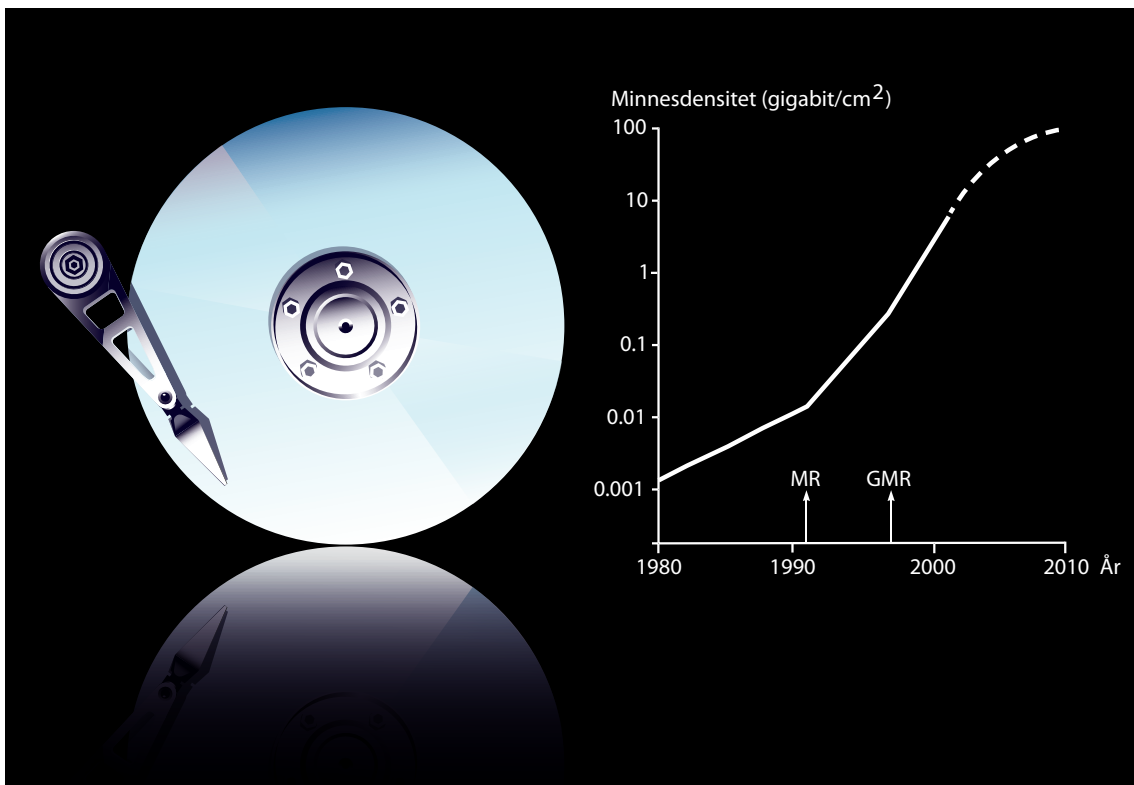


Nobelpriset i fysik 2007

Nobelpriset i fysik 2007 tilldelas **ALBERT FERT** och **PETER GRÜNBERG** för deras upptäckt av jättemagnetoresistans. Tillämpningar av detta fenomen har revolutionerat tekniken att läsa information från hårddiskar. Upptäckten spelar också stor roll i olika magnetiska sensorer liksom för utvecklingen av en ny generation elektronik. Användningen av jättemagnetoresistans kan betraktas som en av nanoteknikens första stora tillämpningar.

Känsligare läshuvud gav elektronik i fickformat

Ständigt krympande elektronik har blivit en självklarhet i dagens IT-värld. Vi höjer knappt längre på ögonbrynen över det årliga tillskottet av kraftfullare och lättare datorer på marknaden. Inte minst hårddiskarna har krympt – den skrymmande lådan under skrivbordet är snart ett minne blott, när samma mängd data nu lika gärna kan lagras i en smacker laptop. Och med en musikspelare i var och varannan persons ficka undrar ingen längre över hur många cd-skivor som musikmängden på den minimala hårddisken egentligen motsvarar. Nu senast har hårddiskar på en terabyte (tusen miljarder byte) lanserats för hemmabruk.



