

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jarmila Šimšová

Magnetické kysličníkové vrstvy a jejich aplikace jako magnetooptické paměti

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 15 (1970), No. 6, 254--263

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138918>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1970

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

MAGNETICKÉ KYSLIČNÍKOVÉ VRSTVY A JEJICH APLIKACE JAKO MAGNETOOPTICKÉ PAMĚTI

JARMILA ŠIMŠOVÁ, Praha

1. ÚVOD

Hlavním cílem této práce je seznámit čtenáře s novým typem paměťových prvků pro počítačací stroje, tzv. *termomagnetooptickými**) *paměťovými prvky* (TMOP) („*thermomagneto-optical (TMO) memory*“ též „*beam addressable memory*“) [1]. Tyto paměti mají některé výhody ve srovnání s dosud užívanými paměťovými prvky. Hlavní požadavky kladené na paměťové prvky jsou:

- co největší hustota bitů**) (tzn. co nejmenší rozměr bitu),
- co nejkratší vybavovací doba,
- co nejnižší cena.

Nebudeme se zde blíže zabývat současným stavem vývoje dosud používaných paměťových prvků jako feritových jader, planárních (rovinných) a cylindrických (válcových) kovových magnetických vrstev aj. Pouze bychom uvedli, že planární magnetické kovové vrstvy a feritová jádra mají sice dosti krátkou vybavovací dobu (10^{-6} až 10^{-7} sec), ale jejich cena je dosti vysoká (jeden kilobit***) stojí v případě planárních vrstev \$ 1000 i více a v případě feritových jader \$ 300 [1]. Naproti tomu cylindrické vrstvy jsou sice levnější, mají však zase delší vybavovací dobu. Lze tedy očekávat, že dosud užívané paměťové prvky se budou uplatňovat pouze do té doby, než budou nahrazeny paměťovými prvky s výhodnějšími parametry. Jedním z nových typů paměťových prvků, které by přicházely v úvahu, jsou právě termomagnetooptické paměťové prvky.

TMOP jsou založeny na magnetooptických vlastnostech některých materiálů. Jde o látky, které mohou stáčet rovinu procházejícího polarizovaného světla v závislosti na tom, v jakém směru je látka zmagnetována — Faradayův jev [25]. Lze tedy podle otočení roviny polarizovaného světla zjistit stav bitu — tzn. přečíst zapsanou informaci (viz kap. 3.).

První zpráva o termomagnetičtém záznamu pochází sice už z r. 1958 — Mayer

*) Pod pojmem „*termomagnetooptický*“ rozumíme záznam magnetické informace pomocí tepelné energie a její čtení pomocí procházejícího světelného paprsku, jehož intenzita bude závislá na zapsané informaci (tj. na magnetickém stavu bitu).

**) Bit je nejmenší objem materiálu paměťového prvku, ve kterém je možno uložit jednu základní informaci.

***) 1 kilobit = 10^3 bitů.

[2], ale praktické použití termomagnetického paměťového prvku bylo umožněno až po objevení laseru. Světlo vysílané plynovým laserem má totiž dostatečnou energii, aby bylo možno tepelně zapsat magnetickou informaci (podrobněji viz kap. 2.). Další výhodou laseru je dosažení dosti dobré fokusace světelného paprsku. Vzhledem k tomu, že rozměr bitu je v TMOP určen především možnostmi fokusace dopadajícího laserového paprsku, je možné dosáhnout hustoty bitů až 10^5 krát větší než u dosud používaných paměťových prvků [3].

2. PROVEDENÍ TERMOMAGNETICKÉHO ZÁZNAMU

2.1 Přehled dosud užívaných typů termomagnetického záznamu na různých materiálech

Dosud užívané způsoby termomagnetického záznamu lze podle jejich provedení rozdělit na

- a) záznam na základě kompenzační teploty T_K^*),
- b) záznam na základě Curieovy teploty T_c^{**}),
- c) záznam termostrikční.

