Jättemagnetresistans i läshuvuden

Upptäckten bakom detta belönades med nobelpriset i fysik år 2007. Den utgör redan en standard-teknik för läshuvuden till hårddiskar, då den har högre känslighet än tidigare tekniker och tillåter en ökad packningstäthet. Den läser av magnetiseringen utan att förstöra den. Denna essä grundar sig huvudsakligen på KVAs bakgrundsinformation.[1]

Redan för 150 år sedan noterade Lord Kelvin att järn i ett magnetfält fick en några procent minskad resistans i riktning vinkelrätt mot magnetfältet. Av hystereskurvan[2] för ferromagnetiska ämnen som järn förstår man att ett sådant ämne är svårt att använda i ett läshuvud. Sedan ämnet i ett magnetfält nått magnetisk mättnad minskar dess magnetism endast marginellt när magnet-fältet försvinner. Därför använde man tidigare mjukmagnetiska legeringar. Genom att istället bygga upp ett material i sandwichteknik (jag tänker på engelsk lakritskonfekt) lyckades pristagarna eliminera den remanenta magnetismen. Materialet bestod av tunna lager (~1 nm) av krom (Cr) varvat med ett jämnt antal järnlager (Fe). De kunde med modern avancerad teknik bygga upp materialet med atomlager på atomlager i en välordnad kubisk kristallstruktur.

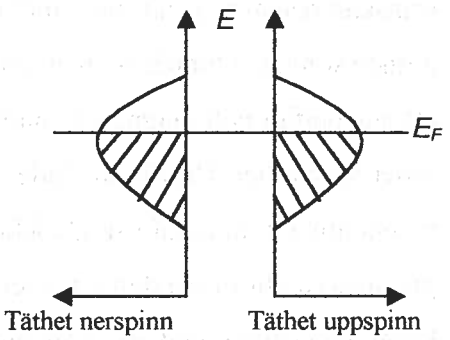
Hos ferromagnetiska ämnen finns positiva utbyteskrafter mellan närliggande atomer vilket gör att dessa får en likriktad magnetisk polarisation. Hos antiferromagnetiska ämnen (t.ex hematit Fe_2O_3) är däremot utbyteskrafterna negativa vilket gör att närliggande atomer får motsatt magnetisk polarisation och ämnet verkar utåt omagnetiskt.[3] I sandwichmaterialet inducerar det magnetiska Fe-skiktet i det omagnetiska Cr-skiktet en oscillerande utbyteskraft som börjar starkt positivt och med ökande avstånd regelbundet växlar tecken medan den försvagas. Om nästa Fe-skikt börjar där utbyteskraften är som mest negativ, får detta en antiferromagnetisk koppling till det föregående Fe-skiktet och därmed en magnetisering i motsatt riktning i fall det inte finns något yttre magnetfält. Med ett jämnt antal Fe-skikt blir det en omagnetisk nettoeffekt.

Detta har experimentellt visats för ferromagnetiska skikt varvade med skikt av omagnetiska metaller för flera olika kombinationer av ämnen. Materialen uppvisar en hystereskurva där värdena vid ett växande yttre magnetfält i stort sett sammanfaller med värdena när magnetfältet sedan avtar.[4] De kan alltså lätt växla mellan ferromagnetism i ett magnetfält och antiferro-magnetism i frånvaro av magnetfält.

Jättemagnetresistansen består i att sandwichmaterialet i antiferromagnetiskt tillstånd får en väsentligt förhöjd resistans. En nödvändig del i förklaringen är att en ferromagnet som järn fungerar som två skilda strömledare, en för elektroner med uppspinn och en för elektroner med nerspinn. Dessa två visar sig få olika resistans beroende på ämnets magnetiska polarisation. Förklaringen till detta får sökas hos elektronerna i energinivå 3d. Denna innehåller 10 olika

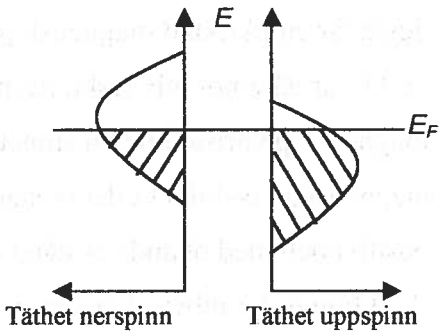
tillstånd (2 värden på elektronspinn kombinerat med 5 värden på z-komposanten för rörelsemängdsmomentet, se inlämningsuppgift 1). Av tillstånden är 6 besatta med elektroner. Antalet med uppspinn kan alltså som mest variera mellan 1 och 5 och detta värde bestämmer ämnets magnetisering.

Elektronerna i energinivå 3d är utspridda i ett energiband med bredden 4-7 eV. Den högsta energin belagd av någon elektron kallas Fermienergin E_F. En viktig variabel är tillståndstätheten för elektroner betraktad som en funktion av energin. Denna åskådliggörs i figur 1, där den delats upp i två delar, en för tillstånd med nerspinn och en för tillstånd med uppspinn. Figuren visar hur tillståndstätheten i 3d varierar om ämnet inte är magnetiserat (lika många elektroner med uppspinn som med nerspinn). Det är i de streckade områdena som elektronerna finns.



Figur 1. Tillståndstäthet utan magnetisering

När det i ett ferromagnetiskt ämne blir fler elektroner med uppspinn än med nedspinn kommer de två täthetskurvorna att förskjutas som i figur 2. Tätheten vid Fermienergin E_F och egenskaperna för tillståndet vid denna blir klart olika för elektronerna med uppspinn och för dem med nerspinn. Eftersom det är elektronerna vid Fermienergin som deltar i den elektriska strömmen så blir resistansen olika för uppspinnströmmen och nerspinnströmmen.



Figur 2. Tillståndstäthet med magnetisering

Låt R_1 vara resistansen för nerspinnströmmen i figur 2 och R_2 den för uppspinnströmmen. I det ferromagnetiska fallet möter de två strömmarna samma resistanser i nästa järnskikt, så sammanlagt får de resistanserna $2R_1$ respektive $2R_2$ och den totala blir $2R_1R_2/(R_1+R_2)$. I det antiferromagnetiska fallet är magnetiseringen i nästa järnskikt omvänd så båda strömmarna får summa resistanser R_1+R_2. Den totala resistansen blir då $(R_1+R_2)/2$ som är högre, eftersom det aritmetiska medelvärdet är större än det harmoniska.

---

[1] Kungl. Vetenskapsakademin 9 Okt. 2007, "The Discovery of Giant Magnetoresistance".
[2] Se NE detta ord.
[3] Se NE "Magnetism".
[4] S. S. P. Parkin, Phys. Rev. Lett. 67, 3598 (1991).