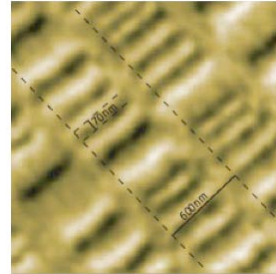
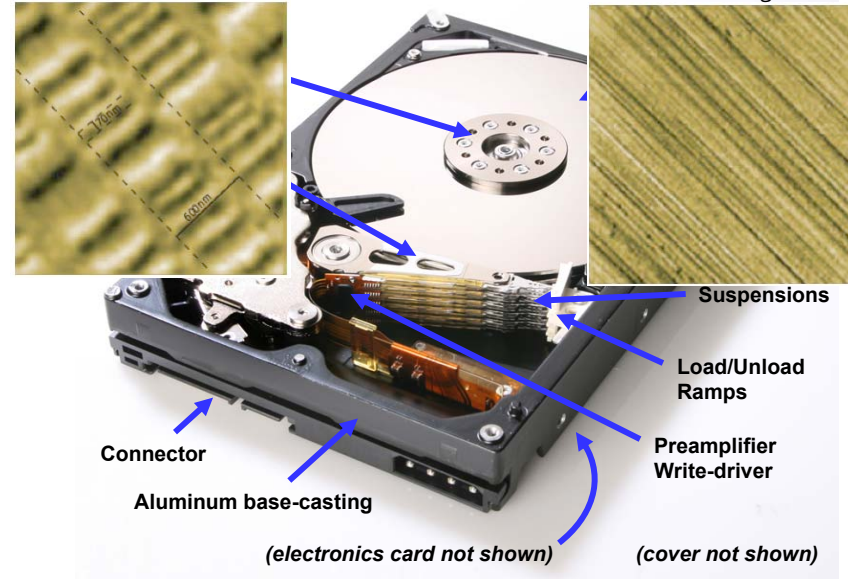
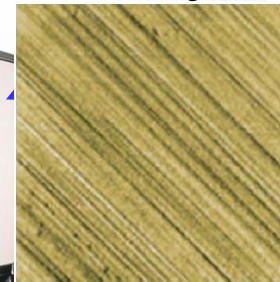


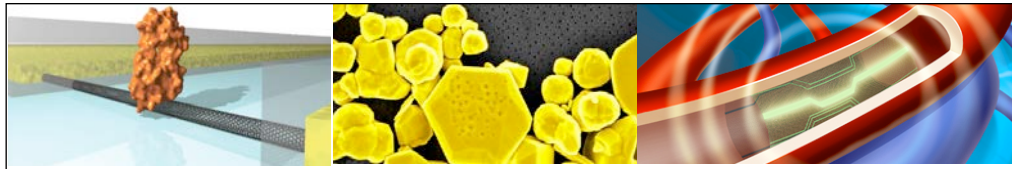
Festplattenkomponenten & -struktur

2x2µm Magnetokraftaufnahme
aktuelle Bit-Größe 50x20nm



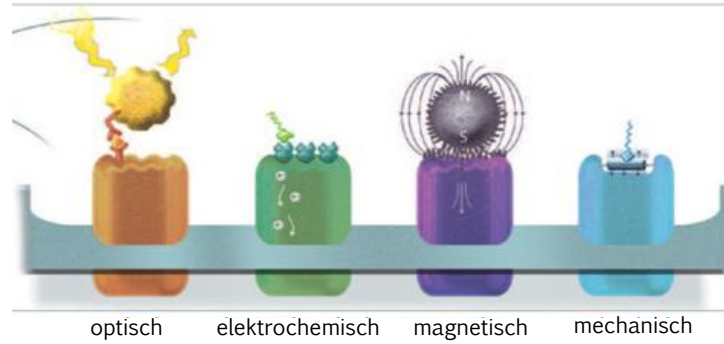
2x2µm Rasterkraftaufnahme
Oberflächenrauigkeit 5nm





Nanosensorik

Heute: Riesenmagnetowiderstand



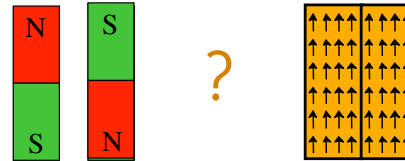
Am Anfang eine Frage

In den frühen 80er Jahren...

