

ÓRIÁS MÁGNESES ELLENÁLLÁS

Modern fizikai kísérletek szeminárium

Ariunbold Kherlenzaya

Tartalomjegyzék

- Mágneses ellenállás
 - Óriás mágneses ellenállás
 - FM/NM multirétegek elektromos transzportja
- Kísérleti eredmények

Mágneses ellenállás (Magnetoresistance, MR)

$$MR = \frac{R_{(H=H_{Sat})} - R_{(H=0)}}{R_{(H=0)}} = \frac{\Delta R}{R_0}$$

Legelőször 1856-ban *William Thomson (Lord Kelvin)* angol fizikus vas és nikkelt darabkákat vizsgálva ismerte fel.

- Közöséges mágneses ellenállás ($\sim 1\text{-}2\%$)
(*Ordinary magnetoresistance, OMR*)
- Anizotrop mágneses ellenállás (tömbi FM fémekre $\sim 5\%$)
(*Anisotropic magnetoresistance, AMR*)

$$AMR \equiv LMR - TMR$$

LMR: longitudinális MR ($\mathbf{H} \parallel \mathbf{I}$)

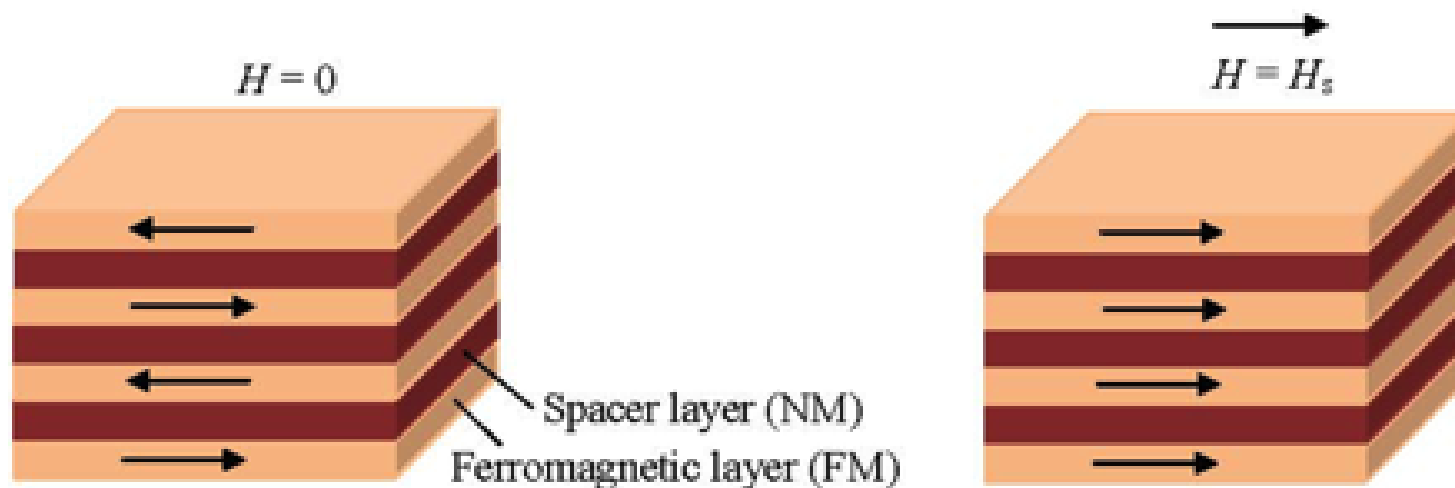
TMR: transzverzális MR ($\mathbf{H} \perp \mathbf{I}$)

Mágneses ellenállás

- Óriás mágneses ellenállás (*Giant magnetoresistance, GMR*)

1988-ban *Albert Fert* francia fizikus és *Peter Grünberg* német fizikus kutatócsoportja – egymástól függetlenül felfedezte.

