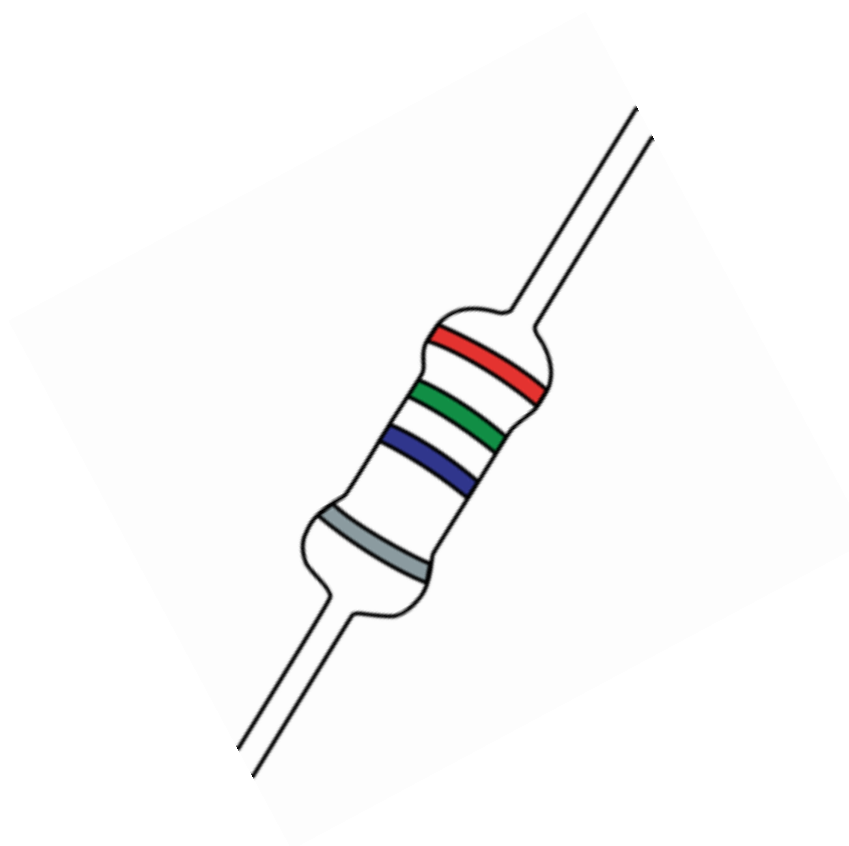


Föreläsning 12

Halvledare

PN-diod

Kretsanalys med diodkretsar.



Labrapport

Gratisprogram för att rita kretsar:

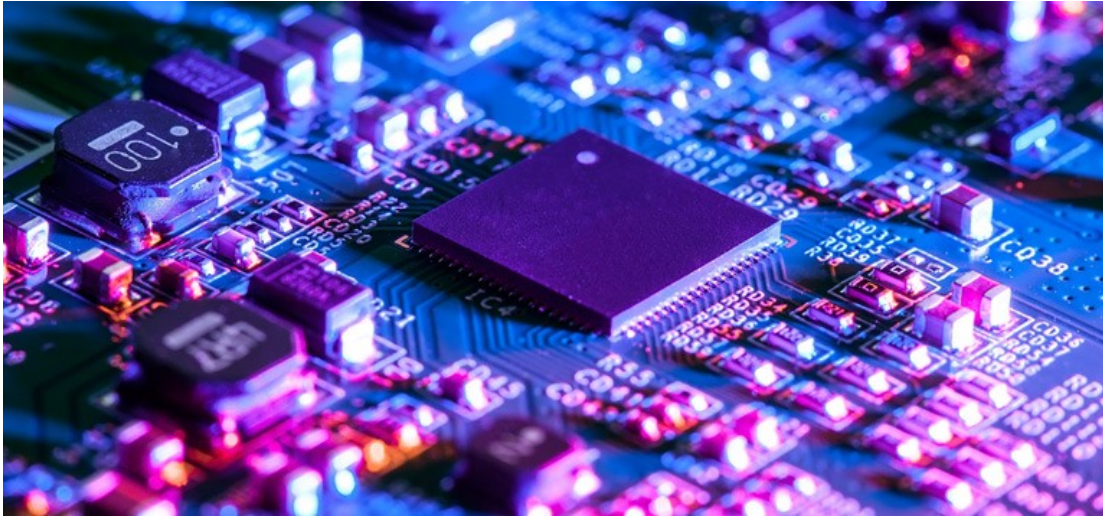
<http://www.digikey.com/schemeit/>

QUCS

LTSPICE

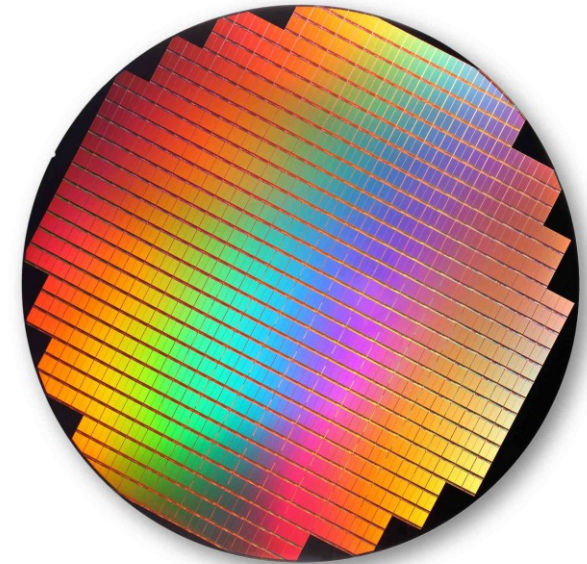
... (?)

Halvledare – en snabb introduktion



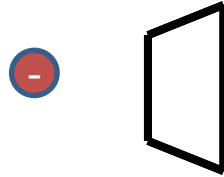
5 B Boron 2.34	6 C Carbon 2.62	7 N Nitrogen 1.251
13 Al Aluminum 2.70	14 Si Silicon 2.33	15 P Phosphorus 1.82
31 Ga Gallium 5.91	32 Ge Germanium 5.32	33 As Arsenic 5.72

©2001 HowStuffWorks



Resistans på elektronnivå

$$I = U / R = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

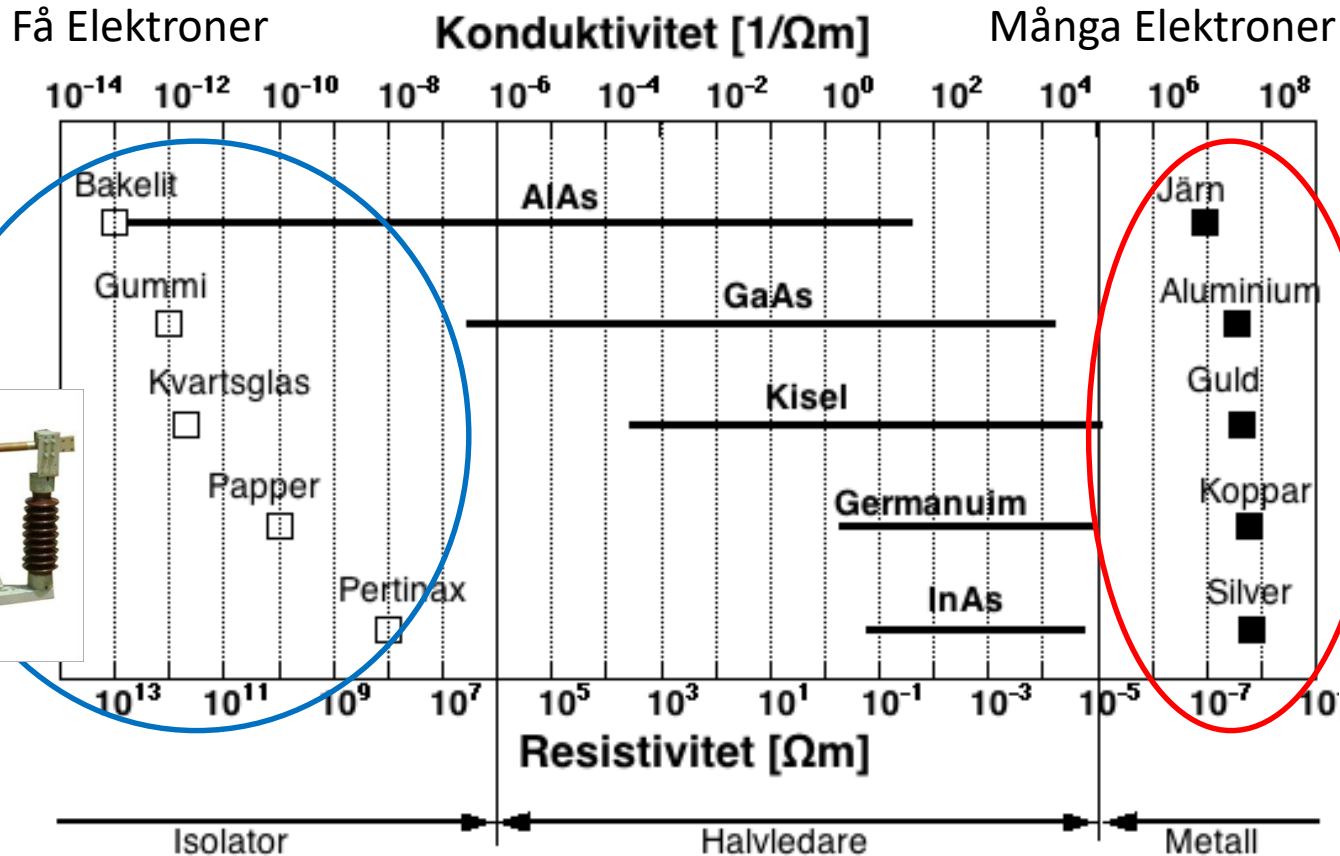


$$R \propto \frac{1}{Q}$$

$$\rho \propto \frac{1}{Q}$$

Koncentrationen av (**rörliga**) elektroner i ett material styr dess resistans!

