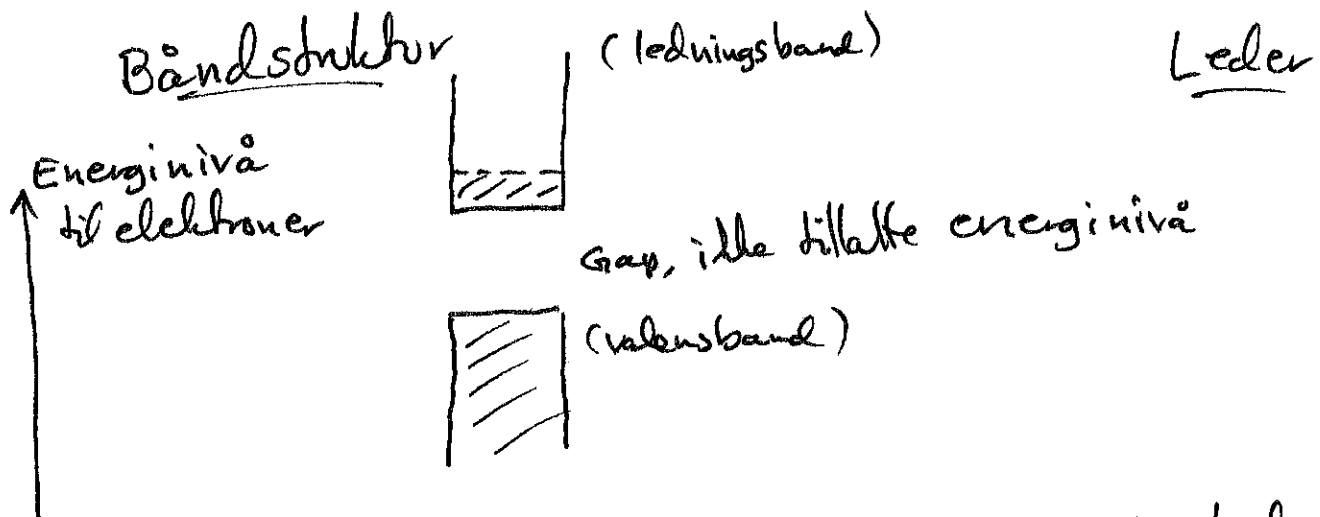
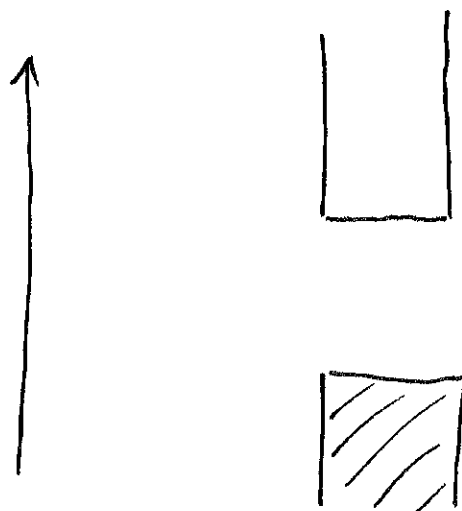


Elektriske ledere har frie ledningsbære
(elektroner)