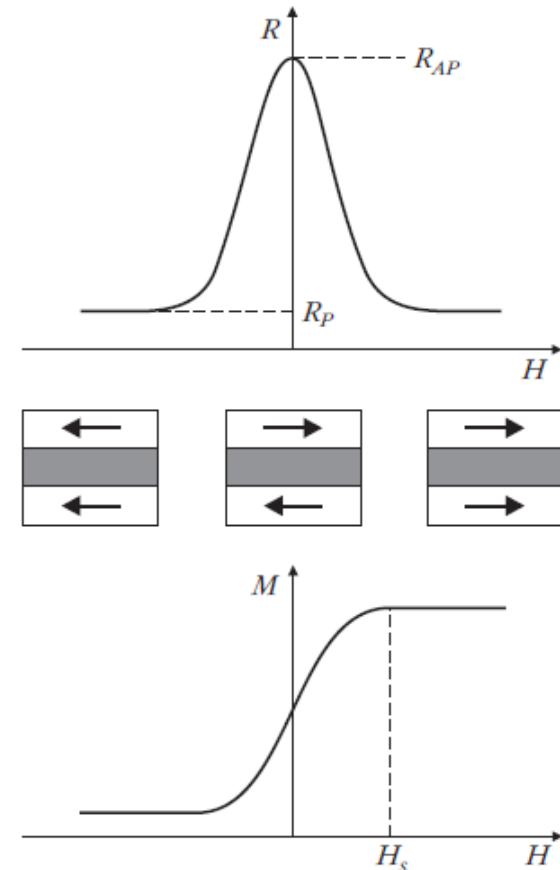
2007. évi fizikai *Nobel díjat* ítelték oda nekik. (GMR alkalmazási fő területek: biosensors, magnetic field sensors, mágnességen alapuló információ hordozók MRAM)



Tipikus GMR szerkezet. NM – Non magnetic, FM - Ferromagnetic

Óriás mágneses ellenállás

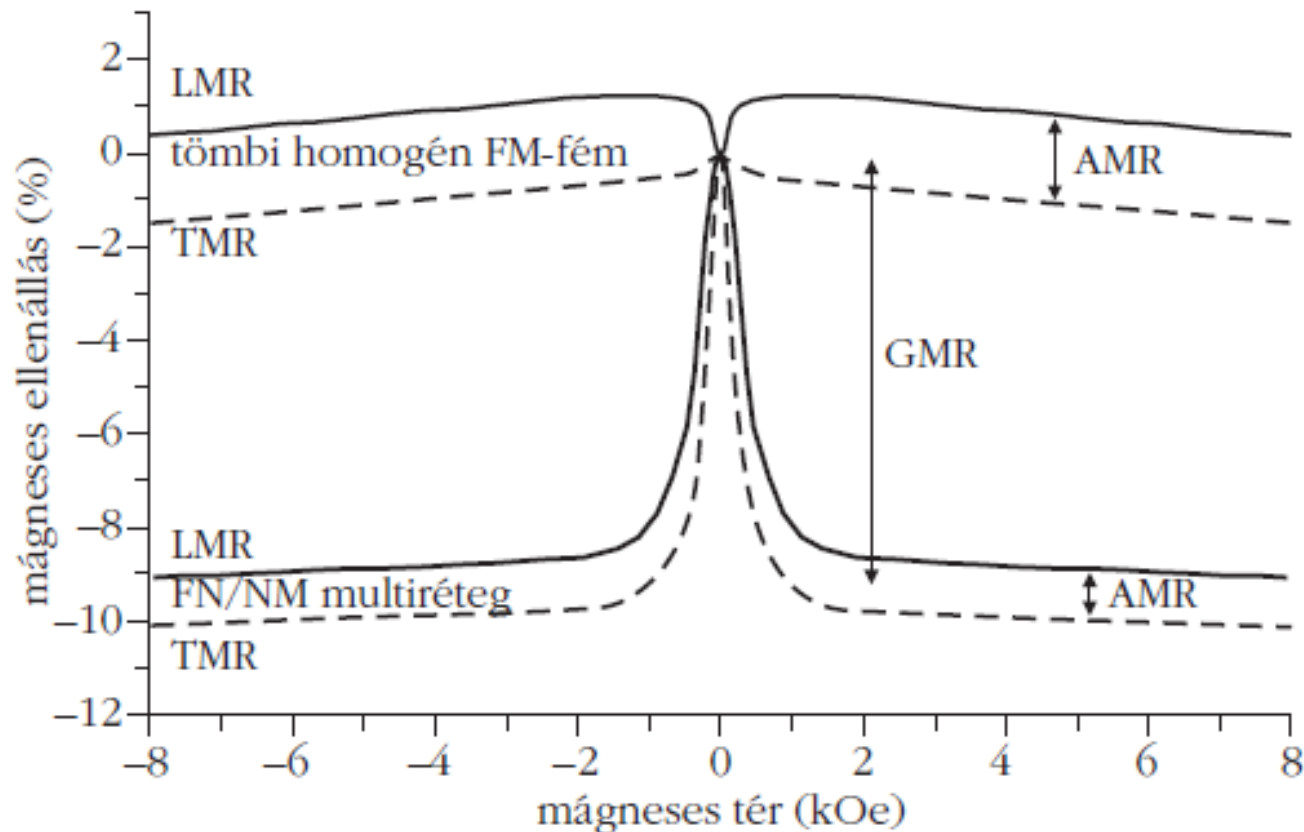
- Nanométeres vastagságú FM/NM rétegpárokat multirétegeknek vagy szuperrácsoknak nevezzük.
- 1986-ban P. Gruber csoportja Fe/Cr/Fe és Fe/Au/Fe szendvicseket vizsgálva felfedezte, hogy a NM (*nem*mágneses = *nem ferromágneses*) rétegének bizonyos vastagsága alatt két szomszédos FM réteg NM rétegen keresztül kicserélődési kölcsönhatással *antiferromágneses csatolást (AF)* képez.



