

Elektronenblitze für die Nanowelt – neue Quelle für ultrakurze Elektronenimpulse

Datum der Mitteilung: 25. Januar 2007

Forscher des Max-Born-Instituts für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI) in Berlin-Adlershof haben eine neuartige Quelle für extrem kurze Elektronenimpulse vorgestellt. Es handelt sich um eine hauchfeine Spitze aus Gold, die mit ultrakurzen Lichtimpulsen zum Aussenden von Elektronen angeregt wird. „Mit diesen Elektronenimpulsen lassen sich ultraschnelle Vorgänge in der Nanowelt direkt sichtbar machen“, erläutert Claus Ropers, der die Arbeiten gemeinsam mit Daniel Solli, Claus-Peter Schulz, Christoph Lienau und Thomas Elsaesser durchgeführt hat. Die Wissenschaftler berichten darüber in der aktuellen Ausgabe der Fachzeitschrift *Physical Review Letters* (Bd. 98, 043907 (2007)).

Nanostrukturen spielen eine Schlüsselrolle in Physik, Chemie sowie den Materialwissenschaften. Sie sind die Grundlage moderner Mikroelektronik und Kommunikationstechnik. Denn Strukturen mit Abmessungen von wenigen Nanometern – 1 Nanometer (nm) ist 1 Milliardstel Meter – besitzen besondere physikalische und chemische Eigenschaften, die sich in weiten Grenzen gezielt verändern lassen

Um die Abmessungen und andere strukturelle Eigenschaften von Nanostrukturen zu bestimmen, nutzen Forscher häufig leistungsstarke Elektronenmikroskope. Dabei entstehen statische Aufnahmen, das heißt, der zeitlich gemittelte Zustand des Objekts wird erfasst. Die Funktion von Nanosystemen ist jedoch oft mit Vorgängen verknüpft, die auf einer Längenskala von Nanometern und in extrem kurzen Zeitskalen im Bereich von weniger als einer Pikosekunde (ps, der millionste Teil einer Millionstel Sekunde) ablaufen. Deshalb wird weltweit intensiv an Methoden gearbeitet, die solche Vorgänge sichtbar machen können, etwa durch Aufnahme einer Folge von Schnappschüssen. Hierzu eignen sich neben ultrakurzen Lichtblitzen insbesondere Röntgen- und Elektronenimpulse, die direkte Informationen über schnell ablaufende Strukturänderungen liefern.

Das Team am MBI demonstrierte jetzt eine neue Technik zur Erzeugung ultrakurzer Elektronenimpulse. Dabei wird eine Goldspitze von lediglich 40 nm Durchmesser mit Lichtimpulsen von nur 0,007 ps Dauer beleuchtet. Die Intensität des Lichts wird an der Spitze so stark überhöht, dass das Licht Elektronen aus dem Metall herausschlägt. Diese geladenen Teilchen lassen sich zur Untersuchung von Nanostrukturen verwenden. Die speziellen Bedingungen des Anregungsprozesses führen zu einer extrem kurzen Dauer der Elektronenimpulse von weniger als 0,02 Pikosekunden (20 Femtosekunden). Entsprechend kurz hintereinander kann die „Elektronenkamera“ Bilder aufnehmen.

Das Potential dieser „punktförmigen“ Elektronenquelle für die Abbildung von Nanostrukturen wurde in Experimenten gezeigt, bei denen die beleuchtete Metallspitze – vergleichbar einer Rastersonde in einem Kraftmikroskop – in geringem Abstand über einen 50 nm breiten Nanogaben in einer Metallstruktur hinweggeführt wurde. Entlang des Querschnitts des Metallgrabens variiert die Elektronenausbeute auf Grund der unterschiedlichen Erzeugungsbedingungen, woraus direkt das Profil und die elektromagnetische Feldverteilung des Grabens mit Nanometer-Auflösung bestimmt werden können. Auf diese Weise können etwa elektronische Bauteile im Nanomaßstab und deren Eigenschaften präzise vermessen werden.

Gegenwärtig setzen die Entwickler die Elektronenimpulse in ersten zeitaufgelösten Experimenten an Nanostrukturen ein, um ultraschnelle Prozesse sichtbar zu machen. Neben

der Anwendung in der gezeigten Rastersondengeometrie sehen die Berliner Forscher breite Anwendungsmöglichkeiten ihrer Elektronenquelle in Elektronenbeugungsexperimenten höchster Zeitauflösung an Festkörpern, Oberflächen und molekularen Systemen. Die Entwicklung wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Ansprechpartner:

Claus Ropers, Max-Born-Institut, Tel. 030 63921474, ropers@mbi-berlin.de

Prof. Dr. Christoph Lienau, Universität Oldenburg, Tel. 0441 7983485, christoph.lienau@uni-oldenburg.de

Prof. Dr. Thomas Elsässer, Max-Born-Institut, Tel. 030 63921400, elsasser@mbi-berlin.de

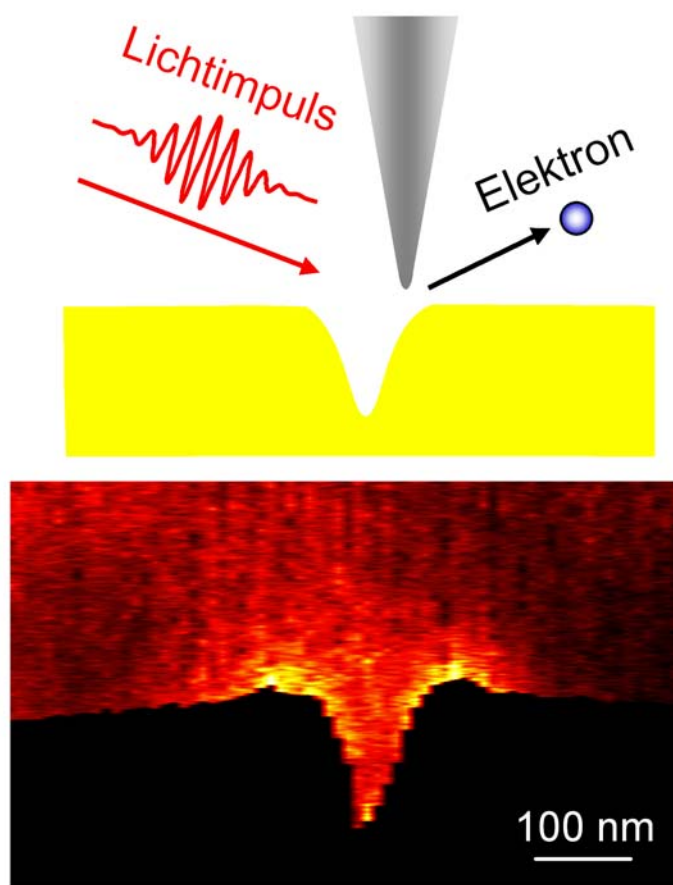


Abbildung:

Oben: Schema des Experiments mit Metallspitze (grau) und Metall-Nanogaben (gelbe Struktur). In den Experimenten wird die Spitze mit einem 0,007 ps langen Lichtimpuls beleuchtet und über die Nanostruktur hinweg bewegt. Dabei ändert sich im Bereich des Nanograbens die Elektronenausbeute.

Unten: Elektronenbild des Nanograbens. Der farbige Teil der Abbildung zeigt die lokale Elektronenausbeute (hell: hohe Ausbeute), aus der sich das Profil und die räumlich variierende elektromagnetische Feldstärke des Nanograbens bestimmen lassen.