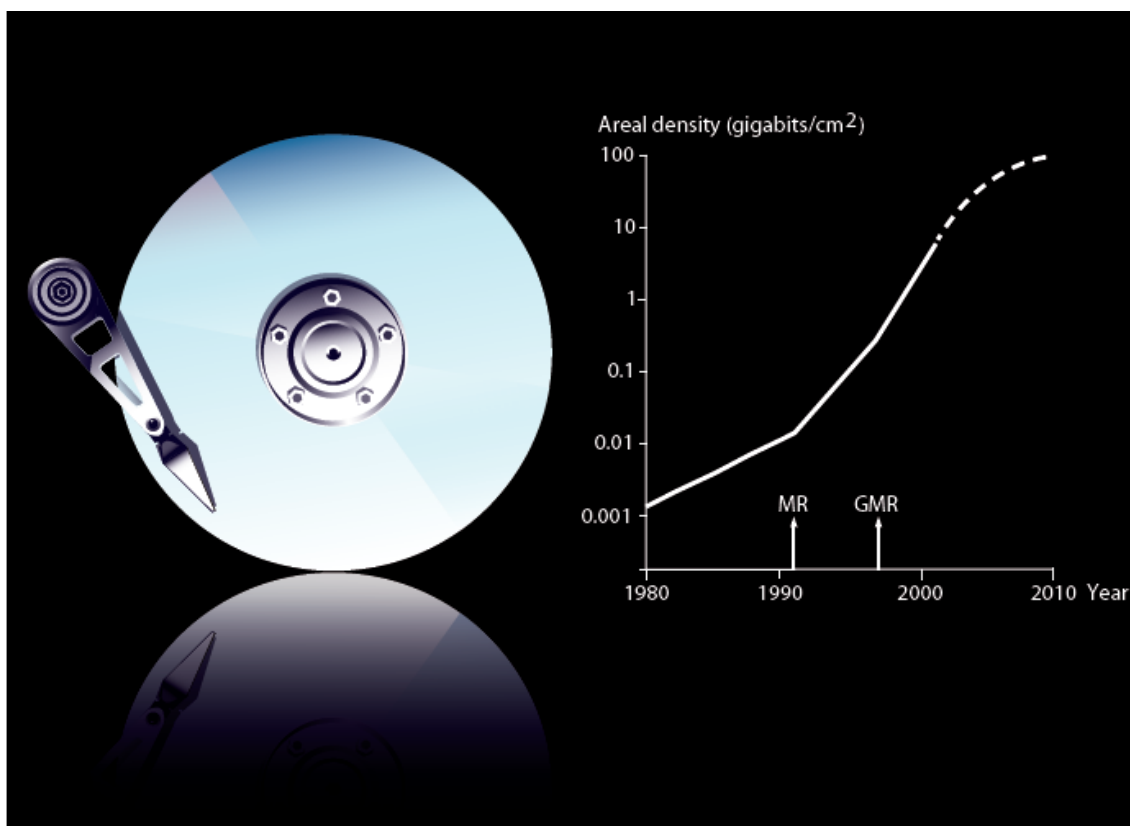


## Нобеловата награда за физика 2007

(Съобщение на Нобеловия комитет)

### По-добри четящи глави за джобните устройства

Постоянната миниатюризация на електронните устройства стана ежедневие за днешния свят на информационните технологии (ИТ). Ежегодната поява на пазара на все по-мощни и все по-малки компютри е нещо, което започнахме да възприемаме като разбиращо се от само себе си. В частност, твърдите дискове се смалиха – обемистата кутия под бюрото ви скоро ще остане в историята, тъй като същото количество данни може лесно да се натрупа в един тънък лаптоп. Носейки музикален плеър в джоба си,



*Диаграмата, показваща ускорения ход на миниатюризацията, може да създаде лъжливото впечатление за простота – като че ли това развитие следва някакъв природен закон. В действителност, протичащата ИТ-революция зависи от едно сложно взаимодействие между напредъка във фундаменталните науки и финото напасване с техниката. Точно за такъв напредък е тазгодишната Нобелова награда за физика.*

човек вече дори не се замисля на колко компактдиска музиката е записана върху тънкия му диск. До скоро максималният обем на паметта на твърдите дискове за домашните

компютри се покачи до терабайти (хиляда милиарда байта). Преносимите компютри, музикалните плеъри и мощните търсачки изискват твърди дискове, които носят информация с огромна плътност. Върху твърдия диск информацията се записва под форма на различно намагнитени области. Определена посока на намагнитването съответства на бинарна нула, а друга посока съответства на бинарна единица. За да се прочете информацията, една четяща глава сканира твърдия диск и регистрира различните области на намагнитване. При намаляване размерите на диска се намаляват размерите и на намагнитените области. Това означава, че магнитното поле на всеки байт става по-слабо и по-трудно за четене. Затова един по-малък твърд диск изисква и по-чувствителна техника за четене на информацията.

