

PDF hosted at the Radboud Repository of the Radboud University Nijmegen

The following full text is a publisher's version.

For additional information about this publication click this link.

<http://hdl.handle.net/2066/33215>

Please be advised that this information was generated on 2019-11-15 and may be subject to change.

Bliksemsnelle magneten

Elke anderhalf jaar worden transistors in de micro-elektronica de helft kleiner en gaat de snelheid van de pc omhoog. Om deze tendens te kunnen volgen moeten geheugens, vooral de harde schijf in onze computer, ook sneller worden. De huidige concepten voor magnetische opslag op de harde schijf beginnen echter tegen hun limiet aan te lopen wat betreft dichtheid en snelheid.

Alexy Kimel, Andrei Kirilyuk, Roman Pisarev en Theo Rasing



Alexy Kimel promoveerde in 2002 aan het Ioffe Physical Technical Institute in St. Petersburg op het gebied van ultrasnelle spindynamica in halfgeleiders. In 2002 kwam hij

voor een postdocpositie naar Nijmegen en vanaf 2004 werkt hij daar met een VENI-beurs op het gebied van ultrasnelle dynamica in antiferromagneten.



Andrei Kirilyuk promoveerde in 1993 aan de Université Paris Sud op het gebied van de dynamica van magnetische domeinwanden. Na werkzaamheden bij het Max

Planck Instituut te Halle, FOM-Rijnhuizen en ASML, is hij sinds 2000 universitair docent aan de Radboud Universiteit Nijmegen.



Roman Pisarev promoveerde in 1961 aan het Institute of Semiconductor van de Russische Academie of Sciences. Hij is hoogleraar

vaste-stoffysica en hoofd van het Laboratory on Optical Phenomena van het Ioffe Instituut te St. Petersburg.



Theo Rasing promoveerde in 1982 in Nijmegen en werkte daarna als postdoc en stafmedewerker aan de Universiteit van Californië te Berkeley en het Lawrence Berkeley Laboratorium tussen 1982 en

1988. Hij is hoogleraar experimentele natuurkunde aan de Radboud Universiteit in Nijmegen, waar hij zich onder meer bezig houdt met nanomagnetisme en atoomlithografie.

Gestimuleerd door de steeds groter wordende vraag naar snellere computergeheugens, gaan wetenschappers en bedrijven op zoek naar nieuwe concepten voor magnetische datamanipulatie en dataopslag. In ons laboratorium aan de Radboud Universiteit Nijmegen hebben we, in samenwerking met onderzoekers van het Ioffe Instituut te St. Petersburg, laten zien dat met behulp van extreem korte lichtflitsen uit een laser hoge magneetvelden tot 5 Tesla (honderdduizend maal het aardmagnetisch veld) opgewekt kunnen worden binnen 200 femtoseconden. Met deze ontdekking introduceren we een nieuw concept om informatie te manipuleren en op te slaan met behulp van ultrakorte laserpulsen. In principe is hiermee een tienduizend keer snellere schrijfsnelheid mogelijk.

MAGNETISCHE OPSLAG

Dankzij de quantummechanica weten we dat het elektron niet alleen een lading maar ook een magnetisch moment oftewel spin heeft. Vanwege het Pauli-principe bestaat er een *exchange*-interactie tussen de spins van verschillende elektronen. In ferromagneten is deze *exchange*-interactie sterk genoeg om alle spins in één richting uit te lijnen, dus hebben ferromagneten een netto-magnetisch moment oftewel een magnetisatie. Dankzij deze magnetisatie waren ferromagneten al in de oudheid bekend. De toepassingen variëren nu van het kompas, elektromotoren, koelkastmagneten, muziekcassettes, videobanden tot aan de huidige harde schijf en de toekomstige MRAM (*Magnetic Random Access Memory*). Tegenwoordig kost de opslag van een bit op een harde schijf of MRAM tenminste drie nanoseconden en dit is erg langzaam in vergelijking met de frequentie van de processoren die in dezelfde tijd drie of meer bits kunnen verwerken. De harde schijf is een beperkende factor voor het verder versnellen van onze computers. Maar hoe snel kunnen wij in principe data opslaan, oftewel waar ligt

de limiet? In een gewone harde schijf wordt voor het opslaan van data een elektromagneet gebruikt. Als je dus sneller wilt schrijven dan in de huidige drie nanoseconden moet je heel lokaal een hoger veld in de harde schijf kunnen aanleggen en dit veld sneller in- en uitschakelen. In de huidige harde schijven is dit bijna onmogelijk en is er letterlijk en figuurlijk weinig ruimte om op deze manier nog veel aan snelheid te winnen. Daarom is het heel belangrijk (maar ook wetenschappelijk zeer uitdagend) om nieuwe manieren te vinden – dus zonder elektromagneet – om magnetische bits te schakelen.

