



Faculteit Industriële
Ingenieurswetenschappen

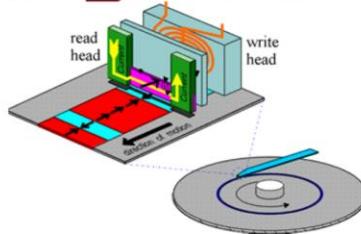


Jan Genoe

jan.genoe@kuleuven.be



Magnetische opslag



Referenties:

- [1] IEEE spectrum, “Coming Soon: Terabit Hard Disk Drives”, 19-21, february 2003
- [2] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuset, A. Friederich, and J. Chazelas, “Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices ”, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472
- [3] Solin *et al.*, [Applied Physics Letters](#), May 27, 2002
- [4] Harsh Deep Chopra and Susan Z. Hua, “Ballistic magnetoresistance over 3000% in Ni nanocontacts at room temperature”, *Physical Review B* **66**, 020403 , 2002

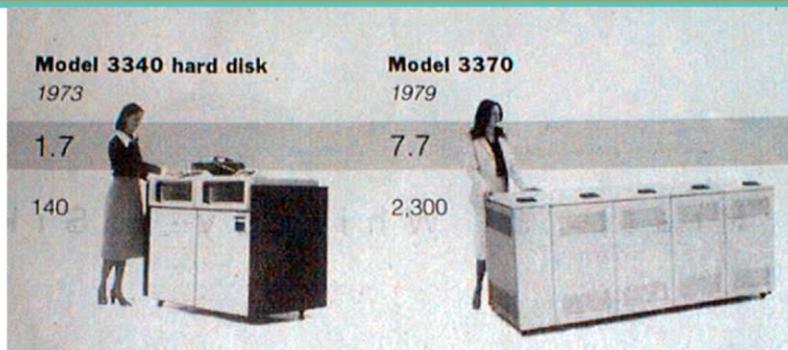


Overzicht

- Historisch perspectief
- Concepten van de magnetische opslag
- Magnetische korrel
- Traditionele meetkop
- Giant Magneto-Resistance (GMR)
- Colossal Magneto-Resistance (CMR)
- Extraordinary Magneto-Resistance (EMR)
- Ballistic Magneto-Resistance (BMR)



Historisch perspectief



1973:

1.7 Mbit/inch²

140 MBytes

1979:

7.7 Mbit/inch²

2 300 MBytes

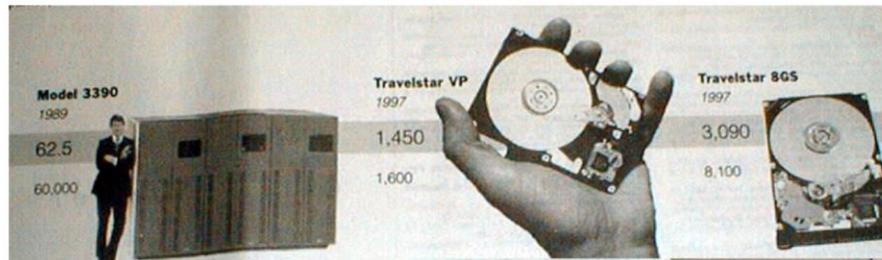
Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt | KU LEUVEN

Bron: *New York Times*, 2/23/98, page C3



Historisch perspectief



1989:
63 Mbit/inch²
60 000 MBytes

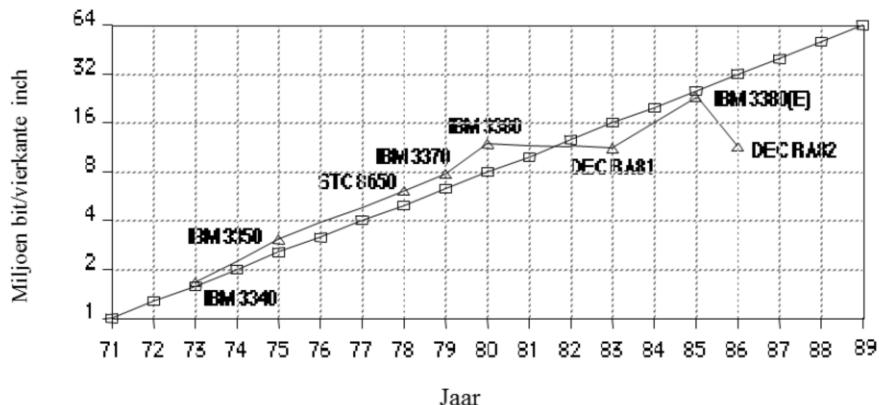
1997:
1450 Mbit/inch²
2 300 MBytes

1997:
3090 Mbit/inch²
8 100 MBytes



Eerste wet van de Hard disk densiteit

- Voor 1990: de capaciteit van de harde schijven verdubbelt om de 36 maanden



Jan Genoe: Magnetische Opslag



Hard disk densiteit-evolutie sinds 1990

- Introductie van de Giant MagnetoResistance (GMR) in 1988
- De densiteit verdubbeld alle 18 maanden
 - Bij een gelijk blijvende rotatiesnelheid verhoogt ook de data doorvoer.
- De snelheid van positionering verdubbeld alle 10 jaar.
 - De data acces tijd vergroot daardoor niet noemenswaardig



Giant MagnetoResistance (GMR)

