

DIFFUSJON I METALLER

DIFFUSJON - bevegelse av atomer

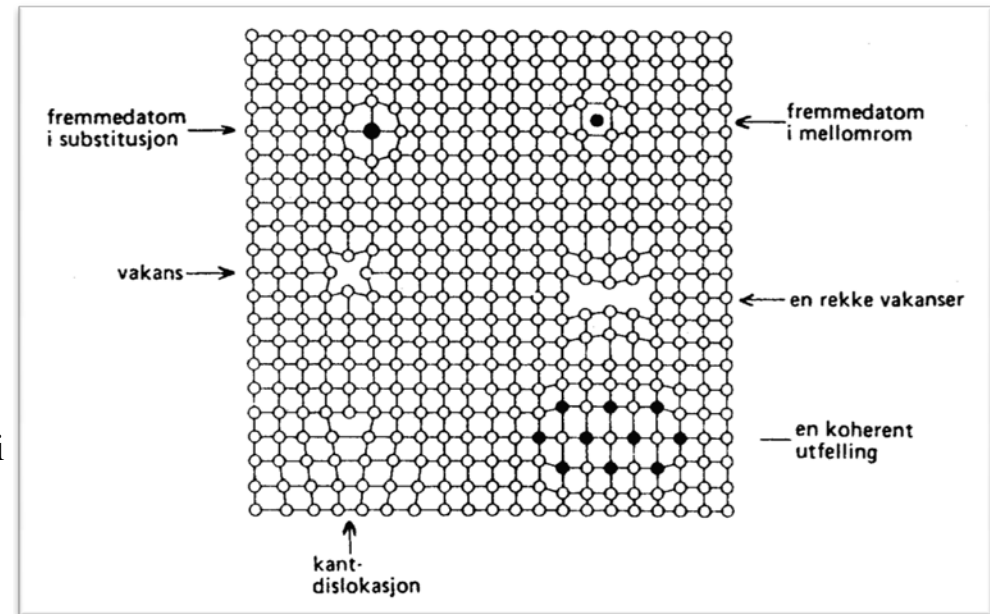
- nødvendig i foreksempel - varmebehandling
- størkning
- foregår hurtigere i gass og smelte p.g.a. mindre effektiv atompakking
- alltid feil i metallgitteret i krystallene
- atomene i gitteret er ikke i ro, inneholder noe termisk energi
- atomene beveger seg for eksempel via vakanser
- teori og eksperimenter viser at muligheten for bevegelse er avhengig av temperatur eller termisk energi

reaksjonshastighet $r = f \cdot e^{-\frac{\Delta G}{RT}}$ [atomhopp/s]

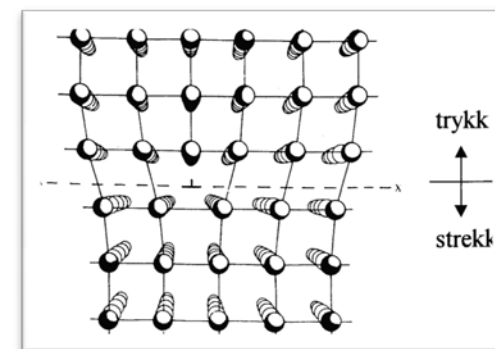
hvor:

- f = atomenes svingefrekvens [1/s]
- ΔG = aktiveringsenergi nødvendig for atombevegelse [J/mol]
- R = Universelle gasskonstant = 8,315J/mol K
- T = temperatur [K]

Ligningen er utledet fra statistiske analyser og sannsynligheten for at atomene har den ekstra energien ΔG som trengs for bevegelse.

