

Wissenschaftler von BESSY und SSRL veröffentlichen Arbeit in „Nature“

Röntgenhologramme aus der Nanowelt

Die Entwicklung der ersten, einfachen Mikroskope brachte einen enormen Schub an Erkenntnissen für die Naturwissenschaften. Um die in Natur und Technik ablaufenden Prozesse immer besser zu verstehen, werden seitdem Abbildungsverfahren mit immer höherem räumlichen Auflösungsvermögen und Instrumente für eine immer schnellere Beobachtung entwickelt.

Derzeit können unterschiedliche Methoden bis in die Nanowelt sehen, wo Strukturen nur den millionsten Teil eines Millimeters groß sind, und dabei Prozesse verfolgen, die sich über wenige Pikosekunden (den milliardsten Teil einer tausendstel Sekunde) erstrecken.

Am Berliner Elektronenspeicherring für Synchrotronstrahlung (BESSY) ist es nun erstmals gelungen, Hologramme von Nanostrukturen mit Röntgenstrahlung aufzunehmen. Wissenschaftler um Stefan Eisebitt (BESSY) und Jan Lüning vom Stanford Synchrotron Radiation Labor (SSRL; USA) entwickelten dazu eine neuartige Versuchsanordnung, mit der sie in einem ersten Experiment die magnetischen Domänen eines Cobalt-Platin-Films mit einer Auflösung von 50 Nanometern abbilden konnten.

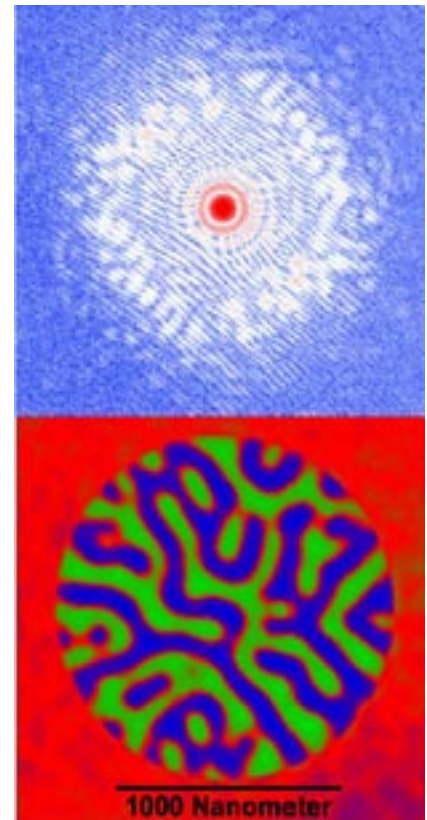
Ihre Untersuchung veröffentlicht „Nature“ als Titelbeitrag in seiner aktuellen Ausgabe. „Vorteile unserer Anordnung sind die einfache Justage, Unempfindlichkeit gegenüber Vibrationen während der Messung sowie ein sehr kostengünstiger Aufbau. Außerdem lässt sich die Holographie an Synchrotronstrahlungsquellen wie BESSY II mit besonderen spektroskopischen Kontrastmechanismen verknüpfen. Damit lassen sich z.B. die Verteilung einzelner Elemente in einer Probe oder Magnetisierungsmuster räumlich abbilden“, hebt Stefan Eisebitt hervor. Die Röntgenholographie etablierte sich damit als alternative, leicht anzuwendende Methode zu bisherigen Messverfahren im Nanometerbereich.

Die Auflösung optischer Mikroskope ist durch die Wellenlänge des verwendeten Lichtes beschränkt, es können bestenfalls 200 Nanometer große Strukturen aufgelöst werden.

Röntgenmikroskope, wie sie auch bei BESSY im Einsatz sind, erzielen aufgrund der kürzeren Wellenlänge von Röntgenstrahlen eine Auflösung von 20 Nanometern. Allerdings muss das Röntgenlicht mit speziellen Linsen gebündelt werden, deren Herstellung extrem aufwändig ist und deren Abbildungsfehler die räumliche Auflösung begrenzen.

Die Holographie ist ein alternatives Abbildungsverfahren, das ohne Linsen auskommt. Das von einem Objekt gestreute Licht, als Objektstrahl bezeichnet, wird hierbei nicht durch eine optische Abbildung auf eine Ebene projiziert. Stattdessen nimmt man ein charakteristisches Interferenzmuster des Objektes auf, das durch die Überlagerung des Objektstrahls mit einem Referenzstrahl (Licht desselben „Typs“, wie es für die Beleuchtung des Objektes benutzt wurde) entsteht. Dieses Interferenzmuster ist das Hologramm. Es enthält die komplette Information über die vom Objekt erzeugte Wellenfront, so dass sich daraus das Bild des Objektes rekonstruieren lässt. Allerdings kann nur kohärente Strahlung solche Hologramme erzeugen, denn nur dann interferieren Objekt- und Referenzstrahl miteinander. Im sichtbaren Spektralbereich benutzt man dazu Laser - aber diese existieren für den Röntgenbereich derzeit noch nicht.

Eisebitt und Lüning führten ihre Experimente am Berliner Elektronenspeicherring BESSY durch, derzeit eine der weltweit kohärentesten Quellen weicher Röntgenstrahlung. In ihrer für die Röntgenholographie neuen Versuchsanordnung liegen der Objekt- und Referenzstrahl nicht auf einer Achse. Dazu brachten sie die Probe auf eine mikrostrukturierte Maske auf, die ein zusätzliches „Nano-Loch“ zur Erzeugung des Referenzstrahls enthält. Diese Geometrie erzeugt ein Interferenzmuster, aus dem sich das Objekt mit einer mathematischen Standardmethode – der zweidimensionalen Fast-Fourier-Transformation - mit hoher Auflösung zweifelsfrei zurückrechnen lässt. Die Masken-Methodik eliminiert Störungen der holographischen Abbildung wie sie in anderen Geometrien auftreten.



Die Falschfarbenbilder zeigen oben das Röntgen-Hologramm eines mehrlagigen Cobalt-Platin-Films, gemessen mit zirkular polarisiertem Licht, und unten die daraus rückgerechneten wurmförmigen magnetischen Domänen, die sich nur durch ihre Magnetisierungsrichtung unterscheiden (blau: aufwärts, grün: abwärts)

Interessant ist die Röntgenholographie auch hinsichtlich des Einsatzes an zukünftigen Röntgenlaserquellen, den Freien Elektronen Lasern (FEL). Sie werden extrem lichtstarkes, kohärentes Röntgenlicht in Pulsen von wenigen Femtosekunden Dauer erzeugen. Mit diesen Pulsen wollen Wissenschaftler u.a. grundlegende Prozesse, z.B. die Bewegung eines Atoms, zeitaufgelöst verfolgen. Eine Folge von Röntgenblitzen kombiniert mit einer entsprechend schnellen Abbildungsmethode könnte dazu stroboskopartige Momentaufnahmen der Bewegungen liefern. Die Entwicklung und Planung von Freien Elektronen Lasern wird derzeit weltweit mit hohem Aufwand betrieben. U.a. plant BESSY den Bau eines FEL bis 2010.

www.bessy.de/presse