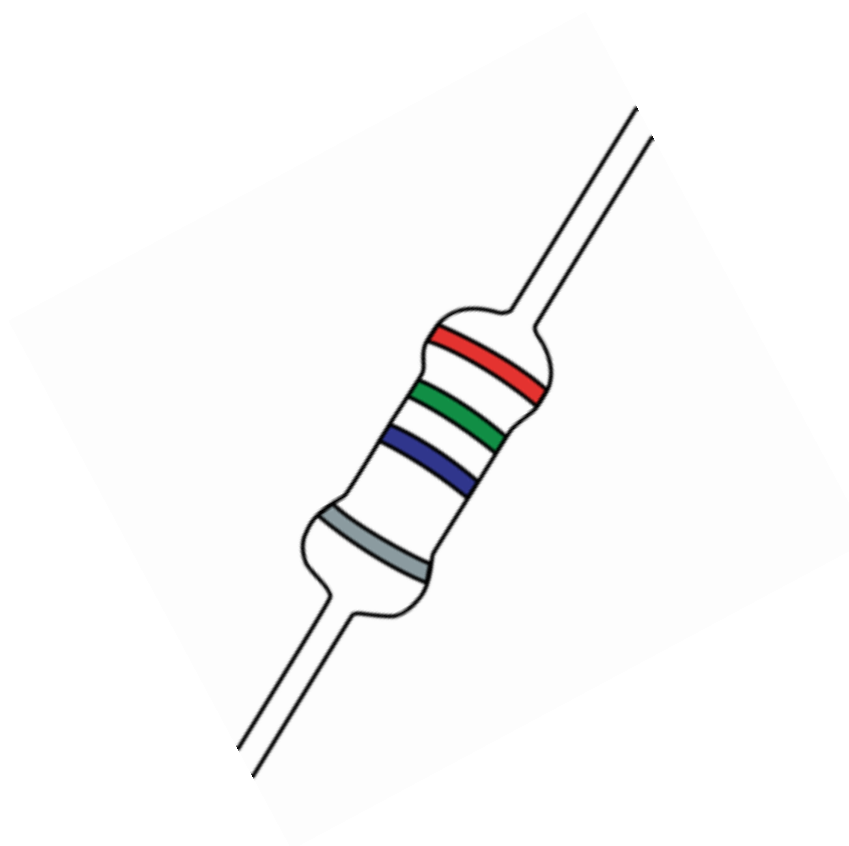


Föreläsning 12

Halvledare

PN-diod

Kretsanalys med diodkretsar.



Labrapport

Gratisprogram för att rita kretsar:

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

QUCS

LTSPICE

... (?)

Föreläsningen 15/10 inställd!

Min professoransökan har gått vidare till steg 1.

Jag ska på intervju måndag 8.40 15/10 vid LTH:s karriärnämnd.

+ Föreläsningen på måndag inställd – ni får sovmorgon!

- Föreläsningen 16/10 blir om förstärkare istället för inbjudna föreläsare.

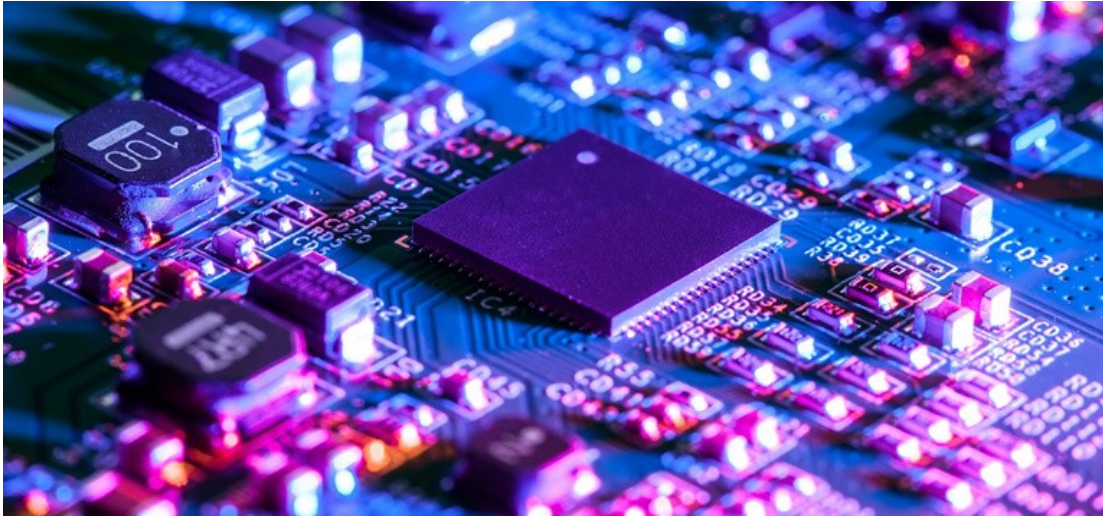
Professorship Application

Erik Lind

Department of Electrical and Information Technology

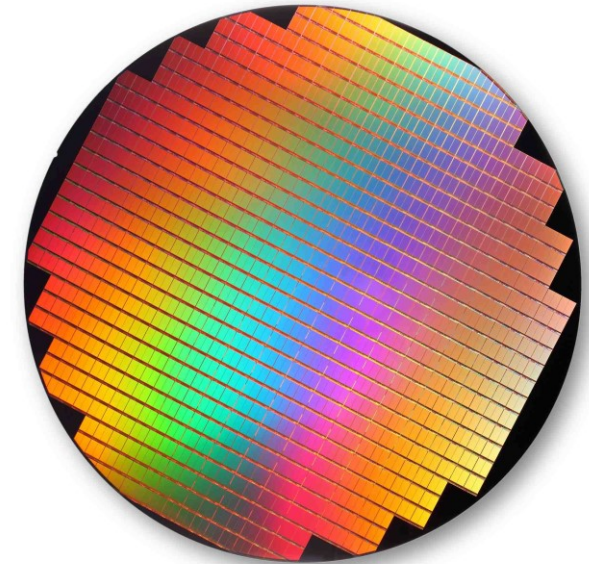
Lund University

Halvledare – en snabb introduktion



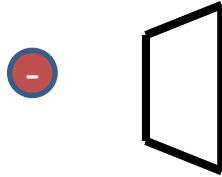
5 B Boron 2.34	6 C Carbon 2.62	7 N Nitrogen 1.251
13 Al Aluminum 2.70	14 Si Silicon 2.33	15 P Phosphorus 1.82
31 Ga Gallium 5.91	32 Ge Germanium 5.32	33 As Arsenic 5.72

