

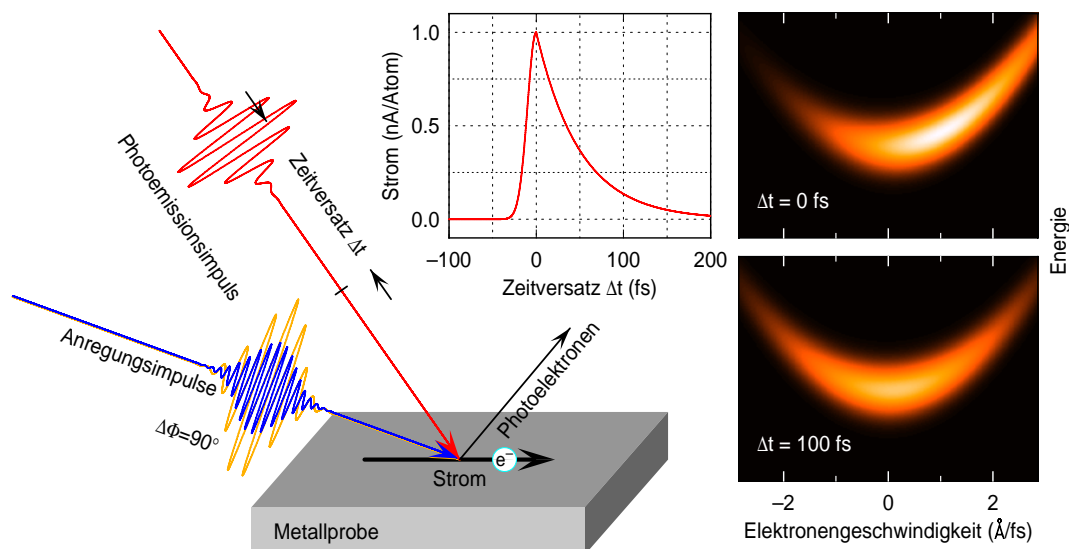
PRESSE-INFORMATION

Marburg, den 23. November 2007

Ultrakurze elektrische Ströme

Forschern am Fachbereich Physik der Philipps-Universität Marburg ist es mit Hilfe modernster optischer Techniken gelungen, elektrische Stromimpulse zu erzeugen und nachzuweisen, die tausend mal kürzer sind als solche, die bisher mit der schnellsten Elektronik messbar waren. Diese ultrakurzen Stromimpulse wurden durch Bestrahlung von Metalloberflächen mit Femtosekundenlasern generiert (1 Femtosekunde = 1 fs = 0,000 000 000 001 Sekunden). Aufgrund ihrer kurzen Dauer ermöglichen die Stromimpulse fundamentale Studien der Wechselwirkungsmechanismen von Elektronen im Festkörper. Insbesondere konnten die Marburger Forscher erstmals die ultraschnelle zeitliche Entwicklung der grundlegenden mikroskopischen Prozesse beobachten, die für den elektrischen Widerstand von Materialien verantwortlich sind (Science, 23. November 2007).

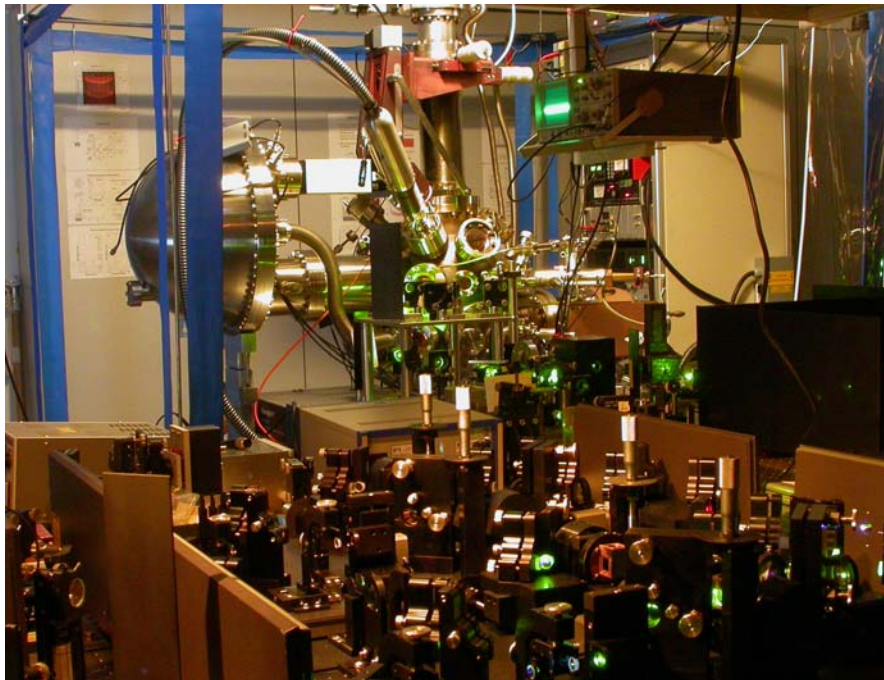
Schon am Anfang des 20. Jahrhunderts erkannte Paul Drude, dass die elektrische Leitfähigkeit von Metallen durch Stöße der Elektronen an den Atomrümpfen bestimmt wird. Aus dieser Überlegung folgt, dass selbst in sehr guten elektrischen Leitern wie Kupfer die Zeit zwischen zwei Stößen nur wenige 10 Femtosekunden beträgt. Diese Effekte konnten bisher jedoch nie direkt gemessen werden, da auf dieser Zeitskala keine Transportmessungen durchgeführt werden konnten. Die neuartigen, in Marburg erstmals experimentell realisierten und theoretisch modellierten Strompulse machen nun gerade solche Untersuchungen möglich und eröffnen damit ein weites Feld für fundamentale Studien. Außerdem könnte die gezielte Erzeugung und Manipulation von Stromimpulsen auf dieser extrem kurzen Zeitskala eines Tages zur Entwicklung elektronischer Bauelemente mit ultraschnellem Ladungsträgertransport führen.



