ÚŘAD PRO VYNÁLEZY A OBJEVY
PŘÍL.
16. V. 91
0243 84
Čj.

ÚSTAV EXPERIMENTÁLNÍ FYZIKY
Došlo: 20.7.90
Číslo: 500/10
Přidělené:
Přílohy: —

POPIS OBJEVU

K DIPLOMU ČÍSLO 65

Přihlášeno: 05.11.1987 /PO 87 -87/

Právo přednosti od: 12.01.1988

Zveřejněno: Čs. časopis pro fyziku

Uděleno: 07.12.91

Vydáno:

MDT 538.24

Autoři objevu: Frait Zdeněk, RNDr. DrSc.,
Fraitová Dagmar, RNDr. CSc. a
Zárubová Niva, RNDr. CSc., všichni Praha

Název objevu: Tepelně indukovaná povrchová anizotropie kovových amorfních slitin

Předmět objevu:

1. Jev, spočívající v existenci povrchové magnetické anizotropie kovových amorfních slitin typu FeNiB, indukované tepelným žíháním.

2. Zákonitost určující vztah mezi hodnotou povrchové anizotropie dle bodu 1, teplotou a časem, vyjádřená vzorcem

$$E_{STI} = \frac{E_o\,(2 + t/10)}{e^{(cT - 1)^{-2}} + 1} .$$

kde E_{STI} je povrchová magnetická anizotropie (mJ/m^2) při pokojové teplotě

E_o je konstanta materiálu

T je teplota žíhání (^oC); rozsah 90 až 330 ^oC)

c je konstanta materiálu

t je doba žíhání (hod.)

Existenci povrchové magnetické anizotropní energie E_S objevil teoreticky prof. L. Néel v roce 1953 (publ. v čas. Compt.Rend.Acad.Sci. 237 (1953),1613) a zdůraznil její vliv na magnetické vlastnosti látek o rok později (Jour.Phys.Rad. 15 (1954), 229). Vznik E_S je dán rozdílem magnetických interakcí mezi sousedními atomy na povrchu a uvnitř látky, tedy změnou lokální magnetické symetrie na povrchu. Od té doby se experimentálnímu i teoretickému studiu E_S věnovala řada autorů ve světových laboratořích, obecně bylo zjištěno, že v krystalických kovových feromagnetikách je velikost E_S v absolutní hodnotě několik desetin mJ/m^2; viz například stručný přehled U. Gradmana (Jour.Magn.Magn.Mat. 54-57 (1986), 733). V moderních kovových amorfních feromagnetických slitinách (s nízkými energetickými ztrátami), připravených metodou rychlého chlazení, je tomu tak stejně (viz Z. Frait, Jour.Magn.Magn.Mat. 35 (1983), 37). Jelikož magnetické uspořádání na povrchu feromagnetika může příznivě ovlivnit některé jeho celkové magnetické vlastnosti (viz například W. Grimm, B. Metzner, A. Hubert, Jour.Magn.Magn.Mat. 41 (1984), 171), bylo by výhodné veličinu E_S měnit změnou uspořádání povrchových atomů, to je však v krystalických materiálech obtížné (viz např. Z. Frait, D. Fraitová,

R. Gemperle, Czech.J.Phys. B 25 (1975), 906). V amorfních feromagnetických slitinách (ve srovnání s krystalickými magnetiky) jsou atomy v metastabilních polohách, tepelnou excitací pod teplotou krystalizace se jejich uspořádání uvnitř látky mění, což se projevuje změnou jejich vlastností (T. Egami, Rep.Progr. Phys. 47 (1984), 1601).

