

experiment von Young kommt es zur Interferenz, wie sich an den drei Maxima der Nahfeldintensität in vertikaler Richtung erkennen lässt.

Dieses Experiments hat – wie die Autoren selbst betonen – einen hohen pädagogischen Wert, da es grundlegende Phänomene der Plasmonen-Optik wie Beugung und Interferenz höchst anschaulich demonstriert. Wäre es ein paar Monate früher veröffentlicht worden, hätte es in dem unlängst erschienenen Standardwerk „Plasmonics. Fundamentals and Applications“ [5] sicherlich nicht gefehlt. Das Doppelpaltexperiment mit Plasmonen ist sozusagen ein idealer Einstiegs-

punkt in diesen sich neu entwickelnden Zweig der Optik [2, 6].

Obwohl es in der Plasmonik vorerst darum geht, die theoretischen und experimentellen Grundlagen zu erarbeiten, hat die Suche nach sinnvollen Anwendungen bereits begonnen. Die Führung plasmonischer Moden entlang metallischer Nanostrukturen unterliegt keinem Abbe-Limit und erlaubt es daher, die optische Signalleitung zu miniaturisieren. Damit eröffnen Oberflächenplasmonen der Anwendung vielversprechende Möglichkeiten. So sind sie schon jetzt in der Biosensorik im Einsatz, aber auch die Effizienz von Leuchtdioden können

sie steigern. Darüber hinaus wird diskutiert, ob Plasmonen sich für den Transport optischer Signale in künftigen Computerchips eignen.

Franz Aussenegg und
Harald Ditlbacher

- [1] R. Zia und M. L. Brongersma, *Nature Nanotechnology* **2**, 426 (2007)
- [2] F. Aussenegg und H. Ditlbacher, *Physik in unserer Zeit* **5/2006**, S. 220
- [3] H. Ditlbacher et al., *Appl. Phys. Lett.* **81**, 1762 (2002)
- [4] A. Hohenau et al., *Opt. Lett.* **30**, 893 (2005)
- [5] S. A. Maier, *Plasmonics. Fundamentals and Applications*, Springer, Berlin (2007)
- [6] H. A. Atwater, *Spektrum der Wissenschaft*, Juni 2007, S. 58

Prof. Dr. Franz Aussenegg und Dr. Harald Ditlbacher, Institut für Experimentelle Physik der Karl-Franzens-Universität Graz und Erwin Schrödinger Institut für Nanoforschung, Universitätsplatz 5, A-8010 Graz, Österreich

■ Blitzschnell schalten

Zirkular polarisierte Laserpulse können in Femtosekunden die Magnetisierung umschalten und erlauben damit eine optische Speicherung von Daten.

Seit Jahrzehnten verwenden wir in unseren Computern Festplatten, in denen Daten kodiert als magnetische Bits abgelegt sind. In konventionellen Festplatten lassen sich die magnetischen Bits durch Anlegen kurzer magnetischer Feldpulse schreiben. In magneto-optischen Laufwerken dient dazu eine Kombination von Magnetfeld und Laserpuls. Dabei heizt ein Laserpuls das Medium fast bis auf die Curie-Temperatur. Dadurch reduziert sich lokal die zum Umschalten erforderliche Feldstärke drastisch, sodass ein relativ schwaches Magnetfeld ausreicht, um ein Bit zu schreiben. In beiden Fällen löst das Anlegen eines magnetischen Feldes, das der Richtung der Magnetisierung entgegen gesetzt ist, den eigentlichen Ummagnetisierungsprozess aus.

Die Magnetisierung ist mit dem Drehimpuls der Elektronen verbunden. Kehrt sich die Magnetisierungsrichtung um, so muss aufgrund der Erhaltung des Drehimpulses dieser von einer Quelle zur Verfügung gestellt und transferiert werden. Diese Aufgabe übernimmt das angelegte Magnetfeld, das den Drehimpuls mit einer Rate überträgt, die durch den Präzessionsterm $\mathbf{M} \times \mathbf{H}$ in der Bewe-

gungsgleichung der Magnetisierung gegeben und damit endlich ist. Dies verleitet zu der Annahme, dass es mit praktikablen Feldstärken (bis zu einigen Tesla) ausgeschlossen ist, Schreibzeiten unterhalb von einigen Pikosekunden zu erreichen.