IT-branschens diagram, där den accelererande förminskningstakten presenteras som om den följde en naturlag (se figur ovan), kan få denna tekniska utveckling att te sig bedrägligt enkel. Men i själva verket vilar den pågående IT-revolutionen på ett intrikat samspel mellan grundläggande vetenskapliga framsteg och teknisk finslipning. 2007 års Nobelpris i fysik handlar om just detta.

För att tillämpningar som bärbara datorer och musikspelare, liksom kraftfulla sökmotorer, ska bli möjliga måste informationen kunna packas mycket tätt. Informationen på en hårddisk består av områden som magnetiseras i olika riktningar, där en viss magnetiseringsriktning motsvarar en nolla och den motsatta riktningen motsvarar en etta. För att plocka ut informationen från hårddisken används ett läshuvud som sveper över disken och registrerar de olika magnetfältsriktningarna. När hårddisken krymper måste också varje enskild magnetisk bit bli mindre. Varje litet magnetfält blir då också svagare och svårare att läsa av. Ju tätare man vill kunna packa informationen på en hårddisk, desto känsligare lästeknik behövs alltså.

I slutet av 1990-talet blev en helt ny teknik standard i hårddiskars läshuvuden, och detta är en avgörande anledning till att vi på senare tid har sett en sådan snabb utveckling mot mer kompakta hårddiskar. Denna nya lästeknik bygger på en fysikalisk effekt som årets två Nobelpristagare i fysik för första gången såg för snart tjugo år sedan. Fransmannen Albert Fert och tysken Peter Grünberg upptäckte 1988, på var sitt håll och oberoende av varandra, den så kallade jättemagnetoresistansen – på engelska giant magnetoresistance, GMR. Det är för denna upptäckt de två nu tilldelas Nobelpriset i fysik.

Från Lord Kelvin till nanoteknik

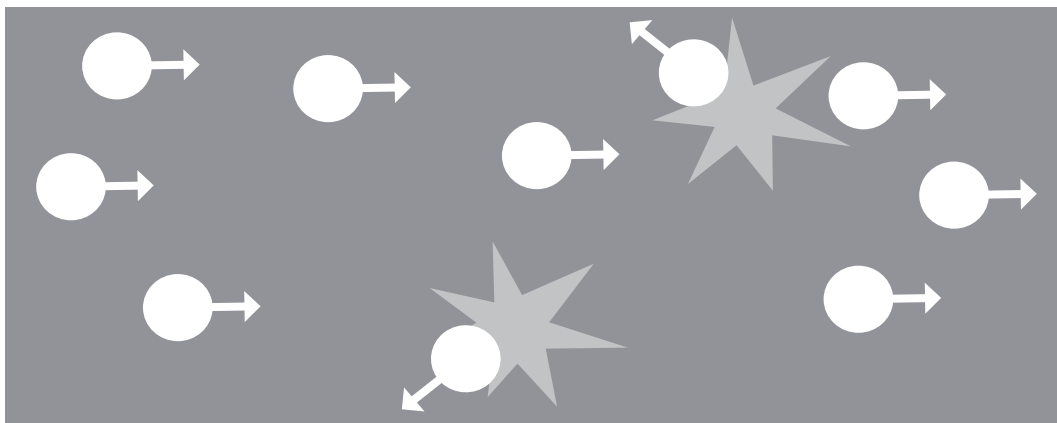
Ursprungligen användes induktionsspolar i läshuvudena, där man utnyttjar det faktum att en magnetfältsförändring skapar (inducerar) en ström genom en elektrisk spole. Denna teknik visade sig dock svår att förbättra tillräckligt när krympande hårddiskar ställde krav på allt känsligare läshuvuden. Fortfarande används dock induktionsspolar för att skriva på hårddisken.

