



PRESSE-INFORMATION
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
und
Munich Centre for Advanced Photonics



Garching, den 3. September 2007

Ein Nano-Mikroskop für ultraschnelle Vorgänge

Internationales Wissenschaftlerteam legt ein Konzept für ein neuartiges „Ultramikroskop“ für Nanostrukturen vor, das erstmals die direkte und nicht-invasive Beobachtung kürzester, in Attosekunden ablaufender, Prozesse mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erlaubt.

Metallische, aus nur einigen tausend Atomen bestehende Nanostrukturen weisen optische und elektronische Eigenschaften auf, die bei ausgedehnten Festkörpern nicht vorkommen. Die Einwirkung von elektromagnetischer Strahlung (Licht) führt in Nanopartikeln zu kollektiven kohärenten Schwingungen der Elektronen, die auch Oberflächenplasmonen genannt werden. Ein Team von Wissenschaftlern der Georgia State University (Atlanta, Georgia, USA), des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching (MPQ) sowie der Ludwig Maximilians-Universität in München (LMU) hat jetzt ein neuartiges Mikroskop vorgeschlagen, das es erstmals ermöglichen würde, die ultraschnelle Dynamik dieser plasmonischen Felder mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu beobachten (Nature Photonics, advance online publication, 3. September 2007). Von einem besseren Verständnis dieser kollektiven Anregungen würden insbesondere Anwendungen in der optischen und optoelektronischen Informationsverarbeitung, -übertragung und -speicherung profitieren. Ebenso würde das Ultramikroskop die Spektroskopie einzelner (Bio)moleküle erleichtern, bei denen Nanopartikel als Antenne die Wechselwirkung mit Licht verstärken.

Ohne es zu wissen, nutzten schon die Hersteller von gefärbten gläsernen Gefäßen im antiken Rom bzw. von Kirchenfenstern im Mittelalter die besonderen Eigenschaften metallischer Nanopartikel aus. Indem sie der Glasschmelze Goldstaub zusetzten, verliehen sie den Gläsern eine rötlich schimmernde Farbe. Heute wissen die Fachleute, auf welche Vorgänge dieser Effekt zurückgeht. Nanopartikel, d.h. Teilchen mit einer Ausdehnung von einigen wenigen bis 100 Nanometern – das ist kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes (ca. 400 - 800 Nanometer) - bestehen aus nur einigen tausend Atomen. Wenn sichtbares Licht auf so ein Partikel fällt, sind die im Metall frei beweglichen Leitungselektronen dem elektrischen Lichtfeld ausgesetzt und werden verschoben. Da die Struktur sehr klein ist, kommen sie aber nicht sehr weit, sondern stauen sich mal auf der einen, mal auf der anderen Seite. Auf diese Weise kommt es zu synchronisierten kohärenten Schwingungen des gesamten Elektronenkollektivs. Solche Schwingungen haben gewissermaßen Teilcheneigenschaften und werden daher auch Oberflächenplasmonen genannt. Die rötliche Farbe in antiken römischen Gefäßen und alten Kirchenfenstern basiert darauf, dass ein Teil des sichtbaren Spektrums von den Goldnanopartikeln „verschluckt“ und in Plasmonen umgewandelt wird, sodass das durchscheinende Restlicht in den Komplementärfarben leuchtet.

„Plasmonen erzeugen sehr hohe elektromagnetische Felder am Ort und in der unmittelbaren Umgebung des Nanoteilchens. Aber wie sich diese Plasmonenfelder auf- und wieder abbauen, ist noch nicht im Detail verstanden. Die schnellsten dieser kollektiven Bewegungen spielen sich innerhalb von einigen hundert Attosekunden ab (1 Attosekunde ist ein Milliardstel von einem Milliardstel einer Sekunde) und gehören damit zu den kürzesten in der Natur zu beobachtenden Prozessen“, erläutert Dr. Matthias Kling, Nachwuchsgruppenleiter am MPQ.

