

HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

# 530 276 MATERIALFYSIK I VT 2014

## 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 sp

- 530276 Materialfysik I ämnesstudie-kurs



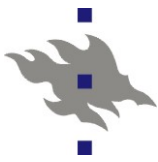
# Tider

- Föreläsning Ti 12-14, To 14-16, Fre 10-12
  - Ej alla tider, flera tider tomma pga. Prodekan-skyldigheter.
  
- Räkneövning
  - ?



# Lärobok & material

- Föreläsningsanteckningarna är det primära materialet
  - Gör anteckningar i dem(!)
  - (Vissa transparanger är i röda parenteser: krävs ej i tenten men kan läsas om du är intresserad)
- Primär lärobok: ***William D. Callister, Jr.: Materials Science and Engineering, An Introduction, (sixth edition)***
- ***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?

## ■ Mångsidigt

- Har kontakter med alla fysikgrenar från partikelfysik till meteorologi

## ■ Intressant

- komplicerat, krävande, svårt

## ■ Pengar

- Samhälleligt intresse

## ■ Komplicerat

- Ger emellanåt huvudvärk
- Man kan aldrig veta allt

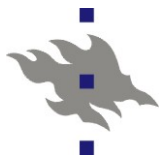


# Översikt av kursplan

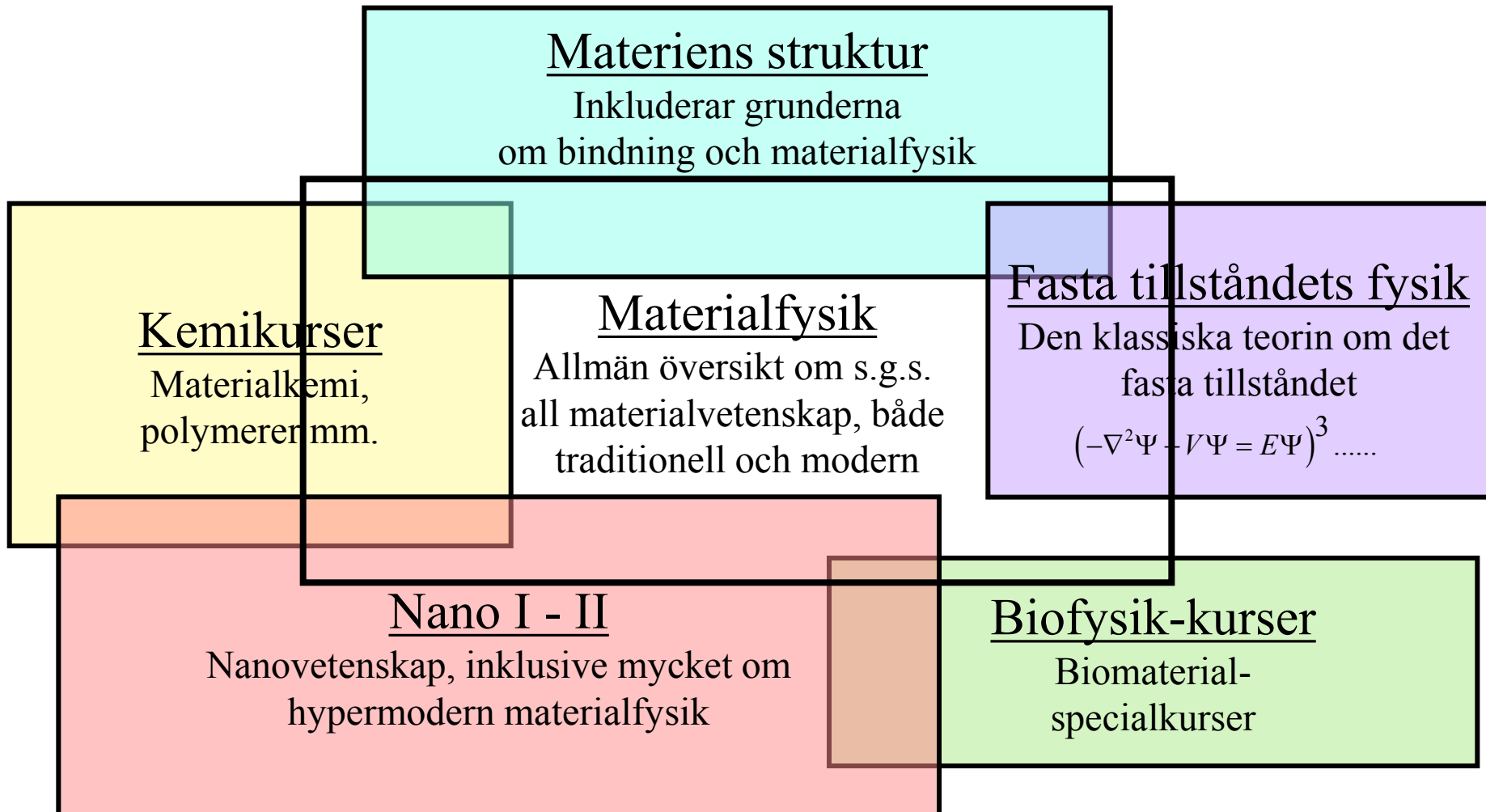
## ■ Ungefärlig plan:

1. Introduktion
  2. Materials bindning
  3. Materials struktur
  4. Kondenserade fasers termodynamik
  5. Kinetik
  6. Transportprocesser
- Elektriska, optiska och magnetiska egenskaper behandlas ej, för de är föremål för andra kurser.
    - Men dessa är en mycket viktig del av materialfysiken.





# 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
- 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:

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

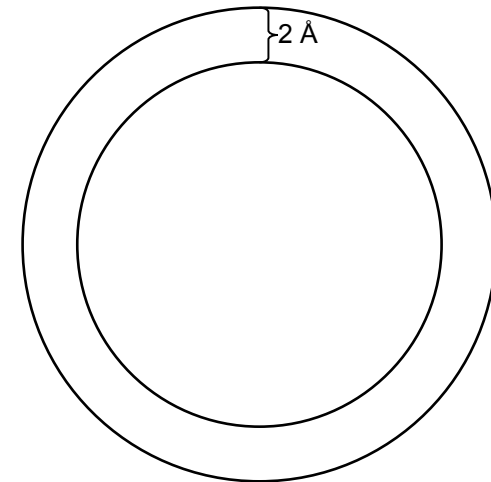
- Förhållandet, alltså fraktionen ytatomer:

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

- 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:  $r = 1 \text{ nm} \Rightarrow 3 t / r = 0.6 !!$

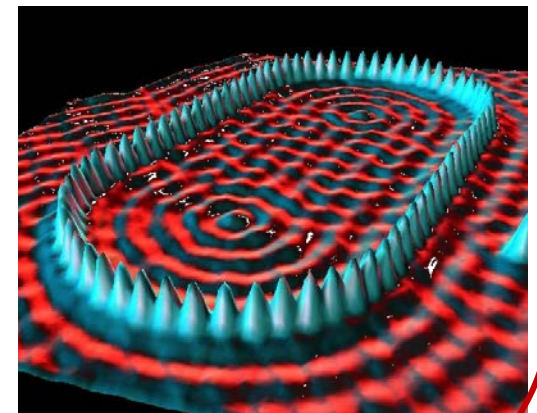
- På nanoskalan är andelen ytatomer enormt!
  - Stor effekt på materialets egenskaper!



# 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

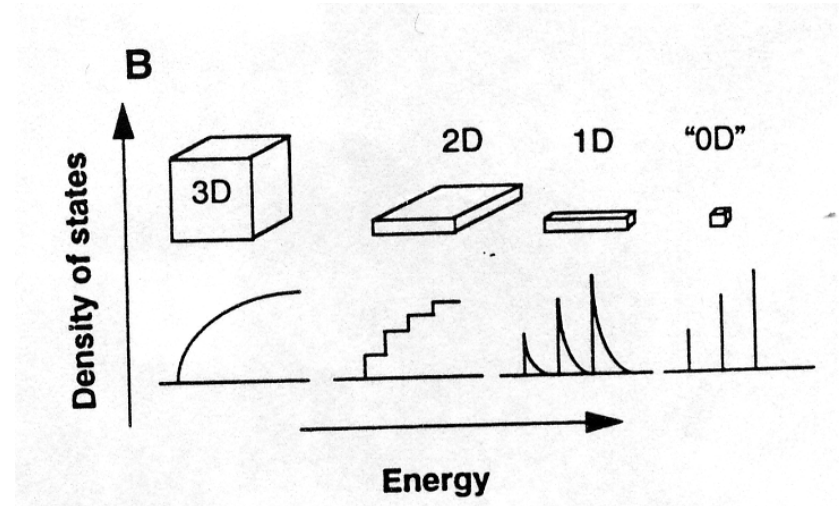
- Elektronernas tillståndstäthet är dramatiskt olik då man sänker på antalet dimensioner:

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

- I en kvantpunkt är elektrontillståndena kvantiserade helt som i atomer

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

- Spännande optiska effekter och tillämpningar!



Fotoemission från olika stora CdSe/CdTe-nanopartiklar



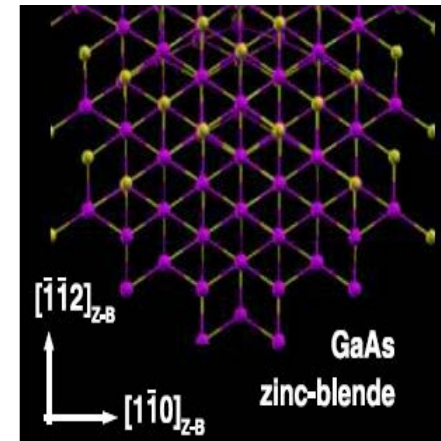


# Exempel: indentering vs. nanoindentering

- 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](http://www.materials.co.uk/images/vickers.jpg)

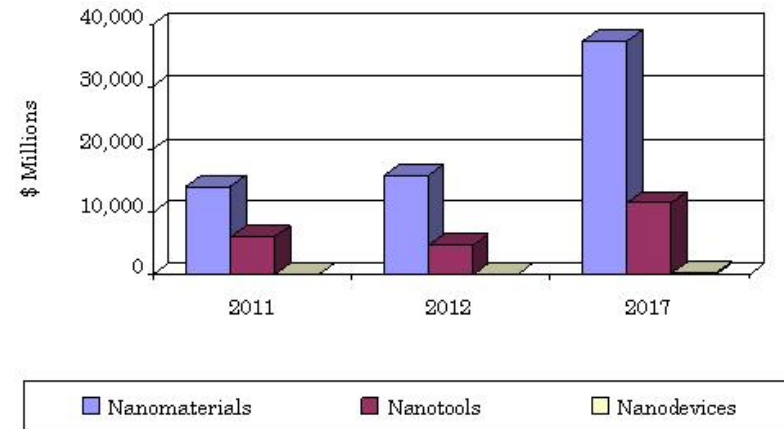


[Chrobak, Nowak, Nordlund, PRL 2006]

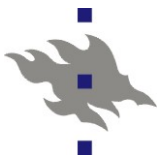


# Industri

- Materialvetenskapen har givetvis en enorm industriell relevans:
  - Metallindustri: traditionellt baserad men överraskande avancerad
    - T.ex. Luvata (spinoff från Outokumpu): nm-metalltrådar med att dra
  - Halvledarindustri
    - Baserar sig på forskning gjort s.g.s. helt sedan 1950-talet
    - Volym: 300 miljarder dollar/år [<http://www.wsts.org/>];
  - Plast mm. polymerer
    - Enorma framsteg
  - Keramiska material
    - Högtemperaturlämpligheter som jetmotorer
  - Nanomaterial
    - Ganska liten tillsvidare men växer starkt