Isolator – Halvledare - Metall



Skillnad i resistivitet mellan metal och isolator - 10¹⁸ !!

Metall /Isolator



Koppar

$\sim 10^{23}$ atomer / cm^3

$\sim 10^{24}$ elektroner / cm^3

**Mycket elektroner –
leder ström bra!**



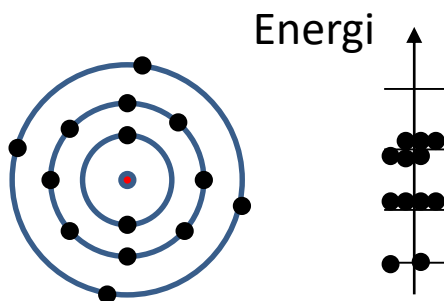
Glas - SiO_2

$\sim 10^{23}$ atomer / cm^3

$\sim 10^{24}$ elektroner / cm^3

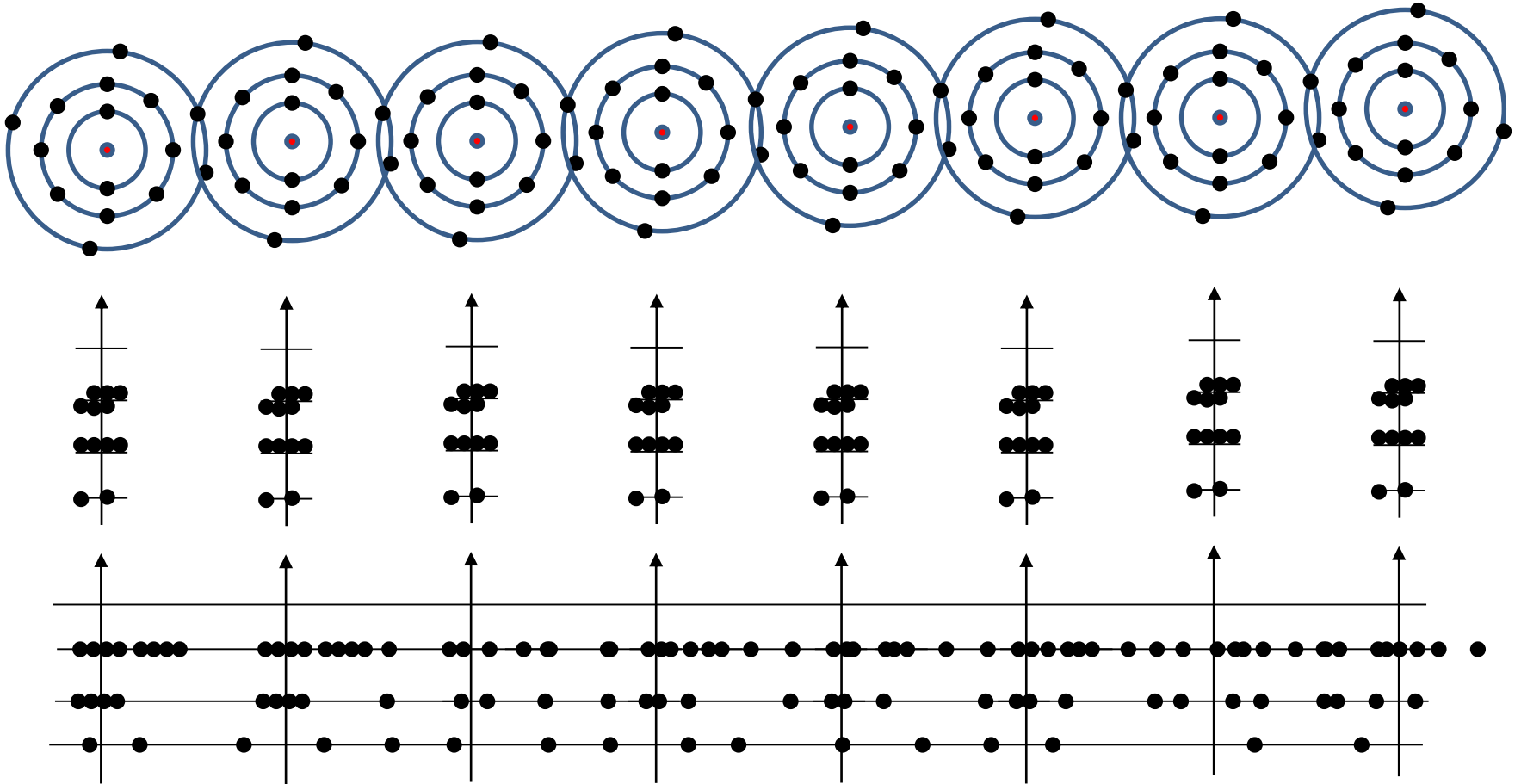
**Mycket elektroner –
leder inte ström alls ??**

Atomfysik



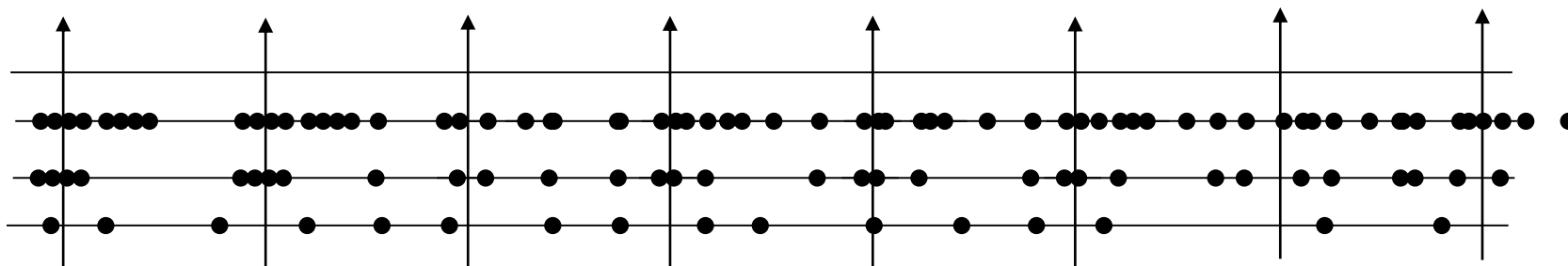
- Atomen har olika 'skal'
- Varje skal kan endast ha ett visst antal elektroner
- En elektron i ett högre skal har högre energy
- Det sista skalet som har ha elektroner kallas valensskalet
- Typiskt plats för 8 elektroner i valensskalet

Banddiagram – Fasta Material



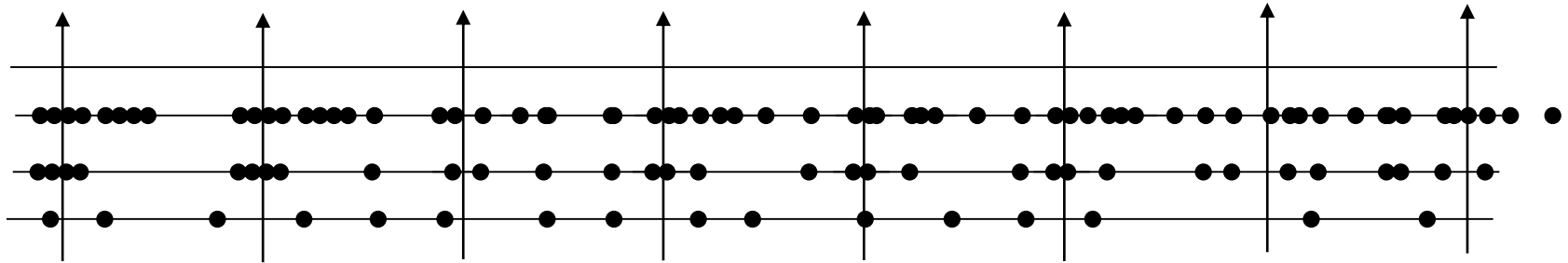
- Atomernas skal överlappar varandra
- Bildar *delokaliserade* "band" som sträcker sig över hela materialet
- Elektroner kan röra sig fritt i banden

Banddiagram - Isolator



- Fullt band + Pauliprincipen
- Ingen elektron kan flytta på sig – alla lediga platser upptagna
- Kan inte leda någon ström!
- Isolator!

