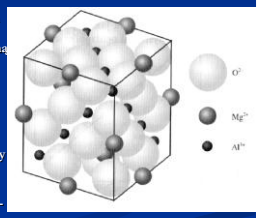
Magnetyki II

Ferryty (c.d.)

- Są to materiały ceramiczne wykazujące własności ferrimagnetyczne, pod względem własności elektrycznych są półprzewodnikami ($\rho = 10 - 10^6$ Ωm).
- Rozróżnia się:
- ferryty magnetyczne miękkie – o strukturze głównie spinelowej (rdzenie cewek indukcyjnych głowic magnetycznych) – $MeFe_2O_4$: Jony O^{2-} tworzą sieć regularną ściennie centrowaną , kationy metali Me^{2+} (8 szt.) i Me^{3+} (16 szt. w pojedynczej komórce spinelu) zajmują miejsca w położeniach międzywęzłowych mniejszych- tetraedrycznych (A, gdzie sąsiadują z 4 atomami tlenu) oraz większych – oktaedrycznych (B, sąsiadując z 6 atomami tlenu). Łącznie zajętych jest 8 luk teraedrycznych i 16 oktaedrycznych. Jony w położeniach A mają antyrównoległe momenty magnetyczne do jonów w położeniach B
- Jony Mg^{2+} zajmują położenia tetraedryczne, Al^{3+} - oktaedryczne – jest układ spinelu normalnego. W układzie spinelu odwróconego położenia tetraedryczne są obsadzone przez trójwartościowe jony metalu, zaś oktaedryczne – w połowie przez trój- a w połowie przez dwuwartościowe jony metalu



- 19.11.2015r

Ferryty magnetyczne twarde

Struktura heksagonalna.

Własności - $B_{max} = 0.3 - 0.4$ T dla metalicznych 0.8 – 2.5 T.

$\rho = 10^2$ do 10^9 Ωm

Zastosowanie – w głośnikach.

Ferryty magnetyczne miękkie.

Zastosowanie – w telefonii wielokanałowej, w radiolokacji, elektroakustyce w szybkich elektronicznych maszynach cyfrowych

Max temp. Curie dla ferromagnetyków twardych metalicznych – 1121°C (Co), 670°C – ferryt Li,

- przenikalność początkowa max – 163 000 (Ni- Fe- Mo), 4000 – ferryt Mn- Zn.

Ferryty o prostokątnej pętli histerezy.

- Ferryty magnezo- managanowe oraz niektóre inne materiały o pętli histerezy prostokątnej znalazły zastosowanie jako elementy w urządzeniach logicznych i pamięciowych elektronowych maszyn cyfrowych.

Zależności temperaturowe

- Podatność magnetyczna

$$\chi = \frac{C}{T + T_N}$$

$$T_N = \frac{2z\,|\,J\,|\,S(S+1)}{3k}$$

- S- liczba kwantowa całkowitego spinu,
- J – całka wymiany
- z – liczba najbliższych sąsiadów danego spinu
- k – stała Boltzmanna

Wytwarzanie ferrytów

- Mieszanie sproszkowanych tlenków Fe_2O_3, MnO, NiO, MgO, CuO, ZnO, SrO, BaO
- Prasowanie
- Wytłaczanie
- Spiekanie w odpowiedniej temperaturze (900-1500°C) w atmosferze ochronnej
- Konieczność zapewnienia równomiernych własności po prasowaniu ogranicza wysokość kształtek i wielkość maksymalnego przekroju, prostopadłego do kierunku prasowania do ok.. 100 cm^2. Większe przekroje – klejenie np.. klejami epoksydowymi.

Rodzaje ferrytów

- O strukturze **spinel**u (MeO) (Fe_2O_3), magnetyt, kation $^{+2}$ = Mn, Co, Ni, Mg, Zn, Fe
- **Magnetoplumbit**u – (MeO) $(Fe_2O_3)_6$ – np. ferryty barowe: $Ba_2Me_2Fe_{12}O_{22}$, $BaMe_2Fe_{16}O_{27}$, $Ba_3Me_2Fe_{24}O_{41}$

  heksaferryty- $PbFe_{12}O_{19}$, lub zamiast Pb- Ba^{2+}, Sr^{2+}, Al^{3+} lub Ga^{3+}
- **Granat**u $(Me_2O_3)_3(Fe_2O_3)_5$ – np.. $R_3Fe_5O_{12}$ (R^{3+} - jon metali ziem rzadkich Sm, Eu, Gd lub Y, YIG- granat żelazowo- itrowy w rezonansie ferromagnetycznym
- **Perowskit**u – $(Me_2O_3)(Fe_2O_3)$

Zastosowanie ferrytów.