Podstata jevu přihlašovaného objevu spočívá ve vzniku povrchové magnetické anizotropie kovových amorfních magnetických slitin indukované tepelným žíháním při teplotě T, která je nižší než teplota krystalizační. Jev byl zjištěn na amorfních slitinách ve tvaru pásků typu $Fe_xNi_{1-x}B_{20}$, kde veličina x je v intervalu 0,3 až 0,7, velikost tepelně indukované povrchové anizotropie E_{STI} měřené při pokojové teplotě je 0,1 mJ/m^2 (při $T = 50\ ^oC$) a vzrůstá s teplotou žíhání na 0,8 mJ/m^2 (při $T = 350\ ^oC$). Standartní doba žíhání je 1 hodina. Při době žíhání 30 min klesá velikost E_{STI} na polovinu, při době žíhání 10 hodin stoupá na 1,5 násobek hodnoty při době žíhání 1 hod. Při žíhání v různých prostředích (vakuum 10^{-3} až 10^{-4} Pa, suchý vzduch, inertní plyn) - při zachování ostatních podmínek - se hodnota tepelně indukované povrchové anizotropie mění v intervalu $\pm$ 30 %.

Pro důkaz existence E_{STI} byla použita metoda feromagnetické rezonance FMR, která spočívá v selektivní absorpci elektromagnetického záření (o kmitočtu řádově jednotky až desítky GHz) ve feromagnetické látce, umístěné do vnějšího statického magnetického pole (o intenzitě desetin až jednotek T). V případě kovových materiálů, kde dochází ke vzniku elmg. záření jen do hloubek řádově /um, velikost a směr E_S ovlivňuje tvar a polohu FMR rezo-

nanční křivky (viz např. Z. Frait, H. MacFaden, Physical Rev. 139 (1965), A1193). Má-li pak E_S jednoosou symetrii (jak jest tomu v případě amorfních látek) a velikost větší než několik desetin mJ/m^2, dochází ke zřetelnému rozštěpu původní rezonanční křivky na základní (objemový) a spinvlnový (povrchový) mod; ze vzdálenosti rezonančních magnetických polí obou modů je možno hodnotu E_S vypočítat (viz např. D. Fraitová, phys. stat.sol. (b) 136 (1986), 91). Na vzorcích amorfních slitin typu FeNiB, podrobených tepelnému zpracování dle předchozího odstavce, měřené vlastnosti povrchového modu v širokém rozsahu použitých kmitočtů a vnějších magnetických polí (8 až 70 GHz; 0,05 až 3 T), při různých náklonech povrchu vzorku vůči směru vnějšího magnetického pole (od paralelní do kolmé geometrie) a v širokém rozsahu teplot (4 až 300 K) prokazují existenci tepelně indukované povrchové anizotropie E_{STI}, jednoosého typu s osou kolmou k povrchu vzorku o velikosti 0,5 až 1,2 mJ/m^2. O lokalizaci E_{STI} do povrchové oblasti materiálu (v rozsahu několika meziatomových vzdáleností) svědčí dále námi zjištěná skutečnost, že velmi slabým odleptáním povrchu (například v roztoku HNO_3 1 : 5000 po dobu 4 sekund) E_{STI} mizí. Jev je vlastní celému objemu feromagnetického materiálu a není jen vlastností původního povrchu daného výrobou materiálu; o tom svědčí skutečnost, že i na vzorcích, jejichž původní povrch byl podstatně odlešťován (do hloubky přes 10 μm), vzniká po žíhání E_{STI}.

Blíže osvětlují tyto skutečnosti následující záznamy měření (tj. závislost derivačních spekter mikrovlnné absoprce - osa y, značeno A' - na intenzitě vnějšího pole - osa x, značeno H) provedené na slitině $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$. Na obr. 1 je měřena závislost spekter na mikrovlnném kmitočtu, která ukazuje na rozštěp spektra

