

**Eðlisfræði þéttefnis I:**

# **Kristallar og veilur**

**Kaflí 2**

**Jón Tómas Guðmundsson**

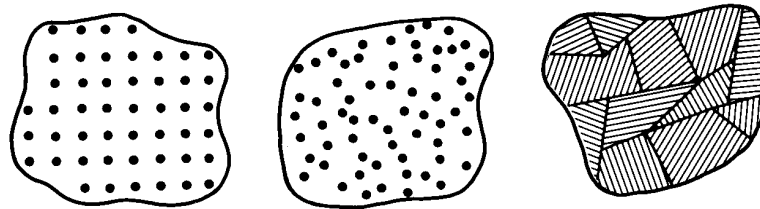
**tumi@hi.is**

**2. vika haust 2014**

## Kristallafræði

- Þegar frumeindir raðast og mynda þéttfni hafa þær vel skilgreindan aðskilnað sem er ákvarðaður þannig að orkan sé laðmörkuð
- Þetta leiðir til þrí-víðrar lotubundinnar röðunar sem er þekkt sem kristallur
- Sama gildir um þéttfni sem er samsett úr meira en einu frumefni

# Kristallafræði

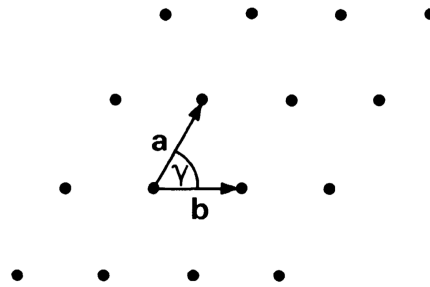


- Þéttefni getur verið, **einkristallað**, **myndlaust** eða **fjölkrystallað**
- Dæmi um myndlaust efni eru gler, gel, fjölliður
- Finna má dæmi um notkun allra þessara þriggja forma þéttefnis í rafeindatækni:
  - Flatir smárar úr myndlausum kísli eru notaðir sem rofar í flata skjái og skuggastafaglugga (e. liquid crystal display (LCD))
  - Fjölkrystallaður kísill er nú gjarnan notaður í gáttir MOSFET
  - Í flestum tólum er virkt svæði tólsins í einkristölluðum hálfleiðara

## Kristallafræði

- Í einkristalli er atómum raðað lotubundið í þremur víddum
- Lotubundin röðun atóma í kristall er kölluð kristallsgrind
- Fyrir gefin kristall er til grindareining sem lýsir öllum kristallinum; með því að endurtaka grindareininguna má mynda alla kristallsgrindina
- Grindareining er sá hluti kristallsins sem má endurtaka til að mynda allan kristallinn
- Grindareiningar þær sem gjaran eru notaðar eru ekki nauðsynlega minnstu mögulegu grindareiningar

# Kristallafræði



- Tvívíðri grind er lýst með tveimur vigrum  $\mathbf{a}$  og  $\mathbf{b}$
- Sérhvern punkt í grindinni má spanna með grunnvigrinum