- Spinele Mn-Zn – małe H_C, małe Δp_h, niewielka porowatość, mały współczynnik magnetostrykcji, stos. do 1,5 MHz,
- Ni-Zn do 0.1-250MHz, z domieszką Co, zmiejszającą temperaturowy współczynnik zmian przenikalności, μ_i= 5- 5000 przez zmianę Ni/Zn, magnetostrykcyjne linie opóźniające
- Mn-Mg, Li-Ni-Mg, MnCu- przez dobór warunków spiekania można uzyskać dużą indukcję remanencji, małe H_C, prostokątna pętla histerezy ➲pamięci maszyn cyfrowych
- Spinel $NiFe_2O_4$- współczynnik magnetostrykcji porównywalny z Ni ➲ zastosowanie w rezonatorach ferrytowych mikrofalowych
- $MeFe_2O_4$ rdzenie cewek indukcyjnych głowic magnetofonowych
- struktura heksagonalna- ferryty magn. twarde — głośniki
- Granaty itrowe $(Me_3Fe_5O_{12})$- w układach mikrofalowych 1,5- 10GHz, B_S=0.03-0.6T – granat itrowo-aluminiowy, 0.16-0.18T- itrowy i itrowo-gadolinowy
- Perrowskit – w magnetycznych układach pamięci.

Ferrofluidy

są to zawiesiny cząstek substancji ferromagnetycznych (Fe_2O_3, Fe karbonylkowe, Ni, Co, ferryty) w cieczach o właściwościach dia- lub paramagnetycznych (oleje, H_2O, nafta, Hg, stopiony Na).

Rozmiary zdyspergowanych cząstek:

magnetofluidy 10^{-6} – 10^{-4}m

ferrofluidy 10^{-9} – 10^{-6} m

Zjawiska w ferrofluidach

- Sedymentacji – mała stabilność magnetofluidów
- Ruchy cieplne Browna, dla $d<d_{max}$ – stabilny dynamicznie roztwór koloidalny

$$d_{\max} = \left[\frac{\eta^2 kT}{\rho_s(\rho_s-\rho_c)^2 g^2}\right]^{\frac{1}{7}} \approx 10^{-6} \div 10^{-7} m$$

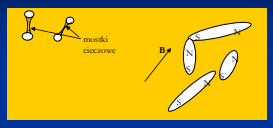
- η - współczynnik lepkości cieczy dyspersyjnej [kg/ms]

  ρ_S- gęstość fazy stałej , g- przyspieszenie ziemskie

  ρ_C – gęstość fazy ciekłej
- aglomeracja

Zjawiska w ferrofluidach (c.d.)

- Aglomeracja prowadzi do naruszenia stabilności i zwiększenia sedymentacji



- ➲dodaje się substancje powierzchniowo czynne – wyższe kwasy tłuszczowe (oleinowy $C_{18}H_{37}COOH$, mydła, alkohole i in. cząstki org.

Zjawiska w ferrofluidach (c.d.)

- Lepkość – wzór słuszny dla $\varphi \ll 1$

$$\eta = \eta_0(1+\frac{5}{2}\varphi) \qquad \varphi = \frac{V_S}{V_f}$$

η_0 – współczynnik lepkości cieczy dyspersyjnej
V_s – objętość zdyspergowanej fazy stałej, V_f – całkowita objętość ferrofluidu

- wciąganie ferrofluidu w obszar najsilniejszego pola magnetycznego na skutek działania siły objętościowej

$$\vec{F} = (\vec{M}\Delta)\vec{B}$$

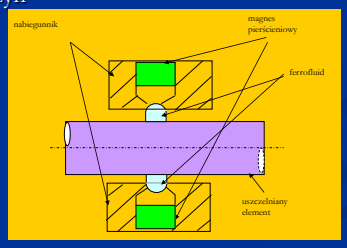
M- namagnesowanie ferrofluidu = sumie momentów magnetycznych wszystkich zdyspergowanych w nim cząstek magnetycznych

Inne własności ferrofluidów

- μ_{max}~ μ_{max} magnetodielektryków ~100, T⑨ μ_r⑩
- B_S ⁻ magnetofluidów ~B_S użytych ferromagnetyków
- Histereza magnetyczna – występuje w magnetofluidach, w ferrofluidach (cząstki jednodomenowe) – nie
- Przewodność elektryczna γ jest zbliżona do przewodności cieczy dyspersyjnej γ_C, czyli elektroizolacyjnej bądź elektroprzewodzącej
- Lepkość funkcją silnego pola magnetycznego – czas zestalenia – rzędu msek, czas powrotu - ~kilku milisekund

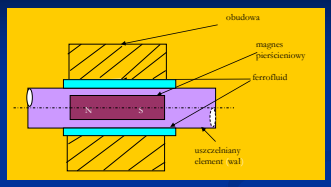
Zastosowanie ferrofluidów

- Uszczelnienie poruszających się elementów maszyn



Zastosowanie ferrofluidów (c.d.)

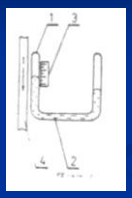
- w łożyskach ferrofluid centruje, uszczelnia i smaruje poruszające się elementy



- Wypełnia szczeliny maszyn elektrycznych, zwiększając przewodność magnetyczną i cieplną szczeliny oraz moc użyteczną
- Do badań kształtu i rozmiarów domen magnetycznych w materiałach
- W defektoskopii do badań powierzchni wyrobów nieferromagnetycznych
- W sprzęgłach elektromagnetycznych
- W amortyzatorach, tłumikach drgań, hamulcach

Zastosowanie ferrofluidów (c.d.)

