Spintronics: Elektronentennis mit Drall

Andreas Grois

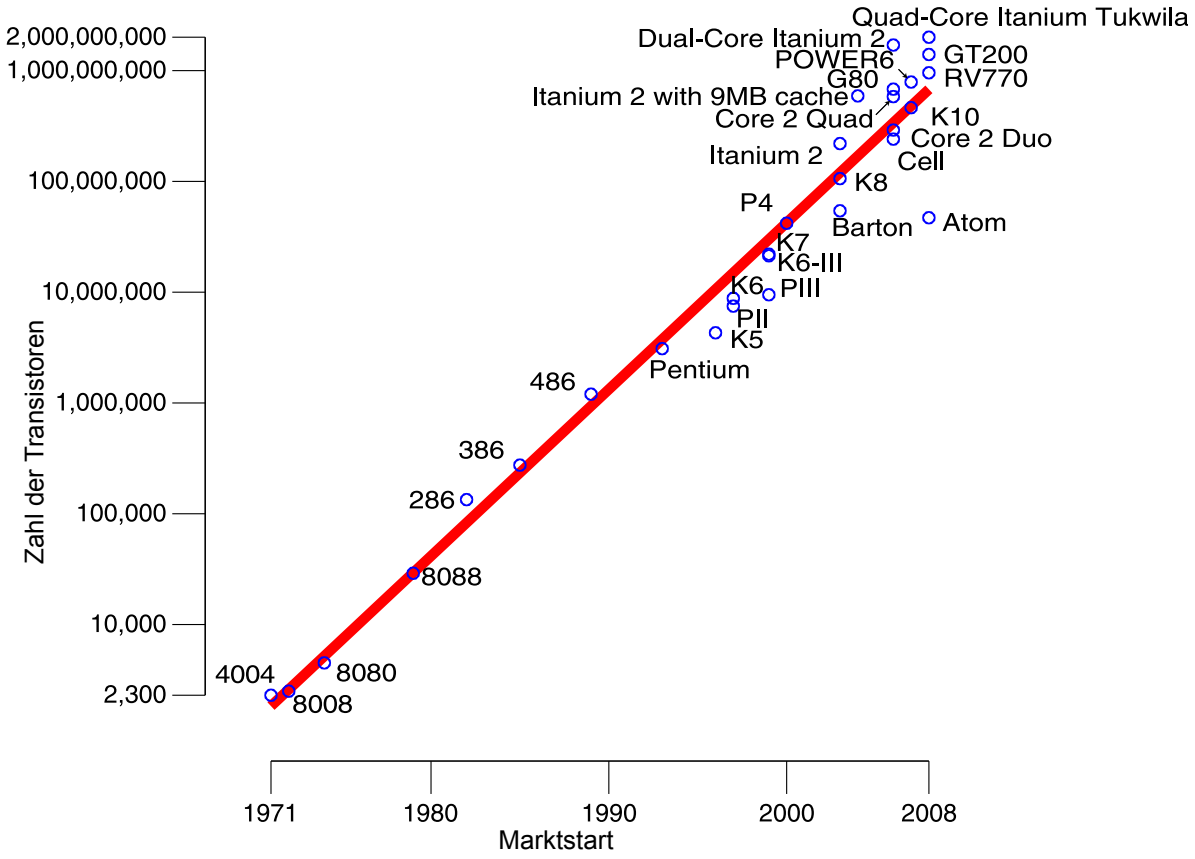
Institut für Halbleiter- und Festkörperphysik
Johannes Kepler Universität Linz