Kobber (Cu) $\frac{\# \text{ ledningsbære}}{\# \text{ atom}} = \frac{1}{1}$



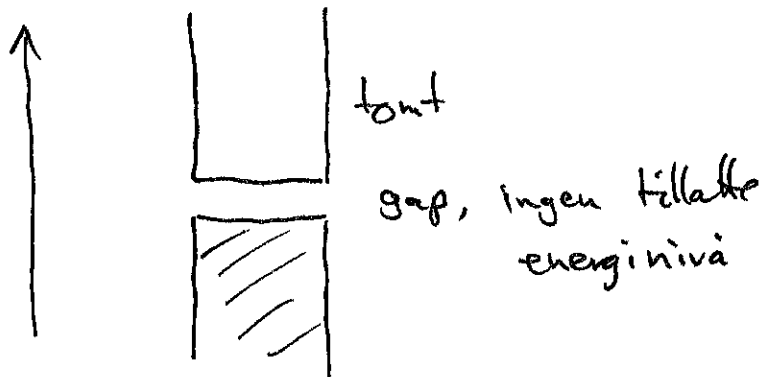
isolator



isolatoren har ingen
frie elektroner

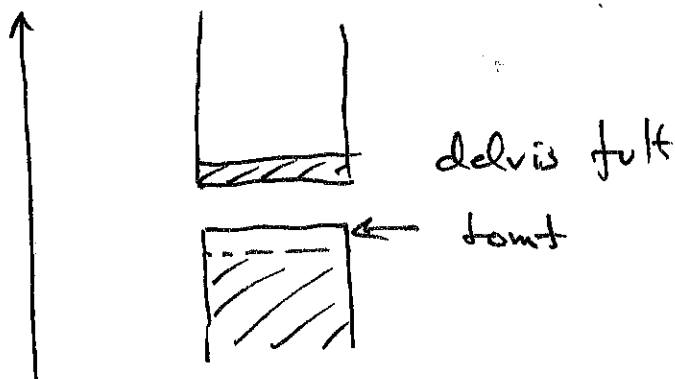
Høj temperatur og stort
elektrisk felt må til
for at elektronerne skal
gå fra valens til ledningsbandet.

2

 $T = 0\text{K}$ (temperaturer)

Halvledere

(gapet er smalt)

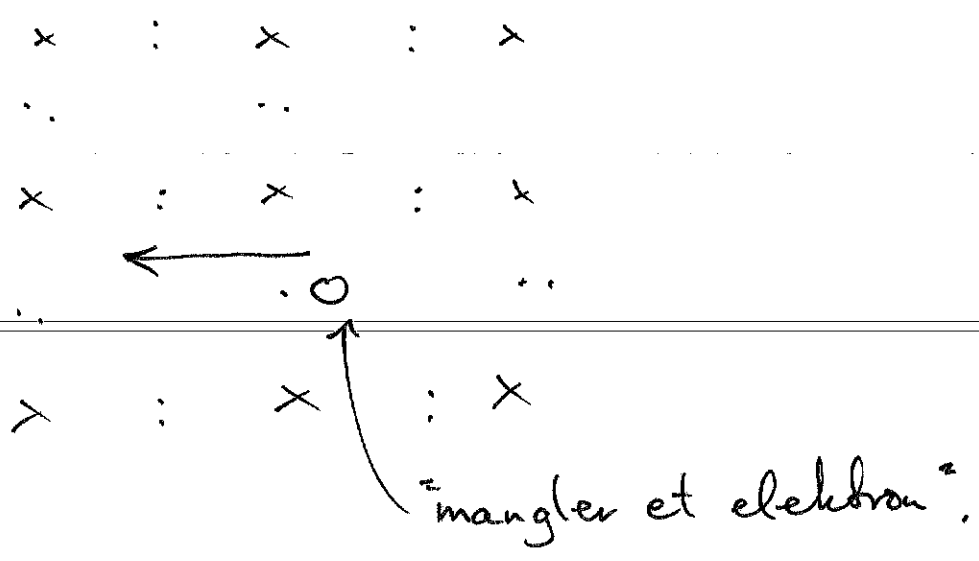
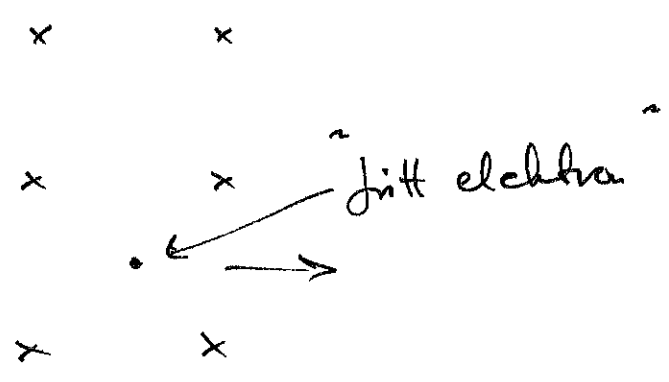
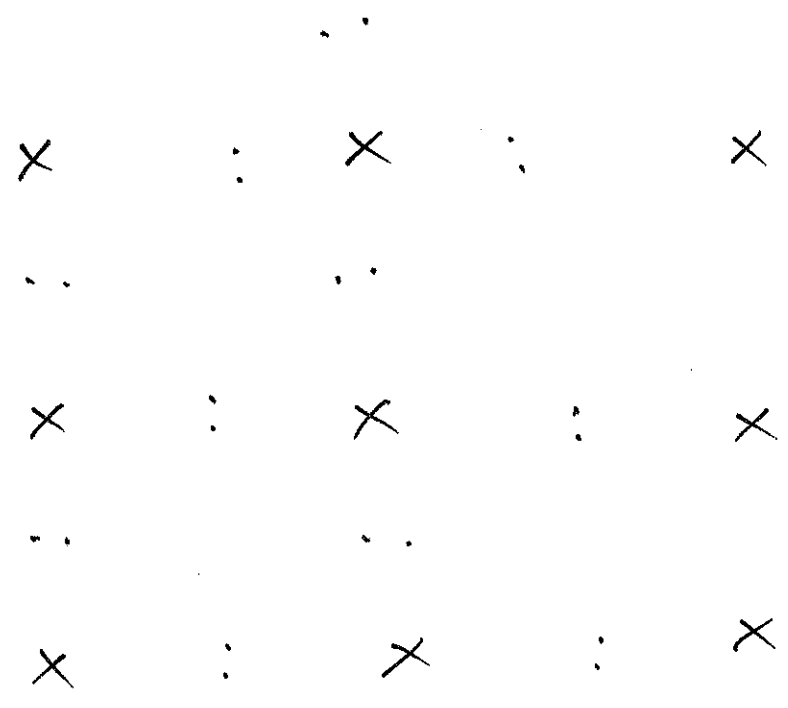
 $T > 0$ for eksempel $T = 300\text{K}$ 