Att det elektriska motståndet, resistansen, i ämnen som järn kan påverkas av magnetfält har varit känt mycket länge. Den brittiske fysikern Lord Kelvin publicerade redan 1857 en artikel där han påvisade att om ett magnetiskt fält läggs längs med en ledare av järn så minskar det elektriska motståndet, medan det ökar om magnetfältet läggs tvärs över ledaren. Denna riktning beroende magnetoresistans (MR) var jättemagnetoresistansens närmaste föregångare för att läsa information från hårddiskar. Men så småningom tog utvecklingsmöjligheterna stopp även för denna teknik. Det gick inte att förbättra känsligheten tillräckligt mycket.

En förutsättning för att GMR-effekten skulle kunna upptäckas var de nya möjligheter att framställa nanometertunna lager som utvecklats från 1970-talet och framåt. En nanometer är en miljarddel meter och det handlar om att skapa materiellager som vart och ett består av bara några få skikt atomer. Nere på atomnivå beter sig materien annorlunda och ofta upptäcker man helt nya materialegenskaper när man får möjlighet att arbeta med nanometerstora strukturer. Detta gäller inte bara magnetism och elektrisk ledningsförmåga utan det kan också handla om till exempel hållfasthet eller ett materials kemiska och optiska egenskaper. GMR-tekniken kan alltså betraktas som en av de första stora tillämpningarna av den nanoteknik som nu diskuteras i så många olika sammanhang.

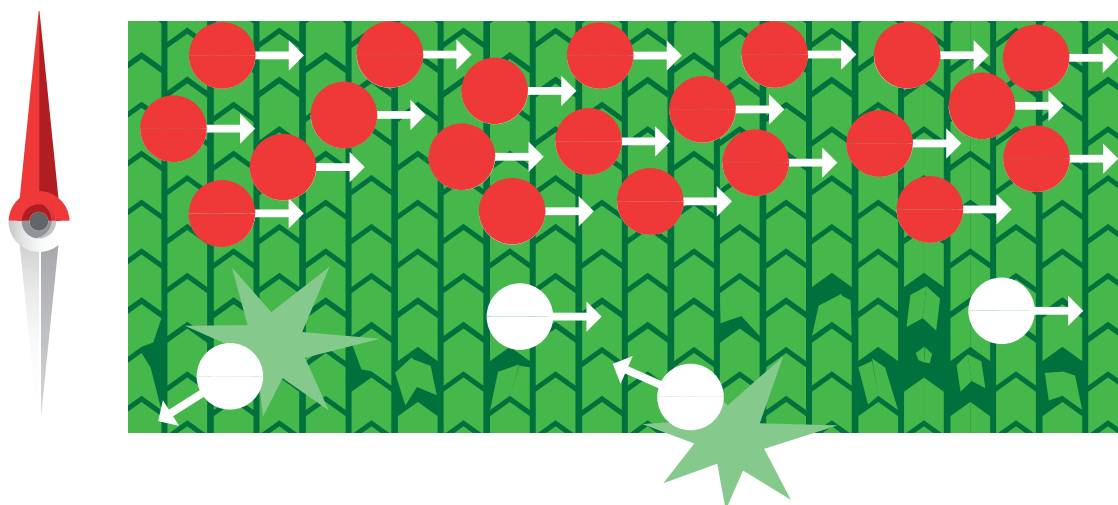
Resistans och magnetisering

I en ledare av metall transporteras elektriciteten i form av elektroner som kan röra sig fritt genom materialet. Strömmen leds genom att elektronerna rör sig i en viss riktning, ju rakare väg desto bättre är ledningsförmågan. Det elektriska motståndet, resistansen, uppstår genom att elektronerna avviker från sin raka väg då de sprids mot ojämnheter och orenheter i materialet. Ju mer elektronerna sprids, desto högre blir resistansen.



Den elektriska resistansen i en ledare uppstår av att elektroner sprids mot ojämnheter i materialet och därmed hindras från att röra sig framåt.

I magnetiska material påverkas spridningen också av magnetiseringsriktning. Jättemagnetoresistansens starka koppling mellan magnetfält och resistans uppstår på grund av elektronens inneboende rotation som ger upphov till ett magnetiskt moment – den kvantmekaniska egenskapen spinn, som kan inta två motsatta riktningar. I ett magnetiskt material pekar de flesta elektroners spinn åt ett och samma håll (parallellt), medan ett mindre antal pekar åt motsatt håll (antiparallellt). Det är denna obalans som ger upphov till magnetiseringen och som också leder till att elektroner med olika spinnriktningar sprids olika mycket mot ojämnheter och orenheter i materialet, och i gränssytor mellan material. Vilken spinnriktning som sprids mest beror på vilka material det rör sig om.