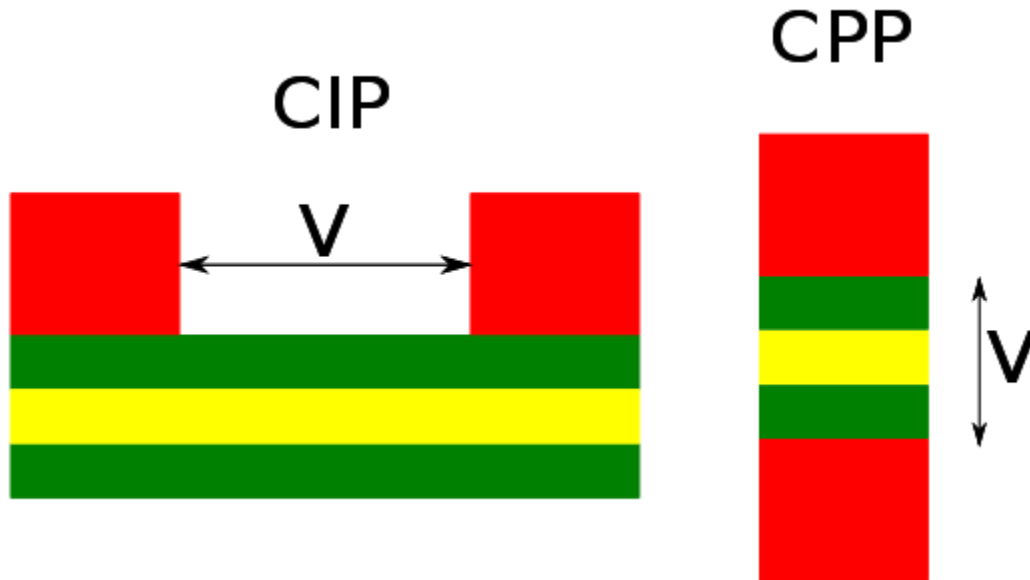
4. ábra. Legfelül: egy GMR-jelenséget mutató FM/NM rétegszerkezet R elektromos ellenállásának változása a H külső mágneses tér függvényében. Középen: a két mágneses réteg mágnesezettségének iránya külső tér nélkül és telítés feletti tereknél. Parallel beállítás (P) esetén a rétegszerkezet ellenállása (R_P) kisebb, mint antiparallel beállítás (AP) esetén (R_{AP}). Legalul: a rétegszerkezet eredő mágnesezettségének változása a külső mágneses térrel (H_s a telítő tér).

