

TANKOPLASTNI POMNILNIKI V OBDELAVI PODATKOV

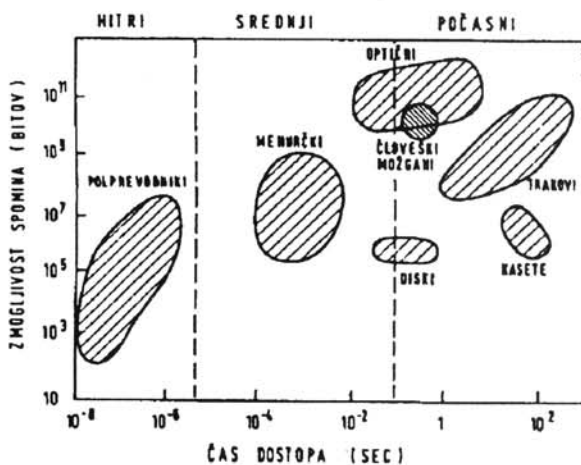
Anton Žabkar, Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 61111 Ljubljana

UVOD

Informacijska doba nezadržno prežema tudi našo družbo. Izmenjava podatkov postaja ključen dejavnik v gospodarstvu. Vse pomembnejši - v primerjavi s klasičnim tiskom - so mediji, ki jih je mogoče čitati strojno. Sodobna informacija je zato zapisana digitalno, osnovna enota je 'bit'. Pri tem ni važno, ali imamo v mislih besedo, sliko ali npr. glasbo. Celovita obravnava pisanja, hranjenja, čitanja in brisanja podatkov seveda presega okvir tega prispevka. Omejil se bom na sodobne tankoplastne spominske elemente in na nekaj besed o magnetnem, optičnem in magneoptičnem zapisu.

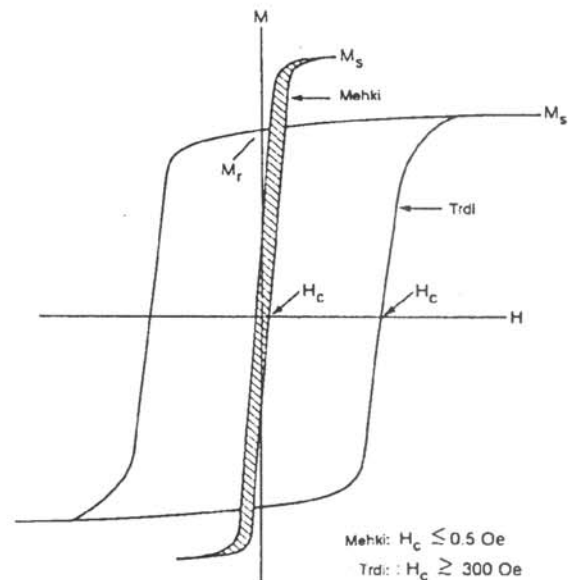
MAGNETNI SPOMINI

Tradicionalni magnetni spominski medij so trakovi in trdi diski z magnetno plastjo iz oksidnih delcev (npr. $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_2$ ali CrO_2), ki so enakomerno razporejeni v polimernem vezivu. Značilna debelina take plasti je okrog $5\ \mu\text{m}$, gostota zapisa pa $4000\ \text{bit/cm}$. Novejše tankoplastne verzije zmorejo približno desetkrat gostejši zapis. V široki uporabi so audio in video kasete, gibki in trdi diski za računalniške spomine, manj pa so znani računalniški pomnilniki z magnetnimi mehurčki. Na sliki 1 so shematično primerjani nekateri tipi pomnilnikov glede na zmogljivost spomina in čas dostopa. Omeniti je treba še magnetne zapisovalne glave s tankoplastnimi poli, ki omogočajo velike gostote zapisa. Nikljeve in kobaltove zlitine so najpogostejši material, kot podlaga pa plastika in aluminij. Mehurčni spomini imajo za podlago garnetne monokristale, celotna tehnologija izdelave pa je zahtevnejša od VLSI tehnologije v mikroelektroniki.