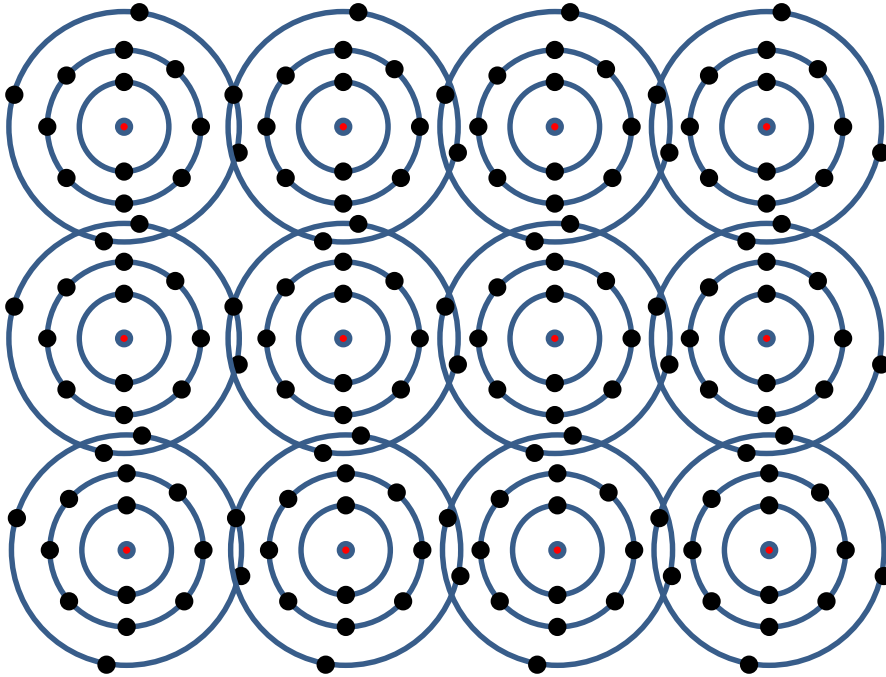
Banddiagram - Metall



- **Delvis** fullt band
- Elektroner som **KAN** röra på sig.
- **Halvfullt band** – maximal ledningsförmåga! Gott om elektroner och gott om plats!
- Beror på antalet valenselektroner
- ***Metall!***

Metall – Isolator: 10^{18} gånger skillnad i ledningsförmåga! (En triljon – miljarder x miljarder)

Isolator / Halvledare



Kisel:

4 valenselektroner

Kovalenta bindningar till 4 andra Si-atomer

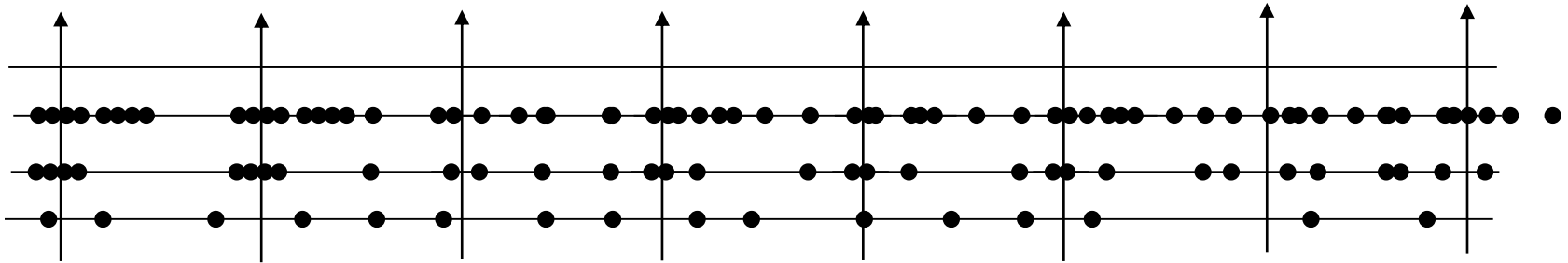
Fyllt valensskal (8 elektroner)– alla elektroner är bundna till var sin Si-atom.

Gott om elektroner – men inga kan flytta på sig! Leder inte ström!

(Egentligen behöver vi använda kvantmekanik för att på riktigt förstå vad som händer...)

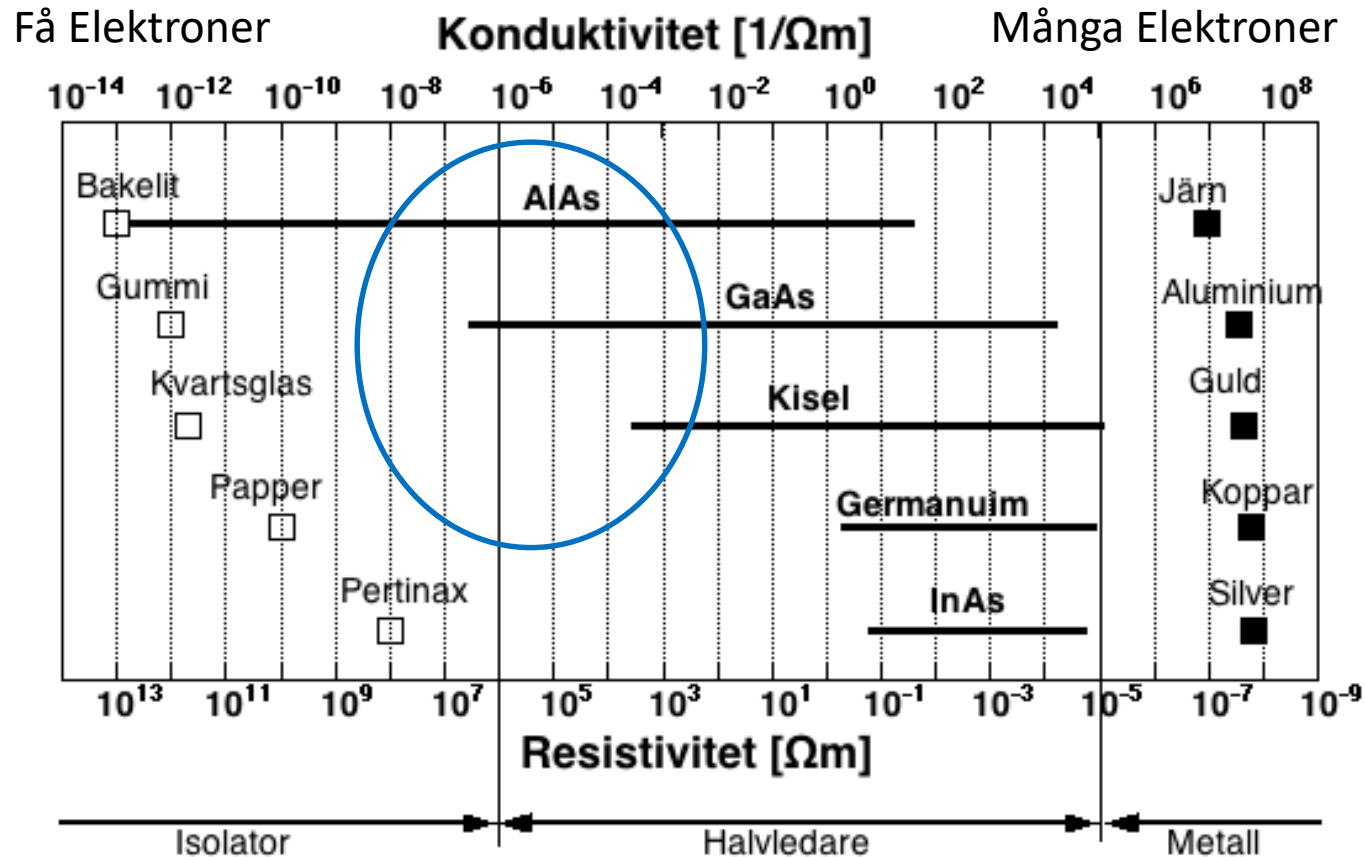
En intrinsisk halvledare uppför sig som en isolator!

Halvledare – Isolator (!)



- Fullt band + Pauliprincipen
- Ingen elektron kan flytta på sig – alla lediga platser upptagna
- Kan inte leda någon ström!
- Isolator!