Óriás mágneses ellenállás

3. ábra. Tipikus mágnesesellenállás-adatok (sematikusan) homogén FM-fémre (vastag folytonos és szaggatott vonalak) és FM/NM multirétegre (vékony folytonos és szaggatott vonalak). Megjelöltük mindkét anyag típusra a longitudinális (LMR) és transzverzális (TMR) konfigurációban mérhető mágneses ellenállás komponenst. A kétvégű nyilak jelzik az AMR- (= LMR – TMR) és GMR-mennyiségek értékét.



CIP és CPP geometria



Spin valves in the reading head of a sensor in the CIP and CPP geometries.

CIP – Current in plane, CPP – Current perpendicular to plane,

V – potenciál különbség

A rendszer CPP konfigurációban nagyobb GMR-t eredményez, de ennek az elrendezésnek gyakorlati megvalósítása nehezebb mint másiké.

FM/NM multirétegek elektromos transzportja

- Ferromágneses anyagok elektron konfigurációja:
 $\text{Fe}(3d^6 4s^2)$, $\text{Co}(3d^7 4s^2)$, $\text{Ni}(3d^8 4s^2)$
s – elektronok delokalizáltak (mozgékony), vezetési elektronok
d – elektronok lokalizáltak, mágneses járulékot adnak
- Mott-féle s-d szórási modell(1936): A vezetési s-elektronok szóródási valószínűsége nemcsak a szórópotenciáltól függ, hanem a Fermi nívón rendelkezésre álló végállapotok számától is, ahova a vezetési elektronok a szórási folyamat után kerülhetnek.

Az elektronállapotsűrűség Fermi nívónál vett értéke: $N(E_F)$

Az ellenállás teljes szórási valószínűséggel arányos:

$$\rho_s \sim N(E_F) = N_s(E_F) + N_d(E_F)$$

$$N_d(E_F) \gg N_s(E_F) \quad (\text{Ferromágneses anyagokra})$$

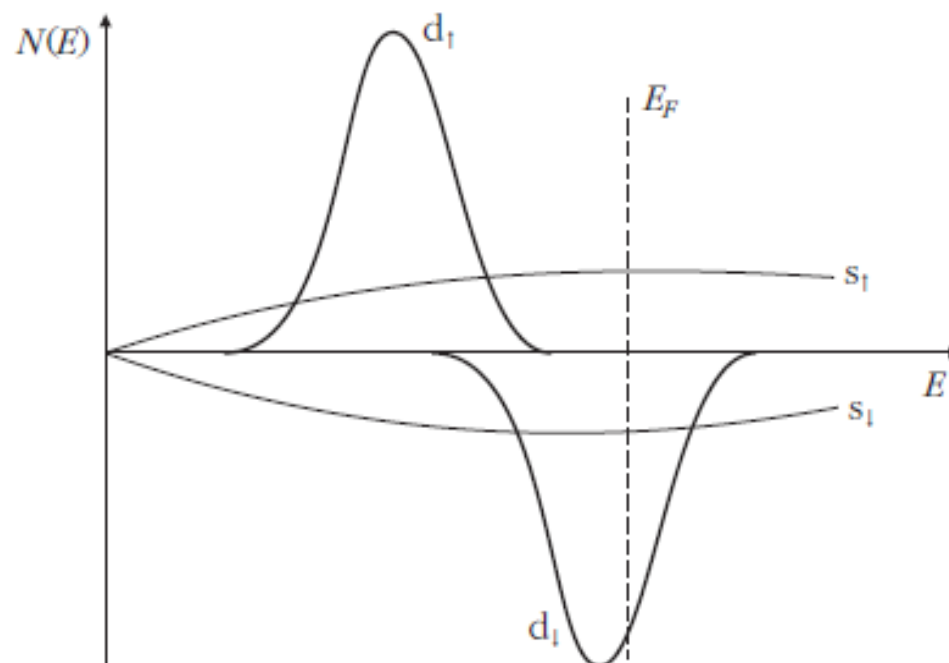
$$\rho_s \sim N_d(E_F)$$

FM/NM multirétegek elektromos transzportja

- Stoner modell:

A d_{\uparrow} és d_{\downarrow} elektronokhoz tartozó alsávok a FM anyagokban kicsrlődési kölcsönhatás miatt energiában eltolódnak egymáshoz képest.

5. ábra. Stoner-féle „erős itineráns” FM átmeneti fém (pl. Co és Ni) sématis elektronállapot-sűrűsége, külön-külön feltüntetve a két-féle spinállapot (\uparrow és \downarrow) szerinti alsávokat. A függőleges vonal az E_F Fermi-szint helyét jelöli.



FM/NM multirétegek elektromos transzportja

Két áram modell

- (FM fémekre és ötvözetekre)

$$\rho_{s\uparrow} \sim [N_{s\uparrow}(E_F) + N_{d\uparrow}(E_F)] = N_{s\uparrow}(E_F)$$

$$\rho_{s\downarrow} \sim [N_{s\downarrow}(E_F) + N_{d\downarrow}(E_F)] \sim N_{d\downarrow}(E_F)$$

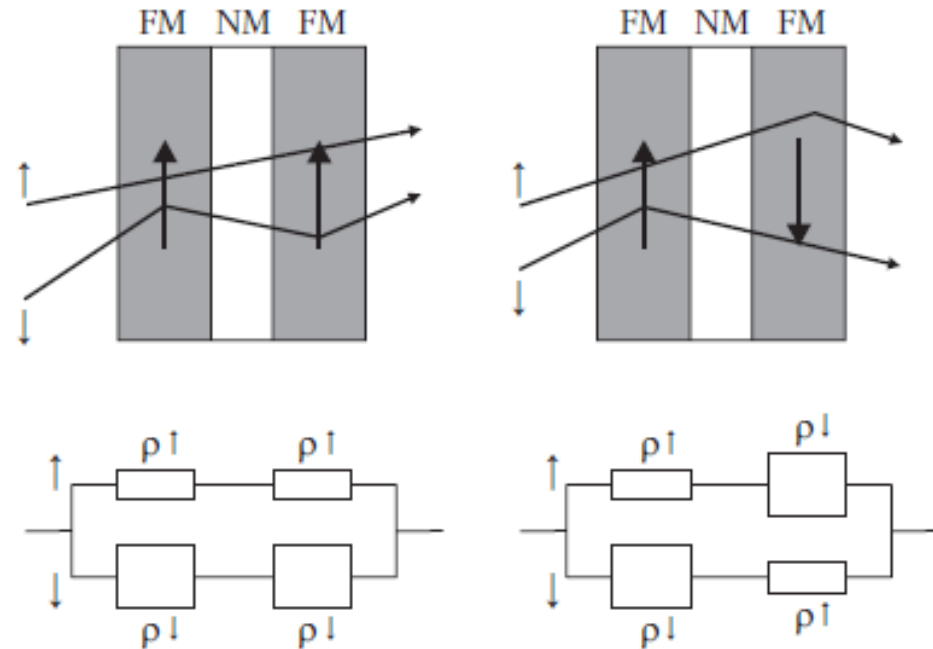
$$\rho_{s\uparrow} \ll \rho_{s\downarrow}$$

- FM/NM multirétegekre

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{(\rho_P - \rho_{AP})}{\rho_{AP}} = -\frac{(\rho_{\uparrow} - \rho_{\downarrow})^2}{(\rho_{\uparrow} + \rho_{\downarrow})^2}$$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{(1 - \alpha)^2}{(1 + \alpha)^2},$$

ahol $\alpha = \frac{\rho_{\downarrow}}{\rho_{\uparrow}}$ paraméter
tulajdonképpen a Fermi nívónál
vett állapotsűrűség
spinpolarizációját jellemzi.