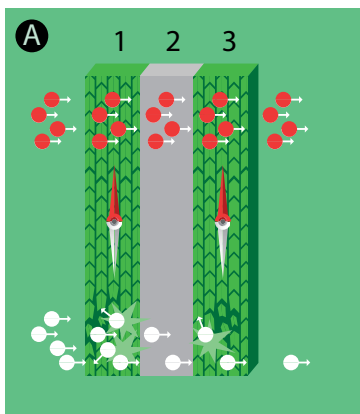
I en magnetisk ledare har de flesta elektroner (röda) sina spinn riktade parallellt med magnetiseringen. En minoritet av elektroner (vita) har spinn som är riktade i motsatt riktning. I detta exempel sprids just dessa elektroner mest.

Jättemagnetoresistans – GMR

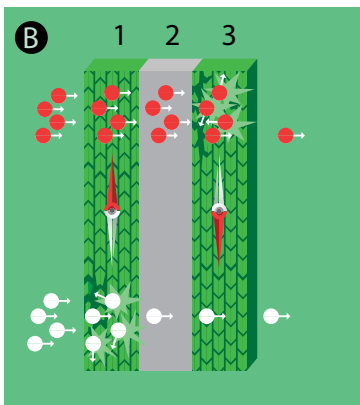
Ett exempel på det enklaste systemet för jättemagnetoresistans består av ett lager av en icke-magnetisk metall mellan två lager av en magnetisk metall, se figuren nedan. Inuti det magnetiska materialet, och framförallt i själva ytskiktet mellan det magnetiska och det icke-magnetiska materialet, sprids alltså elektroner med motsatta spinn olika mycket(1). Låt oss här betrakta det fall då elektroner med antiparallellt spinn sprids betydligt mer än elektroner vars spinn ligger parallellt med magnetiseringsriktningen. Resistansen blir alltså i detta exempel störst för elektroner med antiparallellt spinn. När elektronerna sedan kommer in i det icke-magnetiska materialet sprids de alla lika mycket, oberoende av spinnriktning (2). I ytskiktet till och inuti nästa magnetiska lager (3) sprids så återigen de elektroner som har antiparallellt spinn mer än de som har parallellt spinn.

Om de två magnetiska lagrens magnetisering pekar åt samma håll innebär det att de flesta elektronerna (de med parallellt spinn) slipper igenom lätt och att den totala resistansen därför blir låg (A). Om de två lagrens magnetisering istället är motsatta så innebär det att alla elektroner i något av lagren har antiparallellt spinn. Oavsett spinnriktning finns då inga elektroner som lätt kan smita igenom hela systemet och den totala resistansen blir därför hög (B).

Ett GMR-läshuvud fungerar så här: Magnetiseringen i lager (1) är låst, medan riktningen i lager (3) påverkas av hårddiskens varierande magnetfält. Detta innebär att magnetiseringen i de två magnetiska lagren i GMR-huvudet omväxlande blir motriktade respektive likriktade. Följden blir att resistansen, och därmed strömmen, genom läshuvudet varierar. Denna ström är läshuvudets utsignal – hög ström kan motsvara en etta och låg ström en nolla.



Om magnetiseringsriktningen är densamma i de båda magnetiska lagren kan de elektroner som har parallellt spinn (röda) smita igenom hela systemet utan att spridas särskilt mycket. Därför blir den totala resistansen låg.



Om magnetiseringsriktningen i de två magnetiska lagren är motriktade, kommer alla elektroner att ha antiparallellt spinn i något av lagren och därmed spridas mycket. Detta leder till att den totala resistansen blir hög.