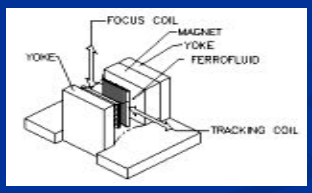
- Ciągłe pomiary grubości lub średnic niektórych wyrobów (folii, prętów, rynien)
- W kiloamperomierzach



- W przetwornikach elektromechanicznych, elektroakustycznych i generatorach drgań
- W transporcie ciepła, przetwarzaniu energii cieplnej na mechaniczną
- Kierowaniu ruchem cieczy nieferromagnetycznej, rozdzielanie leków

Zastosowanie ferrofluidów (c.d.)

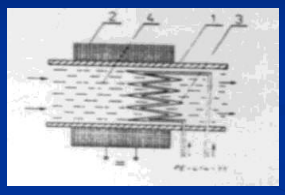
- W elementach wykonawczych tłumiących CD players, Laser Disc players, CD-ROM drives and, DVD-ROM drives. np. w twardych dyskach (http://www.ferrotec.com/usa/optical_pickups.htm)



Łożyskowanie z ferrofluidem pozwala też na zmniejszenie szczeliny między głowicą a powierzchnią dysku, co uczulając detekcję sygnału pozwala na zmniejszenie go i pośrednio zwiększenie gęstości zapisu informacji.

Zastosowanie ferrofluidów (c.d.)

- W transporcie ciepła, przetwarzaniu energii cieplnej na mechaniczną
-

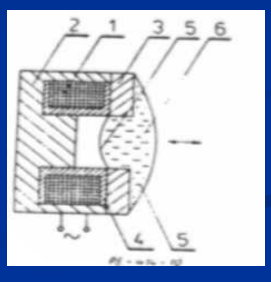


- 1- rura, 2- uzwojenie, 3 – wymiennik ciepła, 4 - ferrofluid

Zastosowanie ferrofluidów (c.d.)

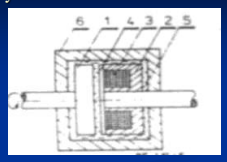
- W przetwornikach elektroakustycznych i generatorach drgań

1 – uzwojenie, 2 – rdzeń,
3 – zwora, 4 – karkas
5 – membrana,
6 - ferrofluid

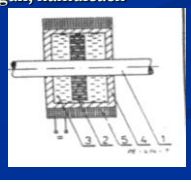


Zastosowanie ferrofluidów (c.d.)

- **W sprzęgłach elektromagnetycznych**
  1- tarcza napędzająca,
  2 – tarcza napędzana
  3- uzwojenie
  4- osłona
  5- ferrofluid
  6- obudowa



- **W amortyzatorach, tłumikach drgań, hamulcach**
  1- wał, 2- tarcza z otworami,
  3- ferrofluid, 4 – obudowa
  5- uzwojenie



Magnetodielektryki

- Są to materiały kompozytowe o własnościach ferromagnetycznych
- Mała stratność wiroprądowa, dzięki dużej rezystywności (matryca elektroizolacyjna)
- Duża stabilność właściwości magnetycznych (μ= const. w szerokim zakresie H i T, zwiększona odporność na starzenie
- Duża podatność na odkształcenia sprężyste Δl/l ~1000%, moduł Younga elastomerów 10^6-10^7 N/m^2 czyli ok.. 10^5 razy mniejszy niż stali
- Elastomery są para- lub diamagnetykami $\varkappa \approx (-)10^{-6} - 10^{-7}$

Rodzaje magnetodielektryków

- Miękkie: ferroelasty z matryca pełną i porowatą
- Twarde: magnetoelasty z matrycą pełną i porowatą

Sposób wytwarzania magneto- i ferroelastów

1. rozdrobnienie (kruszenie, mielenie, rozcieranie lub redukcja, rozkład, polikondensacja)
2. separacja (przesiewanie)
3. obróbka cieplna (wytworzenie izolacyjnej warstewki tlenku)
4. mieszanie z niespolimeryzowanym materiałem matrycy (+ ewentualnie z kryształami soli rozpuszczalnymi w wodzie lub innych związków ulegających termolizie z wydzieleniem gazów
5. formowanie za pomocą walcowania, wytłaczania lub prasowania
6. polimeryzacja - ewentualnie w polu magnetycznym.

Inne własności ferroelastów

- Przenikalność magnetyczna względna

$$\mu_r \approx \frac{1+(\mu_r-1)[g(1-p)+p]}{1+g(\mu_r-1)(1-p)}$$

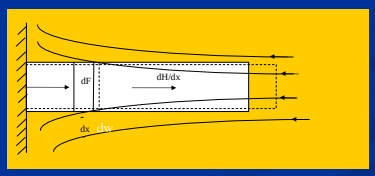
g- współczynnik odmagnesowania zależny od kształtu czastek i ich orientacji (dla kulistych =1/3), μ_r - przenikalność magnetyczna użytego matriału magnetycznego, p – współczynnik zapełnienia objętości ferroelastu przez cząstki

$$p = \frac{V_{\Sigma czastek\ \ ferromagn}}{V_{magnetodielektryku}}$$

Inne własności ferroelastów (c.d.)