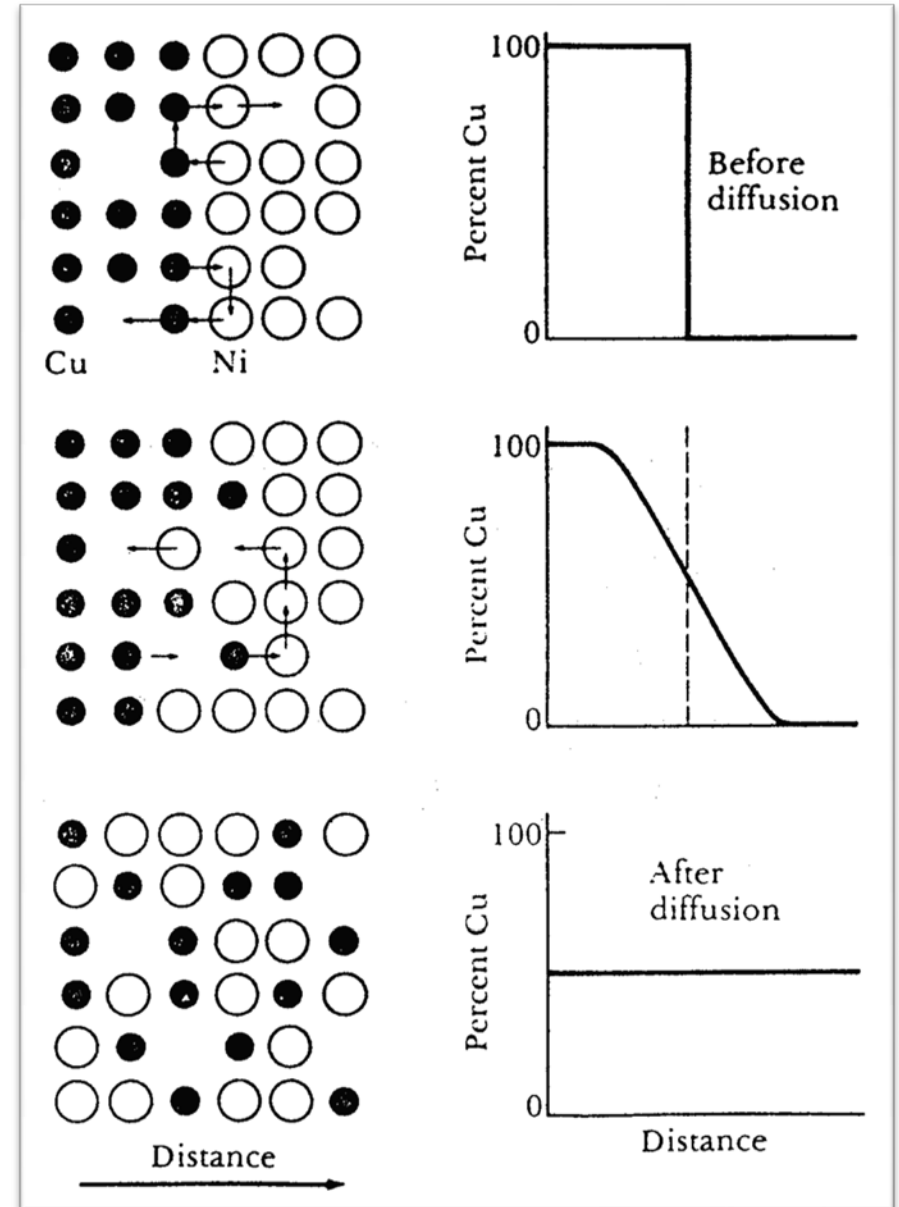


Feiltyper i metallgitter.



Kantdislokasjon \perp .

- diffusjon i rene metaller - **SELVDIFFUSJON**
forekommer hele tiden i alle metaller
- diffusjon av ulike atomer i metaller, eksempel Cu - Ni