GMR blev snabbt standard

Det var vid mitten av 1980-talet som forskare inom magnetism fick upp ögonen för de möjligheter som nanometertjocka lager kunde erbjuda. Albert Fert och hans kollegor skapade ett trettiotal lager – som vardera var några få atomskikt tjocka – bestående omväxlande av magnetiskt järn och av metallen krom. För att lyckas med detta måste de arbeta nästan i vakuum, och använda en gas av järnatomer respektive kromatomer med mycket lågt tryck. Atomerna från gasen fastnar då successivt på ytan så att denna byggs upp, atomskikt för atomskikt. Peter Grünbergs grupp skapade på liknande sätt ett något enklare system med bara två eller tre lager av järn med krom emellan.

Bland annat på grund av de många fler lagren i Ferts system blev den magnetoresistans han såg större än för Grünberg. Den franska gruppen iakttog en magnetfältsberoende resistansskillnad på 50 procent, medan den tyska som mest såg en 10-procentig förändring. Den grundläggande effekten och fysiken bakom var dock densamma och båda grupperna insåg att de iakttagit ett helt nytt fysikaliskt fenomen. Med traditionell magnetoresistans hade man inte mätt upp mer än någon procents skillnad i elektriskt motstånd beroende på magnetfältets riktning. Albert Fert var den som myntade själva begreppet jättemagnetoresistans, GMR, för att beskriva den nya effekten och han talade redan i sin ursprungsartikel om att upptäckten skulle kunna få stor betydelse i tillämpningar. Peter Grünberg förstod också han att fenomenet kunde utnyttjas praktiskt och samtidigt med att han skickade in sin första forskningsartikel i ämnet tog han patent på tekniken.

För att tekniken skulle kunna utnyttjas kommersiellt krävdes dock att lagren gick att framställa industriellt. Den metod som såväl Grünberg som Fert använde sig av (så kallad epitaxi) var tidskrävande och kostsam och passade därför bättre i ett forskningslaboratorium än i en storskalig teknisk process. Därför innebar det ett viktigt steg när den i USA verksamme engelsmannen Stuart Parkin visade att det gick att uppnå samma effekt med en enklare teknik (så kallad sputtring), som bland annat inte kräver lika högt vakuum och där GMR-system kan framställas ”på löpande band”. Det visade sig helt enkelt att GMR-effekten inte alls krävde så perfekta lager som man från början hade trott. Denna relativt enkla tillverkningsprocess kombinerat med GMR-huvudenas stora känslighet innebar att de snabbt blev standard i hårddiskar så snart det första kommersiella GMR-huvudet tillverkats 1997.

En ny elektronik – spintroniken

GMR stod dock inte bara för ett tekniskt genombrott vad gäller möjligheterna att läsa tätt packad data från hårddiskar (och för andra typer av magnetiska sensorer). Lika intressant är kanske att denna teknik kan betraktas som första steget i att utveckla en helt ny form av elektronik, ibland kallad spintronik. Det som utmärker spintroniken är alltså att elektronens spinn utnyttjas, inte bara dess elektriska laddning som i traditionell elektronik. Förutsättningen för spintronik är just de små dimensioner som nanotekniken arbetar med. Elektronens spinnriktning behålls nämligen bara över kortare sträckor, i tjockare lager byter spinnriktning innan man hinner utnyttja de olika spinnriktningarnas skilda egenskaper (vilka exempelvis ger högre eller lägre resistans).

I GMR-teknikens efterföljd har man till exempel lyckats bygga ett liknande system där den icke-magnetiska metallen i mellanlagret har ersatts med ett tunt lager elektriskt isolerande material. Egentligen ska elektrisk ström inte alls kunna ledas genom det isolerande lagret, men om det är tillräckligt tunt kan elektronerna ta sig igenom tack vare en kvantmekanisk effekt som kallas tunnling. Därför kallas detta system för TMR, tunnelmagnetoresistans. I TMR skapas ännu större resistansskillnader av mycket svaga magnetfält och nästa generation läshuvuden använder denna teknik.

Mot ett universalminne

Ytterligare en tillämpning av spinntronik som redan börjat se dagens ljus är ett magnetiskt arbetsminne, så kallad MRAM. Vid sidan av hårddisken där information lagras permanent har datorer ett snabbt åtkomligt arbetsminne, som brukar gå under beteckningen RAM (random access memory). I arbetsminnet lagras tillfälligt den information som datorn behöver för att kunna arbeta, men de arbetsminnen som är standard idag kan inte spara informationen permanent. Det är bara i arbetsminnet denna text finns lagrad när den skrivs. Om strömmen går eller någon råkar stänga av datorn utan att spara, så går texten förlorad. Först då man tycker på ”spara”-knappen skrivs den in på hårddisken och lagras permanent.