Slika 1. Primerjava spominov glede na zmogljivost in čas dostopa

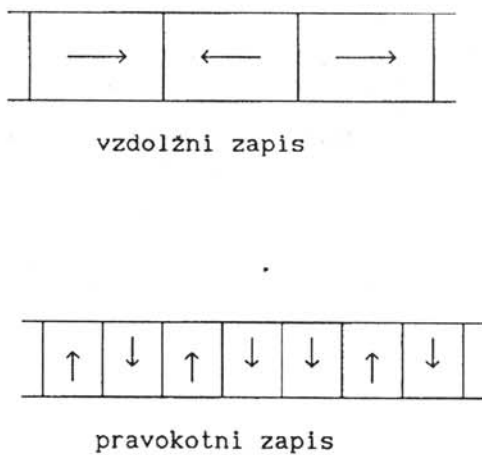
Feromagnetizem je osnova magnetnega zapisa. Če je prosta energija feromagnetne snovi odvisna od smeri magnetizacije, govorimo o magnetni anizotropiji. Smeri magnetizacije, ki ustrezajo minimumom energije, označimo kot 'lahke' smeri. Pomembni količini sta jakost koercitivnega polja (to je magnetno polje, s katerim zmanjšamo magnetizacijo na nič) in nasičena magnetizacija. Gostota zapisa je omejena predvsem s koercitivnostjo H_c , izhodni signal pri čitanju pa je sorazmeren remanenci M_r , to je magnetizaciji brez zunanega polja. Magne delimo na 'mehke' ($H_c =$ nekaj A/cm ali manj) in 'trde' ($H_c =$ tudi več tisoč A/cm). Prvi so pomembni za hitre spomine, medtem ko so drugi uporabni za trajno shranjevanje podatkov. Na sliki 2 sta shematično prikazani histerezni krivulji za 'mehke' in 'trde' magnetne materiale.



Slika 2. Temelj magnetnega zapisa je histerezna krivulja

Prispevek k anizotropiji, ki je značilen za tanke plasti zaradi njihove majhne debeline, je takoimenovana anizotropija oblike. Zaradi feromagnetne sklopitve so elektronski spini na obeh površinah plasti paralelni. Posledica tega so dvodimenzionalne magnetne domene, področja, v katerih je magnetizacija nasičena v določeni smeri. Vzrok za nastanek domen je prehajanje v stanje (konfiguracijo) z nižjo energijo. Ker magnetizacija teži k orientaciji, vzporedni s smerjo magnetnega polja, lahko konfiguracijo domen z zunanjim poljem H spreminjamo. Meje magnetnih domen niso povezane s strukturnimi mejami v materialu, ampak so le meje, kjer se spremeni smer magnetizacije. Z ozirom na smer magnetizacije poznamo dve vrsti zapisa, vzdolžnega in pravokotnega. Shematično sta prikazana na sliki 3.

Sprva je bil v rabi le vzdolžni zapis; za trakove je še vedno, na diskih pa se vse bolj uveljavlja pravokotni zapis. Pri vzdolžnem zapisu namreč magnetni poli domen omejujejo gostoto zapisa. Stabilen vzorec domen dobimo le, če so poli primerno narazen. Praktično lahko v 100 nm debeli plasti dosežemo dolžino bita 1 μm , oziroma gostoto 10000 bitov/cm. Majhna debelina seveda pomeni majhno remanentno magnetizacijo in šibek signal pri čitanju. Pri pravokotnem zapisu domene same težijo k zgoščevanju, kar praktično pomeni gostoto zapisa okrog 40000 bitov/cm v 500 nm debeli plasti. Pravokoten zapis se je uveljavil z razvojem plasti iz zlitine CoCr (okrog 18% Cr), ki vsebujejo zrna s heksagonalno kristalografsko osjo, pravokotno na plast. V takšnih plasteh lahko ustvarimo močno anizotropijo H_k v pravokotni smeri, ki preseže anizotropijo oblike (ta je sorazmerna M_s^2).

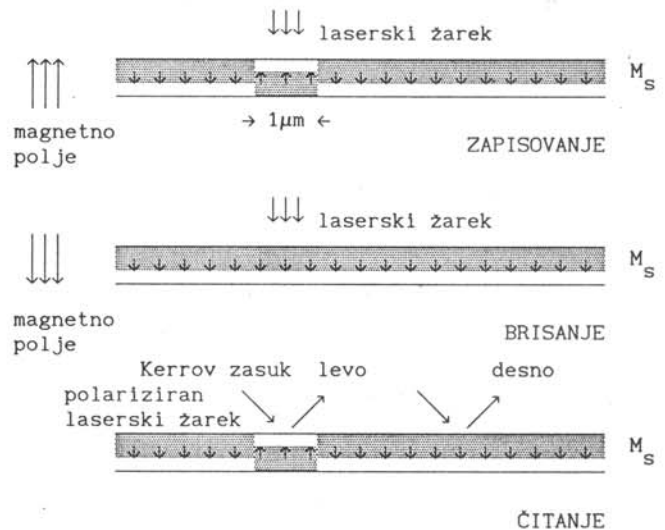


Slika 3. Vzdolžni in pravokotni magnetni zapis (puščice kažejo smer magnetizacije v domenah)