©2001 HowStuffWorks



Resistans på elektronnivå

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

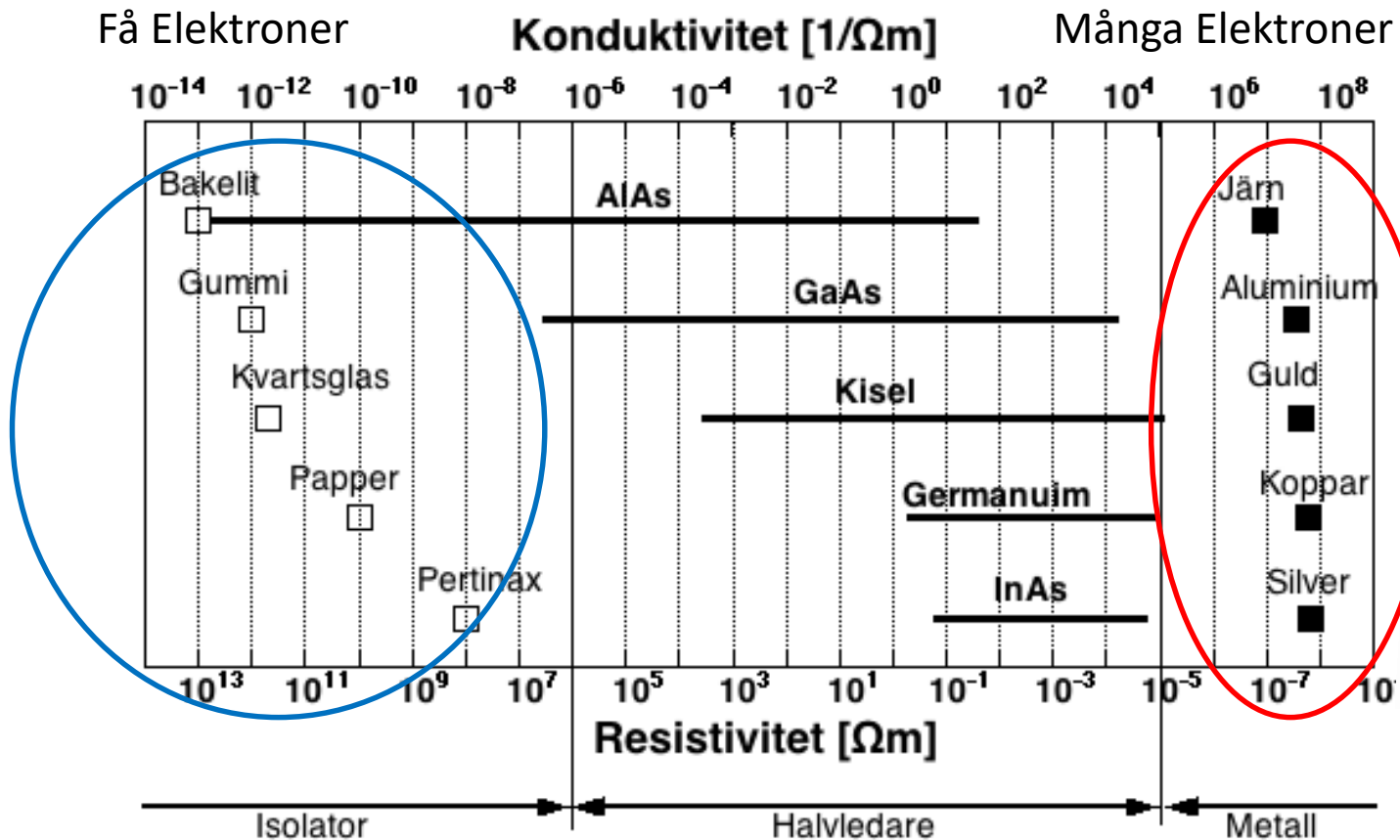


$$R \propto \frac{1}{Q}$$

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

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

Isolator – Halvledare - Metall



Isolator – hög resistivitet:
Få rörliga elektroner

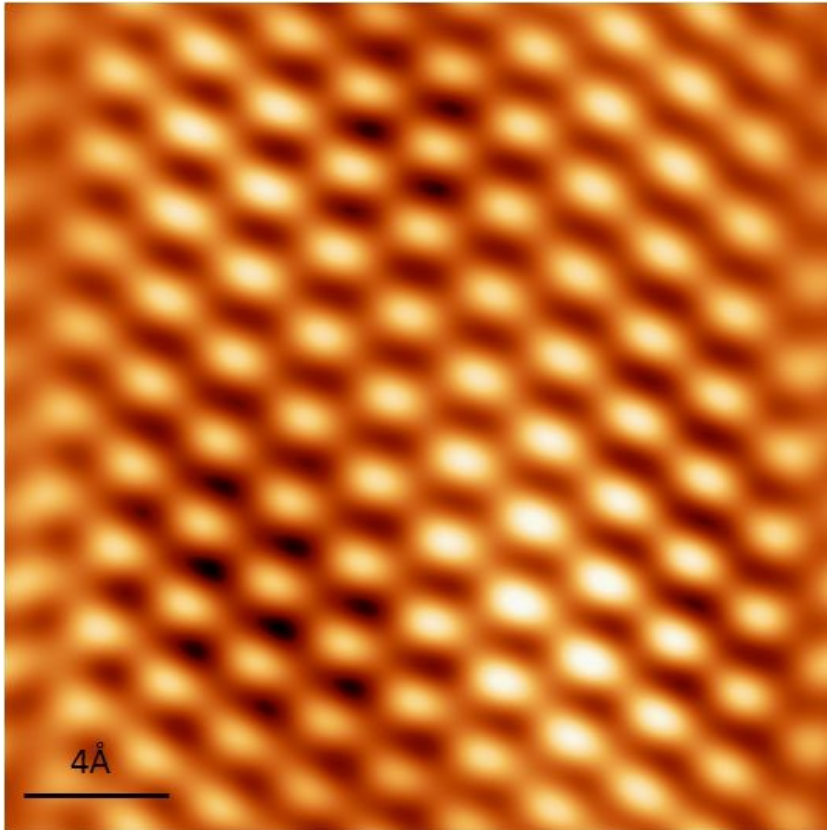
Halvledare (?)