$$\mathbf{r}_n = n_1 \mathbf{a} + n_2 \mathbf{b}$$

þar sem  $n_1$  og  $n_2$  eru heiltölur

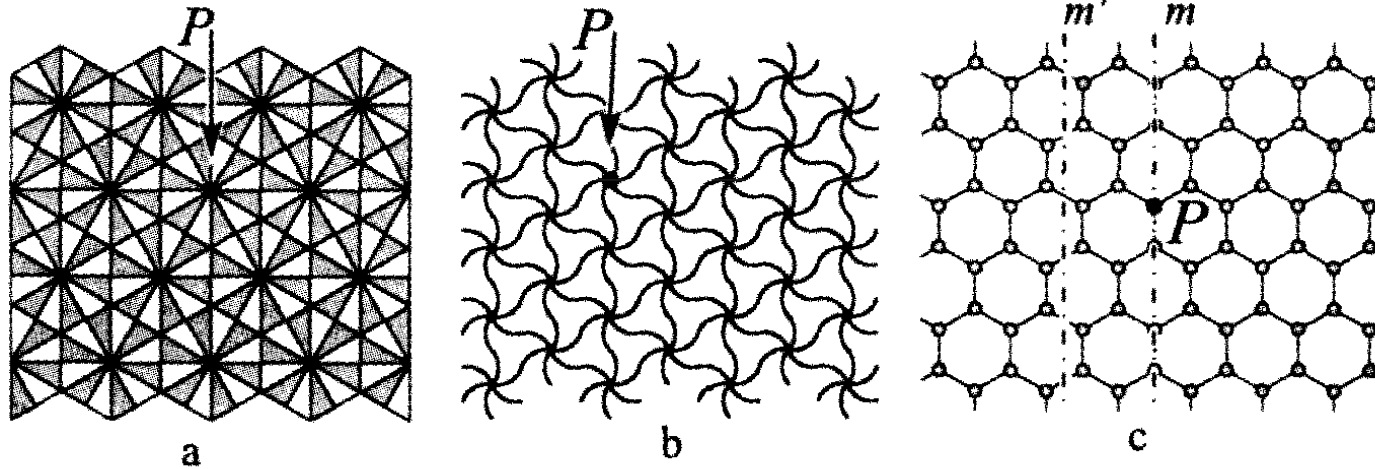
- Með því að breyta lengdum vigranna  $\mathbf{a}$  og  $\mathbf{b}$  og horninu á milli þeirra  $\gamma$  má fá fram mismunandi grindur
- Almennasta grindin fæst þegar  $a \neq b$  og  $\gamma \neq 90^\circ$

# Kristallafræði

kristallur = kristallsgrind + grunnur

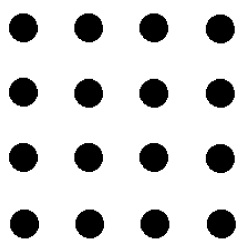
- Bravais grind er skilgreind með mengi aðgerða sem varðveita grindina (varpa grind í sjálfa sig)
- Þetta mengi nefnist samhverfugrúpa ( eða rúmgrúpa í 3D) Bravais grindarinnar
- Full samhverfugrúpa Bravais grindar hefur eftirtaldar aðgerðir:
  - Hliðrun um grindarvigur **R**
  - Aðgerðir sem varðveita punkt í grindinni (speglun um punkt, speglun í plani, snúningur)
  - Samsetning þessa

# Kristallafræði

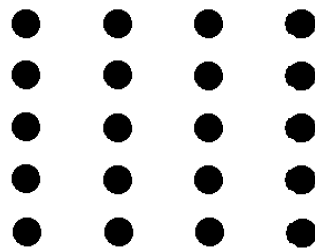


- Allir þrír tvívíðu kristallarnir á myndinni hafa sömu Bravais grindina
- Kristallinn er byggður upp með því að eindurtaka grindareininguna í sérhverjum punkti