Към края на 90-те години на 20. век стана стандартна една абсолютно нова технология за четящи глави от твърди дискове. Тя има решително значение за тенденцията за ускорена миниатюризация на твърдите дискове, която наблюдаваме през последните години. Днешната технология за четене се основава на един физичен ефект, който тазгодишните двама Нобелови лауреати за физика наблюдаваха за пръв път преди почти 20 години. Французинът Албер Фер и германецът Петер Грюнберг едновременно и независимо един от друг откриха т.нар. Гигантско Магнитно Съпротивление (ГМР). Тъкмо за това откритие двамата сега споделят Нобеловата награда за физика.

#### **От лорд Келвин до нанотехнологията**

По начало индукционните намотки на четящи глави използват факта, че промените на магнитното поле индуцират в намотката токове. Въпреки че тази технология е несъвместима с изискванията на постоянно намаляващите размерите си твърди дискове, индукционните намотки все още намират приложение за записване на информация върху дисковете. За четенето на информация обаче магнитното съпротивление скоро показва преимуществата си.

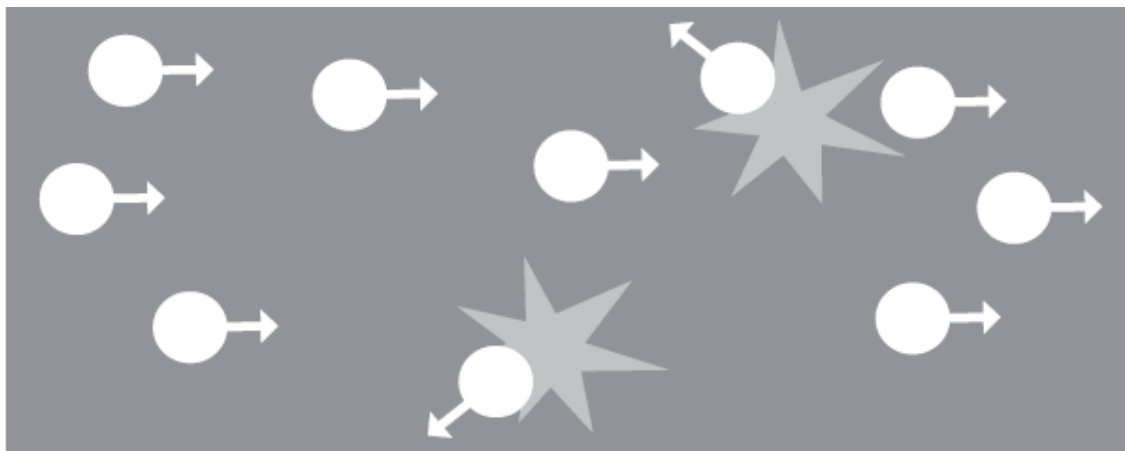
Отдавна е известно, че електричното съпротивление на вещества като желязото се влияе от магнитното поле. През 1857 г. британският физик лорд Келвин публикува статия, в която показва, че когато един проводник от магнитен материал се постави в магнитно поле, неговото съпротивление намалява в направление на намагнитването му. Ако проводникът се постави напреки на полето, съпротивлението му нараства. Това (анизотропно) магнитно съпротивление (МС) бе пряк предшественик на гигантското магнитно съпротивление като стандартна технология за четящите глави. ГМС взе превес в момента, когато стана необходима още по-чувствителна технология.

Една предпоставка за откриването на явлениято ГМС бе осигурена от новите възможности за създаване на тънки слоеве от метали в нанометричен мащаб, които започнаха

да се развиват през 70-те години на 20. век. Един нанометър е милиардна част от метъра и нанотехнологията се занимава със слоеве, съдържащи само малък брой едноатомни пластове. Дълбоко на атомно равнище веществото има различно поведение и следователно наноструктурите често ще проявяват съвсем нови свойства. Това важи не само за магнетизма и електричната проводимост, но също така и за свойства като якост или химични и оптични свойства на веществото. В този смисъл ГМС-технологията може да се разглежда също така като едно от първите големи приложения на нанотехнологията, която днес е популярна в много различни области.