Nasičena magnetizacija je določena s sestavo zlitine (največ so v rabi CoNi z ali brez primesi, NiFe, CoCr z ali brez primesi), na druge lastnosti lahko vplivamo s parametri nanašanja (npr. debelina plasti, vpadni kot, delni tlak kisika, magnetno polje, temperatura podlage). Poleg zahtevanih magnetnih lastnosti potrebujemo tudi odlično odpornost proti mehanski obrabi. Posebno trdi diski se zelo hitro vrtijo ob magnetnih glavah. Zato je magnetna plast prekrita s približno 50 nm ogljikove plasti, ki je zaradi svoje diamantu podobne strukture zelo trda. Drugače je ta problem rešen pri mehurčastih magnetnih pomnilnikih, kjer ni mehanskega premikanja medija, ampak si pomagamo s posebno strukturo oz. vezjem, v katerem imajo pomembno mesto visoko permeabilne plasti (ponavadi NiFe) s koercitivnostjo pod 0,5 A/cm. V napravah z magnetnimi mehurčki so te plasti debele okrog 500 nm, za zapisovalne glave pa potrebujemo nekaj μm debele plasti. Posebno pri pravokotnem zapisu pridejo tankoplastne glave do izraza, saj le z njimi lahko oblikujemo dovolj drobne spominske vzorce.

MAGNETOOPTIČNI SPOMINI

Glavni prednosti magnetooptičnih spominov sta velika gostota zapisa (okrog 10^7 bitov/cm² - tu so pomnilniki na diskih) in odpornost proti škodljivemu zunanjemu magnetnemu polju. Zasnovani so na Kerrovem magnetooptičnem pojavu in nekontaktnem pisanju oz. čitanju z laserskim žarkom. Podobno, kot pri navadnih magnetnih pomnilnikih, je zaporedje bitov zapisano z orientacijo magnetizacije v plasti. Opraviti imamo z amorfnimi plastmi z enoosno anizotropijo pravokotno na plast. Pri sobni temperaturi je koercitivnost dovolj velika, da magnetizacija obdrži smer celo v zmernem nasprotnem polju. Povišana temperatura zmanjša koercitivnost in zunanje polje magnetizaciji obrne smer. S fokusiranim laserskim žarkom lahko povzročimo lokalne termične efekte v submikronskem merilu in tako zapišemo digitalno informacijo. Pri čitanju uporabljamo šibkejši linearno polariziran žarek, da ne 'pokvarimo' plasti. Odvisno od smeri magnetizacije, je polarizacija v odbitem žarku zasukana v levo ali v desno. Zasuk uporabimo za prepoznavanje bitov. Shematično so osnovne operacije prikazane na sliki 4.



Slika 4. Operacije z magnetooptičnim spominom

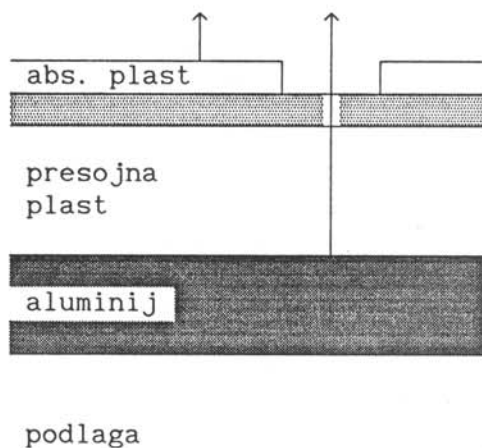
Magnetooptični pomnilniki vsebujejo zlitine redkih zemelj in prehodnih kovin. Magnetizacija je tu določena z antiferomagnetno sklopitvijo med podmrežama magnetizacij. Pri nižji temperaturi prevladuje magnetizacija redke zemlje, pri višji pa je močnejša magnetizacija prehodne kovine. Lastnosti plasti so odvisne predvsem od sestave (večinski delež - okrog 80% - imata Co ali Fe, pogosti sestavi sta CoGdTb in FeGdTb, pa tudi FeTbCo), le-ta pa v veliki meri od okoliščin med nanašanjem. Pomembna sta npr. tlak argona in napetost 'bias' na podlagi med RF napršenjem, s katerima lahko ob enaki sestavi izvira (tarče) spremenimo delež Co v plasti celo za 10 %. Z vsebnostjo argona sta povezana tako anizotropija v plasteh kot Kerrov pojav (sukanje polarizacije). Magnetooptični spomin ima poleg aktivne plasti ponavadi še dve dielektrični (npr. AlN) zaščitni plasti in odbojno (Al) plast. Podlaga je aluminij ali plastika.