Schematische Darstellung der Erzeugung und des Nachweises ultrakurzer elektrischer Stromimpulse

Zur Erzeugung der elektrischen Ströme an einer Kupferoberfläche verwendeten die Forscher aus Marburg ultrakurze sichtbare und ultraviolette Laserimpulse (gelbe und blaue Anregungspulse in der Abbildung), deren Frequenzen sich genau um einen Faktor zwei unterschieden und die phasenstarr zueinander stabilisiert wurden. Durch Variation der relativen Phase $\Delta\Phi$ der oszillierenden Lichtfelder konnte sowohl die Richtung als auch der Betrag des Stromes kontrolliert werden. Da hierbei die Phasenbeziehung der anregenden Lichtfelder, also ihre zeitliche Kohärenz zueinander, die entscheidende Rolle spielt, spricht man auch von einer kohärenten Kontrolle.

Die Besonderheit des Marburger Experimentes liegt aber vor allem in dem zeitaufgelösten Nachweis des Stromes mit Hilfe des Photoeffektes. Dazu wird ein dritter, roter Laserimpuls mit variabler Zeitverzögerung Δt eingestrahlt, der die angeregten Elektronen aus der Probe herauslöst ohne ihre Geschwindigkeit parallel zur Probenoberfläche zu ändern. Der Strom in der Probe kann dann direkt durch Messung der Geschwindigkeitsverteilung der emittierten Elektronen mit einem Elektronenanalysator beobachtet werden. Die Abbildung illustriert eine Anregung mit der Phasendifferenz $\Delta\Phi=90^\circ$, bei der sich die meisten angeregten Elektronen zunächst nach rechts bewegen. Ihre Geschwindigkeiten parallel zur Oberfläche der Probe betragen dabei typisch etwa 1 Å/fs oder 100 km/s (1 Å = 0.000 000 0001 m, 3 Å entsprechen dem typischen Atomabstand in Festkörpern). Durch Streuung der Elektronen mit Defekten der Probe, bei welcher die Ausbreitungsrichtung der Elektronen geändert wird, geht die zunächst asymmetrische Verteilung in wenigen zehn Femtosekunden in eine symmetrische Verteilung über und der Strom fällt ab. Im Experiment wird diese ultrakurze Zerfallszeit in einem Anregungs-Abfrage (Pump-Probe)-Schema aufgelöst, bei dem die Geschwindigkeitsverteilung für verschiedene Zeitverzögerungen Δt gemessen wird.



Blick ins Labor.
Außer dem komplexen optischen Aufbau erkennt man im Hintergrund die Ultrahochvakuumkammer mit dem halbkugelförmigen Elektronenanalysator.

Die Zeitauflösung wird dadurch erreicht, dass die Laserimpulse über leicht unterschiedliche Wege geführt werden. Aufgrund der hohen Lichtgeschwindigkeit entspricht dabei ein Wegunterschied von etwa 0,003 mm einer Zeitverzögerung von 10 fs. Damit die Elektronen ungehindert aus der Probe austreten können, sowie beim Nachweis nicht mit Luftmolekülen zusammenstoßen, wurden die Experimente an einer sehr sauberen und geordneten Oberfläche eines Kupfer-Einkristalls unter Ultrahochvakuumbedingungen durchgeführt. Dazu wurde der Restgasdruck in der Experimentierkammer um mehr als 13 Größenordnungen gegenüber dem normalen Luftdruck auf 6×10^{-11} mbar abgesenkt.

Originalveröffentlichung:

J. Gütde, M. Rohleder, T. Meier, S.W. Koch, U. Höfer,
Time-resolved investigation of coherently controlled electric currents at a metal surface,
Science, 23. November 2007: 1287-1291.

Animation des Experiments:

http://www.physik.uni-marburg.de/of/dynamics/cc_animation.html

Kontakt:

Prof. Dr. Ulrich Höfer

Fachbereich Physik und Zentrum für Materialwissenschaften
Philipps-Universität Marburg
Renthof 5
35032 Marburg

Telefon: +49 – 6421 / 28 24215

Fax: +49 – 6421 / 28 24218

E-Mail: hoefer@physik.uni-marburg.de

<http://www.physik.uni-marburg.de/of/>