Isolator – Halvledare - Metall



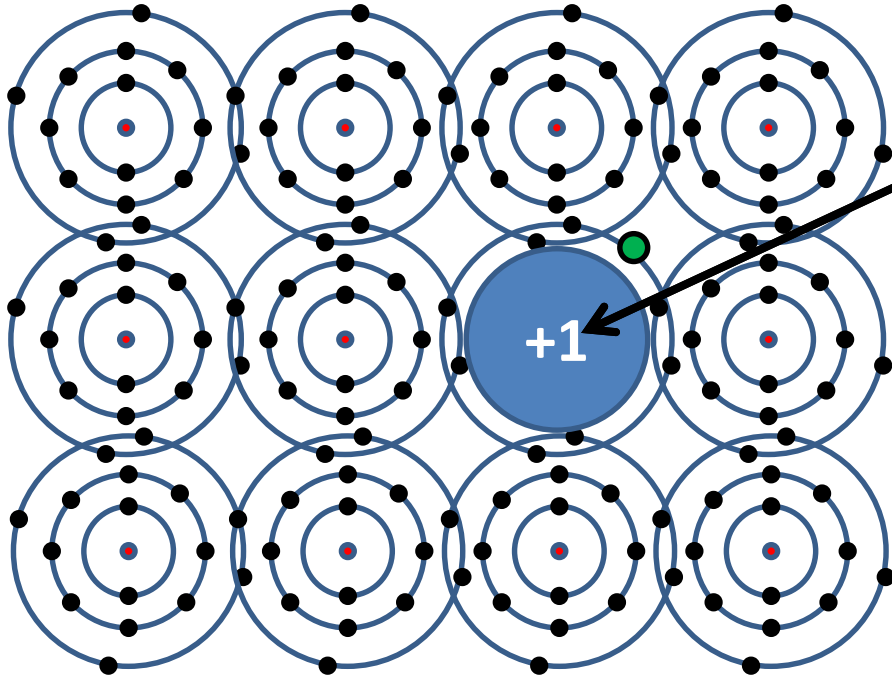
Isolator – hög resistivitet:
Få rörliga elektroner

Halvledare (?)

Metall – låg resistivitet:
Många rörliga elektroner

Ett material utan bandgap

Artificiella Metaller / Isolatorer: Halvledare: n-dopning



Om vi ersätter några Si-atomer med exempelvis Fosfor (P).

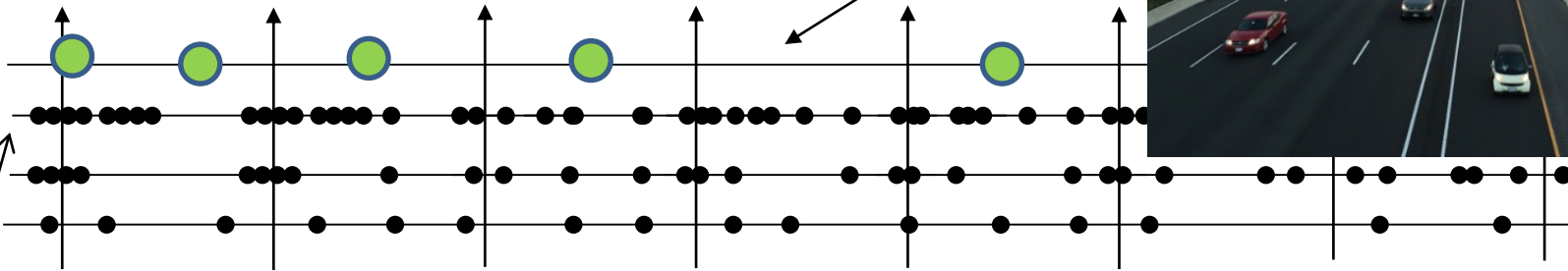
En valenselektron mer än Si!

Sitter inte alls fast – kan åka omkring i halvledaren!

Vi får några rörliga *negativa* elektroner och några (fast) positiv laddad joner!

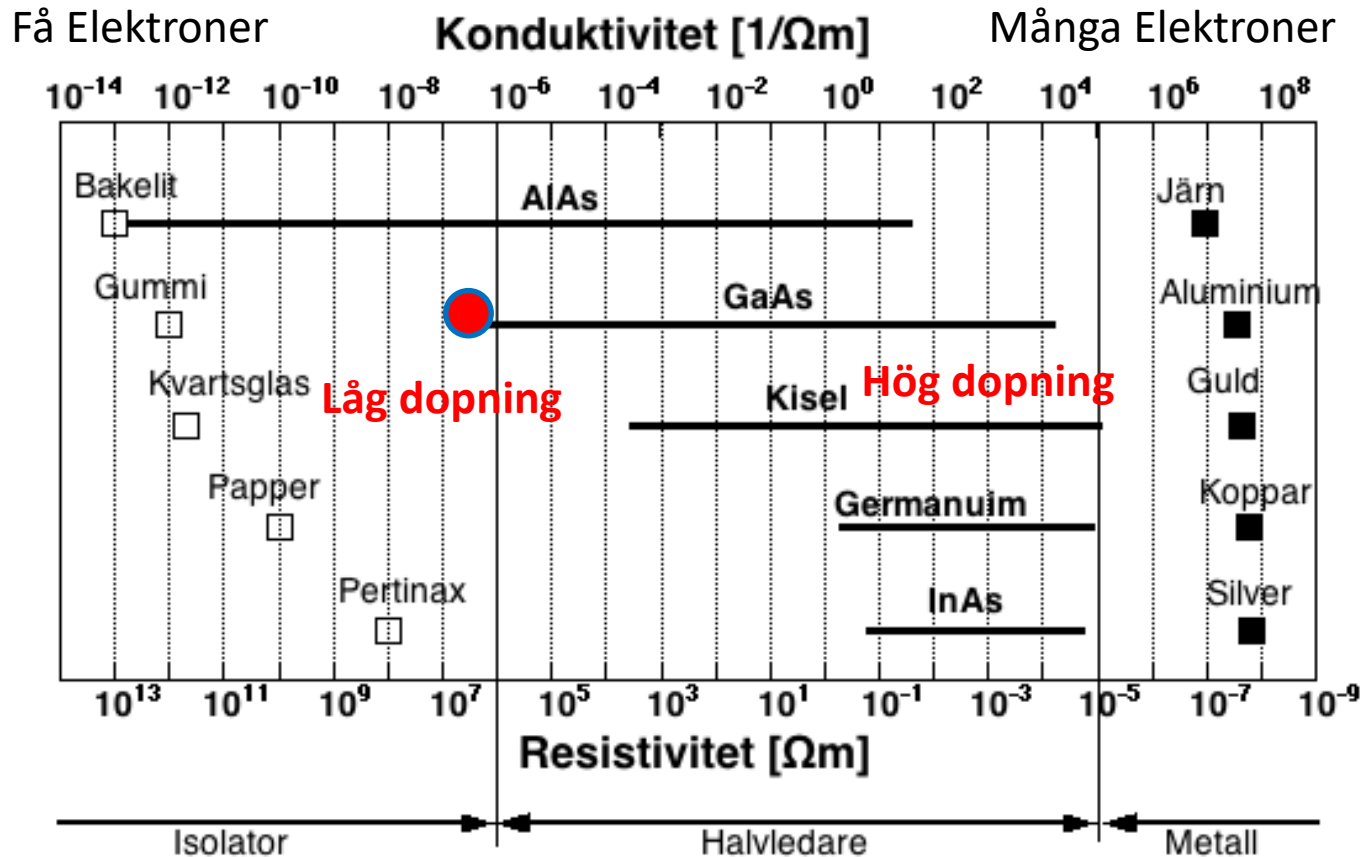
Koncentration av rörliga elektroner = Koncentration av fosfor-atomer i Kisel

Halvledare: n-dopad



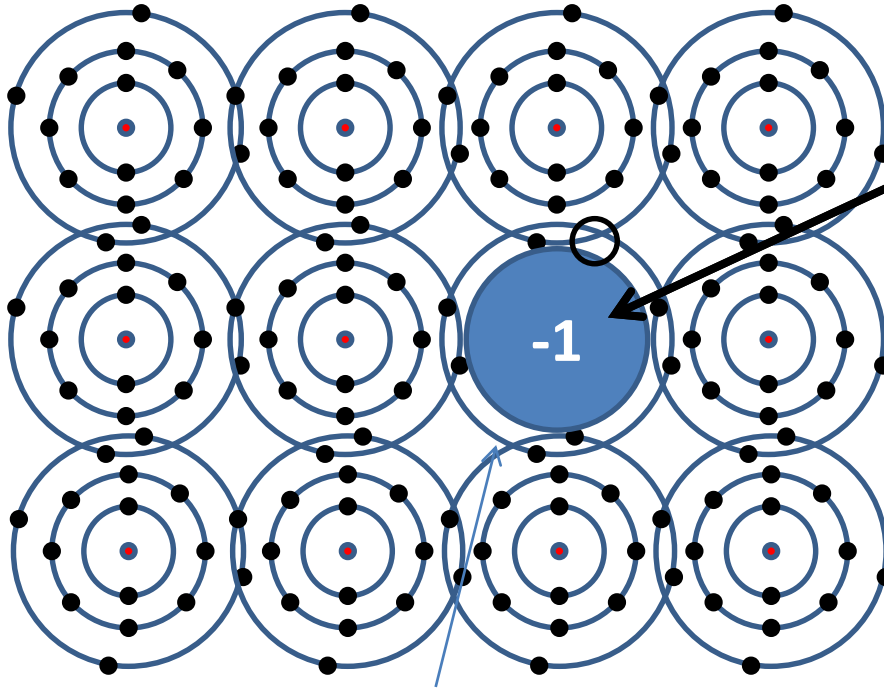
- Varje Fosforatom lämnar en elektron i ett band ovanför valensbandet (nästa lediga plats)
- Elektronerna är fria att röra på sig där!
- Kan leda ström
- Ledningsförmågan – koncentration av fosfor!