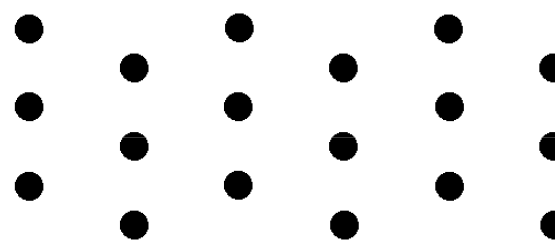
# Kristallafræði



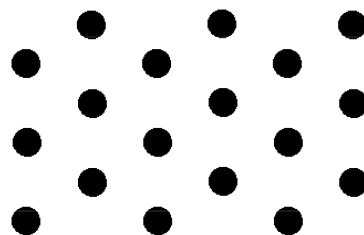
Square



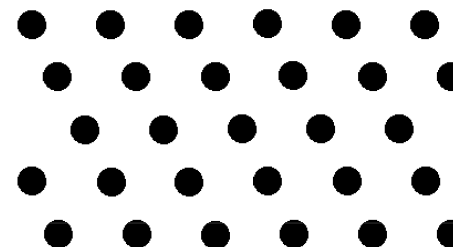
Rectangular



Centered Rectangular



Hexagonal

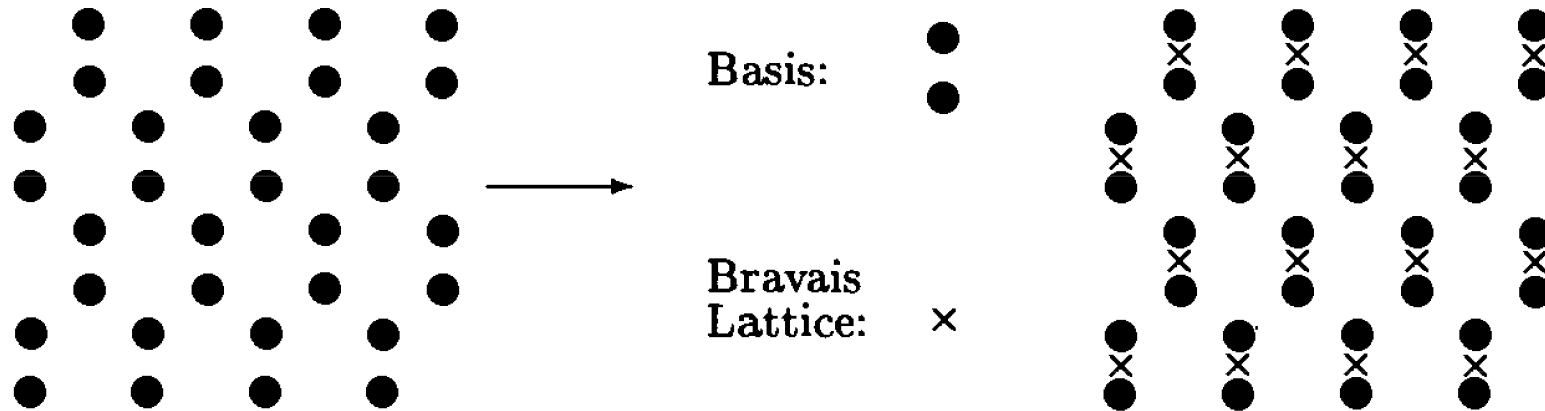


Oblique

- Hinar 5 mögulegu tvívíðu Bravais grindur

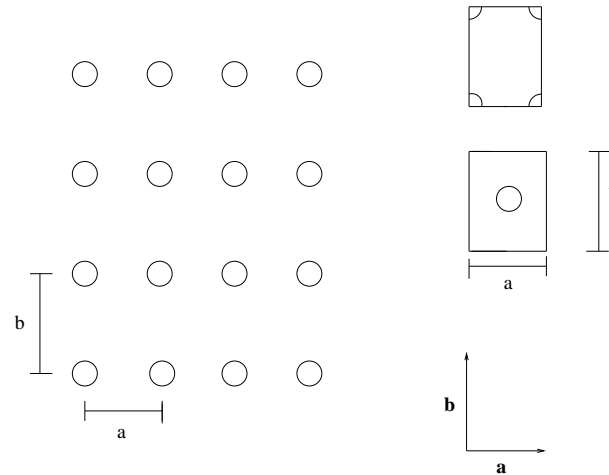


# Kristallafræði



- Ekki er öll samhverf röðun punkta í grind Bravais grind
- Dæmi um reglulega lögun punkta sem ekki mynda Bravais grind
- Við sjáum hóflaga grind og val á Bravais grind og grindareiningu

# Kristallafræði



- Báðar grindareiningarnar lýsa kristallagrindinni
- Grindareining þarf ekki nauðsynlega að vera einstök
- Grunnvigrar
  - **a** vigur af lengd  $a$  samsíða  $a$ -hlið einingargrindar þar sem  $a$  er endurtekin fjarlægð
  - **b** vigur af lengd  $b$  samsíða  $b$ -hlið einingargrindar

## Kristallafræði

- Jafngildir punktar eru tengdir saman með færslu grunnvigurs - heiltölumargfeldi grunnvigna

$$\mathbf{r} = h\mathbf{a} + k\mathbf{b} + l\mathbf{c}$$

- Grindareining er skilgreind með einingarvigrum

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} + \mathbf{T}$$

þar sem  $\mathbf{T} = n_1\mathbf{a} + n_2\mathbf{b} + n_3\mathbf{c}$   $n_i \in I$