### Съпротивление и намагнитване

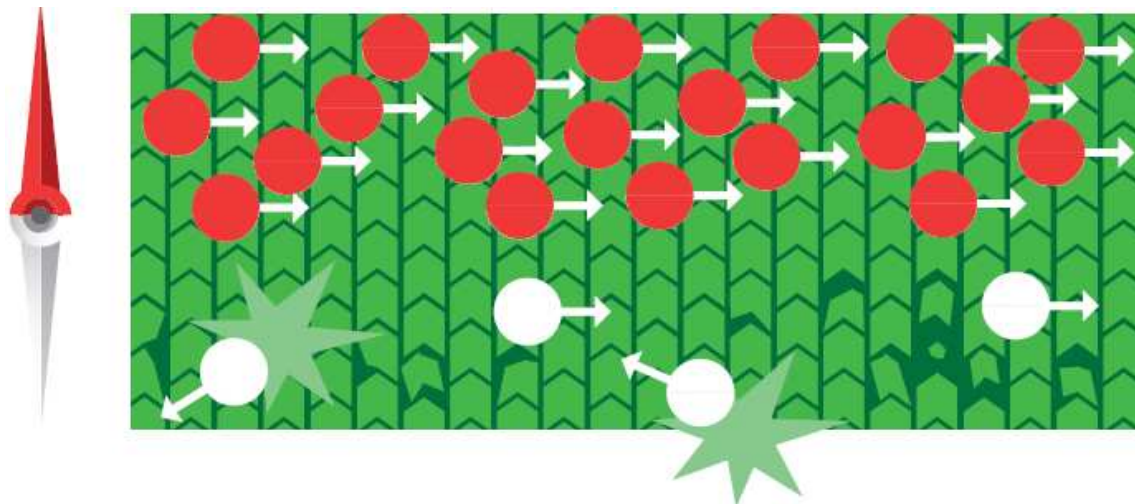
В един метален проводник има електрони, които могат да се движат свободно през материала. Ток тече поради насоченото движение на електроните в дадена посока и колкото по-неначупени са техните траектории, толкова по-голяма е проводимостта на веществото. Електричното съпротивление се дължи на отклонението на електроните от праволинейното движение, което настъпва вследствие разсейването им от дефектите и примесите във веществото. Колкото по-често се разсейват електроните, толкова по-голямо е съпротивлението.



*Електричното съпротивление на един проводник възниква когато електроните се разсейват от дефектите и примесите във веществото, така че тяхното насочено движение се нарушава.*

В едно магнитно вещество разсейването на електроните се влияе от посоката на намагнетизирането. Много силната зависимост между намагнитването и съпротивлението, която се проявява при гигантското магнитно съпротивление, се дължи на спина на електроните, на техния собствен механичен момент на въртене, който създава и магнитен момент. Спинът може да бъде ориентиран по една от две възможни посоки. В едно магнитно вещество по-голямата част от спиновете са ориентирани еднопосочно (са успоредни). Една по-малка част от спиновете обаче

винаги е насочена в обратната посока, антипаралелно на общото намагнитване. Този дисбаланс води не само до намагнитването като такова, но също така е причина за факта, че електроните с различна ориентация на спина се разсейват повече или по-малко от дефектите и примесите и по специално на границата между веществата. Свойствата на веществото определят кой вид електрони се разсейва повече.



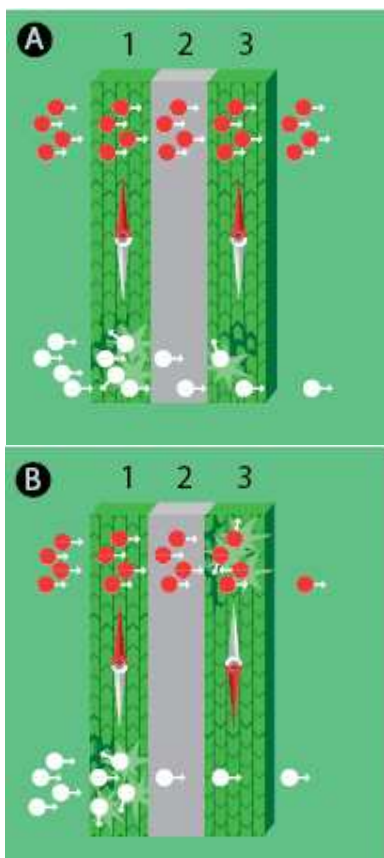
*В един магнитен проводник посоките на спиновете на повечето електрони съвпадат с намагнитването (червени). Спиновете на една малка част от електроните са ориентирани в противоположна посока (бели). В този пример електроните с антипаралелни спинове се разсейват повече.*

