

DOMÉNEK KELETKEZÉSE ÉS ÁTALAKULÁSAI ANTIFERROMÁGNESESEN CSATOLT MULTIRÉTEGEKBEN

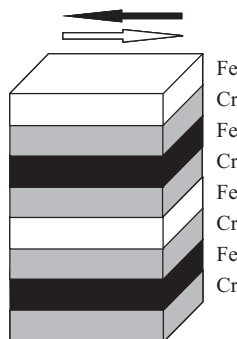
Nagy Dénes Lajos, Bottyán László, Deák László,
Major Márton, Szilágyi Edit, Tanczikó Ferenc
KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, Budapest

Csatolt multirétegek: múlt, jelen, jövő

Kevés felfedezés futott be olyan gyors és látványos pályafutást a laboratóriumi alapkutatástól a mindennapi alkalmazásokig, mint az óriás mágneses ellenállás (*giant magnetoresistance*, GMR). Grünberg és munkatársai [1] 1986-ban ismerték fel, hogy Fe/Cr/Fe hármarrétegben a nem ferromágneses Cr megfelelő (pl. 1,3 nm körüli) rétegvastagsága esetén antiferromágneses csatolást közvetít a szomszédos ferromágneses Fe-rétegek között, amelyek mágnesezettsége ily módon – külső mágneses tér hiányában – egymással ellentétes irányba áll be. Hasonló mágneses csatolást később igen sok más fémes rétegszerkezetben (Co/Cu, Fe/FeSi, Fe/Ag stb.) is találtak. Természetesen az antiferromágneses szerkezet külső mágneses tér hatására részlegesen vagy teljesen összezáródik. Baibich és munkatársai [2] 1988-ban mutatták ki, hogy ez az összezáródás a rétegszerkezet elektromos ellenállásának több százalékos csökkenésével jár, ami a fémekben megfigyelhető tömbi mágneses ellenállás-változást egy-két nagyságrenddel felülmúlja; a jelenség ezért érdemelte ki az „óriás” jelzőt. A GMR-elven működő mágneses olvasófej működőképességét 1994-ben mutatták meg, majd 1997-ben piacra is került az első ilyen eszköz. Ma gyakorlatilag az összes létező merevlemez-tárolóban GMR olvasófejek működnek, és várhatóan az évtized végére a gépkocsik mágneses érzékelői (gépkocsinként 10–20 darab!) is ezen az elven fognak alapulni.

Jelen cikkben sem a fémes rétegszerkezetekben esetenként megfigyelhető antiferromágneses csatolás eredetével, sem az óriás mágneses ellenállás elméletével nem kívánunk foglalkozni – előbbi oka a nem ferromágneses fém vezetési elektronjai által a ferromágneses fémrétegek mágneses nyomatókai között közvetített kicserélődési kölcsönhatás, míg utóbbi a vezetési elektronok spinfüg-

1. ábra. A megfelelő vastagságú Cr-rétegek által közvetített csatolt antiferromágneses rendet alakít ki a Fe/Cr multiréteg Fe-rétegei között. Az egyes vasrétegek mágnesezettségeit fehér és fekete nyilak jelzik.



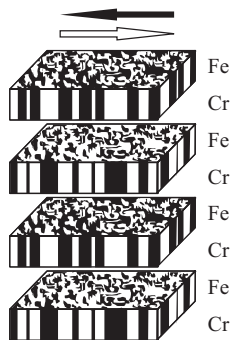
gő szórásában leli magyarázatát. Ehelyett azt vizsgáljuk meg, milyen mágneses doménszerkezetek alakulhatnak ki csatolt multirétegekben, illetve, hogy lehet-e és hogyan lehet e doménszerkezetek jellegét célzatosan alakítani. Megmutatjuk, hogy antiferromágnesesen csatolt multirétegek doménszerkezetének vizsgálatában egy néhány éve kifejlesztett mérési eljárás, a szinkrotron-Mössbauer-reflektometria igen hatékonynak bizonyul.

