

Antiferromágneses anyagból készített vékony rétegek mágneses ellenállása és szerkezete

Kwak Dong-Ho* – Mészáros István**

A dolgozatban az antiferromágneses anyagból készített vékony rétegek szerkezete és a rétegek mágneses ellenállásának kapcsolatát vizsgáltuk, mégpedig két tényező hatását. Az egyik a vékony rétegek szerkezete (anizotrópia), másik a felületi érdesség. A minták hordozójaként minden esetben Conning 7019 típusú üveget használtunk. A készített és vizsgált antiferromágneses film a következő rétegekből épül fel: NiO/NiFe/Cu/NiFe. Egyes mintáknál a NiO réteghez egy további vékony CoO réteget adtunk hozzá. Általában az (111) Miller-indexű síkon növesztett réteg mágneses ellenállása nagyobb, mint más síkok esetén. A CoO-nak az (111) síkban nagy anizotrópia energiája és nagy felületi érdessége is van. Tehát a CoO réteg hozzáadásával a rétegek anizotrópiáját növeltük. Az atomerő mikroszkópiával (AFM), röntgendiffrakcióval (XRD) és 4-tűs mérésekkel vizsgáltuk a felsorolt tényezők hatását.

Bevezetés

A mágneses ellenállás (MR) kutatásban ferromágneses anyagként NiFe ötvözetet, Fe és Co fémet, paramágneses anyagként rezt (Cu) és antiferromágneses anyagként NiO-t, CoO-t, FeMn-t használnak. Jack H. Judy kutatásai szerint NiCoO esetén a mágneses ellenállás változás (MR-ratio) 6%, a kicserélődési tér pedig 11,9 kA/m (150 Oe) [1]. Y. Sugita és Yu J szerint a NiO/NiFe/Cu/NiFe mintában NiFe ferromágneses rétegek között fellépő csatolás (inter-layer coupling) attól függ, hogy mennyi a paramágneses réteg (Cu) vastagsága [2,3]. Egy másik kutatás során a FeMn és NiO kicserélődési terét is megvizsgálták [4,5].

1. táblázat. A NiO és CoO fizikai tulajdonságai

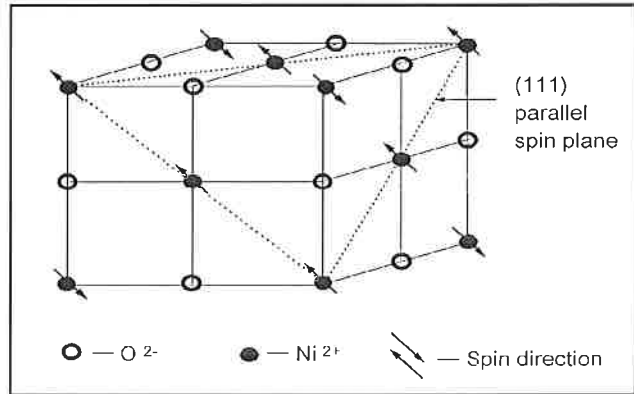
Tulajdonságok	NiO	CoO
Szerkezet	Fkk	Fkk
Rácsállandó	a = 41,946 nm	a = 42,667 nm
Rácsállandó különbség	1,9%	
Néel-hőmérséklet	523 K	293 K
(111) sík anizotrópia energiája	$K_2 = 3,3 \cdot 10^1 \text{ J/m}^3$ (300 K)	$K_2 < 2 \cdot 10^4 \text{ J/m}^3$ (4,2 K)

A mágneses ellenállás kutatásban azért használnak antiferromágneses anyagokat, mert az antiferromágneses anyagoknak jelentős a kicserélődési és az anizotrópia energiája. Ez azt eredményezi, hogy a magnetorezisztív elemeknél lépcsős alakú mágneses ellenállás-térerősség karakterisztikát, azaz MR-ratio görbét kapunk, ami a mágneses adattárolásnál fontos előny a hagyományos induktív elemekkel szemben. Ma már a magnetorezisztív elemeket merevlemezek olvasófejeként és mikrofonokban is alkalmazzák [6].