Podstata prvních dvou typů záznamu spočívá v tom, že materiál ve formě tenké vrstvy je lokálně zahřát pomocí laserového paprsku, a to v případě a) těsně nad kompenzační teplotu T_K materiálu a v případě b) na Curieovu teplotu T_c materiálu. V obou případech se využívá jevu, že pole potřebné k překlopení magnetizace klesá s rostoucí teplotou bitu a hodnota vnějšího magnetického pole, v němž se celý vzorek nachází, je vybrána tak, aby překloupila magnetizaci pouze lokálně v místě ohřátém laserovým paprskem.

Z materiálového hlediska se pro záznam na základě kompenzační teploty ukázal velmi vhodný granát gadolinia. Hlavní výhodou tohoto záznamu spočívá v tom, že se provádí při teplotě blízké pokojové teplotě a není tedy nutné speciální kryogenní zařízení. V dalším se proto o něm zmíníme podrobněji (*viz kap. 2.2, 4*).

Záznam na základě Curieovy teploty byl dosud prováděn na materiálech MnBi [2, 4, 5] a EuO [6, 7]. Uvažuje se také o použití EuSe. Hlavní výhodou materiálů EuO a EuSe je velká konstanta Faradayovy rotace F (*viz tab. 1*). Vzhledem k tomu, že tyto materiály mají nízkou Curieovu teplotu, je pro termomagnetický záznam zapotřebí menší energie (nižší specifické teplo). Vznikají však potíže s udržováním materiálu na nízké teplotě (v případě EuO byly práce prováděny při 20 °K), které

*) Kompenzační teplota T_K materiálu je definována jako teplota, při níž nenulové spontánní magnetizace obou podmřížek jsou stejně velké, ale opačného směru, takže výsledná magnetizace je rovna nule.

***) Curieova teplota T_c je teplota přechodu z feromagnetického (resp. ferimagnetického) stavu do paramagnetického stavu.

mohou být částečně zmenšeny vhodným dopováním EuO prvky vzácných zemin jako je La, Gd, Ho, Y [8]. Tímto způsobem je možné zvýšit Curieovu teplotu T_c až na 135 °K a posunout tak pracovní teplotu směrem k vyšším teplotám. Hlavní výhoda tohoto typu záznamu se zatím ukazuje v tom, že energie potřebná k ohřátí bitu je malá – zvláště v případě EuO. To umožňuje použít soustavu polovodičových laserů (např. GaAs), jejichž výkon je sice menší než v případě plynového laseru, ale jejich cena je podstatně nižší. Použití soustavy polovodičových laserů přináší ještě další výhodu, která spočívá v tom, že odpadají problémy s odchylováním světelného paprsku [1, 7].

Posledním typem termomagnetického záznamu je záznam termostrikční. Byl použit na permalloyových vrstvách s jednoosou anizotropií, které měly koeficient magnetostricke řádu 10^{-6} a větší. Na rozdíl od předcházejících dvou druhů záznamu se zde ohřátí použije k vytvoření lokálního pnutí, které v důsledku velké magnetostricke materiálu umožní překlopení magnetizace bitu do směru přiloženého vnějšího magnetického pole [9].

2.2 Záznam na základě kompenzační teploty

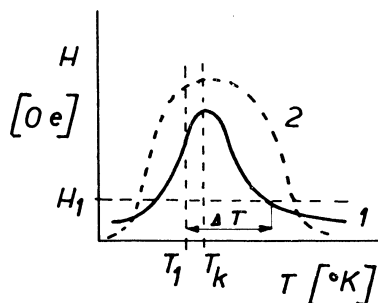
Po stručném přehledu typů termomagnetického záznamu na různých materiálech v předcházející kapitole, budeme se v dalším zabývat pouze záznamem na základě kompenzační teploty, který je použitelný pro kysličníkové materiály – především pro granáty vzácných zemin, event. i pro některé směsné ferity.

V roce 1965 CHANG a j. [10] navrhli, že feromagnetika, která mají kompenzační bod, mohou být použita jako termomagnetooptické paměti. V okolí kompenzační teploty T_K klesá magnetizace k nule a koercitivní síla H_c má v této oblasti anomální průběh s teplotou, jak je znázorněno na *obr. 1, křivka 1*.