Csatolt multirétegek doménszerkezete

Csatolt multirétegeket a fent említett hármarrétegből úgy kaphatunk, hogy annak egy-egy rétegpárját (pl. Fe/Cr) sokszor megismételve egymásra növesztjük. Ily módon a ferromágneses rétegek mágnesezettségében a tömbi antiferromágnesekére emlékeztető, hosszú távú alternáló rendet kapunk (természetesen a tömbi antiferromágnesek atomi mágnesezettségének szerepét itt egy-egy ferromágneses réteg tömbi mágnesezettsége veszi át). Ilyen csatolt rétegszerkezeteket különféle leválasztási módszerekkel (molekulanyaláb-epitaxia, porlasztás, vákuumpárolgatás, elektrolyzisz stb.) készíthetünk. Egy antiferromágnesesen csatolt Fe/Cr multiréteg mágneses szerkezetét mutatja vázlatosan az 1. ábra.

Tudjuk, hogy a tömbi ferromágnesek mágnesezettsége általában nem homogén, hanem különböző irányítottaságú doménekből áll. Ennek oka, hogy a túlságosan nagy méretű, homogén mágnesezettségű tartományok szórt mágneses terének energiája meghaladja a doménfalak, vagyis olyan tartományok keltéséhez szükséges energiát, amelyekben a tömbi mágnesezettség iránya – természetesen a tömbi kicserélődési kölcsönhatás ellenében, amely az egyes atomok mágneses nyomatókai egymással párhuzamosan szeretné beállítani – folyamatosan változik. A doménekből álló mágneses szerkezet szórt tere nyilván sokkal kisebb, így megfelelő doménméret esetén kialakul a szórt mágneses tér és a doménfalak energetikai egyensúlya. Ugyancsak a szórt mágneses tér okozza a mágneses vékonyrétegek alakú anizotrópiáját is, amely a mágnesezettséget a vékonyréteg síkjába kényszeríti.

Antiferromágnesesen csatolt multirétegek esetén ezek a hatások jóval kisebbek, mint tömbi ferromágnesekben vagy azokból készült vékonyrétegekben, hiszen az ellentétesen álló ferromágneses rétegek szórt terei egymást részben kioltják, a mágneses erővonalak mintegy „rövidre záródnak”. Tekintettel azonban arra, hogy a mágnességet ezekben a rendszerekben is tömbi ferromágneses rétegek hordozzák, a mágneses domének itt is kialakulnak, ha azok morfológiája el is tér a tömbi ferromágne-



2. ábra. Az 1. ábrán látható Fe/Cr multirétegben kialakuló „foltos” domének. Figyeljük meg a doménszerkezetnek a minta síkjára merőleges irányban kialakuló korreláltságát, ami az erős réteg–réteg csatolás következménye. Az ábra a Cr-réteget nem mutatja.

sekben megszokott doménekétől. A 2. ábra az 1. ábrán látható multirétegben kialakuló „foltos” doménszerkezetet mutatja vázlatosan. Látható, hogy az erős réteg–réteg csatolás következtében a második réteg doménszerkezete a legfelső réteg doménszerkezetének „negatívja”, míg a harmadik réteg doménszerkezete ismét az első rétegével azonos, és így tovább.

Hardner és munkatársai már 1995-ben rámutattak arra, hogy antiferromágnesesen csatolt multirétegek doménszerkezete nagymértékben befolyásolja mágneses ellenállásuk zaját: minél kisebbek a domének, a zaj annál nagyobb, hiszen ilyenkor a domén mágneses szabadsági fokaira jutó Zeeman- és anizotrópiaenergia a termikus energiával összemérhetővé válik. Ez a zaj oly mértékű is lehet, hogy megakadályozza az adott rétegszerkezet alkalmazását mágneses érzékelőkben. Ezért fontos, hogy egyrészt megbízható módszereink legyenek a multirétegek doménszerkezetének vizsgálatára, másrészt hogy olyan módszereket fejlesszünk ki, amelyekkel a doménszerkezet kézben tartható.