- Nobelprijs Physica 2007



Albert Fert



Peter Grünberg

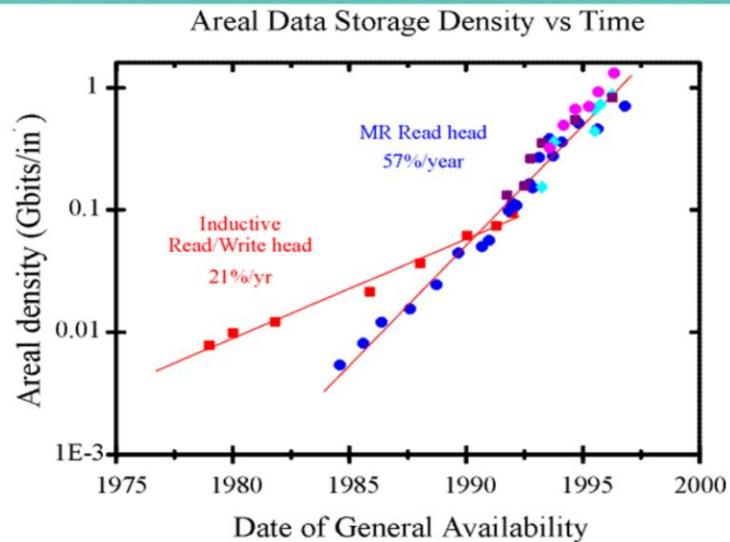
Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt | KU LEUVEN