Allerdings ist es möglich, intensive Lichtblitze mit einer Dauer von wenigen Femtosekunden (fs) in Ultrakurzzeitlasersystemen zu erzeugen. Prinzipiell ist es daher vorstellbar, dass ein solcher Laserpuls die Magnetisierung auch direkt beeinflusst (Abb. 1). In einer Reihe von Experimenten hat eine Gruppe von der Universität Nijmegen in Zusammenarbeit mit Physikern des Ioffe-Instituts, St. Petersburg, zeigen können, dass sich durch Beleuchten einer magnetischen Probe mit zirkular polarisierten fs-Laserpulsen die Magnetisierung direkt auf optischem Weg beeinflussen lässt [1, 2]. So wurde zunächst an magnetischen Isolatoren wie dem Orthoferriten DyFeO_3 und dem Garnet $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ nachgewiesen, dass ein ultrakurzer Laserpuls mit zirkularer Polarisation die Magnetisierung genau wie ein Magnetfeldpuls anregen kann. Die damit verbundene Magnetisierungsdynamik wurde anhand der Faraday-Rotati-

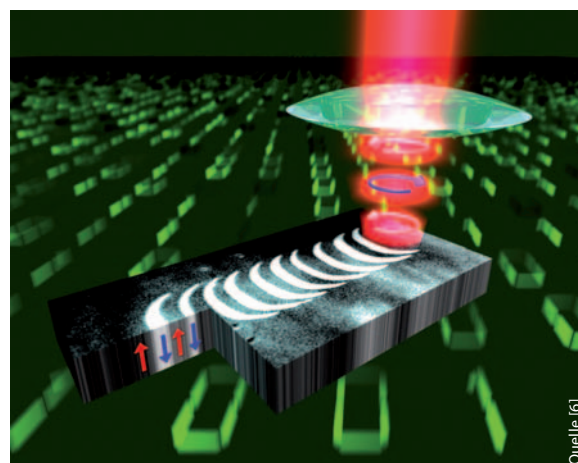


Abb. 1 Schon ein einzelner Femtosekunden-Laserpuls reicht für die optische Datenspeicherung aus. Als Medium wird hier der metallische Ferrimagnet CoFeGd verwendet, der eine senkrechte Magnetisierung aufweist. Die im Bit geschriebene Magnetisierung (up bzw. down) der Probe hängt dabei von der Helizität des anregenden Lichts ab.

on gemessen und manifestiert sich in einer exponentiell gedämpften Oszillation der Magnetisierung (Abb. 2). Eine Umkehr der Helizität des Lichts führt dazu, dass sich die Phase der beobachteten Oszillationen um 180 Grad verschiebt, was einem Vorzeichenwechsel des effektiv induzierten Magnetfelds entspricht.

Das optisch induzierte Magnetfeld ist parallel oder antiparallel zur Ausbreitungsrichtung des

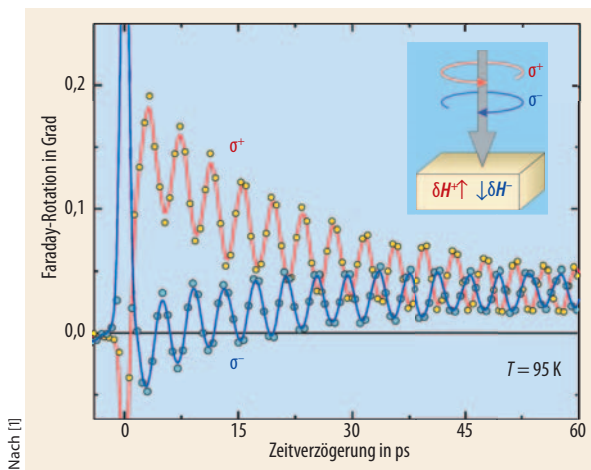


Abb. 2 Wenn ein ultrakurzer Laserpuls die Magnetisierung im DyFeO_3 anregt, äußert sich dies in einer exponentiell gedämpften Oszillation, die sich mittels Faraday-Rotation bestimmen lässt. Das optisch induzierte Magnetfeld ist dabei parallel oder antiparallel zum anregenden Licht ausgerichtet (Inset).

Licht gerichtet (**Abb. 2, Inset**). Da ein Drehimpuls erforderlich ist, um die Magnetisierungsdynamik anzuregen, könnte man naiv annehmen, dass dieser im vorliegenden Fall durch das zirkular polarisierte Licht bereitgestellt wird. Eine genaue Betrachtung zeigt jedoch, dass der im Licht enthaltene Drehimpuls bei praktikablen Leistungsdichten keinen messbaren Effekt erzeugen kann [3]. Theoretische Betrachtungen [4] legen nahe, dass es sich vielmehr um einen konzertierten Prozess handeln muss: Die Photonen des Lichtpulses stimulieren nur den Transfer von Drehimpuls zwischen Magnetisierung und Gitter, d. h. der zur Anregung erforderliche Drehimpuls wird von der magnetischen Probe selbst bereitgestellt. Die verwendeten Orthoferrite sind wegen ihrer geringen Absorption, der großen magnetooptischen Konstanten und der extrem kleinen Magnetisierung besonders geeignet für diese Experimente.

