



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

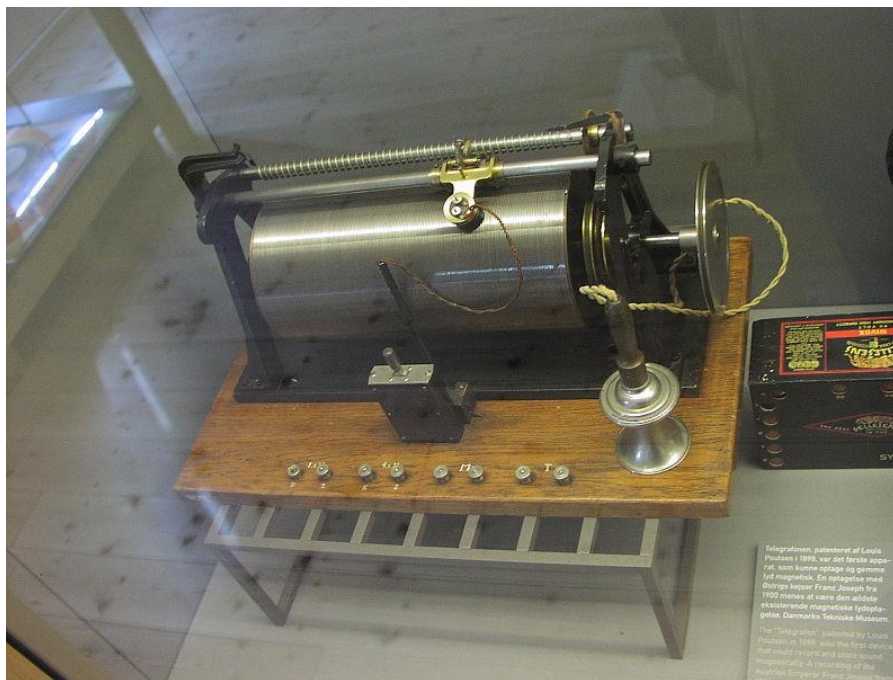
IT eszközök technológiája

12. előadás

Mágneses adattárolás

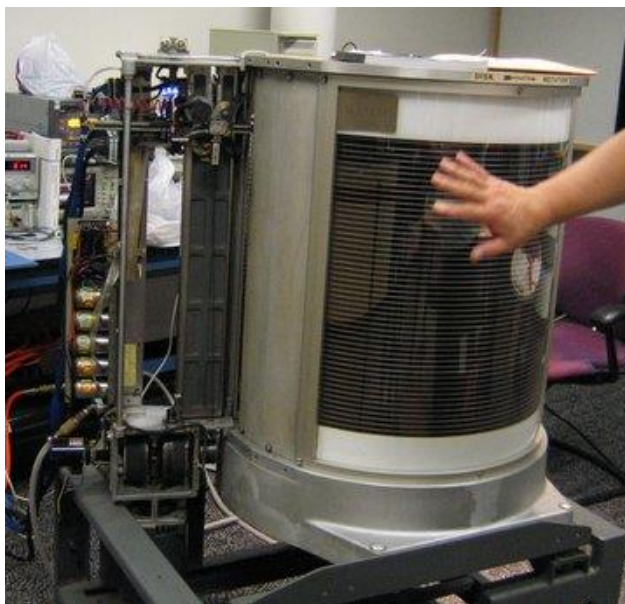
- **Mágneses adatrögzítés**
 - Történelem, jelen és jövő.
 - Emlékeztető Fizikából és Számítógépes Architektúrákból
 - A HDD felépítése
 - Író és olvasó fej
 - A fej sávon és sáv felett tartása
 - Fejlett technológiák
 - Héliummal töltött meghajtók
 - Shingled magnetic recording
 - A jövő technológiái?
 - TDMR
 - HAMR

Történelem – 1898, Valdemar Poulsen



- „Telegraphon”
 - A dobra tekert acélhuzal mágneszettsége egyenesen arányos a mikrofon jelével. Lejátszás hasonlóan. Érdekesség, hogy nem volt erősítő!
- Ferenc József beszél

Az első merevlemez – 1956



- IBM RAMAC – 5MByte
 - „Random Access Method of Accounting and Control”
- 50db 24” átmérőjű lemez, 1200 fordulat/perc, 2 kbit/sq.in. , 100 BPI x 20 TPI , 150 kbit/s

10TB, 2016

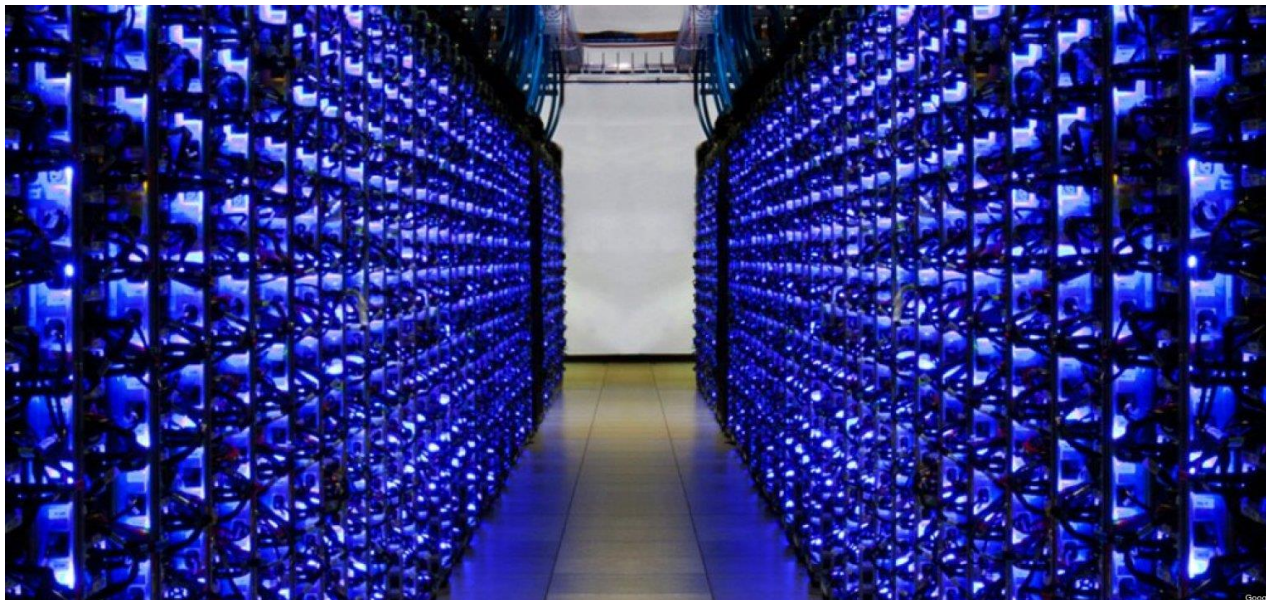


Specifications	10TB ¹		
Standard Model Numbers	ST10000DM0004		
Interface Options (with NCQ)	SATA 6Gb/s		
Features and Performance			
SATA Transfer Rates Supported (Gb/s)	6.0/3.0/1.5	6.0/3.0/1.5	6.0/3.0/1.5
Max Sustained Transfer Rate OD (MB/s)	210	210	210
Cache, Multisegmented (MB)	256	256	256
Configuration/Organization			
Heads/Disks	14/7	12/6	12/6
Bytes per Sector	512e	512e	512e
Reliability/Data Integrity			
Load/Unload Cycles	300,000	300,000	300,000
Nonrecoverable Read Errors per Bits Read, Max	1 per 10E15	1 per 10E15	1 per 10E15
Power-On Hours (per year)	8760	8760	8760
Workload Rate Limit (TB/year) ²	300	300	300
Warranty, Limited (years) ²	5	5	5

