

Die kleinste Lasershow der Welt

Das ultraschnelle Schalten nanooptischer Anregungen

In einer Zusammenarbeit von Wissenschaftlern der Hochschulen in Bielefeld, Kaiserslautern, Kiel und Würzburg wurde erstmals das ultraschnelle räumliche Schalten optischer Anregung auf der Nanometerskala demonstriert. Das im Wissenschaftsmagazin *Proceedings of the National Academy of Sciences* vorgestellte Experiment kombiniert Methoden der Ultrakurzpuls-Lasertechnologie und Nanostrukturtechnik, um optische Anregungen auf der Nanometerskala raum-zeitlich zu steuern und nachzuweisen.

Im Alltag ist direkt erfahrbar, dass die räumliche und zeitliche Verteilung von Licht die visuelle Wirkung bestimmt. In einer Lasershow entstehen zum Beispiel durch das schnelle Schalten und Ablenken von Laserstrahlen unerwartete und auf andere Weise nicht erreichbare Lichteindrücke. Schnelles raum-zeitliches Schalten von Licht ist aber nicht nur für ästhetische Lichteffekte relevant, sondern findet u.a. in der Kommunikationstechnologie bei optischen Lichtwellenleitern oder in der Optoelektronik Anwendung. Mit herkömmlichen optischen Methoden kann die räumliche Verteilung von Licht im sichtbaren Spektralbereich bis hinab zu etwa einem halben Mikrometer ($1 \mu\text{m} = 0.000001 \text{ m} = 1000 \text{ nm}$) gezielt manipuliert und gesteuert werden. Ein halber Mikrometer (500 nm) ist zwar schon etwa 100-mal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares, aber für zukünftige Anwendungen ist die Manipulation auf noch kleineren Längenskalen notwendig. Die Lichtmanipulation auf Bereichen von weniger als einem Zehntel eines Mikrometers ($< 100 \text{ nm}$) könnte in der Mikroelektronik die angestrebten schnelleren und kleineren Bauelemente ermöglichen. Um Licht im Nanometerbereich zu beeinflussen, werden spezielle "Antennen" für das Licht benötigt. Das Licht wird durch diese metallischen Strukturen räumlich konzentriert und die optische Anregung kann dadurch auf Raumgebiete mit Ausdehnungen weit unterhalb der Lichtwellenlänge begrenzt werden. Durch die im Wissenschaftsmagazin *Proceedings of the National Academy of Sciences* vorgestellten Experimente konnte nun erstmals gezeigt werden, dass diese Konzentrierung der optischen Anregung zudem extrem schnell geschaltet werden kann, d.h. innerhalb von wenigen 10 fs ($1 \text{ fs} = 0.000'000'000'000'001 \text{ s}$) können räumlich getrennte Teile einer Nanostruktur gezielt und selektiv optisch angeregt werden.

Die grundlegende Idee des Experimentes besteht in der Kombination der Nahfeldoptik mit den Methoden der gezielten Formung von ultrakurzen Laserpulsen. Durch Manipulation des zeitlichen Verlaufs des anregenden Lichtimpulses wird in einer eigens für das Experiment entwickelten Nanoantenne eine sich räumlich und zeitlich entwickelnde Anregung erzeugt. Der zeitliche und räumliche Ablauf der optischen Anregung wird mittels einer stroboskopischen Aufnahme durch ein Photoemissions-Elektronenmikroskop abgebildet und man erhält einen "Film" der Anregung der Nanoantenne. Dieses äußerst komplexe Experiment erfordert ein breites Methodenspektrum und Fachwissen, das nur durch die Kooperation von mehreren Hochschulen realisiert werden konnte. Die durchgeführten Messungen demonstrieren ein Schalten innerhalb von ca. 50 fs zwischen etwa 200 nm entfernten Bereichen der Nanostruktur. Das Licht in der Umgebung der Nanostruktur weist somit eine komplexe raum-zeitliche Entwicklung auf – oder in anderen Worten – es findet dort die kleinste und schnellste "Lasershow" der Welt statt.

Kontakt:

Prof. Dr. Martin Aeschlimann, Universität Kaiserslautern, Tel. 0631/205-2322, ma@physik.uni-kl.de

Prof. Dr. Michael Bauer, Universität Kiel, Tel. 0431/880 5098, bauer@physik.uni-kiel.de

Prof. Dr. Tobias Brixner, Universität Würzburg, Tel. 0931/31-86330,

brixner@phys-chemie.uni-wuerzburg.de

Prof. Dr. Walter Pfeiffer, Universität Bielefeld, pfeiffer@physik.uni-bielefeld.de