28. April 2011

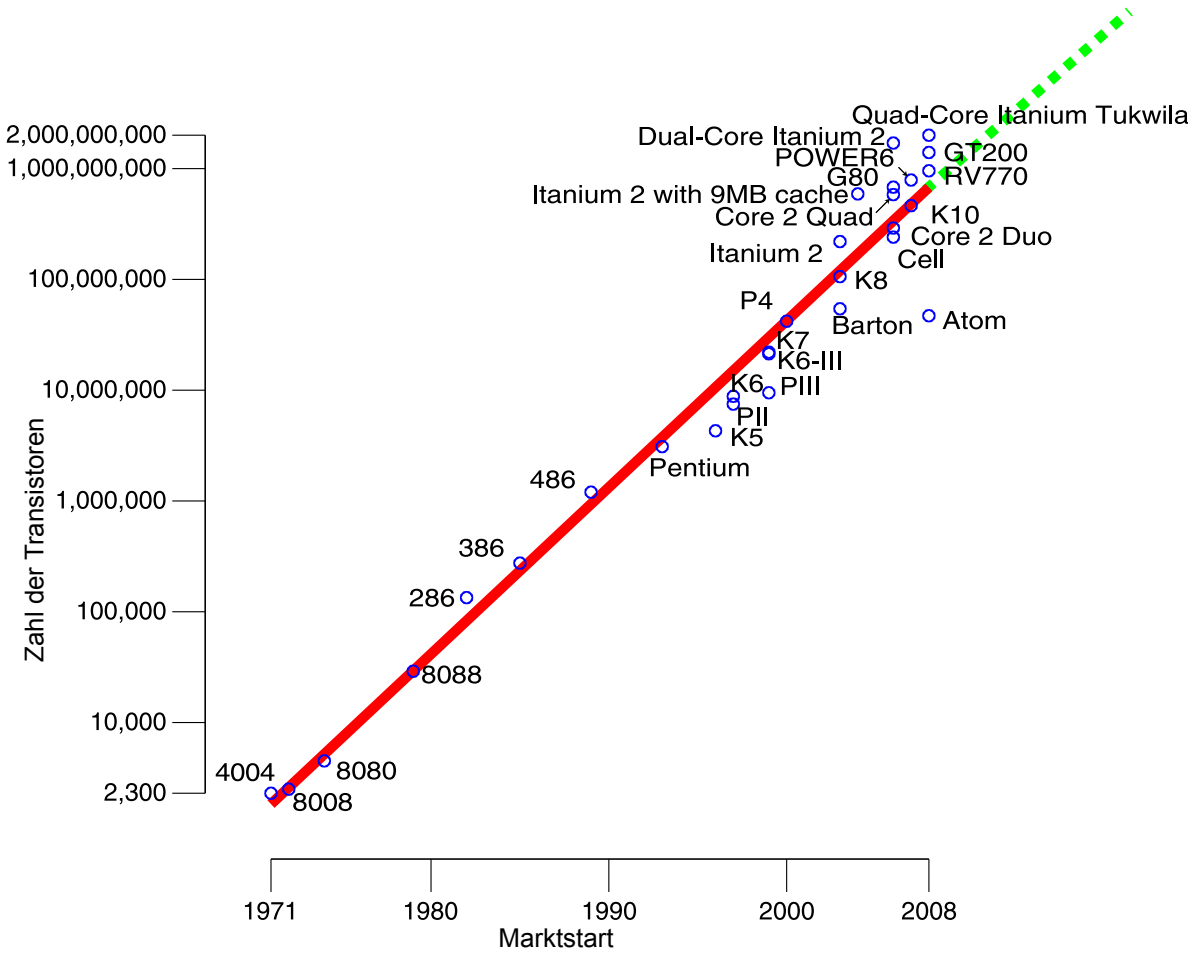
Inhaltsübersicht

1. Elektronik und Magnetismus
2. Spintronik
   - Grundlagen
   - Beispiele
3. Verdünnt magnetische Halbleiter
   - Auf dem Weg zum Raumtemperatur-DMS
   - Anwendung von ZnO und GaN

Das Moore'sche Gesetz



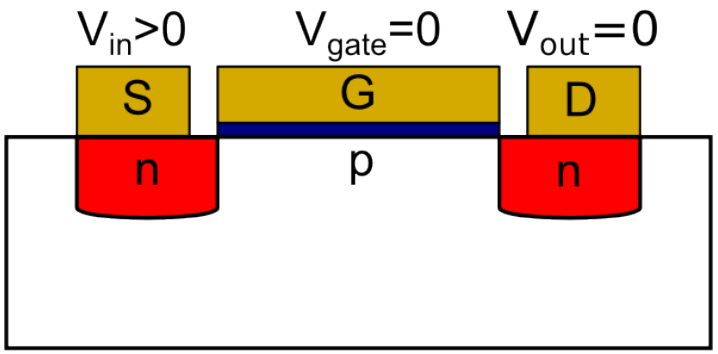
Das Moore'sche Gesetz

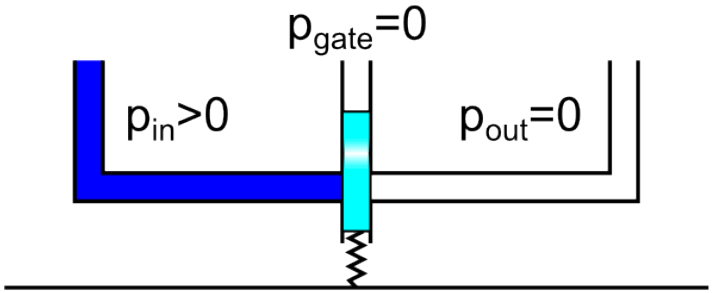


Um diesen Trend fortzusetzen müssen neue Wege beschritten werden.

Halbleiterelektronik und Magnetismus

Der Transistor und die Festplatte





Nutzt nur elektrische Ladung

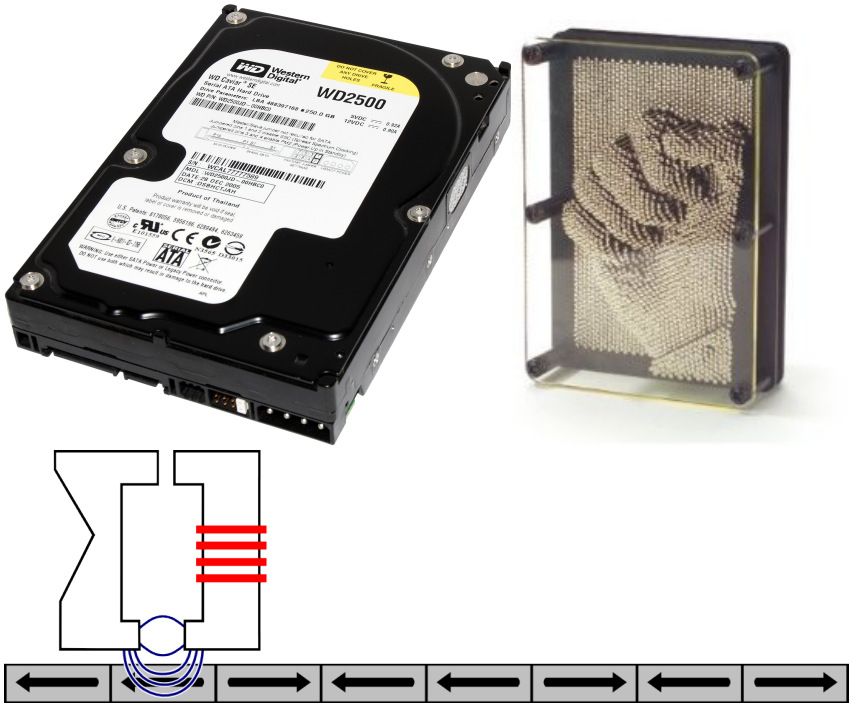
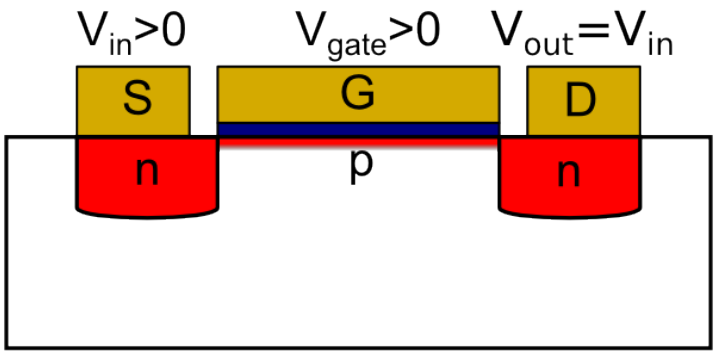