Isolator – Halvledare - Metall



Vi kan enkelt styra halvledares resistans med dopning!

Halvledare: P-dopning



Om vi ersätter några Si-atomer med exempelvis bor (B).

En valenselektron *mindre* än Si!

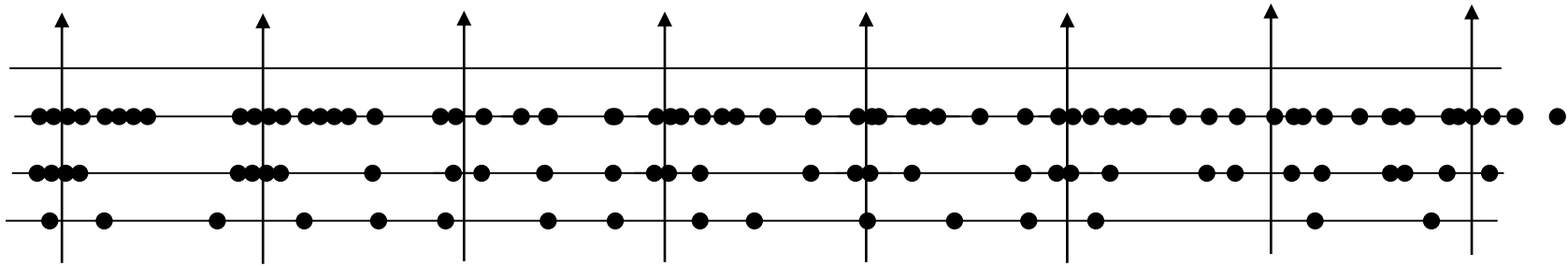
Ledig plats för elektroner att hoppa till – ett **hål** som flyttar på sig.

Hål – avsaknad av en elektron:
Uppför sig som en "Positiv laddning"

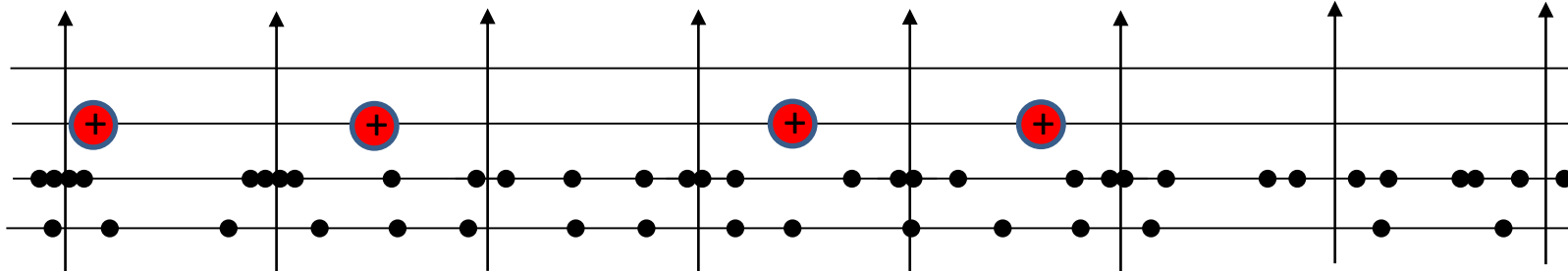
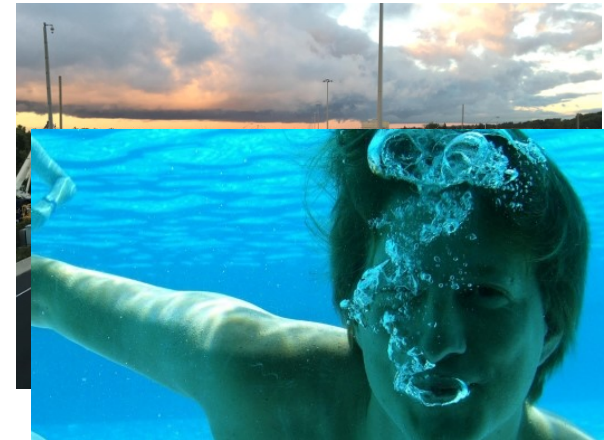
Vi får rörliga hål och fasta negativt laddade joner!

Koncentration av rörliga hål= Koncentration av bor-atomer i Kisel

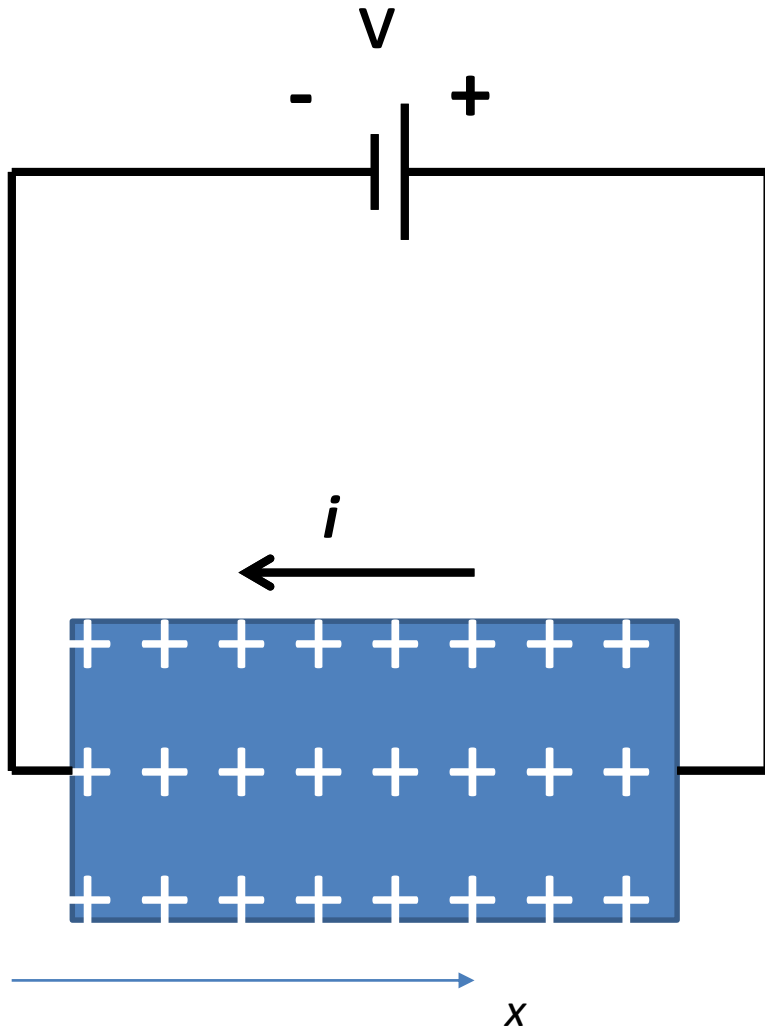
Halvledare – p-dopad



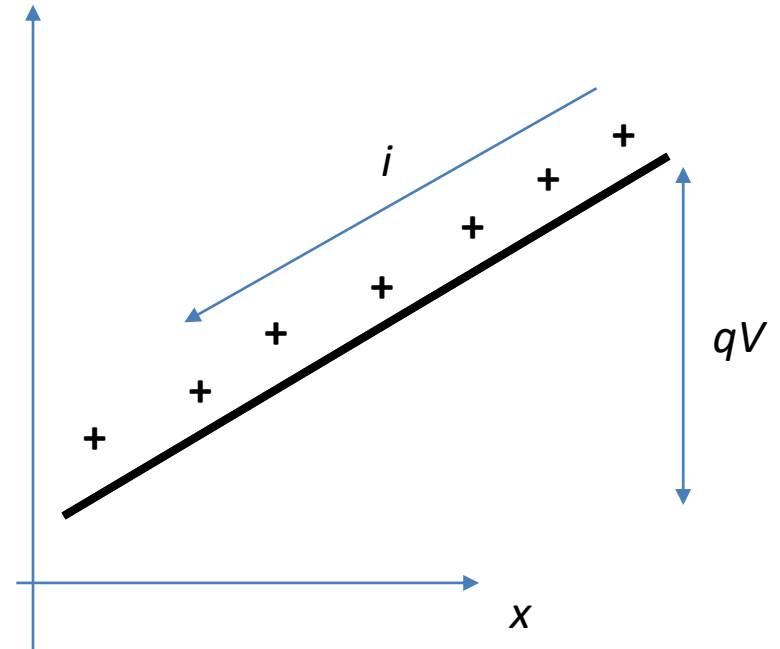
- Varje bor-atom tar BORT en elektron från valensbandet
- Ger EN ledig plats
- Avsaknad av en elektron i ett hav av negativa elektroner
- **Ekvivalent** med en positiv laddning i ett tomt band!
- Kallas positiva 'hål'
- Kan leda ström!



