

Vom Nanomagneteten zum Speicherriesen

Um Informationen zu speichern, sind Wissenschaftler und Ingenieure längst in die Welt des Allerkleinsten vorgedrungen. Die Wechselwirkungen im Nanobereich stellen sie dabei vor einige Herausforderungen, bieten aber auch ungeahnte Möglichkeiten für die Datenspeicher der Zukunft.

— Text . Kai Dürfeld

Daten sind der Rohstoff des 21. Jahrhunderts. Wurden 2002 weltweit in jeder Sekunde noch 100 Gigabyte geschaffen, so ist es heute das 500-Fache davon. Und es werden ständig mehr. Smarte Fabriken erzeugen sie genauso wie hochautomatisierte Fahrzeuge, Erdbeobachtungssatelliten ebenso wie Teilchenbeschleuniger. Auch kreative Videofilmer, Social-Media-Nutzer und Supermarktkassen reihen sich in eine Liste ein, die noch beliebig verlängert werden könnte. Rund 1,5 Gigabyte wird jeder Mensch im Jahr 2020 an jedem Tag im Durchschnitt generieren. Die gesamte Datenflut

schnell, sicher und vor allem kostengünstig zu speichern, stellt Computerhersteller und Wissenschaftler vor eine große Herausforderung.

„Seit 1956 ist die Speicherdichte von Festplatten um neun Größenordnungen angewachsen“, sagt Olav Hellwig. „Auf die gleiche Fläche passen heute also eine Milliarde Mal mehr Daten.“ Hellwig ist Physiker, leitet die Forschungsgruppe Magnetische Funktionsmaterialien am HZDR und hat die gleichnamige Professur an der Technischen Universität Chemnitz inne.



┌ Seit den Anfängen der maschinellen Datenspeicherung – damals noch mit Lochkarten – haben sich die Speichertechnologien rasant verkleinert. Forscherinnen, wie Miriam Lenz, arbeiten heute an magnetischen Nanostrukturen in Dünnschicht-Systemen. Quelle: istock.com, CSA Images, Color Printstock Collection (links) / A. Wirsig (rechts) └

„Durch die Optimierung herkömmlicher Festplatten-Technologien lässt sich die Speicherdichte vielleicht noch um eine weitere Größenordnung steigern. Dann werden die magnetischen Einheiten so klein, dass sie bei Raumtemperatur einfach nicht mehr stabil sind, selbst wenn wir die härtesten Magneten nehmen, die derzeit bekannt sind.“

Fast 14 Jahre lang hat Hellwig für große Festplatten-Hersteller im Silicon Valley daran gearbeitet, das physikalisch Mögliche aus den etablierten Materialien herauszuholen und auch neue Wege für die Datenspeicherung zu suchen. In Dresden und Chemnitz führt er nun diese Arbeit fort und legt gemeinsam mit seinen Kollegen den Grundstein für die nächste und übernächste Speichergeneration.

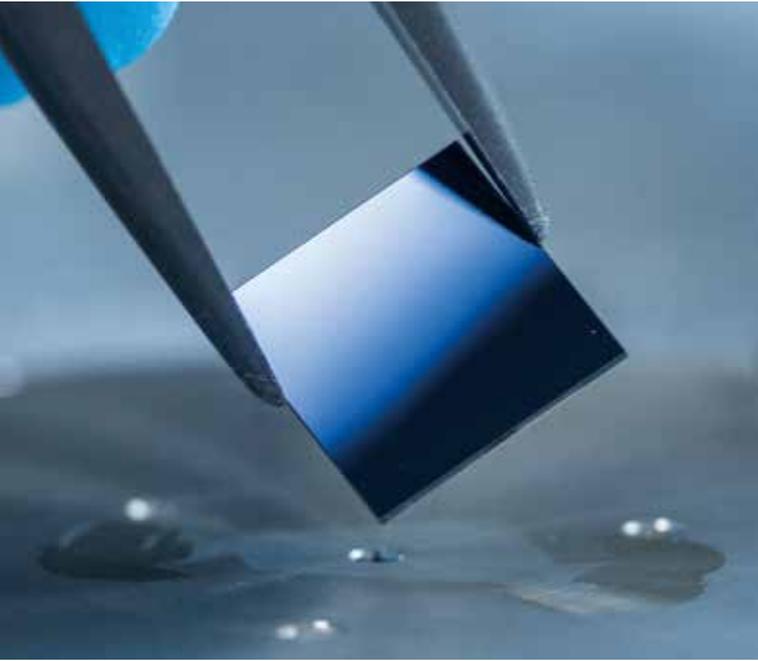
Magnetische Inseln im Nanoformat

Standardisierte Baugrößen, riesiger Speicherplatz, unschlagbarer Preis: Seit die erste Festplatte das Licht der Welt erblickte, hat sie sich zum Rückgrat der modernen IT-Systeme entwickelt. Im Inneren rotieren Scheiben aus inertem Material mit hauchdünner Cobalt-Chrom-Platin-Beschichtung. Ein Schreib-/Lesekopf schwebt in rund drei Nanometer Abstand über der Oberfläche und definiert beim Schreiben die sogenannten Bit-Zellen einer Datenspur. Bisher sind diese Schichten granular, das heißt gekörnt. Eine Speicherzelle bestand dabei anfangs aus einigen hundert Körnchen mit Durchmes-