Termomagnetický záznam na základě kompenzační teploty právě využívá tohoto anomálního průběhu. Předpokládejme, že máme materiál ve formě tenké vrstvy nebo destičky z granátu gadolinia, tj. sloučeniny $Gd_3Fe_5O_{12}$. Hlavním důvodem pro použití tohoto granátu (často označovaného zkráceně GdIG) je totiž hodnota jeho kompenzační teploty $T_K = 286 \text{ °K} = 12,9 \text{ °C}$. Protože termomagnetický záznam se provádí při teplotě blízké T_K , nevyžaduje, jak jsme již uvedli, použití granátu gadolinia speciálního kryogenního zařízení, jak by tomu bylo v případě granátu některých dalších vzácných zemin, jejichž kompenzační teplota je podstatně nižší (*viz tab. 2*).

Dále budeme předpokládat, že vzorek je homogenně zmagnetován tak, že snadný směr magnetizace je kolmý k rovině vrstvy. Jak vyplývá z práce [11], je výhodné, aby v případě monokrystalických vrstev byl tento směr totožný s krystalografickým směrem [111] (se zřetelem na požadavek co největší hodnoty remanence). Vzhledem k tomu, že magnetizace materiálu má poblíž kompenzační teploty velmi malou hodnotu a anizotropie, vyvolaná např. pnutím, může být dostatečně velká, mohou být výše uvedené požadavky na směr vektoru magnetizace snadno splněny.

Uvažujme nyní, že vzorek je udržován na teplotě T_1 , těsně pod teplotou kompenzační T_K (obr. 1). Vnější pole H_1 , tvořené např. Helmholtzovými cívkami, je použito na celou vrstvu a je kolmé k její rovině. Dále provedeme ohřátí lokální oblasti vrstvy – 1 bitu, pomocí laserového paprsku. Jak je vidět z obr. 1, zvýšení teploty o ΔT (ΔT bývá ≈ 3 °K) má za následek prudký pokles koercitivní síly v daném ohřátém bitu. Hodnota intenzity vnějšího magnetického pole H_1 je zvolena tak, aby došlo k překlopení magnetizace pouze v tomto ohřátém bitu bez narušení magnetického uspořádání ostatních bitů. Jak vyplývá z práce [12], je pro záznam bitu o co nejmenším rozměru výhodnější spíše širší a strmější maximum na křivce $H_c = f(T)$ (viz křivka 2 obr. 1).



Obr. 1. Závislost koercitivní síly na teplotě: 1 – experimentální průběh, 2 – požadovaný teoretický průběh.

Rychlost provedení termomagnetického záznamu je určena dobou potřebnou k ohřátí bitu o ΔT a opětnému vychladnutí na teplotu T_1 . Energie potřebná k ohřátí bitu je $E_t = C_v \cdot V \cdot \Delta T$ (C_v je specifické teplo materiálu, V je objem bitu). Aby energie E_t byla co nejmenší, je zapotřebí, aby ΔT bylo malé, což je u tohoto typu záznamu (tj. záznamu na základě kompenzační teploty) splněno. Dále užitím materiálu ve formě tenké vrstvy je rovněž možno zmenšit objem bitu a tím snížit hodnotu E_t . To má i další výhodu při chladnutí, které proběhne rychleji u tenčího materiálu.

Abychom získali energii E_t , potřebnou k ohřátí daného bitu, je paprsek laseru odkloněn do tohoto místa. Energie dopadajícího laserového paprsku bude v látce částečně absorbována. Tato absorpce bude tím větší, čím větší bude koeficient absorpce látky pro vlnovou délku použitého laseru. Proces absorpce fotonů v látce způsobí požadované lokální zvýšení teploty daného místa. Z teoretických úvah [11] vyplývá, že výkon laseru, potřebný k ohřátí daného bitu o $\Delta T = 3$ °K při tloušťce destičky 100 μm je 10 mWatt. Vzhledem k ztrátám při odchylování paprsku laseru k jednotlivým bitům je však zapotřebí, aby jeho výkon byl větší. V práci [1] dokonce doporučují použít laseru o výkonu až 1 Watt.

