(idw)

idw - Informationsdienst Wissenschaft
Nachrichten. Termine. Experten

Pressemitteilung

Universität Stuttgart

Andrea Mayer-Grenu

24.04.2020

http://idw-online.de/de/news745270

Forschungsergebnisse, Forschungsprojekte
Physik / Astronomie
überregional

Forschende vermessen erstmals die Dynamik von Skyrmionen aus Licht auf ultraglatten Goldplätt

Im Zentrum eines Wirbels bestehen sehr hohe Drehgeschwindigkeiten, die bei großen Tornados gewaltige Zerstörungskräfte entfalten können. Ähnliche Effekte werden für Licht vorhergesagt, das auf einer atomar glatten Goldoberfläche entlangläuft und dabei Drehimpulse und Wirbel ausbilden kann. Forschenden der Universitäten Stuttgart und Duisburg-Essen sowie der University of Melbourne (Australien) ist es jetzt erstmals gelungen, diese nach ihrem Entdecker Tony Skyrme „Skyrmionen" genannten Wirbel-Muster auf der Nanometerskala zu filmen. Über die bahnbrechende Arbeit berichtet das Fachmagazin Science am 24. April 2020.

Wenn eine Eiskunstläuferin zur Pirouette ansetzt und dabei die Arme hebt, dreht sie sich aufgrund der Drehimpulserhaltung immer schneller um die eigene Achse. Der gleiche Pirouetteneffekt lässt an heißen Sommertagen über abgeernteten Felder die so genannten „Staubteufel" entstehen, kleine Wirbelstürme aus heißer Luft, und er gibt großen Tornados ihre zerstörerische Kraft. Der Physiker Tony Skyrme hat sich in den 1960er-Jahren in einem Forschungsfeld, das man Topologie nennt, ausführlich mit solchen Wirbeln beschäftigt. Nach ihrem Entdecker werden die Muster „Skyrmionen" genannt.

Auch bei Licht, das auf atomar glatten Goldoberflächen entlanglaufen kann, gibt es eine Art Drehimpuls, und es können sich Wirbel, sogenannte Vortices ausbilden. Allerdings sind die Wirbel in diesem Fall nur wenige Hundert Nanometer groß, und das Auge dieser Nanotornados hat nur eine Größe von wenigen Nanometern. Daher konnte bisher noch niemand die genaue Ausrichtung dieser Wirbel messen. Ebenso war es unmöglich, die Wirbeldynamik anzuschauen, denn die Zeit, die das Licht benötigt, um einmal um einen solchen Wirbel herumzulaufen, beträgt nur wenige Femtosekunden (Billionstel Millisekunden).

In einer aufsehenerregenden Arbeit ist es jetzt einem Team aus Forschenden der Universität Stuttgart, der Universität Duisburg-Essen und der University of Melbourne in Australien gelungen, erstmals solche Skyrmionen aus Licht auf der Nanometerskala zu filmen. Dabei konnten die Forschenden sogar die Richtung des elektrischen und magnetischen Feldes im Licht in allen drei Dimensionen aufnehmen und seine Bewegung messen. Der Theoretiker Tim Davis aus Melbourne, der in Stuttgart und Duisburg mit Unterstützung des Quantenzentrums IQST zu Gast war, berechnete die benötigten Lichtwellenlängen, die Nanostrukturen sowie genauen Dicken der Goldplättchen und sagte vorher, wie sich regelmäßige Felder aus Lichtwirbeln verhalten würden.

Neue Methode zur Herstellung atomarer Goldplättchen

Bettina Frank aus der Arbeitsgruppe von Prof. Harald Gießen am 4. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart gelang es mit einer neuen, von ihr selbst entwickelten Methode, atomar glatte Goldplättchen mit einstellbarer Dicke im Nanometerbereich herzustellen. Zum Einsatz kamen dabei Silizium-Wafer, wie man sie in der Chipherstellung kennt. Die Plättchen wurden von ihr mit Nanostrukturen versehen. Dabei kam ein hochpräziser Gold-Ionenstrahl als

Nanozerstäuber zum Einsatz. Dadurch können beim Bestrahlen mit Laserpulsen einer genau berechneten Wellenlänge im Infrarotbereich ganze Skyrmionenfelder aus Licht entstehen, sogenannte plasmonische Skyrmionen.