sern im Mikrometerbereich. Heute hat sich die Anzahl der Körner pro Bit auf unter 20 reduziert mit einer mittleren Größe von nur noch rund acht Nanometern.

Sollen mehr Speicherzellen auf einer Standardscheibe Platz finden, müssen die Körnchen schrumpfen. Bei sieben bis acht Nanometer ist die Technik heute angekommen und hat damit die Optimierungsschraube fast bis zum Anschlag gedreht. Denn durch den superparamagnetischen Effekt sinkt die thermische Stabilität bei kleiner werdendem Korn. Die Magnetisierung kann spontan ihre Richtung ändern, wodurch die gespeicherten Daten verschwinden. Einen Ausweg verspricht HAMR. Das steht für Heat-Assisted Magnetic Recording, also Wärme-unterstützte Magnetaufzeichnung, und setzt auf besonders hartmagnetische Schichten aus einer chemisch geordneten Eisen-Platin-Legierung. Damit sind selbst drei Nanometer kleine Körner noch thermisch stabil.

Um darin Daten zu speichern, muss die Oberfläche aber lokal erhitzt werden. Ein eingebauter Laser projiziert dazu seine Energie nanometergenau auf die Oberfläche, während der Schreibkopf die Speicherzelle magnetisiert. Gespeichert und ausgelesen werden die Daten anschließend im kalten Zustand. Bereits während seiner Zeit in den USA forschte Hellwig an dieser Technologie. Am HZDR erweitern er und seine Kollegen nun das Wissen um die ultradünnen Speicherschichten und deren charakteristischen Eigenschaften. >



Nicht gekörnte Strukturen, sondern winzige, geordnete, magnetisch homogene Inseln sind eine weitere Möglichkeit, die Speicherkapazität von Festplatten zu erhöhen. Jede repräsentiert dabei ein Bit und wird entweder lithografisch, durch Selbstorganisation des Materials oder einer Kombination von beidem erzeugt. Bit Patterned Media (BPM), also Bit-strukturierte Medien heißt diese Technologie. Der Vorteil: Da sie größer sind, sind die „magnetischen Inseln im Nanoformat“ thermisch stabiler als die vielen kleinen Magnetkörnchen herkömmlicher Speicherzellen. In Sachen Speicherdichte bietet BPM also noch Luft nach oben.

Wie lässt sich der Energiehunger stoppen?

Drängender als noch höhere Speicherdichten ist aber ein anderer Aspekt. „Der größte Kostenfaktor heutiger Datenzentren“, erzählt Hellwig, „ist die nötige Energie für den Betrieb der Speicher und Prozessoren vor allem für deren Kühlung.“ Denn Elektronik basiert auf dem Fluss von Elektronen. Ein Großteil der elektrischen Energie wird dabei jedoch in Wärme umgewandelt. Je dichter die Speicherzellen und Prozessoreinheiten beieinanderliegen, umso problematischer wird das Abführen dieser Wärme.

„Die Datenverarbeitung und -speicherung erfolgt heute so dicht, dass wir mit den Strukturen längst in den Nanobereich vorgedrungen sind“, fährt Hellwig fort. „Die magnetischen Wechselwirkungen auf der Nanometerskala sind aber wesentlich vielfältiger als auf makroskopischer Ebene. Die meisten treten nur im Nanomagnetismus auf, mit Wirkungslängen

unterhalb eines Mikrometers. Nehmen wir zum Beispiel spinpolarisierte Ströme. Diese elektrischen Ströme tragen ein magnetisches Moment, sind also auch magnetisch. Allerdings kann dieser Effekt nur im Nanobereich genutzt werden.“

Für die Speicher von morgen können aber neue Wechselwirkungen auf der Nanoskala, die ohne Ladungsträgertransfer auskommen, wie zum Beispiel Spinwellen (Magnonen) oder reine Spinströme (ohne Ladung) ein Segen sein, da sie einen entscheidenden Vorteil haben: Ohne den Transfer und somit ohne ohmsche Wärmeentwicklung sinkt der Energiebedarf und die problematische Erhitzung wird vermieden.

