

## KRITICKÉ KRIVKY ELEKTROLYTICKY NANASENÝCH Ni—Fe VRSTIEV

JÁN VEME\*, JURAJ DANIEL-SZABÓ\*\*, Košice

### I. ÚVOD

Pre opis magnetizačných procesov v tenkých feromagnetických vrstvách (TFV) je nevyhnutné poznať tzv. kritické polia, pri ktorých sa uskutočňuje charakteristická zmena magnetizačného procesu. Takýmto kritickými poľami sú: pole vzniku zárodku doménny  $H_z$ , pole štartu zárodku  $H_{z,2}$ , pole štartu doménovej steny  $H_{z,s}$ , koerzitívna sila  $H_c$ , pole anizotropie  $H_k$  a prahové pole  $H_{c,r}$ .

Kritické polia  $H_{z,2}$ ,  $H_{z,s}$ ,  $H_c$  merané v závislosti od uhla, zovretého smerom magnetického poľa a smerom ľahkej magnetizácie, dávajú v rovine  $H_L$  a  $H_T$  kritické krivky magnetizačného procesu.

Experimentálne sa podrobne študovali kritické krivky naparených permalloyových vrstiev — v intervale hrúbok od 200 do 4000 Å — v prácah [1—3]. Experimentálne štúdiám kritických kriviek vrstiev elektrolyticky nanosených, s relatívne väčšou hrúbkou (do 2,4 μm) dosiaľ — podľa nášho vedomia — nebolo súborne urobené. To je úlohou tohto príspevku.

### II. PRÍPRAVA VZORIEK A METODIKA MERANIA

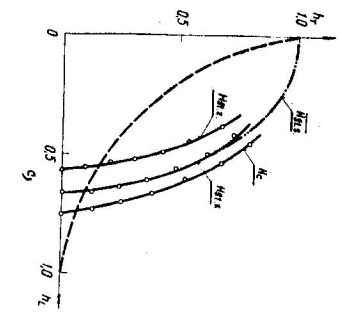
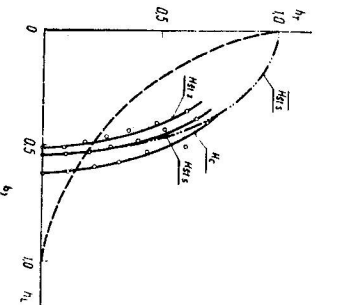
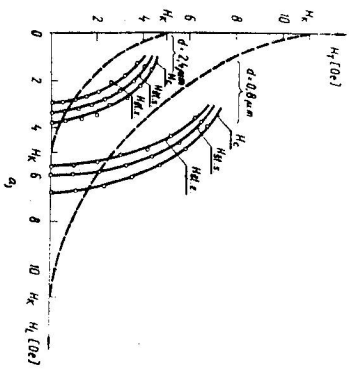
Vzorky sme pripravili elektrolyticky. Zloženie elektrolytu bolo:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  — 280 g/l,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  — 10 g/l,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  — 30 g/l. Teplota elektrolytu bola 20 °C, katódová prúdová hustota 7 mA/cm<sup>2</sup>. Vrstvy sme naniesli na kruhové medené podložky priemeru 20 mm. Podložky sme mechanicky leštili na metalografických papieroch, doleštili chemicky a na filci so spinelnom elektromagnetickou leštičkou.

Elektrolytické nanášanie sme uskutočnili v magnetickom poli intenzity  $H = 100$  Oe, vytvorenom Helmholtzovými cievkami. Smer magnetického poľa spadal do roviny podložky. Takto sme pripravili sériu Ni—Fe vrstiev, vyznačujúcich sa jednoosovou anizotropiou. Hrúbku vrstiev sme určovali na základe množstva vyličeného Ni a Fe pomocou Faradayových zákonov.

Kritické polia sme merali pomocou magnetooptického zariadenia metódkou opísanou v práci [4].

\* Katedra fyziky Elektrotechnickej fakulty VŠT, KOŠICE, Komenského park 2.

\*\* Katedra experimentálnej fyziky Prírodovedeckej fakulty UPJŠ, KOŠICE, nám. Februárového víťazstva 9.



Obr. 1. Kritické krivky kvazistatického premagnetovania  $H_c$ ;  $H_{H,s}$ ;  $H_{H,s}$  a teoretické kritické krivky — asteroidy. a. v absolútnych súradniciach  $H_L$   $H_T$  pre hrúbky  $d = 0,8 \mu\text{m}$  a  $2,4 \mu\text{m}$ ; b. v normovaných súradniciach  $h_L$  a  $h_T$  pre hrúbku  $0,8 \mu\text{m}$ ; c. v normovaných súradniciach  $h_L$  a  $h_T$  pre hrúbku  $2,4 \mu\text{m}$ . Kritická  $\overline{H_{H,s}}$  zobrazuje závislosť (1).