- Ef  $\mathbf{T}$  nær öllum punktum grindar er  $\mathbf{T}$  frumhliðrun og

$\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$

nefnast **frumvignrar grindar** og  $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \cdot \mathbf{c}$  **frumeining grindar**

Kristallur = kristallsgrind + hliðrun

## Kristallafræði

- Til að staðsetja atóm í grind er skilgreint hnitakerfi sem miðast við ása kristallsins
- Ásar kristallsins geta haft mismunandi innbyrðis lengdir og hornin á milli þeirra geta verið mismunandi
- Þeir kristallar sem hafa mesta samhverfu hafa ása sem eru hornréttir hver á annan og mynda tening
- Sjö kerfi af ásum, sérhvert með skilgreind innbyrðis tengsl milli lengda og horna kristallaásanna eru notuð

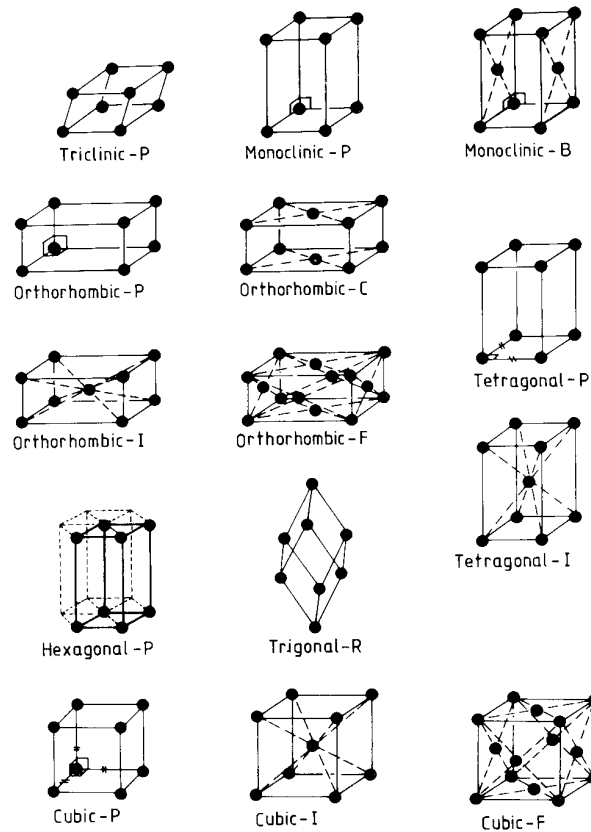
# Kristallafræði

- Kristallakerfin sjö

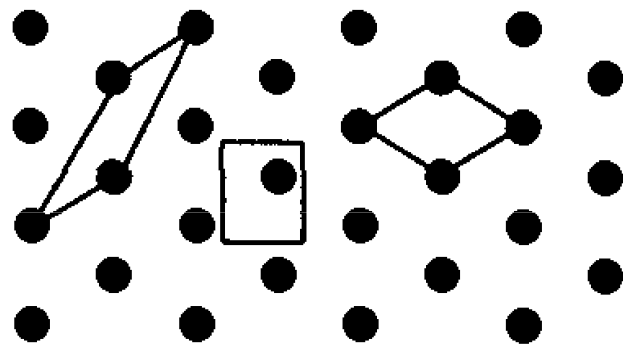
Þríhalla	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$
Einhalla	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
Rétthorna	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Fernings	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tenings	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Þríhyrnings	$a = b = c$ $120^\circ > \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
Sexhyrnings	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$