### **Гигантското Магнитно Съпротивление – ГМС**

В следващия пример се описва най-простата система, в която може да възникне ГМС. Тя се състои от слой немагнитен метал, разположен между два слоя магнитни метали – както на фигурата по-долу. Вътре в магнитния материал, и специално на границата между магнитен и немагнитен материал, електроните с различно ориентирани спинове се разсейват различно (1). Тук ще разгледаме случая, когато повече се разсейват електроните, чиито спинове са антипаралелни на общата посока на намагнитването. Това означава, че за тези електрони съпротивлението ще бъде по-голямо, отколкото за електроните, чиито спин е по посока на намагнитването. Когато след това електроните навлезят в немагнитния материал, всички те се разсейват еднакво, независимо от посоката на спина им (2). На втората граница и в последния слой от магнитен материал, електроните с антипаралелни спинове отново ще се разсейват повече от електроните с паралелни спинове (3).

В случая, когато двата магнитни слоя са намагнитени едноразлично, повечето електрони ще имат паралелни спинове и ще се движат лесно през структурата.

Следователно общото съпротивление ще бъде малко (случай А на фигурата по-долу). Ако обаче двата слоя са намагнитени в противоположни посоки, всички електрони ще бъдат в състояние на антипаралелни спинове в един от двата слоя. Това означава, че няма да има електрони, които да преминават лесно през структурата и следователно общото съпротивление ще бъде голямо (случай В). Представете си сега използването на тази структура в една четяща глава на твърд диск: намагнитването на слой (1) е фиксирано, докато намагнитването на слой (3) е променливо и може да се влияе от променливото магнитно поле на твърдия диск. Следователно намагнитването на двата магнитни слоя в четящата глава ще бъде алтернативно или паралелно, или антипаралелно едно спрямо друго. Това ще предизвика промени и на съпротивлението, и на тока през четящата глава. Ако токът се използва като сигнал от главата, голямата му стойност може да означава бинарна единица, а малката – бинарна нула.



*Ако посоките на намагнитването на двата магнитни слоя са еднакви, електроните с паралелни спинове (червени) преминават през системата без да се разсейват много. Следователно общото съпротивление на системата ще бъде малко.*

*Ако посоките на намагнитване в двата магнитни слоя са противоположни, всички електрони ще бъдат с антипаралелни спинове или в единия, или в другия от слоевете и следователно ще се разсейват силно. В резултат от това съпротивлението ще бъде голямо.*

**ГМР бързо се превръща в стандарт**

В средата на 80-те години на 20. век специалистите по магнетизъм осъзнаха какви нови възможности могат да предложат слоевете с нано-размери. Албер Фер и колегите му създадоха около тридесет редуващи се слоя от желязо и хром, всеки един състоящ се от само няколко пласта атоми. За да постигнат успех те бяха принудени да работят във вакуум и да използват газове от желязо и съответно от хром при ниско налягане. При такава постановка атомите последователно се прикрепват към повърхността, позволявайки слой да се изгради пласт след пласт. По аналогичен начин групата на Петер Грюнберг създаде малко по-проста система, състояща се само от два или три слоя желязо със слой хром между тях.

Отчасти поради това, че използваше повече слоеве, Фер регистрира по-голямо ГМС, отколкото Грюнберг. Френската група наблюдава зависещо от намагнитването промяна на съпротивлението до 50 %, докато максималната разлика, наблюдавана от германската група, достига най-много 10 %. В двата случая обаче основното явление и физиката зад него са идентични. И двете групи осъзнават, че са наблюдавали съвсем ново явление. При обикновеното магнитно съпротивление никой не е регистрирал повече от процент промяна на съпротивлението. Албер Фер пръв въвежда понятието гигантско магнитно съпротивление за описание на новото явление и в своята първа публикация по въпроса указва, че откритието може да има важни приложения. Петер Грюнберг също осъзнава потенциалните практически възможности на явлениято и подава заявка за патент едновременно с написването на първата научна публикация.