- Siła działająca na ferroelast w polu magnetycznym o gradiencie δH/ δx
-

$$F = \mu_0(\mu_r^{'} - 1)\cdot\int H\frac{\partial H}{\partial x}dV$$



wydłużenie dw

$$dw = \frac{Fdx}{E`S}$$

Własności sprężyste ferroelastów (c.d.)

- E` - modulYounga ferroelastu, S- przekrój poprzeczny, wydłużenie względne dw/dx ⏲ λ
-

$$\lambda = \frac{\mu_r^{'} - 2}{E^{'}} \approx \frac{\mu_r^{'}}{E^{'}}$$

$$E^{'} \approx \frac{E_m}{1-p} \Rightarrow \lambda = \frac{\mu_r(1-p)}{E_m}$$

czyli λ dla ferroelastu o cząstkach kulistych ze stali krzemowej o μ_r=5000 zdyspergowane w matrycy silikonowej p=0.8, λ=8.8⋖10^{-7} m^2/N

Dla stali krzemowejλ=2.5 10^{-8} m^2/N, dla matrycy porowatej - większe

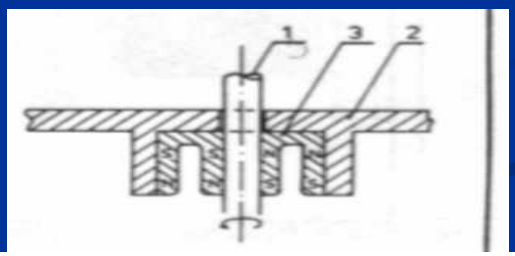
Zastosowanie magnetodielektryków

Uszczelka z magnetoelastu do elementów ferromagnetycznych:

1- wałek ferromagnetyczny,

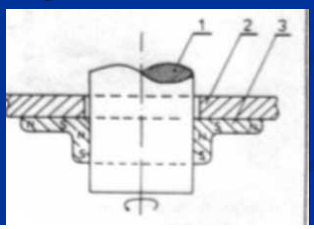
2- pokrywa ferromagnetyczna,

3 – uszczelka z magnetoelastu N, S – bieguny magnetyczne



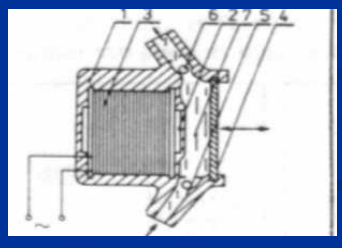
Zastosowanie magnetodielektryków (c.d.)

- Uszczelka z magnetoelastu do elementów nieferromagnetycznych, N, S- bieguny magnetyczne:
- 1- walek nieferromagnetyczny
- 2- pokrywa nieferromagnetyczna
- 3 – uszczelka z magnetoelastu



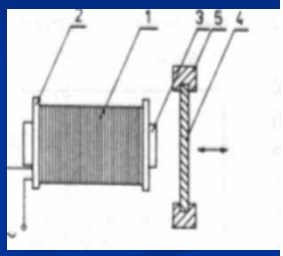
Zastosowanie magnetodielektryków (c.d.)

- Pompa membranowa z membraną wykonaną z ferro- lub magnetoelastu: 1 – korpus, 2 – rdzeń elektromagnesu, 3 – uzwojenie, 4 – membrana z ferro lub magnetoelastu, 5 – zawór wlotowy, 6 – zawór wylotowy, 7 – przepompowywana ciecz



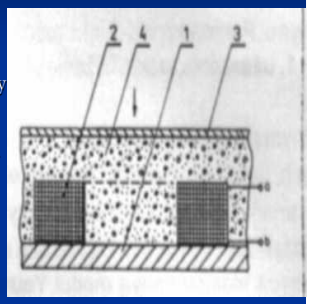
Zastosowanie magnetodielektryków (c.d.)

- Przetwornik elektromechaniczny, generator drgań lub czujnik z membraną z ferro- lub magnetoelastu z matrycą pełną: 1- uzwojenie, 2- karkas, 3- rdzeń elektromagnesu, 4- membrana, 5- uchwyt membrany



Zastosowanie magnetodielektryków (c.d.)

- Czujnik drgań, nacisku lub przemieszczenia o dużej powierzchni z magnetoelastem matrycy porowatej: 1 podkład izolacyjny sztywny, 2 – cewka bezrdzeniowa, 3- warstwa elastyczna, 4 – magnetoelast z matrycą porowatą, a, b – zaciski cewki

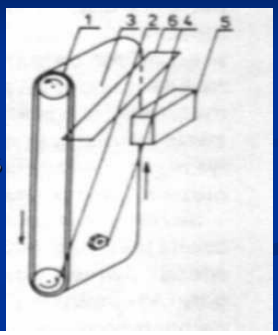


Zastosowanie magnetodielektryków (c.d.)

- Uchwyty i transportery

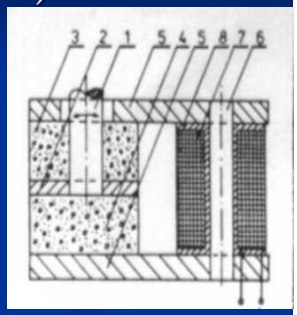
1- rolka napędzająca, 2- rolka napędzana

3- tasma z magnetoelstu, 4 – przenoszony element, 5- pojemnik odbiorczy, 6 – listwa zgarniająca



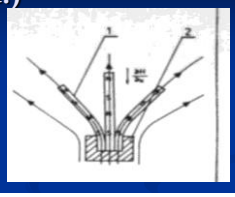
Zastosowanie magnetodielektryków (c.d.)