Metall – låg resistivitet:
Många rörliga elektroner

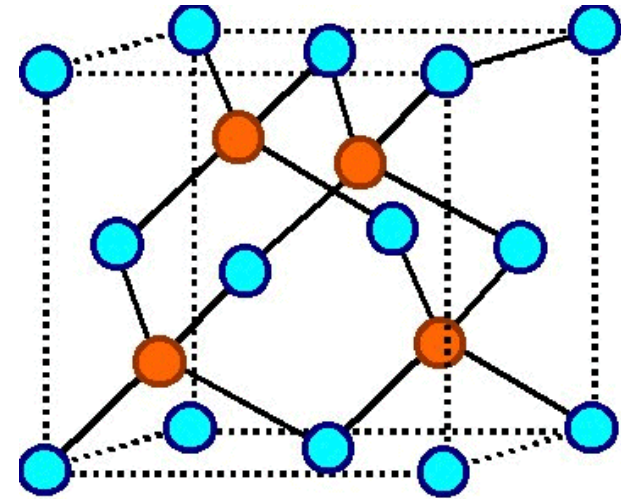
Ett material utan bandgap

Metall

Scanning Tunneling Microscope



En (våldigt ren) kopparyta

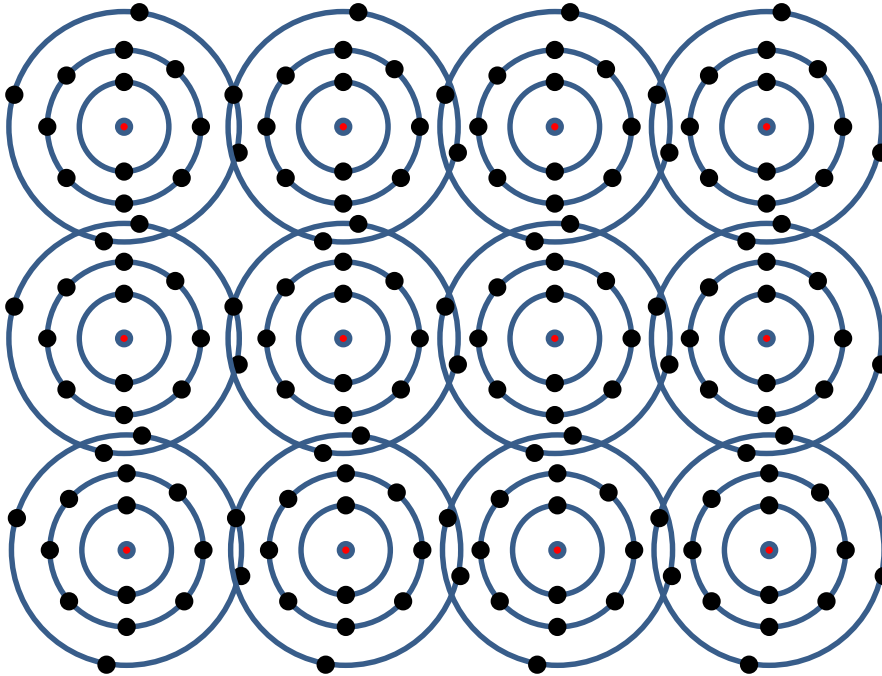


$\sim 10^{23}$ atomer / cm^3

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

Mycket elektroner –
leder ström bra!

Isolator – Halvledare - Metall



Kisel:

4 valenselektroner

Kovalenta bindningar till 4 andra Si-atomer

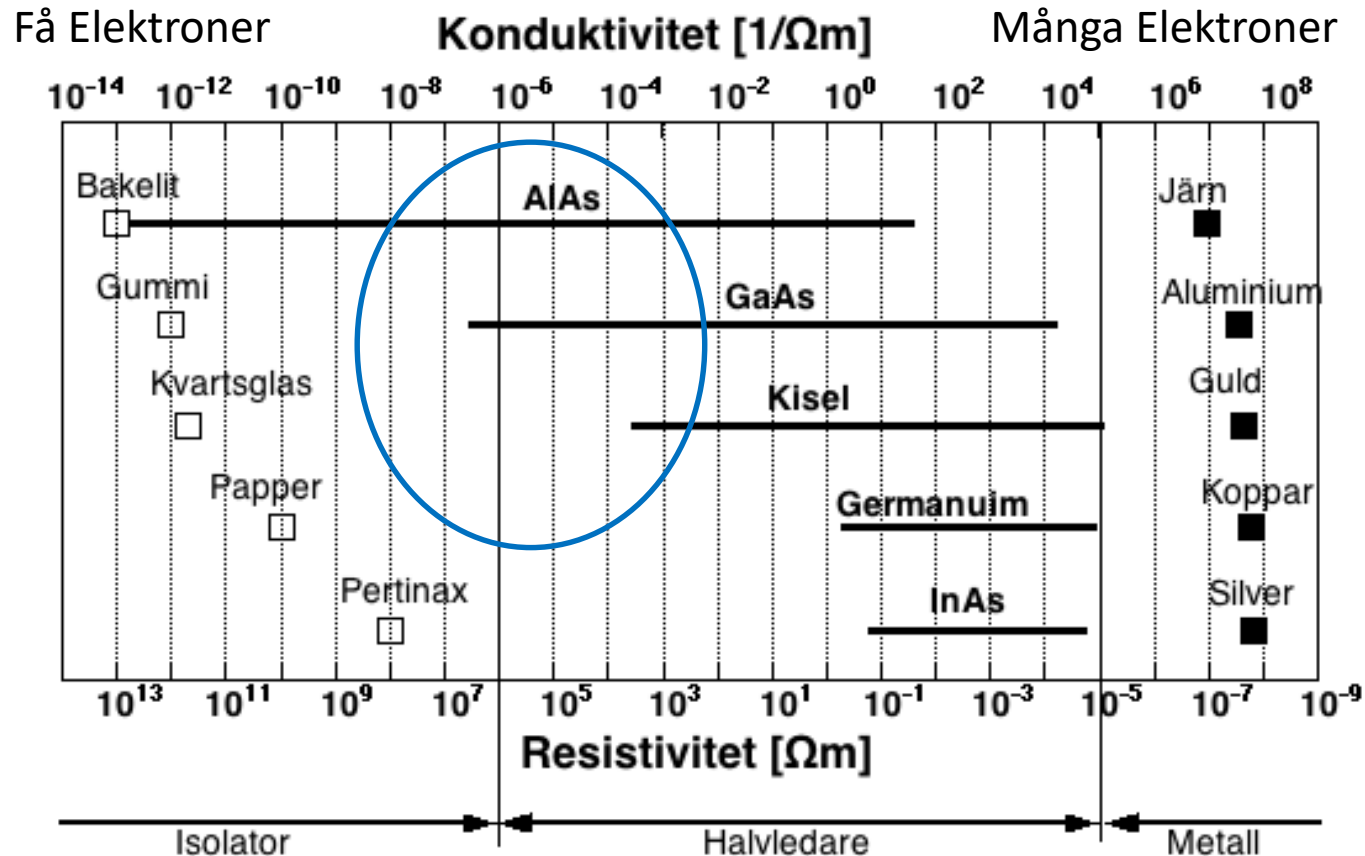
Fyllt valensskal (8 elektroner)– alla elektroner är bundna till var sin Si-atom.

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!

Isolator – Halvledare - Metall



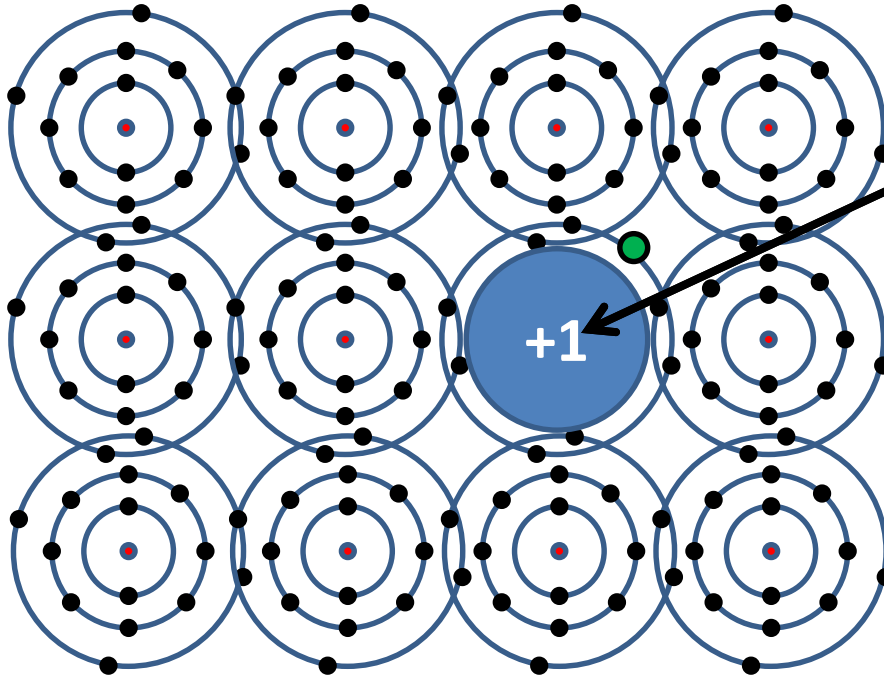
Isolator – hög resistivitet:
Få rörliga elektroner

Halvledare (?)