Poängen med MRAM är att man genom att utnyttja TMR både för att skriva och för att läsa kan skapa ett minne som är snabbt åtkomligt och till skillnad från den långsammare hårddisken därför kan användas som arbetsminne. Samtidigt är MRAM ett permanent minne som inte är beroende av strömförsörjning eftersom det liksom hårddisken är baserat på stabila förändringar i magnetiseringsriktning hos bitarna. MRAM kan därför möjligen utvecklas till ett slags universalminne som samtidigt ersätter både det traditionella arbetsminnet och hårddisken. MRAM kan genom sin förmåga att vara ett ”allt-i-ett”-minne få särskilt stor betydelse i tillämpningar med små inbyggda datorsystem i allt ifrån programmerbara kökspisar till bilmotorer.

Upptäckten av GMR öppnade alltså dörren till en helt ny teknisk vetenskap, spinntroniken, där både elektronens laddning och dess spinn utnyttjas. Den gryende nanotekniken var en gång förutsättning för att GMR skulle upptäckas; nu är spinntroniken istället en drivande kraft bakom nanoteknikens snabba utveckling. Detta område är därför ett ovanligt tydligt exempel på hur grundläggande vetenskap och ny teknik utvecklas sida vid sida och förstärker varandra.

LÄNKAR OCH LÄSTIPS

Mer information om årets priser, bland annat en vetenskaplig bakgrundsartikel på engelska, finns på Kungl. Vetenskapsakademiens webbplats, www.kva.se, och på <http://nobelprize.org>. Där kan man också se presskonferensen som webb-TV. Mer information om utställningar och aktiviteter kring Nobelpriset finns på www.nobelmuseet.se.

Populärvetenskaplig artikel

"*Spinn på framtidens elektronik*" av Johan Åkerman, *Forskning & Framsteg* 6/07 (svenska).

Översiktsartiklar

"*Kopplung macht den Widerstand*" av Peter Grünberg, *Physik Journal* 9/2007 (tyska).

"*Giant steps with tiny magnets*" av Agnes Barthélémy och Albert Fert med flera, *Physics World* Nov. 1994 (engelska).

"*Spintronics*" av Dirk Grundler, *Physics World* April 2002 (engelska).

Vetenskapliga originalartiklar

"*Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices*" av M.N. Baibich med flera, *Physical Review Letters* Vol. 61, No. 21 (1988). (Albert Fert's originalartikel).

"*Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange*" av G. Binasch med flera, *Physical Review B*, Vol. 39, No. 7 (1989). (Peter Grünberg's originalartikel).

Länk

Presentation av GMR-tekniken på IBM's webbplats (bakgrund, grafik och animationer):
www.research.ibm.com/research/gmr.html

PRISTAGARNA

ALBERT FERT

Unité Mixte de Physique CNRS/ THALES,
Université Paris-Sud
Domaine de Corbeville
FR-91404 Orsay
FRANKRIKE
www2.cnrs.fr/en/338.htm

Fransk medborgare. Född 1938 (69 år)
i Carcassonne, Frankrike. F.D. 1970, vid
Université Paris-Sud, Orsay, Frankrike.
Professor vid Université Paris-Sud, Orsay,
Frankrike, sedan 1976. Vetenskaplig ledare
för Unité Mixte de Physique CNRS/
THALES, Orsay, Frankrike, sedan 1995.

PETER GRÜNBERG

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Festkörperforschung
DE-52425 Jülich
TYSKLAND
www.fz-juelich.de/portal/gruenberg_e

Tysk medborgare. Född 1939 (68 år) i
Pilsen. F.D. 1969, vid Technische Uni-
versität Darmstadt, Tyskland. Professor
vid Institut für Festkörperforschung,
Forschungszentrum Jülich, Tyskland,
sedan 1972.