Vizsgálataink során a NiO-t használtuk antiferromágneses anyagként, mert a NiO Néel-hőmérséklete nagyobb a szobahőmérsékletnél. Ebből adódóan a NiO-ot szoba hőmérsékleten is használhatjuk érzékelő és tároló elemként [7].

Az antiferromágneses anyagok kicserélődési kölcsönhatásának fontos hatása van, ami a réteg kristálytani irányától és felületi érdességétől is függ. A CoO is antiferromágneses tulajdonságú anyag hasonlóan mint

a NiO, de ennek az (111) síkban nagyobb az anizotrópia energiája [8]. Azonban, a CoO alacsony Néel-hőmérséklete miatt szobahőmérsékleten már nem jönnek létre kicserélődési kötések, a CoO paramágnesessé válik [6,9]. Az 1. táblázat és az 1. ábra a CoO és a NiO-nek tulajdonságait mutatja.



1. ábra. A NiO (111) irányú szerkezete

Kísérleti munka

Mintakészítés

A kísérleti munka során rádiófrekvenciás (RF) és egyenáramú (DC) porlasztási technológiával vittük föl a vékony rétegeket. 19,9 kA/m (250 Oe) erősségű anizotrópia teret létesítve NiO és CoO rétegeket vittünk föl. $5 \cdot 10^{-4}$ Torr vákuumban a NiFe és a Cu rétegek leválasztási sebessége 0,1 nm/s, a CoO és NiO réteg növekedési sebessége pedig 0,01 nm/s \sim 0,02 nm/s volt. A rétegeknek háromféle elrendezését alakítottuk ki (2. ábra). Az elsón, azaz [NiO 40 nm/NiFe 6 nm/Cu 1 \sim 6 nm/NiFe 6 nm] mintákon a mágneses ellenállás változását vizsgáltuk a Cu réteg vastagságának függvényében és referencia mintaként kiválasztottuk a legnagyobb MR-ratio értékű mintát, amelynél a Cu vastagsága 1,6 nm volt.

		NiFe 6 nm	
		Cu 1,6 nm	
NiFe 6 nm	NiFe 6 nm	NiFe 6 nm	Teljes NiO vastagság: 40 nm
Cu 1,6 nm	Cu 1,6 nm	NiO 13,3 nm	
NiFe 6 nm	NiFe 6 nm	CoO 0,2~2,4 nm	
NiO 40 nm	NiO 40 nm	NiO 13,3 nm	
		CoO 0,2~2,4 nm	
	CoO 0,6~3,6 nm	NiO 13,3 nm	
Üveg (Glass)	Üveg (Glass)	Üveg (Glass)	

2. ábra. A vizsgált vékony rétegek szerkezete

A második [CoO 0,6 \sim 3,6 nm/NiO 40 nm/NiFe 6 nm/Cu 1,6 nm/NiFe 6 nm] és a harmadik [NiO 13,3 nm/CoO 0,2 \sim 2,4 nm/NiO 13,3 nm/CoO 0,2 \sim 2,4 nm/ NiO 13,3 nm/NiFe 6 nm/Cu 1,6 nm/NiFe 6 nm] mintákat azért készítettük, hogy az antiferromágneses NiO-nak a kicserélődési energiáját a nagy anizotrópiájú CoO segítségével növeljük.

Vizsgálati módszerek

A minták mágneses ellenállásának nagyságát 4-tűs módszerrel vizs-

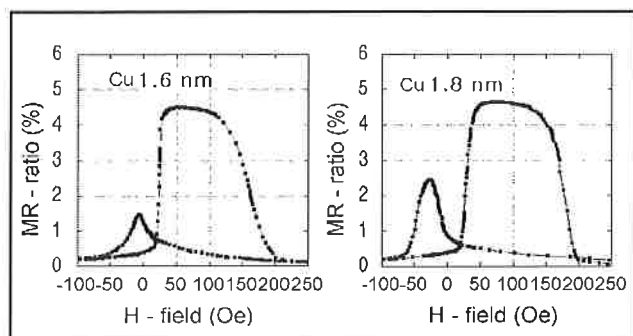
* Doktorandusz, ** Dr., egyetemi docens; mindketten: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Tanszék, 1111 Budapest, Goldmann tér 3.
Tel: (1) 463 2175, e-mail: dhkwak@eik.bme.hu, ill. tel: (1) 463 2883, e-mail: meszaros@eik.bme.hu