Metall – låg resistivitet:
Många rörliga elektroner

Ett material utan bandgap

Halvledare: n-dopning



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

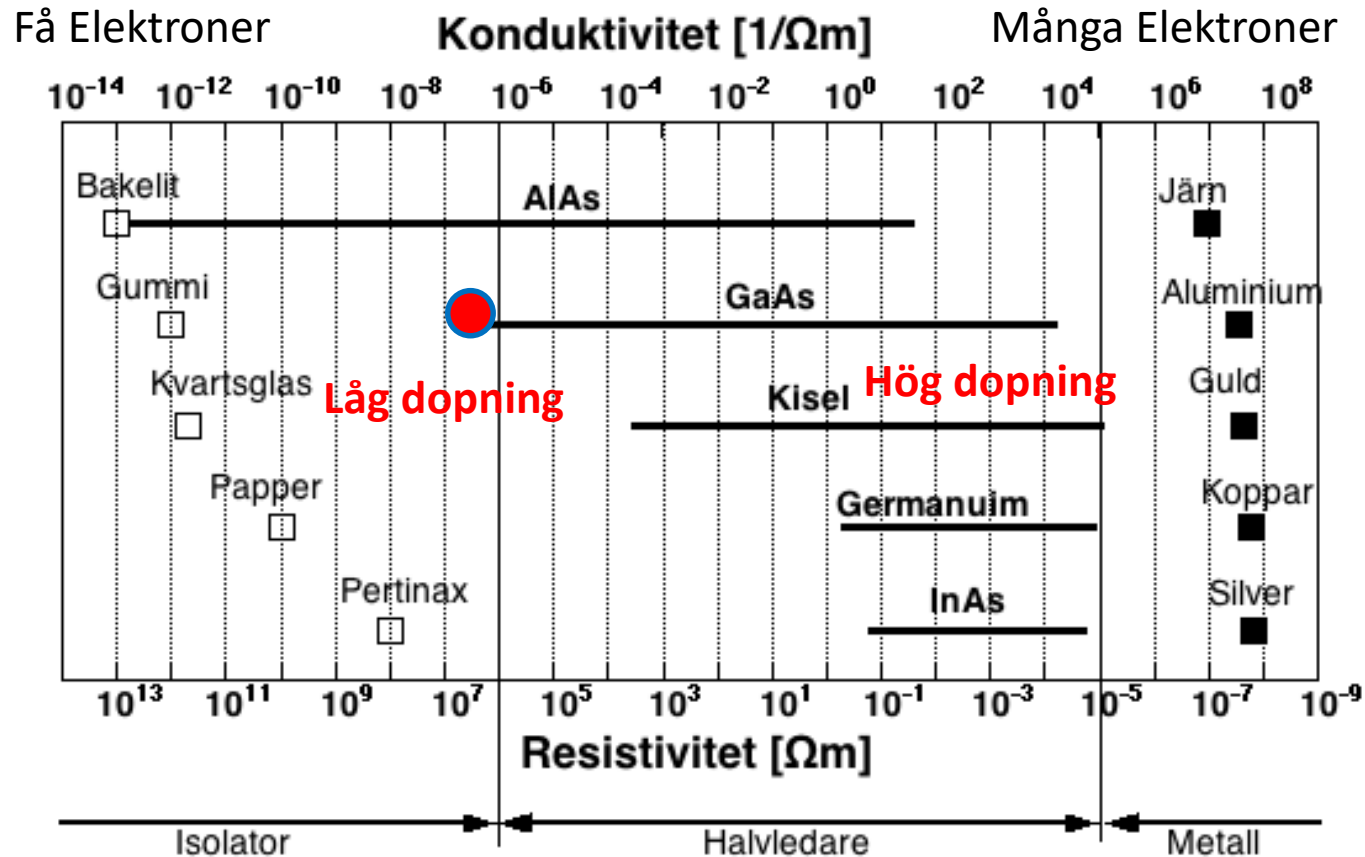
En valenselektron mer än Si!

Sitter inte alls fast – kan åka omkring i halvledaren!

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

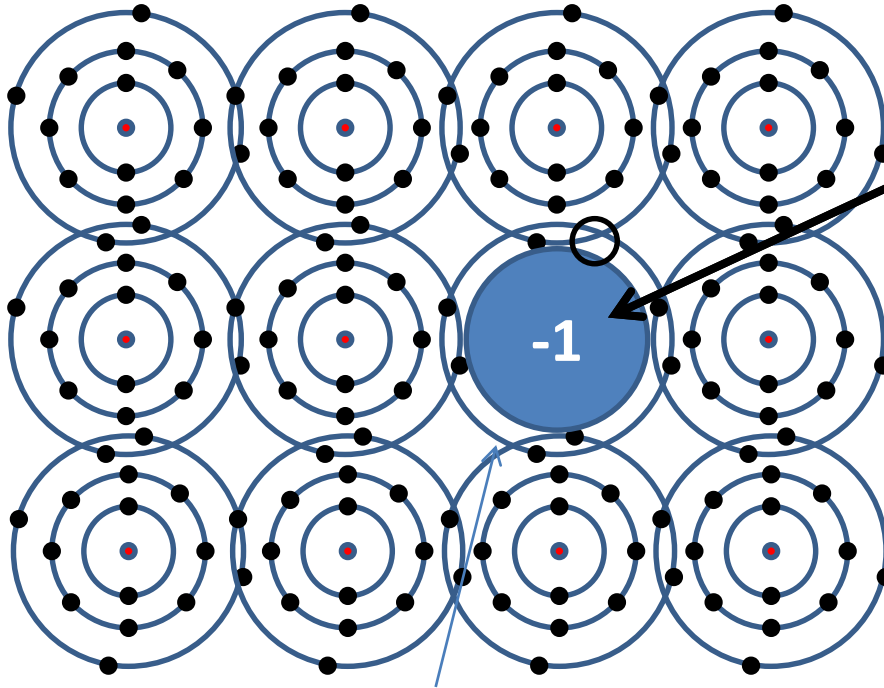
Koncentration av rörliga elektroner = Koncentration av fosfor-atomer i Kisel

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!