A. Fert csoportjának kísérleti eredménye

- A $(001)Fe/(001)Cr$ bcc szuperrácsokat MBE módszerrel GaAs hordozóra növesztettek.
- Egyes rétegek vastagsága kísérlet során 9 – 90Å volt.
- 30Å-nál vékonyabb Cr rétegek esetén szomszédos Fe rétegek AF csatolást mutattak.
- Ellenállás mérést 4.2 K hőmérsékleten elvégeztek.

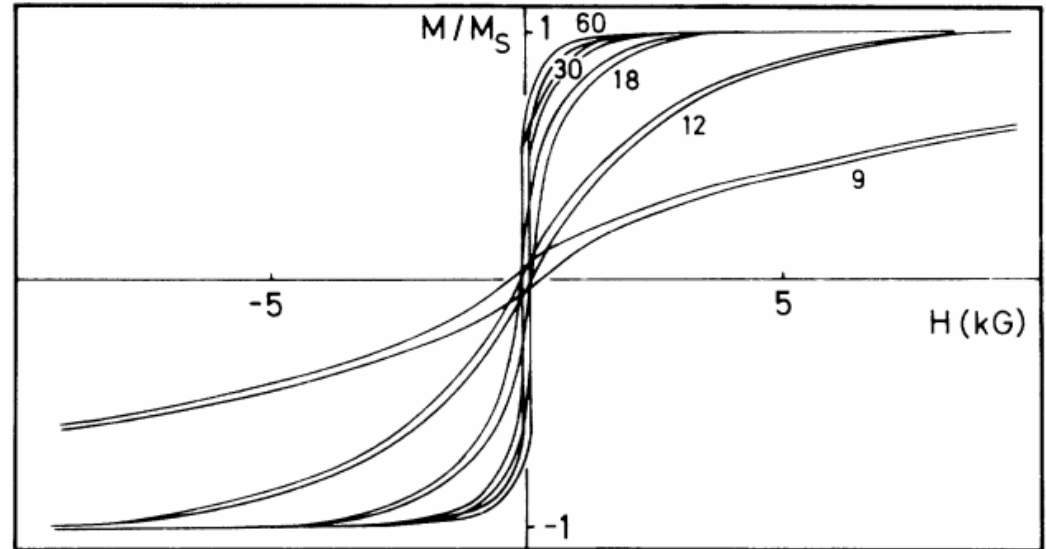


FIG. 1. Hysteresis loops at 4.2 K with an applied field along $[110]$ in the layer plane for several $(001)Fe/(001)Cr$ superlattices: $[(Fe\ 60\ \text{Å})/(Cr\ 60\ \text{Å})]_5$, $[(Fe\ 30\ \text{Å})/(Cr\ 30\ \text{Å})]_{10}$, $[(Fe\ 30\ \text{Å})/(Cr\ 18\ \text{Å})]_{30}$, $[(Fe\ 30\ \text{Å})/(Cr\ 12\ \text{Å})]_{10}$, $[(Fe\ 30\ \text{Å})/(Cr\ 9\ \text{Å})]_{40}$, where the subscripts indicate the number of bilayers in each sample. The number beside each curve represents the thickness of the Cr layers.

