



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

530117 Material fysik vt 2010

1. Introduktion

1.1. Introduktion-introduktion





Praktiska saker

■ Webb sida:

- <http://beam.acclab.helsinki.fi/~knordlun/matfys/>

- Föreläsningarna kommer dit (minst 5 minuter i förväg)...

■ Utförande: 'det normala svenska systemet':

- 2 mellanförhör, 50% av poängerna var

- Räkneövningarna: 0 - 15% bonuspoäng, minst 1/3 bör vara gjord

- Sköts med 'kryss-i-rutan'-systemet

- Slutvitsord (om ej renormalisering): 45%-55% ger 1, ... >85% 5

■ 5 + 5 sp

- 53058 Materialfysik I ämnesstudie-kurs

- 53107 Materialfysik II fördjupade studier



Tider

- Föreläsning må10-12, ons 10-12 sal BK106 Exactum
- Räkneövning
 - ?



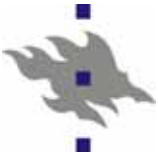
Lärobok & material

- Primär lärobok: ***William D. Callister, Jr.: Materials Science and Engineering, An Introduction, (sixth edition)***

- Dessutom kan föreläsningssanteckningarna läsas
 - speciellt om man gjort anteckningar i dem(!)
 - **Vissa saker förklaras bara på föreläsningen, antyds i grönt**

- ***Sekundär lärobok: Brian S. Mitchell: Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers***

- ***Tertiär lärobok: Kittel: Introduction to Solid State Physics, 7th edition***



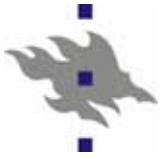
Vetenskapliga tidsskrifter i materialvetenskap

- Kategori 1, citationsindex ~15:
 - Nature Materials
- Kategori 2, citationsindex ~ 7:
 - Advanced Materials (främst för materialkemi), Physical Review Letters = PRL (främst för materialfysik), Nano Letters (nanomaterial), Small (nano- och mikromaterial)
- Kategori 3, citationsindex 2-4:
 - Applied Physics Letters = APL (materialfysik), Physical Review B = PRB (materialfysik), Journal of Applied Physics = JAP, kemitidsskrifter jag inte känner till
- Halv-populärvetenskapligt:
 - MRS Bulletin



Vad tänker du på då du hör ordet materialfysik?

■ ?



Vad tänker jag på då jag hör ordet materialfysik?