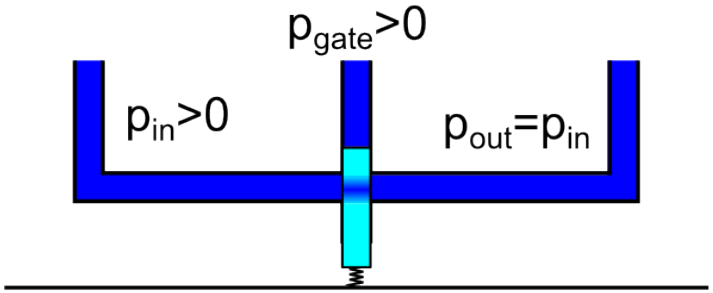
Foto: Asim Saleem

Nutzt nur Magnetisierung

Halbleiterelektronik und Magnetismus

Der Transistor und die Festplatte





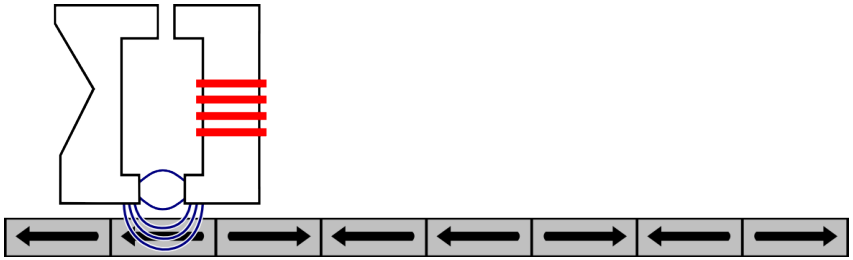


Foto: Asim Saleem

Nutzt nur elektrische Ladung

Nutzt nur Magnetisierung

Was ist Spintronik?

Elektronik

Benutzt Elektronenladung und deren Transport

Magnetismus

Benutzt die Magnetisierbarkeit von Materialien

Was ist Spintronik?

Elektronik

Benutzt Elektronenladung und deren Transport

Magnetismus

Benutzt die Magnetisierbarkeit von Materialien

Spintronik

Kombiniert beides und nutzt auch das magnetische Moment von Elektronen und dessen Transport

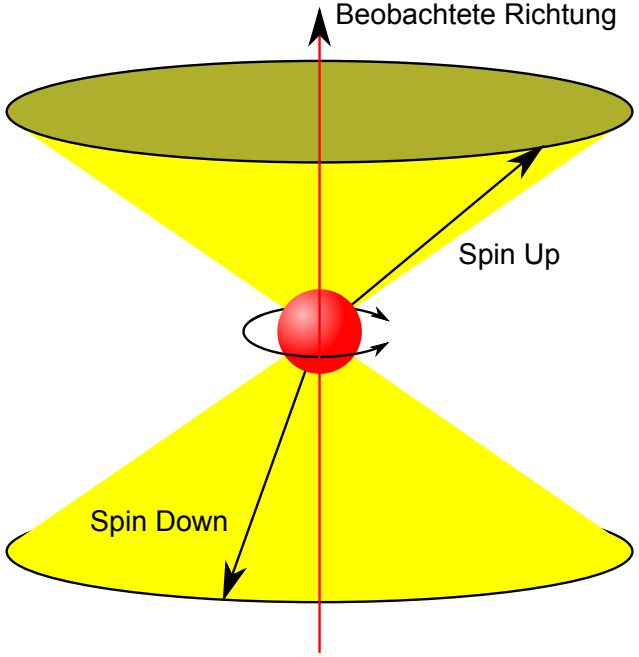
Magnetismus von Elektronen

Drehte sich nicht:

Magnetismus von Elektronen

Drehte sich nicht:

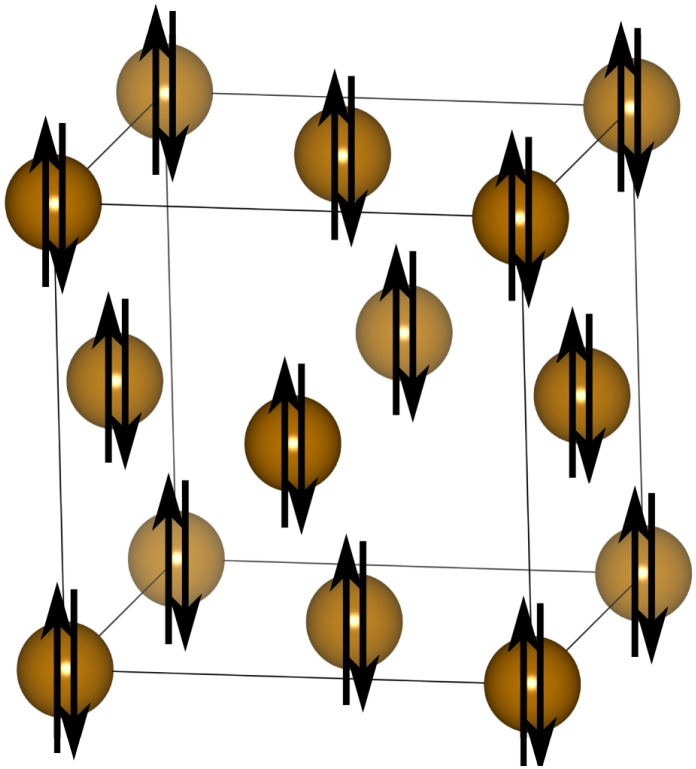
Dreht sich ununterbrochen:



Magnetisches Moment der Elektronen hat 2 mögliche Werte:
parallel (↑) oder antiparallel (↓)

Magnetismus

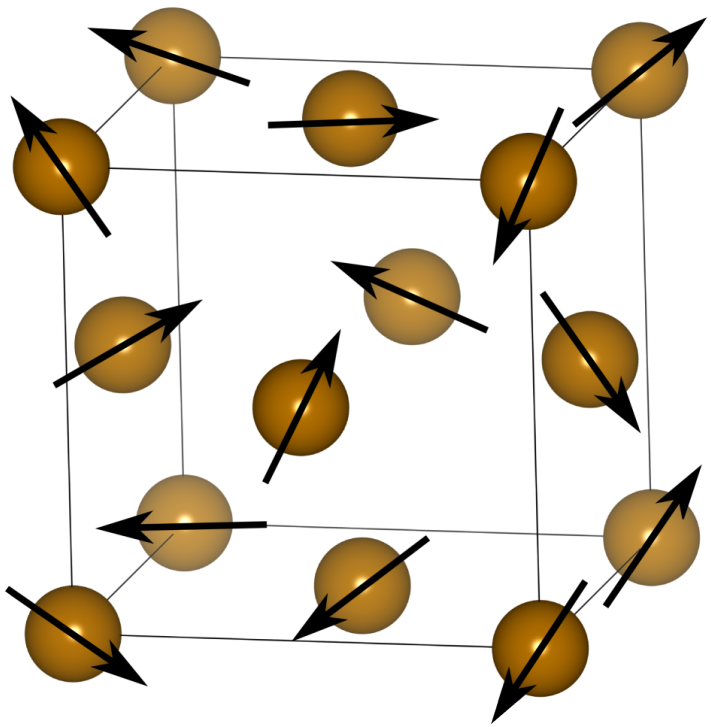
Spins wechselwirken
→ Richtet Spins in verrschiedenen Atomen zueinander aus:



- Diamagnet: Atome haben Gesamtspin 0
- Paramagnet: Keine Ordnung
- Antiferromagnet: Nachbaratomspins gegengleich
- Ferromagnet: Spins in Bereichen parallel

Magnetismus

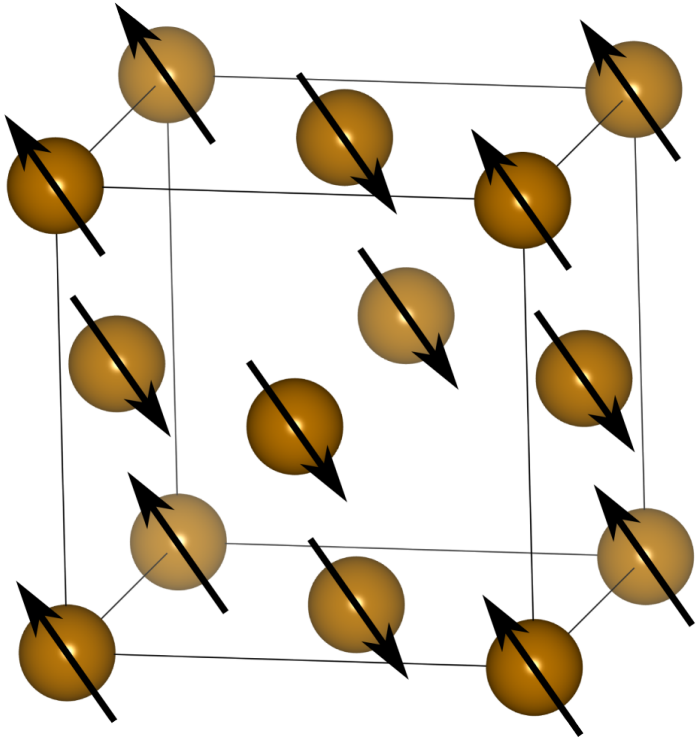
Spins wechselwirken
→ Richtet Spins in verrschiedenen Atomen zueinander aus:



- Diamagnet: Atome haben Gesamtspin 0
- Paramagnet: Keine Ordnung
- Antiferromagnet: Nachbaratomspins gegengleich
- Ferromagnet: Spins in Bereichen parallel

Magnetismus

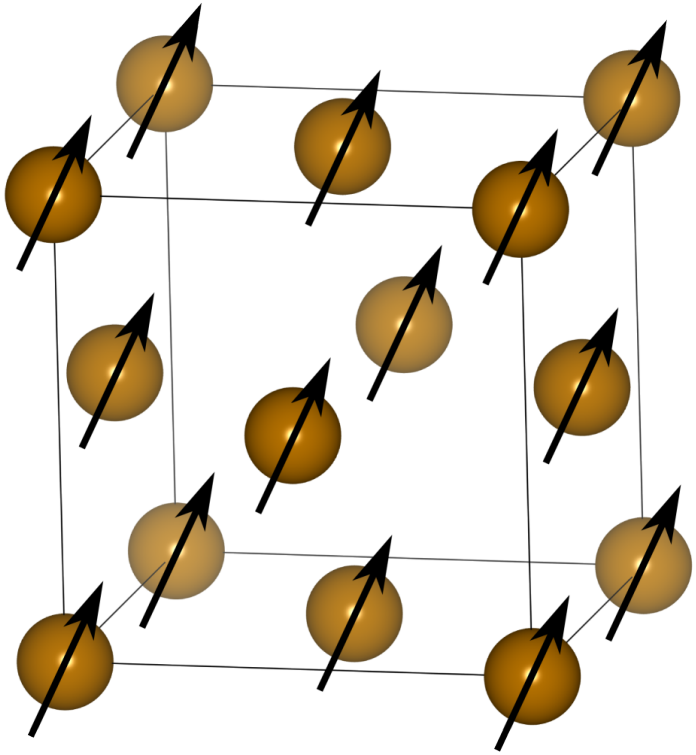
Spins wechselwirken
→ Richtet Spins in verrschiedenen Atomen zueinander aus:



- Diamagnet: Atome haben Gesamtspin 0
- Paramagnet: Keine Ordnung
- Antiferromagnet: Nachbaratomspins gegengleich
- Ferromagnet: Spins in Bereichen parallel

Magnetismus

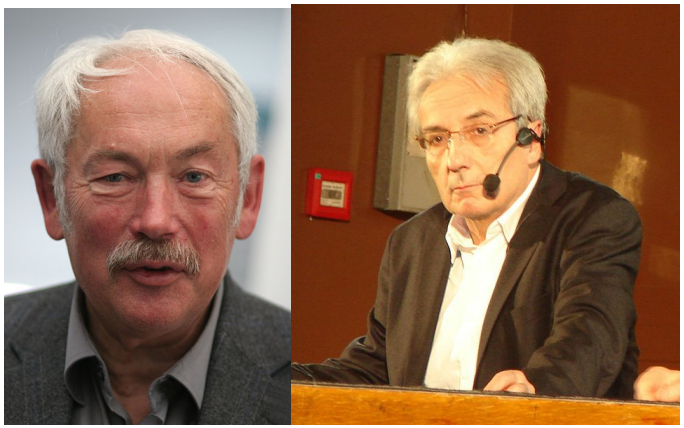
Spins wechselwirken
→ Richtet Spins in verrschiedenen Atomen zueinander aus:



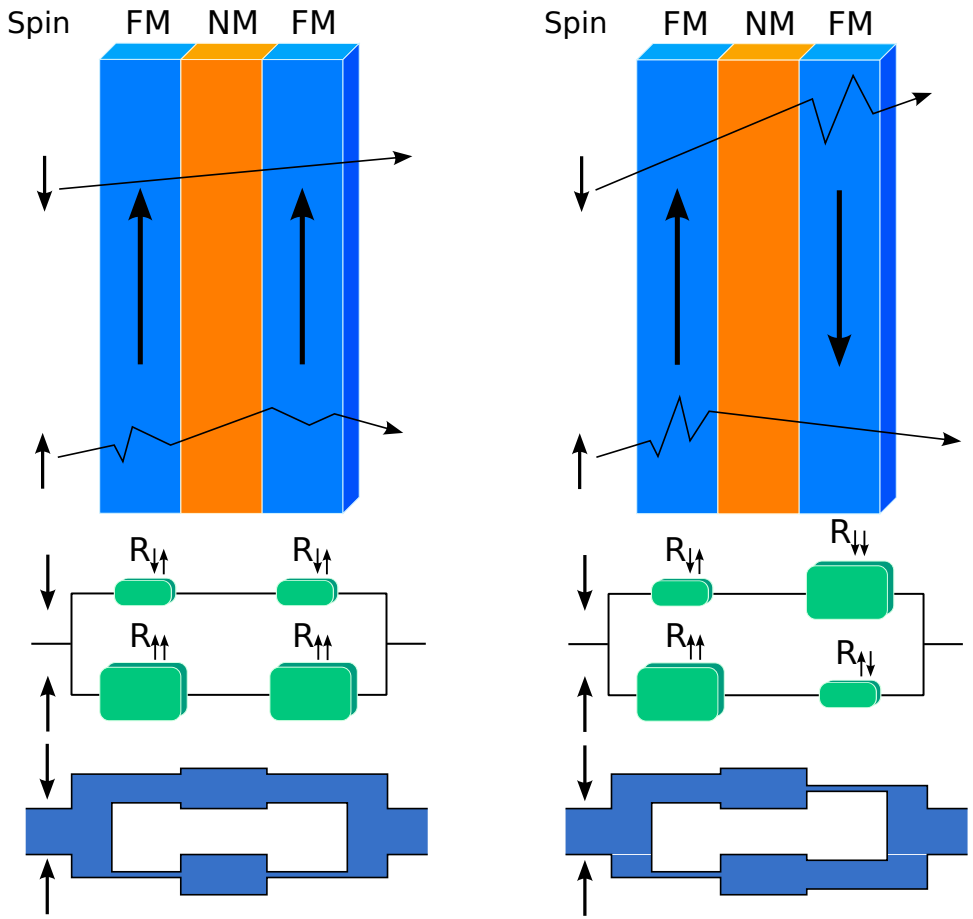
- Diamagnet: Atome haben Gesamtspin 0
- Paramagnet: Keine Ordnung
- Antiferromagnet: Nachbaratomspins gegengleich
- Ferromagnet: Spins in Bereichen parallel

Leseköpfe mit Riesen-Magnetowiderstand

Peter Grünberg,
Albert Fert:
Physik-Nobelpreis 2007



Photos: Armin Kübelbeck, Daniel Rodet



Grafik: Guillaume Paumier

Widerstand magnetisierungsabhängig,
Änderung $>$ 100% möglich

Logik

Und		
Eingabe 1	Eingabe 2	Ergebnis
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Oder		
Eingabe 1	Eingabe 2	Ergebnis
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

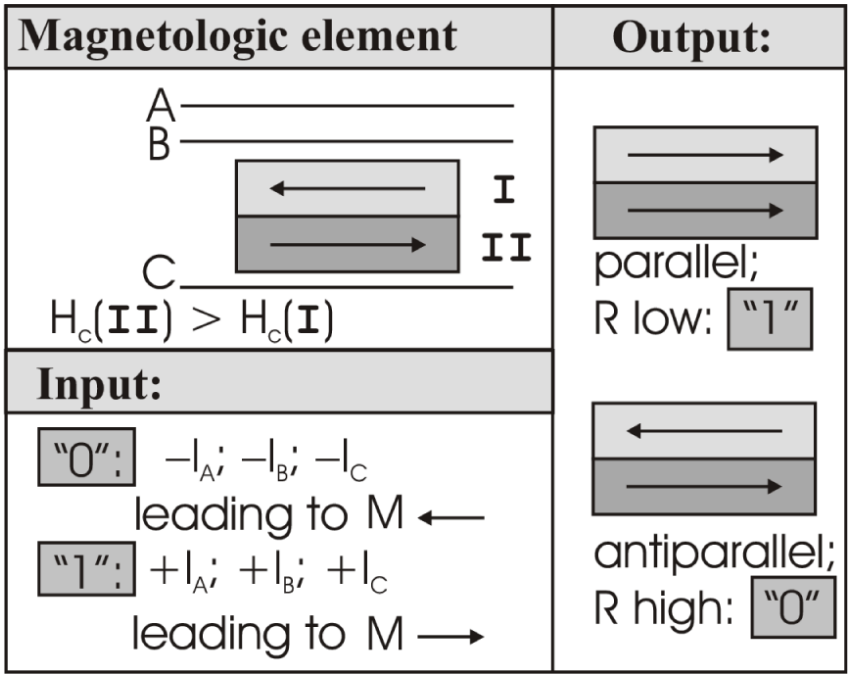
Nicht	
Wert	Ergebnis
0	1
1	0

- 0=Falsch
- 1=Wahr

Und, Oder benötigen 3 verschieden verkabelte Transistoren!