$$\frac{\# \text{ ledningsbærere}}{\# \text{ atom}} \sim 10^{-13} \quad (\text{ved } T = 300\text{K})$$

Elektrisk strøm gjennom en halvleder får bidrag fra elektroner som beveger seg og fra "hull" som forflyttes.

Gitterstruktur

Silisium
x : kjerne



4

Doping av halvledere

Tilsetter små mengder av stoff med 3 eller 5 valenselektroner

3 valenselektroner

| | |
|-----------|----|
| Bor | B |
| Aluminium | Al |
| Gallium | Ga |

Positivt dopet
p-dopet
"ekstra hull i gitteret"

5 valenselektroner

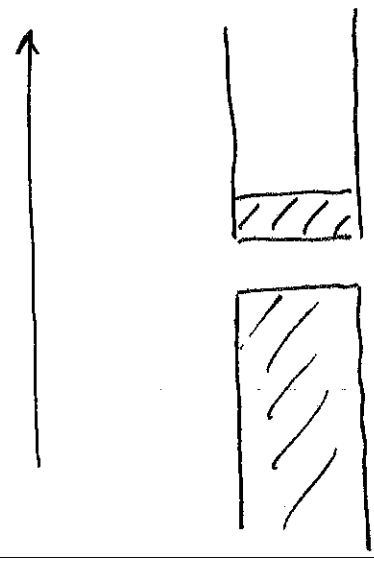
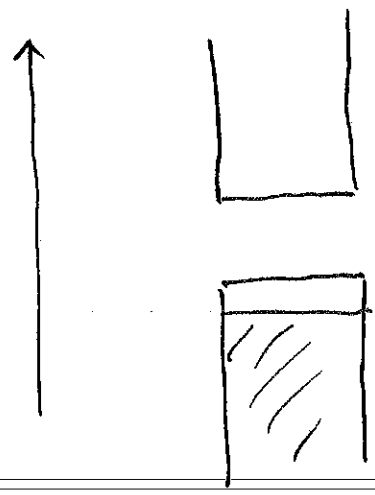
| | |
|---------|----|
| Fosfor | P |
| Arsen | As |
| Antimon | Sb |