Röviden a reflektometriáról

Mágneses domének vizsgálatának legkézenfekvőbb és legelterjedtebb módja a magnetooptikai Kerr-effektus és az optikai mikroszkópia házasságából született Kerr-mikroszkópia. A mágneses mintát lineárisan poláros fényvel megvilágítva, annak polarizációs síkja a mintáról visszaverődve kissé elfordul, ezért a mikroszkópba polarizációs szűrőt építve („polarizációs mikroszkóp”) a mágneses domének láthatóvá válnak. Sajnos ez a módszer csak akkor alkalmazható, ha a legfelső ferromágneses réteg legalább 10–20 nm vastagságú; ennyi ugyanis nagyjából a fény behatolási mélysége. A gyakorlatban használt mágneses multirétegek jelentős részében azonban a ferromágneses rétegek ennél lényegesen vékonyabbak, így a fény több, antiparallel irányítottágú mágneses rétegen halad át, a polarizációs sík egyes rétegekben elszenvedett elfordulásai egymást kioltják; a domének láthatatlanná válnak. A feladatra a domének képi megjelenítésének egyéb módszerei (polarizációs fotoemissziós elektronmikroszkópia (PEEM), mágneses felületi mikroszkópia (MFM) stb.) is alkalmatlannak bizonyulnak. Ennek oka részben az, hogy a domének mágnesezettsége a minta síkjával pár-

huzamos, részben pedig, hogy az említett eljárások nagy külső térben nem működnek. Csatolt multirétegek doménszerkezete ma szinte kizárólag a reflektometria módszerével vizsgálható.

A reflektometriai módszerek lényege, hogy jellemzően 0,1 nm körüli hullámhosszú fotonokat vagy termikus neutronokat ejtve egy vékonyréteg-mintára, a külső totálreflexió kritikus szögéhez közeli, illetve azt valamivel meghaladó szögtartományban a sugárzás jelentős mértékben visszaverődik. Mivel a visszavert sugárzás amplitúdóját a minta különböző tartományából szórt hullámok interferenciája alakítja ki, a visszavert sugárzást a beesési és a visszaverődési szög függvényében megmérve a minta belső szerkezetéről kapunk diffrakciós jellegű információt. A mágneses szerkezet természetesen csak akkor vizsgálható a reflektometria módszerével, ha a szóban forgó sugárzás szórás amplitúdójának van a mágnesezettségtől függő komponense. Ez a feltétel neutronokra – azok mágneses nyomatéka következtében – mindig teljesül. Vékonyréteg-minták mágneses szerkezete valóban hatékonyan vizsgálható a *polarizált neutronreflektometria* (PNR) módszerével. Röntgenfotonokra számottevő mágneses szórás két esetben figyelhető meg: a) bizonyos (pl. 3d átmeneti fémek esetén az $L_{2,3}$) abszorpciós élek környékén; ez a mágneses sávokat is érintő sáv–sáv átmenetekkel kapcsolatos, és b) nukleáris rezonancia- (Mössbauer-) szórás esetén, ami a mágneses hiperfinom-kölcsönhatás következménye. A megfelelő reflektometriai módszerek a *mágneses rezonáns röntgenreflektometria* és a *szinkrotron-Mössbauer-reflektometria* (SMR).

Ha a beesési és a visszaverődési szög¹ egymással egyenlő, akkor *spekuláris* reflektometriáról beszélünk. A spekuláris reflektometria, amely a vékonyréteg-minták *síkra merőleges* szerkezetéről ad felvilágosítást, a *Fizikai Szemle* egy korábbi számában már részletesebb ismertetésre került [3]. Ugyanebben a cikkben bemutattuk a szinkrotron-Mössbauer-reflektometria elveit és főbb alkalmazásait is, ami egyébként a *Fizikai Szemle* jelen számának egy másik cikkében [4] is szerepel, így e helyütt minderre nem térünk ki. Mindössze annyit említünk meg, hogy a spekuláris reflektívitás a diffrakció jól ismert Bragg-egyenletének megfelelően a

$$\Theta = m \frac{\lambda}{2d} \quad (1)$$

szögeknél mutat maximumokat, ahol λ a sugárzás hullámhossza, d a multiréteg síkra merőleges szerkezetének periódushossza, az m természetes szám pedig a reflexió rendjét jelenti.² Az (1) egyenletet a

$$d = m \frac{2\pi}{Q_z} \quad (2)$$

alakban is írhatjuk, ahol Q_z a szórásvektor síkra merőleges (z irányú) komponense.