- Tłumik drgań: 1 – element drgający, 2 – płytka, 3, 4 przekładki z ferroelastu o matrycy porowatej, 5 – nabiegunniki, 6 – rdzeń, 7 uzwojenie, 8 – karkas, a, b – zaciski uzwojenia

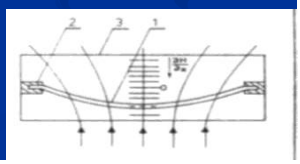


Zastosowanie magnetodielektryków (c.d.)

Badanie rozkładu pól magnetycznych: 1 – włókno z magnetoelastu, 2 – uchwyt włókien, N, S- bieguny magnetyczne, dH/dx – gradient pola



Badanie niejednorodności pola

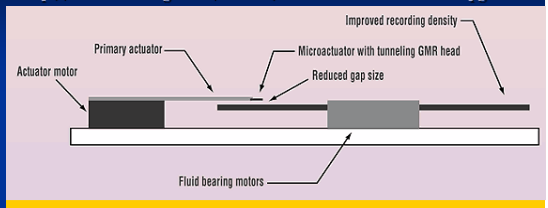


Twarde dyski

- **Magnetyczne – na orientowanym (lepszy stosunek sygnału do szumu) lub nieorientowanym (lepsza udarność- urządzenia przenośne) podłożu Al, dawniej politerftalan etylenu. Obustronnie pokryte warstwą kilku µm ferrytu lub stopu Cr, Ni, Co**
  pojemność zależy od technologii, wielkości cząstek – 10 Gb/cal^2 (górna granica 20-40 Gb/ cal^2)
- **Z głowicą magnetorezystancyjną większa gęstość zapisu (10 Gb/in^2)** http://www.seagate.com/support/kb/disc/mr_heads_tp.html
- **Silny efekt magnetorezystancyjny GMR i kolosalny efekt MR**

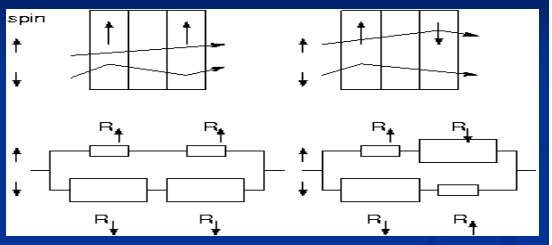
GMR

http://www.elecdesign.com/Articles/Index.cfm?ArticleID=4946&pg=3



Increased performance and density of 3.5-in. hard-disk drives will result from a number of improvements. Adding a microactuator allows the use of finer tracking to take advantage of improved recording density; tunneling GMR heads support higher densities than the current GMR heads; and fluid bearings provide a better rotating platform and quieter operation.

Efekt magnetorezystancyjny

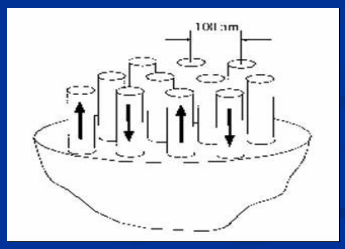


2 warstwy Ni-Fe przedzielone bardzo cienką warstwą materiału nieferrom. (Cu)

Przy namagnesowaniu równoległym warstw opór zmniejsza się kilkadziesiąt procent. Występuje też w InAs i InSb. R gdy H^2 a dla silnych H rośnie z H.

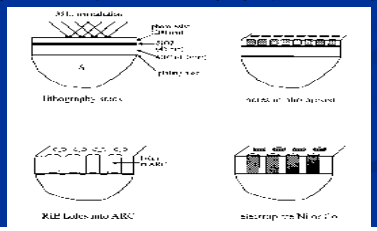
Schemat dysku magnetycznego –

wysokiej gęstości zapis magnetyczny za pomocą sub –100nm kolumn ferromagnetyka Ni lub Co.



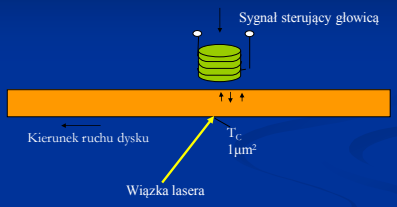
Schemat procesu fotolitografii do nanoszenia 100nm magnetycznych kolumn.

Fotorezyst poddawany napromieniowaniu laserem 351nm jonowym Ar. Warstwa antyrefleksyjna ARC chroni przed odbiciem promieniowania od podłoża i intereferencją z litografią. Okrągłe otwory w SiO_2 i ARC wytworzono dzięki trawieniu reaktywnymi jonami w CHF_3 i O_2.