Negativt dopet
n-dopet
"ekstra elektroner i gitteret"

Dopingsgraden er $10^{-6} - 10^{10}$

p-dopet

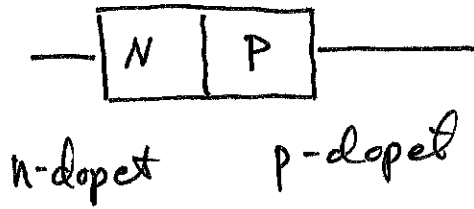
n-dopet



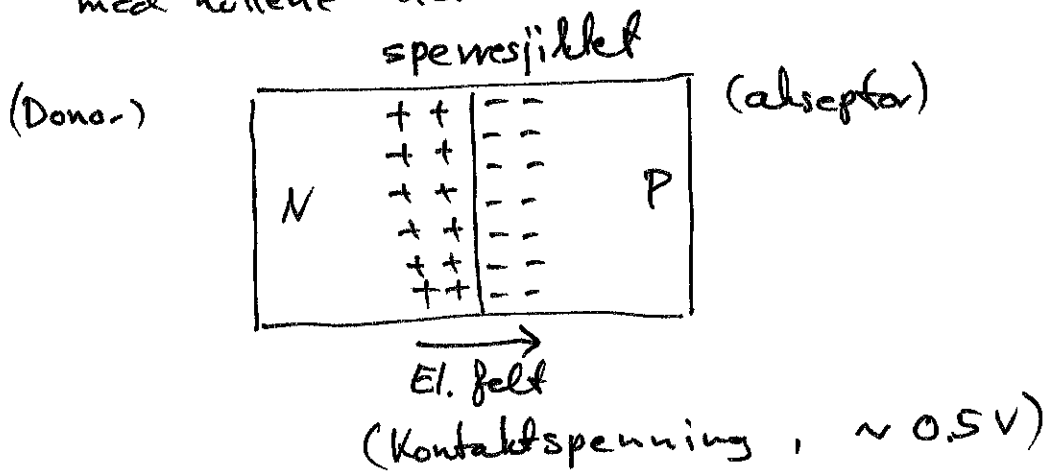
Strøm ledes av "hull"

Strøm ledes av elektroner

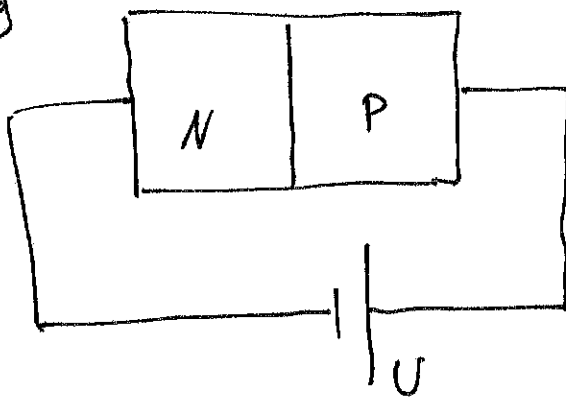
Sjiktlediade



Frie elektroner fra N-område går over til p-område (termisk bevegelse) og kombinerer med hullene der

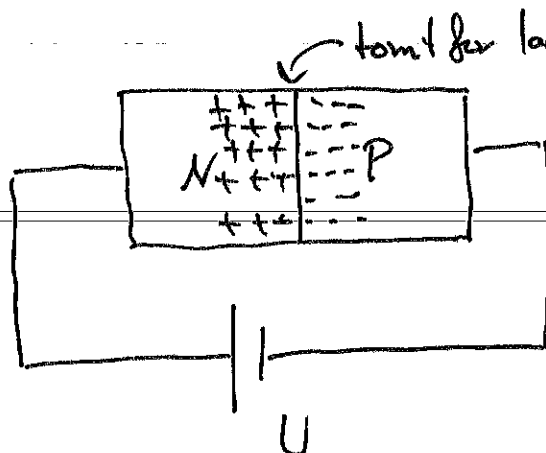


Lederledning



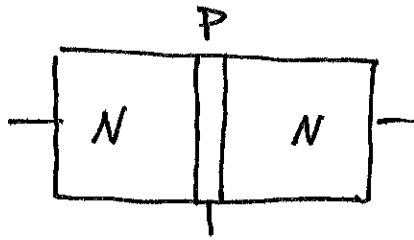
Det går en strøm når spenningen U er stor nok til å "motvirke" kontaktspenningen.

