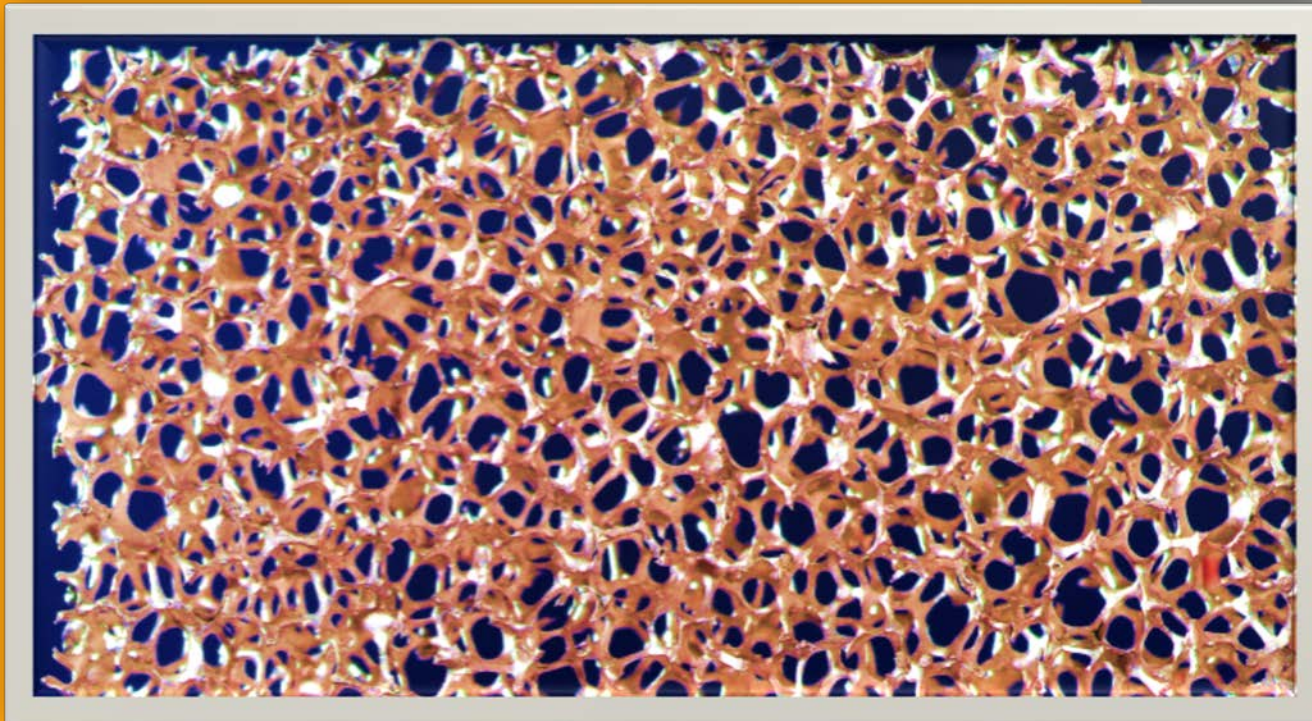


HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

530 276 MATERIALFYSIK I 2016

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.
 - Samma tider också för räkneövningar
 - Tabell över tiderna i nätet

- Räkneövning
 - Assistent Jesper Byggmästar



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, Nature Nanotechnology
- 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, många fler...
- 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