Die Messung der Vektordynamik, also der dreidimensionalen Ausrichtung der Plasmonen-Lichtfelder und ihres zeitlichen Verhaltens, gelang in einem speziell dafür entwickelten Experiment der weltweit führenden Gruppe um Prof. Frank Meyer zu Heringdorf an der Universität Duisburg-Essen. Die Doktoranden Pascal Dreher und David Janoschka schossen dafür Laserpulse von nur 13 Femtosekunden Pulsdauer bei 800 nm auf die Goldplättchen mit den Nanostrukturen aus Stuttgart. Durch den Photoeffekt, für den Einstein seinen Nobelpreis bekommen hatte, werden Elektronen aus der Goldprobe geschleudert, die dann in einem Elektronenmikroskop vermessen werden. Durch eine geschickte Kombination von mehreren Laserpulsen mit verschiedenen Lichtpolarisationen und mehrfache Wiederholung des Experiments kann man nun durch Projektion die verschiedenen Vektorkomponenten der Lichtfelder bestimmen.

Indem man zwei Laserpulse nacheinander auf die Probe schickt, kann man die Nanotornados aus Licht sowohl anwerfen und dann durch die ultrakurzen Laserpulse abtasten, so dass man innerhalb einer Nacht einen ganzen Nanofilm dieser Lichtwirbelstürme aufnehmen kann.

Neue Art der Mikroskopie

Prof. Harald Gießen vom 4. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart glaubt, dass man auf der Basis dieser Forschung in Zukunft mit neuartigen Mikroskopen viel kleinere Strukturen mit Licht herstellen könnte, als dies bisher der Fall war. „Die Kombination aus Bahndrehimpuls und den Vektoreigenschaften führt schon mit linearer Optik zu plasmonischen Vortexstrukturen im Nanometer-Bereich“ berichtet er. „Auch wird es möglich sein, unter einstellbaren Randbedingungen zeitaufgelöste Skyrmionenphysik experimentell zu beobachten.“ Besonders spannend werde die Wechselwirkung solcher Skyrmionenfelder und ihrer Bahndrehimpulse mit benachbarten Teilchen in Halbleitern, zum Beispiel in atomar dünnen, zweidimensionalen Materialien, so Gießen weiter: „Dank unserer neuen Raith-Ionenstrahl-Lithographiemaschine haben wir fast unendlich viele Möglichkeiten, verschiedene topologische Nanostrukturen zu erzeugen und mit der Duisburger Nanokamera ihre Skyrmionendynamik zu studieren“.