se vzrůstajícím kmitočtem; vzdálenosti obou rezonančních modů - hlavního (vlevo) a povrchového (vpravo) - a symetrie modu při nejnižším kmitočtu (kdy se oba mody slévají) ukazují na existenci E_{STI} rovnou 0,75 mJ/m^2. Na obr. 2 změřená závislost spekter na úhlu Θ (tj. úhel mezi plochou vzorku a směrem statické magnetizace) prokazuje opět existenci E_{STI} rovnou 0,75 mJ/m^2, zejména vymizením povrchového modu při $\Theta = 34^o$ a neexistenci povrchového modu při $\Theta = 90^o$. Na obr. 3 je změřená teplotní závislost spekter; křivka 1 (měření při teplotě 4 K) odpovídá E_{STI} rovnou 1,2 mJ/m^2, křivka 2 (měření při 300 K) dává E_{STI} 0,7 mJ/m^2. Na obr. 4 jsou spektra změřená při odlešťování vzorku v roztoku HNO_3 1 : 5000; křivka SMF odpovídá vzorku tepelně zpracovaném žíháním v Ar (250 ^oC, 1 hod.), E_{STI} je rovno 0,65 mJ/m^2; křivka 2" (5") odpovídá vzorku na vymizení E_{STI} po odleštění trvajícím několik sec., což odpovídá lokalizaci původní E_{STI} do povrchové vrstvičky o hloubce řádově 1 nm.