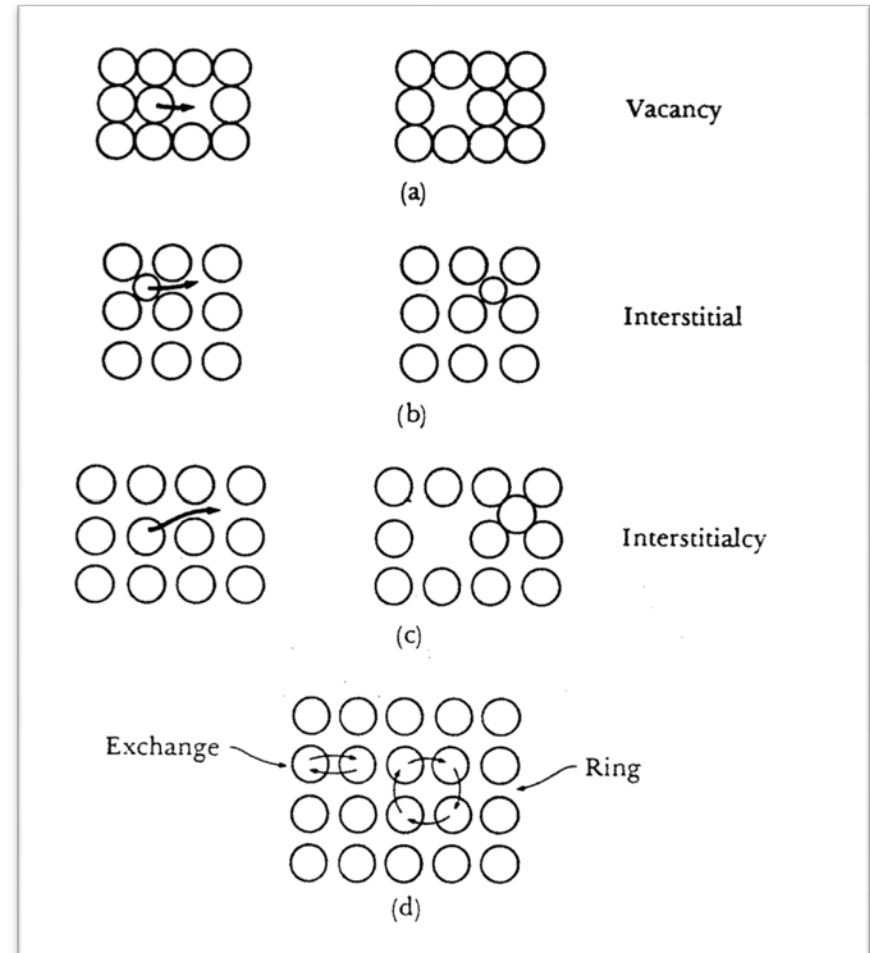


Diffusjon av Cu-atomer i Ni.

MEKANISMER

- VAKANS DIFFUSJON
 - i selvdifusjon og diffusjon ved substitusjonsatomer
- MELLOMROMS DIFFUSJON
 - små atomer i addisjonsløsning, uavhengig av vakanser
- ANDRE DIFFUSJONSMEKANISMER