¹ A reflektometria ezeket a szögeket nem a beesési merőlegestől, hanem a minta síkjától méri.

² Az (1) egyenlet a *refrakciós korrekció*t nem tartalmazza.

Hasonlóan a tömbi antiferromágnesek esetéhez, a ferromágneses rétegek alternáló mágneses irányítotttsága multirétegekben is cellakétszereződéshez vezet. Ez a reflektometriában szuperszerkezeti reflexiókat eredményez, amelyek az (1) egyenletben m feles értékeihez tartoznak. A továbbiak szempontjából igen lényeges, hogy ezek a reflexiók – lévén tisztán mágneses eredetűek – csak a mágneses szerkezetről hordoznak információt.

Ha a visszaverődési szög nem egyezik meg a beesési szöggel (sőt a visszavert nyalábot esetleg nem is a beesési síkban detektáljuk), akkor *nemspeculáris* (diffúz) reflektometriáról beszélünk. A nemspeculáris reflektometria a \mathbf{Q} szórásvektor síkbeli komponenseire is érzékeny, így ezzel a módszerrel a minta síkbeli szerkezetét, inhomogenitásait is feltérképezhetjük. Könnyen beláthatjuk, hogy a beesési síkban maradván, a detektor helyzetének rögzítésével pedig a beesési és a visszaverődési szög összegét állandó 2Θ értéken tartva, ugyanakkor a mintát egy, a beesési síkra merőleges tengely körül „billegtetve” a reflektált intenzitást valójában a szórásvektor Q_x komponensének függvényében mérjük, ahol az x tengely irányát a minta síkjának a beesési síkkal képzett metszészöve vonala jelöli ki. A diffúz reflektivitás $Q_x = 0$ körül általában maximumot mutat; a maximum ΔQ_x szélességét azon inhomogenitások ξ korrelációs hossza szabja meg, amelyekről az adott 2Θ szórési szög alatt megfigyelt szórás származik:

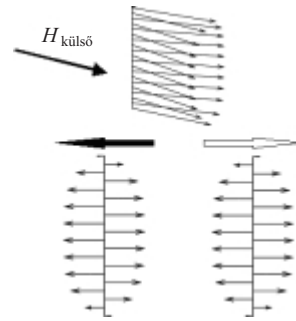
$$\xi = \frac{2\pi}{\Delta Q_x} \quad (3)$$

Ha tehát 2Θ értékét az (1) egyenlet egész m értékeinek megfelelő szerkezeti maximumok valamelyikére állítjuk be, akkor a vékonyréteg síkbeli szerkezeti inhomogenitásainak korrelációs hosszáról (a felületi és határréteg-durvaságról) kapunk információt. Ugyanakkor m feles értékei esetén a mágneszettség síkbeli önkorrelációját mérjük; ξ ilyenkor a mágneszettség síkbeli korrelációs hossza, más szóval éppen a vizsgálni kívánt antiferromágneses domének mérete.

Hogyan alakulnak ki, és hogyan „érnek meg” a multirétegek antiferromágneses doménjei?

Képzelnünk magunk elé egy antiferromágnesesen csatolt multiréteget, amelyet elegendően nagy külső mágneses térbe helyeztünk! Nyilvánvaló, hogy ilyenkor – annak ellenére, hogy a réteg–réteg kicserélődési kölcsönhatás az antiparallel beállást részesítené előnyben – valamennyi ferromágneses réteg mágneszettsége egymással párhuzamosan, a külső tér irányába fordul. Mi történik, ha a külső tér értékét fokozatosan csökkentjük? Amikor elérjük a telítési tér tartományát, a multiréteg ferromágneses alrácsainak mágneszettségei elkezdnek szétnyílni (3. ábra).