Kürzlich konnte die Gruppe von der Universität Nijmegen zusammen mit japanischen Physikern sogar nachweisen, dass optische Lichtpulse die Magnetisierung nicht nur anregen, sondern sogar vollständig umschalten können (**Abb. 1**) [5, 6]. Überraschenderweise gelang dies an einem metallischen Ferrimagneten. Dies ist aus zwei Gründen erstaunlich: Erstens ab-

sorbiert das Metall das einfallende Licht, sodass die maximale Intensität aufgrund der niedrigen Zerstörungsschwelle begrenzt ist. Zweitens hat das verwendete CoFeGd eine wesentlich größere Magnetisierung als die bisher untersuchten Orthoferrite und erfordert deshalb eine entsprechend höhere Übertragung von Drehimpuls zum Umschalten. Die Tatsache, dass es trotz dieser offensichtlichen Nachteile experimentell möglich war, mit Lichtpulsen die Magnetisierung in diesem Material umzuschalten, lässt sich als zweistufiger Prozess verstehen: Aufgrund der Absorption wird das Spin-System ultraschnell aufgeheizt und damit die Magnetisierung in Abhängigkeit der Intensität beliebig reduziert. Gleichzeitig ist wegen der Präsenz des Laserfeldes die Übertragung von Drehimpuls zwischen Gitter und Magnetisierung stimuliert. Wegen der stark reduzierten Magnetisierung reicht dann bereits ein geringer Anteil des sonst erforderlichen Drehimpulses aus, um die Magnetisierung umzukehren. So ließ sich zeigen, dass sogar ein einziger 40 fs langer Lichtblitz ausreicht, um die Magnetisierung

reversibel und deterministisch umzuschalten, wobei der Endzustand (Magnetisierung up oder down) ausschließlich von der Helizität der Polarisation des nur 40 fs währenden Laserpulses abhängt.

Diese Experimente haben gezeigt, dass ultraschnelle magneto-optische Datenspeicher, bei denen die Ummagnetisierung durch die Wechselwirkung mit Licht geschieht, auf einer sub-Pikosekunden-Zeitskala möglich sind. Des Weiteren eröffnen diese Experimente – unter Verwendung entsprechender Laserpulse – den Weg, die Präzession der Magnetisierung kohärent zu kontrollieren.

Georg Woltersdorf und
Christian H. Back

- [1] A. V. Kimel et al., *Nature* **435** 655 (2005)
- [2] F. Hansteen et al., *Phys. Rev. Lett.* **95**, 047402 (2005)
- [3] B. Koopmanns et al., *Phys. Rev. Lett.* **85**, 844 (2000)
- [4] G. P. Zhang und W. Hübner, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3035 (2000)
- [5] C. D. Stanciu et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 207401 (2007)
- [6] C. D. Stanciu et al., *Phys. Rev. Lett.* **99**, 047601 (2007)

KURZGEFASST

■ Neuartiges Baryon entdeckt

Am amerikanischen Beschleunigerlabor Fermilab haben Forscher in hochenergetischen Proton-Antiproton-Stößen ein neues schweres Teilchen erzeugt, das aus den drei Quarks d , s und b besteht und damit das erste Teilchen ist, das sich aus Quarks aller drei Generationen zusammensetzt. Das elektrisch geladene Ξ_b^- -Baryon hat etwa sechsfache Protonenmasse und schließt eine weitere Lücke im Standardmodell der Teilchenphysik. V. M. Abazov et al., *Phys. Rev. Lett.* **99**, 052001 (2007)

■ Photonenladung Grenzen gesetzt

Die interferometrische Analyse von Radiowellen entfernter Galaxien erlaubt es, die obere Grenze für eine mögliche Photonenladung um 13 Größenordnungen genauer abzuschätzen als bisher. Demnach tragen Photonen maximal das 10^{-46} -fache der Elektronenladung, vorausgesetzt sie können positiv oder negativ geladen sein. Ausgangspunkt der neuen Abschätzung

ist die Annahme, dass die extragalaktischen Magnetfelder die beobachtete Kohärenz der – üblicherweise als neutral angenommen – Photonen beeinflussen sollte, wenn diese doch eine Ladung tragen. Diese Folge des Aharonov-Bohm-Effekts ließ sich in der astronomischen Interferometrie jedoch nicht beobachten. Würden Photonen eine endliche Ladung tragen, dann müsste es auch Anti-Photonen geben. B. Altschul, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 261801 (2007)

■ Wasserstoff schwer gemacht

Mit einem Strahl aus Helium-8-Ionen, der auf Kohlenstoff-12-Kerne trifft, gelang es an der Beschleunigeranlage GANIL in Frankreich das bislang schwerste Wasserstoffisotop H-7 zu erzeugen. Der H-7-Zustand ist allerdings nur eine extrem kurzlebige Resonanz, da er nach nur einer Zeptosekunde (10^{-21} s) wieder zerfällt und Energie notwendig ist, um das sechste Neutron an den Kern zu binden. M. Caamaño et al., *Phys. Rev. Lett.* **99**, 062502 (2007)

Dr. Georg Woltersdorf und Prof. Dr. Christian H. Back, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg