuchungen bislang meist an Ensembles aus Tausenden von Partikeln durchgeführt. Nun hat ein Team von Wissenschaftlern aus der Abteilung Laserspektroskopie von Prof. Theodor W. Hänsch (Direktor am MPQ und Lehrstuhl für Experimentalphysik an der LMU München) eine Methode entwickelt, die Signale mit Hilfe eines optischen Resonators um mehr als das 1000fache zu verstärken und gleichzeitig fast die räumliche Auflösung eines direkt abbildenden Mikroskops zu erzielen. Die Möglichkeit, erstmals die optischen Eigenschaften eines einzelnen Nanopartikels oder Makromoleküls zu untersuchen, ist für viele Bereiche der Biologie, Chemie oder auch Nanotechnik von großem Interesse (*Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms8249, 24. Juni 2015).

Spektroskopische Messungen an großen Ensembles von Nanoteilchen haben den Nachteil, dass die individuellen Unterschiede in Form und molekularer Zusammensetzung dabei verwischt werden. Deshalb interessiert man sich dafür, die einzelnen Teilchen selbst genauer zu untersuchen. „Unser Ansatz besteht darin, dass wir das Licht, das der Abbildung dient, in einem Resonator zigtausendmal umlaufen lassen. Dadurch erhöht sich die Wechselwirkung zwischen Teilchen und Lichtfeld, und das Signal ist leicht zu messen“, erklärt Dr. David Hunger, einer der Wissenschaftler am Experiment. „Bei einem normalen Mikroskop betrüge das Signal weniger als ein Millionstel der Eingangsleistung, und wäre nicht ohne weiteres messbar. Durch den Resonator wird das Signal nun ca. 50 000fach verstärkt.“

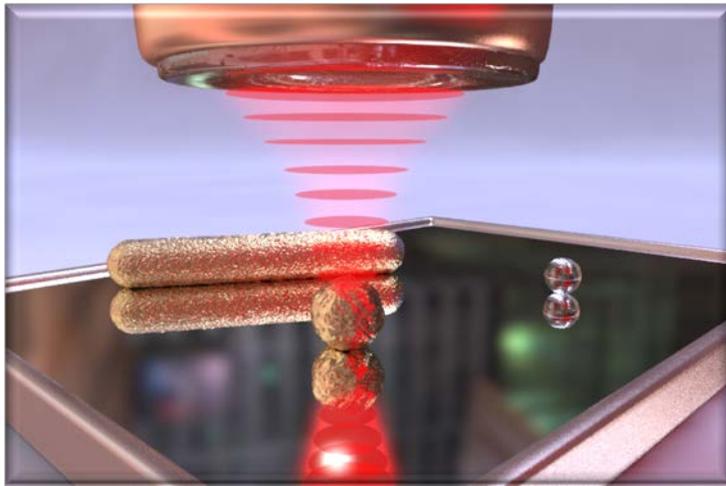
In dem von David Hunger und seinem Team aufgebauten Mikroskop wird die eine Seite des Resonators von einer Spiegelfläche gebildet, die gleichzeitig als Träger der zu untersuchenden Nanopartikel dient. Das Gegenstück ist ein sehr stark konkav gekrümmter Spiegel auf der Endfläche einer Glasfaser. Durch diese Faser wird auch das Laserlicht in den Resonator eingekoppelt. Der Trägerspiegel wird Punkt für Punkt gegenüber der Faserspitze so verschoben, dass die einzelnen Partikel nach und nach in deren Fokus kommen. Dabei wird der Abstand zwischen den beiden Spiegeln stets so nachjustiert, dass die Resonanzbedingungen für das Auftreten von Schwingungsmoden erfüllt sind, das erfordert eine Genauigkeit im Pikometerbereich.

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: 089 / 32 905-213
E-Mail: olivia.meyer-
streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

Tel.: 089 / 32 905-0
Fax: 089 / 32 905-200



Grafik: Anschauliche Darstellung des neuen Verfahrens zur Mikroskopie von Nanoteilchen. (Christoph Hohmann/NIM)

Für ihre ersten Messungen verwendeten die Wissenschaftler Goldkügelchen mit einem Durchmesser von 40 Nanometern. „Die Goldpartikel sind gewissermaßen unser Referenzsystem, da wir hier die Eigenschaften auch genau berechnen und somit die Validität unserer Messungen prüfen können“, meint David Hunger. „Da wir die optischen Eigenschaften des Messapparates sehr genau kennen, können wir aus den gemessenen Transmissionssignalen die optischen Eigenschaften der einzelnen Teilchen quantitativ bestimmen.“ Verglichen mit anderen Verfahren, die auch auf der direkten Signalverstärkung beruhen, ist

das Lichtfeld auf einen sehr kleinen Raum begrenzt, sodass bei Nutzung der Grundmode eine räumliche Auflösung von 2 Mikrometern erreicht wird. Durch Hinzunahme der höheren Moden konnten die Wissenschaftler das Auflösungsvermögen sogar auf rund 800 Nanometer steigern.

Noch aussagekräftiger wird das Verfahren, wenn sowohl die Absorptionseigenschaften als auch die Polarisierbarkeit eines einzelnen Partikels bestimmt werden. Das ist insbesondere dann interessant, wenn die untersuchten Partikel nicht kugelförmig (d.h. eine sphärische Symmetrie haben), sondern z.B. länglich sind. Dann hängen die entsprechenden Größen nämlich davon ab, wie die Polarisierung des Laserlichtes relativ zur Richtung der Symmetrieachsen des Objektes orientiert ist. „In unserem Experiment verwenden wir Nanostäbchen ($34 \times 25 \times 25 \text{ nm}^3$) aus Gold und schauen uns an, wie sich die Resonanzfrequenz in Abhängigkeit von der Polarisierung verschiebt. Ist die Polarisierung parallel zur Stäbchenachse orientiert, dann verschiebt sich die Resonanz stärker als wenn sie orthogonal dazu ist, so dass sich zwei Resonanzfrequenzen für die beiden Polarisierungsrichtungen ergeben“, erklärt Matthias Mader, Doktorand am Experiment. „Diese Doppelbrechung können wir nun sehr genau vermessen. Sie ist ein empfindlicher Indikator für die Form und Orientierung des Teilchens.“

„Als Anwendung unserer Methode könnten wir uns vorstellen, in Zukunft die zeitliche Dynamik von Makromolekülen zu untersuchen, wie z.B. die Faltungsdynamik von Proteinen“, meint David Hunger. „Insgesamt sehen wir ein großes Potential – von der Charakterisierung von Nanomaterialien und biologischen Nanosystemen bis hin zur Spektroskopie von Quanten-Emittern.“ *Olivia Meyer-Streng*

Originalveröffentlichung:

Matthias Mader, Jakob Reichel, Theodor W. Hänsch, and David Hunger

A Scanning Cavity Microscope

Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms8249, 24. Juni 2015.

Kontakt:

Dr. David Hunger

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, und
Ludwig-Maximilians-Universität München
Schellingstr. 4 /III, 80799 München
Telefon: +49 (0)89 / 21 80 -3937
E-Mail: david.hunger@physik.lmu.de

Prof. Dr. Theodor W. Hänsch

Professor für Experimentalphysik
Ludwig-Maximilians-Universität München und
Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str., 85748 Garching b. München
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 -712
E-Mail: t.w.haensch@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str. 1, 85748 Garching b. München
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 -213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de