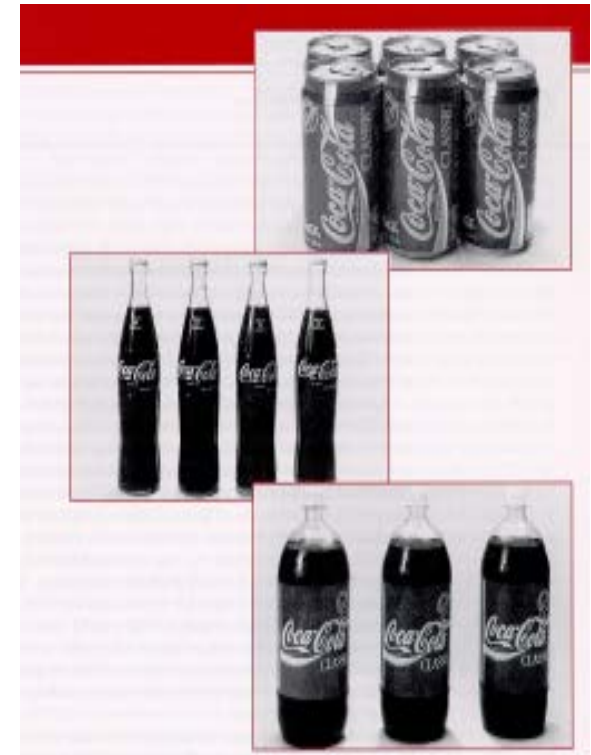


<http://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-market-applications-products-nan031e.html>



## 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

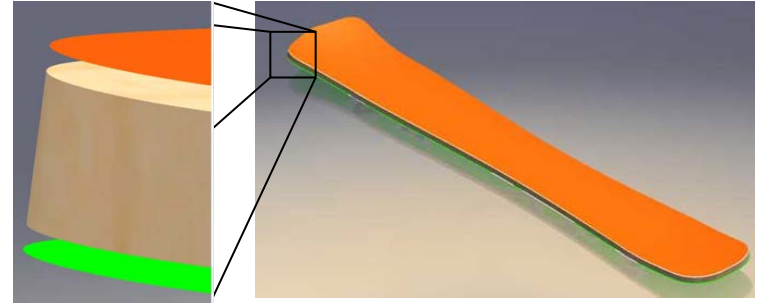
- Består av små kovalent bundna molekyler som är bundna till varandra med kovalenta (och ofta också delvis joniska och väte-) bindningar
  - Helheten är en enda molekyl
  - Består av identiska eller liknande beståndsdelar, merer, som upprepar sig
- **Plast**, gummi
- Relativt låg densitet, ofta flexibla,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





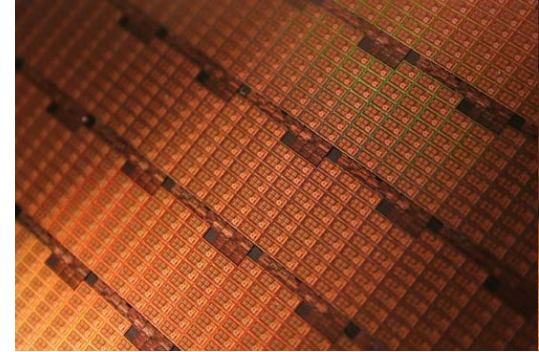
# Kompositer

- 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



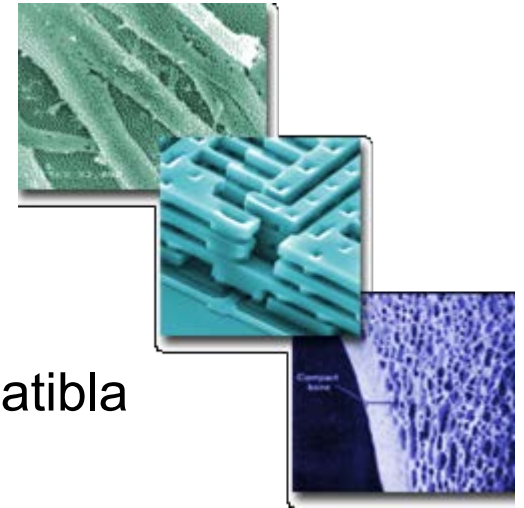
- Material vars elektriska egenskaper är mellan de hos metaller och ickeledare
  - **Definition: ledningsförmågan beror starkt på temperaturen, men är 0 vid 0 K**
  - Oftast är ledningsförmågan också mycket känslig till orenheter
    - Kan justerad med dem!
  - S.k. bandgapet  $> 0$  men  $< 3$  eV
- 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  $\sim 3$  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





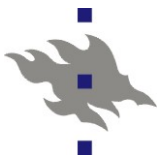
# Smarta material

- Med smarta ("intelligenta") material avses sådana som på något sätt byter egenskap med avseende på förändringar i sin omgivning



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

- 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



## Bulkmaterial vs. nanomaterial

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