Sperreledning

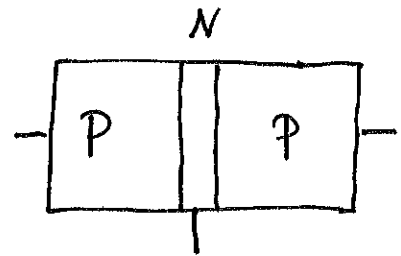


Feltet i grensesjiktet forsterkes. Det blir like ladningsbærere i sjiktet og det går like strøm (lekasjestrøm)

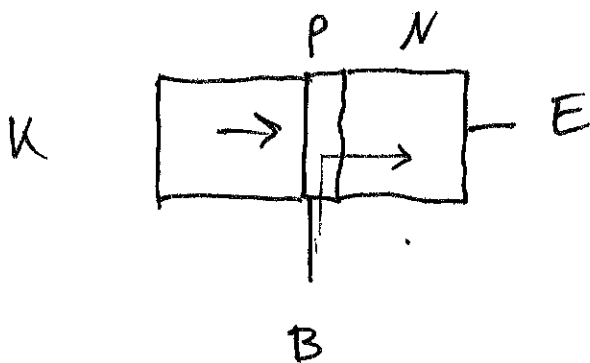
Transistorer



NPN-transistor
(mest vanlig)



PNP-transistor

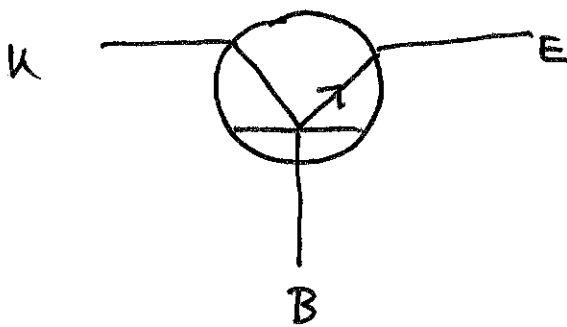


E emitter

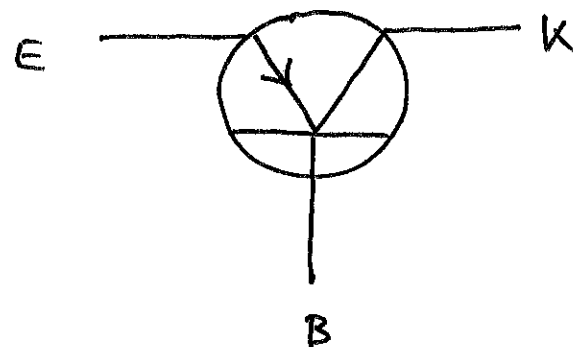
B basis

K kolektor

$$I_E = I_B + I_K$$



NPN transistor



PNP transistor

Forholdet $\frac{I_K}{I_B}$ er tilnærmelig konstant

$$I_K = \beta \cdot I_B$$

β strømforsterkningsfaktoren.

10 til 10^3

7

$$I_K = \alpha I_E$$

$$I_K = \beta \cdot I_B$$

$$I_B = \frac{1}{\beta} \cdot I_K$$

$$I_E = I_K + I_B$$

$$I_E = I_K + \frac{1}{\beta} \cdot I_K = \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) I_K = \left(\frac{\beta+1}{\beta}\right) I_K$$

$$\text{så } \underline{\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}}$$

α 0.9 til nærmere
1.