Ein neuartiges Verfahren, die Dynamik plasmonischer Felder mit höchster Genauigkeit zeitlich aufzulösen und räumlich abzubilden, hat nun der theoretische Physiker Prof. Mark Stockman von der Georgia State University (Atlanta, Georgia, USA) gemeinsam mit Experimentalphysikern der LMU

und des MPQ erarbeitet. In ihrem Modell (siehe Abbildung) simulieren die Wissenschaftler zunächst eine Anordnung von Silber-Nanopartikeln auf einer Oberfläche, die mit extrem kurzen, nur einige Femtosekunden währenden Pulsen (eine Femtosekunde ist ein Millionstel einer Milliardstel Sekunde) beschossen werden. Unter der Einwirkung eines Lichtpulses aus nur wenigen Schwingungsperioden entstehen Plasmonenfelder, deren Amplituden und Eigenfrequenzen (sie liegen zwischen nahem Infrarot und nahem Ultraviolett) von der Größe, Form und Umgebung des jeweiligen Nanoteilchens abhängen. Die Dynamik der Plasmonen wird nun „abgefragt“, indem ein mit der Anregung synchronisierter, etwa 170 Attosekunden langer Laserpuls, dessen Frequenz im Extremen Ultraviolett liegt, auf die Nanostruktur geschickt wirkt und dort Elektronen freisetzt. Die Energie und räumliche Verteilung dieser so genannten Photoelektronen spiegelt die Eigenschaften der Plasmonen wider, da sie zuvor in deren Feld beschleunigt wurden.

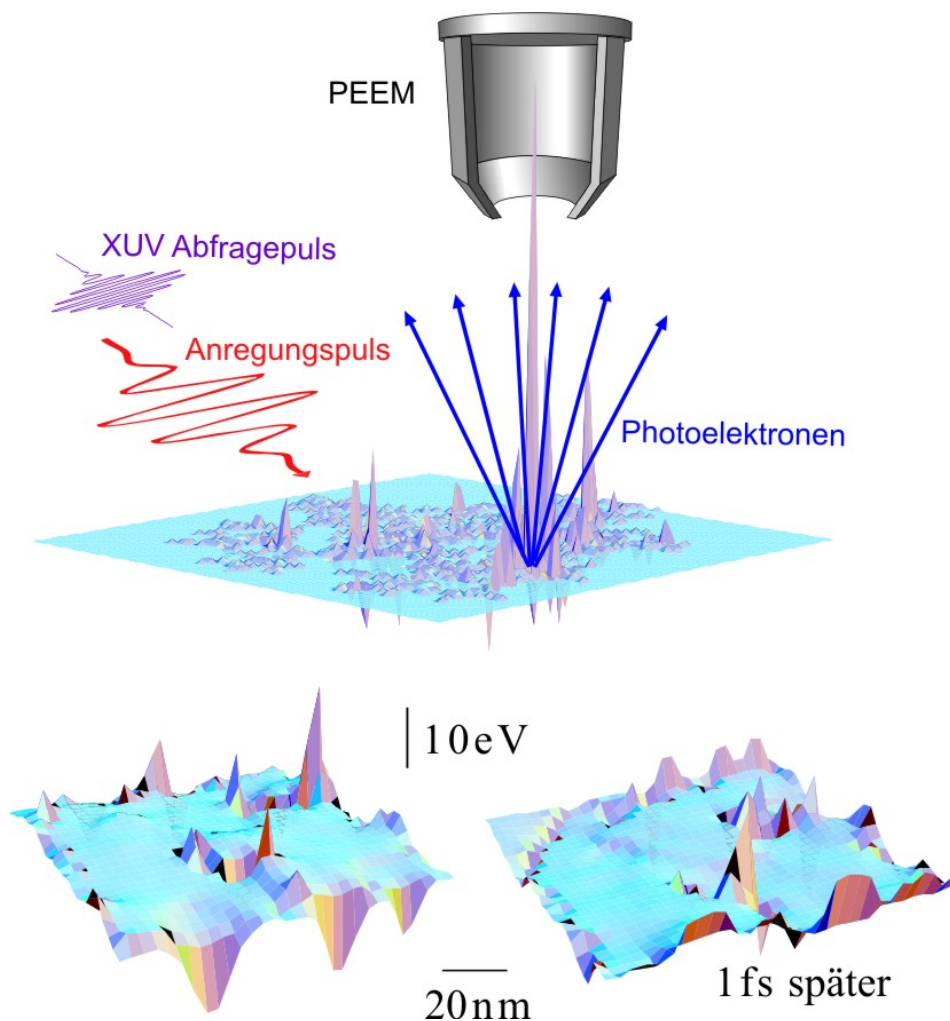


Abbildung:

Prinzip des Nano-Mikroskops für ultraschnelle Vorgänge:

Oben: Ein optischer Puls führt zu einer Anregung der kollektiven Elektronenbewegung (Plasmonen) in auf einer Oberfläche deponierten Nanopartikeln. Die Dynamik dieser Plasmonen kann mit hoher Orts- und Zeitauflösung über den Nachweis von Photoelektronen verfolgt werden, die zuvor mit einem Attosekunden-XUV-Puls (violett) erzeugt werden.