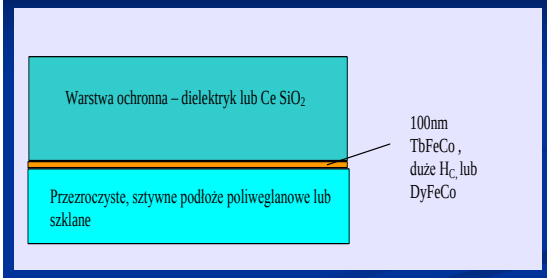
Dysk magnetooptyczny

- Zapis

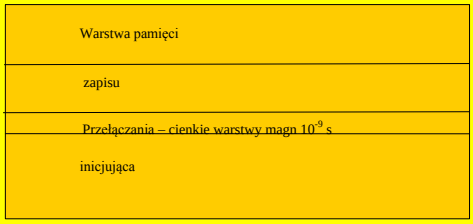


- Odczyt- wiązka spolaryzowanego światła lasera o mniejszej mocy – skręcenie płaszczyzny polaryzacji przy odbiciu (zj. MO Kerra)

Dysk magnetooptyczny

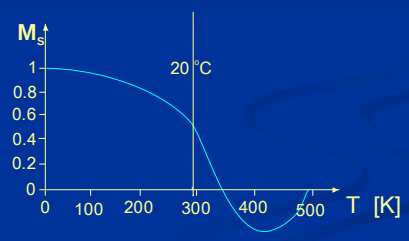


Warstwa pamięci magnetycznej

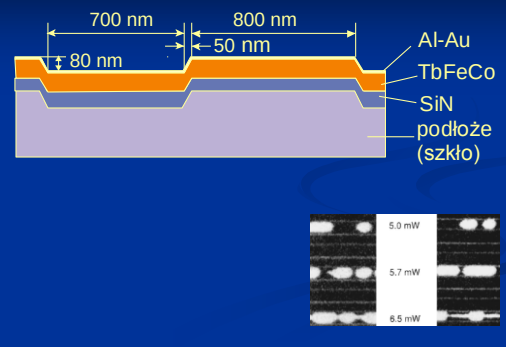


Dysk magnetooptyczny

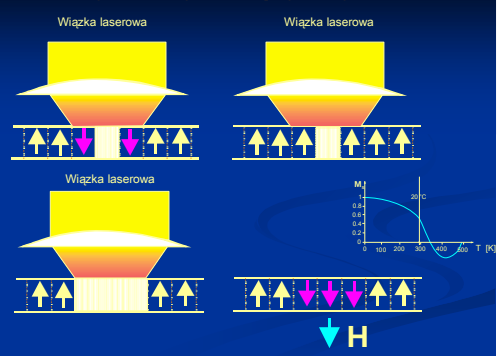
Zapis informacji: pole magnetyczne + impuls lasera



Dysk magnetooptyczny



Dysk magnetooptyczny



Dysk magnetooptyczny

Parametry zapisu magnetooptycznego :

- **moc lasera – 10-15 mW**
- **długość fali – 680 nm**
- **układ ogniskujący – 0.55 NA**
- **gęstość ścieżek - 2500 /cal**
- **pojemność zapisu – 9.1 GB/dysk (biblioteki 580GB-5.8TB)**
- **rodzaj dysków: WORM lub Rewritable**

Dysk magnetooptyczny

Parametry odczytu dysków magnetooptycznych:

- **zasada – efekt magnetooptyczny Kerra – różne skręcenie płaszczyzny polaryzacji wiązki laserowej odbitej od różnie namagnesowanych obszarów**
- **moc lasera – 5-8 mW**
- **długość fali – 780 nm**
- **szybkość odczytu informacji – 6.14.MB/s**

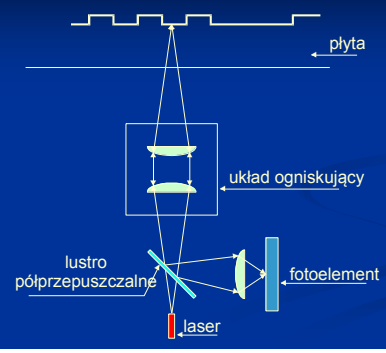
Zalety dysku magnetooptycznego

- Trwałość 10 mln cykli, 40 lat- **długi czas życia**
- Mało wrażliwe na kurz
- Pojemność 128MB- 1.3 GB
- Szybkość zapisu 64 Mb/s, długość bitu 0.76 μm
- **odporność temperaturowa i magnetyczna**
- **bezkontaktowość zapisu – zwiększona odporność dysków i napędów**

Materiały ekranujące od pól elektromagnetycznych

- Refleksyjne- odbijające- duża wartość γ, osłony metalowe, warstwy wytworzone elektroplaterowaniem i in. platerowaniem, warstwy naparowane w próżni, Ag, Au, Cu i Al
- Absorpcyjne – zawierające dipole elektryczne ($BaTiO_3$ i inne dielektryki o dużym ε) i magnetyczne pochłaniające daną długość fali o dużym μ (Fe_2O_3 , w postaci wielu warstw w celu zminimalizowania liczby ścianek Blocha) , supermalloy lub mumetal
- Wielowarstwowe odbicie