| | | Gruppe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | 1 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Periode | 1 | H 1 | | | | | | | | | | | | | | | | He 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | Li 3 | Be 4 | | | | | | | | | | | B 5 | C 6 | N 7 | O 8 | F 9 | Ne 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | Na 11 | Mg 12 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Al 13 | Si 14 | P 15 | S 16 | Cl 17 | Ar 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | K 19 | Ca 20 | Sc 21 | Ti 22 | V 23 | Cr 24 | Mn 25 | Fe 26 | Co 27 | Ni 28 | Cu 29 | Zn 30 | Ga 31 | Ge 32 | As 33 | Se 34 | Br 35 | Kr 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | Rb 37 | Sr 38 | Y 39 | Zr 40 | Nb 41 | Mo 42 | Tc 43 | Ru 44 | Rh 45 | Pd 46 | Ag 47 | Cd 48 | In 49 | Sn 50 | Sb 51 | Te 52 | I 53 | Xe 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | Cs 55 | Ba 56 | | Hf 72 | Ta 73 | W 74 | Re 75 | Os 76 | Ir 77 | Pt 78 | Au 79 | Hg 80 | Tl 81 | Pb 82 | Bi 83 | Po 84 | At 85 | Rn 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | Fr 87 | Ra 88 | | Rf 104 | Db 105 | Sg 106 | Bh 107 | Hs 108 | Mt 109 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | <table border="1"> <tbody> <tr> <td>La 57</td> <td>Ce 58</td> <td>Pr 59</td> <td>Nd 60</td> <td>Pm 61</td> <td>Sm 62</td> <td>Eu 63</td> <td>Gd 64</td> <td>Tb 65</td> <td>Dy 66</td> <td>Ho 67</td> <td>Er 68</td> <td>Tm 69</td> <td>Yb 70</td> <td>Lu 71</td> </tr> <tr> <td>Ac 89</td> <td>Th 90</td> <td>Pa 91</td> <td>U 92</td> <td>Np 93</td> <td>Pu 94</td> <td>Am 95</td> <td>Cm 96</td> <td>Bk 97</td> <td>Cf 98</td> <td>Es 99</td> <td>Fm 100</td> <td>Md 101</td> <td>No 102</td> <td>Lr 103</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | | | | | | La 57 | Ce 58 | Pr 59 | Nd 60 | Pm 61 | Sm 62 | Eu 63 | Gd 64 | Tb 65 | Dy 66 | Ho 67 | Er 68 | Tm 69 | Yb 70 | Lu 71 | Ac 89 | Th 90 | Pa 91 | U 92 | Np 93 | Pu 94 | Am 95 | Cm 96 | Bk 97 | Cf 98 | Es 99 | Fm 100 | Md 101 | No 102 | Lr 103 |
| La 57 | Ce 58 | Pr 59 | Nd 60 | Pm 61 | Sm 62 | Eu 63 | Gd 64 | Tb 65 | Dy 66 | Ho 67 | Er 68 | Tm 69 | Yb 70 | Lu 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ac 89 | Th 90 | Pa 91 | U 92 | Np 93 | Pu 94 | Am 95 | Cm 96 | Bk 97 | Cf 98 | Es 99 | Fm 100 | Md 101 | No 102 | Lr 103 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Evnen til å lede strøm, varierer svært mye fra material til material. Det er vanlig å dele inn i tre kategorier

Resistivitet ρ ved $T \sim 300\text{K}$

| | | |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Ledere | $10^{-8} \Omega\text{m}$ | ρ øker med økende T |
| Halvleder | $10^{-5} - 10^4 \Omega\text{m}$ | ρ avtar med økende T |
| Isolatorer | 10^{14} | ———— " ———— |
| (Superledere) | $\rho = 0$ | noen ledere ved lave temperaturer) |
| Cu (kobber) | $2 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ | |
| Ge (Germanium) | 0.5 | |
| Si silisium | $2 \cdot 10^3$ | |
| glass | $10^{12} - 10^{13} \Omega\text{m}$ | |

Resistiviteten til isolatore er på størrelsesorden 10^{20} ganger større enn resistiviteten til ledere.

Vanskelig å forklare med klassisk mekanikk.

Lar seg forklare ved å bruke kvantemekanikk.

Ulike tilstande elektroner kan være i, har gjerne

distinkte energi verdier.

Pauli eksklusjonsprinsipp: Det kan bare være ett elektron i hver tilstand. (Fermioner)