Unten: Die Abbildung zeigt berechnete Schnappschüsse der Plasmonenfelder zu verschiedenen Zeitpunkten (im Abstand von 1 fs (= 10^{-15} s)) nach der Anregung. Die Ortsauflösung ist durch die Optik des Photoelektronen-Emissionsmikroskops (PEEM) bestimmt (ca. 20 nm). Die Zeitaufklärung ist mit ca. 100 Attosekunden durch die Zeitdauer des XUV Abfragepulses gegeben. Nach den theoretischen Rechnungen würde diese Methode erstmals die direkte und nicht-invasive Beobachtung von sich rapide ändernden nanoplasmonischen Feldern ermöglichen

„Bei dem hier vorgelegten Konzept kombinieren wir zwei Verfahren, die jedes für sich bereits Stand der Technik sind: Die „Photoelektronen-Emissionsmikroskopie“, kurz PEEM genannt, und die Attosekunden-Streak-Spektroskopie“, erklärt Prof. Ulf Kleineberg von der LMU. „Wir erhalten dabei eine räumliche Auflösung, die in der Größenordnung der Ausdehnung der Nanopartikel liegt, also einige 10 bis hundert Nanometer beträgt, und erreichen gleichzeitig aufgrund der extrem kurzen Dauer der Attosekundenblitze eine zeitliche Auflösung von etwa hundert Attosekunden. Dieses Messverfahren legt die Grundlage, in Zukunft den Aufbau und die zeitliche Entwicklung dieser Felder zu messen und durch maßgeschneiderte Lichtpulse gezielt zu steuern.“

Generell würde dieses nanoplasmonische Ultramikroskop erstmals die direkte Beobachtung ultraschneller Prozesse in Nanosystemen ermöglichen, wie etwa die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie. Die Autoren sehen aber zukünftige Anwendungen dieser Technik vor allem in der Entwicklung von neuartigen Bauelementen, bei denen lokalisierte nanoplasmonische Felder die Aufgaben von Elektronen in der konventionellen Elektronik übernehmen, d.h. Informationen übertragen, verarbeiten und speichern. „Der Vorteil läge darin, dass Plasmonen in diesen Nanosystemen Informationsverarbeitung und -übertragung mit sehr viel größeren Frequenzen (ca. 100.000 fach) erlauben als Elektronen in Festkörpern. Auf diese Weise ließen sich vielleicht zukünftig extrem schnelle optoelektronische und optische Systeme für die Informationsverarbeitung realisieren.“
[O.M.]

Originalveröffentlichung:

M.I. Stockman, M.F. Kling, U. Kleineberg and F. Krausz

„Attosecond nanoplasmonic field microscope“

Nature Photonics, advance online publication September 3rd, 2007

Kontakte:

Prof. Mark Stockman

Department of Physics and Astronomy
Georgia State University
University Plaza, Atlanta, GA 30303-3083, USA
Phone: +1-678-4574739
Fax: +1-404-6511427
E-mail: mstockman@gsu.edu
www.phy-astr.gsu.edu/stockman

Dr. Matthias F. Kling

JRG „Attosecond Imaging“
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1, 85748 Garching
Telefon: +49-89-32905234
Fax: +49-89-32905649
E-mail: matthias.kling@mpq.mpg.de
www.attoworld.de/junresgrps/attosecimaging.html

Prof. Dr. Ulf Kleineberg

Department für Physik der LMU München
Am Coulombwall 1, 85748 Garching
Telefon: +49-89-28914003
Fax: +49-89-28914141
E-mail: ulf.kleineberg@physik.uni-muenchen.de
www.attoworld.de

Prof. Dr. Ferenc Krausz

Geschäftsführender Direktor
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Professor, Lehrstuhl f. Experimentalphysik
Ludwig-Maximilians-Universität München
Telefon: +49-89-32905612
Fax: +49-89-32905649
E-mail: ferenc.krausz@mpq.mpg.de
www.attoworld.de, www.munich-photonics.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

Presse & Kommunikation
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Telefon: +49 - 89 / 32905 213
Fax: +49 - 89 / 32905 200
E-mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de