Podrobnější popis metody (s odkazy na literaturu) a výsledků (grafy, num. data), týkajících se důkazu předmětu objevu je uveden v práci Z. Fraita, D. Fraitové a N. Zárubové „Pozorování FMR povrchového spinvlnového modu v masivních amorfních feromagnetikách", publikované v mezinárodním odborném časopise phys. stat.sol. (b), ročník 128, str. 219 až 222.

Objev E_{STI} umožňuje na masivních amorfních magnetických materiálech, podrobených tepelnému zpracování (především typu FeNiB), zkoumat ve zřetelné formě řadu fyzikálních jevů, důležitých pro popis feromagnetického stavu, tj. vybuzení objemových spinových vln a povrchových spinových vln výměnného typu, sta-

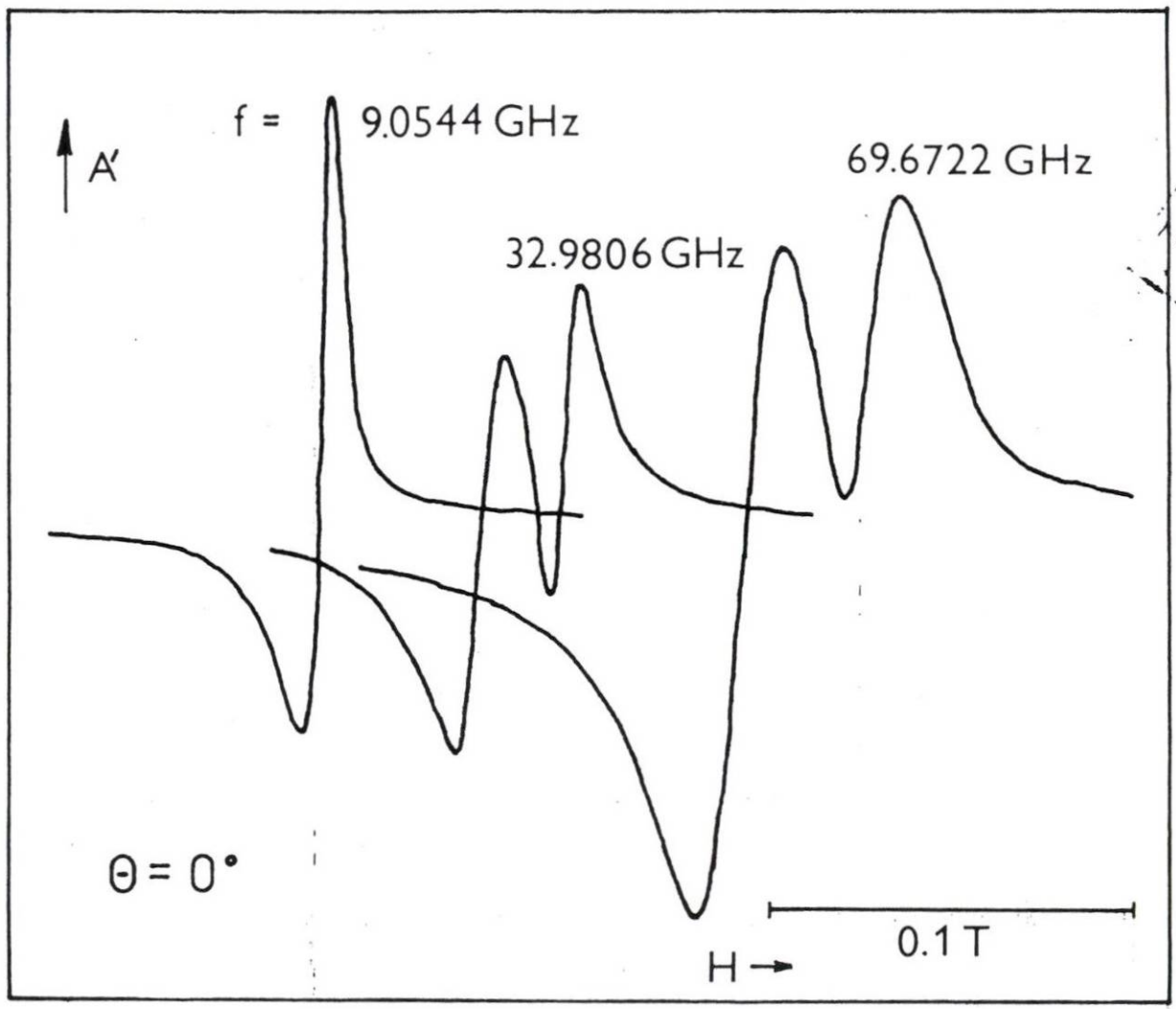
novení základních energetických ztrát při pohybu magnetizačního vektoru, určení teplotní závislosti výměnné interakce, sledování vlivu mechanického pnutí na anizotropii magnetické povrchové energie aj.