gáltak. Röntgendiffrakcióval 20° és 65° szögtartományban 2θ módszerrel a különböző kristálytani irányokhoz tartozó NiO és NiFe csúcsok nagyságát mértük. Megvizsgáltuk továbbá a minták mágneses ellenállásának változását a Cu-réteg vastagságának függvényében (4. ábra). Ezeket az értékeket hasonlítottuk össze a röntgendiffrakciós mérések eredményeivel. A rétegek átlagos felületi érdességét AFM mikroszkóppal mértük.

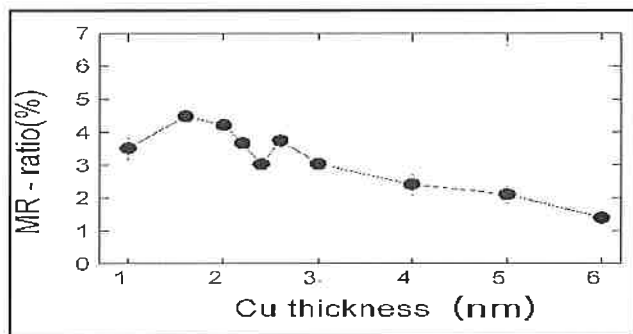
A kapott eredményeket kiértékelve, a réteg érdessége, az MR érték és a kristálytani irány között találtunk összefüggéseket.

Eredmények és értékelésük

A [NiO 40 nm/NiFe 6 nm/Cu 1 ~ 6 nm/NiFe 6 nm] mintasorozat 1,6 nm és 1,8 nm Cu vastagságú mintáin kaptuk a legnagyobb MR értékeket: 4,496% és 4,656% (3. és 4. ábrák).



3. ábra. A [NiO 40 nm/NiFe 6 nm/Cu 1,6 nm, 1,8 nm/NiFe 6 nm] minta MR-H görbéje



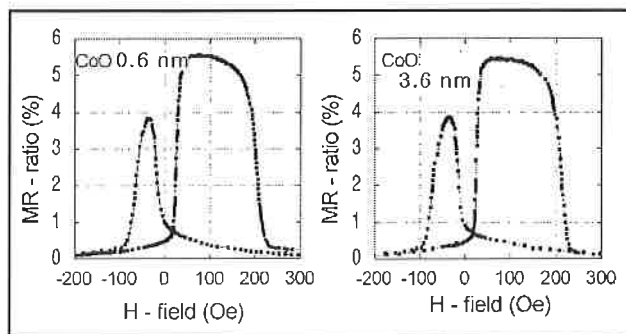
4. ábra. A Cu vastagságától függő maximum MR értékek

Az antiferromágneses réteg (NiO) és ferromágneses réteg (NiFe) közötti kicserélődési kölcsönhatás miatt a kapott MR görbék nem szimmetrikusak. A NiFe mágneses tere a kicserélődési kötés miatt csak akkor változik meg, ha a külső mágneses tér nagyobb, mint a kötési tér. Azaz, a rétegek között kialakuló kötési tér a ferromágneses réteg átmágneseződését befolyásolja. Tehát a NiFe réteg a külső mágneses tér meghatározott értékénél mágneseződik föl.

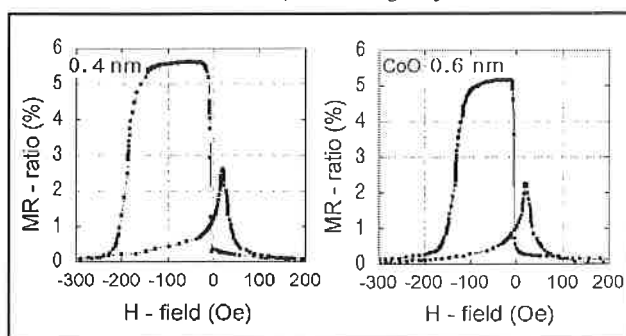
A mágneses ellenállás kutatásában szükség van a rétegek közötti kölcsönhatás, a kristályszerkezet és a felületi érdesség megvizsgálásra. Ezért a következő kísérletben a CoO [111] irányú nagy anizotrópiájának

és felületi érdességének a NiO réteg anizotrópia energiájára és felületi érdességére gyakorolt hatását tanulmányoztuk.