# Kristallafræði

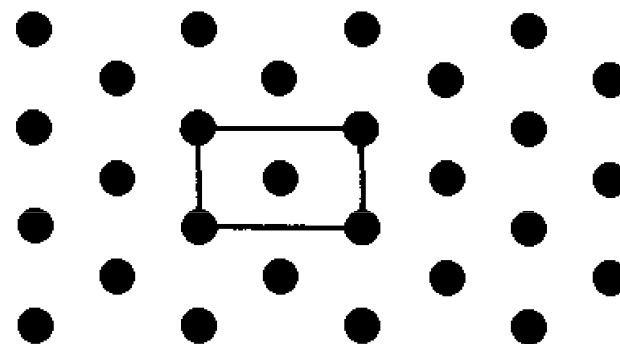
- Ef allar samsetningar með mismunandi lengdir og hornum eru taldar gefur það 14 mismunandi grindur, **Bravais grindur**



## Kristallafræði



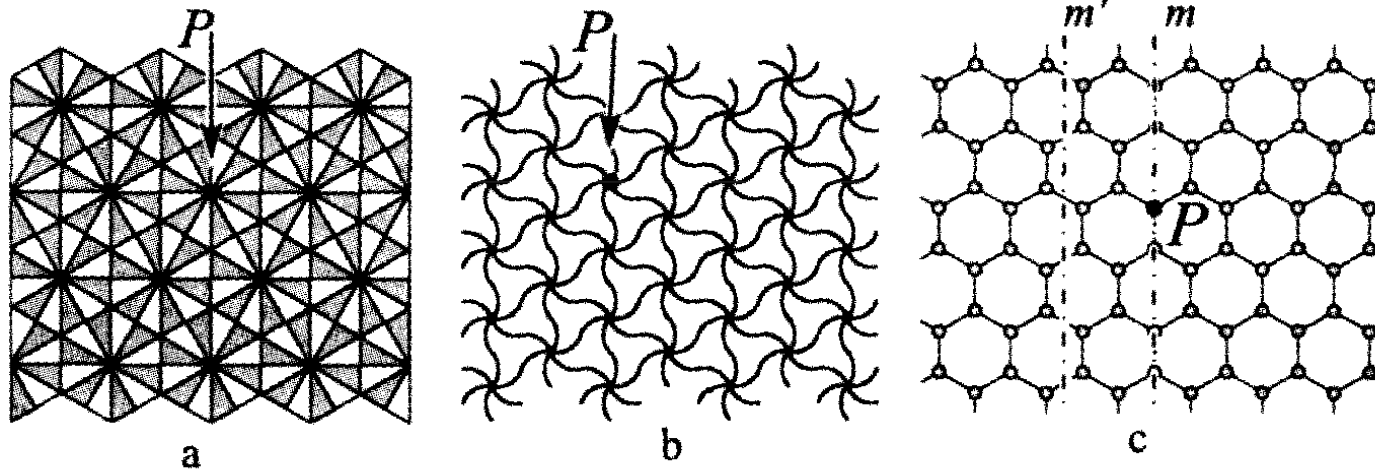
Primitive unit cell



Conventional unit cell

- Grindareining inniheldur einn og aðeins einn Bravais grindarpunkt

## Kristallafræði–samhverfa



- Þreföld snúningssamhverfa um  $P$  er sameiginleg öllum kristöllum
- Hólflaga grindin hefur einnig spegillínu um  $m$ , en hinar tvær grindirnar hafa ekki þá samhverfu
- Önnur samhverfuaðgerð er möguleg fyrir hólflaga grindina–að spegla um línuna  $m'$  og hliðra henni svo að hún falli í sjálfa sig



## Punkt samhverfa

- Sérhver punktur í grind stendur fyrir frumeind eða hóp frumeinda sem hver um sig hefur tiltekna samhverfueiginleika
- Samhverfunni er lýst stærðfræðilega með vörpun á hnitakerfi
- Til dæmis er spegilsamhverfu um  $yz$ -planið lýst með vörpuninni

$$y' = y, z' = z, x' = -x$$

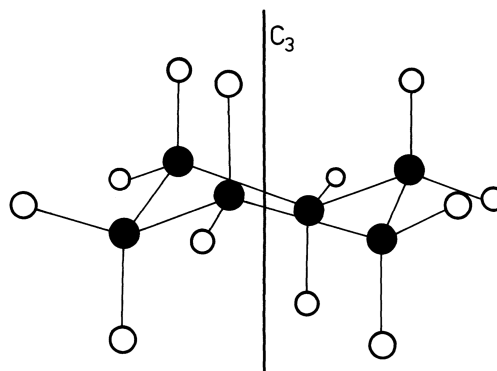
- Tilvist spegilplans í kristalli er táknúð með  $m$