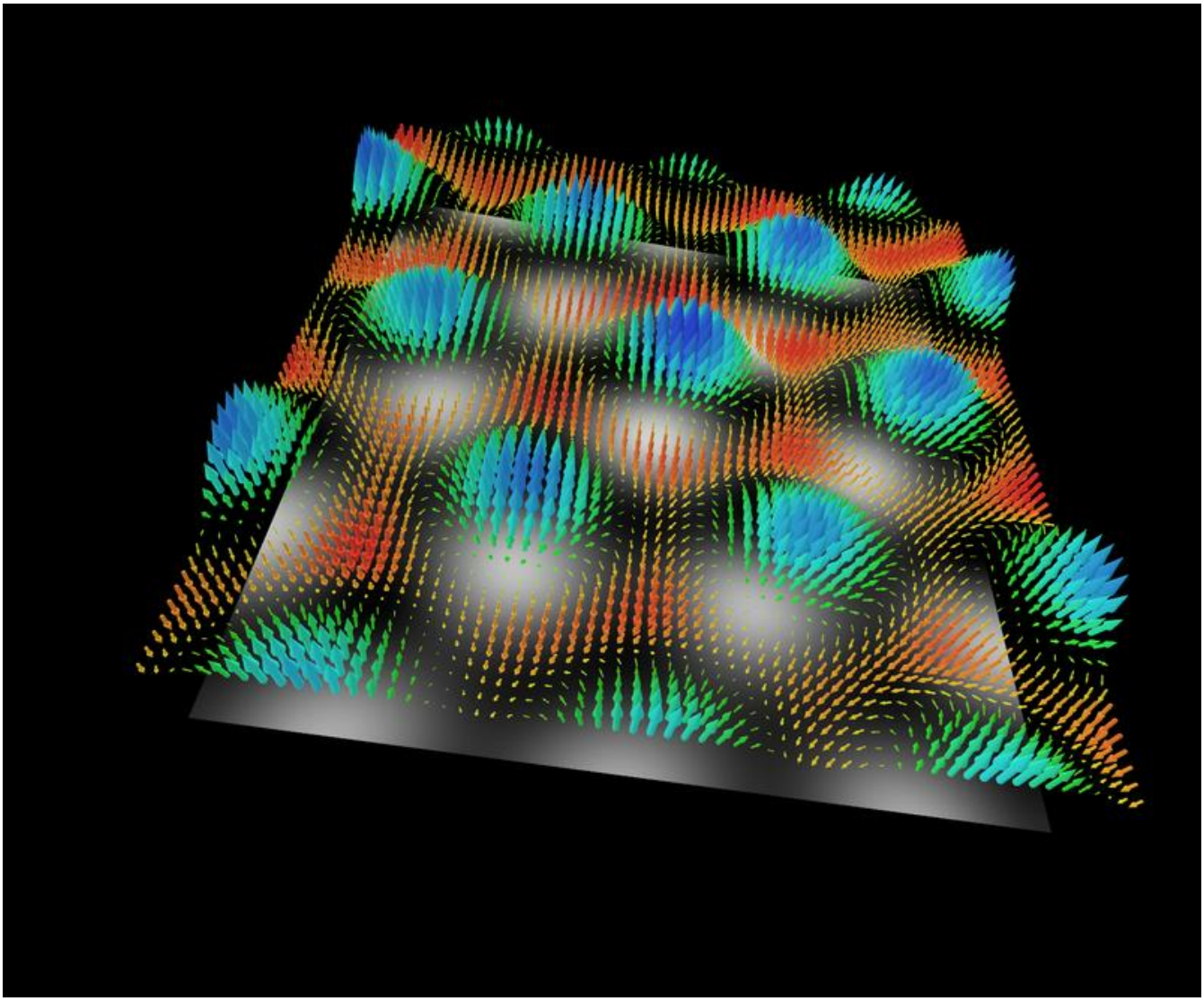
wissenschaftliche Ansprechpartner:

Prof. Dr. Harald Gießen, Universität Stuttgart, 4. Physikalisches Institut, Telefon +49 711 685-65111, E-Mail giessen@pi4.uni-stuttgart.de