Laserowy zapis danych

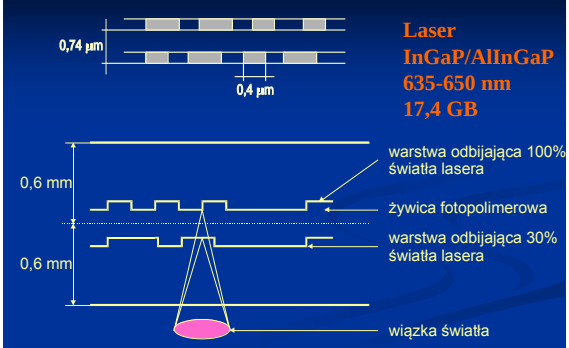


Laser GaAs/AlGaAs 780 nm

CD –audio 746 MB

CD-ROM 650 MB

Laserowy zapis danych (płyta DVD)



Laser InGaP/AlInGaP 635-650 nm 17,4 GB

Rodzaje laserów

Gas lasers				
CO_2 laser	10.6 µm	1 W - 70 kW (100 MW in pulse)	continuous, pulsed	materials treatment, medicine,
Excimer laser	193 nm, 248nm, 308 nm, 351 nm	1 kW - 100 MW	pulsed 10-100 ns	materials treatment, laser chemistry medicine
He-Ne laser	632.8 nm (main wave lenght)	1 mW - 1 W	pulsed	measurement technique, holography
Ar-ionic laser	515 nm - 458 nm	1 mW - 150 W	continuous, pulsed	marking techniques, materials treatment, pumping of lasers, medicine
Dye laser	from infrared to UV (different dyes)	1 mw - 1 W	continuous, pulsed	measurements techniques, spectroscopy, medicine

Właściwości promieniowania laserowego

Monochromatyczność

(Szerokość połówkowa linii emisyjnej)

Lasera rubinowego (λ=694 nm) 10^{-3} nm.

Lasera Nd:YAG (λ=1064 nm):

wielomodowego $5\cdot\times10^{-2}$ nm,

jednomodowego 10^{-3} nm,

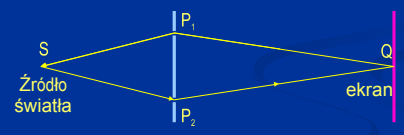
Lasera gazowego He-Ne (λ=693 nm) 10^{-7} nm,

Lasera półprzewodnikowego 5 nm.

Właściwości promieniowania laserowego

Spójność (koherentność)

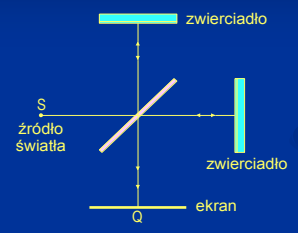
Spójność przestrzenna **- korelacja pomiędzy fazami drgań w różnych punktach przestrzeni falowej w tym samym czasie**



$$I = I_1 + I_2 \qquad I=(\sqrt{I_1}-\sqrt{I_2})^2 \text{ do } I=(\sqrt{I_1}+\sqrt{I_2})^2$$

Właściwości promieniowania laserowego

Spójność czasowa - korelacja pomiędzy fazami drgań w jednym i tym samym punkcie, w różnych momentach czasu.



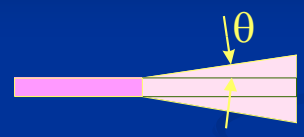
$$l_{sp} = \tau_{sp} \times c$$

$$\tau_{sp} = 1/\Delta\nu$$

- Dla laserów gazowych $l_{sp} \approx 30$km ($10^7 > l_{sp}$ źródeł term.)
- Dla typowych laserów Impulsowych ≈10 m.

Właściwości promieniowania laserowego

Kierunkowość wiązki *(rozbieżność wiązki)* - kąt bryłowy, w który rozchodzi się przeważająca część energii promieniowania.



Rozbieżność wiązki:
laser Nd:YAG 1.5 do 15 mrad ($<0.8^0$)
laser molekularny CO_2 1 do 10 mrad
laser półprzewodnikowy kilkanaście do kilkudziesięciu stopni (bardzo mała powierzchnia czynna)

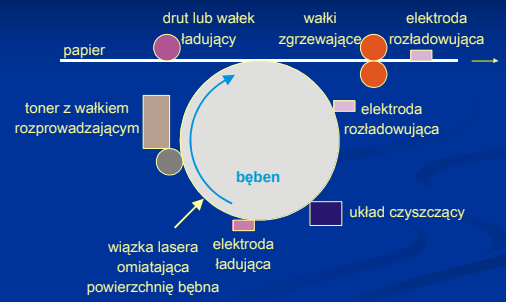
Właściwości promieniowania laserowego

Ogniskowanie wiązki laserowej

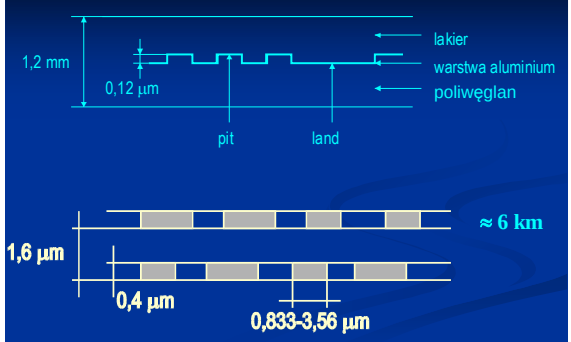
monochromatyczność
spójność
równoległość
} ogniskowanie

Średnica zogniskowanej wiązki od ≈1 μm do kilkuset μm.