A CoO tartalmú mintákkal körülbelül 1%-kal nagyobb MR értéket kaptunk, mint NiO mintán. Ez az eredmény azt bizonyítja, hogy az MR érték növekedésnek a fő oka a CoO által előidézett nagy érdesség és az [111] irányú anizotrópia (5. és 6. ábrák).



5. ábra. A [CoO 0,6; 3,6 nm/NiO 40nm/NiFe 6 nm/Cu 1,6 nm/NiFe 6 nm] minta MR görbéje

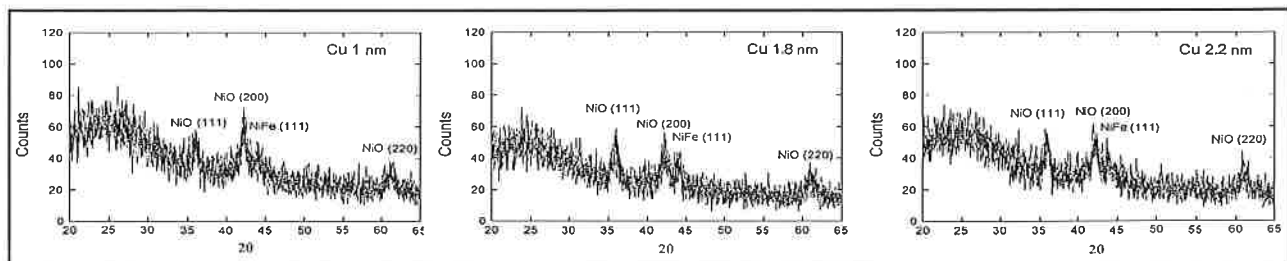


6. ábra. A [NiO 13,3 nm/CoO 0,4; 0,6 nm/NiO 13,3 nm/CoO 0,4; 0,6 nm/NiO 13,3 nm/NiFe 6 nm/Cu 1,6 nm/NiFe 6 nm] minta görbéje

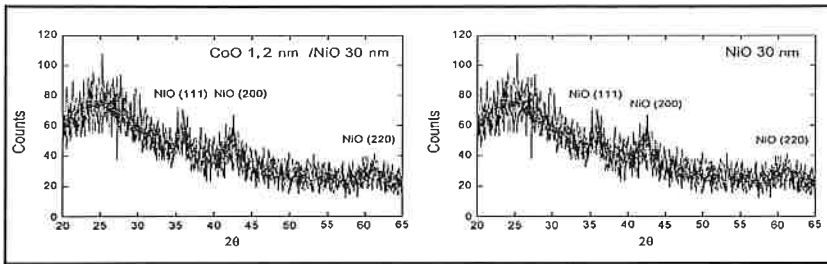
Röntgendiffrakciós mérésekkel a kristály szerkezetét, az AFM mikroszkóppal pedig a felületi érdességet vizsgáltuk.

A 7. ábra azt mutatja, hogy az egyes minták kristályszerkezete nem ugyanaz. Ezeknél a mintáknál csak a Cu vastagságát változtattuk, de a NiO és a NiFe a kristály növekedő lapja is változott. A nagy MR értékű (1,8 nm Cu réteget tartalmazó) mintánál azt láthatjuk, hogy a NiO (111) kristálytani irányhoz tartozó csúcs értéke nagyobb, mint a többieké. Azaz az MR érték és a NiO [111] irányú csúcsértéke között szoros kapcsolat van. Feltételeztük, hogy a polikristályos szerkezetű NiO rétegben az [111] irányú szemcsék térfogatarányának növelése az MR érték növekedését okozza. Ezen okok miatt NiO és CoO multi-rétegszerkezetet készítettünk. Azonban, a 8. ábrán látható kísérleti eredményekből arra következtethetünk, hogy a CoO-nak nincsen számottevő hatása a NiO réteg anizotrópiájára, ugyanis a várakozással ellentétben a (111) csúcs értéke csökkent.