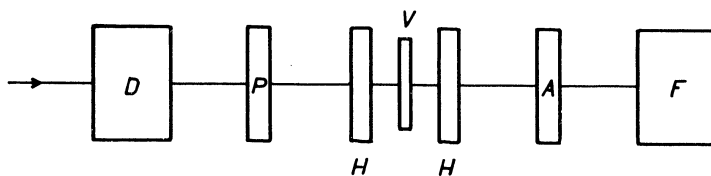
Jak již bylo poznamenáno, je rychlost termomagnetického záznamu informace dále omezena dobou potřebnou k tomu, aby většina nadbytečného tepla byla dostatečně rychle odvedena z ohřátého bitu; (tzn., aby jeho teplota klesla na T_1 , a tedy nemohlo

dojít k překlopení bitu následujícím magnetickým pulsem). Pro zvýšení rychlosti záznamu je možné odvést teplo prostřednictvím podložky, která má velkou tepelnou vodivost a která musí mít vzhledem k procesu čtení (*viz kap. 3*) i dobrou propustnost pro vlnovou délku použitého laseru. V některých pracích se dokonce uvažuje o chlazení podložky, aby zůstala na požadované teplotě T_1 .

Dobu potřebnou k záznamu informace je možno zkrátit použitím přerušovaného světla laseru. Ukazuje se, že pulsy, trvající 30 μs , aplikované na destičku GdIG, znamenaly značné snížení doby záznamu [13].

3. ČTENÍ

Čtení zapsané informace je založeno na využití magnetooptických vlastností materiálu paměti. Provádí se užitím téhož laserového paprsku jako při termomagnetičtém záznamu, ale snižuje se jeho výkon tak, aby nedošlo k narušení nebo zničení informace, kterou čteme. Nejjednodušší schéma magnetooptické paměti je na *obr. 2*.



Obr. 2. Schéma magnetooptické paměti: D — deflektor světla, P — polarizátor, H — Helmholtzovy cívky, V — vzorek, A — analyzátor, F — fotodetektor.

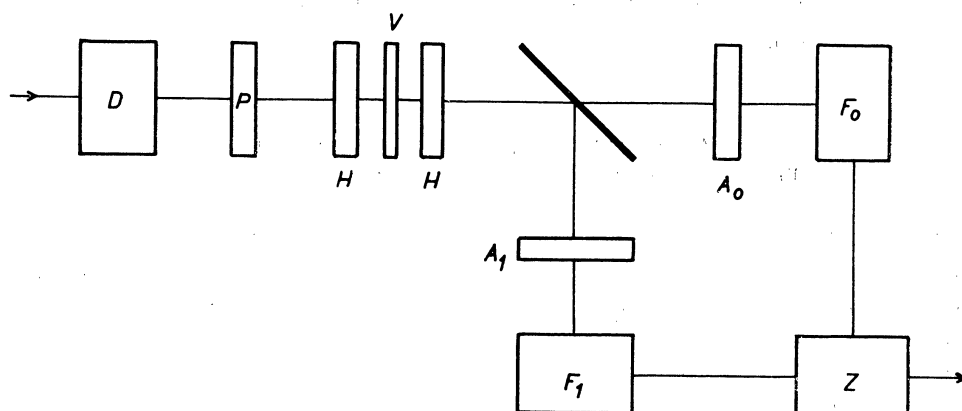
Abychom určili magnetický stav bitu, je polarizované světlo laseru odchýleno pomocí deflektoru světla do místa bitu. Rovina polarizace bude po průchodu světla bitem otočena v určitém směru pro bit ve stavu „0“ a v opačném směru pro bit ve stavu „1“. Velikost stočení je dána konstantou Faradayovy rotace F . Budou tedy tato konstanta spolu s koeficientem absorpce α důležitými parametry pro termomagneto-optické paměťové prvky. Hodnoty těchto parametrů pro dosud používané materiály jsou uvedeny v tabulce 1.

