

Ingurune ferromagnetikoen ikerketa EPR teknikaren bitartez: F.M.R.

Kepa Gorria

UPV/EHU Zientzi Fakultatea
Elektrika eta Elektronika Saila
644 p.k., 48080 Bilbo

Abstract

In this work paramagnetic spin resonance (EPR) and ferromagnetic spin resonance (FMR) of the electrons and its applications to the solid state study is discussed. The theoretical basis and the information that we can obtain about solids, in the particular case of ferromagnetic materials (FMR), by resonance studies is explained.

In the second part of this paper, the experimental procedures and the information about magnetic properties of the materials that be obtained using this experimental technique, is shown.

Laburpena

Lan honetan solidoaren ikerketarako teknika esperimental berezi bat aurkezten da; spin elektronikoaren erresonantzia paramagnetikoa (EPR). Bere oinarri teorikoa material ferromagnetikoaren kasu bereziari aplikaturik (erresonantzia ferromagnetikoa FMR) lor daitekeela argitzen da.

Bigarren zatian, prozedura esperimentalak erabiltzen da eta materialaren propietate magnetikoaren informazioa teknika honen bitartez lor daitekeela, ikusten da.

Sarrera

Erresonantzia magnetikoa elektroi eta nukleoen spinaren momentu angeluarrarekin loturiko fenomeno dinamikoa dugu.

Erresonantzia magnetikoaren mota ezberdinak ondokoak dira:

- * NMR: Erresonantzia magnetiko nuklearra.
- * NQR: Erresonantzia nuklear kuadrupolarra.
- * EPR edo ESR: Spinaren erresonantzia paramagnetikoa.
- * FMR: Erresonantzia ferromagnetikoa.
- * SWR: Spin-uhinen erresonantzia.

- * AFMR: Erresonantzia antiferromagnetikoa.
- * CESR: Eroankortasuneko elektroien spin-erresonantzia.

Erresonantziaren ikerketa dela medio, solidoei buruz informazio ezberdina lor dezakegu:

- # zurgapenaren egitura finaren bidez akats bakunen egitura elektronikoa.
- # erresonantziako gailurrune zabaleko spinaren edo bere inguruneko higidura.
- # spinaren kitzikadura kolektiboak, etab...

Spin elektronikoaren erresonantzia magnetikoa (EPR)

Eremu magnetiko baten eraginez materia-leko sistema elektronikoaren Zeeman energi mailen banaketa gertatzen da eta maila hauen arteko trantsizio kuantikoan gerta daitezke energia elektromagnetikoaren zurgapenak. Zurgapen selektibo hau da spin elektronikoaren erresonantzia magnetikoa.

Elektroiak nukleo atomikoaren inguruan, r erradiodun orbitak deskribatzen dituzten partikulen modura kontsideratuz, elektroiari atxiki dakiokkeen momentu magnetikoa ondokoa da:

$$\mathbf{m} = (1/2) e r^2 \boldsymbol{\omega}$$

eta bere masa M bada, higidura orbitalari atxikitako L momentu anguluarra hauxe da:

$$\mathbf{L} = M r^2 \boldsymbol{\omega}$$

Magnitude bi hauek paraleloak dira eta ondoko eran erlazonatarik daude:

$$\mathbf{m} = (e/2M)\mathbf{L} \implies \mathbf{m} = \gamma \mathbf{L}$$

non γ balio konstanteko erlazio giromagnetikoa den.

Elektroiaren momentu anguluarri J deituz gero eta h-ren unitateak erabiliz, aurreko adierazpena honela idatz dezakegu:

$$\mathbf{m} = \gamma \mathbf{h} \mathbf{J}$$

Z ardatzean zehar, $\mathbf{B}_a = B_0 \mathbf{k}$, eremu magnetiko egonkorra aplikaturik, elektroiaren orbita Larmo-ren maiztasun anguluarraz aplikaturiko eremu magnetikoaren inguruan prezesatzen jarriko da:

$$\omega_L = (e/2M) B_0 = \gamma B_0$$

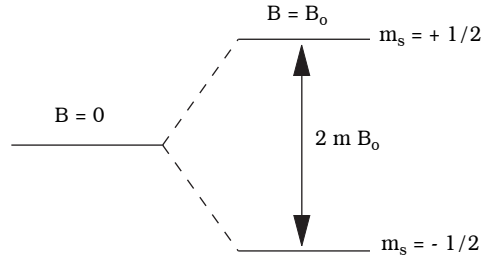
Momentu magnetikoaren eta aplikaturiko eremu magnetikoaren arteko elkarrekintzaren energia ondokoa da:

$$U = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B}_a = -m_z B_0 = -\gamma \mathbf{h} B_0 J_z = -m_J \gamma \mathbf{h} B_0$$

J_z zenbaki kuantikoaren onarturiko balioak ondoko baldintzak ematen ditu:

$$m_J = J, J-1, \dots, -J$$

Elektroiaren spin-momentu anguluarren kasurako, $m_s = +1/2, -1/2$, eta horregatik bi energi maila daude:



1. irudia.