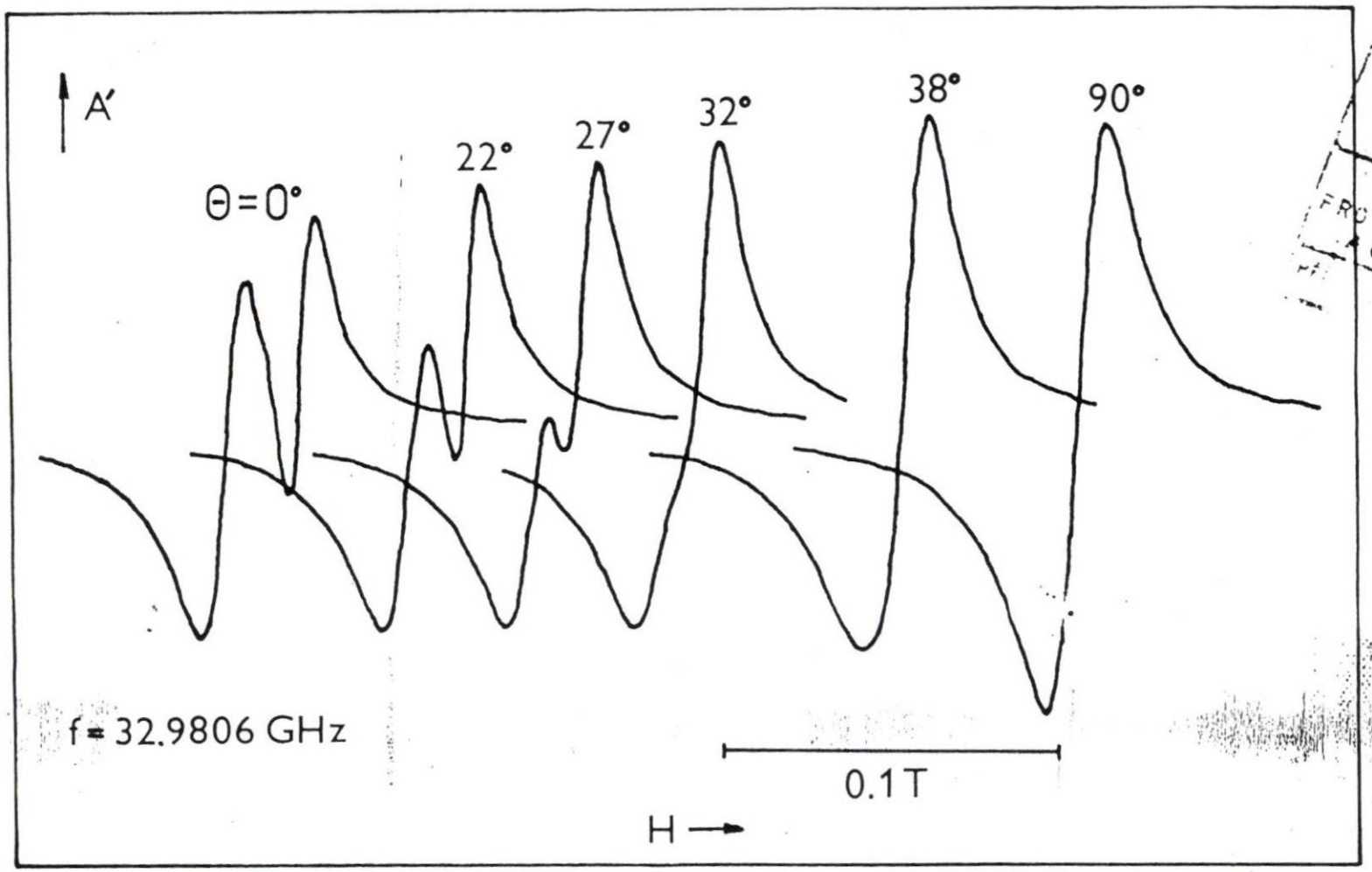
Po praktické stránce umožňuje vybuzení E_{STI} předně popsat procesy, které vznikají při tepelném zpracování amorfních feromagnetických slitin, a charakterizovat tak např. stupeň jejich tepelného zpracování a homogenizace (zejména využitím matematického vzorce udaného v definici objevu). Dále vznik E_{STI} způsobené tepelným vybuzením nabízí možnost nového způsobu záznamu informací a konstrukci nových paměťových magnetických prvků s velkou hustotou. Konečně objev ukazuje na možnost přípravy magnetických materiálů se speciálními vlastnostmi (určitým typem hysterézní smyčky).