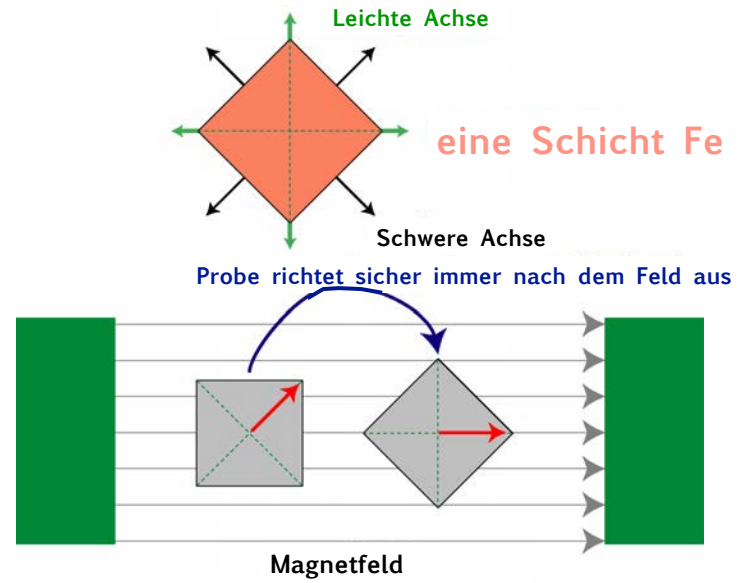


Peter Grünberg

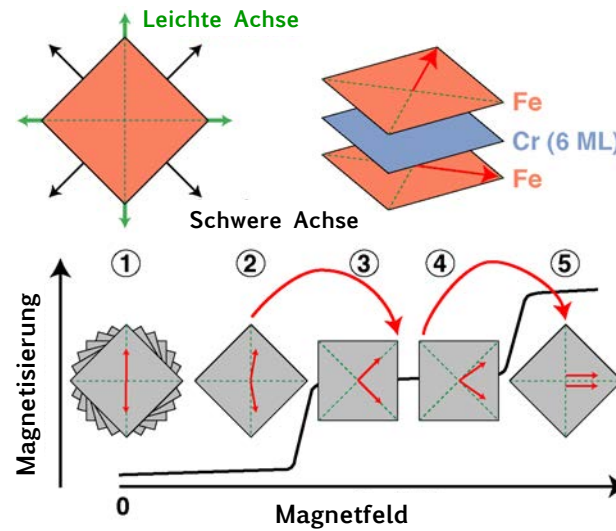
“Was passiert, wenn ich zwei
Magneten nah - ich meine *richtig*
nah - zusammen bringe?”



Anisotropie - der "normale" Kompass



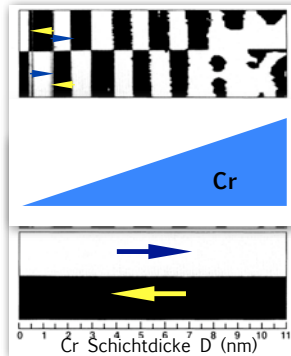
Zwischenschichtaustauschkopplung



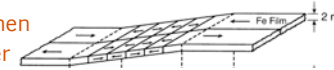
Oszillatorische Zwischenschicht Austauschkopplung

- Tritt nur bei Zwischenschichten auf, die wenige Nanometer dünn sind
- Wird bei verschiedenen metallischen Zwischenschichten beobachtet (siehe [1] für ein "Periodensystem der Zwischenschichtkopplung")
- Oszilliert als Funktion der Schichtdicke D