Ledning

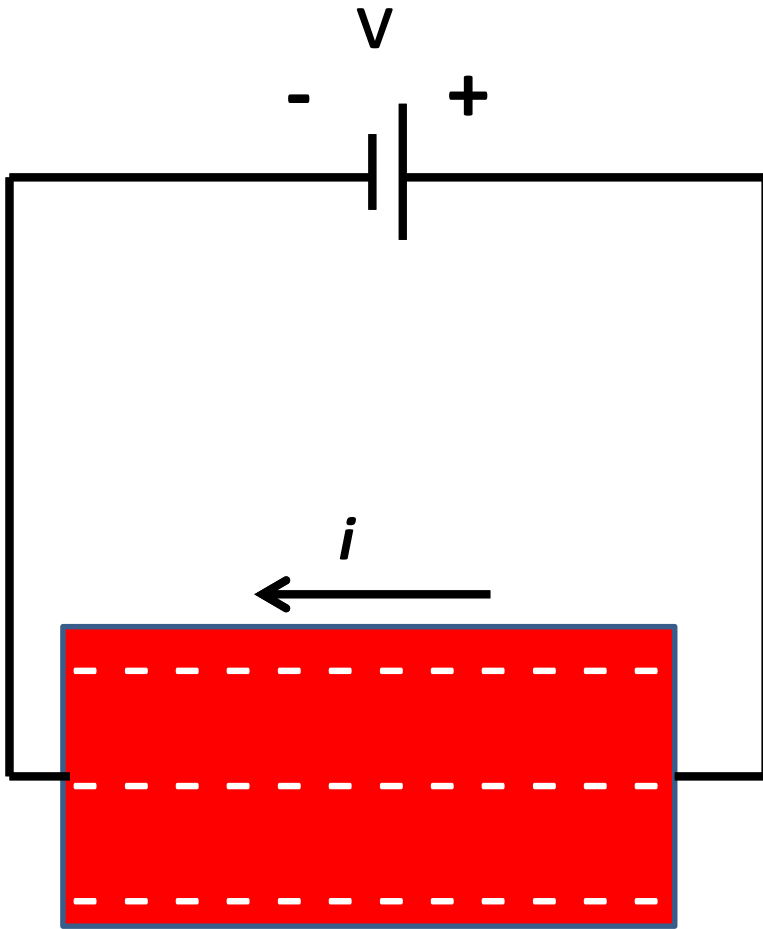


Potentiell energi

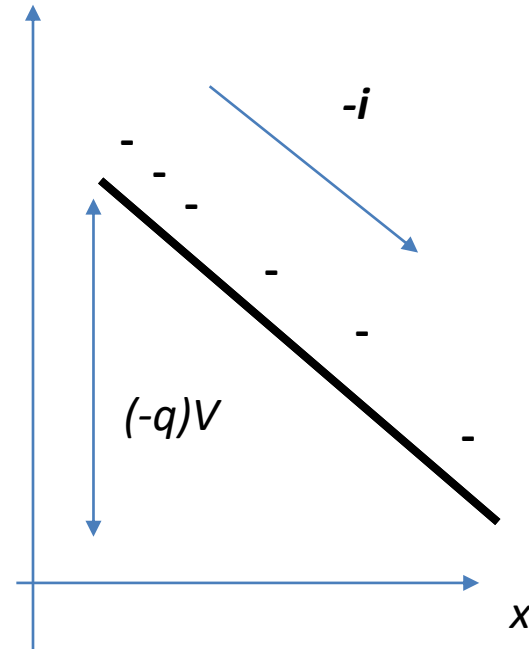


- Koncentration av *hål* sätter resistiviteten!
- Ström från hög till låg potential! (potential energi ger ström!)