Nejjednodušší schéma TMOP z *obr. 2* není však prakticky použitelné z důvodů, že lokální změny na povrchu vzorku mohou bránit dostatečnému rozlišení stavů bitu. Výhodnější se ukazuje uspořádání na *obr. 3*. Světlo po průchodu vzorkem je rozděleno na dva ekvivalentní paprsky. Každý paprsek prochází analyzátozem a je samostatně detekován fotodetektorem. Signály z obou fotodetektorů jsou přivedeny na vstup diferenčního zesilovače. Analyzátozem jsou nastaveny tak, aby A_0 , resp. A_1 nepropouštěly světlo, je-li bit ve stavu „0“, resp. „1“. Pro bit ve stavu „0“ je tedy signál z detektoru F_0 menší než z detektoru F_1 — proto obdržíme záporný signál z diferenčního zesilovače. Je-li bit ve stavu „1“, je situace opačná a z diferenčního zesilovače dostaneme kladný signál.

Tabulka 1.

Materiál	T [°K]	F [stupeň/cm]	α [cm ⁻¹]	λ [μm]	Literatura
MnBi	$T_c = 633$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^5$	0,63	[4, 17, 18]
EuO	$T_c = 69$	$2,0 \cdot 10^5$	100	1,20	[8, 19]
EuSe	$T_c = 4,2$	$2,6 \cdot 10^5$	173	0,66	[20, 21]
GdIG	$T_K = 286$	$4 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	0,52	[12, 22]
Fe	—	$2 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^5$	0,50	[23]

T_c = Curieova teplota, T_K = kompenzační teplota. λ = vlnová délka použitého záření.



Obr. 3. Schéma magnetooptické paměti: D — deflektor světla, P — polarizátor, H — Helmholtzovy cívky, V — vzorek, A_0 , A_1 — analyzátoři, F_0 , F_1 — fotodetektory, Z — diferenční zesilovač.

Důležitými požadavky kladenými na termomagnetooptické paměti z hlediska operace čtení jsou především:

- co největší poměr účinného signálu k signálu šumu (tzn., aby bylo možno provádět operaci čtení bez chyb),
- co nejrychlejší provedení operace čtení.

Abychom mohli v dalším uvést podmínky pro maximální poměr signálu k šumu, zmíníme se nejprve o některých zdrojích šumu. V případě TMOP přicházejí v úvahu následující zdroje šumu:

- vlastní šum fotodetektoru,
- změny intenzity světla způsobené změnami zdroje světla a opticky nedokonalým povrchem vzorku,
- změny intenzity světla způsobené nedostatečnou homogenitou materiálu.

Šum způsobený kolísáním intenzity světla a rozptylem světla na vzorku lze částečně odstranit užitím dvou fotodetektorů (tj. uspořádáním podle obr. 3). Pro oddělení magnetooptického signálu od šumu vyvolaného nedokonalostmi povrchu se rovněž používá modulace dopadajícího světla [3].

Hlavním zdrojem šumu pak zůstává šum fotodetektoru. Jak vyplývá z práce [11], lze pak určit podmínky pro maximální poměr signálu k šumu. Signál registrovaný fotodetektorem je úměrný intenzitě světla dopadajícího na vzorek a závisí dále na tloušťce vzorku D i na hodnotách konstanty Faradayovy rotace F a koeficientu absorpce α . Ukazuje se, že pro dosažení co největšího poměru signálu k šumu je výhodné zvolit tloušťku vrstvy $D = 2/\alpha$ a vybrat laser o vlnové délce, pro niž je poměr F/α maximální.

Pokud jde o druhý požadavek na TMOP, tj. o dosažení co největší rychlosti čtení, ukazuje se, že tato rychlost závisí především na rychlosti odklonění paprsku k danému bitu a na vlastnostech použitého fotodetektoru a nikoliv na vlastnostech materiálu paměti.

4. MAGNETICKÉ KYSLIČNÍKOVÉ MATERIÁLY PRO TERMOMAGNETOOPTICKÉ PAMĚŤOVÉ PRVKY

Provedení termomagnetického záznamu a čtení zapsané informace klade řadu požadavků na materiál paměti. Uvedeme proto dále, jak tyto požadavky splňují některé kysličníkové materiály, tj. především granáty vzácných zemin. Pro názornost shrneme nyní stručně tyto požadavky vyplývající jednak z provedení termomagnetického záznamu na základě kompenzační teploty (*kap.* 2.2), jednak z provedení operace čtení (*kap.* 3). Jde o tyto vlastnosti:

- a) široké a strmé maximum na křivce $H_c = f(T)$ v blízkosti kompenzační teploty
- b) malá hodnota magnetizace, aby bylo možno orientovat magnetisaci kolmo k rovině vrstvy,
- c) co nejmenší hodnoty specifického tepla materiálu, tloušťky materiálu a požadovaného teplotního rozdílu ΔT a co největší hodnota koeficientu absorpce α ,
- d) tloušťka vzorku $D = 2/\alpha$,
- e) vlnová délka použitého laseru by měla být zvolena tak, aby pro ni byl poměr F/α maximální,
- f) opticky dokonalý povrch vzorku,
- g) homogenita a dostatečná hustota materiálu.

Sledováním teplotního průběhu koercitivní síly H_c v okolí kompenzační teploty na polykrystalech GdIG a monokrystalech granátu Gd, Tb, Dy, Ho a Er se zabýval Hanton [14]. Z této práce vyplývá, že výška maxima na křivce $H_c = f(T)$ je nezávislá na druhu vzácné zeminy a s výjimkou TbYG téměř nezávisí na krystalografické orientaci monokrystalů. Teplotní rozdíl mezi body odpovídajícími poloviční hodnotě maxima byl menší než 3 °K. Jde tedy o dostatečně strmé maximum. Jak je vidět

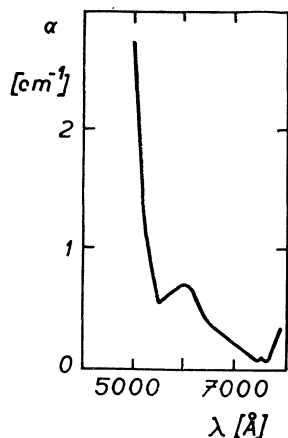
z tabulky 2, má GdIG nejvyšší hodnotu kompenzační teploty $T_K = 286 \text{ }^\circ\text{K}$, která může být vhodnou substitucí (např. Al) zvýšena až na $298 \text{ }^\circ\text{K}$. To byl hlavní důvod, proč je dosud tento granát používán výhradně pro magnetooptické paměti a v dalším se proto omezíme pouze na tento materiál.

Tabulka 2.

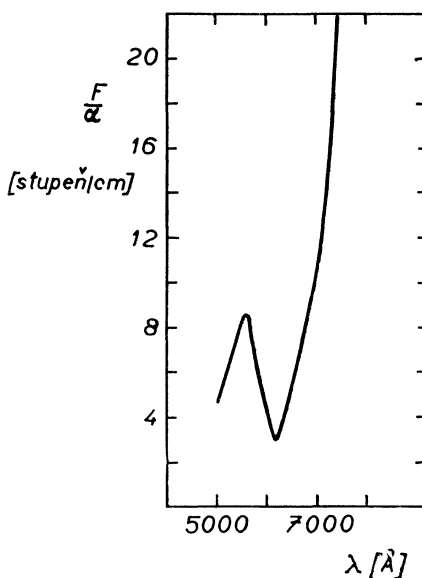
Materiál	T_K [°K]	Lit.	Materiál	T_K [°K]	Lit.
Gd ₃ Fe ₅ O ₁₂ *)	283,5	[14]	Ho ₃ Fe ₅ O ₁₂	135	[14]
Gd ₃ Fe ₅ O ₁₂	282,3	[14]	Er ₃ Fe ₅ O ₁₂	78,8	[14]
	286	[12]			
Tb ₃ Fe ₅ O ₁₂	246,2	[14]	Li _{0,5} Cr _{1,5} FeO ₄ *)	262	[24]
Dy ₃ Fe ₅ O ₁₂	220	[14]	Li _{0,5} Cr _{1,3} Fe _{1,2} O ₄ *)	300	[24]

*) Jde o polykrystalické vzorky.

Požadavek, aby vektor magnetizace měl snadný směr kolmý k rovině vrstvy je možno snadno splnit (jak již bylo uvedeno v *kap. 2.2*), neboť magnetizace má poblíž T_K velmi malou hodnotu a snadný směr magnetizace může být ovlivněn např. pnutím (vytvořeným ve vzorku, např. jako důsledek leštění).