### III. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Kritické krivky koercitívnej sily  $H_c(\alpha)$  kvazistatického premagnetovania, poľa štartu doménovej steny  $H_{H,s}(\alpha)$ , poľa štartu zárodku domény  $H_{H,s}(\alpha)$  a teoretické kritické krivky (asteroidy) pre dve extrémne hrúbky  $0,8$ , resp.  $2,4 \mu\text{m}$  v súradniciach  $H_L$  a  $H_T$  sú zobrazené na obr. 1a. Krivky podobného priebehu sme namerali aj pre vrstvy, ktorých hrúbky spadajú do uvedeného intervalu.

Naše experimentálne výsledky ukazujú, že priebeh kritických  $H_{H,s}(\alpha)$  a  $H_{H,s}(\alpha)$  majú podobný priebeh ako kritická krivka  $H_c(\alpha)$ . Na obr. 1b a 1c sú zobrazené priebehy týchto kritiek v normovaných súradniciach, kde  $h_L = H_L/H_k$  a  $h_T = H_T/H_k$ . Tieto krivky možno dobre aproximovať známym teoretickým vzťahom Middelhoeka [5], plátnym pre vrstvy s Blochovými stenami

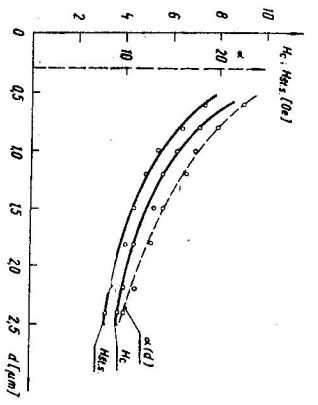
$$H_{H,s}(\alpha) \sim \cos \varphi. \quad (1)$$

Uhol  $\varphi$ , o ktorý vektor magnetizácie v doménach sa odchyľuje od osi ľahkej magnetizácie, sme určili z podmienky

$$\sin \varphi = H_T/H_k.$$

Závislosť kritických polí  $H_c$  a  $H_{H,s}$  od hrúbky vrstiev  $d$  je znázornená na obr. 2. Krivka

Obr. 2. Závislosť koercitívnej sily  $H_c$  a poľa štartu doménovej steny  $H_{H,s}$  od hrúbky vrstiev  $d$ ; závislosť uhla  $\alpha_0$ , pri ktorom začína premagnetizačný proces skláňaním vektora magnetizácie, od hrúbky vrstiev.



$H_{H,s}(d)$  má podobný priebeh ako závislosť koercitívnej sily  $H_c(d)$ . Posledná závislosť spĺňa vzťah

$$H_c = Ad^{-n}, \quad (2)$$

v ktorom exponent  $n = 0,72$ . Tento výsledok je v pomere dobrej zhode s prácou iných autorov [6, 7], kde sú uvedené hodnoty  $n = 0,74$ , resp.  $n = 0,93$ , kŕi sa ale od Néelovho vzťahu, v ktorom  $n = 4/3$ .

Veľkosť uhla  $\alpha_0$ , pri ktorom začína premagnetizačný proces skláňaním vektora magnetizácie, sa so vzrastajúcou hrúbkou vrstvy znižuje, ako to vidieť na obr. 2. Tento experimentálny fakt možno dať do súladu s tzv. modelom veľkých rozptylových polí [8–10], ak predpokladáme, že s narastajúcou hrúbkou vrstvy sa zväčšujú aj rozptylové polia.

K podrobnejšiemu rozboru tu uvedených experimentálnych závislostí sa vrátíme neskôr.

Záverom poznamenávame, že nami namierané kritické krivky študovaných Ni–Fe vrstiev, nanesených elektrolyticky, sú v dobrej zhode s kritickými krivkami naparených Ni–Fe vrstiev [1], ktorým prislúchajú Blochove doménové steny.

### LITERATÚRA

- [1] Ильичева Е. Н., Канавина Н. Г., Шинков А. Г., Изв. АН СССР, сер. физ. 30 (1966), 1.
- [2] Ильичева Е. Н., Диссертация. Физ. фак. МГУ, Москва 1965.
- [3] Messdorf W., Z. angew. Phys. 14 (1962), 421.
- [4] Ильичева Е. Н., Канавина Н. Г., Шинков А. Г., Физ. металлов и металловед. 20 (1966), 1.
- [5] Middelhoek S., J. Appl. Phys. 34 (1964), 1064.
- [6] Nehura Y., Japanese Journal of Appl. Phys. 2 (1963), 8.
- [7] Lloyd J. C., Smith R. C., J. Appl. Phys. 30 (1959), 4.
- [8] Middelhoek S., IBM J. Res. Dev. 6 (1962), 394.
- [9] Feldtkeller E., Elektron. Rechnenl. 3 (1961), 167.
- [10] Fuchs E., Z. angew. Phys. 13 (1961), 157.

Došlo 31. 3. 1971