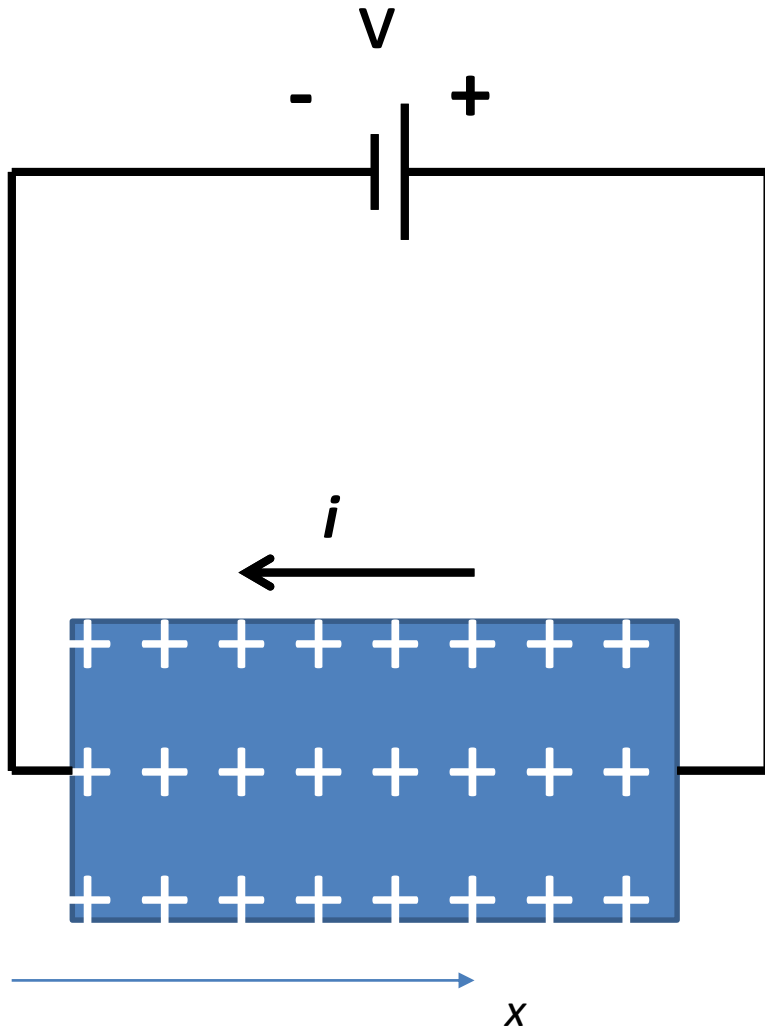
Ledig plats för elektroner att hoppa till – ett **hål** som flyttar på sig.

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

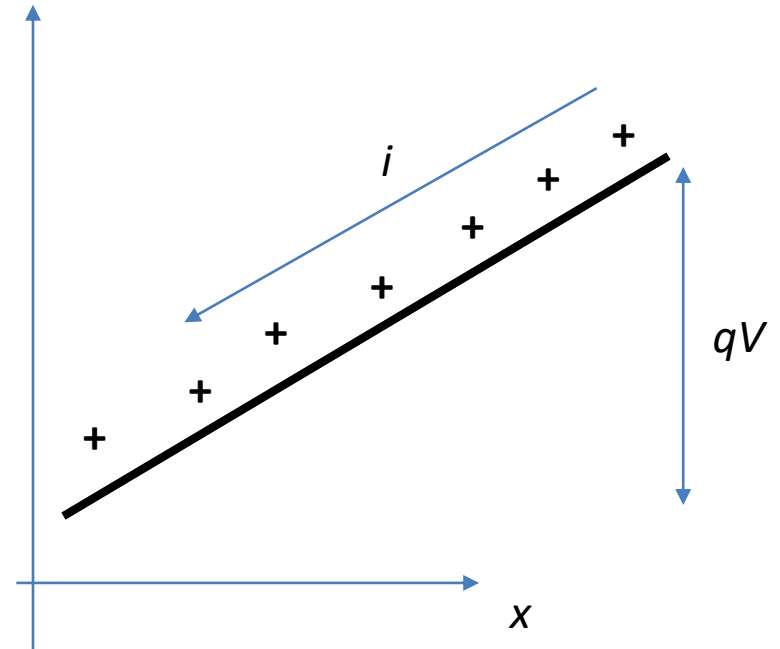
Vi får rörliga hål och fasta negativt laddade joner!

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

Ledning

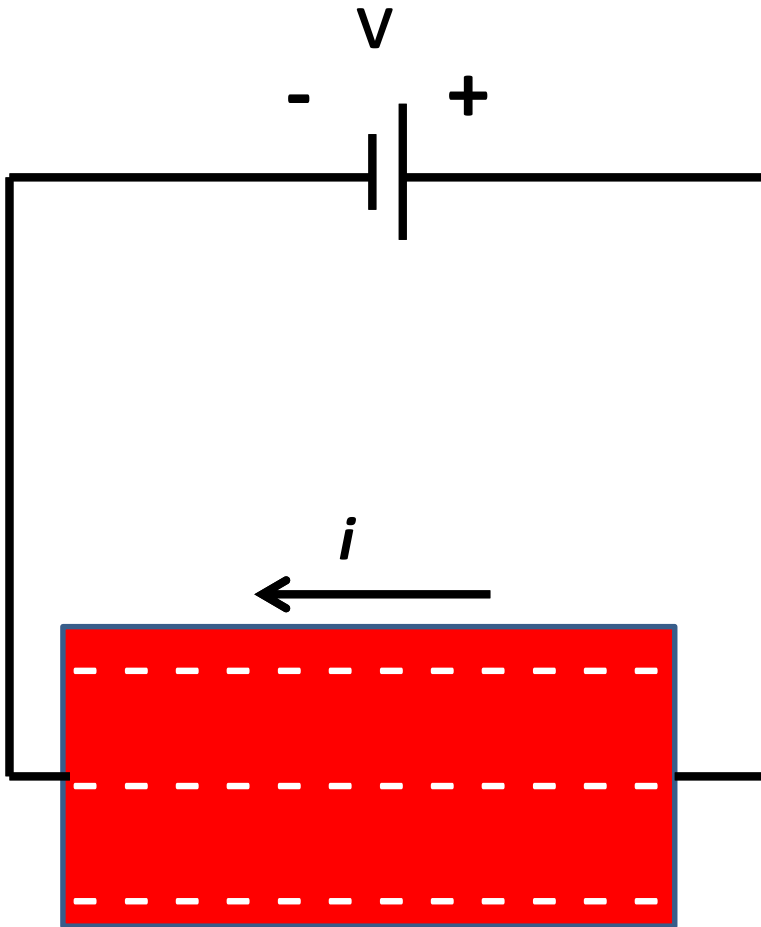


Potentiell energi

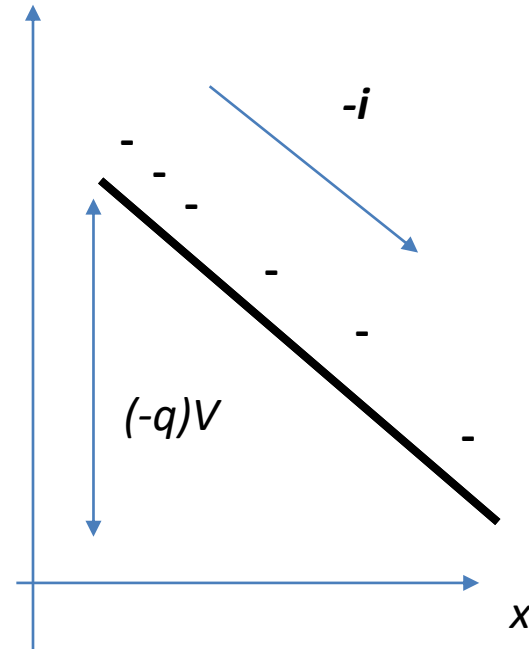


- Koncentration av *hål* sätter resistiviteten!
- Ström från hög till låg potential! (potential energi ger ström!)