[1] http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/index.html



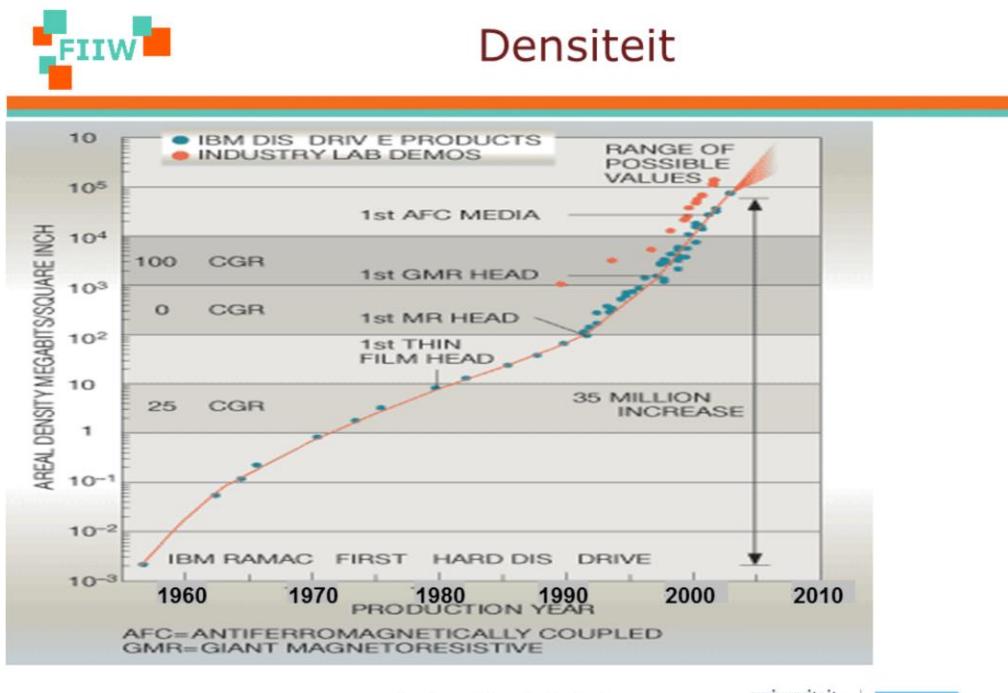
Introductie GMR leeskop



Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt

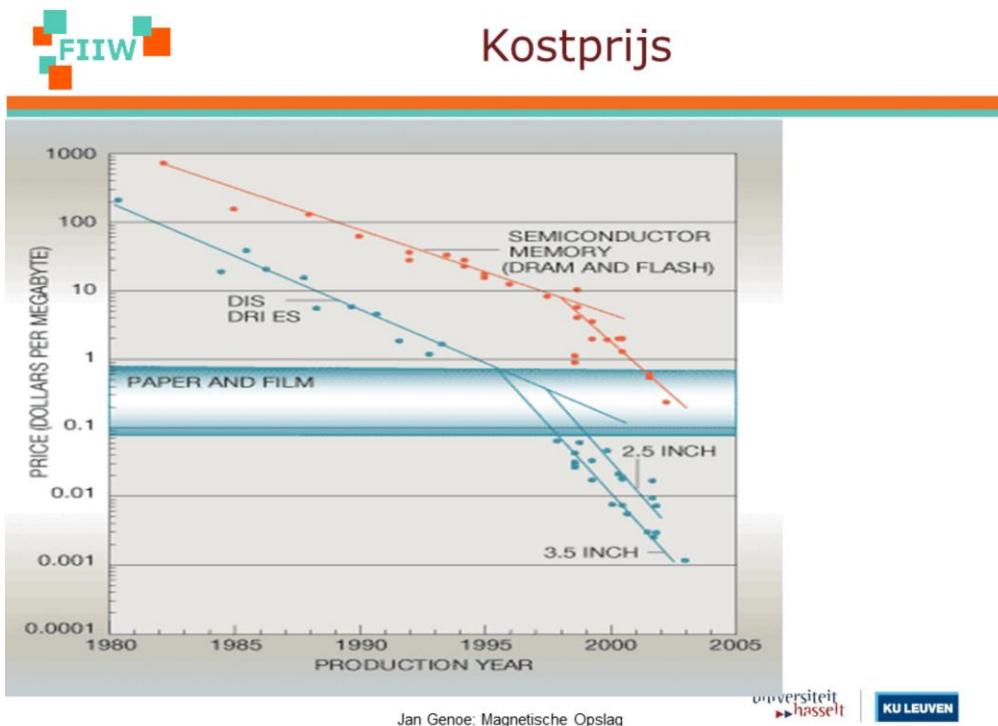
KU LEUVEN

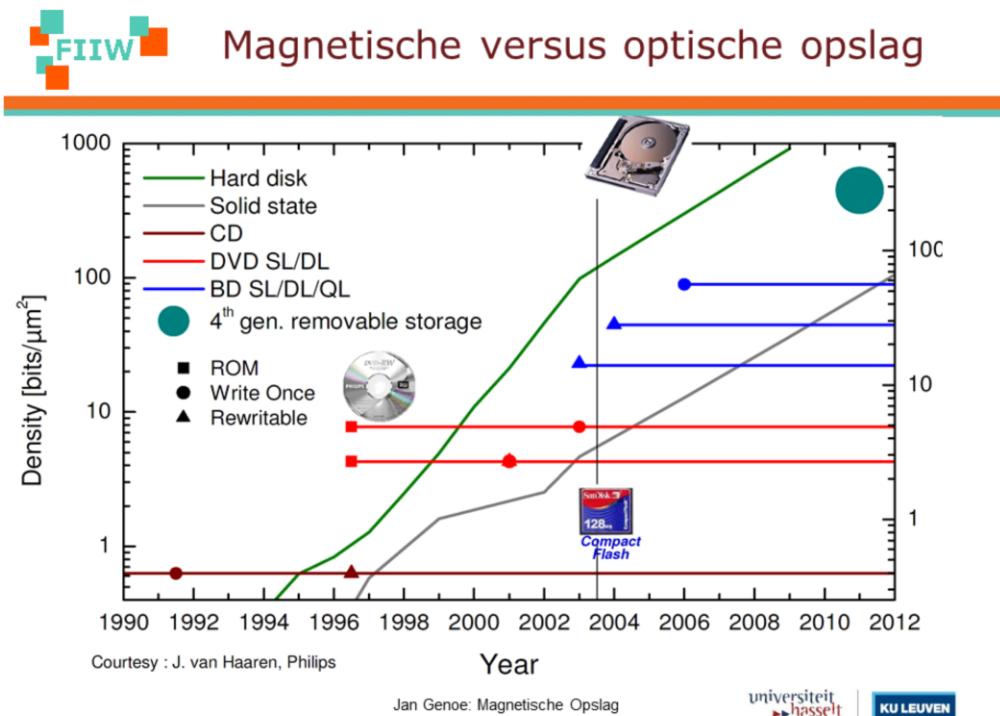


Jan Genoe: Magnetische Opslag

Universiteit
hasselt

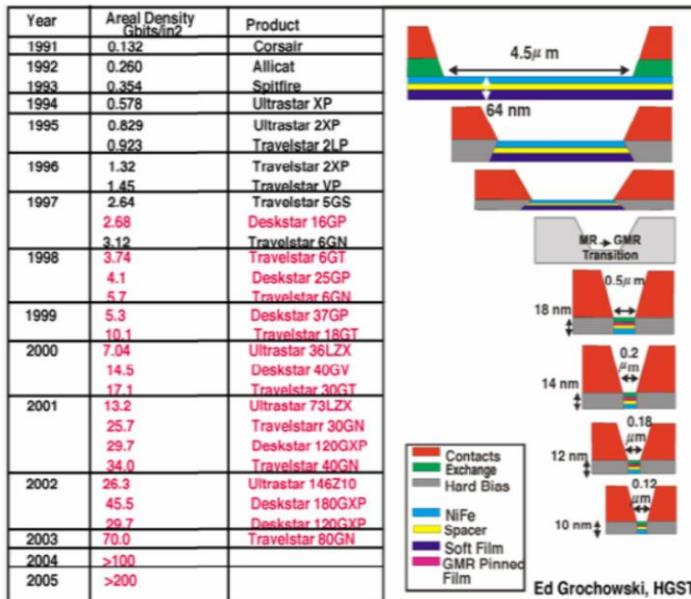
KU LEUVEN







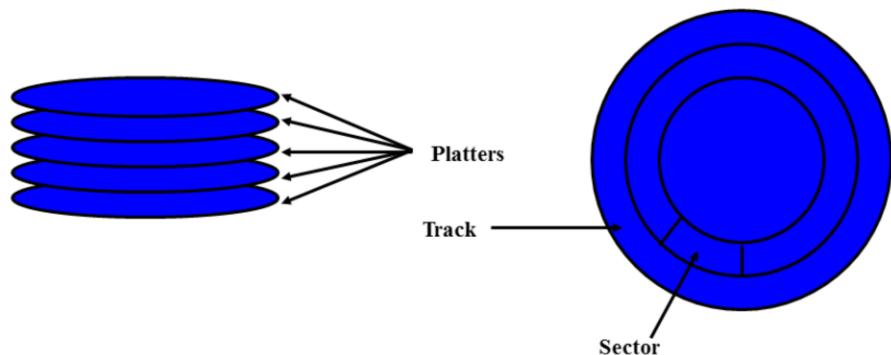
Scaling leeskop



Downscaling verloopt gelijkaardig als de halfgeleider-industrie



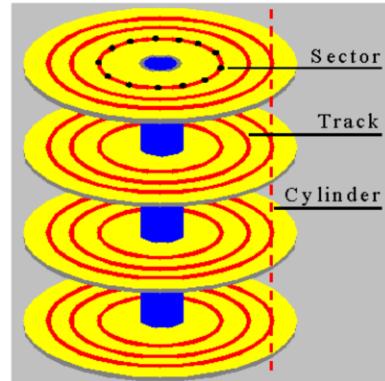
Structuur van een harde schijf





Opdeling van een harde schijf

- Een harde schijf is opgedeeld in cilinders, tracks en sectors
- De motor draait op een vast toerental (typisch 4500-10000 toeren per minuut)
 - snellere drive heeft meer koeling nodig en maakt dus meer lawaai
- De data access time (ms) bestaat uit:
 - seek time: leeskop tot de juiste cilinder
 - rotational latency: gemiddeld de helft van een omwenteling



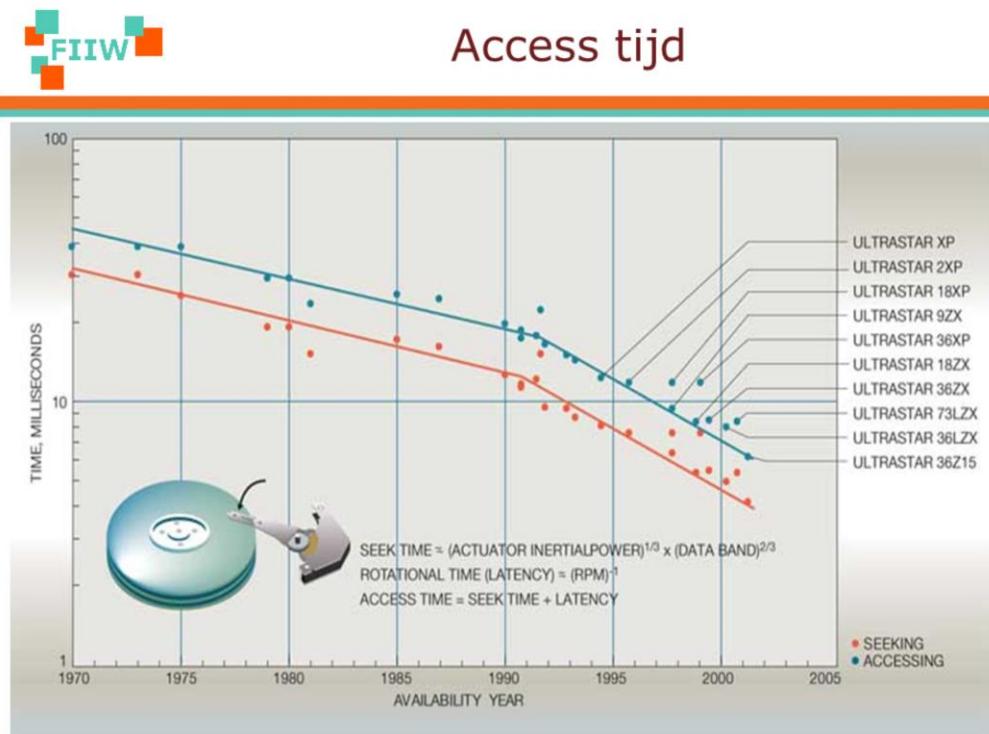


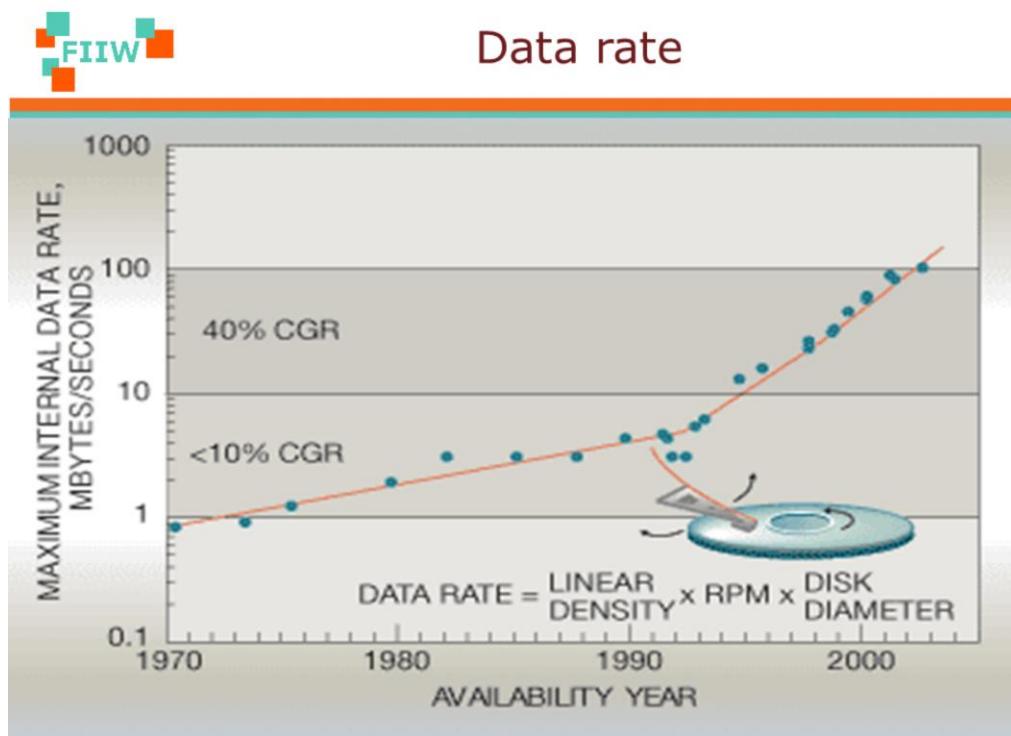
voorbeeld van een harde schijf

- 36.4 GB, 3.5 inch disk
- 12 platters, 24 surfaces
- 10,000 RPM (toeren per minuut)
- 18.3 tot 28 MB/s internal media transfer rate
- 9772 cylinders (tracks), (71,132,960 sectors total)
- Gemiddelde zoektijd: read 5.2 ms, write 6.0 ms
- Maximale zoektijd: read 12 ms, write 13 ms



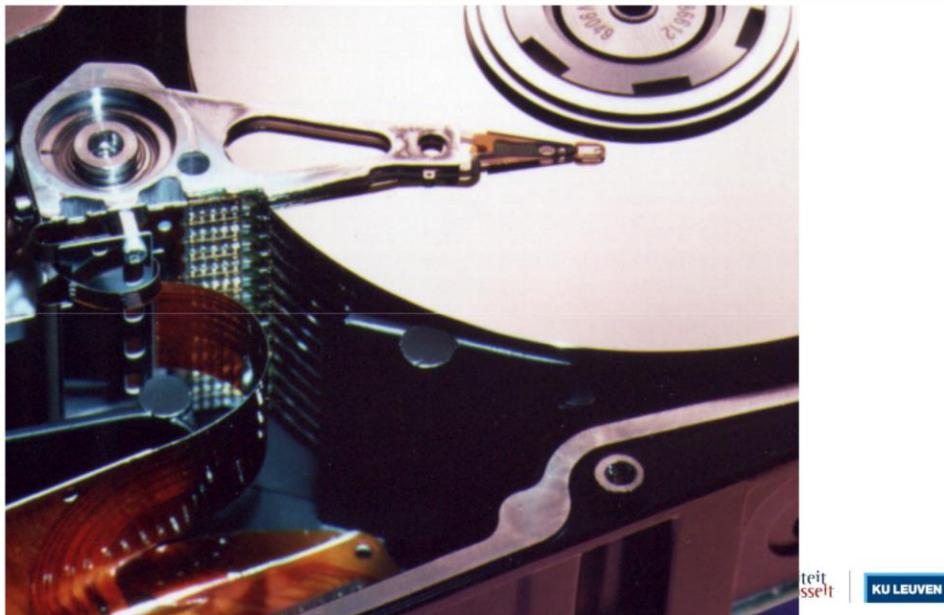
bron: www.seagate.com







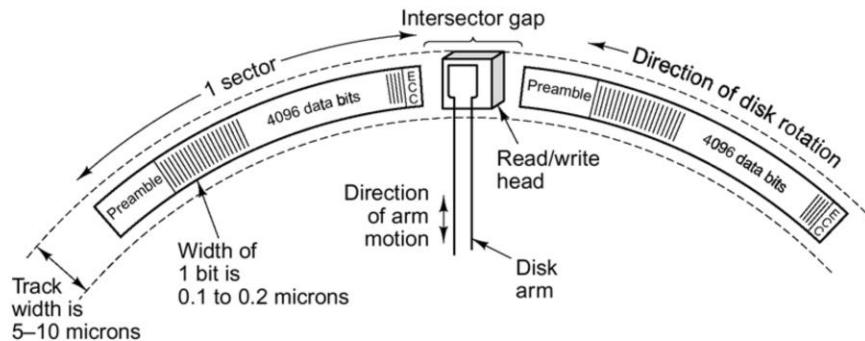
Detailfoto van een Harde Schijf



Op deze foto merken we duidelijk de verschillende delen, namelijk, de actuator, de arm; de leeskop en de verschillende platters.

Detail van een track

- De technologie van de leeskop bepaalt uiteindelijk de resolutie die kan bekomen worden
- Recente ontdekkingen (zoals onder andere GMR) hebben hierin een belangrijke vooruitgang mogelijk gemaakt.

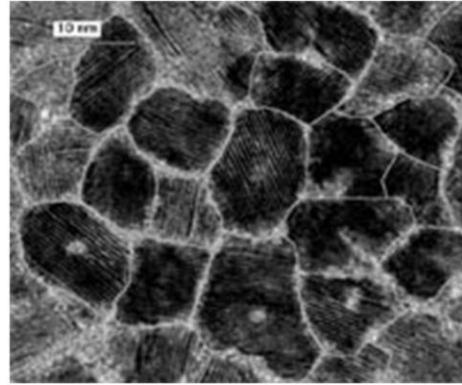
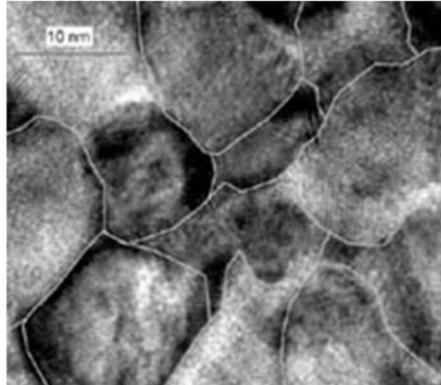


Jan Genoe: Magnetische Opslag



Magnetische korrel

- Kristal anisotropie (ligt bij normale groei steeds in het vlak)
- Vorm anisotropie

10 gigabits/inch²25 gigabit/inch²

Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt

KU LEUVEN

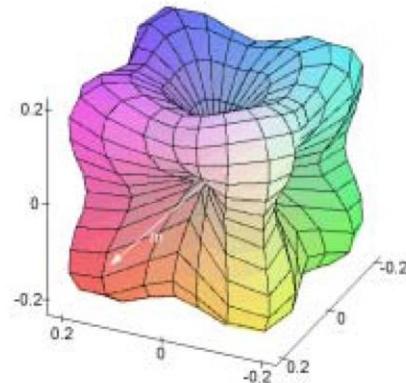
[1] TEM foto's van

http://www.research.ibm.com/resources/news/20010518_whitepaper.shtml



Magnetische energie van een kubische korrel

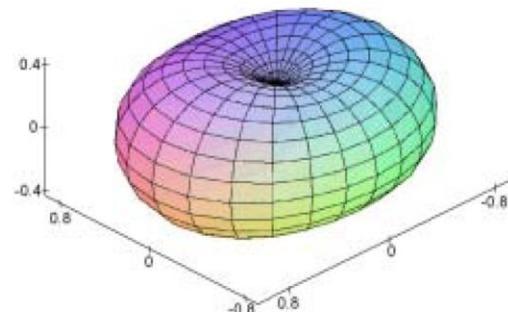
- De 6 kristalrichtingen geven ook de 6 voorkeurrichtingen van de magnetisatie
- Een magnetisatie in een andere richting levert een hogere energie op.





Magnetische energie van een langwerpige korrel

- We merken dat er slechts 2 richtingen van minimale energie overblijven





Arrhenius formule

$$f = f_o \exp\left(\frac{-\Delta E}{k_b T}\right)$$
$$\Delta E = K_1 V + \vec{M} \cdot \vec{H}$$

- De anisotropie (K_1) en het Volume (V) bepalen sterk de waarschijnlijkheid tot omklappen, naast het magnetisch moment (\vec{M}) en het extern magnetisch veld (\vec{H})

f is de frequentie (en dus ook de waarschijnlijkheid per tijdseenheid bij een lage frequentie) van het spontaan omklappen van een magnetische korrel. Wanneer we het volume (V) van de korrels verkleinen zal het spontaan verhogen (bv van 1 maal per 10 jaar naar 1 maal per jaar). We kunnen dat compenseren door een ander materiaal te kiezen waarbij K_1 groter is. Als we een voldoende groot magneetveld aanleggen kunnen we de omklapfrequentie verhogen tot 1/us. Als het magneetveld dan bv 10 us aangelegd wordt, zal de korrel zeker omklappen.



Superparamagnetic effect

- Een structuur waarbij de oriëntatie antiparallel ligt heeft een lagere energie
- Hoe kleiner de korrel, hoe lager de barrière
 - grotere kans om te klappen door het thermisch effect of door magnetische storingen
- Oplossing: grotere coerciviteit
 - moeilijker te beschrijven (grotere stromen nodig)



Traditionele magnetische korrels

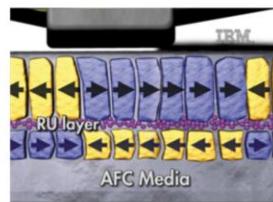
- Om crosstalk in de leeskop te voorkomen, moet de dikte van de laag in dezelfde orde zijn dan de grote van de korrels





Antiferromagnetically-coupled (AFC) media

- De korrels kunnen hier wel kleiner zijn dan de dikte van de laag.
 - De effectieve dikte van de korrel is hier het verschil tussen de diktes van beide lagen.



Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt

KU LEUVEN

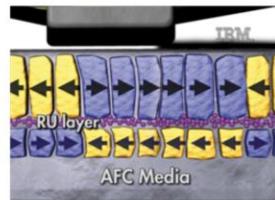
[1] Fullerton, E.E., Margulies, D.T., Schabes, M.E., Carey, M., Gurney, B., Moser, A., Best, M., Zeltzer, G., Rubin, K., Rosen, H., Doerner, M., **Antiferromagnetically Coupled Magnetic Media Layers For Thermally Stable High Density Recording**, Appl. Phys. Lett., 77, 3806 (2000).

[2] http://www.research.ibm.com/resources/news/20010518_pixie_dust.shtml



Antiferromagnetically-coupled (AFC) media

- De tussenlaag is een ruthenium (Ru) laag (niet magnetisch) van 3 atoomlagen dik die ervoor zorgt dat de 2 lagen antiferro-magnetisch gekoppeld zijn.





antiferromagnetically-coupled (AFC) media

- De densiteit verhoogt met een factor 4
- De thermische stabiliteit verhoogt enorm
- Toch gemakkelijk te beschrijven
- De superparamagnetische limiet wordt hierdoor verschillende jaren achteruit geschoven

Ontdekking Ru-eigenschap:	IBM 1990
Gebruik in Harddisks:	Vanaf 1997



Zoektocht naar verticale magnetisatie

- Hierdoor kunnen veel hogere bit-densiteiten bekomen worden zonder dat het volume van de korrel kleiner dient te worden
- Speciale technieken zullen nodig zijn om dit ooit te kunnen bekomen
 - bv : depositie van de magnetische laag onder een sterk magnetisch veld



Traditionele meetkop

- Een spoel wordt gebruikt om het magnetische veld te schrijven en om het magnetisch veld te meten.
- Aangezien het magnetisch veld zwakker wordt naarmate de korrels kleiner worden, zal de leeskop steeds dichter tegen de korrels moeten geplaatst worden.
- Hetzelfde geldt voor het schrijven.
- Deze zeer korte afstand heeft tot gevolg dat trillingen tot belangrijke schade kunnen leiden.



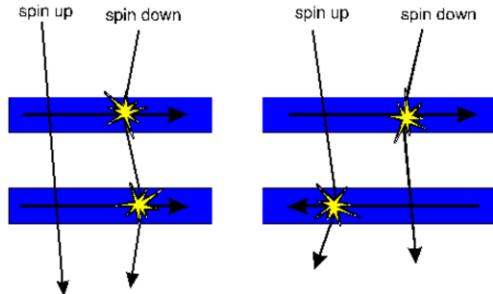
Probleemstelling

- Schrijfproces
 - Zeer kleine spoeltjes kunnen gemakkelijk gemaakt worden met de technieken van de micro elektronica
- Leesproces
 - Hoe kleiner de korrel, hoe zwakker het magnetisch veld.
 - Hoe zwakker het magnetisch veld, hoe moeilijker een verandering te meten
 - Hoe gevoeliger de leeskop, hoe kleiner de magnetische korrels mogen zijn.



Giant Magneto-resistance (GMR)

- In aanwezigheid van een magnetisch veld zal een elektron zijn spin richten volgens dit magnetisch veld.
- Bij doorgang van een laag waar het magnetisch veld anders gericht is, is interactie nodig



Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt | KU LEUVEN

In het linker voorbeeld merken we dus dat de helft van de elektronen gemakkelijk doorheen de structuur kunnen gaan zonder interactie. Alle elektronen in het rechter voorbeeld zullen dienen te interageren met het rooster om erdoor te kunnen gaan. De rechter structuur zal dus een veel hogere weerstand hebben.

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Giant_magnetoresistive_effect

Voor hun werk op het GMR effect kregen Albert Fert en Peter Grünberg de Nobelprijs Natuurkunde in 2007.



Structuur GMR leeskop

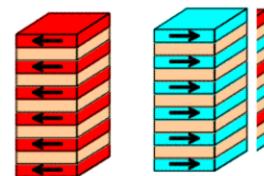
- Dunne magnetische lagen, bijvoorbeeld Cobalt/ijzer legeringen worden afgewisseld met niet magnetische geleiders, bijvoorbeeld koper in een sandwich structuur
- Stroom loopt verticaal doorheen de structuur
- De spanning wordt gemeten.



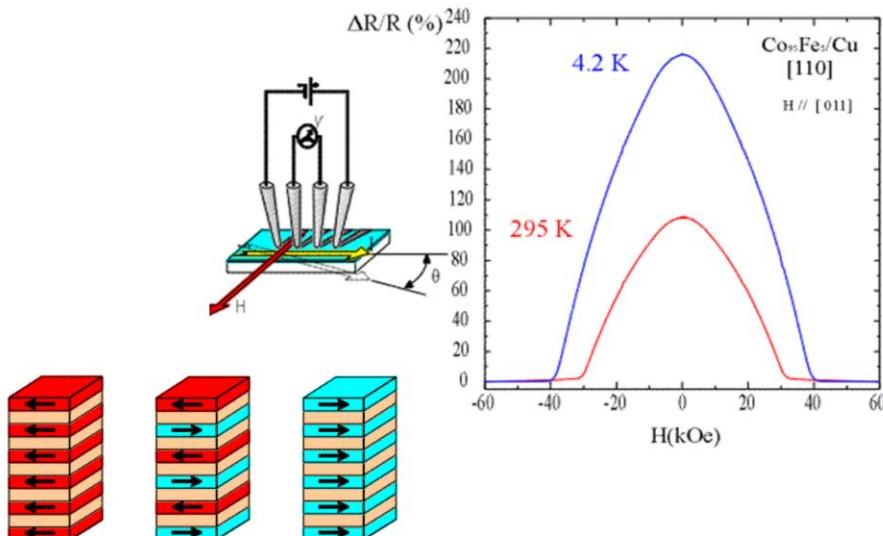


Werkingsprincipe (1)

- Met een sterk magnetisch veld in één richting gaan alle magnetische lagen in diezelfde richting gemagnetiseerd zijn.
- Een sterk magnetisch veld in de andere richting levert natuurlijk het omgekeerde op
- Een klein magnetisch veld zal echter een afwisselend magnetisch veld opleveren



Werkingsprincipe (2)

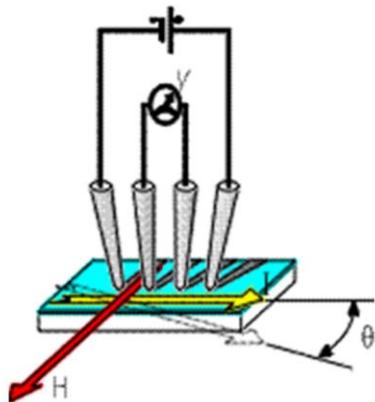


Jan Genoe: Magnetische Opslag

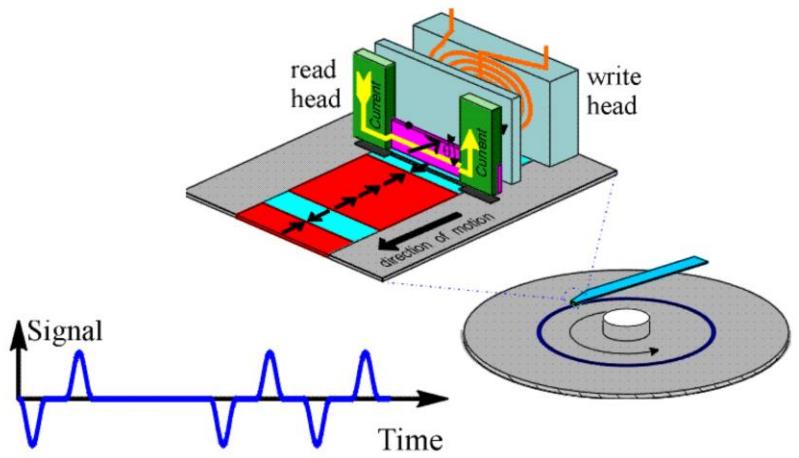
universiteit
hasselt | KU LEUVEN



Principe van de vierpuntsmeting



- Aan de hand van de vierpuntsmeting kunnen alle effecten van de contacten uitgeschakeld worden
- Een nauwkeurige weerstandsmeting wordt bekomen



Jan Genoe: Magnetische Opslag

 | 

Merk op dat de leeskop na de schrijfkop komt (de kop staat stil en de schijf draait). Dit laat toe te verifiëren nadat er geschreven is, en eventueel terug te corrigeren (opnieuw schrijven). Storingen en fouten op de harde schijf plaat kunnen het schrijfproces dus sterk vertragen.



Limiet GMR

- De actuele densiteit die met een GMR leeskop kan bekomen worden is: 2.33 Gb/cm^2
- Het magnetisch zijn van de leeskop is de oorzaak van deze limiet



Extraordinary magnetoresistance

- Maakt gebruik van niet-magnetische hybride materialen, zoals InSb.
- 1300 % verschil in gemeten weerstand
- Toename densiteit met een factor 40

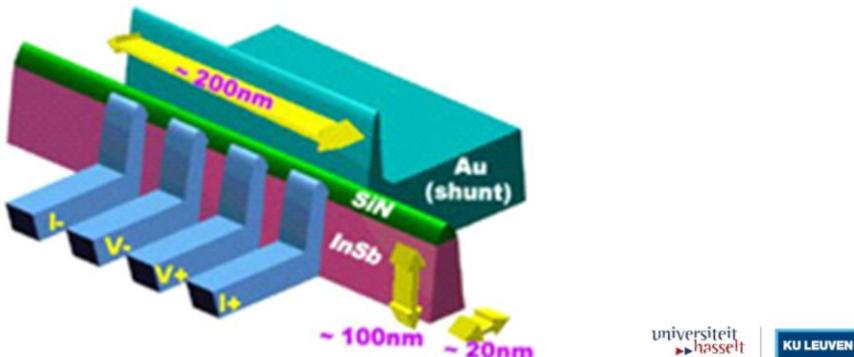
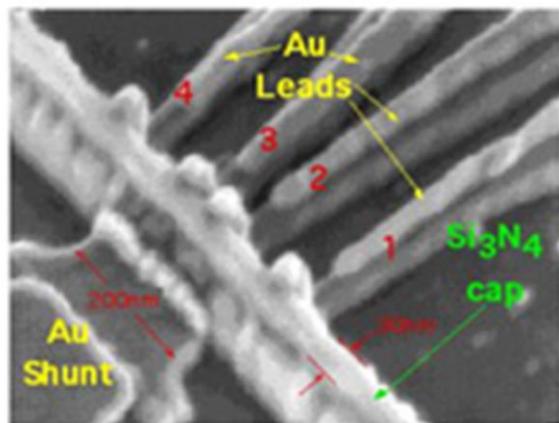




Foto van een EMR leeskop



Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt | KU LEUVEN



Colossal magnetoresistance (CMR)

- Ook hier wordt 1300 % weerstandsverandering bekomen
- lanthanum-magnesium-oxide



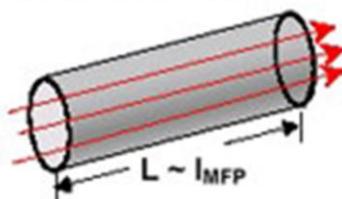
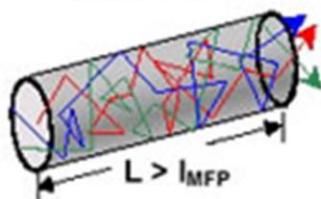
Ballistic magnetoresistance

- Structuur gemaakt uit Nikkel
- Weerstandsverandering van meer dan 3000 % mogelijk onder invloed van een magnetisch veld



Wat is ballistisch transport?

- Bij een normale geleider (normaal elektrisch transport) is de weglenge die afgelegd wordt door een elektron tussen 2 botsingen (L_{MFP}) veel korter dan de lengte van de geleider (L).
- Bij ballistisch transport gebeuren er zo goed als geen botsingen van de elektronen gedurende het transport doorheen de geleider.



Jan Genoe: Magnetische Opslag

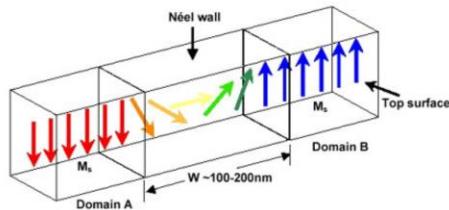
Universiteit
hasselt | KU LEUVEN

De afkorting MFP staat voor Mean Free Path.



Wat is een Néel wand

- De scheiding tussen 2 magnetische domeinen wordt een Néel wand genoemd. Als de wand breder is dan 100 nm is het ballistisch transport verwaarloosbaar

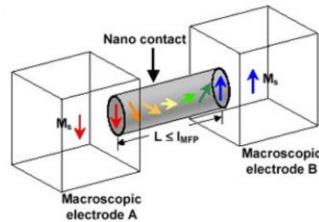


Deze scheiding is genoemd naar Louis Néel (1904-2000, Grenoble, France) die deze magnetische domeinen bestudeerd heeft. Hij won de Nobelprijs Physica in 1970.



Structuur / geen ballistisch transport / grote R

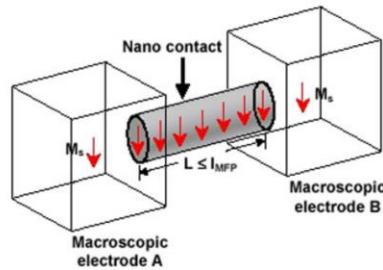
Wanneer een verbinding kan gemaakt worden die veel korter is dan 100 nm, is er een ballistisch transport mogelijk. Hier treed dit niet op omdat de spin van de elektronen moet veranderen en dus interactie noodzakelijk is





Structuur / ballistisch transport/ lage R

Wanneer de magnetisatie richting van beide contacten gelijk is, is er wel ballistisch transport en is er dus een extreem lage weerstand

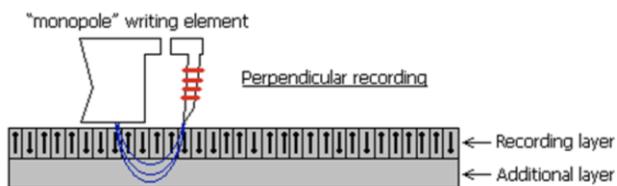




Verticale magnetisatie (PMR)



dat en dus zeer
f gebracht
chijven kunnen



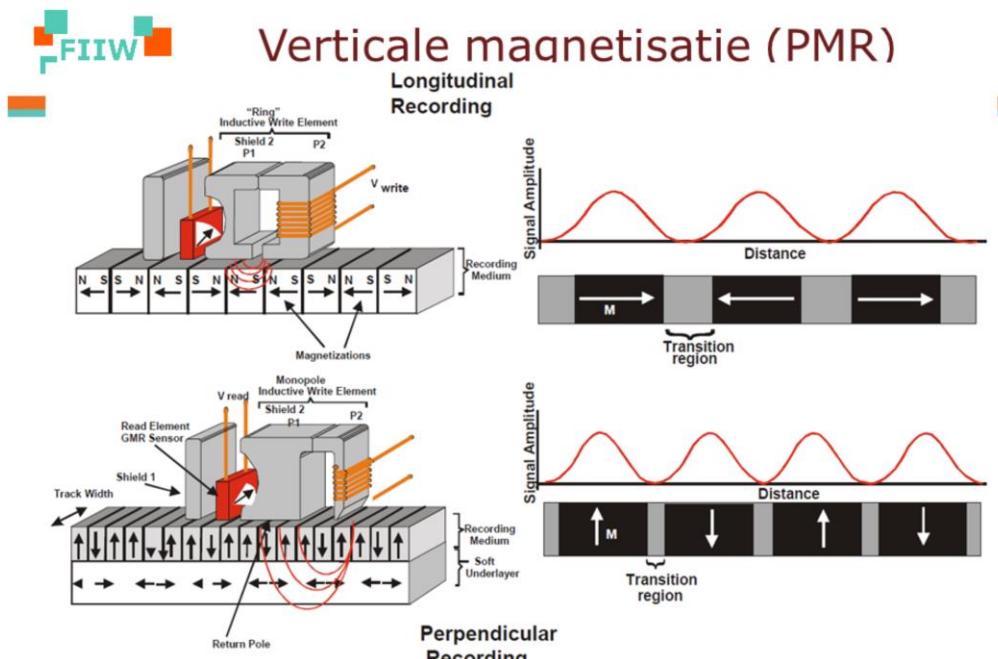
Jan Genoe: Magnetische Opslag

universiteit
hasselt

KU LEUVEN

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Perpendicular_recording

[2] Y. Tanaka, "perpendicular recording technology: From research to Commercialization", Proc. IEEE 96, 1754 (2008)



Jan Genoe: Magnetische Opslag