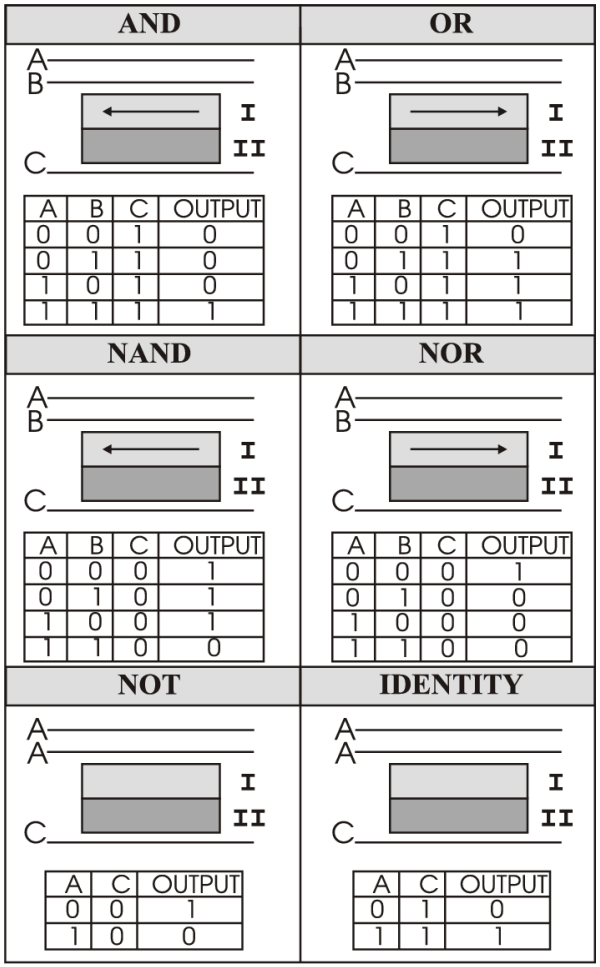
Logik mit Spintronik

Magnetowiderstands-Element als Logikbaustein



Quelle: Pampuch et al, Europhysics Letters 66 (6), 895, 2004

Ergebnis bleibt gespeichert



Verdünnt magnetische Halbleiter

Ferromagneten

Üblicherweise Metalle, fixer elektrischer Widerstand

Bild: Panoramafotos.net

Halbleiter

Einstellbarer Widerstand, meist Diamagneten

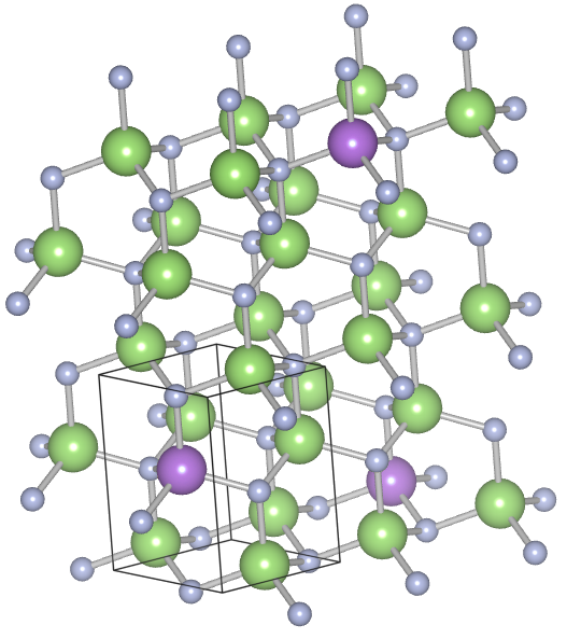
Verdünnt magnetische Halbleiter

Ferromagneten

Üblicherweise Metalle, fixer elektrischer Widerstand

Halbleiter

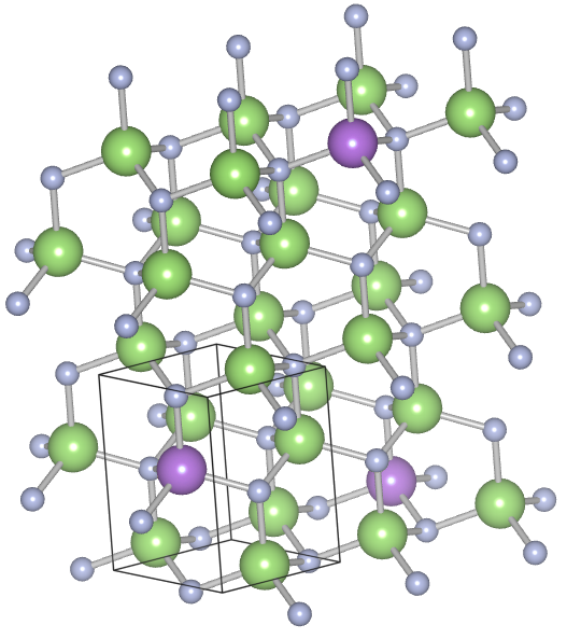
Einstellbarer Widerstand, meist Diamagneten