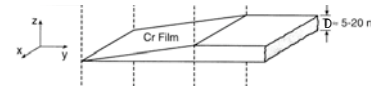
Raster Elektronenmikroskop mit Spin Analyse (SEMPA) [2]:



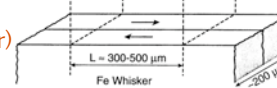
3) Abbildung der Domänen der Fe Schicht auf der Cr Schicht



2) Keilförmige Cr Zwischenschicht



1) Fe Einkristall (whisker) mit zwei Domänen



[1] S.S.P. Parkin, Phys. Rev. Lett. **67**, 3598 (1991)

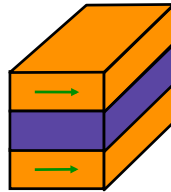
[2] J. Unguris et al., Phys. Rev. Lett. **67**, 140 (1991)

Zwischenschichtaustauschkopplung

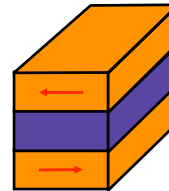
Zwei ferromagnetische Schichten getrennt durch dünne Zwischenschicht

Ferromagnet / Normales Metall / Ferromagnet

Ferromagnetische Schichten wechselwirken über die Zwischenschicht hinweg und orientieren sich (abhängig von der Dicke der Zwischenschicht):



...parallel...
"ferromagnetische Kopplung"

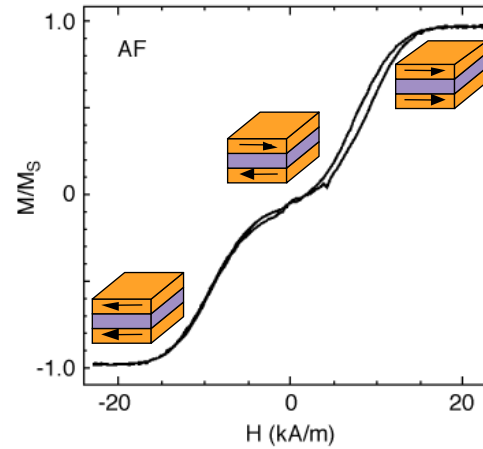


...antiparallel...
"antiferromagnetische Kopplung"

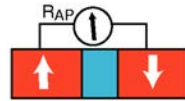
P. Grünberg *et al.*, Phys. Rev. Lett. **57**, 2442 (1986); M. Rühlig *et al.*, phys. stat. sol. (a) **125**, 635 (1991)

Kontrolle der Magnetisierungsrichtung

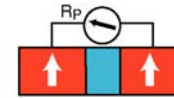
Antiferromagnetische Zwischenschichtkopplung erlaubt Schalten zwischen paralleler und antiparalleler Ausrichtung durch Anlegen eines äußeren Magnetfeldes H



1988: ...gleichzeitig, aber unabhängig...



“Hängt der elektrische Widerstand von der magnetischen Ausrichtung ab?”



Albert Fert



Peter Grünberg

Nobelpreis in Physik 2007

Riesenmagnetowiderstand (GMR)



Der elektrische Widerstand hängt von der **relativen magnetischen Ausrichtung** der ferromagnetischen Schichten ab

$$\text{GMR} = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P}$$

19% für Drei-Schichten bei RT
80% für Mehrschichten bei RT

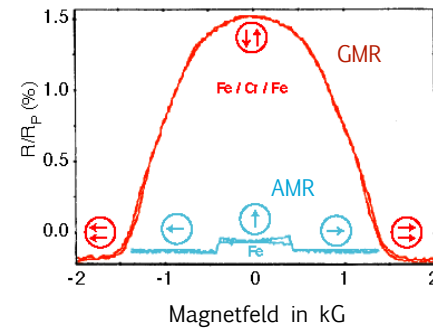
GMR ist viel **größer als der anisotrope Magnetowiderstand (AMR)**

Erste Beobachtung des GMR

Beide Experimente benutzen **antiferromagnetische Zwischenschichtkopplung** zur **antiparallelen Ausrichtung**

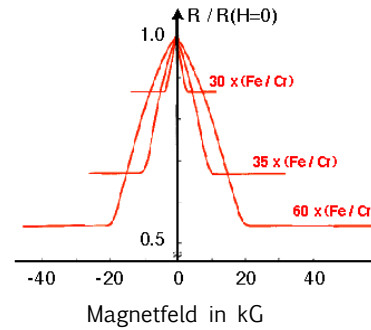
P. Grünberg, FZJ [1]

Fe/Cr/Fe Dreischicht: 1,5% bei RT



A. Fert, Paris-Sud [2]

Fe/Cr Mehrschichten: 80% bei 4.2 K



[1] G. Binasch, P. Grünberg *et al.*, Phys. Rev B **39**, 4828 (1989)

[2] M.N. Baibich, A. Fert *et al.*, Phys. Rev. Lett. **61**, 2472 (1988)

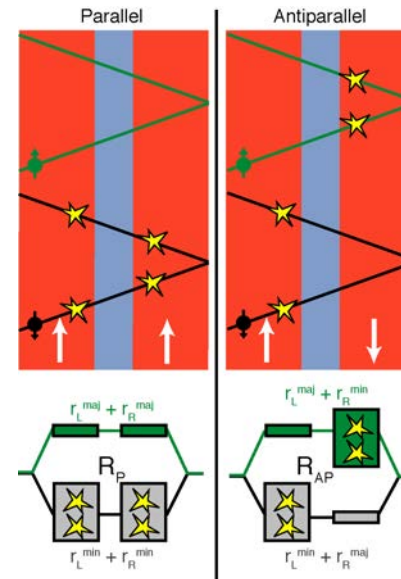
Spinabhängige Streuung

1) Spinabhängige Streuung:

$$r^{\min} \neq r^{\max}$$

2) Mottisches Zweistrom-Modell:

Zwei unabhängige Stromkanäle für "Spin-Auf" und "Spin-Ab" Elektronen (Spins behalten ihre Richtung bei Streuung)



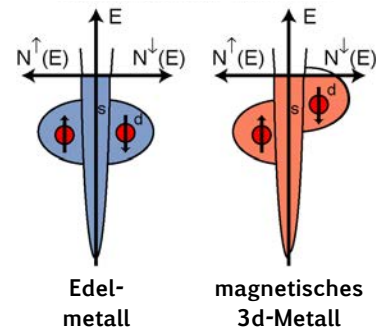
Asymmetrie der Spinstreuung

Ursache der spinabhängigen Streuung liegt in der **spinaufgespaltenen Zustandsdichte (DOS)** der 3d Übergangsmetalle:

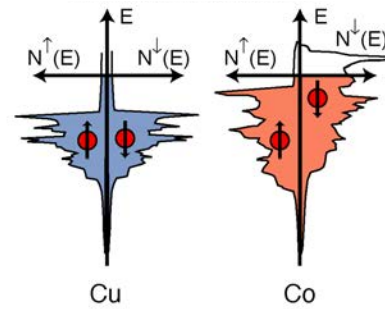
Minoritätenwiderstand $r^{\min} \neq$ Majoritätenwiderstand $r^{\max}$

$$r^{\max, \min} \propto \text{DOS}^{\max, \min}(E_F)$$

schematische spinaufgespaltene DOS



realistische spinaufgespaltene DOS





Ihr Feedback ist gefragt

Nehmen Sie einen leeren Zettel und schreiben auf:

1) Was ist das Wichtigste, das Sie heute gelernt haben?
(können auch mehrere Punkte sein)

2) Was haben Sie nicht verstanden?