■ Pengar

- Samhälleligt intresse

■ Mångsidigt

- Har kontakter med alla fysikgrenar från partikelfysik till meteorologi

■ Komplicerat

- Ger emellanåt huvudvärk
- Man kan aldrig veta allt



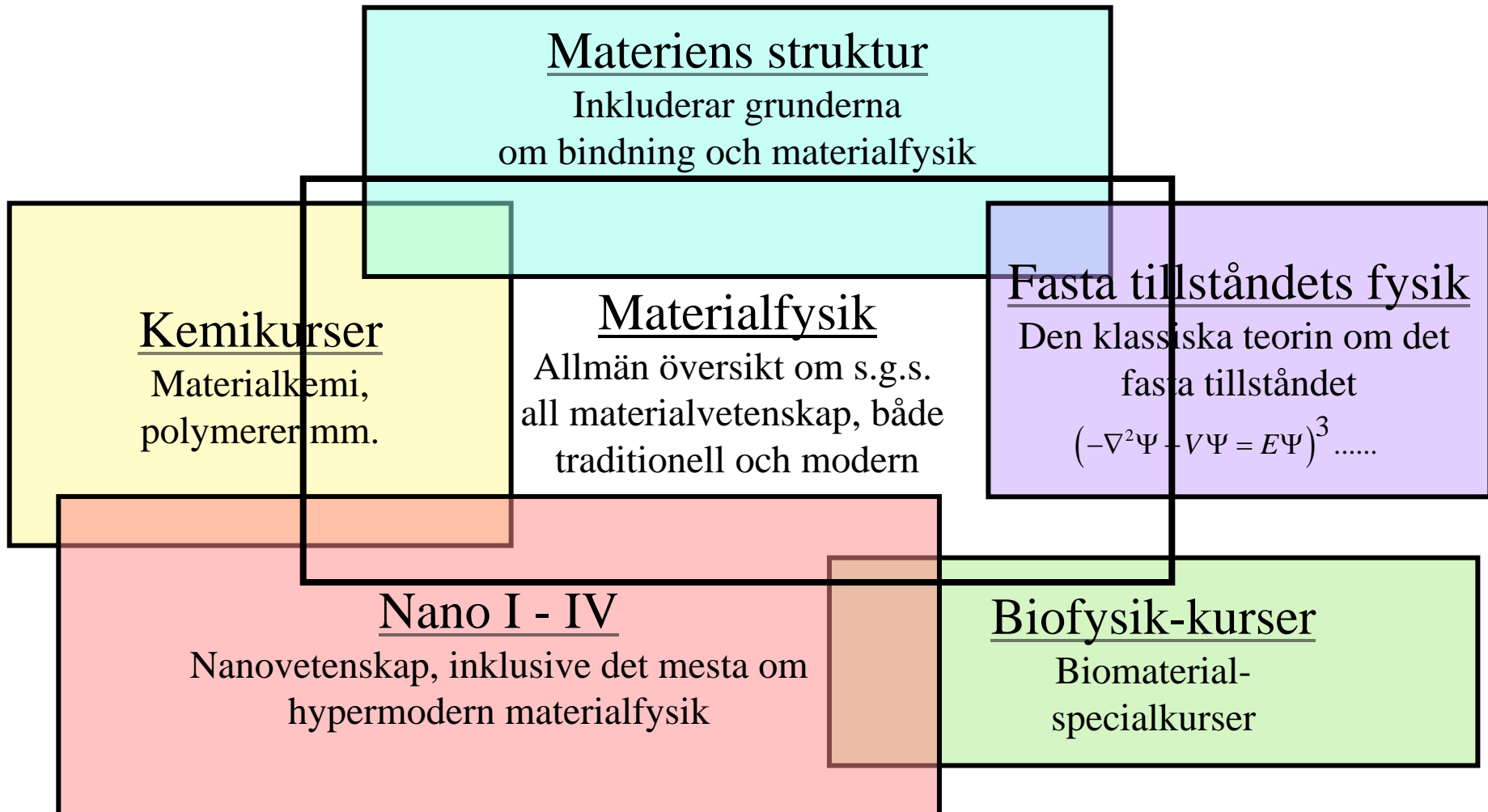
Översikt av kursplan

■ Se webben för detaljer, men huvudrubrikerna är:

1. Introduktion
2. Materials bindning
3. Materials struktur
4. Kondenserade fasers termodynamik
5. Kinetik
6. Transportprocesser
7. Fasta ämnens mekanik
8. Materials elektriska egenskaper
9. Magnetiska egenskaper



Kurssamband (inom Guntäcks kampus)





Kursens mål

- Ge en översikt över materialvetenskap i dag:
 - Nödvändig grundkunskap och terminologi
 - Härrör sig från den klassiska metallurgin och halvledarfysiken: viktig att kunna tom. för biomaterial!
 - Materialtyper
 - Processeringsmetoder
 - Kinetik
 - Elektriska egenskaper
 - Magnetiska egenskaper
- Icke-matematisk, kvalitativ
 - tom. trivial om man kan saken från förr
- Mycket begrepp
 - Viktig för att kunna läsa vetenskaplig och ingenjörslitteratur!



Definitioner

- Materialvetenskap
 - "Materials science"
 - Ses ofta speciellt i USA som en vetenskap i sig
 - 'Department of Materials Science', MRS, EMRS,
 - Uppenbara undertyper: materialfysik, materialkemi
 - Men materialfysik+materialkemi < materialvetenskap!
- Denna kurs är materialvetenskap med vinkling mot fysik, därmed namnet
- Fasta tillståndets fysik, kondenserade materians fysik
 - "Solid state physics", "condensed matter physics"
 - Bara fasta ämnen vs. fasta + vätskor



Historia

- Vetenskaplig forskning kring material började redan på 1800-talet, men främst kring metaller
 - Motiverad av gruvdrift
 - ”Department of metallurgy and mining”, ”vuorilafka”
- Började utvidgas allmänt kring 1950-talet till halvledare, keramer
 - I samma tider började sambandet till fysik, kemi och biologi så småningom (åter)uppträda
- Så småningom övergick de flesta metallurgi-avdelningar till allmänna materialvetenskapsavdelningar
 - ”Department of materials science and engineering”
 - I Finland, Aalto nu ”Materiaalitekniikan osasto”
- Forskningen rört sig från makromaterial mer och mer till atomnivå
 - Men vid mycket olika takt



Nanovetenskap!