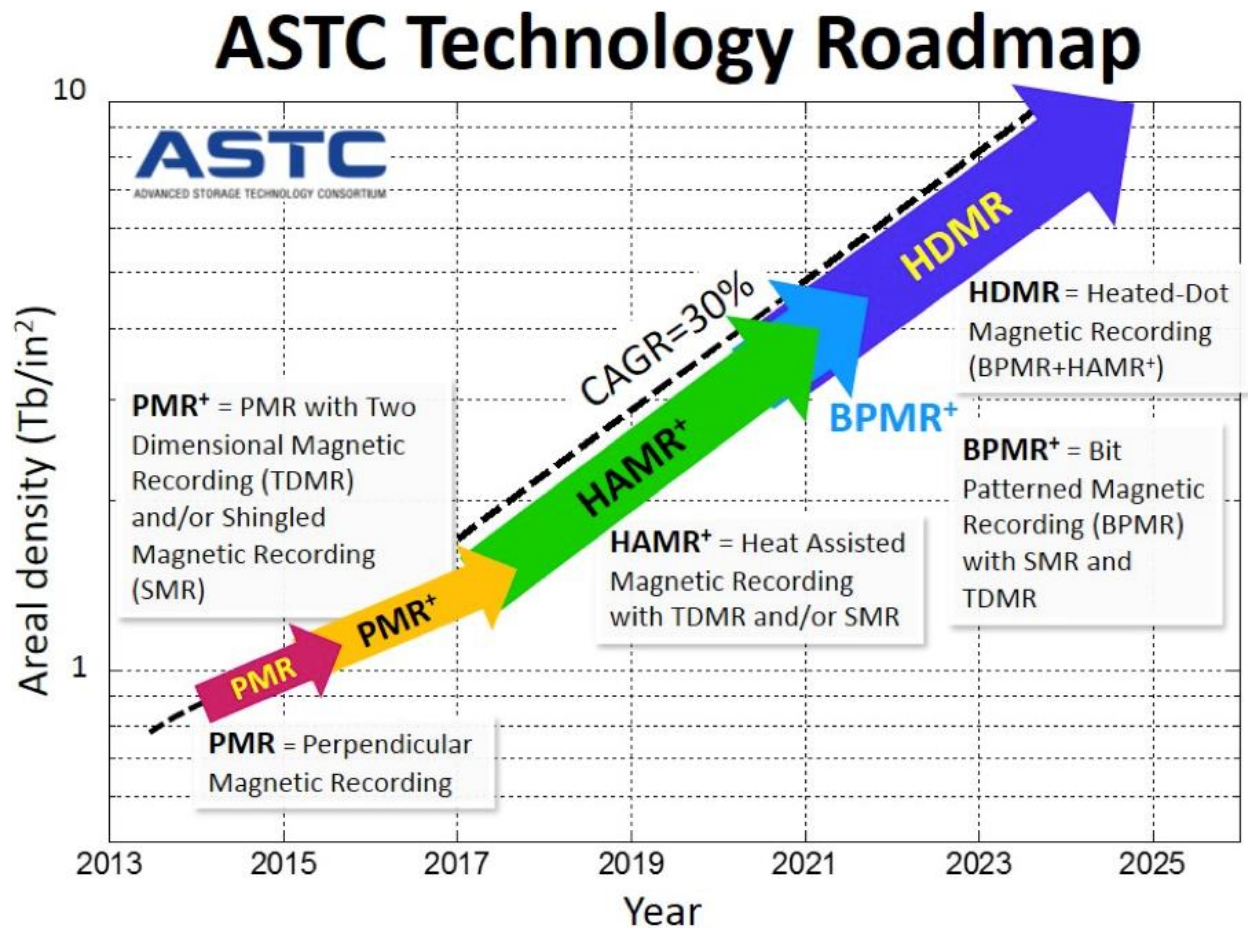
- Hatvan év alatt kb. kétmilliószeres kapacitásnövekedés!
- \$10M/Gbyte-ról \$0,1/Gbyte árcsökkenés

Jövő?

- A desktop és mobil számítástechnikából egyértelműen kiszorul, leváltja az SSD és a felhő alapú tárolás.
 - Főleg a mechanikai mozgatás energiaigénye miatt.
- Viszont a tárolást meg kell valósítani, lehetőség szerint olcsón
 - Az SSD egyenlőre nem vetélytárs az adatközpontokban.



Jövő?



- Advanced Storage Technology Consortium

- Az eladások csökkennek, de az iparág bizakodó.
- 1Tbit/in² –ről kb. 10× növekedés érhető el technológia fejlesztésével.

Forgólemezes adattárolás

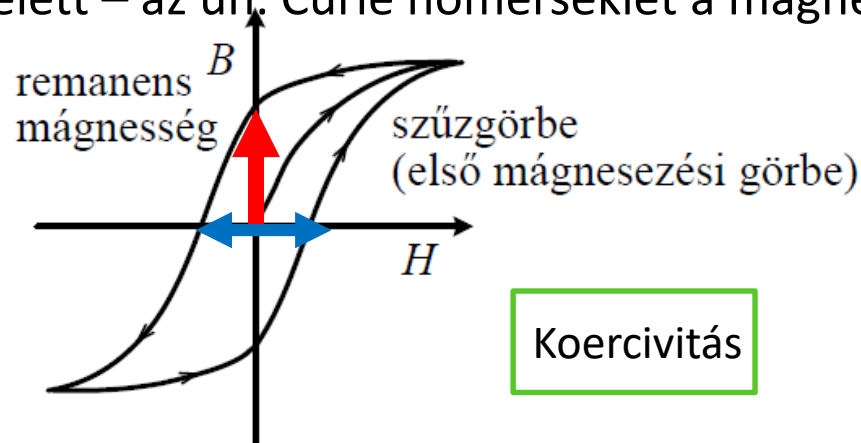
- Az adatokat egy kör alakú lemez tárolja, amelyet nagy sebességgel forgatnak.
 - Egy vagy két oldalon, esetleg több rétegben tartalmaz információt, koncentrikus körökben, vagy csigavonalban.
- Több lemez is kezelhető együtt
- Az adatokat a fej olvassa vagy írja
 - Optikai tárolás: reflexivitás
 - Mágneses tárolás: mágneses domén mágnesezettségi iránya
- Az adat helyét a középponttól mért távolság, a szög és lemez (oldal) sorszáma határozza meg egyértelműen.
- Az adatok kezelése nagyobb egységekben történik, azaz szektorokban. (szokásosan 512byte, vagy 4k)

Ferromágnesesség

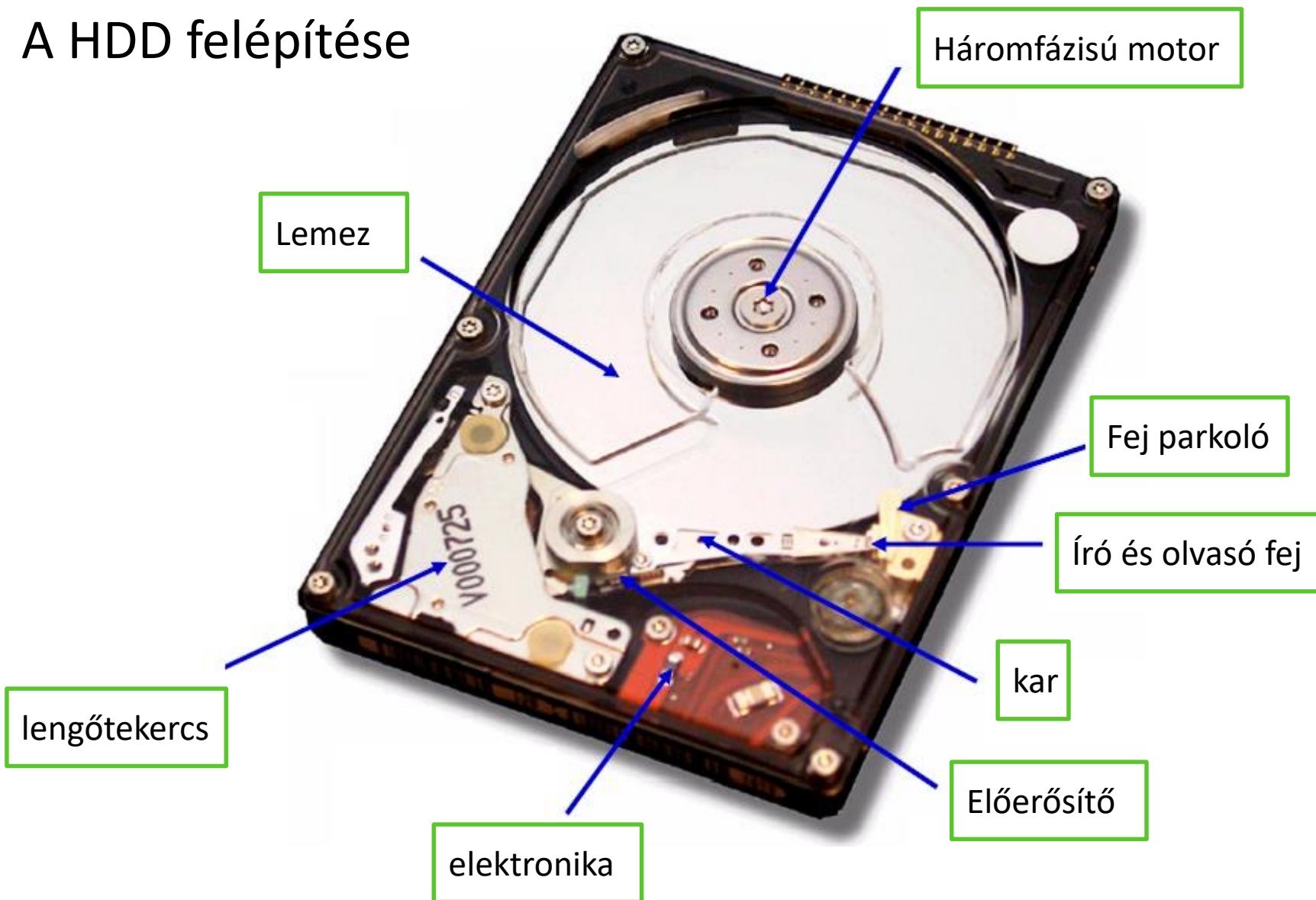
- **Mágnesesség**
 - Kvantumfizikai jelenség
 - Spinhez és a Pauli-elvhez kapcsolódik
 - Elemi dipólmomentum: a spin és pályából eredője
- A ferromágneses anyagokban kiegyenlítetlen, páratlan spin-ű elektronok vannak.
- Az anyag mágneses doménekre oszlik, ahol spin-ek azonos irányba állnak be
 - Ez energetikailag kedvezőbb.
 - Kb. 10^{15} atom/mágneses domén, méretete $10^{-9}..10^{-12}\text{cm}^3$
 - Az anyagban a domének alapállapotban rendezetlenül helyezkednek el, így kifelé nem mutat mágnesességet.

- Mágneses tér jelenlétében a ferromágneses anyag átmágneseződik.
 - Azon domének térfogata nő, amelyek mágnesezettségi iránya a külső mágneses tér irányával megegyezik, vagy kis szöget zár be.
 - Nagy térerősség esetén a domének ugrásszerűen befordulhatnak a külső mező irányába.
 - A mágneses tér növelésével az indukció telítődik, egy biz. határon túl már nem növekszik tovább.
 - A mágnesezettség a tér megszűnésekor is megmarad. (maradó mágneseesség)
 - Az átmágnesezéshez térerősség szükséges – koercivitás.
 - Egy adott hőmérséklet felett – az ún. Curie hőmérséklet a mágnesezettség megszűnik.