Podobno kot v mnogih primerih, uporaba tudi pri magneoptičnih plasteh prehitveva temeljno razumevanje pojavov, zato si lahko obetamo še izpopolnjene sisteme.

OPTIČNI SPOMINI

Optični pomnilniki doživljajo izjemen razmah predvsem v audio in video tehniki zaradi odlične reprodukcije zvoka in slike. Tudi tu je seveda važna gostota zapisa informacije, ki pa je omejena predvsem z optičnim sistemom za čitanje oz. možnostjo fokusiranja laserskega žarka. Bite s tipično velikostjo $1 \mu\text{m}$ lahko še ločimo v zaporedju digitalnih signalov, kar pomeni gostoto zapisa okrog 10^7 bitov/cm². Čitanje (in pisanje) je nekontaktno, kar povečuje trajnost, oklepaj pa je zapisan, ker je pri navadnih 'CD' ploščah možna le prva operacija. Govorimo o pomnilnikih tipa ROM (read only memory), poznamo pa tudi takšne, v katere je mogoče pisati enkrat (WORM - write once read many) ali večkrat.

CD plošče (compact disk) so najbolj enostaven primer optičnih pomnilnikov. Na polikarbonatno podlago je naparjena ali napršena 50 nm debela, za svetlobo odbojna plast aluminija. V to plast vtisnejo strukturo jamic (tipičen premer je okrog $0,5 \mu\text{m}$), podobno kot pri gramofonskih ploščah. Med čitanjem takšnega zapisa se laserski žarek siplje na robovih jamic. Intenziteta odbite svetlobe se zato spreminja. Spremembe lahko merimo in tako reproduciramo digitalno informacijo. Audio, video in računalniške CD plošče se med seboj razlikujejo po kvaliteti, različne barve pa so v pomoč uporabnikom.



Slika 5. Shematičen prerez WORM plasti

Uporabnost ROM pomnilnikov je omejena, ker uporabniku ne dajejo možnosti, da bi sam zapisoval podatke. Korak naprej so zato pomnilniki tipa WORM. Shematično je prerez večplastne strukture v takem pomnilniku prikazan na sliki 5. Aluminijasta odbojna plast je prekrita s presojno plastjo (npr. SiO₂) in kovinsko, ki močno absorbira svetlobo. Pri pisanju z (močnejšim) laserskim žarkom vžgemo majhne luk-

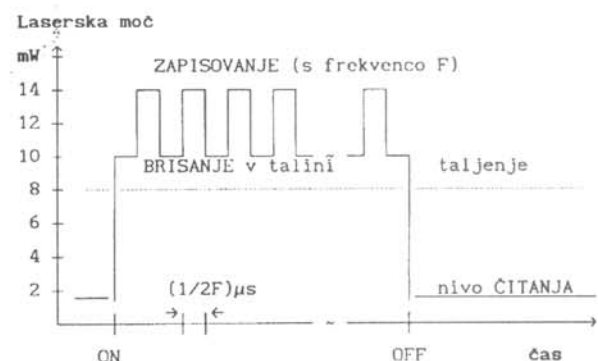
njice v zgornjo kovinsko plast. Novejša tehnologija temelji na fazni spremembi, do katere pride v telurjevem oksidu s podstehiometrično sestavo. Lokalno segrevanje z laserskim žarkom povzroči nastanek Te in TeO₂. Pregreto mesto ima spremenjeno odbojnost. Med čitanjem se šibkejši laserski žarek odbija s spremenljivo intenziteto, ki ustreza zaporedju digitalnih signalov.