- En stor del av modern materialfysik är nanovetenskap
 - Och vice versa, en stor del av nanovetenskap är materialfysik
- Mer detaljerat:
 - ”Vetenskap som undersöker och utnyttjar strukturer som är i storleksordningen 1 – 100 nm *åtminstone i en dimension*.
Objekten är **väl kontrollerade** i detta storleksområde vad gäller tillverkning, modifikation eller analys, och forskningen har en **grundläggande nyhetsaspekt** vad gäller materialet självt, dess analysmetoder eller den vetenskapliga frågeställning”
 - Kai Nordlund
 - Syntes av flera mer auktoritära källor
- Nanoteknologi
 - Tillämpning av dito



Varför är nano annorlunda?

1. Stor yt-till-volym-förhållande!

- Hur stor del av atomerna i en boll är på ytan?
 - Vi vet att ett atomlager är ungefär $t=0.2$ nm tjockt
 - Volymen av ytatomerna:

$$V_{yta} = 4 \pi r^2 t$$

- Hela bollens volym:

$$V_{boll} = 4 \pi r^3 / 3$$

- Förhållandet, alltså fraktionen ytatomer:

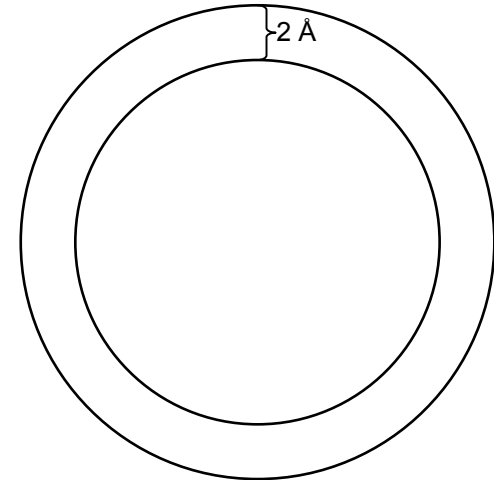
$$V_{yta} / V_{boll} = 3 t / r$$

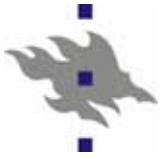
- Betrakta nu olika värden på r :

- Makroboll: $r = 1 \text{ m} \Rightarrow 3 t / r = 6 \cdot 10^{-10}$
- Mikroboll: $r = 1 \mu\text{m} \Rightarrow 3 t / r = 6 \cdot 10^{-4}$
- Nanoboll: $r = 1 \text{ nm} \Rightarrow 3 t / r = 0.6 !!$

- På nanoskalan är andelen ytatomer enormt!

- Stor effekt på materialets egenskaper!

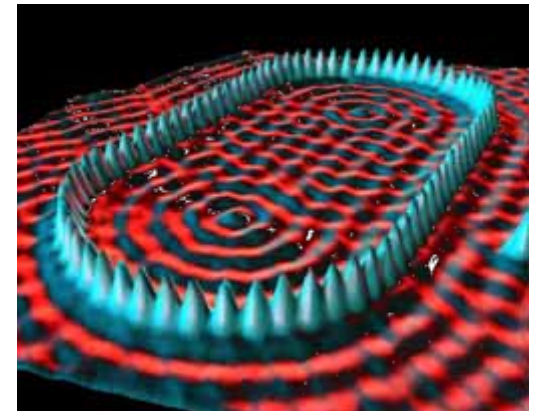




Varför är nano annorlunda?

2. Kvantmekanik

- Om atomstrukturens längd är mindre än elektrontillståndets karakteristiska våglängd, kan elektroner ”infångas” i 1, 2 eller 3 dimensioner (I bulkmetaller och halvledare rör de sig fritt)
 - Elektronernas våglängder är typiskt i nanometerområdet
 - Man talar om 2D, 1D och 0D-strukturer beroende på hur många dimensioner är i nanometerskalan
 - 2D-nanostruktur: **tunn film**, elektronerna infångad i 1 dimension
 - 1D-nanostruktur: **nanotråd**, elektronerna infångade i 2 dimensioner
 - 0D-nanostruktur: **kvantpunkt**, elektronerna infångade i 3 dimensioner



[“Quantum corral”, IBM]



Varför är nano annorlunda?