- Nikkel- 360°C
- Vas - 768°C



A HDD felépítése



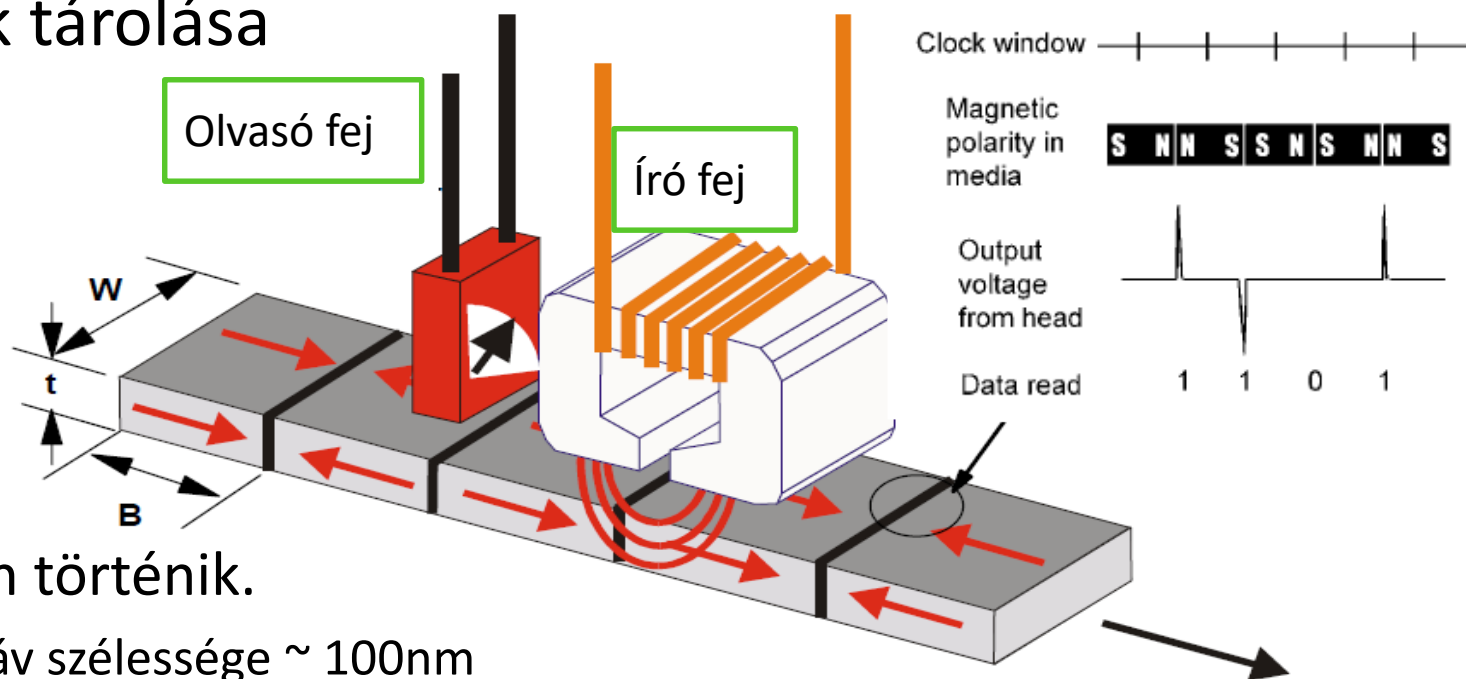
A HDD felépítése

- A lemezek alumíniumból vagy üvegből készülnek, rajtuk ferromágneses réteg helyezkedik el.
- A lemezeket egy jól záró fémházba helyezik, amely a külvilággal szűrt szellőző lyukakon érintkezik.
 - Szennyeződés katasztrófális kárt okozhat.
- A motor folyamatosan forgatja a lemezeket, ennek teljesítményigénye több W nagyságrendű.
- Az író-fejvel történik az adatoknak megfelelően a felület megfelelő pontjainak mágnesezése, illetve a mágnesezettségi iránnyal arányol jel generálása olvasáskor

Egy komplex mintapéldája egy modern rendszernek

- **Anyagtudomány, technológia**
 - Rétegfelépítések
 - Író és olvasó fej
- **Gépészmérnöki tudományok**
 - Motor, fejmozgatás
- **Informatikai tudományok**
 - Kódolás, hibajavítás, tárolás optimalizálás
- **Villamosmérnöki tudományok**
 - Feldolgozó elektronika
 - Szabályozás és vezérlés

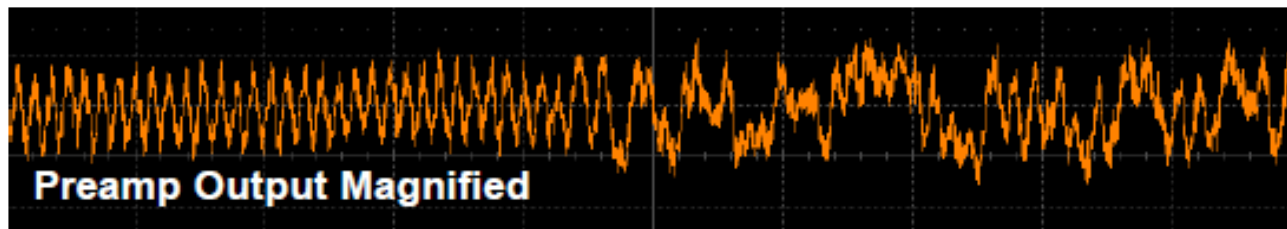
Az adatok tárolása



- Sávokban történik.

- W – a sáv szélessége $\sim 100\text{nm}$
- t - a sáv mélysége
- B – egy bit információt hordozó réteg hossza $\sim 20\text{nm}$

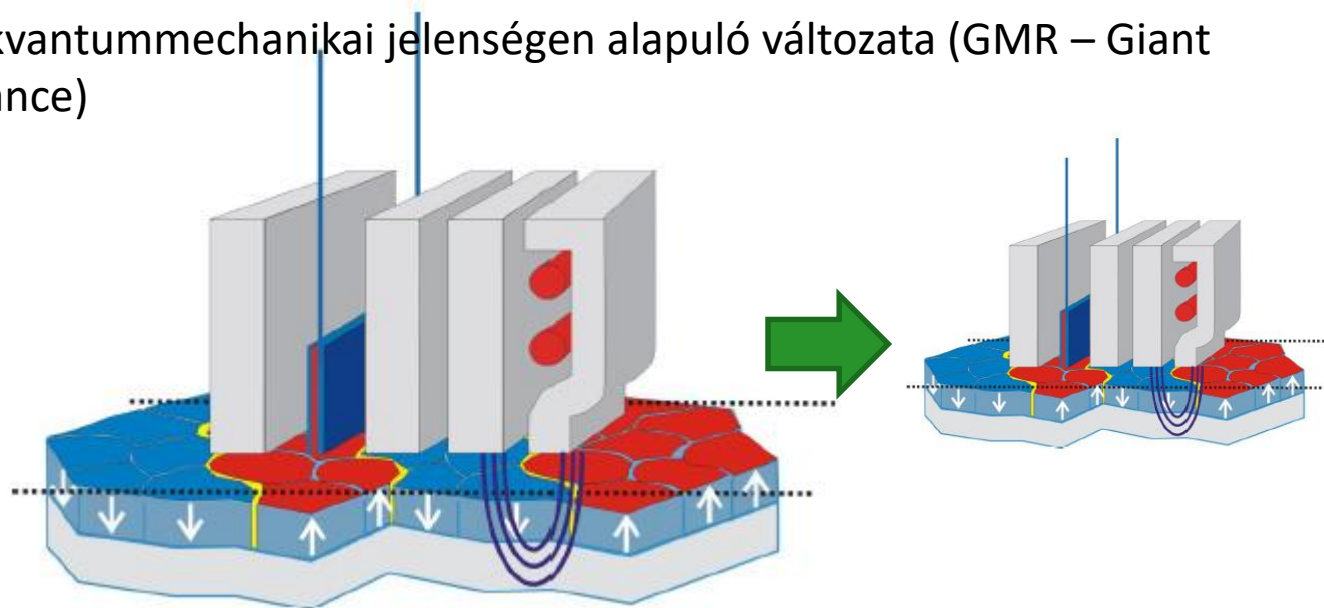
- Az információt a mágnesezettség irányváltozása hordozza!