Obr. 4. Závislost koeficientu absorpce α na vlnové délce pro monokrystal GdIG (podle [11]).



Obr. 5. Závislost poměru F/α na vlnové délce pro monokrystal GdIG (podle [11]).

Dalším důležitým požadavkem je výběr vhodné tloušťky vzorku a vlnové délky použitého laseru. Jak je vidět z obr. 4, vzrůstá hodnota koeficientu absorpce α GdIG směrem ke kratším vlnovým délkám a tím současně klesá i hodnota optimální tloušťky vrstvy $D = 2/\alpha$. Z hlediska záznamu informace by tedy bylo výhodnější použít laseru o kratší vlnové délce. Pro čtení je však výhodný laser s vlnovou délkou, při níž je poměr F/α co největší. Jak je vidět z experimentálně zjištěné závislosti F/α na vlnové délce (obr. 5), je tedy možno použít laseru o vlnové délce $\lambda \approx 5600 \text{ \AA}$ nebo $\lambda > 7000 \text{ \AA}$. Spojíme-li tyto dvě podmínky s požadavky na tloušťku vzorku, docházíme k závěru, že je výhodné pracovat buď s kryptonovým laserem o $\lambda = 5680 \text{ \AA}$, pro který vychází tloušťka $D = 25 \text{ \mu m}$, event. s argonovým laserem o $\lambda = 5145 \text{ \AA}$ a $D = 10 \text{ \mu m}$ [11].

Závěrem této kapitoly bychom se ještě zmínili o tom, jak je možné z materiálového hlediska realizovat co nejmenší rozměr bitu. Jak jsme již uvedli, je hlavní předností termomagnetooptických pamětí velká hustota bitů. S velikostí bitů je však těsně spojena jeho stabilita. Minimální rozměr stabilního bitu byl určen z rovnosti energie potřebné k překlopení magnetizace v daném bitu a energie získané vytvářením doménových stěn mezi tímto bitem a okolní oblastí s původním směrem magnetizace a jeho hodnota je přibližně 40 \mu m [11].

Experimenty na monokrystalech GdIG ukázaly, že magnetické domény zde nejsou stabilní a mění se se změnou teploty. Pro dosažení stabilních bitů o co nejmenším rozměru bylo by nutno rozdělit monokrystalickou vrstvu rytím na jednotlivé segmenty – bity o rozměru 20 až 40 \mu m [11], [15]. Výhodnější se ukazuje spíše použití polykrystalických materiálů. Vhodnou přípravou polykrystalického GdIG s malými rozměry zrn ($\approx 3 \text{ \mu m}$), a tedy s velkým počtem center, které brání pohybu doménových stěn, je možno dosáhnout stabilních bitů o ještě menších rozměrech [12], [16].

5. ZÁVĚR

Závěrem lze říci, že granáty některých vzácných zemin, především Gd, jsou vhodnými materiály pro nový typ paměťových prvků, tj. pro termomagnetooptické paměťové prvky. Hlavní předností těchto pamětí je značně větší hustota bitů (až 10^5 krát větší než u dosud používaných paměťových prvků) a nekontaktní provedení operace záznamu a čtení užitím paprsku laseru. Jak je vidět z tabulky 2, mají i některé směsné ferity kompenzační teplotu poblíž pokojové teploty. Vzhledem k tomu, že hodnoty konstanty Faradaovy rotace F a koeficientu absorpce α jsou velmi málo proměřeny na feritových materiálech, lze pouze předpokládat, že i tyto materiály by mohly být použity jako termomagnetooptické paměťové prvky.