Optični pomnilniki za večkratni zapis so še v fazi razvoja. Tu gre za uporabo reverzibilnih faznih sprememb med amorfnostjo in kristalinično fazo. Fazi se razlikujeta



Slika 6. Struktura optičnega pomnilnika za večkratni zapis

po lomnem količniku, kar lahko porabimo pri čitanju. Največ se uporabljajo ternarne spojine, npr. InSbTe,



Slika 7. Zapis s hkratnim brisanjem predhodne informacije

InSeTe, GeSbTe, pa tudi mešanice polimerov in tekočih kristalov. Slednje ne sodijo med tanke plasti, zato le nekaj besed o poglavitnih problemih pri prvi skupini. Predvsem je težava brisanje in zaradi nepopolnega brisanja omejeno število ponovnih zapisov. Problem je tudi trajnost zapisa. Tipičen čas za brisanje oziroma rekristalizacijo je 50 ns, življenjska doba amorfnega stanja pa 10 let pri temperaturi 60°C. Prvotne rešitve so vključevale posebne laserske žarke za pisanje,

brisanje in čitanje, ki so se razlikovali po intenziteti in dolžini pulza. Pri sodobnejših verzijah lahko prvi dve operaciji opravijo v enem postopku s posebej modularnim žarkom, ki obenem briše in piše novi zapis. Shematično je modulacija prikazana na sliki 7. Moč laserskega žarka za pisanje je 15 mW, za čitanje pa manj kot 2 mW. Hitrosti pisanja, ki jih dosežejo, so do 10 m/s.

SKLEP

Z uporabo tankih plasti so moderni pomnilniki vseh vrst veliko pridobili. Digitalen zapis informacije omogoča kvalitetno reprodukcijo, veliko gostoto zapisa in kratek čas dostopa. Nekontaktno pisanje in čitanje zagotavljata tudi večjo trajnost, saj odpadejo poškodbe spominskih elementov zaradi obrabe. Audio in video spominski elementi pa tudi računalniški pomnilniki zmagovito osvajajo tržišče s svojo kvaliteto.



VAKUUMSKA TEHNIKA – IZDELAVA IN SERVISIRANJE
LABORATORIJSKE OPREME
KAMBIČ ANTON
68333 SEMIČ, tel. in fax (068) 56-200



Tip: VS 50
Prostornina: 50 l
Notranje mere (šxvxd): 405x340x370 mm
Zunanje mere (šxvxd): 730x510x525 mm
Velikost polic: 320x390 mm
Priključna napetost: 220 V
Frekvenca: 50 Hz
Priključna moč: 1,52 kW
Merjenje in regulacija temperature:
Pt 100, elektronska
Temperaturno območje: do 200°C
Število polic: 2
Prikaz temperature: digitalni
Število ogrevanih polic: 2
Regulacija temperature polic:
elektronska, Pt 100
Prikaz temperature polic: digitalni
Prikaz temperature proizvoda: digitalni
Točnost temperature: 2 %
Prikaz vakuuma: mehanski vakuummeter
Hitrost črpanja in končni tlak:
3 m³/h, 10⁻² mbar

VAKUUMSKI SUŠILNIKI

Vakuumski sušilniki so najprimernejši za sušenje temperaturno občutljivih materialov, ker vakuum omogoča učinkovito sušenje pri nizkih temperaturah. Zaradi velike hitrosti izparevanja vlage je čas sušenja krajši kot v navadnih sušilnikih. Razen tega pa je tudi preprečena vsakršna oksidacija sušenega materiala.

Standardna izvedba: Ohišje vakuumskega sušilnika je izdelano iz obarvane pocinkane pločevine, notranji del pa iz nerjaveče. Grelniki posebne izvedbe, z zelo veliko ogrevalno površino, so trdno pritrjeni na zunanji strani notranjega nerjavečega dela sušilnika. Steklana vrata so tesnjena s silikonskim tesnilom in imajo možnost nastavitve. Police v sušilniku so izdelane iz toplotno dobro prevodnega materiala. Izvedba s posebej ogrevanimi policami ima digitalni prikaz temperature polic in temperature proizvoda. Vakuumska črpalka je vgrajena v ohišje sušilnika. Regulator temperature je elektronski.

Posebne izvedbe: Na željo kupca izdelamo tudi druge velikosti laboratorijskih vakuumskih sušilnikov, ogrevanih z različnimi mediji in opremljenimi z različnimi vrstami vakuumskih črpalk.