Předkládaný objev je využíván jak po vědecké, tak i praktické stránce. Především byla určena velikost E_{STI} pro amorfní slitiny o složení $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ i její teplotní závislost v širokém oboru 4 až 600 K, pro ostatní slitiny typu FeNiB zatím při pokojové teplotě. Detailně bylo sledováno vybuzení spin-vlnových povrchových modů výměnného typu (teplotní i frekvenční závislost intenzity rezonančního pole i šířky rezonanční křivky) v těchto slitinách a byla prokázána dobrá shoda teoretických výpočtů s výsledky experimentu. Ze změřených teplotních průběhů polohy hlavních a povrchových modů byla stanovena velikost výměnné konstanty (základní veličiny feromagnetik) pro materiály s velkou hodnotou E_{STI} a určeny parametry vyšších řádů v tzv. Blochově zákoně. Konečně bylo zjištěno, jaké jsou anizotropní závislosti velikostí E_{STI} pro případ, že E_{STI} je indukována za přítomnosti

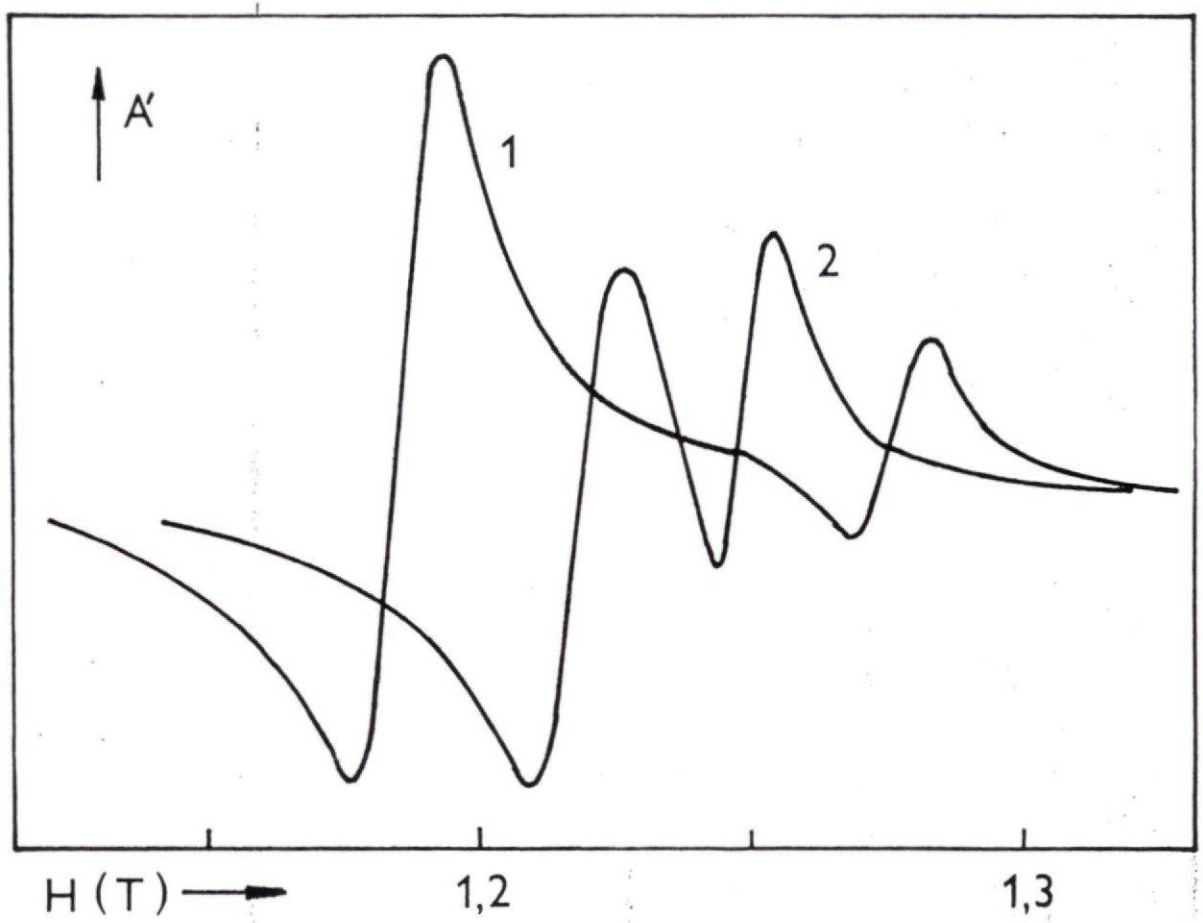
pnutí. Tyto výsledky potvrzují domněnku, že mikrofyzikální příčina vzniku E_{STI} v povrchu amorfního materiálu je způsobena spíše změnou topologického uspořádání atomů než změnami chemického složení. Po praktické stránce je měření E_{STI} využíváno metodicky k charakterizaci materiálů, vyráběných zatím poloprovozním způsobem ve Fyz. ústavu CEFV SAV v Bratislavě.

Výsledky využití objevu byly publikovány dosud v následujících odborných publikacích: 1) Z. Frait, D. Fraitová, N. Zárubová, Abstracts and Programm, 2nd Int.Conf.Phys.Magnetic Materials, Jadwisin 1984 (Polish Acad.Sci., Warsaw), p. 157; 2) Z. Frait, D. Fraitová, N. Zárubová, phys.stat.sol. (b) 128 (1985), 219; 3) Z. Frait, D. Fraitová, L. Půst, Jour.Magn.Magn. Mat. 54-57 (1986), 1307; 4) Z. Frait, N. Zárubová, P. Duhaj, phys.stat.sol. (a) 101 (1987), 239 a předneseny na šesti mezinárodních konferencích (Jadwisin, PLR 1984; San Francisco, USA 1985; Asilomar, USA (1985); Balatonfüred, MLR 1985; Kijev, SSSR 1988; Paříž, Francie 1988; Le Creusot, Francie 1988).