Ledning: n och p

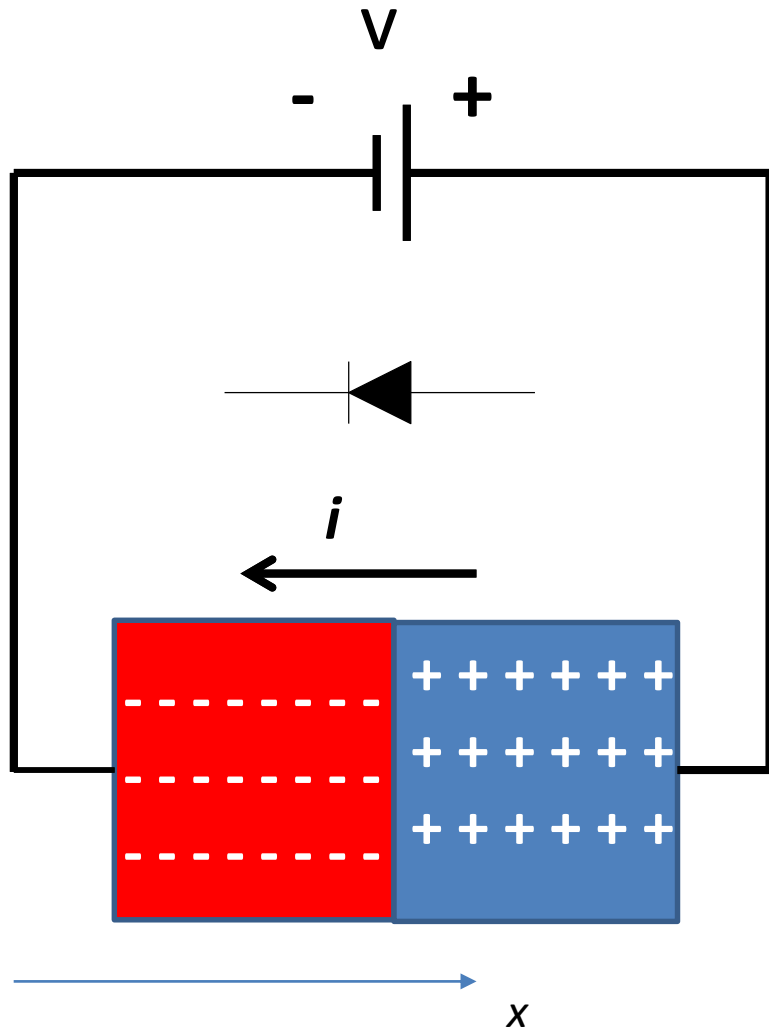


Potentiell energi

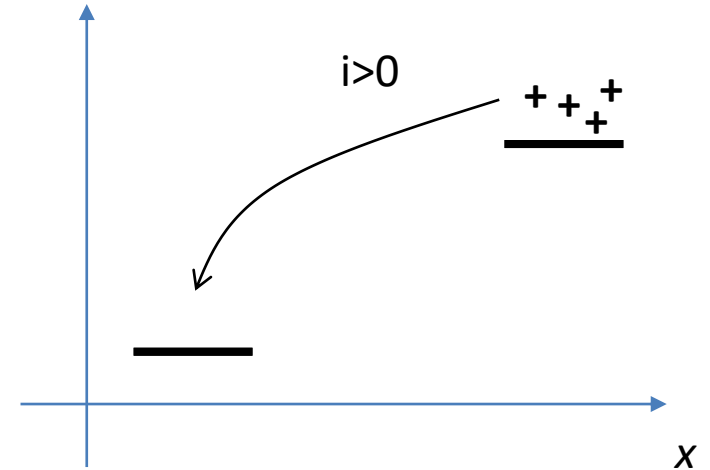


- Koncentration av *elektroner* sätter resistiviteten!
- (Negativ) Ström från hög till låg potential! (potential energi ger ström!)

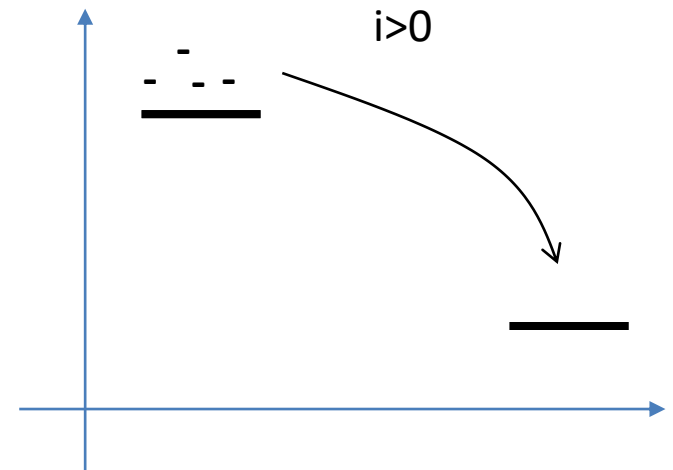
Framspänd – pn-diod – leder ström!