Mailen arteko energi diferentzia $h \omega_0$ bada:

$$h \omega_0 = \gamma \mathbf{h} B_0 \implies \omega_0 = \gamma B_0$$

eta ω_0 Larmor-en maiztasunarekin bat dator.

Orain, \mathbf{B}_a eremu egonkorren norabide elkartzutean irrati-maiztasuneko eremu magnetikoa aplikatuz, zurgapen erresonantea gertatuko da, \mathbf{B}_{rf} eremu magnetikoaren maiztasuna ω_0 prezesio-maiztasunaren berdina edo hurbila bada.

Spin elektronikoaren kasurako, ν , GHz-eko ordenekoa da.

Erresonantzia ferromagnetikoa (FMR)

Mikrouhinetako tartean spin-erresonantziaren neurketak gure lagin ferromagnetikoe-tan egingo ditugu.

Aipatu denez, elektroiaren momentu magnetiko totalak aplikaturiko eremu egonkorren inguruan prezesatuko du, eta zeharkako eremu aldakorren maiztasuna prezesioare-narekin bat datorrenean, rf eremuaren energi zurgapen handia gertatzen da. Spin ferromag-

netiko totala eremu egonkorrean kuantizaturiko eta energi mailak Zeeman-maiztasunez banatutako, S bektore makroskopikoa adierazirik, hautespen-erregela magnetikoa ondokoa da:

$$\Delta m_s = \pm 1$$

Beraz, segidako mailen arteko trantsizioak soilik onartzen ditu.

FMR erresonantziaren ezaugarri bereziak ondokoak dira:

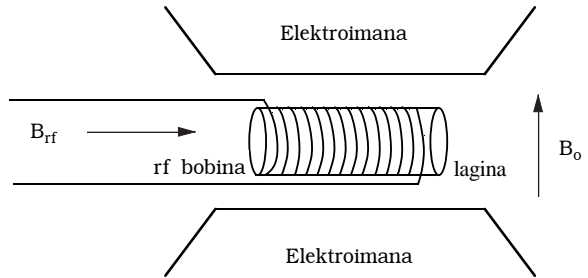
§ Iragazkortasunaren χ' y χ'' zeharkako osagaiak oso handiak dira, zeren lagin ferromagnetiko baten magnetizazioa eremu geldikor baten barnean, eremu berebean murgilduriko paramagnetikoarena baino handiagoa baitu.

§ Laginaren neurriak eta formak paper garrantzitsuena dute, zeren magnetizazioa handia izanik, eremu desmagnetizalea ere handia baita.

§ Elektroi ferromagnetikoen arteko "elkartruke" akoplamendu indartsuak, gailurra-zen zabalera sortzen duen ekarpen dipolarra suntsiarazten du. Beraz, erresonantzia ferromagnetikoaren gailurrak, baldintza egokipean, oso zorrotzak (1G) izan daitezke.

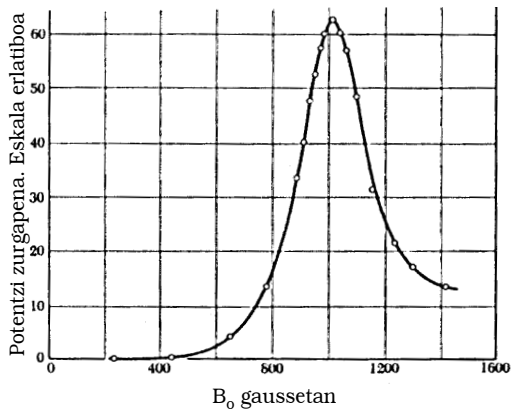
§ rf eremuaren potentzia txikietan, asetsun-efektuak azaltzen dira. Spin nuklearraren kasuan ez bezala, ezin daiteke spin ferromagnetikoaren sistema bortxatu, M_z , magnetizazioa nulua izan edo aldatu arte. Magnetizazio-bektorea hasierako norabidetik nabariki biratu baino lehen, FMR kitzikadura spin-uhinen nodoetan txikiagotuz doa.

poloen artean kokaturik, eremu magnetiko egonkorra jasotzen du. Horrekiko norabide elkartuztean FMR fenomenoaren sortzen duen irrati-maiztasuneko eremua aplikatzen da.