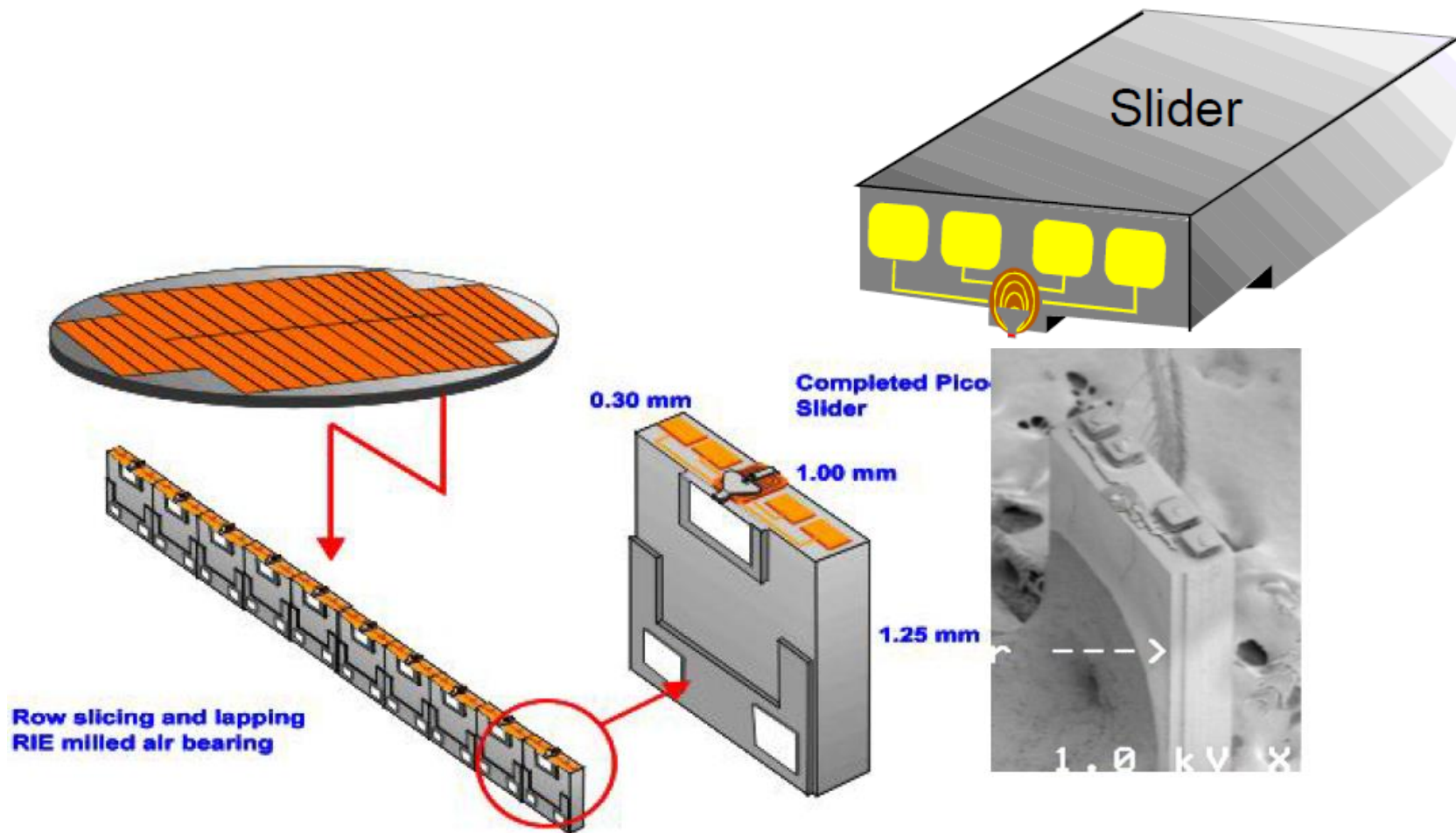
Méretcsökkentés

■ A kapacitásnövekedést több tényező hajtja

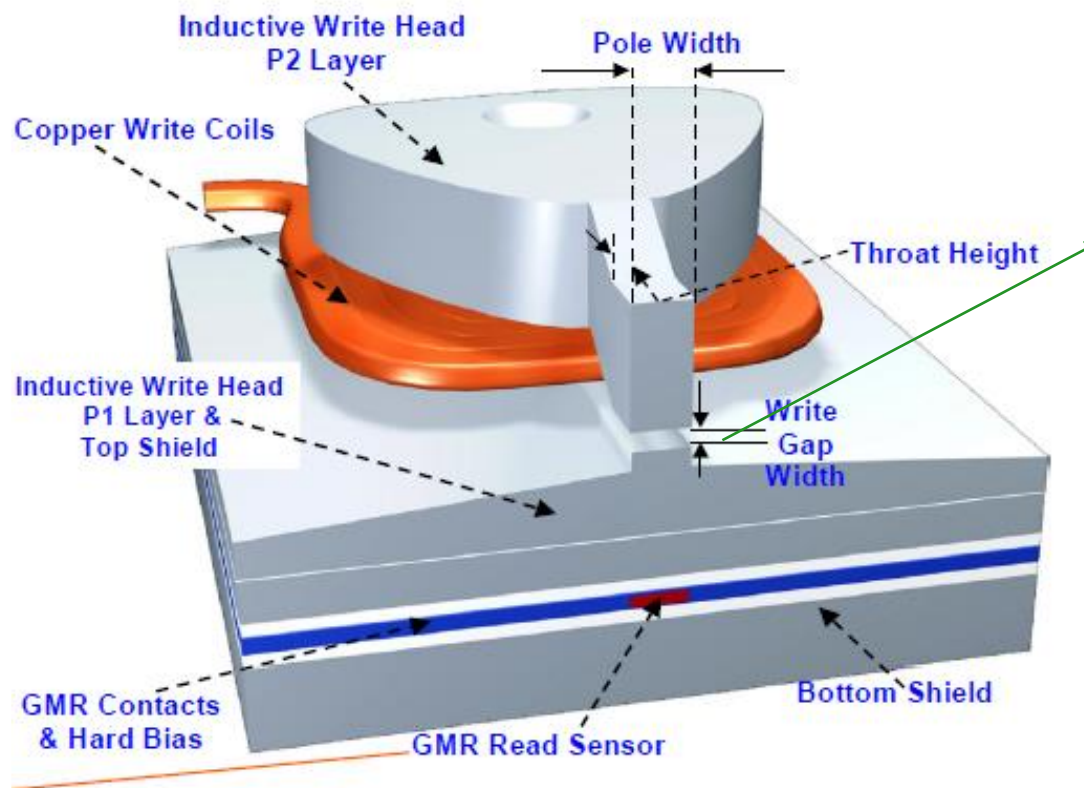
- Hasonlóan az integrált áramköri technológia fejlődéséhez, a **méretcsökkentés**
 - A fej méretének csökkentése – ebből következően a bit méret csökkentése. S skálázás, $1/S^2$ növekvő kapacitás
 - A fej közelebb repül, $1\mu\text{m}$ magasság helyett kb. 7-10nm magasságban.
- A technológiai fejlődés
 - Az olvasófej új, kvantummechanikai jelenségen alapuló változata (GMR – Giant Magneto Resistance)
 - Új anyagok
 - Új tárolási mód



Írófej

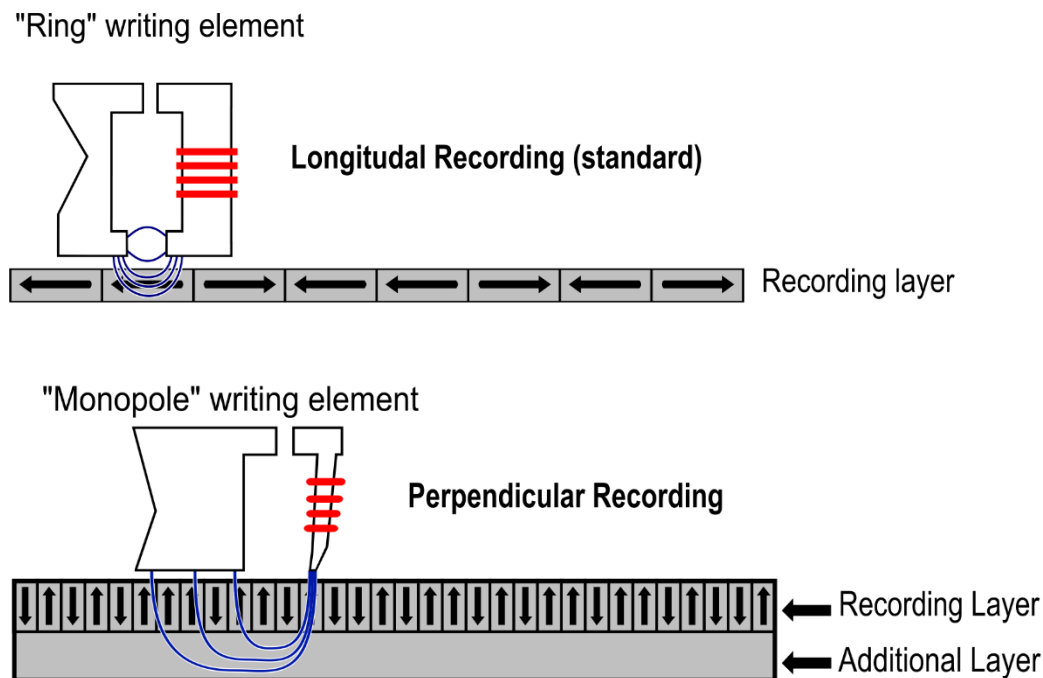


- Kisméretű tekercs, amit a mikroelektronikában alkalmazott eljárásokkal állítanak elő, szilícium szeleten.
- A kar végére szerelik fel.



- A felbontást a litográfia felbontása és a repülési magasság fogja megszabni.

A felületre merőleges tárolás (PMR)



- A sávon belül a mágnesezettség iránya a felülettel azonos irányú (hosszirányú)
- PMR – a mágnesezettség irány a felületre merőleges.