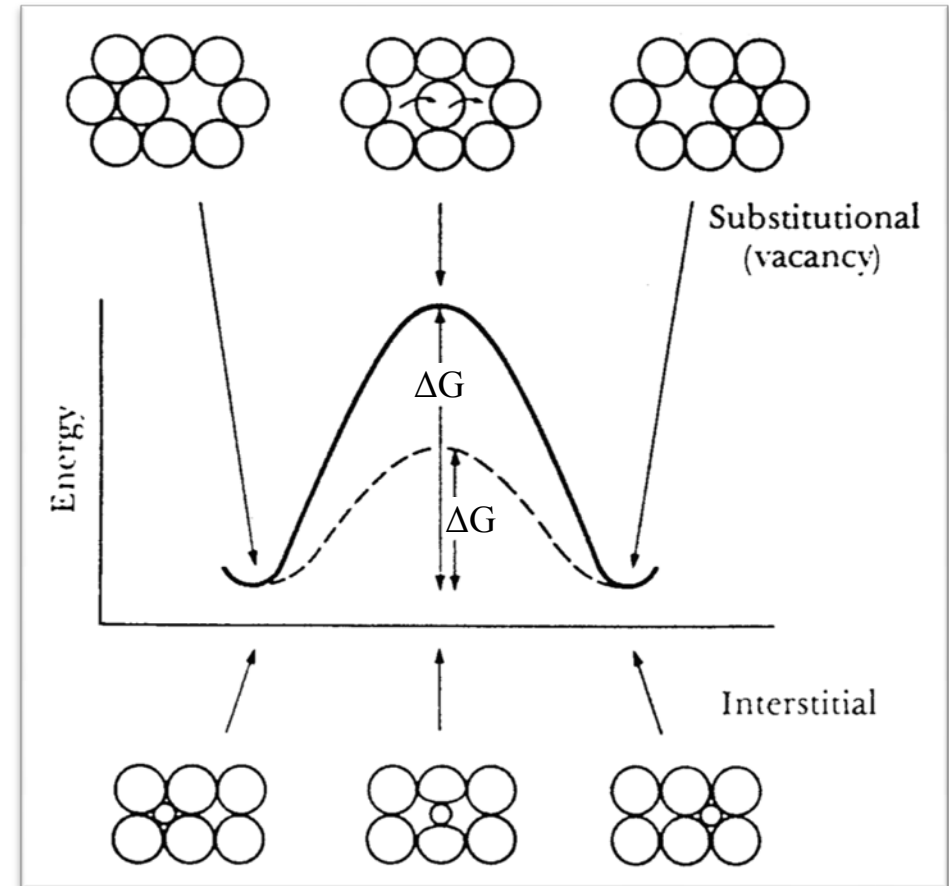
↑
Mest
vanlig
↓



(a) vakans-,
(b) og (c) mellomroms-,
(d) ombytte.

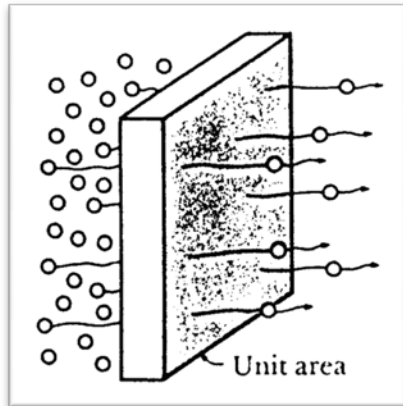
AKTIVERINGSENERGI FOR DIFFUSJON, ΔG

- tilført energi (varme) for å tvinge frem en atombevegelse
 - større for substitusjonsatomer (substitutional)
enn for atomer i addisjon (Interstitial)
- **What is diffusion?** University of Cambridge



Aktiveringsenergi for diffusjon ΔG .

DIFFUSJONSHYPPIGHETEN - FICK'S 1. LOV



Atomfluks.

Atomfluks = antall atomer som passerer gjennom en flate pr. tidsenhet

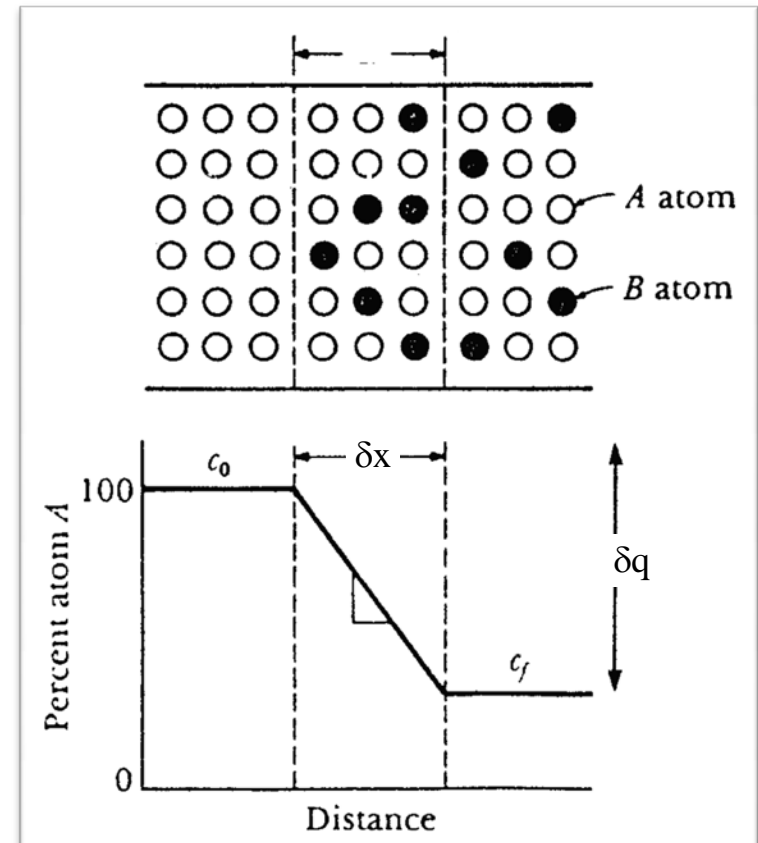
$$= \frac{dn}{dt} \left[\frac{\text{gatom}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right]$$

$$\frac{dn}{dt} = -D \frac{dq}{dx} \quad \text{Fick's 1. Lov}$$

hvor:

D = diffusjonskoeffisienten [m^2/s]
 (uttrykk for hvor hurtig atomene kan bytte naboer)

$\frac{dq}{dx}$ = konsentrasjonsgradienten [$\text{g-atom}/\text{m}^3/\text{m}$]
 (forskjell i konsentrasjon over en avstand)



Konsentrasjonsgradienten.

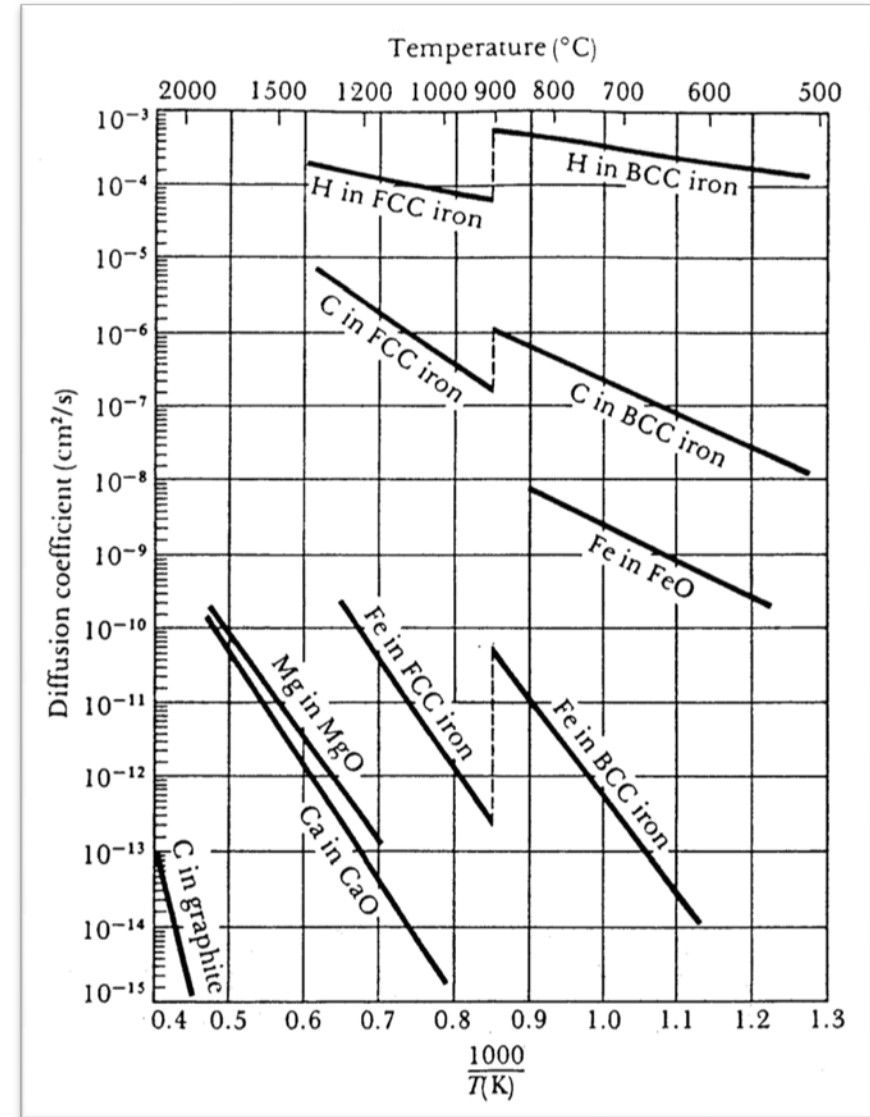
DIFFUSJONSKOEFFISENTEN, D

Diffusing Species	Host Metal	Calculated Values	
		T (°C)	D(m ² /s)
Fe	α-Fe (BCC)	500	1,1 x 10 ⁻²⁰
		900	3,9 x 10 ⁻¹⁵
Fe	γ-Fe (FCC)	900	1,1 x 10 ⁻¹⁷
		1100	7,8 x 10 ⁻¹⁶
C	α-Fe	500	2,3 x 10 ⁻¹²
		900	1,6 x 10 ⁻¹⁰
C	γ-Fe	900	9,2 x 10 ⁻¹²
		1100	7,0 x 10 ⁻¹¹
Cu	Cu	500	4,4 x 10 ⁻¹⁹
Zn	Cu	500	4,3 x 10 ⁻¹⁸
Al	Al	500	4,1 x 10 ⁻¹⁴
Cu	Al	500	4,8 x 10 ⁻¹⁴
Mg	Al	500	1,8 x 10 ⁻¹³
Cu	Ni	500	1,5 x 10 ⁻²²

Source: C.J. Smithells and E. A. Brandes (Editors), *Metals Reference Book*, 5th edition, Rutterworths, London, 1976.