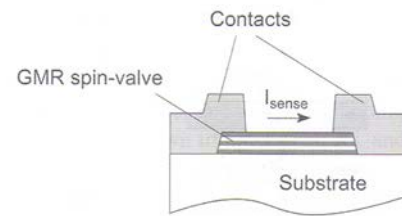
3) Was hätten Sie gerne vertieft?

beschriebenen Zettel bitte auf dem Tisch am Ausgang ablegen

DANKE

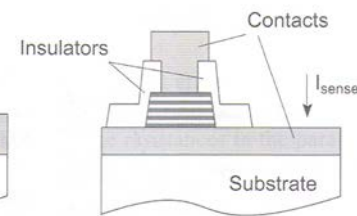
Messgeometrien

Strom in Schicht-Ebene
CIP



(a) CIP-element

Strom senkrecht zur Schichtebene
CPP

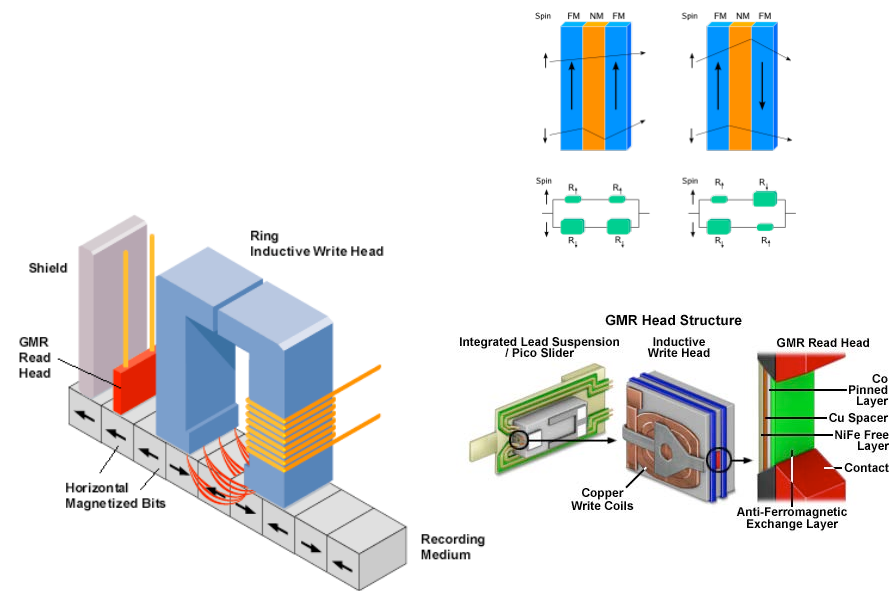


(b) CPP-element

R

- Erste GMR Experimente in CIP Geometrie
- CPP Geometrie benötigt kleine Kontaktflächen ($\ll 1 \mu\text{m}$)

Magnetic recording basics



HD read heads

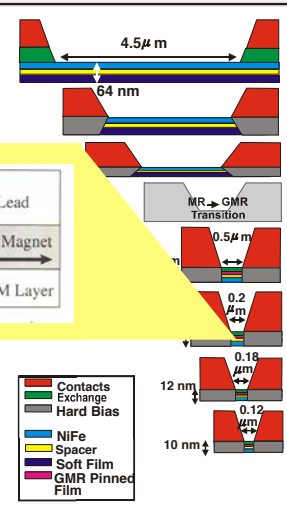
HITACHI
Inspire the Next

MR/GMR Read Head Evolution

Year	Areal Density Gbits/in ²	Product
1991	0.132	Corsair
1992	0.260	Allicat
1993	0.354	Splitfire
1994	0.578	Ultrastar XP
1995	0.829	Ultrastar 2XP
1996	0.923	Travelstar 2L P
1996	1.32	Travelstar 2XP



2001	13.2	Ultrastar 73LZX
	25.7	Travelstar 30GN
	29.7	Deskstar 120GXP
	34.0	Travelstar 40GN
2002	26.3	Ultrastar 146Z10
	45.5	Deskstar 180GXP
2003	29.7	Deskstar 120GXP
	70.0	Travelstar 80GN
2004	>100	
2005	>200	



Ed Grochowski

San Jose Research Center

©Hitachi Global Storage Technologies