2. irudia.

Neurketak, eremuaren maiztasuna konstante mantenduz (9,8 GHz) egiten dira. Aldatu ohi dena, aplikaturiko kanpo-eremu egonkorraren intentsitatea da. Rf zurgaturiko potentzia (P) eta aplikaturiko eremu egonkorraren arabera kurbak ez dira irudikatu ohi direnak. Beraietan ondoko irudiko gailur zorrotza lortuko genuke.



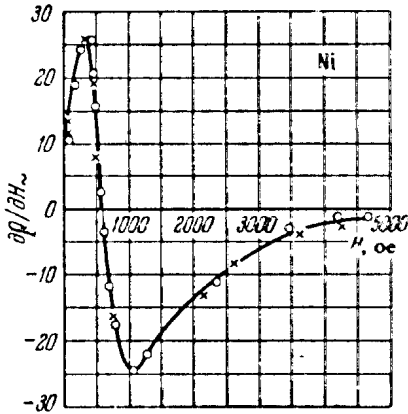
3. irudia.

Adierazten direnak, dP/dH , kurbak dira, hots, FMR prozesuan zurgaturiko potentziaren deribatua H eremuarekiko. Beraz, erresonantzia gertatzen deneko eremua, grafikoa zerotik pasatzen denekoa da.

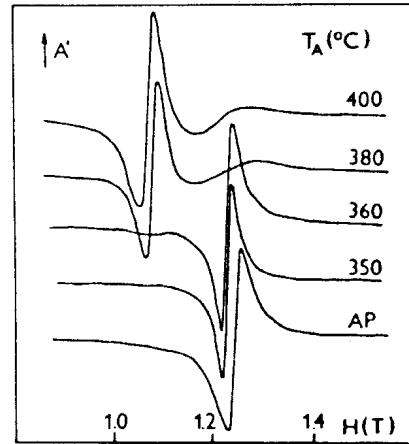
Aipatuenez, erresonantziak laginaren forma-faktoreekiko menpekotasuna du. On-

FMR erresonantziaren aplikazio esperimentalak

Erresonantzia ferromagnetikoaren neurketak egiteko, EPR neurketen espektrometroa erabili ohi da. Laginak, elektroiman baten



4. irudia.



5. irudia.

doko irudiko grafikoetan ageri den modura, laginaren norabidea aldatu den arauen eremu desmagnetizatzailea, anisotropien eremuak eta asetasun-magnetizazioa aldatu dira.

Teknika esperimental hau, anisotropia magnetikoaren laginaren norabidearekiko aldaketa (lagin barneko anisotropi eremua), eta halaber, magnetizazioaren aldaketa kalkulatzeko erabili ohi da, eremu desmagnetizatzailearen jokabidea neurketaren norabide desberdinekiko ezaguturik. Neurketa guzti hauek, tenperaturaren menpeko ere egin

daitezke, goiko irudietan ageri den moduan, non erresonantzia gertatzen deneko H kanpoko eremu egonkorra tenperaturaren araberrakoa den.

Oharrak: azken irudian, (5), $A' = dP/dH$, (zur-gaturiko potentziaren deribatua H eremuarekiko).

3. irudia [1] erreferentziatik, 4. irudia [5] erreferentziatik eta 5. irudia [3] erreferentziatik hartuak.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics", seigarren argitarapena (1986), John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [2] A. Herpin, "Theorie du Magnetisme", Bibliothèque des Sciences et Techniques Nucléaires, 1968.
- [3] S.V. Vonsovskii, "Magnetism", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1974.
- [4] S. N. Kaul and T. V. S. M. Mohan Babu, "Spin wave stiffness and the range of exchange interactions in amorphous $(Fe_{1-x}Ni_x)_{75}B_{25}$ and $(Fe_{1-y}W_y)_{83}B_{17}$ alloys", J. Phys. Condens. Matter (E.B.), 1. alea, 44. zk., 8509-22. orr., (1989).
- [5] D. Fraitová and Z. Frait, "Characterization of amorphous and nanocrystalline ferromagnets by ferromagnetic resonance and antiresonance", J. Magn. Magn. Mater. 101 (1991) 29-31.