Feltételezésünk szerint szobahőmérsékleten önmagában a CoO – az kis Néel-hőmérséklete miatt – nem antiferromágneses szerkezetű, hanem paramágneses állapotban van. Úgy tűnik, hogy a CoO anizotrop tulajdonsága nincs befolyással a NiO kristályszerkezetére. Ennek elle-



7. ábra. A [NiO 40 nm/NiFe 6 nm/Cu 1; 1,8; 2,2 nm/NiFe 0,6 nm] minták XRD adatai



8. ábra. A [CoO 1,2 nm/NiO 30 nm, NiO 30 nm] minták XRD adatai

nére 1%-kal nagyobb MR értéket kaptunk. Ezt a CoO felületi érdességének hatásával magyaráztuk.

A 9. ábrán a NiO 30 nm réteg (a), a CoO 30 nm réteg (b) és a CoO 1,2 nm/NiO 30 nm réteg (c) felületi érdességét láthatjuk. Az átlagos felületi érdesség értéke (a) 0,35 nm, (b) 0,61 nm, (c) 0,36 nm volt. Azaz, a (b) mintán kaptuk a legnagyobb értéket, amit a CoO-t közbeiktatása okozott. Vagy is minél nagyobb a rétegek közötti határfelület területe, annál nagyobb az érdesség. Tehát a kísérleteink alapján azt mondhatjuk, hogy a CoO hatását elsősorban az érdesség növekedésének tulajdoníthatjuk. Megállapítottuk tehát, hogy a mágneses ellenállás és vékony rétegek határfelületének nagysága között nagyon szoros összefüggés van.

Következtetések

A NiO/NiFe/Cu/NiFe minták közül az 1,8 nm Cu vastagságú mintán 4,656%-os MR értéket kaptunk.

A NiO rétegbe közbeiktatott CoO rétegű mintákon körülbelül 1%-kal nagyobb mágneses ellenállás értéket kaptunk.

A [CoO 0,6 nm/NiO 40 nm/NiFe 6 nm/Cu 1,6 nm/NiFe 6 nm] mintán az MR-re 5,552%-ot, a [NiO 13,3 nm/CoO 0,4 nm/NiO 13,3 nm/CoO 0,4 nm/NiO 13,3 nm/NiFe 6 nm/Cu 1,6 nm/NiFe 6 nm] mintán 5,632%-ot mértünk.

Az XRD adat szerint CoO [111] irányú anizotrop tulajdonságát nem tapasztaltuk.

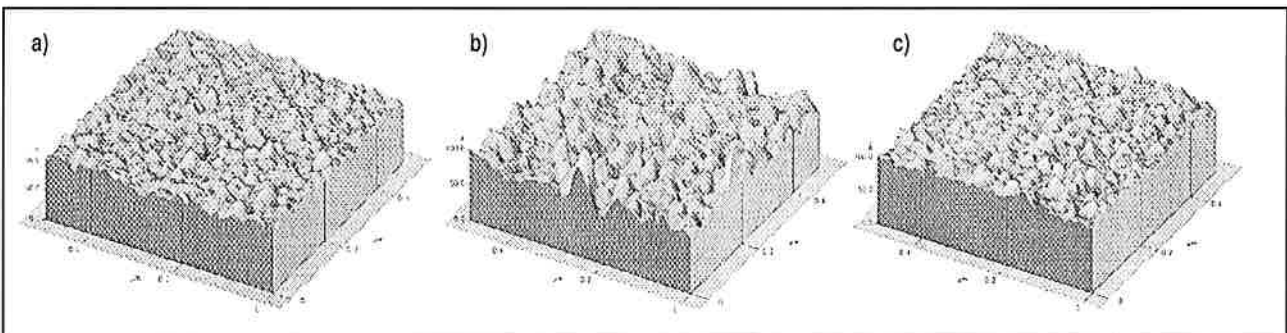
Az AFM módszerrel a rétegek felületi érdességét vizsgáltuk. CoO mintában nagyobb átlagos érdesség értéket kaptunk.