- komplicerar, krävande, svårt

■ Pengar

- Samhälleligt intresse

■ Komplicerat

- Ger emellanåt huvudvärk
- Man kan aldrig veta allt



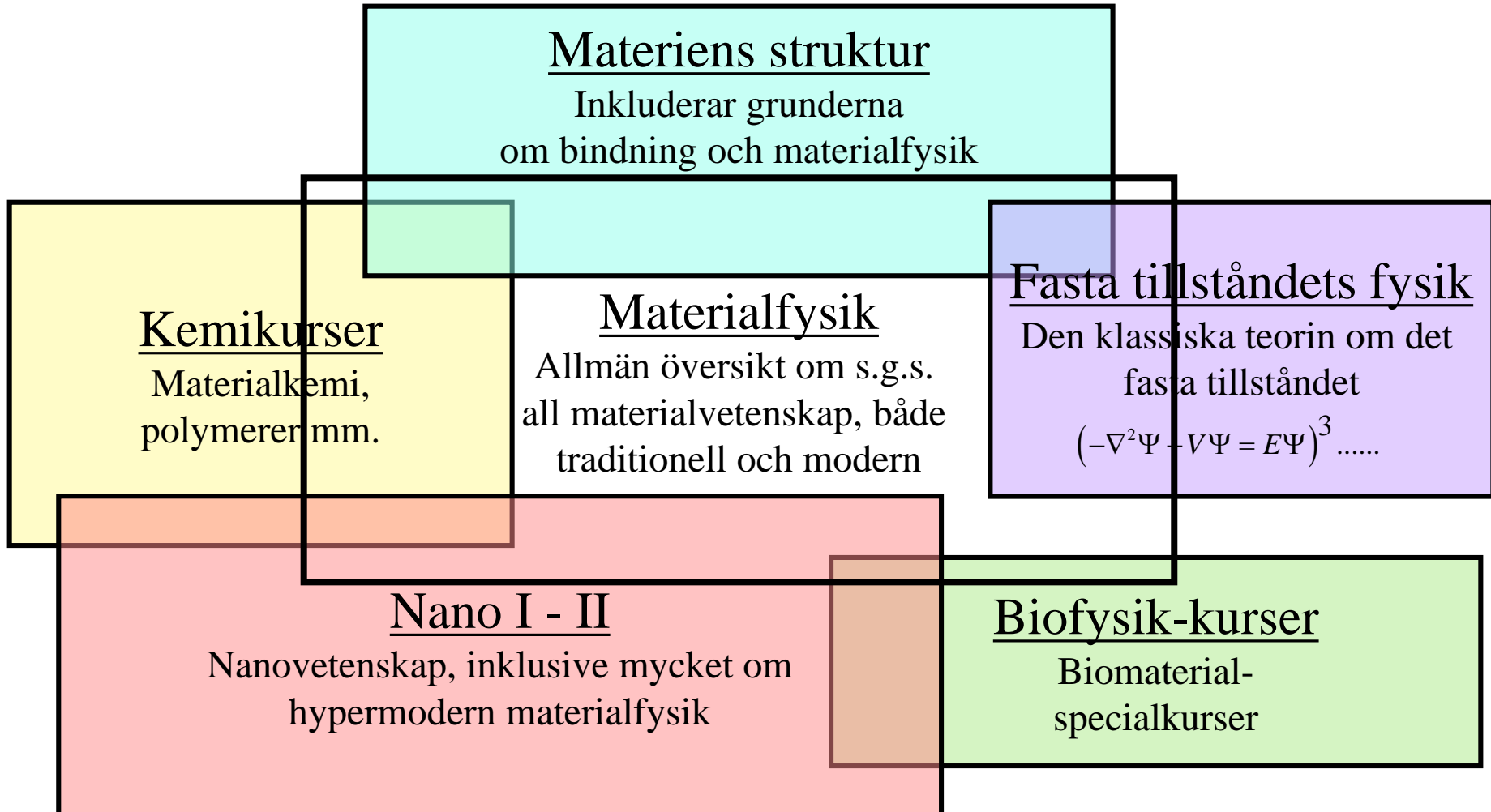
Översikt av kursplan för båda kurserna MatFys I + II

■ 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 Gumtäkts 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



Hur stort forskningsområde är materialfysik och nanovetenskap?

- Materialvetenskap det fjärde största vetenskapsområdet i vetenskapliga publikationer av alla områden
- Materialfysik är ungefär 40% av all fysik

Web of science Core Collection publikationssökning 6.1.2016 :

Year published = 2015 ger 1 976 000 publikationer i alla vetenskapsområden

Av dessa i Research Areas:

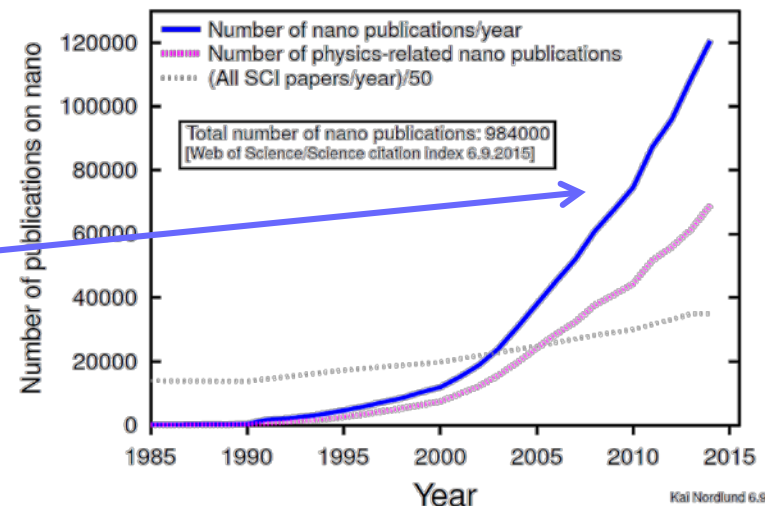
ENGINEERING (187,553) CHEMISTRY (175,430) PHYSICS (143,245) MATERIALS SCIENCE (116,834)