2. Kvantmekanik

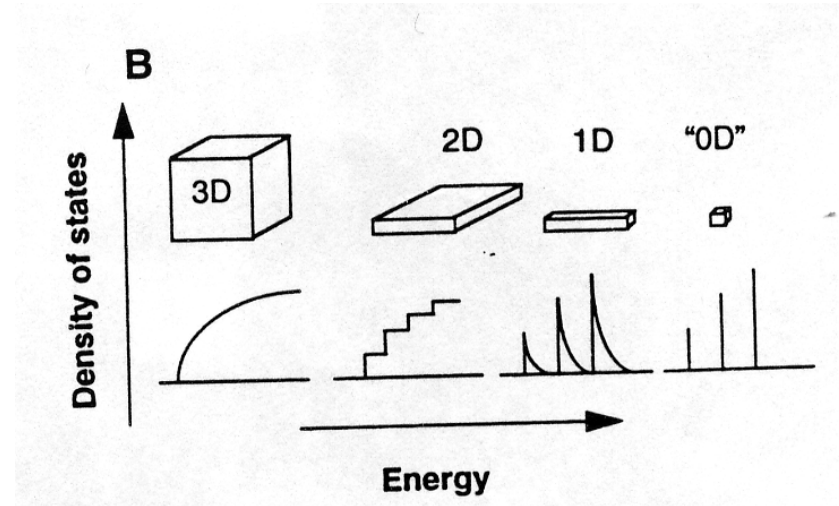
- Elektronernas tillståndstäthet är dramatiskt olik då man sänker på antalet dimensioner:

- 3D: kontinuerlig
- 2D: trappor
- 0D: bara pikar

- I en kvantpunkt är elektrontillståndena kvantiserade helt som i atomer

- Men fördelen är att man kan ändra på kvantpunktens storlek => man kan justera punkternas platse

- Spännande optiska effekter och tillämpningar!



Fotoemission från olika stora CdSe/CdTe-nanopartiklar

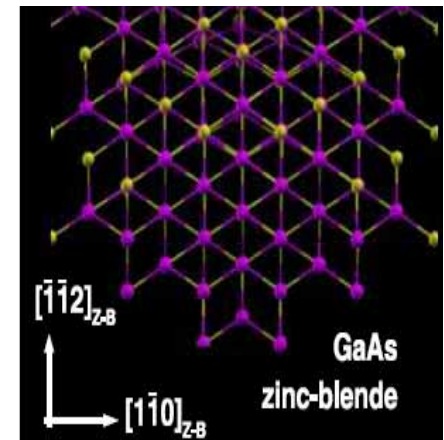


Exempel: indentering vs. nanoindentering

- En klassisk del av materialvetenskap är hårdhetslära
 - Grundexperiment: indentering, mät hur djupt en diamant kan tryckas in i ett material som funktion av trycket
 - Ger ett hårdhetsmått
 - Var länge av s.g.s. inget intresse för fysiker
- Men under de senaste ~ 15 åren har en nanoskala-version av samma princip utvecklats
 - Kan analyseras och simuleras på atomnivå
 - => fysiker blev tända på det => 10-tals papper i Nature, Science, Phys. Rev. Lett. mm.



www.materials.co.uk/images/vickers.jpg



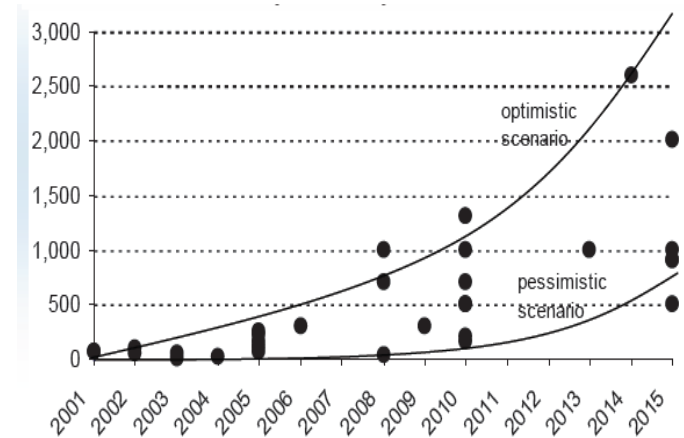


Industri

■ Materialvetenskapen har givetvis en enorm industriell relevans:

- Metallindustri: traditionellt baserad men överraskande avancerad
 - T.ex. Outokumpu Poricopper: nm-metalltrådar med att dra
- Halvledarindustri
 - Baserar sig på forskning gjort s.g.s. helt sedan 1950-talet
- Plast mm. polymerer
 - Enorma framsteg
- Keramiska material
 - Högtemperaturlämpningar
som jetmotorer
- Nanomaterial
 - Liten tillsvidare men
växer dramatiskt

Nanomarknader enligt Markku Lämsä/TEKES



Sources: 1) Diverse, European Commission, 2006; 2) Lux Research, 2006
26/08-2008 MITL Copyright © Tekes



1.2. Materialklassificering

- Material kan klassificeras på ett otal olika sätt, men några grundtyper är ganska väl definierade
- Klassificering ~ enligt kemisk bindningstyp:
 - Metaller, keramer, polymerer
- Klassificering ~ enligt användningsområde:
 - halvledare, biomaterial, smarta material
- Klassificering enligt uppbyggnad
 - Rena material, kompositer
- Klassificering enligt delstorlek:
 - Bulkmaterial vs. nanomaterial





Metaller



- Binds samman av så kallad "metallbindning":
 - Har mycket fria elektroner, "fri elektrongas"
 - Atomerna är positivt laddade joner
 - Växelverkan mellan den negativa elektrongasen och de positiva jonerna håller materialet ihop
- Direkt följd av fria elektroner: alltid bra elektrisk ledning och värmeledning
 - Därmed också ogenomskinliga
- I allmänhet mycket starka
- Kan vara grundämnen eller legeringar
- Möjlig källa till konfusion: emellanåt används bra elledningsförmåga som definition på metaller
 - Enligt det är t.ex. vissa kolnanorör metalliska, trots helt annan bindningstyp



Keramer

- Keramer är oftast kombinationer av metalliska och ickemetalliska grundämnen som bildar starka joniska eller kovalent bindning sinsemellan
 - Oxider, nitrider, karbider
- Nästan alltid en förening (*komponent*) mellan olika grundämnen
 - Dock räknas diamant, kisel och germanium emellanåt som keramer
 - Joo, komponent är korrekt svenska [SAOL 12]
- Oftast hårda och sköra material
- Oftast inte elledande
- Exempel: tand, porslin, tegel, cement, glas, YBCO, ...

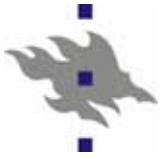




Polymer-material

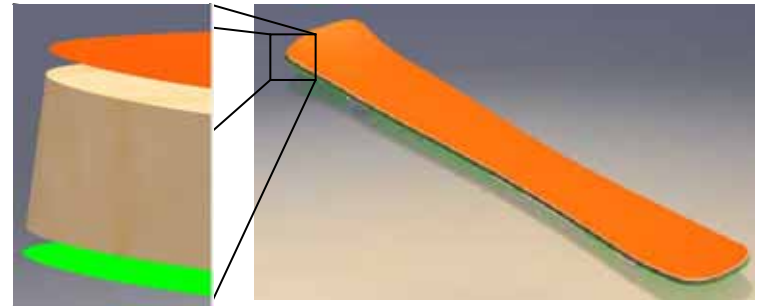
- Består av små kovalent bundna molekyler som är bundna till varandra med kovalenta (och ofta också delvis joniska och väte-) bindningar
 - Helheten är en enda molekyl
 - Består av identiska eller liknande beståndsdelar, merer, som upprepar sig
- Plaster och gummi
- Relativt låg densitet, ofta flexibla, oftast mjukare än metaller och keramer
- Oftast baserade på organiska material: kol, väte, syre, kväve