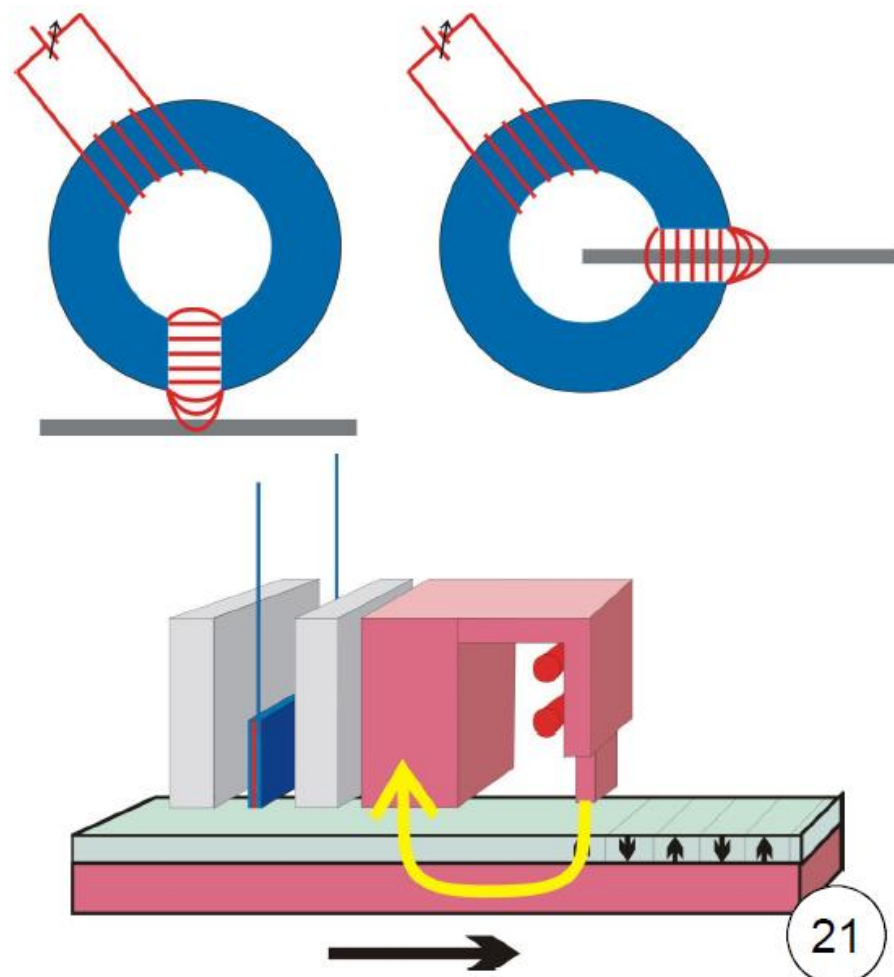
- Érdekesség
 - Az ötlet 1976-ból származik
 - Toshiba, 1989, 3,5" floppy drive kapacitásának növelése 2,88MByte-ra (nincs elírva! 😊, a standard 1,44MByte volt)
 - 2005 óta foglalkoznak vele
- Az ok: a spontán átmágneseződés
- (Superparamagnetism)
 - A kT energia hatására a domének spontán átmágneseződhetnek.
 - Két átmágneseződés közötti átlagos idő: (Néel – Arrheneus egyenlet)
 - $\tau_n = \tau_0 e^{\frac{K_u V}{kT}}$
 - Ahol τ_0 az ún. próbálkozási idő, 0,1..1ns, K_u a mágneses anizotrópia energiasűrűség, V a szemcse térfogata. (1 szemcse – 1 mágneses domain, kb. 3-50nm átmérővel.)
 - Ez az adatsűrűséget korlátozza



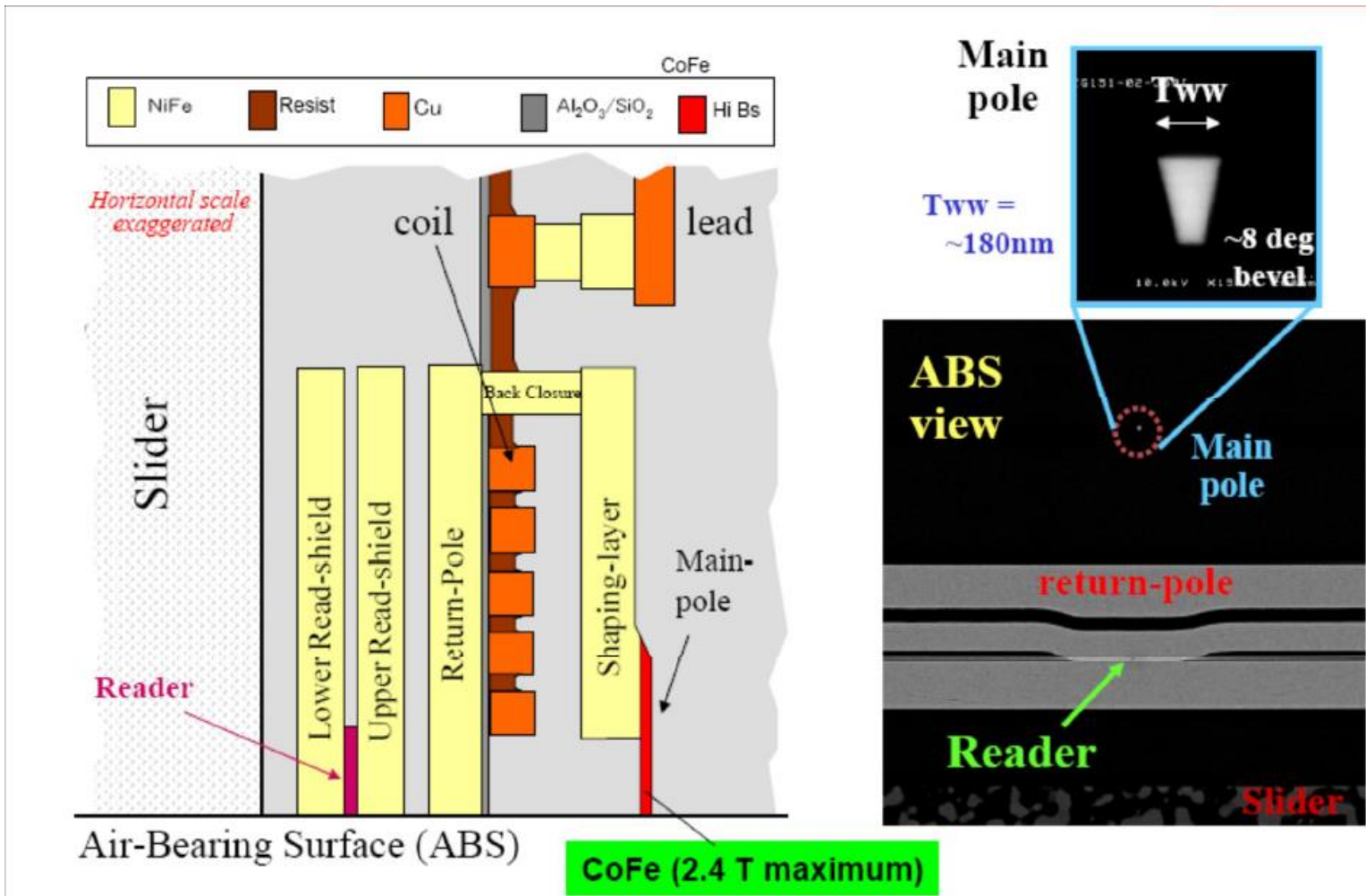
- $\tau_n = \tau_0 e^{\frac{K_u V}{kT}}$
 - $K_u V/kT = 100$ az univerzum élettartama alatt nem fordulhat elő
 - $K_u V/kT = 25$ 7 másodperc, ez már frissítésre szorulna..
 - $K_u V/kT = 45$ tíz év.

- Nagyobb koercivitású anyag használata csökkenti az átmágneseződés valószínűségét – kisebb lehet a bit területe!


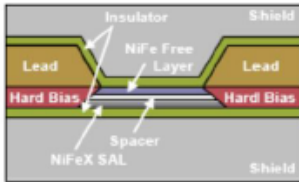
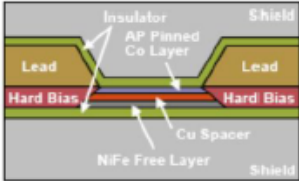
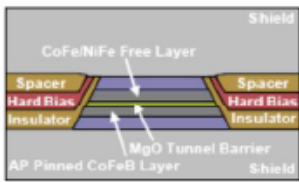
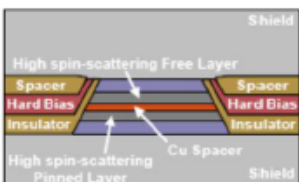
- Hosszirányú íráskor a légrézen „kilógó” tér segítségével történik az írás
- Merőleges íráskor az erővonalak a lemez ferromágneses rétegén keresztül záródnak.
 - Kell egy réteg a ferromágneses réteg alá, így a lemez rétegszerkezete bonyolultabb.
- Kisebb méretet és nagyobb térerősséget tesz lehetővé.