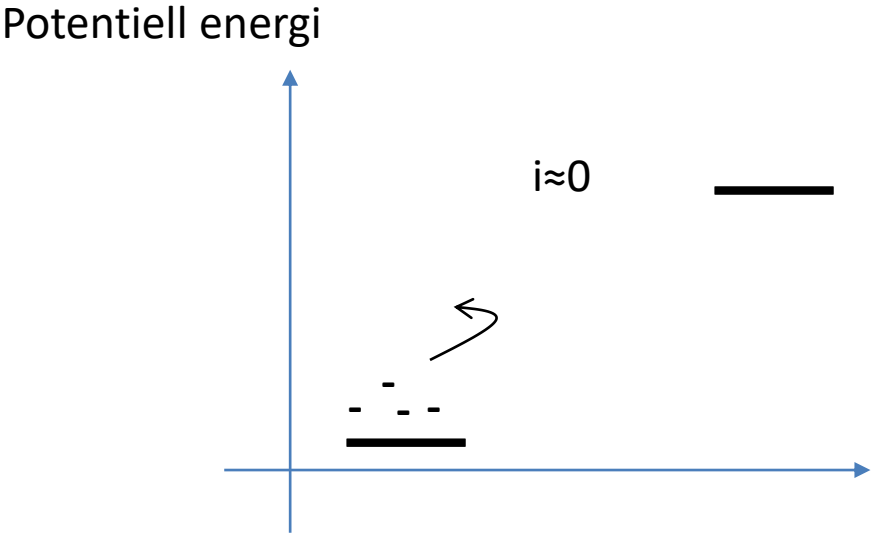
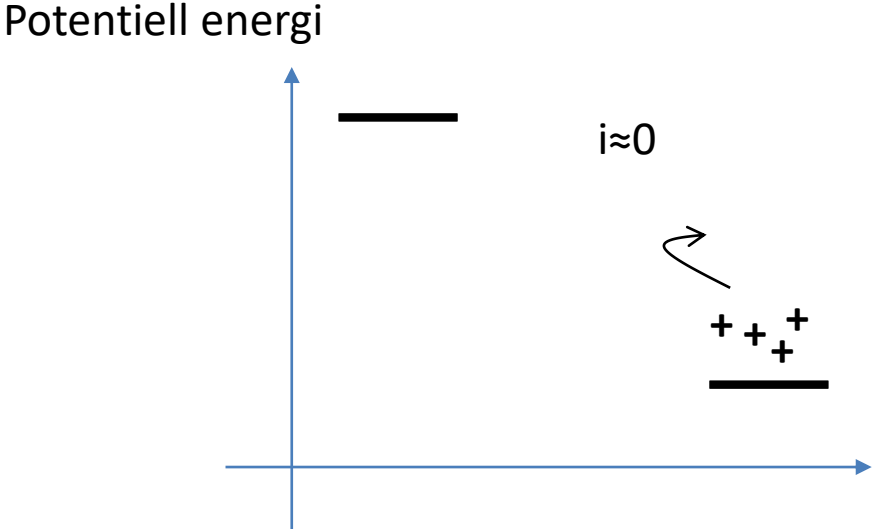
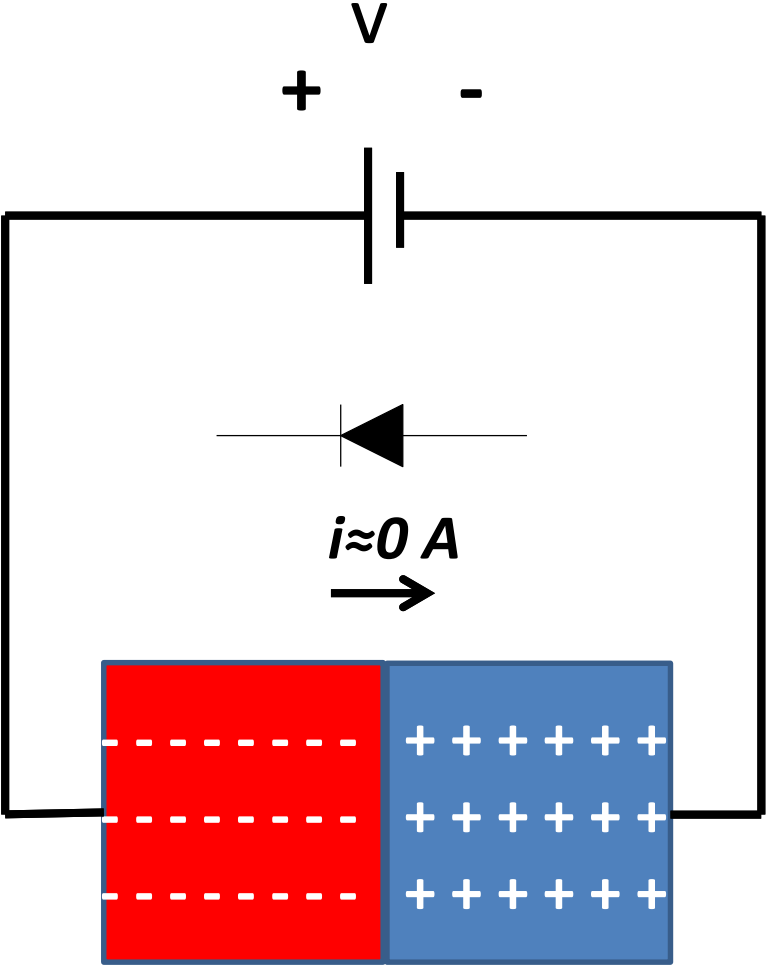
Potentiell energi



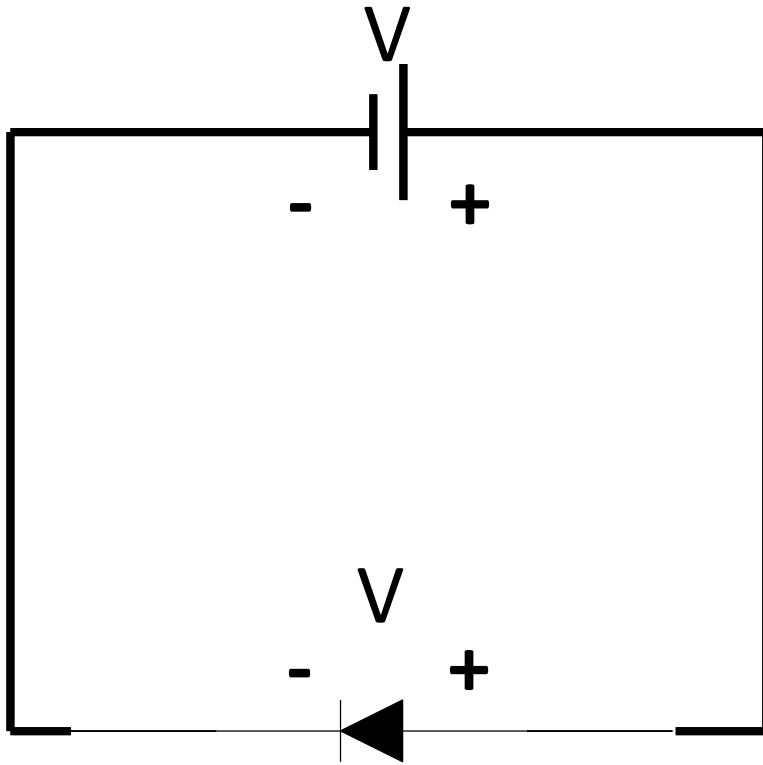
Potentiell energi



Backspänd – pn diod – ingen ström!



Diod



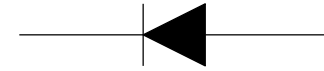
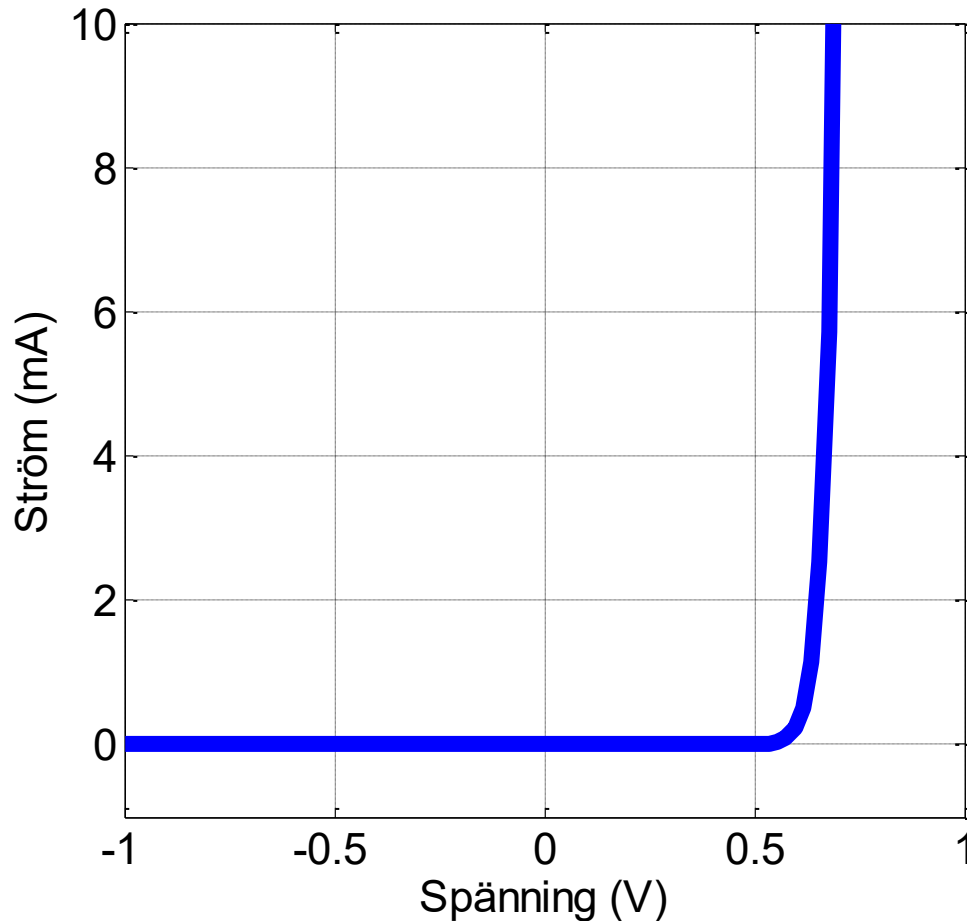
$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right)$$