A szerkezet szétnyílása – véletlenszerűen – két különböző módon valósulhat meg. Felülről (a z tengely irányából) nézve a legfelső réteg (és vele együtt a páratlan sorszámú rétegek) mágneszettsége elfordulhat az óramuta-



3. ábra. Telítésből csökkenő térben véletlenszerűen alakulhat ki kétféle mágneses szerkezet. Az ábra tetején az egyik szerkezet kialakulását látjuk kevésbé a telítési tér alatt. Az ábra alján a kétféle szerkezetet látható a külső mágneses tér iránya felől nézve.

tó járásával megegyező vagy azzal ellentétes módon (és természetesen a páros sorszámú rétegek mágneszettségével ellentett értelemben fordul el). A telítési tér értéke a síkban nem állandó, hanem – mintakészítési okok következtében – kismértékű ingadozást mutat. Ezért a szerkezet szétnyílása a minta különböző helyein lényegében egyezzen, de véletlenszerűen két különböző forgási értelemben indulhat el. Pontosan ez a mechanizmus vezet a „foltos” domének kialakulására.

Mi határozza meg a mágneszettség korrelációs hosszát, vagyis a keletkező domének méretét? A multiréteg laterális szerkezeti egyenetlenségeinek tipikus hossza néhány 10 nm körül van. Ilyen kis domének azonban nem tudnak kialakulni. Ebben a döntő szerepet a réteg–réteg csatolás és a ferromágneses réteg tömbi kicserélődési kölcsönhatásának viszonya játssza. Ha az előbbi erős, akkor kis domének keletkeznek, hiszen viszonylag „olcsón” lehet a tömbi kicserélődés ellenében az egyes ferromágneses rétegekben doménfalakat létrehozni. Ellenkező esetben a keletkező domének nagyobbak lesznek. A keletkező domének mérete így nagymértékben függ a minta szerkezetétől és csatolásaitól, de 3d átmeneti fémekből készült csatolt multirétegek esetén a tipikus doménméret 1 μm körül, vagy valamivel ez alatt szokott lenni.

A külső tér értékét tovább csökkentve a felülről nézve többé-kevésbé V alakú szerkezet egyre jobban szétnyílik, közelítve a kis térben kialakuló, a külső térre merőleges jól ismert kollineáris antiferromágneses szerkezetet, az úgynevezett „spin-flop fázist”. Eközben a doménfalak szöge, és így az egységnyi hosszúságra jutó doménfal-energia ugyancsak növekszik. A rendszer a felületegységre eső doménfal-energiától csak a domének átlagos méretének növelése árán tud megszabadulni. A domének méretének növelése viszont doménfal-mozgással jár, ami disszipatív folyamat. Ezért csökkenő térben az antiferromágnesesen csatolt multirétegek doménjei méretének *spontán* és *irreverzibilis* növekedését várjuk. Ezt a folyamatot a domének *érésének* nevezzük. Az irreverzibilitás azt jelenti, hogy a teret ismét növelve a domének mérete mindaddig nem csökken, amíg a minta újra telítésbe nem kerül.

Bármennyire is kézenfekvőnek tűnik a domének keletkezésének ésérésének fenti forgatókönyve, az sem általánosan ismertnek, sem általánosan elfogadottnak nem mondható. A doménszerkezetet a legtöbb szerző egyse-

rűen a mágneses tér abszolút értékével, esetleg még a külső térnek a mágneses anizotrópia tengelyeihez viszonyított helyzetével hozza összefüggésbe, nem gondolva arra, hogy a doménszerkezet kialakulásában a mágneses tér egész története játszik szerepet. Azt, hogy a domének valóban a fent leírt módon keletkeznek és „érnek meg”, első alkalommal az SMR módszerével sikerült megmutatni.