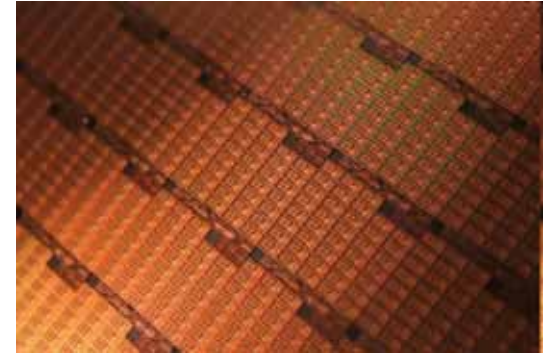
Kompositer

- Blandning mellan olika grundmaterialtyper
 - Har även blandning av egenskaperna
 - Poängen är givetvis att kombinera de goda egenskaperna, t.ex. en kerams hårdhet med en polymers flexibilitet
 - Kan även vara blandning av en enda grundmaterialtyp, t.ex. en typ av metall i en lagerstruktur med en annan
- Storleksskalan för kompositdelarna kan vara vad som helst mellan nanometer- och centimeter-skala
- Exempel: glasfiber, förstärkt betong, ...





Halvledare

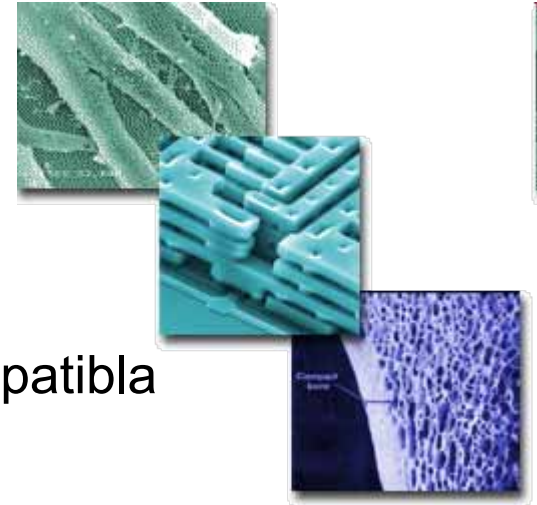


- Material vars elektriska egenskaper är mellan de hos metaller och ickeledare
 - Ledningsförmågan beror starkt på temperaturen, men är 0 vid 0 K
 - Oftast är ledningsförmågan också mycket känslig till orenheter
 - Kan justerad med dem!
 - S.k. bandgapet > 0 men < 3 eV
- Kisel, germanium, III-V-kompounds, II-IV-kompounds och mera exotiska compounds
- Gränsen har lite flytit historiskt:
 - T.ex. GaN och ZnO med bandgap på ~ 3 eV brukade inte räknas som halvledare, men räknas nu p.g.a. användning som sådana
- **Konfusion: är ofta mekaniskt sett hårda och sköra, kan då också kallas keramer ur den synvinkeln sett**



Biomaterial

- Material som baserar sig på biologiska molekyler och strukturer eller är biokompatibla
 - Material kan vara vid liv!
- Biokompatibel: lösgör inte giftiga ämnen eller orsakar inte biologiska reaktioner
 - Alla materialklasser kan vara biokompatibla, men variationerna kan vara stora inom samma materialklass
 - T.ex. vissa metaller mycket giftiga, andra just inte alls





Smarta material

- Med smarta ("intelligenta") material avses sådana som på något sätt byter egenskap med avseende på förändringar i sin omgivning
- T.ex. fönsterglas som ändrar färg i soljus och är solpaneler
- Används också ofta för materialsystem, kombinationer av material som har funktionalitet
 - Sensorer: detekterar något
 - Exempel: piezoelektriska kristaller ger en elsignal p.g.a. tryck
 - Aktuatorer: åstadkommer en funktion p.g.a. en signal
 - Exempel: minnesmetaller som återvänder till sin ursprungsform vid upphettning



[<http://www.gizmag.com/smart-energy-glass/14700/>]



Bulkmaterial vs. nanomaterial

- Bulkmaterial, åtminstone metaller, har karakteristiska minsta beståndsdelar av nästan makroskopiska mått och är homogena
 - T.ex. metallkornstorlek 10 – 100 μm
- Nanomaterial har per definition minsta beståndsdelar i storleksordningen 1 – 100 nm
 - Dessutom bör det finnas något nyhetsvärde sedan 1980-talet i materialtypen