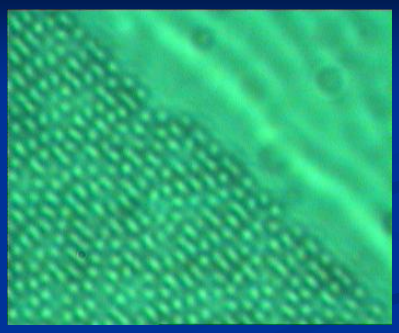
Druk laserowy



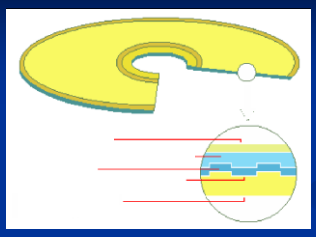
Laserowy zapis danych



Laserowy zapis danych (płyta CD)



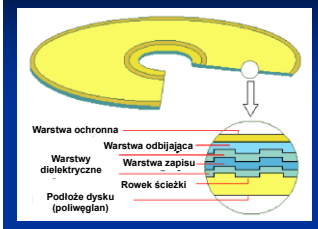
Laserowy zapis danych CD-WORM (CD-R)



1993
Gęstość ścieżek: 600/mm
Szerokość ścieżki: 0.6 µm
Podziałka ścieżki: 1.6 µm
$P_z \approx 10\ P_o$; λ=780 nm

Warstwa zapisu – światłoczuły barwnik: cyjanina, ftalocyjanina.
Warstwa odbijająca – złoto lub srebro.

Laserowy zapis danych CD-RW



1997

Gęstość zapisu jak w CD i Cd-R
$P_z \rightarrow$ 500-700°C $\rightarrow$
$\rightarrow$faza amorficzna
$P_k \rightarrow$ >200°C $\rightarrow$
$\rightarrow$rekrystalizacja;
λ=650 nm

Warstwa zapisu – pseudostop: Ag+ In+Sb+Te
przejście fazowe: stan amorficzny – stan krystaliczny
Warstwa dielektryczna – odprowadzanie ciepła

Laserowy zapis danych - płyty nowej generacji

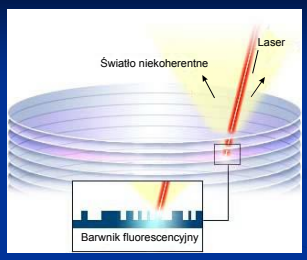
FMD – *Fluorescent Multi-layer Disc*

Fluorescencyjny dysk wielowarstwowy

UDO – *Ultra Density Optical*

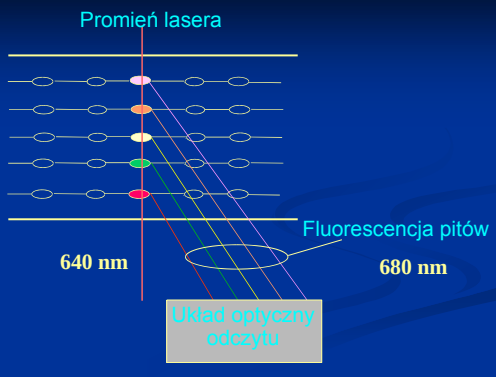
Optyczny (dysk) o ultra gęstości

Płyty FMD



Idea - fluorescencja stałego barwnika
Pojemność zapisu na 1 warstwie – 4.7GB
Dysk 12 cm×2mm, 12- 20 warstw – do 140 GB

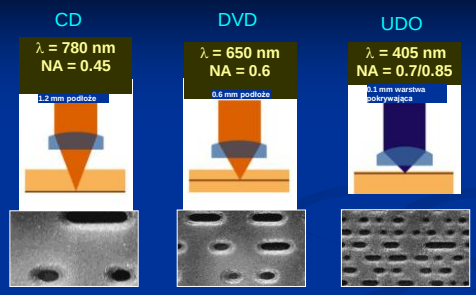
Płyty FMD



Płyty FMD

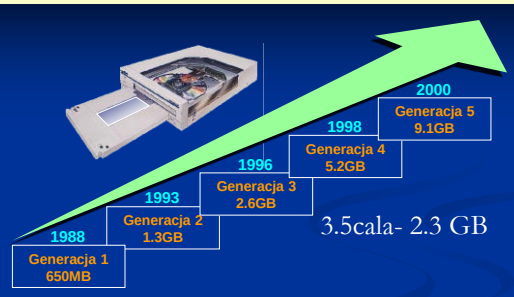
Pojemność zapisu na 1 warstwie – 4.7GB, do 100 warstw- TB potencjalnie
Dysk 12 cm×2mm, 12- 20 warstw – do 140 GB

Płyty – *Ultra Density Optical*



UDO 2003 r. - 30GB; 2005r. – 60GB; 2007r. – 120GB
Transfer danych – 8; 12; 18 MB/s; czas dostępu – 25ms

Dysk magnetooptyczny



HISTORIA ROZWOJU DYSKÓW MAGNETOOPTYCZNYCH