Refine to Physics ger 143 245

Refine av Physics to MATERIALS SCIENCE MULTIDISCIPLINARY + PHYSICS CONDENSED MATTER + NANOSCIENCE+NANOTECHNOLOGY + MECHANICS + MATERIALS SCIENCE COATINGS FILMS + POLYMER SCIENCE + CRYSTALLOGRAPHY ger 54803 hits! => 38.2 % av all fysik

- Nanovetenskap växer enormt just nu

~ 7% av alla publikationer i all vetenskap 2014!



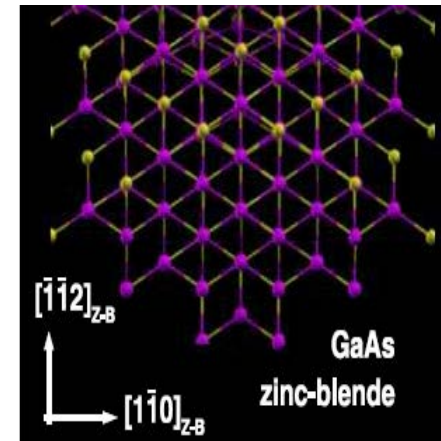


Exempel hur materialfysik utvecklats: indentering vs. nanoindentering

- 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

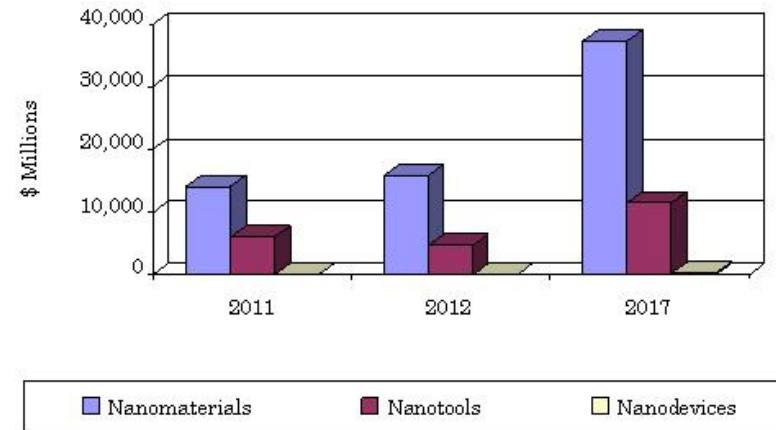


[Chrobak, Nowak, Nordlund, PRL 2006]



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
 - Högtemperaturtillämpningar som jetmotorer
 - Nanomaterial
 - Ganska liten marknad tillsvdare men växer starkt

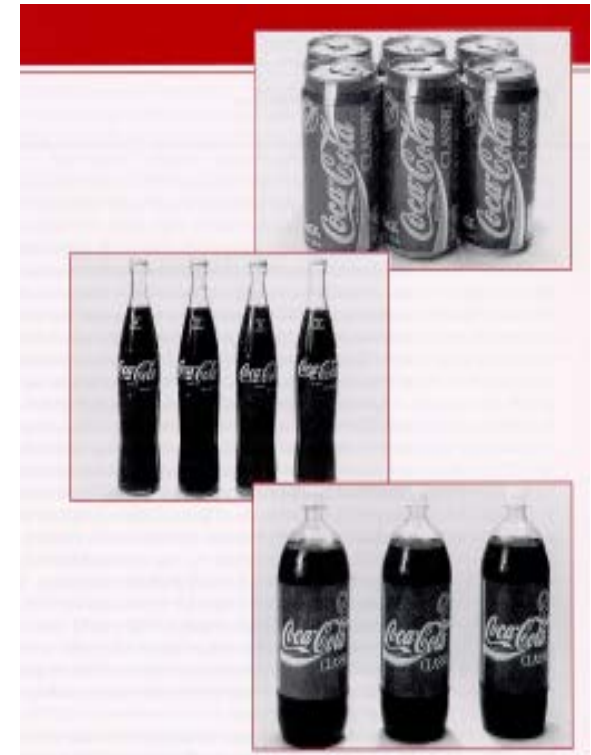


<http://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-market-applications-products-nan031e.html>