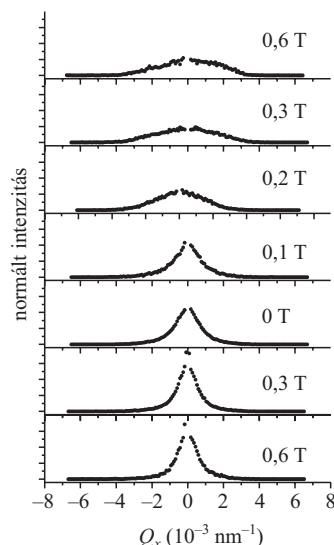
Egy epitaxiális $\text{MgO}(001)[^{57}\text{Fe}(2,6 \text{ nm})/\text{Cr}(1,3 \text{ nm})]_{20}$ multiréteg (szuperrács) szobahőmérsékleten felvett diffúz SMR görbét láthatjuk a szórásvektor x komponensének függvényében a 4. ábrán.³ A multiréteg telítési tere a mágneszettség síkbeli könnyű irányában, ahogyan a külső mágneses tér a mérés során állt, 850 mT volt. Az 57-es tömegszámú Fe-izotóp alkalmazására azért volt szükség, mert a nukleáris rezonanciaszórás ennek az izotópnak a 14,4 keV-es átmenetén következik be. A mérés során 2Θ értéke $0,80^\circ$ -ra volt állítva, ami az $m = 1/2$ -es antiferromágneses Bragg-csúcsnak felel meg. Jól látható, hogy a külső mágneses teret telítésből csökkentve, a diffúz görbe szélessége 200 mT-ig lényegében nem változik. A domének méretét ebben a tartományban a (3) egyenlet alapján körülbelül $1,6 \mu\text{m}$ -nek találjuk. A teret tovább csökkentve, a 200 mT – 100 mT tartományban következik be a domének „érése”: az elkeskenyedő diffúz reflektivitási görbéből megállapíthatjuk, hogy a domének átlagos mérete mintegy $4,5 \mu\text{m}$ -re nő. A teret remanenciából ismét emelve, a diffúz görbe szélessége már nem változik: az érési folyamat valóban irreverzibilisnek bizonyul [5].

Készíthetünk-e még nagyobb doméneket?

A domének érése során a doménfalak mozgásának szükségessége akadályozza meg, hogy a domének mérete egy adott határon túl nőjön. Van-e mód arra, hogy a domének méretét a doménfalak mozgása nélkül tovább növeljük?

Ha egy négyfogású síkbeli mágneses anizotrópiával rendelkező antiferromágnesesen csatolt szuperrácsra (ilyen a már említett epitaxiális Fe/Cr szuperrács is) a mágnesezést egyik síkbeli könnyű irányában adunk nagy mágneses teret, majd e teret fokozatosan csökkentjük, az előbb leírt érési folyamat zajlik le, miközben az egyes ferromágneses rétegek mágneszettségei zérus térben a merőleges könnyű irányban helyezkednek el. Ha most ez utóbbi könnyű irányban adunk a mintára fokozatosan növekvő teret, a spin-flop átmenet kritikus terét elérve a mágneszettségek hirtelen 90° -os elfordulással hozzák létre az új spin-flop fázist; a spin-flop átmenet az SMR módszerével jól nyomon követhető [6]. Ez az elfordulás – ismét véletlenszerűen – bekövetkezhet az óramutató járásával megegyező vagy azzal ellentett értelemben. Ha azonban a minta valamelyik tartományában az elfordulás például az óramutató járásának irányában következett be, akkor a szomszédos tartományok is hasonló értelemben fognak elfordulni, hiszen így a doménfalak eltűnnek,

³ A mérés az ESRF ID18-as nukleáris rezonanciaszórási nyalábjánál történt.

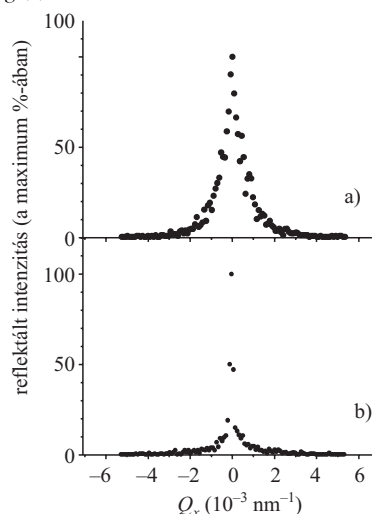


4. ábra. Domének érése egy antiferromágnesesen csatolt $\text{MgO}(001)[^{57}\text{Fe}(2,6 \text{ nm})/\text{Cr}(1,3 \text{ nm})]_{20}$ szuperrácsban. A szobahőmérsékleten felvett diffúz SMR görbék könnyű mágnesezési irányban alkalmazott csökkenő térben bekövetkező elkeskenyedése a domének spontán méretnövekedését mutatja. A mágneses tér története az ábrán felülről lefelé halad. Növekvő térben a domének mérete tovább nem változik.

míg ellenkező esetben 180° -os doménfalak keletkeznek. Ez a doméndurvulási folyamat nem a doménfalak mozgásával, hanem azok eltűnésével valósul meg, így azt elvben semmi nem korlátozza; a domének mérete „minden határon túl” nőhet.