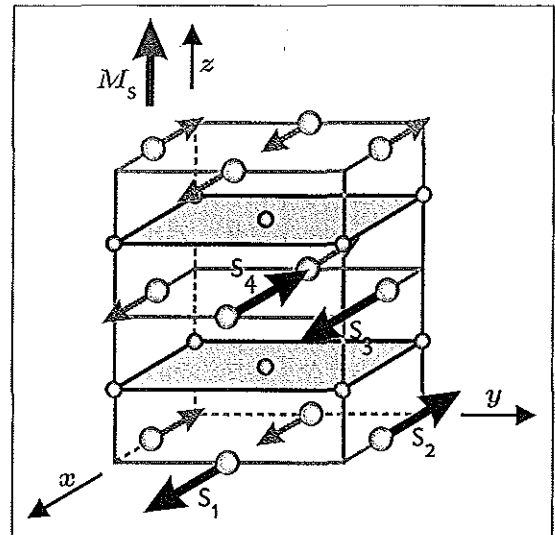
OMGEKEERD FARADAY-EFFECT

De interactie van licht met magnetische materialen is een welbekend fenomeen in de natuurkunde. Een goed voorbeeld is het zogeheten Faraday-effect, waarbij de polarisatierichting van licht verandert wanneer het door een magnetisch materiaal gaat. Bij heel sterke velden kan de polarisatierichting zelfs drastisch veranderen. Dit wordt toegepast om magneto-optische isolatoren en modulatoren te maken. Veel minder bekend is het omgekeerde Faraday-effect. Hierbij wordt een magnetisch materiaal beschenen met circulair gepolariseerd licht, waardoor een statische magnetisatie wordt opgewekt:

$$M(0) = \frac{\chi}{16\pi} [\mathbf{E}(\omega) \times \mathbf{E}^*(\omega)],$$

waarbij $\mathbf{E}(\omega)$ en $\mathbf{E}^*(\omega)$ respectievelijk het elektrische veld van de lichtgolf en zijn complex geconjungeerde voorstelt en χ de magnetische susceptibiliteit van het materiaal. In principe lijkt dit op een elektromagneet, waarbij nu niet de stroom maar het elektrische veld van het licht in een spiraal draait: *fotomagnetisme*! Omdat we hierbij niet te maken hebben met inductie zoals in normale spoelen, kan, door de polarisatie van links- naar rechtsdraaiend te veranderen, de magnetisatie supersnel van richting worden veranderd.

Figuur 1
 Kristalstructuur en spinoriëntatie in DyFeO₃.
 Door een kleine kanteling van de antiferro
 magnetisch geordende spins van de ijzeratomen
 (S_1-S_4) ontstaat er een netto-magnetisatie
 M_s in de z -richting.



ULTRASNELLE MAGNETISCHE CONTROLE
 In ons laboratorium in Nijmegen hebben we gebruik gemaakt van dit omgekeerde Faraday-effect om de magnetisatie met licht te controleren en wel met behulp van zeer korte, intense laserpulsen. Dit werkt het beste in materialen waarin per eenheid van magnetisatie de verandering van de polarisatie-richting van het licht heel sterk is, dat wil zeggen in materialen met een sterk Faraday-effect.

Voor het experiment werd een kristal van DyFeO₃ gebruikt, welk een perovskietstructuur heeft waarin de Fe-atomen antiferromagnetisch geordend zijn. Echter een kleine kanteling van de spins over slechts een halve graad veroorzaakt een spontane magnetisatie $M_s = 0,8$ mT in de z -richting (figuur 1). Dankzij de zeer sterke koppeling van de spins met het rooster (spin-baankoppeling) vertoont dit materiaal, ondanks deze lage waarde van M , toch een zeer sterk Faraday-effect. Figuur 2 laat de tijdsafhankelijke Faraday-rotatie zien als

gevolg van de excitatie met zowel links- als rechtsdraaiend circulair gepolariseerd licht. Deze figuur laat duidelijk zien dat de verandering van de magnetisatie zowel instantaan alsook rechtstreeks gekoppeld is aan de draairichting van de polarisatie: de respons voor rechts- en linksdraaiend licht is precies in tegenfase. Dit toont aan dat de koppeling tussen licht en magnetisatie inderdaad direct (en niet thermisch) is, omdat de fase van de oscillaties gegeven wordt door het teken van de draaiimpuls van het foton.