Írófej



Az olvasó fej technológiák

Year	Density (Gb/in ²)	Sensor Technology	Structure	MR Effect	Current Geometry
1979	0.01 Gb/in ²	Thin-film Inductive		N/A	N/A
1991	0.1 Gb/in ²	MR Sensor		Anisotropic MR	CIP
1997	2 Gb/in ²	Spin Valve		Giant MR	CIP
2006	100 Gb/in ²	Tunnel Valve		Tunneling MR	CPP
2011	1 Tb/in ²	CPP GMR		Giant MR	CPP

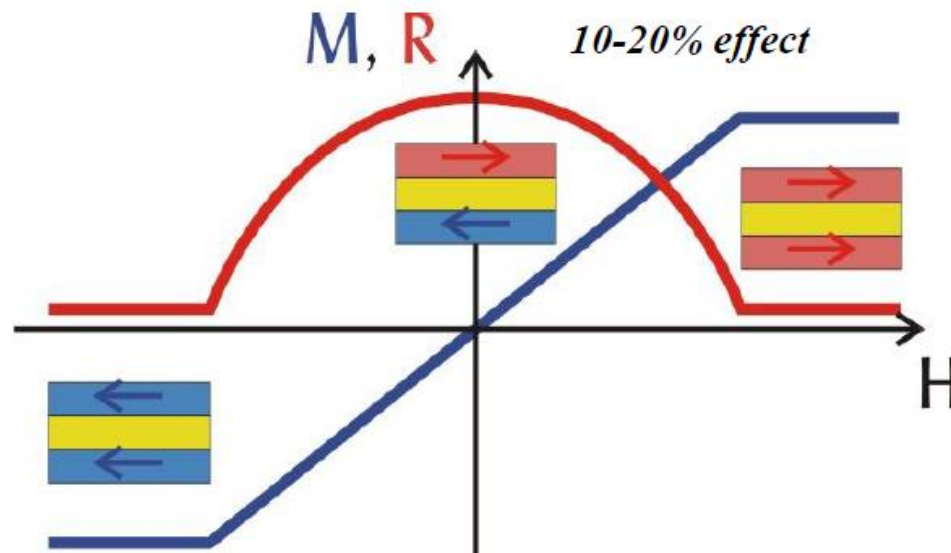
2007 Nobel prize



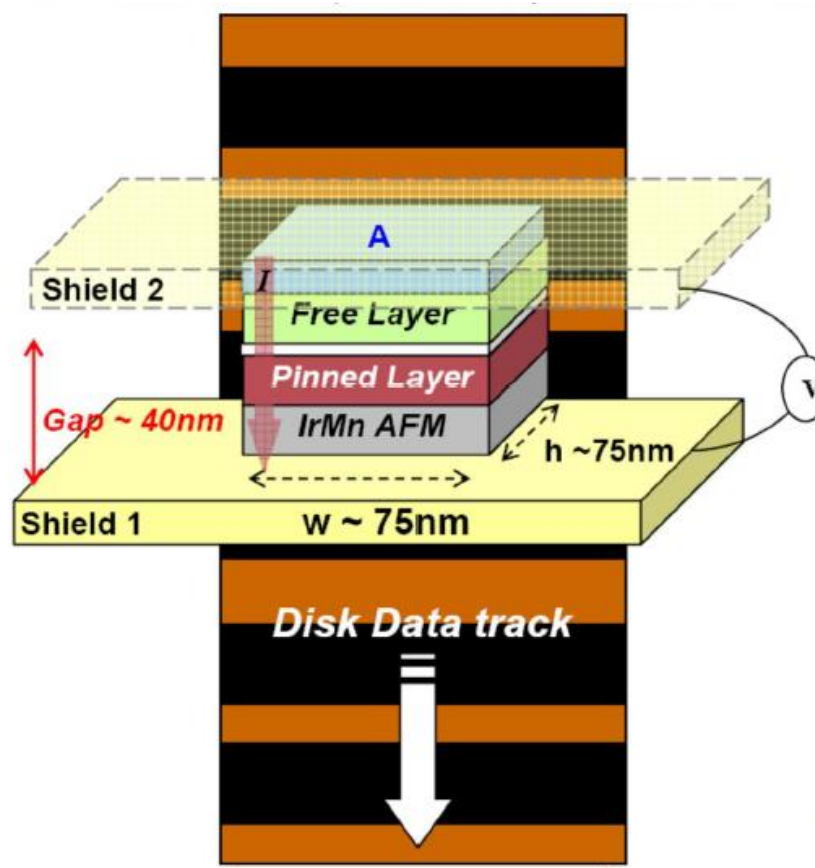
Albert Fert & Peter Grunberg

Gigant-Magneto-Resistance

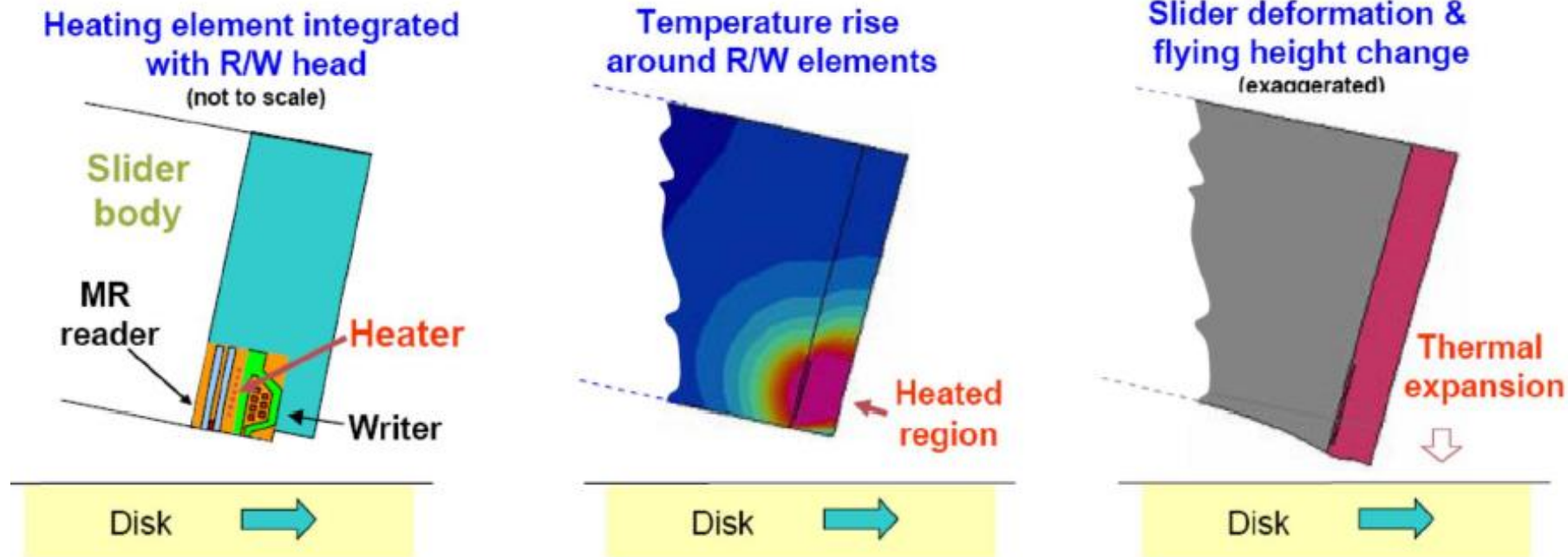
- A rétegszerkezet ellenállása megváltozik, attól függően, milyen irányú mágneses teret érzékel.
 - Ez rögzített áram mellett feszültségváltozást fog eredményezni.
- Van egy referencia réteg
 - Ha az érzékelő réteg ezzel egyirányú mágneses térbe kerül, az ellenállás lecsökken.
 - Ha a mágneses tér iránya pont ellentétes, az ellenállás maximális.



- Meglehetősen bonyolult kvantummechanikai jelenségen alapul
- A szenzor ellenállása növekszik, ha a méretei csökkennek.
 - Ez további sűrűségnövelést tesz lehetővé



A fej függőleges pozícionálása



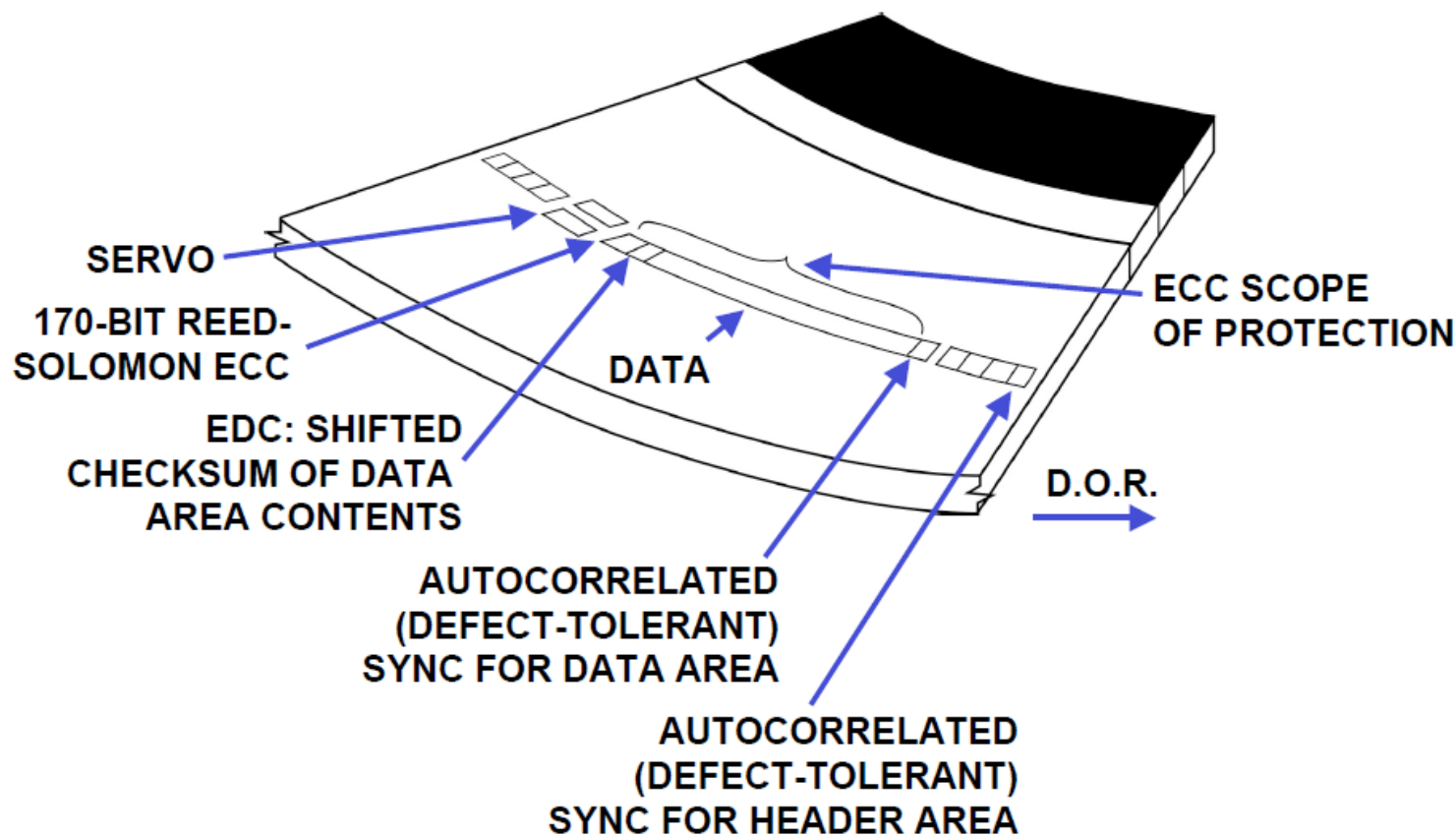
- A fejet kb. 7nm-re kell tartani a felület felett.
 - A pontos szabályozáshoz egy fűtőellenállás van a slider-en. Az író/olvasó fej pozícióját ezzel szabályozzák (a hőtágulással)