За комерсиализирането на новата технология обаче бе необходимо да се намери промишлен процес за създаване на слоевете. Използваният и от Грюнберг, и от Фер метод (известен като епитаксия) бе труден и скъп, по-пригоден за лабораторни изследвания, отколкото за широкомащабен технологичен процес. Поради това важна стъпка бе направеното от работещия в САЩ англичанин Стюърт Перкин откритие, че същият ефект може да се постигне с помощта на много по-простата технология, наречена разпрашване. Оказа се, че всъщност ГМС-ефектът не зависи много от перфектността на слоевете. Това означава, че ГМС-системите вече може да се произвеждат в индустриални мащаби. Промисленото производство, комбинирано с голямата чувствителност на ГВС-главите, доведе до една нова технология, превърнала се в стандарт за твърдите дискове много скоро след като през 1997 г. бяха произведени и пуснати в търговската мрежа първите ГМС-глави.

**Нова електроника – спинтроника**

ГМС не означава само пробив в четенето от твърди дискове на плътно записана информация (и за магнитни сензори при други приложения). Също толкова интересно е, че тази технология може да се разглежда като първа крачка към развитието на напълно нов тип електроника, наречена спинтроника. За спинтрониката е характерно това, че тя използва не само заряда, както е в традиционната електроника, но и спина на електроните. Малките размери, създавани от нанотехнологията, осигуряват едно предварително необходимо условие за спинтрониката: посоката на електронния спин може да се поддържа непроменена само на извънредно къси разстояния. В по-дебели слоеве посоката на спина ще се промени преди да има време да се използва разликата в свойствата на електроните с различен спин (като например по-голямото или по-малкото съпротивление).

Веднага след ГМС бе конструирана подобна система с използването на изолатор вместо немагнитен метал, от двете страни на който се разполагат магнитни слоеве. През слоя изолатор не би могло да протича ток, но ако той е достатъчно тънък, електроните ще имат възможност да се промъкват през него, използвайки квантовомеханичният механизъм на тунелирането. Ето защо такава система се нарича ТМС – Тунелиращо Магнитно Съпротивление. С помощта на ТМС може да се постигне даже по-голяма разлика между съпротивленията, предизвикана от много слаби магнитни полета и най-новото поколение на четящи глави използва тази технология.

### **Към една универсална памет**

Друго приложение на спинтрониката, което вече започна да се очертава, е една работеща на магнитна основа памет, наречена MRAM. В допълнение към твърдия диск, където информацията се пази постоянно, компютърът има нужда от една памет, достъпът до която е по-бърз. Обикновено тя се нарича RAM от Random Access Memory. В своята RAM компютърът складира цялата информация, от която се нуждае за обработка на данни докато работи. Недостатък на стандартните памет, които се използват днес е, че те не могат да пазят информацията постоянно. Докато се пише този текст например, той се пази само в RAM на компютъра. Ако токът спре, или някой изключи компютъра без да го запази, текстът е изгубен. Само натискането на бутона “запази” би записало текста върху твърдия диск.

Същността на MRAM е в това, че прави възможно използването на ТМС както за четене, така и за записване на информация и по такъв начин създава магнитна компютърна памет, която е едновременно и бърза, и лесно достъпна. Следователно MRAM би могло да се

използва като работна памет вместо по-бавния твърд диск, като същевременно тя е и постоянна памет, която е независима от захранването на компютъра. Това означава, че MRAM би могло да се развие в универсална памет, която да замени както традиционната RAM, така и твърдия диск. Компактността на една такава система може да се окаже практически полезна в малки компютърни системи за вграждане – вграждане във всичко, от готварските печки в кухнята до автомобилите.

Откриването на явлениято ГМС се оказва ключ към едно съвсем ново технологично поле, спинтрониката, където се използват както електричният заряд, така и спинът на електрона. Появата на нанотехнологията бе предварително условие за откриването на ГМС, днес от своя страна спинтрониката е движеща сила за бързото развитие на нанотехнологията. Тази област на изследвания е необикновено ясен пример за това, как фундаменталната наука и новите технологии се преплитат и взаимно подпомагат помежду си.

Превод Х. Д.

### **Литература**

#### *Оригинални статии:*

“*Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices*” by M.N. Baibich et al., Physical Review Letters

Vol. 61, No. 21 (1988). (Albert Fert’s original article).

“*Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange*”

by G. Binasch et al., Physical Review B, Vol. 39, No. 7 (1989). (Peter Gr̃nberg’s original article).

#### *Научно-популярни статии:*

“*Kopplung macht den Widerstand*” by Peter Gr̃nberg, Physik Journal 9/2007 (in German).

“*Giant steps with tiny magnets*” by Agnes Barth̃l̃my and Albert Fert et al., Physics World Nov. 1994 (in English).

“*Spintronics*” by Dirk Grundler, Physics World April 2002 (in English).