A. Fert csoportjának kísérleti eredménye

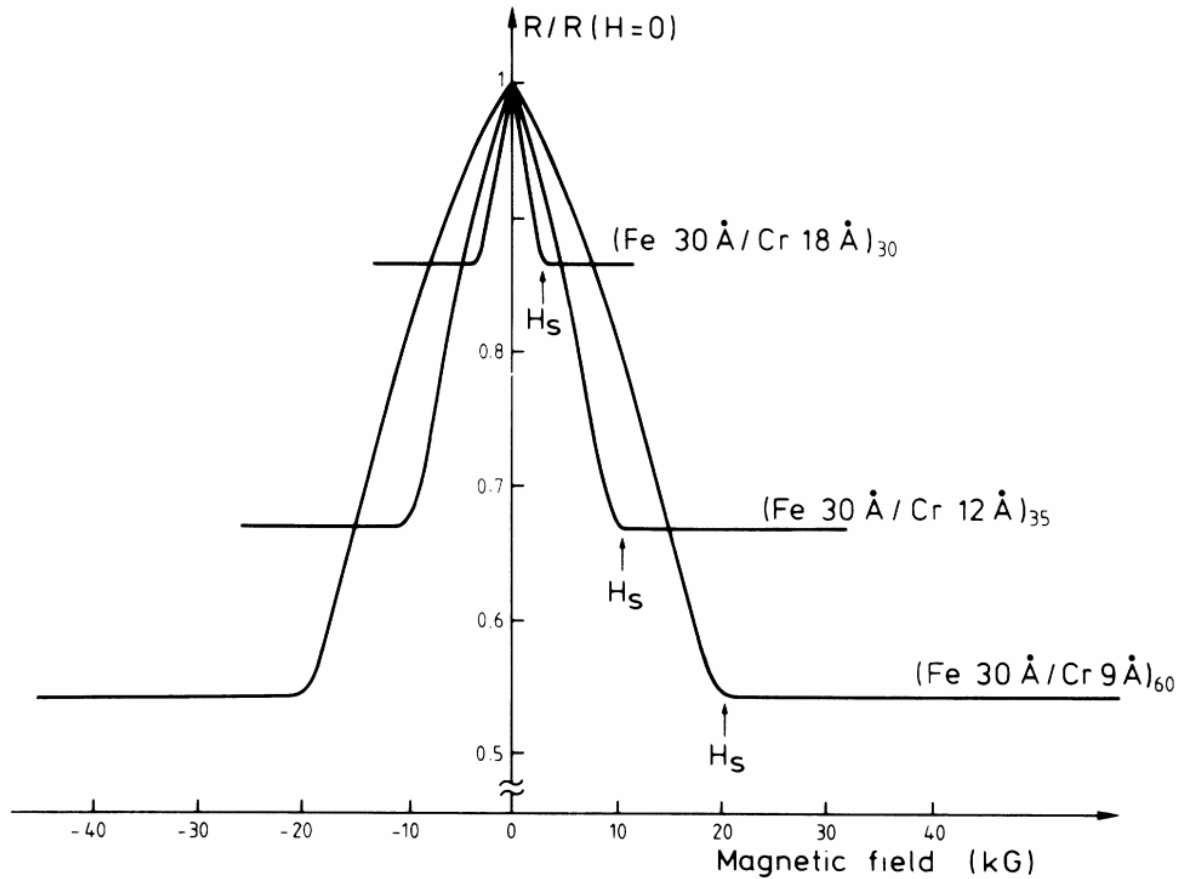


FIG. 3 Magnetoresistance of three Fe/Cr superlattices at 4.2 K. The current and the applied field are along the same [110] axis in the plane of the layers.

A. Fert csoportjának kísérleti eredménye

- Külső mágneses tér alkalmazásával az ellenállás csökken és a telítési térérték felett nagyából konstáns lesz.
 - a) CIP, LMR (mágneses tér multirétegek síkon)
 - b) CIP, TMR (mágneses tér multirétegek síkon)
 - c) CIP, TMR (mágneses tér multirétegek síkra merőleges)
- Mágneses anizotropia miatt telítési tér majdnem kétszer nagyobb.