A fej vízszintes pozícionálása



- Ha a (2) tekercsben áram folyik, annak mágneses mezője elfordítja a kart a (3) tengelye körül. (1) állandómágnes
- A pontos pozícionálást a lemezen szervo információk segítik.

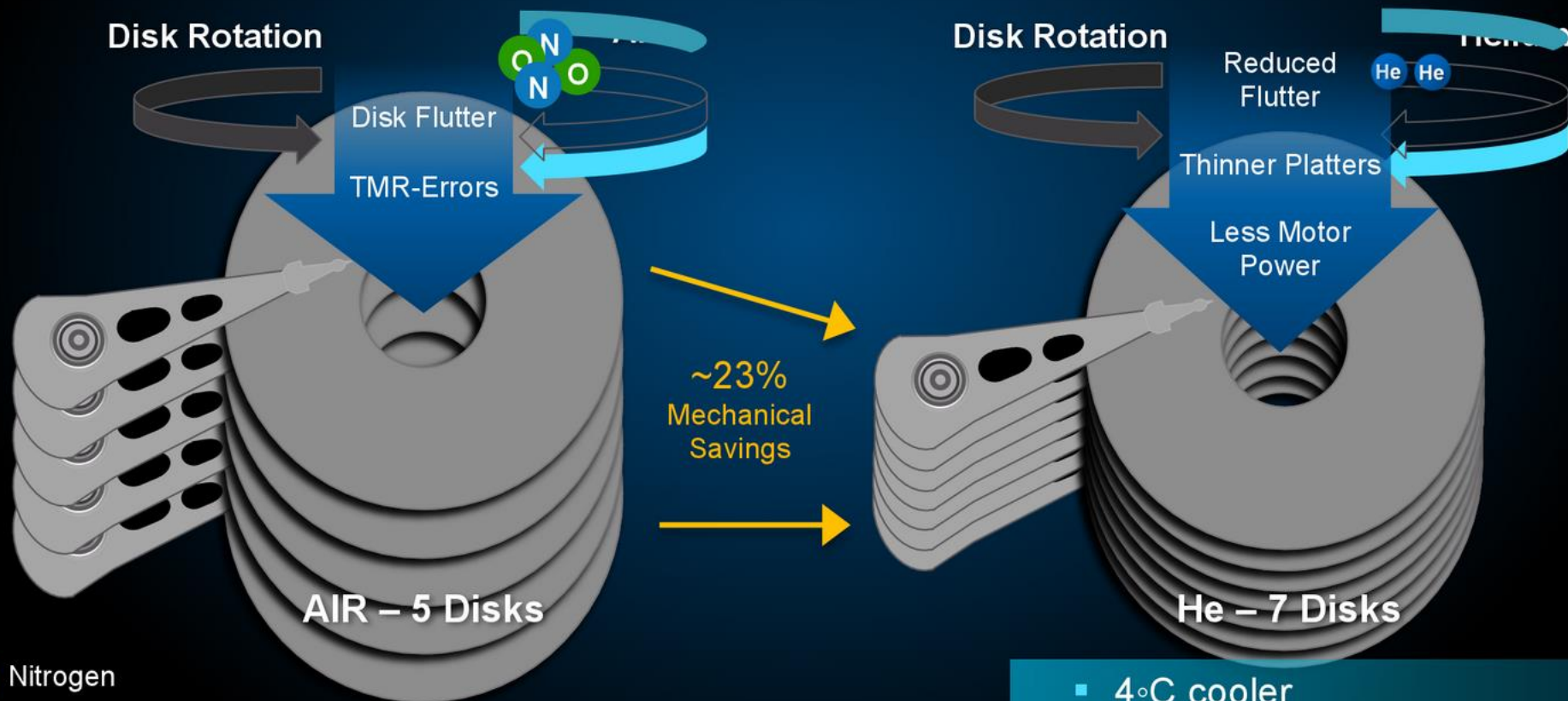
Szektorok felépítése



Héliummal töltött meghajtók

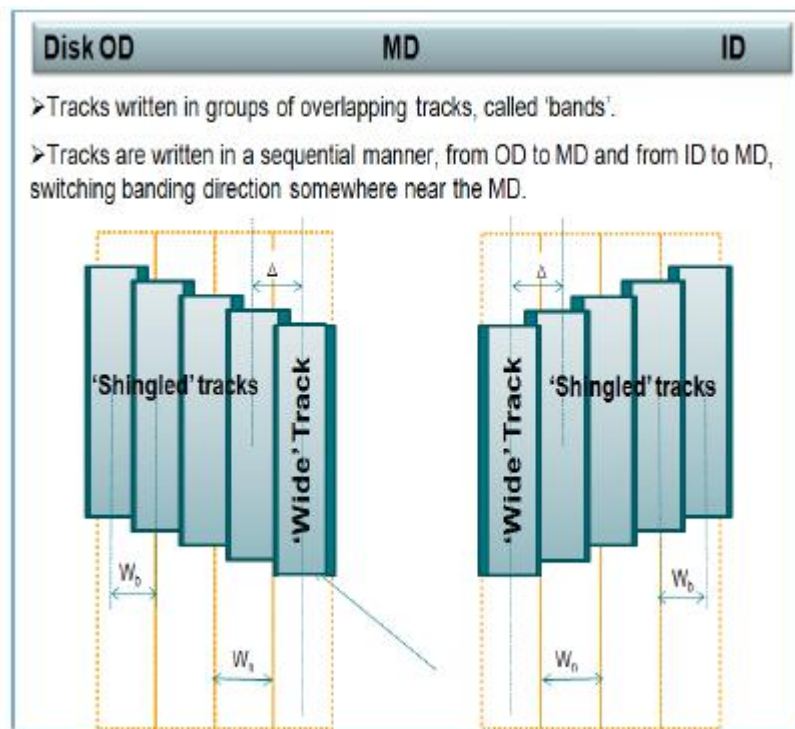
- Levegő sűrűsége: 1,2g/l a hélium sűrűsége pedig 0,18g/l
 - Így a légellenállás kb. 1/6 része, azaz kevesebb energiát igényel a lemezek forgatása
 - Pontosabban pozícionálható a kar
- Drágább, de nem vesziesen (\$546, 10T 2016. október 18.)
- Elsősorban adatközpontokba ajánlja a gyártó
 - Kisebb fogyasztású
 - Nagyobb kapacitású egységeket
 - Azaz ugyanakkora területen nagyobb tár kapacitást lehet kialakítani kisebb fogyasztással.
 - A (gyártó állítása szerint) a teljes élettartamra vetített költsége (TCO) jobb, és ellensúlyozza a magasabb beszerzési árat.

- Reduces mechanical power dissipated in air shear
- Allows platters to be placed closer together enabling more capacity

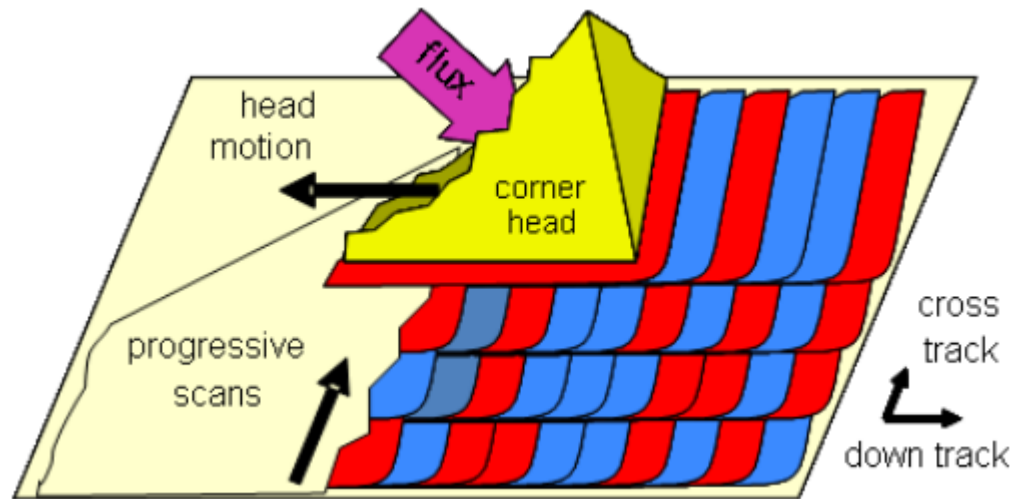


- 4°C cooler
- 49% reduction in Watts/TB

Shingled Magnetic Recording - Zsindelyes?