Kísérleti eredményeink alapján az állapítható meg, hogy a CoO két tulajdonsága az anizotropia és felületi érdesség közül, a felületi érdességnek van erőteljesebb hatása a vizsgált vékony rétegek mágneses ellenállására.

Ezúton köszönöm dr. Ginsztler János professzor úrnak (BME, MTAT) a publikáció összeállításában nyújtott segítségét.

Irodalom

[1] Jack H. Judy et al: Magnetoresistance Studies of NiCoO Exchange Biased Spin-Valve Structure, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 30, No. 6, 3834, November 1994
 [2] Y. Sugita et al: Giant Magnetoresistance of Spin Valve Films with NiO Antiferromagnetic Films, Jpn. J. Appl. Mag., Vol. 18, No. 2, 355, 1994
 [3] Yu J. et al: Effects of spacer layer thickness and substrate temperature on the magnetoresistance of rf-sputtered CoFe/Cu/NiFe trilayers, Physica Status Solidi A-Applied Research, V.187 N.2, 517-520, 2001
 [4] Shin Noguchi et al: Magnetoresistance and Preferred Orientation in FeMn/NiFe/Cu/NiFe Sandwiches with Various Buffer Layer Materials, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, No. 1A, 133, 1994
 [5] Takahashi T et al: Exchange anisotropy in NiFe/NiO/CoPt trilayers, Surface Science, V.493 N.1-3, 731-736, 2001
 [6] Adrian J. Devasahayam and Mark H. Kryder: The effect of sputtering conditions on the exchange fields of CoxNi1-xO and NiFe, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 31, No. 6, 3820, November 1995
 [7] M.J.Carey and A.E.Berkowitz: CoO-NiO superlattices: Interlayer interactions and exchange anisotropy with Ni81Fe19 (invite), J. Appl. Phys., Vol. 72(10). 6892. 15 May 1993
 [8] Timothy J. Moran and Ivan K. Schuller: Effect of Cooling Field Strength on Exchange Anisotropy at Permalloy/CoO Interfaces. J. Appl. Phys. Vol. 79 (8), 15 April 1996
 [9] Jun-ichi Fujikata et al: Magnetoresistance Effect in Spin-Valve Structures with CoO/NiO superlattices IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 31, No. 6, 3936, November 1995.



9. ábra. AFM felületi érdesség adatok: (a) NiO 30 nm réteg, (b) CoO 30 nm réteg és (c) CoO 1,2 nm/NiO 30 nm

SZEMLE

A kisnyomású szintézissel előállított gyémántrétegek gyártástechnológiájának és alkalmazásának újabb eredményeiről tájékozódhatunk a *Kohászat 2002 januári számában* Deák Péter, a BME fizikaprofesszorának és dokoranduszainak: Kovács Antalnak és Kovácsné Csorbai Hajnalkának cikkéből. A CVD (kémiai gőzfázisú leválasztás) módszerrel készíthető 8–10 µm vastag gyémántréteg előnyeit napjainkban elsősorban a forgácsoló szerszámoknál érvényesítik teljesítmény- és élettartamnövelés céljából. Legnagyobb előrelépés a mechanikai alkalma-

zás terén a köztes rétegrendszerek megvalósítása. De a gyémánt kiváló fizikai tulajdonságai (jó hő- és hangvezető, illetve vilamos szigetelő képessége, nagy törésmutatója, nagy kémiai stabilitása) révén számos optoelektronikai (pl.: felületi akusztikus hullámvezető), elektronikai, optikai (pl.: gyémántlencsék), elektrokémiai (pl.: gyémántelektrodok) alkalmazása valósult már meg. Folyamatban van a gyémántalapú sugárérzékelők fejlesztése, de élénk kutatás tárgya a gyémánt teljesítmény-elektronikai alkalmazása, mivel a gyémánt ideális félvezető anyag erre a célra.