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

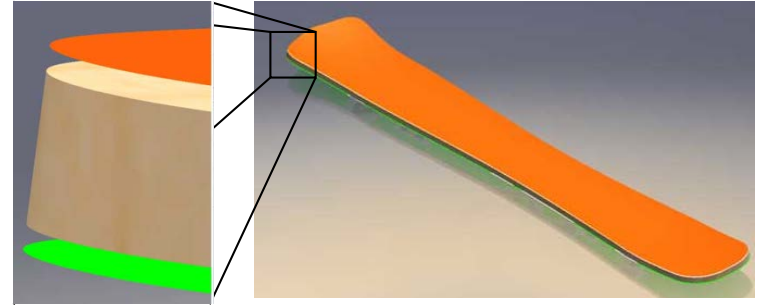
- Består av små kovalent bundna molekyler som är bundna till varandra med kovalenta (och ofta också delvis joniska och väte-) bindningar
 - Helheten är en enda molekyl
 - Består av identiska eller liknande beståndsdelar, merer, som upprepar sig
- **Plast**, gummi
- Relativt låg densitet, ofta flexibla,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

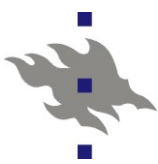




Kompositer

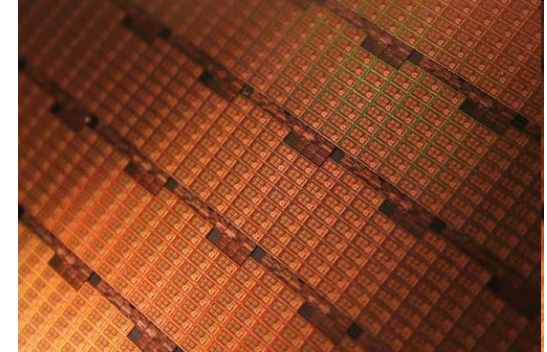
- Blandning mellan olika grundmaterialtyper
 - Har även blandning av egenskaperna
 - Poängen är givetvis att kombinera de goda egenskaperna, t.ex. en kerams hårdhet med en polymers flexibilitet
 - Kan även vara blandning av en enda grundmaterialtyp, t.ex. en typ av metall i en lagerstruktur med en annan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





Halvledare

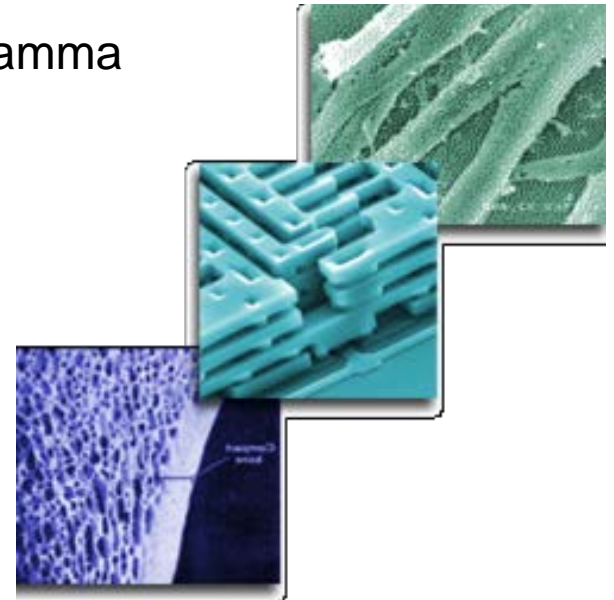
- Material vars elektriska egenskaper är mellan de hos metaller och ickeledare
 - **Definition: ledningsförmågan beror starkt på temperaturen, men är 0 vid 0 K**
 - Oftast är ledningsförmågan också mycket känslig till orenheter
 - Kan justerad med dem!
 - S.k. bandgapet > 0 men < 3 eV
- Kisel, germanium, III-V-kompounds, II-IV-kompounds och mera exotiska compounds
- Gränsen har lite flytit historiskt:
 - T.ex. GaN och ZnO med bandgap på ~ 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