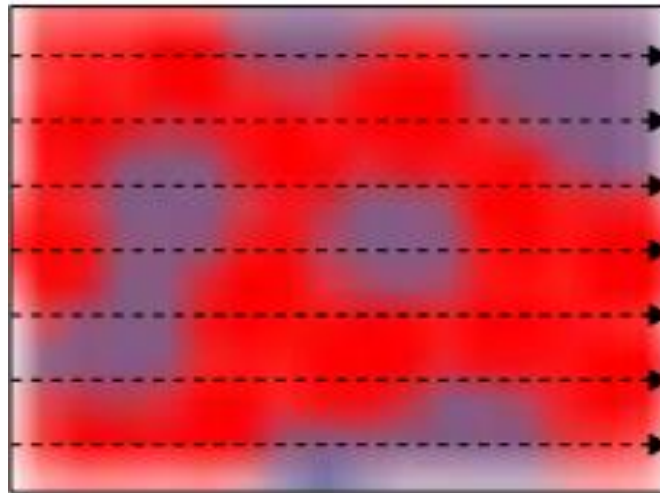
- Az olvasó fej sokkal kisebb is lehet, mint az író fej.
- Átfedéssel történik az adatok felírása, azaz a TPI, jóval nagyobb.
- Gond viszont az újraírás!



- Több sávot kezelnek egyszerre, ez az ún. band.
 - Egy band-en belül az írás szekvenciális.
 - Az újraírás esetén viszont a teljes sávot újra kell írni. A band nagy! Kb. 256MB
 - A helyzet picit hasonlít az SSD-re, ott a helyzet ugyanez a blokk törléssel.
 - Kontrollert és optimalizációt igényel.
 - Ha elfogy az üres terület, nagyon lecsökken az írási sebesség.
 - Archiválásra pl. tökéletes, vagy adatközpontokban, statikus adatok tárolására
- Kb. 10-15% tárolókapacitás nyereség jelenleg, több elérhető

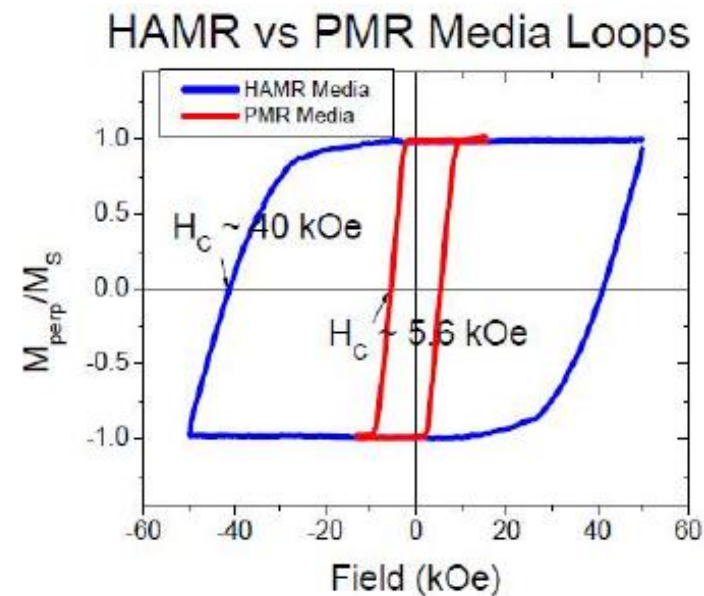
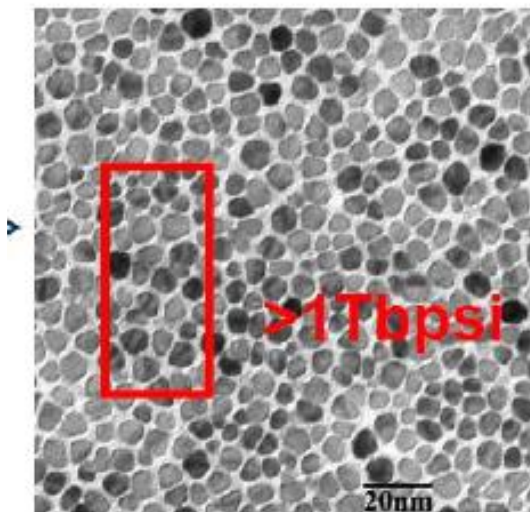
Kétdimenziós olvasás – 2D magnetic readback

- Az 1,5Tbps elérhető
- Az adatokat átfedve írják fel.
- Olvasáskor több olvasófejet használnak és a kialakuló mágneses kép intenzitásából dekódozzák az információt, képfeldolgozási eszközökkel.

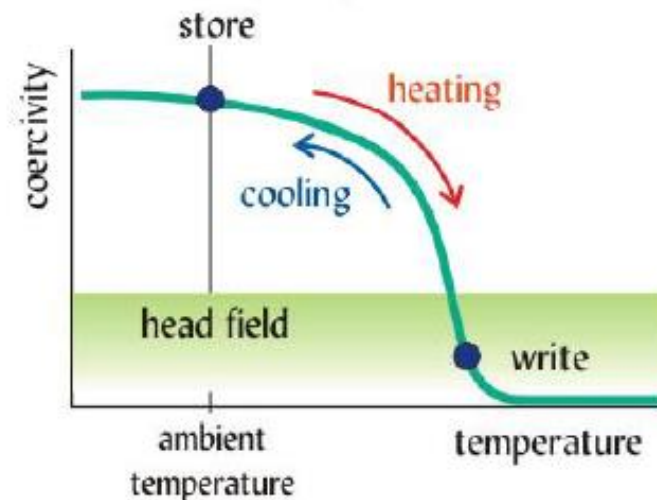
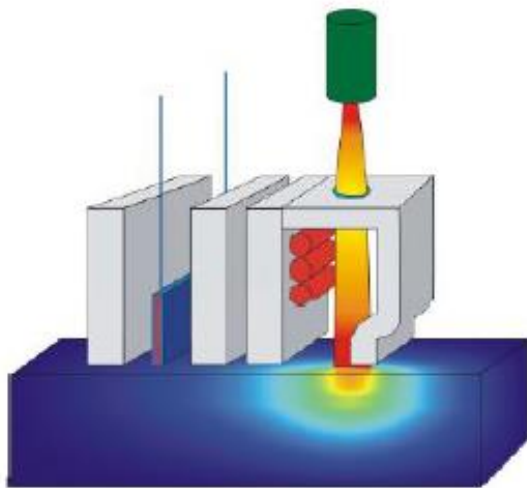


HAMR

- Kiseb méretű, de nagyobb koercivitású szemcséket használ.
 - Így a szuperparamágneses határt nem éri el.
- Nagy bitsűrűség érhető el, kb. 5Tbpsi, viszont az írás nem egyszerű.
 - „Hagyományos” módon nem írható.

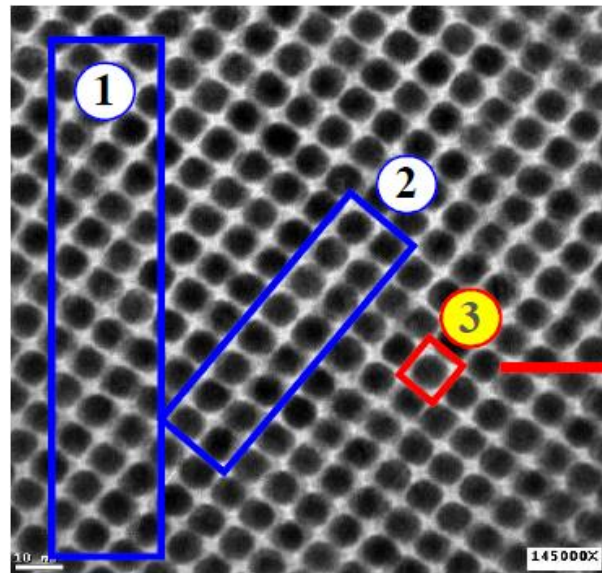


- Lézerrel megmelegítve írás közben a felszín, az átíráshoz szükséges térerősség csökkenthető.
- Így helyi melegítést alkalmazva a bit átírható, majd kihűlése után stabil marad.
- A lézer által megmelegített felszín az írás szélessége, nem a térerősség.



Végső határok a mágneses adattárolásban

- 2,5nm átmérőjű FePt nanorészecskék, 50Tbps, „Single-Grain-Per-Bit Patterned media”
- “Colossal magneto-resistivity” – THz (tera-Hertz) sebességű kiolvasás...



HDD és SSD megbízhatóság

- **Flash Reliability in Production: The Expected and the Unexpected**
- Bianca Schroeder, *University of Toronto*; Raghav Lagisetty and Arif Merchant, *Google Inc.*
- <https://www.usenix.org/conference/fast16/technical-sessions/presentation/schroeder>
- Érdekesség: az SLC nem megbízhatóbb mint az MLC

	SSD	HDD
Helyettesítési ráta:	4-10%/4év	2-9%/év
Nem javítható hiba	20%/4év	na
Bad sector	30-80%/ 4év	3,5%/32 hónap
Rossz chip	2-7%/4év	na