Een gunstige bijkomstigheid voor deze fotomagnetisatie is dat de relatie tussen magnetisatie en de laserstraling geen symmetriebeperkingen kent. Met andere woorden, het omgekeerde Faraday-effect werkt in alle media, los van hun kristalstructuur of hun magnetische structuur. Bovendien komt het effect door verstrooiing van licht tot stand en niet door absorptie van licht in het materiaal. Dat heeft als groot voordeel dat de

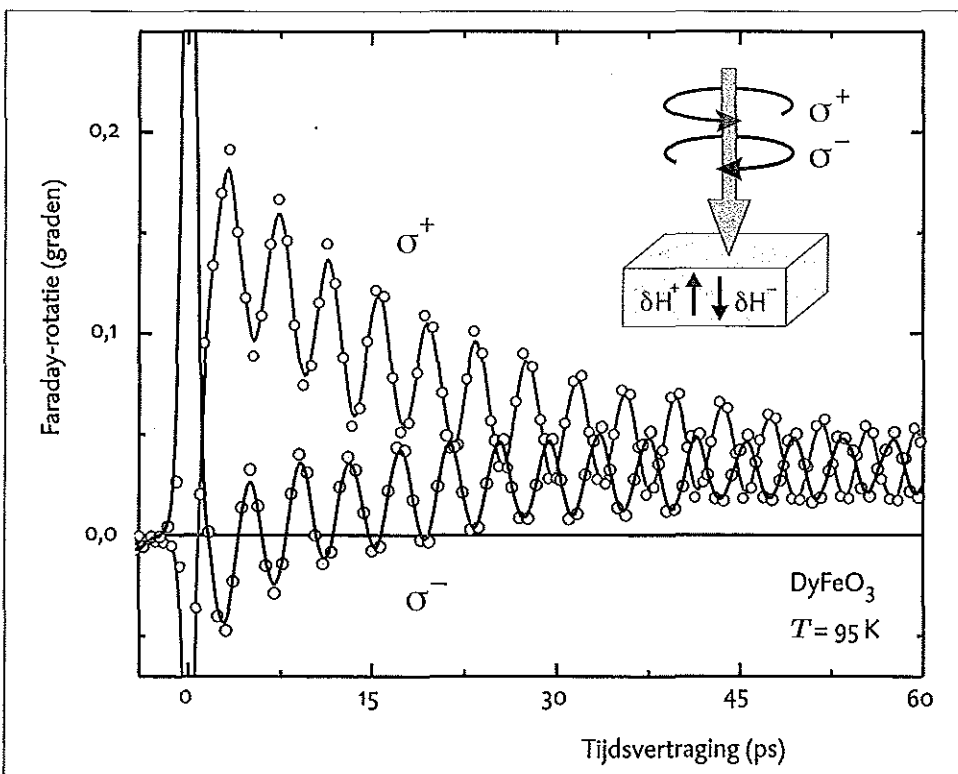
laserpuls het materiaal ter plaatse niet opwarmt. Het gevolg is dat de magnetisatie na bestraling met de laserpuls in een tijdsbestek van femtoseconden toeneemt en dat het proces onmiddellijk ook weer herhaald kan worden. De enige begrenzing daarbij is de pulsduur (hier 200 femtoseconden) van de gebruikte laser.

VOORUITBLIK

De Nijmeegse experimenten bewijzen dat een laser de beweging van magneten kan controleren. Uit de resultaten van onze experimenten blijkt dat met deze aanpak het schrijven van data op een harde schijf in principe tienduizend maal sneller kan. IBM en harde-schijfgigant Seagate hebben daarom beide laten weten dat ze interesse hebben in dit concept. De komende drie jaar gaan we, onder andere met behulp van een VENI-beurs, deze ultrasnelle controle van de magnetisatie verder bestuderen en proberen toe te passen.

NOOT

- Deze resultaten zijn onlangs verschenen in: A.V. Kimel, A. Kirilyuk, P.A. Usachev, R.V. Pisarev, A.M. Balbashov en Th. Rasing, 'Ultrafast non-thermal control of magnetization by instantaneous photomagnetic pulses', *Nature* 435 (2005), 655.



Figuur 2

Optisch geïnduceerde magnetische excitaties in DyFeO₃, gemeten met behulp van het Faraday-effect. De figuur laat duidelijk zien dat de excitatie instantaan is en de fase afhangt van de helichtheid van het circulair gepolariseerde pomplicht. Na excitatie oscilleren de Fe-spins rond hun evenwichtspositie met een periode van ongeveer vijf picoseconden.

De inzet laat de geometrie van het experiment zien. De vectoren δH^+ δH^- representeren de effectieve magneetveldpulsjes geïnduceerd door respectievelijk rechts- (σ^+) en links- (σ^-) draaiend circulair gepolariseerd licht.