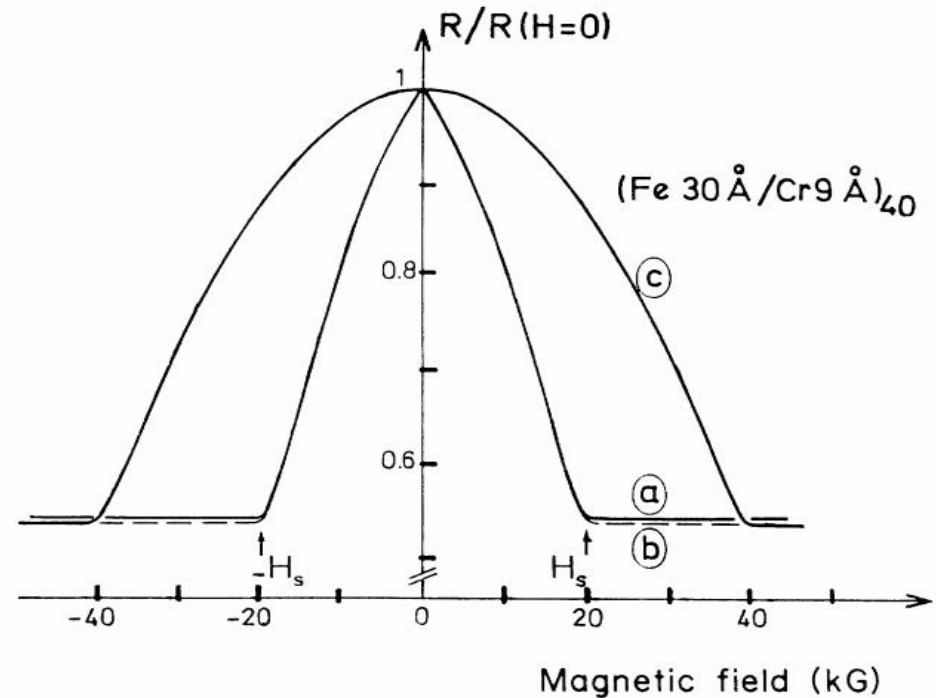


FIG. 2. Magnetoresistance of a $[(\text{Fe } 30 \text{ \AA})/(\text{Cr } 9 \text{ \AA})]_{40}$ superlattice of 4.2 K. The current is along $[110]$ and the field is in the layer plane along the current direction (curve *a*), in the layer plane perpendicular to the current (curve *b*), or perpendicular to the layer plane (curve *c*). The resistivity at zero field is $54 \mu\Omega \text{ cm}$. There is a small difference between the curves in increasing and decreasing field (hysteresis) that we have not represented in the figure. The superlattice is covered by a 100-\AA Ag protection layer. This means that the magnetoresistance of the superlattice alone should be slightly higher.

A. Fert csoportjának kísérleti eredménye

- Maximális $\Delta R \approx 23\mu\Omega$ cm értéket, 4.2K hőmérsékletben $t_{Cr} = 9\text{\AA}$ vastagságú szuperrácsban megmérték (GMR $\approx 50\%$).
- t_{Cr} növekedésével GMR és a rendszer telítési térértéke lecsökkent (AF csatolás gyengébb lesz).
- Hasonlóan a hőmérséklet növekedésével, 4.2K-től szobahőmérsékletig, GMR értéke felére és telítési térértéke kb. 30%-kal lecsökkent.

Irodalomjegyzék

- <http://www.mdpi.com/1422-0067/14/9/18535/htm>
- M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friedrich, and J. Chazelas. *Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices*. Physical Review Letters **61** 2472-2475, (1988).
- Bakonyi Imre, Simon Eszter és Péter László. *Az óriás mágneses ellenállás felfedezése (1988) – A spintronika nyitánya - a 2007. évi fizikai Nobel-díj és háttere*. *Fizikai Szemle* **58** 41 – 45, (2008).
- https://en.wikipedia.org/wiki/Giant_magnetoresistance