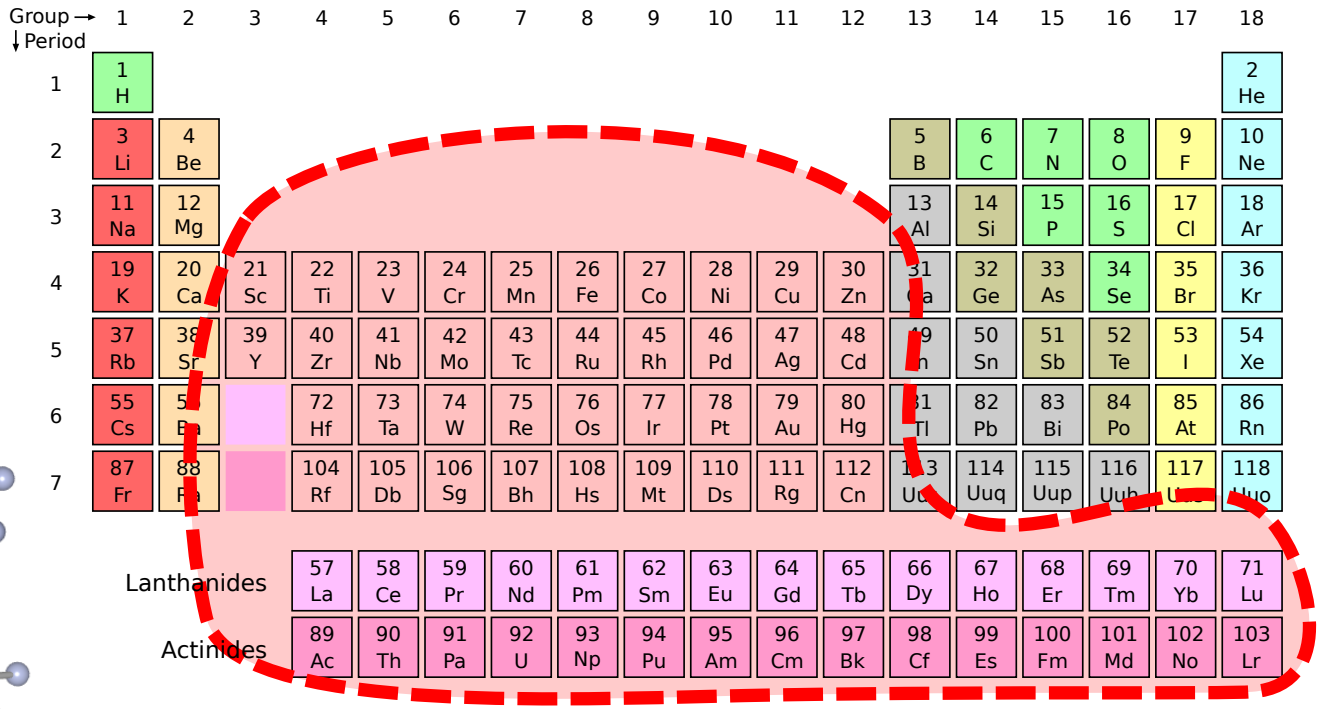


Verdünnt magnetische Halbleiter (DMS)

Halbleiter, mit magnetischen Ionen verunreinigt, können ferromagnetische Eigenschaften aufweisen

Verdünnt magnetische Halbleiter

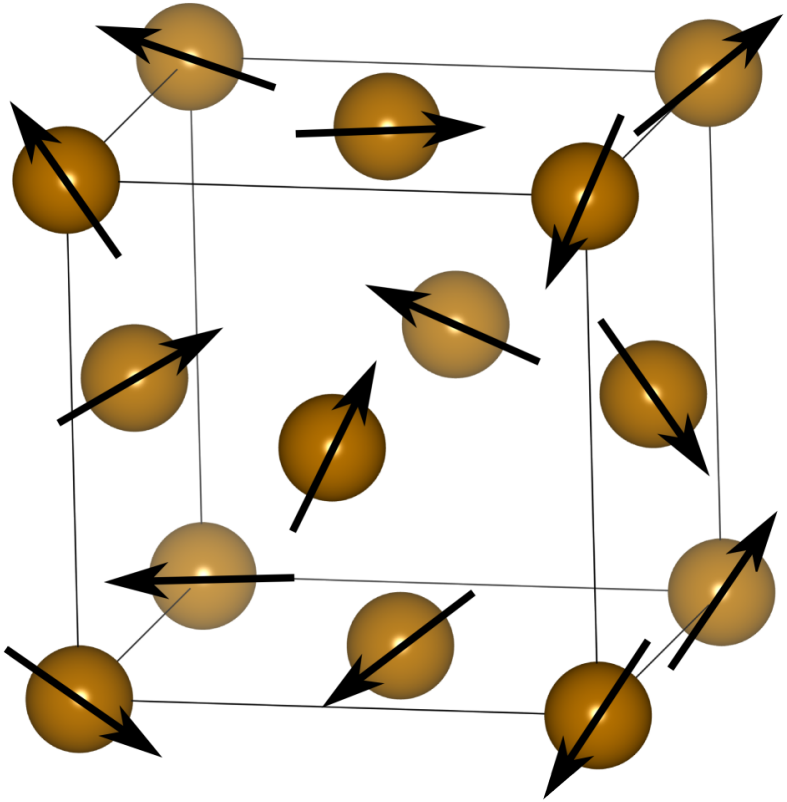




Magnetische Ionen:

Übergangsmetalle, Seltene Erden

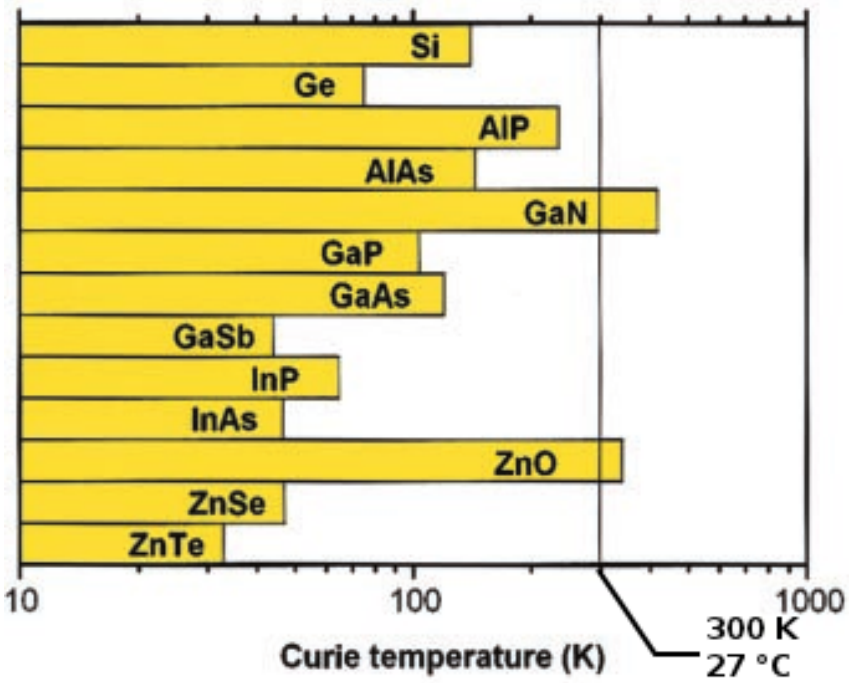
Verdünnt magnetische Halbleiter



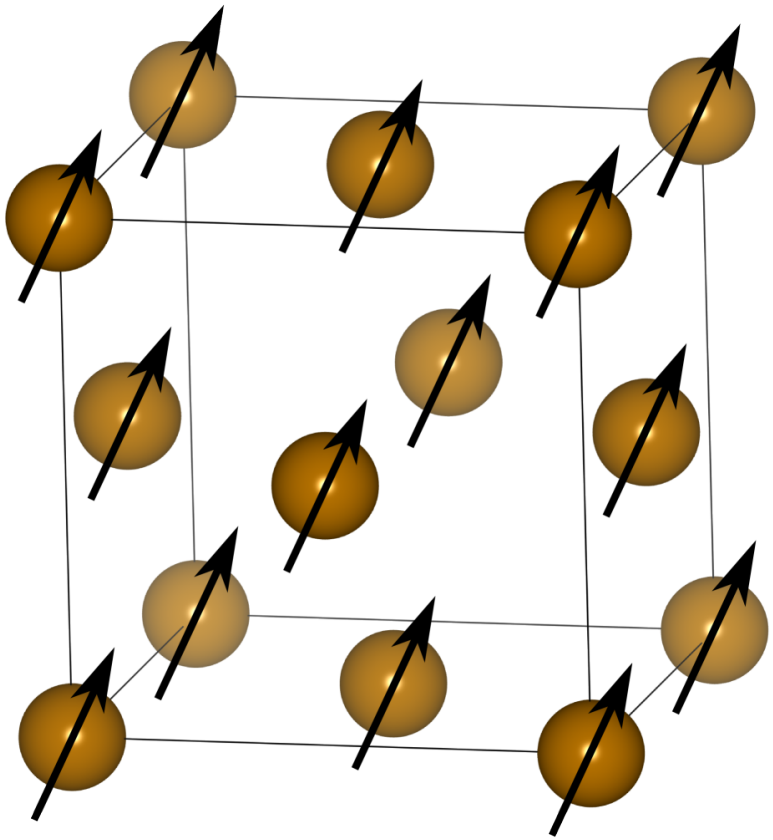
$T > T_C$

Ziel:

Ferromagnetismus bei Raumtemperatur



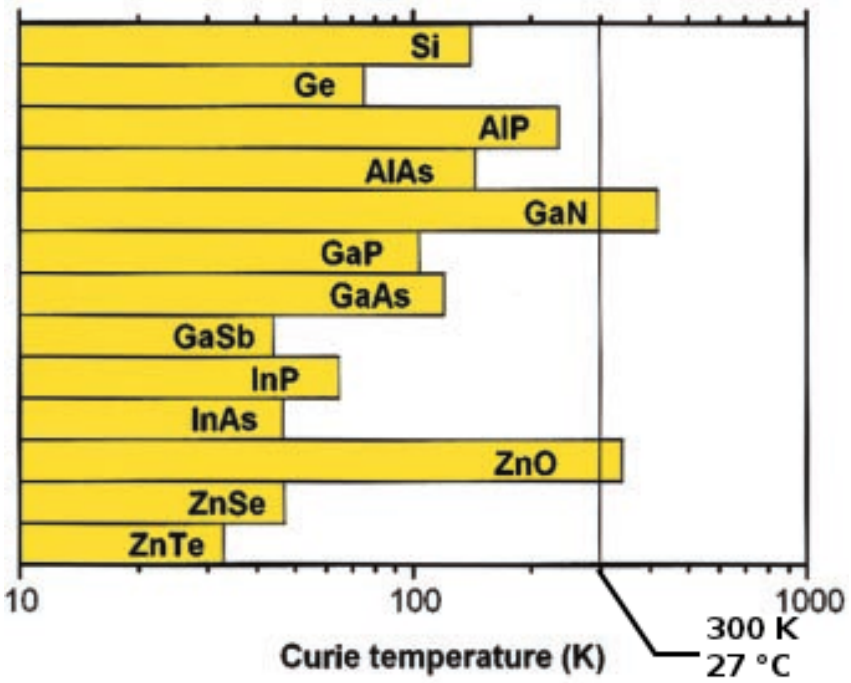
Verdünnt magnetische Halbleiter



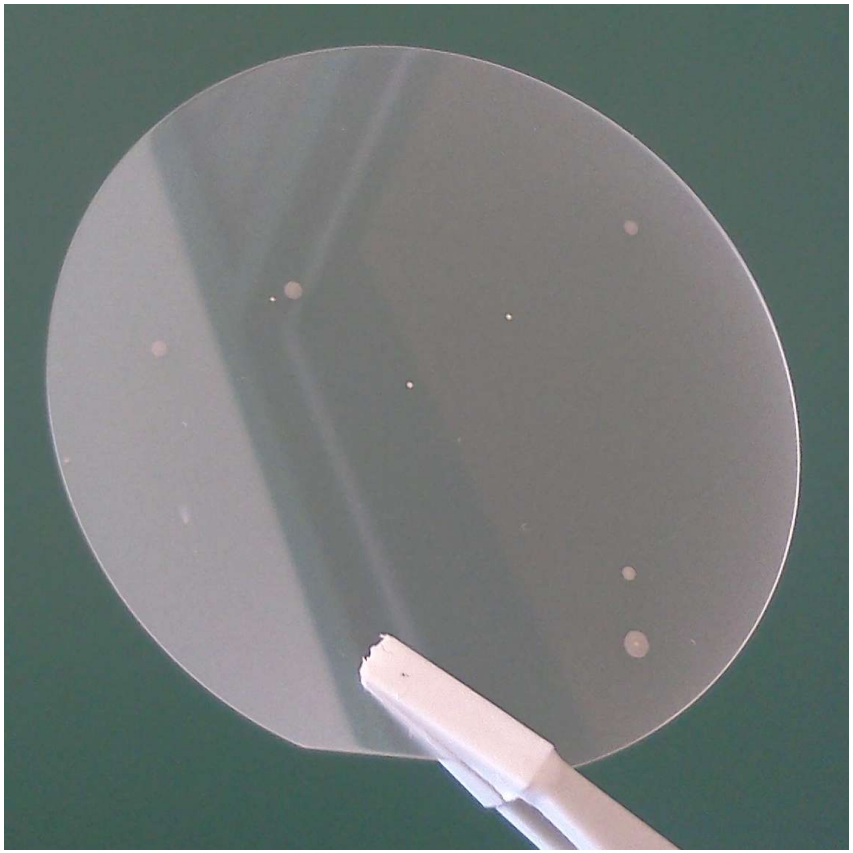
$T < T_C$

Ziel:

Ferromagnetismus bei Raumtemperatur



Verdünnt magnetische Halbleiter



Ziel:

Ferromagnetismus bei Raumtemperatur

Wir forschen, wie viel

- Mangan und
- freie Ladungsträger

man braucht

Anwendung von ZnO und GaN

GaN

Blaue Laser

Blaue, weiße LEDs

Hochfrequenz-Technik

ZnO

Calamincreme

Reifenherstellung

Nahrungsergänzung

Tierfutter

Danke für die Aufmerksamkeit!