Arbeitsspeicher mit Langzeitgedächtnis

Tatsächlich gibt es bereits heute Speicherelemente, die spinpolarisierte Ströme nutzen, und die verwandeln ganz nebenbei das Kurzzeitgedächtnis eines Computers in ein Langzeitgedächtnis. Informationen für die nächsten Arbeitsschritte zwischenzuspeichern, ist die Aufgabe des Random Access Memory, kurz RAM. Stand der Technik sind Halbleiterspeicher auf Siliziumbasis. Sie lesen und schreiben Daten überragend schnell, können sie jedoch ohne Energie nicht konservieren. Nicht-flüchtige Halbleiterspeicher wie USB-Sticks können RAMs in Puncto Geschwindigkeit hingegen nicht das Wasser reichen. Außerdem werden sie bei jedem Löschvorgang ein klein wenig beschädigt.

Eine Kombination beider Technologien mit den jeweiligen Vorzügen wäre ein großer Schritt. Und tatsächlich wurde er



Am Magnetometer können die Forscher das magnetische Schaltverhalten der beschichteten Silizium-Waferstücke genau analysieren.
Quelle: A. Wirsig



▮

Die Dresdner Forscher arbeiten an neuartigen magnetischen Funktionsmaterialien. Auf Silizium-Waferstücke bringen sie dafür dünne Schichten von Metallen auf. Durch unterschiedliche Schichtabfolgen entstehen so verschiedene magnetische Funktionalitäten.

Quelle: A. Wirsig ▮

bereits gegangen. Magnetoresistive Random Access Memory, kurz MRAM, heißt eine Technologie, die Daten nicht elektrisch, sondern magnetisch speichert und dabei auch auf spinpolarisierte Ströme setzt. MRAM-Module sind beliebig oft beschreib- und löschbar, dabei genauso schnell wie moderner RAM, aber eben nicht flüchtig. In den schichtweise aufgebauten Speichermodulen wechseln sich wenige Nanometer dicke, magnetische Schichten mit noch dünneren, nicht-magnetischen Schichten ab. MRAM-Module sind heute bereits erhältlich. Allerdings schränkt ihr hoher Preis die Anwendungsgebiete stark ein. Eingesetzt werden sie zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt, als Datenpuffer in Serversystemen oder für Industrieanlagen, bei denen der Datenverlust durch Stromausfall schwerer wiegt als Extrakosten für den Speicher.

Ein Punkt, den sich übrigens alle neuen Speichertechnologien teilen: „Ich glaube nicht, dass irgendeine neue Technologie alles bisher Etablierte vom Tisch fegen wird“, meint Hellwig. „Neben der technischen Machbarkeit sind vor allem die Kosten ausschlaggebend dafür, ob, wie schnell und wie nachhaltig sich eine neue Technologie durchsetzen kann.“ Aus eigener Erfahrung weiß er, dass sich die Forschung bei den Speicherherstellern vor allem daran orientiert, wie stark sich die Ergebnisse in der Umsatzstatistik niederschlagen. Und auch die Auftragsforschung an vielen Universitäten, so schätzt er ein, ähnele immer öfter einer Produktentwicklung. „Für mich ist das HZDR deshalb etwas ganz Besonderes. Hier können

wir uns voll und ganz auf die Grundlagenforschung konzentrieren und damit die Basis für die Speichertechnologie von morgen schaffen.“

Publikationen:

T.R. Albrecht, H. Arora, V. Ayanoor-Vitikkate, J. Beaujour, D. Bedau, D. Berman, A.L. Bogdanov, Y. Chapuis, J. Cushen, E.E. Dobisz, G. Doerk, H. Gao, M. Grobis, B. Gurney, W. Hanson, O. Hellwig, T. Hirano, J. Lille, P. Jubert, D. Kercher, Z. Liu, C.M. Mate, I. Oboukhov, K.C. Patel, K. Rubin, R. Ruiz, M. Schabes, L. Wan, D. Weller, T. Wu, E. Yang: Bit-patterned magnetic recording: Theory, media fabrication, and recording performance, IEEE Transactions on Magnetics, 2015 (DOI: 10.1109/TMAG.2015.2397880)

B.C. Stipe, T. Strand, C. Poon, H. Balamane, T. Boone, J. Katine, J-L Li, V. Rawat, H. Nemoto, A. Hirotsune, O. Hellwig, R. Ruiz, E. Dobisz, N. Robertson, T. Albrecht, B.D. Terris: Magnetic recording at 1.5 Pb m⁻² using an integrated plasmonic antenna, Nature Photonics, 2010 (DOI: 10.1038/nphoton.2010.90) ▮

Kontakt

▮ Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung am HZDR /
TU Chemnitz
Prof. Olav Hellwig
o.hellwig@hzdr.de