Ledning: n och p

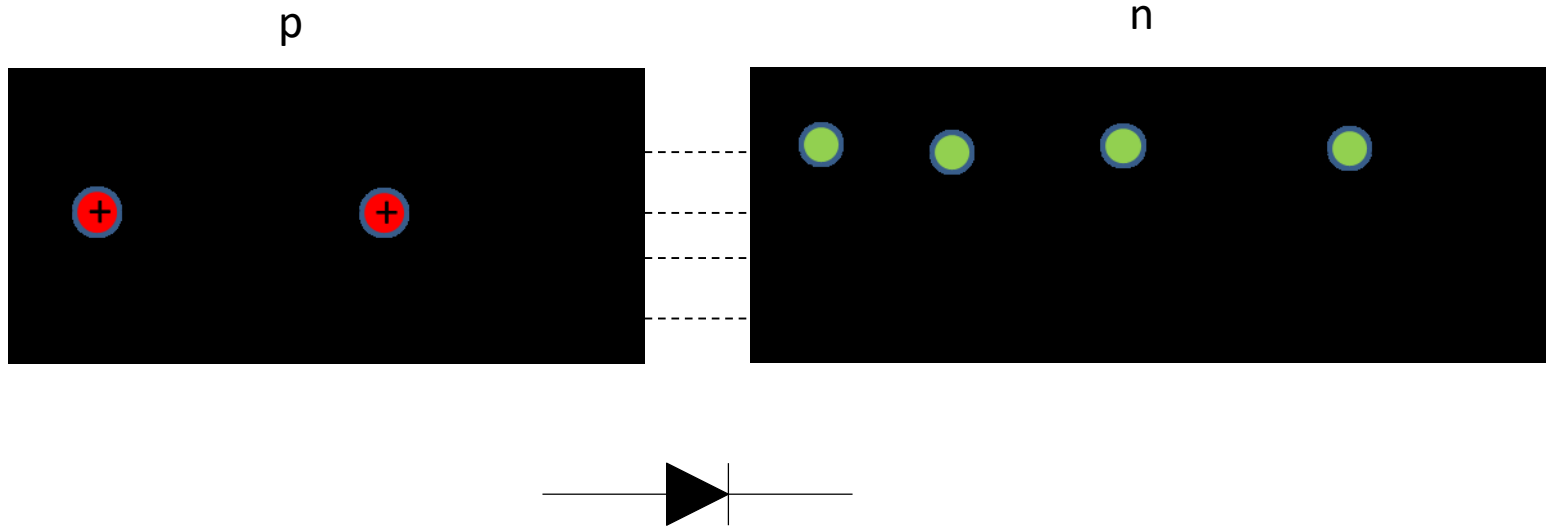


Potentiell energi

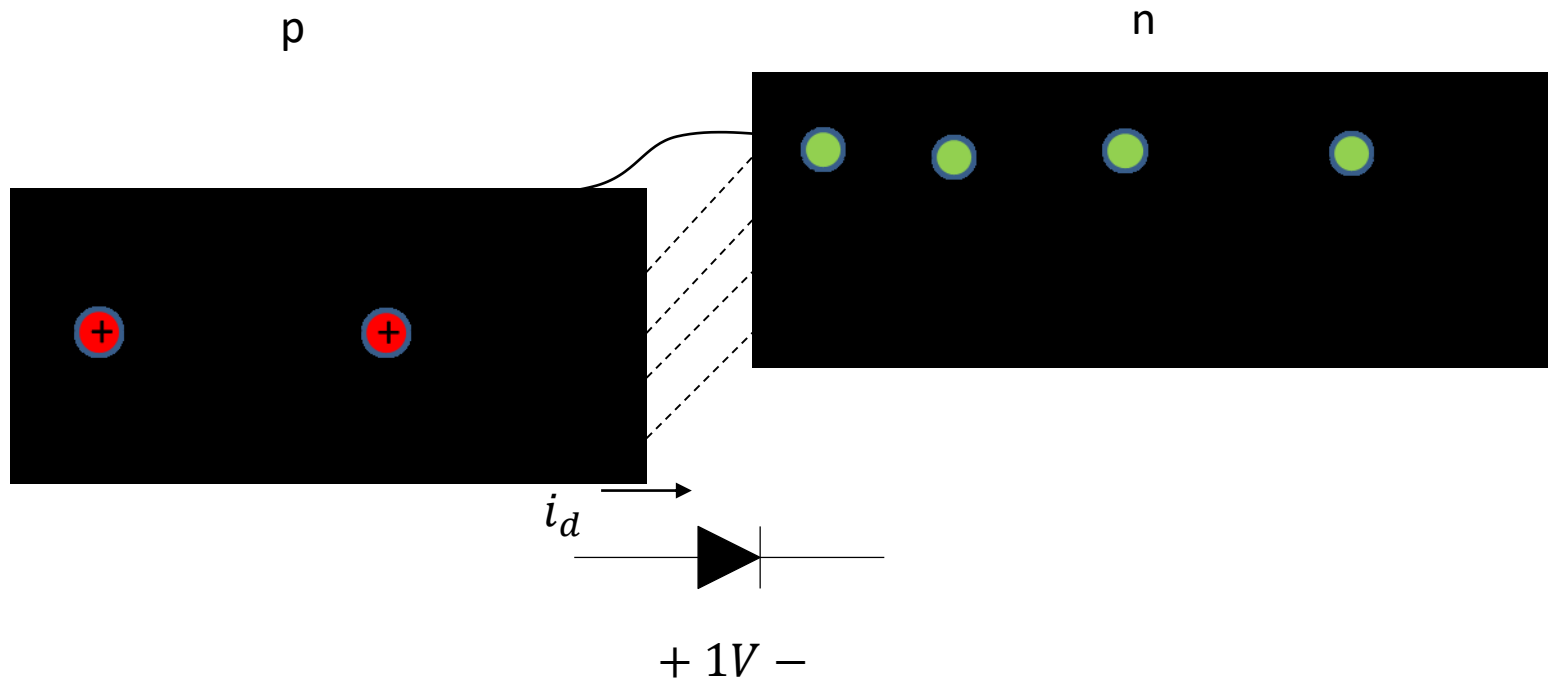


- Koncentration av *elektroner* sätter resistiviteten!
- (Negativ) Ström från hög till låg potential! (potential energi ger ström!)

pn-diod



Framspänd – pn-diod – leder ström!

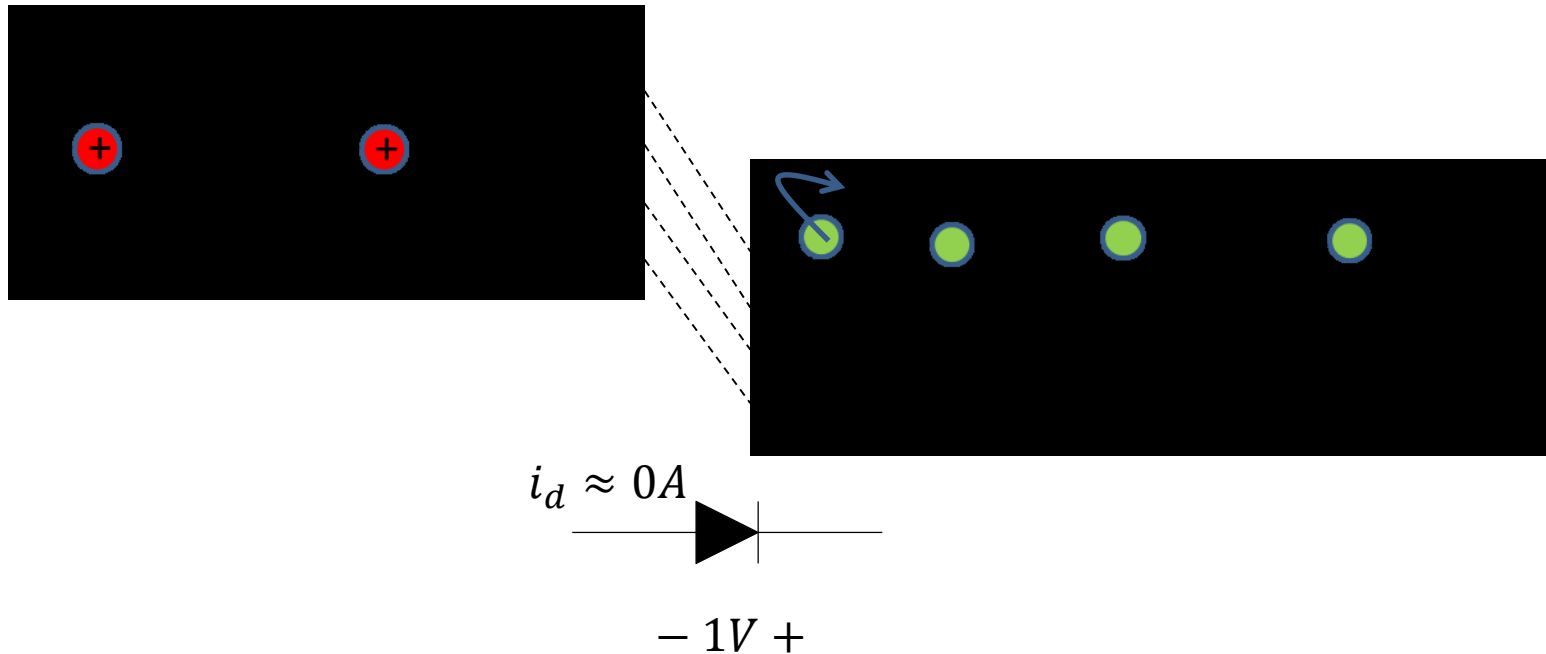


Framspänd diod – Elektroner kan flytta på sig!

Hål – som vattenbubblor – vill bubbla upp.

Dioden leder ström!

Backspänd – pn-diod – blockerar ström!

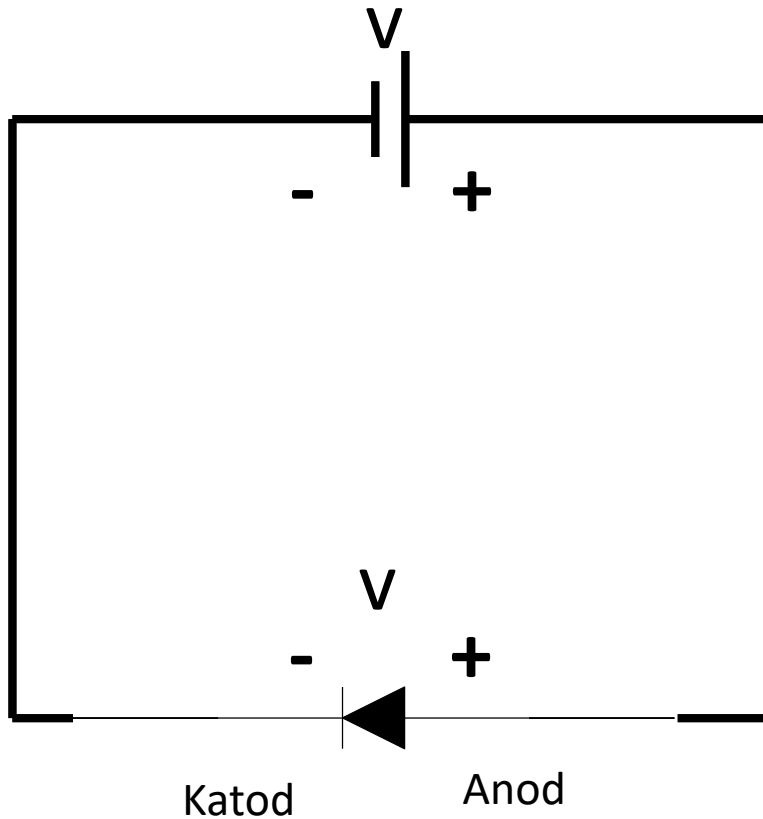


Backspänd diod – Elektronerna skulle behöva få en HÖGRE energi. Flyter I princip INGEN ström!

Hål – som vattenbubblor – kan inte 'bubbla' neråt!

Dioden leder INTE ström!