Az antiferromágnesesen csatolt szuperrácsokban a spin-flop átmenet során bekövetkező doméndurvulást ugyancsak a diffúz SMR módszerével sikerült kimutatni.⁵ Az 5. ábrán ismét a már említett $\text{MgO}(001)[^{57}\text{Fe}(2,6 \text{ nm})/\text{Cr}(1,3 \text{ nm})]_{20}$ szuperrács diffúz SMR görbét [7] láthatjuk a szórásvektor x komponensének függvényében. Jól megfigyelhető, hogy a görbék a spin-flop átmenet

5. ábra. Domének durvulása egy antiferromágnesesen csatolt $\text{MgO}(001)[^{57}\text{Fe}(2,6 \text{ nm})/\text{Cr}(1,3 \text{ nm})]_{20}$ szuperrácsban. A szobahőmérsékleten felvett diffúz SMR görbe telítési tér után remanenciában „érett” domének jelenlétére utal (a). A 13 mT külső mágneses térben bekövetkező spin-flop átmenet során a görbék hirtelen elkeskenyednek; a spin-flop átmenet felett 35 mT-ban nagyrészt már „óriás” domének figyelhetők meg (b).



során hirtelen nagymértékben elkeskenyednek. Az átmenet előtti, már ismert, körülbelül $4,5 \mu\text{m}$ nagyságú domének legalább $30 \mu\text{m}$ körüli doménekké „fornak össze”. A durvult domének valószínűleg még ennél is jóval nagyobbak, de ennek megállapítását a berendezés felbontóképessége nem tette lehetővé.

Összefoglalás és köszönetnyilvánítás

A bemutatott példák meggyőzően bizonyítják, hogy a szinkrotronsugárzás súroló beesésű nukleáris rezonanciaszórása, a szinkrotron-Mössbauer-reflektometria az antiferromágnesesen csatolt multirétegek doménszerkezete tanulmányozásának hatékony eszköze. A diffúz SMR módszerével végzett doménszerkezeti vizsgálatok megmutatták, hogy az alkalmazott külső mágneses terek alkalmasan megválasztott sorozatával a domének mérete nagymértékben befolyásolható és tudatosan alakítható.

Az ismertetett eredmények elérésében igen fontos szerepet játszott a Leuveni Katolikus Egyetemmel folytatott sok éves együttműködés. A mérések elvégzését az ESRF által rendelkezésre bocsátott nyalábidő, valamint

az ESRF munkatársainak aktív részvétele tette lehetővé. A kutatási projekt anyagi támogatásáért köszönet illeti az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramokat (T 047094 sz. projekt), a Tét Alapítványt (B-2/02 sz. magyar-flamand projekt) és az Európai Bizottságot (a DYNASYNC konzorcium NMP4-CT-2003-001516 sz. STREP projektje).