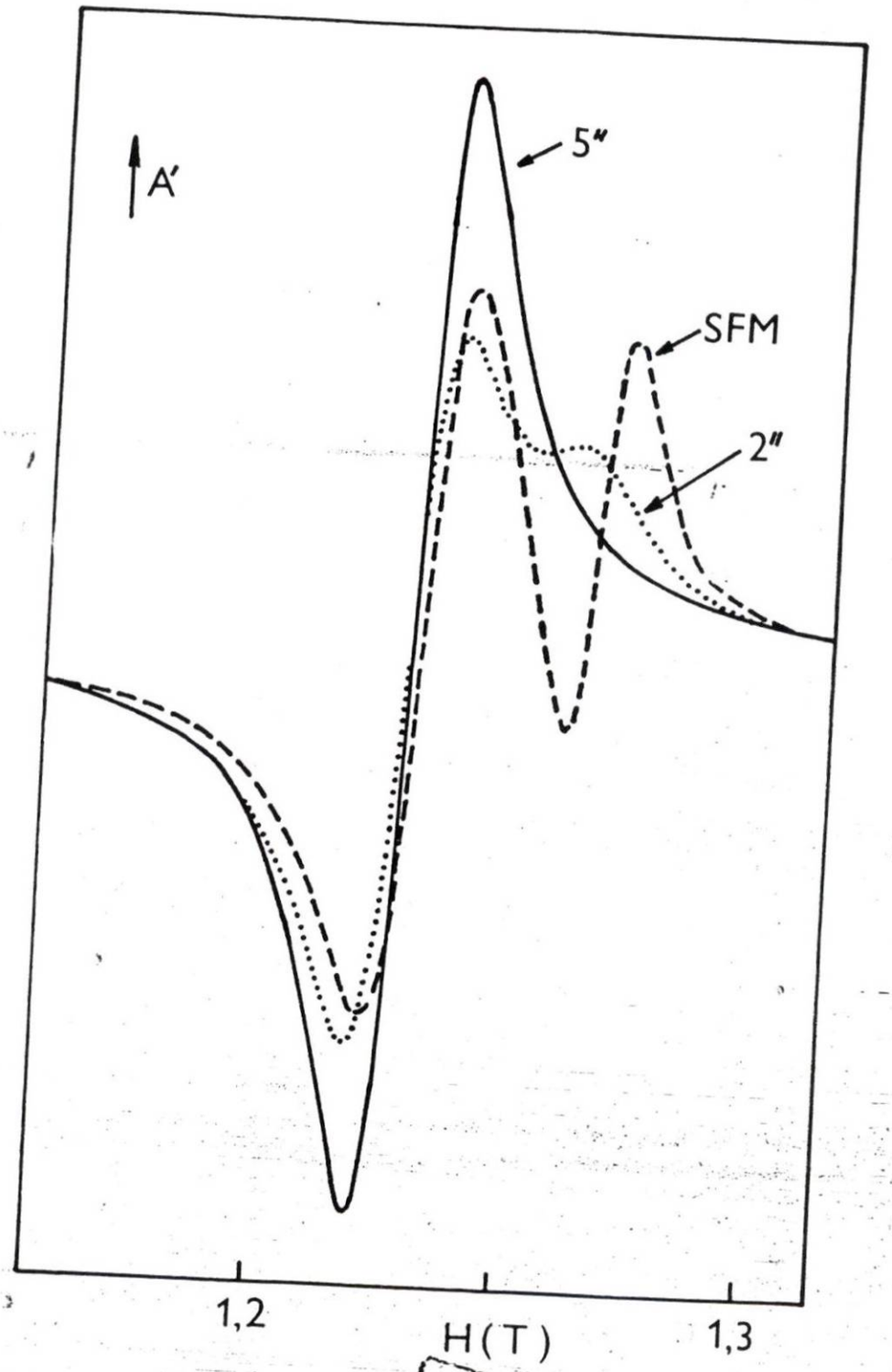

A'
f =
9.0544 GHz
32.9806 GHz
69.6722 GHz
Θ = 0°
0.1 T
H



ÚŘAD
OBJEVY



ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY
PŘÍL.


A'
5"
SFM
2"
1,2
H(T)
1,3