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

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

$$n \approx 1 - 2$$

Diod Ström-Spänning



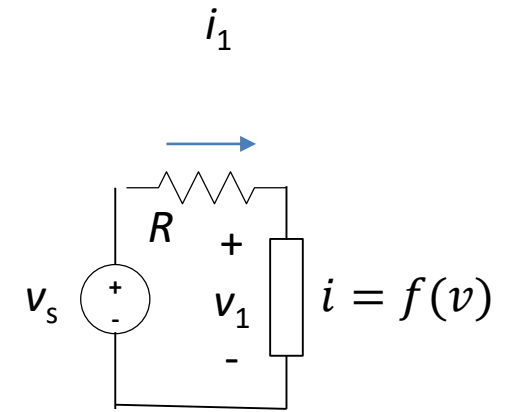
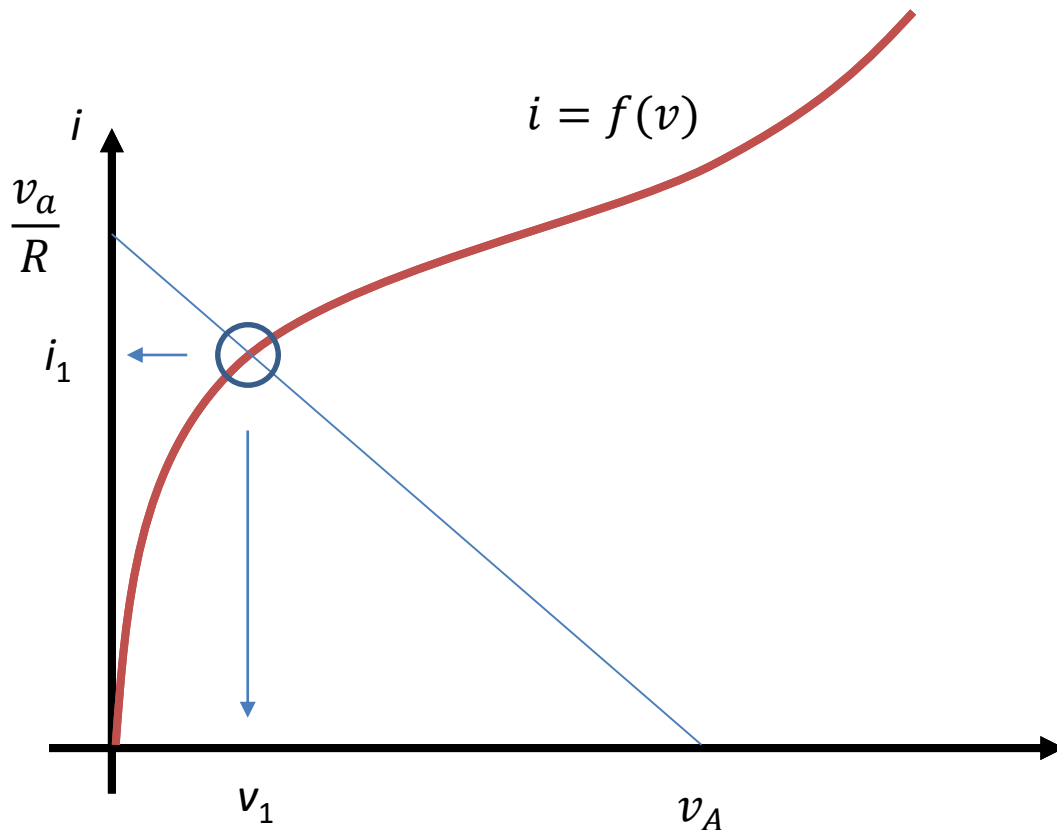
$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

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

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

Leder bara ström åt ena hållet - likriktare

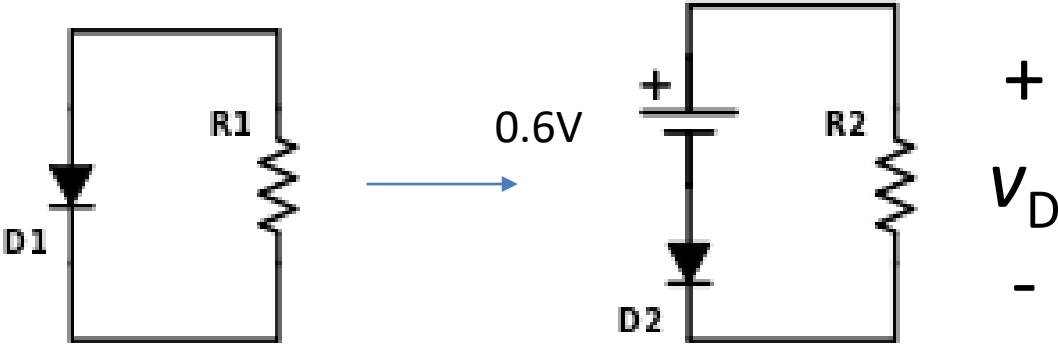
Lastlinje (load line) – grafisk lösning



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 .

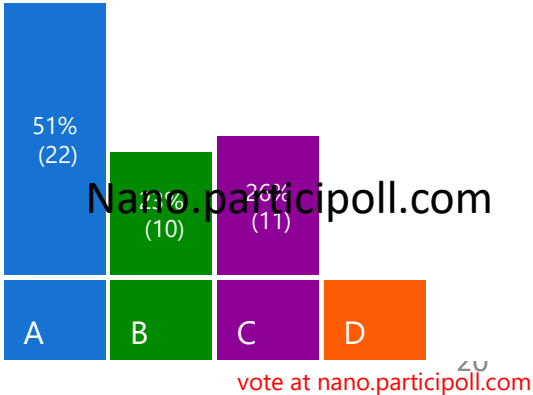
Fungerar för spänningskälla och resistor i serie med olinjärt kretselement!

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 ???



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