Irodalom

1. P. GRÜNBERG, R. SCHREIBER, Y. PANG, M. B. BRODSKY, H. SOWERS – Phys. Rev. Lett. 57(1986) 2442
2. M.N. BAIBICH, J.M. BROTO, A. FERT, F. NGUYEN VAN DAU, F. PETROFF, P. EITENNE, G. CREUZET, A. FRIEDERICH, J. CHAZELAS – Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472
3. NAGY D.L. – Fizikai Szemle 47(1997) 150
4. DEÁK L., BOTTYÁN L., MAJOR M. – Fizikai Szemle 54 (2004) 372
5. M. MAJOR, D. AERNOUT, L. BOTTYÁN, A. CHUMAKOV, B. CROONENBORGHES, L. DEÁK, B. DEGROOTE, J. DEKOSTER, O. LEUPOLD, J. MEERSCHAUT, D.L. NAGY, R. RÜFFER, J. SWERTS, E. SZILÁGYI, F. TANCZIKÓ, K. TEMST, V. VANHOOF, A. VANTOMME – közlés előtt
6. L. BOTTYÁN, L. DEÁK, J. DEKOSTER, E. KUNNEN, G. LANGOUCHE, J. MEERSCHAUT, M. MAJOR, D.L. NAGY, H.D. RÜTER, E. SZILÁGYI, K. TEMST – J. Magn. Magn. Mater. 240 (2002) 514
7. D.L. NAGY, L. BOTTYÁN, B. CROONENBORGHES, L. DEÁK, B. DEGROOTE, J. DEKOSTER, H.J. LAUTER, V. LAUTER-PASYUK, O. LEUPOLD, M. MAJOR, J. MEERSCHAUT, O. NIKONOV, A. PETRENKO, R. RÜFFER, H. SPIERING, E. SZILÁGYI – Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 157202

VÉKONYRÉTEGEK SZINKROTRON-MÖSSBAUER-REFLEKTOMETRIAI VIZSGÁLATA STROBOSZKÓPOS DETEKTÁLÁSSAL

Deák László, Bottyán László, Major Márton
KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézet

A γ -fotonok visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpciójának (szórásának) jelenségét *Mössbauer-spektroszkópia* néven csaknem fél évszázada alkalmazzák az anyagtudományban. Az idők során e spektroszkópiai módszer folyamatosan fejlődött, számos új ága jött létre. Ilyen új lehetőség, a *szinkrotronsugárzás* nukleáris rezonanciaszórása, amelyet kísérletileg először éppen húsz évvel ezelőtt sikerült megfigyelni. Ahogy az elnevezés mutatja, a Mössbauer-spektroszkópia hagyományos radioaktív forrása helyett alkalmazható tehát szinkrotronsugár-forrás is, kihasználva a szinkrotronsugárzás előnyös tulajdonságait. A szinkrotronsugárzás kis felületre fókuszálható óriási intenzitása jól használható kisméretű minták vizsgálata során, például a nagy nyomáson vagy vékonyrétegeken végzett kísérletekben. A szinkrotronsugárzás polarizáltsága lehetőséget ad a hiperfinom terek irányának meghatározására. A párhuzamos, jól kollimált nyalábszerkezetnek köszönhetően nemcsak előreszórási (transzmissziós), hanem például reflexiós geometriában is végezhetünk méréseket.

A vékonyréteg-kutatás szempontjából a nukleáris rezonanciaszórás *reflektometriai elrendezésben* való detek-

tálása rendkívül fontos, hiszen ekkor a Mössbauer-spektromokból kinyerhető szokásos, a hiperfinom-kölcsönhatásokra vonatkozó információk *mélységselektív* meghatározására is lehetőségünk van. A mélységselektivitást elméletileg a fotonok hullámhossza korlátozza, ami az általában használt rezonanciaenergiákra atomi méretű (pl. a vas 57-es tömegszámú izotópja $E = 14,4 \text{ keV}$ -os Mössbauer-átmenetére $\lambda = 0,086 \text{ nm}$). A hiperfinom terek így kísérletileg is közelítőleg atomi felbontásban határozhatók meg. A szinkrotronsugárzás polarizáltságának köszönhetően pedig nemcsak a nagyságuk, hanem még az „irányuk” is kiértékelhető [1]. Mivel a röntgenhullámok tartományában az anyagok törésmutatója alig különbözik az egységtől, a rétegszerkezet szempontjából releváns beesési és visszaverődési szögek a felülettől mérve tipikusan 2 fok alattiak, azaz súroló beesésről beszélhetünk. Az irodalomban a nukleáris rezonanciaszórás alapuló fenti vékonyréteg-vizsgálati módszert *szinkrotron-Mössbauer-reflektometriának* (SMR) nevezzük. A módszert az elmúlt évtizedben KFKI RMKI Nukleáris Szilárdtestfizikai Osztályán számos nemzetközi együttműködés keretében fejlesztettük és alkalmaztuk [1, 2].