Literatura

- [1] ESCHENFELDER A. H.: J. Appl. Phys. 41, 3, (1970), 1372.
- [2] MAYER L.: J. Appl. Phys. 29, (1958), 1003.
- [3] SMITH D. O.: IEEE Trans. Mag. MAG 3, 3 (1967), 433.
- [4] AAGARD R. L., CHEN D., HONEBRINK R. W.: IEEE Trans. Mag. MAG 4, 3 (1968), 412.
- [5] CHEN D., AAGARD R. L., LIU T. S.: J. Appl. Phys. 41, 3 (1970), 1395.
- [6] FAN G., GREINER J. H.: J. Appl. Phys. 39, 2 (1968), 1216.
- [7] FAN G., GREINER J. H.: J. Appl. Phys. 41, 3 (1970), 1401.
- [8] SCHAFFER M. W., MC GURRE T. R.: J. Appl. Phys. 39 (1968), 588.
- [9] KUMP H. J., CHANG P. T.: IBM Journ. 10 (1966) 255.
- [10] CHANG J. T., DILLON J. F., GIANOLA U. F.: J. Appl. Phys. 36, 3 (1965), 1110.
- [11] GOLDBERG N.: IEEE Trans. Mag. 3, 4, (1967), 605.
- [12] CHOW K. K., LEONARD W. B., COMSTOCK R. L.: IEEE Trans. Mag. MAG 4, 3 (1968), 416.
- [13] THIELE A., MORROW R. H.: IEEE Trans. Mag. MAG 3, 3 (1967), 458.
- [14] HANTON J. P.: IEEE Trans. Mag. MAG 3, 3 (1967), 505.
- [15] MACDONALD R. E., BECK J. W.: J. Appl. Phys. 40, 3 (1969), 1429.
- [16] COEURE P., FORRAT F., GAY J. C.: IEEE Trans. Mag. MAG 5, 3 (1969), 289.
- [17] CHEN D., GONDO Y.: J. Appl. Phys. 35 (1964), 1024.
- [18] CHEN D., GONDO Y., BLUE M. D.: J. Appl. Phys. 36 (1965), 1261.
- [19] SUITS J. C., ARGYLE B. E., FREISER M. J.: J. Appl. Phys. 37, (1966), 1391.
- [20] SUITS J. C., ARGYLE B. E.: J. Appl. Phys. 36 (1965), 1251.
- [21] SUITS J. C., ARGYLE B. E.: Phys. Rev. Lett. 14 (1965), 687.
- [22] DILLON J. F.: J. Phys. Rad. 20 (1959), 374.
- [23] BREUER W., JAUMANN J.: Z. Phys. 173 (1963), 117.
- [24] *Handbook of Microwave Ferrite Materials* ed. W. H. von Aulock, N. Y. (1965).
- [25] FRIŠ S. E., TIMOREVA A. V.: *Kurs fyziky III.*, Praha (1954), 149.

A. N. WHITEHEAD:

Einsteinovo dílo lze rozložit na tři činitele — princip, postup a výklad. Objev principu a postup zahájí ve vědě epochu. Odvažují se však soudit, že výklad je mylný, i když byl klíčem, jímž se Einstein řídil při přechodu od principu k postupu. Není to v dějinách vědy žádnou novinkou, že faktory myšlení, jež génia dovedly k cíli, byly později opuštěny.

Dějiny algebry jako vědy jsou historií rozvoje techniky znázorňování konečných vzorů. Algebra je jednou kapitolou v rozsáhlejší technice, již je jazyk. Ale všeobecně vzato, jazyk označuje své významy pomocí nahodilých asociací, jak vznikají v lidských dějinách. Je pravda, že jazyk se snaží vtělovat některé aspekty významů přímo do své struktury. Z hloubky znějící slovo ztělesňuje hlubokou velebnost žalu. Slovesné umění, vokální nebo

K ilustraci se ihned nabízejí jména Kepler a Maupertuis.

Co nazývám Einsteinovým principem, je souvislost mezi časem a prostorem, jež vyplývá z jeho způsobu chápání obecného faktu relativity. Tato souvislost je pro vědecké myšlení něčím úplně novým a v jistém smyslu velmi paradoxním.

psané, vskutku uzpůsobuje jazyk tak, aby ztělesňoval, co označuje...

Algebra vzájemný vztah činitelů v normální řeči obrací. Je svou podstatou jazyk psaný a ve svých psaných strukturách se snaží exemplifikovat vzory, jež chce sdělit. V tomto úsilí nemusí mít vždy plný úspěch. Ale převrací normální zvyklosti řeči. Při použití algebry vzorec značek na papíře je zvláštním případem vzoru, jenž má být převeden do myšlení.