Diffusjonsdata.

- når T øker:
 - øker Diffusjonskoeffisienten D og
 - Atomfluks $\frac{dn}{dt}$
- ved lave temperaturer, ofte **under $0,4 \times$ absolutt smeltetemperatur [K]**, er diffusjon ubetydelig
 ⇒ varmebehandling foregår ved høyere temperaturer



Diffusjonskoeffisienten, D , som funksjon av omvendt temperatur.

AKTIVERINGSENERGIEN, ΔG (energi nødvendig for atombevegelse)

- liten ΔG :
 - øker Diffusjonskoeffisienten D
 - øker Atomfluks $\frac{dn}{dt}$
- ΔG :
 - lav for atomer i addisjonsløsning
 - høg for atomer i substitusjonsløsning
- ΔG :

Vanligvis lavere for atomer i "åpne" krystallstrukturer enn i "tettpakket"

Eksempel

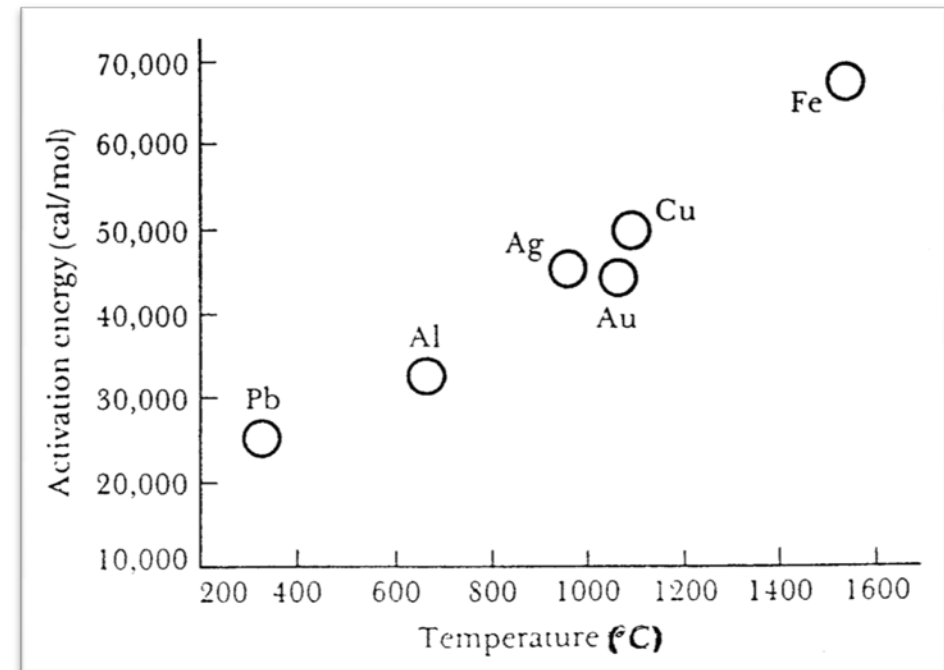
Diffusjon av karbon C i jern Fe:

$$\Delta G_{\text{kubisk flatesentrert ("tettpakket")}} = 284$$

$$\Delta G_{\text{kubisk romsentrert ("åpen")}} = 241$$

$$\Delta G_{\text{kfs}} / \Delta G_{\text{krs}} = 284/241 = 1,2$$

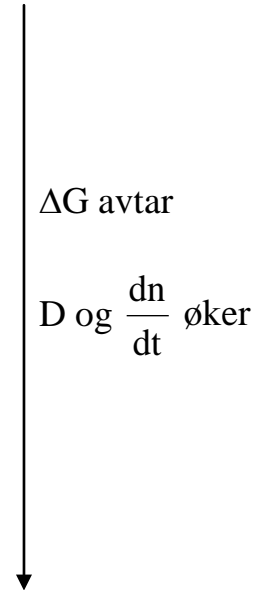
- ΔG lavere for diffusjon av atomer i metaller med lavt smeltepunkt
- ΔG vanligvis lavere for små substitusjonsatomer i forhold til store



Aktiveringsenergien, ΔG , for selvdifusjon øker når smeltepunktet øker.

TYPER DIFFUSJON

- GITTER (eller VOLUM) diffusjon
 - diffusjon av vakanser inne i krystallene
- KORNGRENSE diffusjon
 - i korgrensene er atomene ikke så tettpakket som i det indre krystall
 - diffusjonen skjer opp til 1000 x gitterdiffusjon
- OVERFLATE diffusjon
 - atomene på overflaten er mye løsere bundet enn i det faste gitteret inne i metallet
 - diffusjonen skjer opp til 1000 x korgrensediffusjon
 - setter inn ved lavere temperaturer enn gitterdiffusjon



Ved høye temperaturer vil gitterdiffusjon ha størst betydning

- korgrensene og overflaten representerer en svært liten del av det totale gittervolum

DIFFUSJONSTIDEN

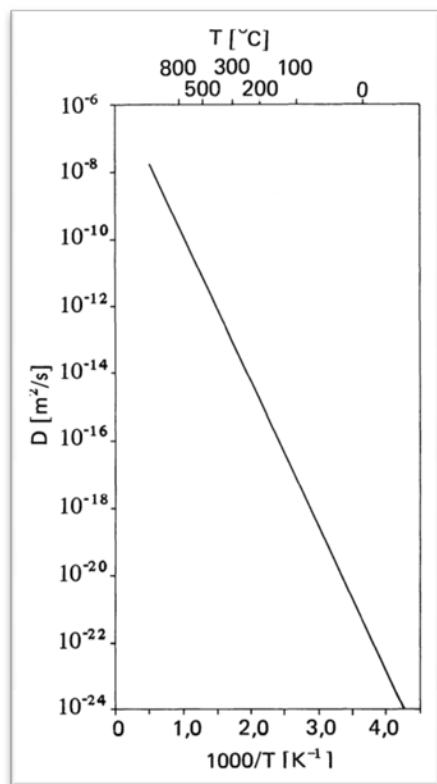
- diffusjon tar tid
- tiden ved varmebehandling kan reduseres ved høyere temperaturer
- ved å hindre diffusjon oppnår vi spesielle strukturer
 - eksempel:
Stål hurtig avkjølt fra kubisk flatesentrert struktur til kubisk romsentrert struktur gir ikke-likevektstrukturen MARTENSITT
- det kan vises at:

$$\text{Diffusjonsdybden } x = \sqrt{4Dt}$$

hvor: t = tiden [s]

eksempel

Bestem tiden for fullstendig konsentrasjonsutjevning innenfor $2x = 2\text{mm}$ når temperaturen $T = 500^\circ\text{C}$.

løsning:

Diffusjonskoeffisienten D for karbon i α -jern (ferritt) avhengig av temperaturen.

D fra venstre Figur:

$$1000/T = 1000/(273+500) = 1,3\text{K}^{-1}$$

$$\rightarrow D = 10^{-11}$$

Diffusjonsdybden $x = \sqrt{4Dt}$

► Tiden:

$$t = \frac{x^2}{4D} = \frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 10^{-11}} = 25000\text{s} = 416\text{min} \approx \underline{\underline{7\text{h}}}$$