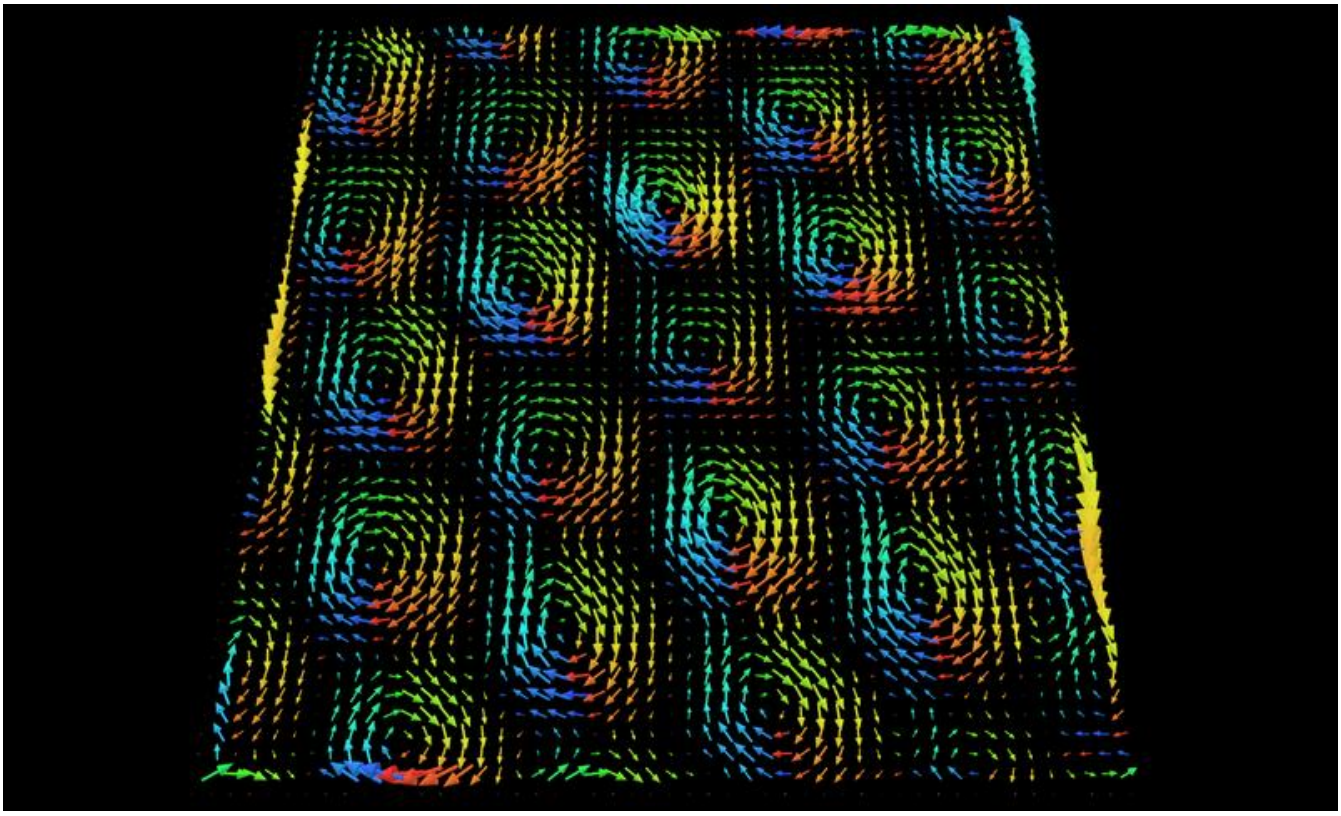
Originalpublikation:

T.J. Davis, David Janoschka, Pascal Dreher, Bettina Frank, Frank-J. Meyer zu Heringdorf, and Harald Gießen: Ultrafast vector imaging of plasmonic skyrmion dynamics with deep subwavelength resolution, Science (2020), https://science.sciencemag.org/content/368/6489/eaba6415

URL zur Pressemitteilung: https://cloudstor.aarnet.edu.au/plus/s/EB7GfjeHNEuV7cY# (Filmmaterial)



Momentaufnahme des Nanofilms mit dem elektrischen Feld des Lichts in den plasmonischen Nanowirbeln (Skyrmionen). Schön zu erkennen ist die hexagonale (6-zählige) Struktur in der Ebene.
Universitäten Stuttgart, Duisburg-Essen und Melbourne



Analogie zu Wirbelstürmen in den plasmonischen Nanowirbeln (Skyrmionen). Gezeigt ist das 3-dimensionale magnetische Lichtfeld. Der Abstand der Wirbel beträgt nur wenige 100 Nanometer.
Universitäten Stuttgart, Duisburg-Essen und Melbourne.