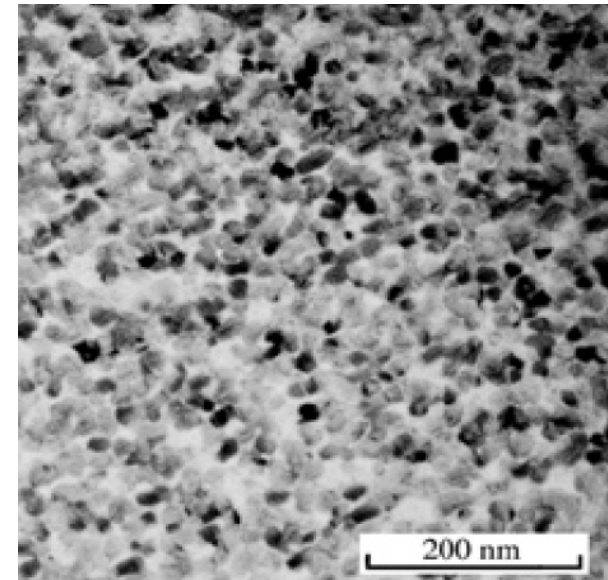
[<http://www.gizmag.com/smart-energy-glass/14700/>]

- 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 μm
- Nanomaterial har per definition minsta beståndsdelar i storleksordningen 1 – 100 nm
 - Dessutom bör det finnas något nyhetsvärde sedan 1980-talet i materialtypen





Varför är nanomaterial 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 ytatomena:

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

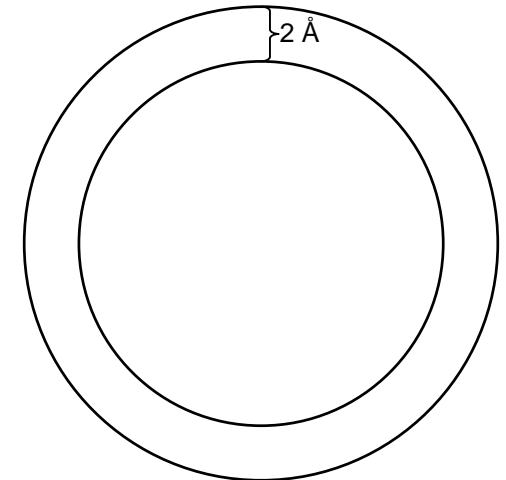
- Hela bollens volym:

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

- 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!

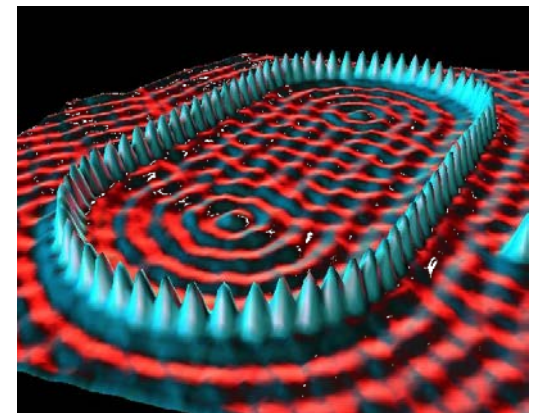




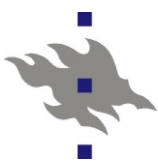
Varför är nano annorlunda?

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

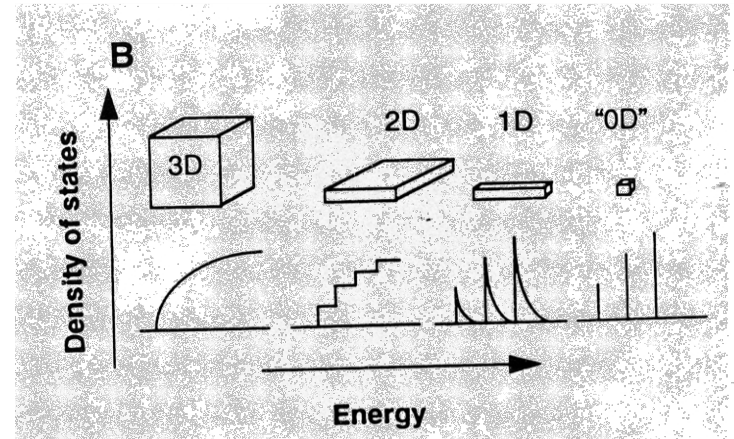
- Elektronernas tillståndstäthet är dramatiskt olikt då man sänker på antalet dimensioner:

- 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 platser

- Spännande optiska effekter och tillämpningar!



Fotoemission från olika stora CdSe/CdTe-nanopartiklar