Diodekvationer



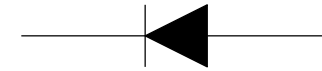
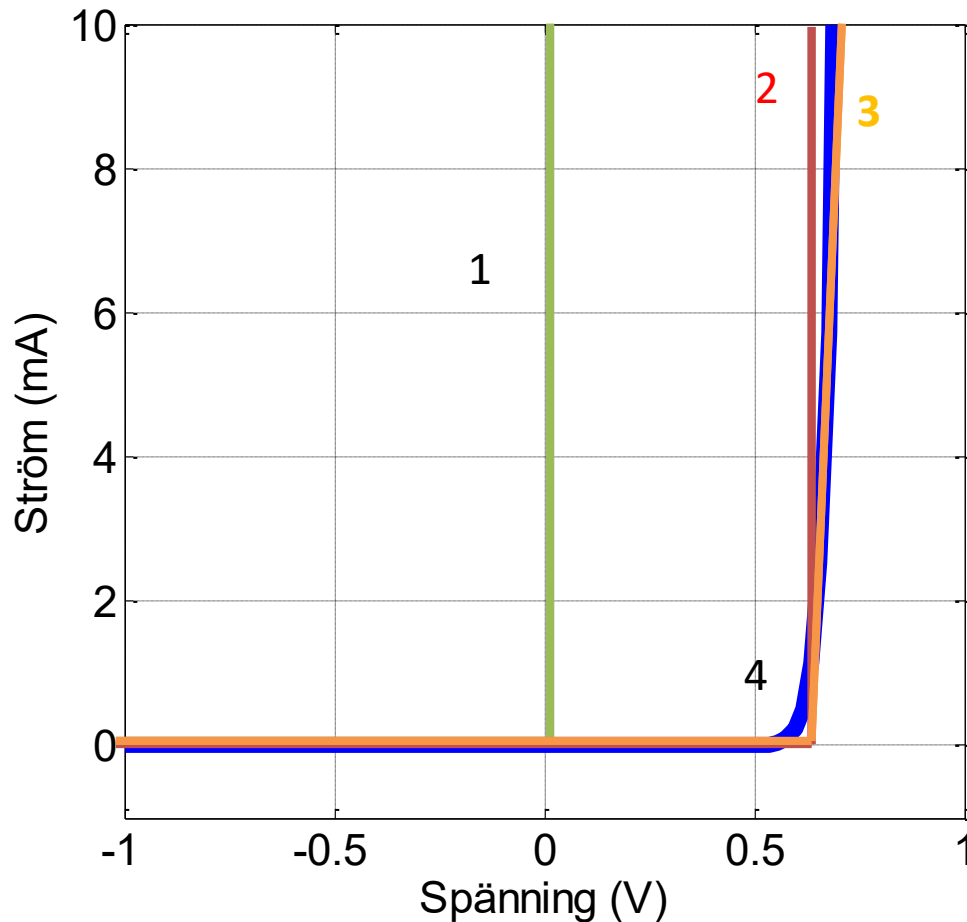
$$i = I_0 \left(e^{\frac{v}{n \cdot v_T}} - 1 \right)$$

$$v_T = \frac{kT}{q} = 25 \text{ mV}$$

$$I_0 \approx 10 \text{ fA}$$

$$n \approx 1 - 2$$

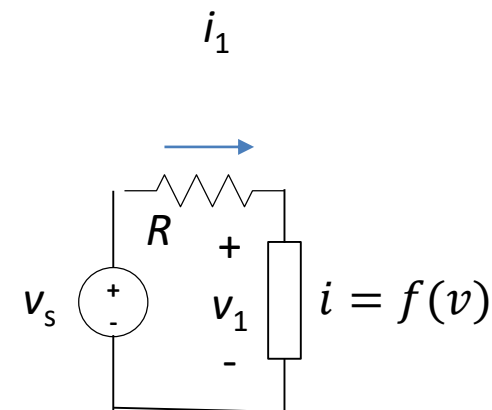
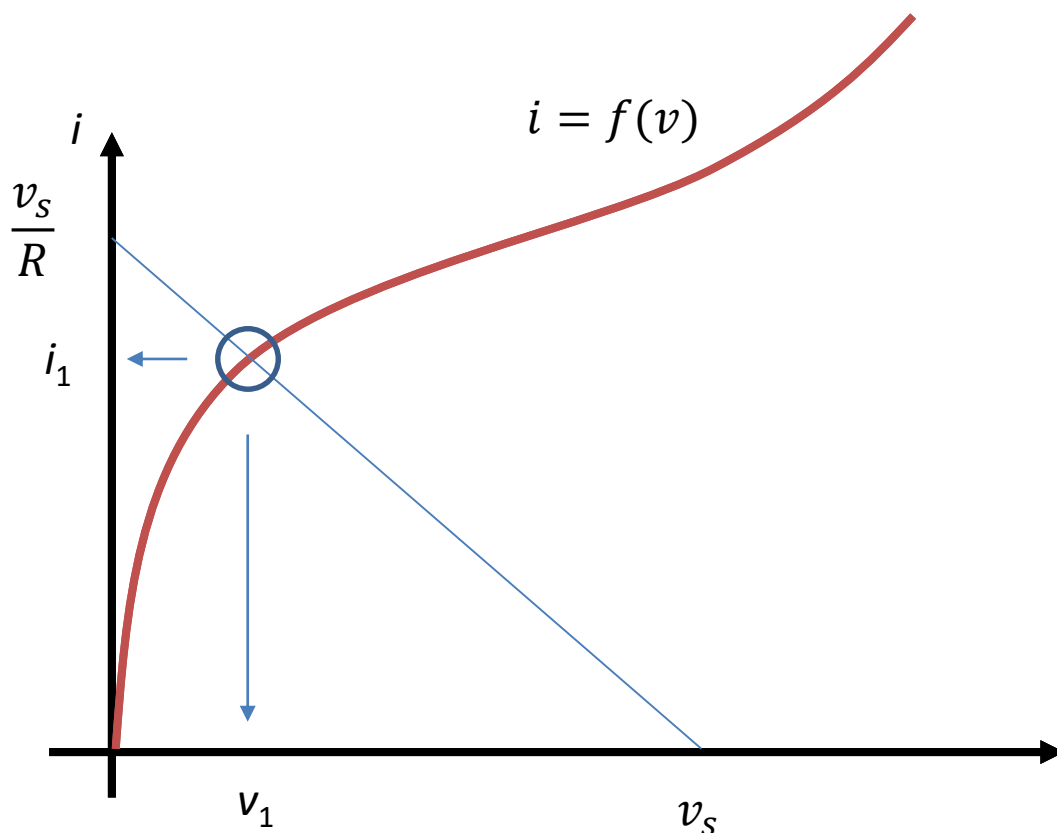
Diod Ström-Spänning - diodmodeller



$$i = I_0 \left(e^{\frac{v_d}{v_T}} - 1 \right)$$

1. Ideal diod
2. Ideal diod + knäspänning
3. Ideal diod + knäspänning och resistans
4. Full Exponentialfunktion

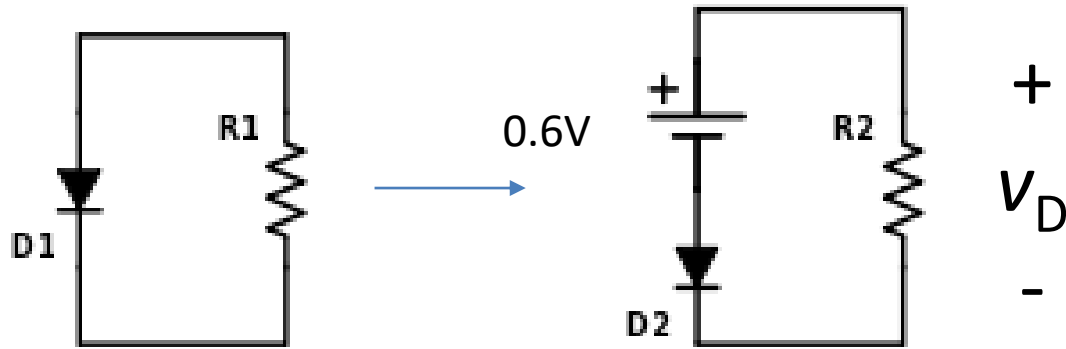
Lastlinje (load line) – grafisk lösning



1. Rita in $i=f(v)$
2. Markera v_s . Markera v_s/R_1
3. Förbind med rät linje
4. Skärningspunkten ger i_1 och v_1 .

Fungerar för spänningskälla och resistor i serie med olinjärt kretselement!

Diod/Resistor



Om vi använder modell 2 – hur stor är spänningen v_D för kretsen ovan? OBS – vi har ingen yttre spänningskälla!

- A: 0V
- B: 0.6V
- C: -0.6V
- D ???

Nano.participoll.com



Schema – kretsanalys med dioder

Kretsanalys kretsar med dioder:

- 1) Välj diodmodell (ideal eller ideal+knäspänning)
- 2) Gör en *kvalificerad* gissning för varje diod – framspänd eller backspänd.
- 3) Beräkna spänningar/strömmar.
- 4) Kontrollera att antagandet i 2) är korrekt.
 - 1) Framspänd – ström flyter åt rätt håll
 - 2) Backspänd – spänning är backspän
- 5) Stämmer gissningen – klar! Annars repetera från 2).

OBS – diodkretsar är olinjära! Superposition gäller generellt inte.

PN-övergång: Solcell – LED – Laser - Fotodiod