## Punkt samhverfa-umhverfing

- Umhverfusamhverfu er lýst með

$$y' = -y, z' = -z, x' = -x$$

- Táknið fyrir umhverfusmhverfu  $\bar{1}$
- Dæmi um sameind sem sýnir umhverfusamhverfu er cyclohexane

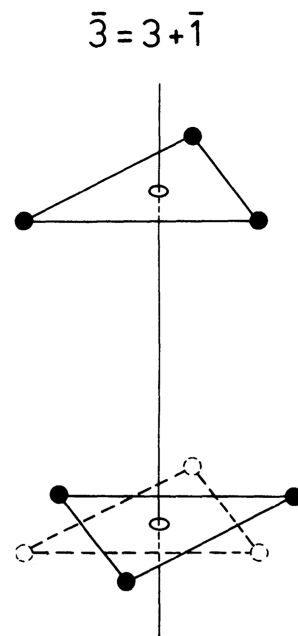


## Punkt samhverfa–snúningsás

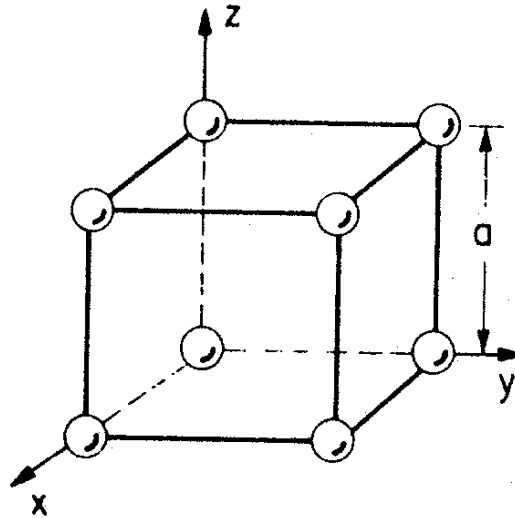
- Snúningssamhverfa er fyrir hendi ef snúningur um tiltekið horn um tiltekin ás, leiðir til eins strúktúrs
- Augljósa tilfellið er snúningur um  $360^\circ$  sem leiðir til sama strúktúrs
- Fjöldi millisnúninga sem leiðir til alveg eins strúktúrs er nefnd þrep snúningsássins
- Það getur því verið 2-, 3-, 4-, og 6-faldur samhverfuás, sem svara til óbreytanleika undir snúningi  $180^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $90^\circ$ , og  $60^\circ$

## Punkt samhverfa–snúningur - umhverfa

- Snúningur ásamt umhverfu getur einnig gefið nýja samhverfu
- Þetta er táknað með  $\bar{2}$ ,  $\bar{3}$ ,  $\bar{4}$  eða  $\bar{6}$
- Myndin sýnir 3-faldan snúning og umhverfu



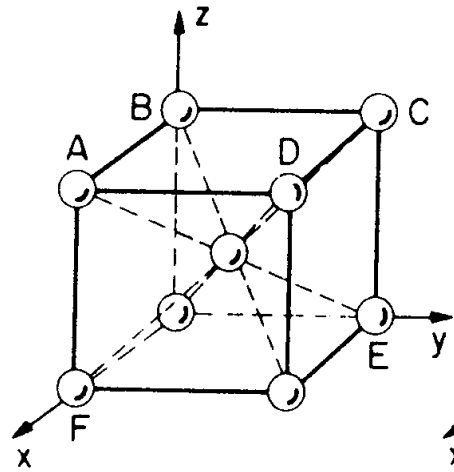
## Einfaldur teningur (sc)



Frumeining einfalds tenings hefur að geyma einn og aðeins einn grindarpunkt

$$8 \times \frac{1}{8} = 1$$

## Miðjusetinn teningur (bcc)



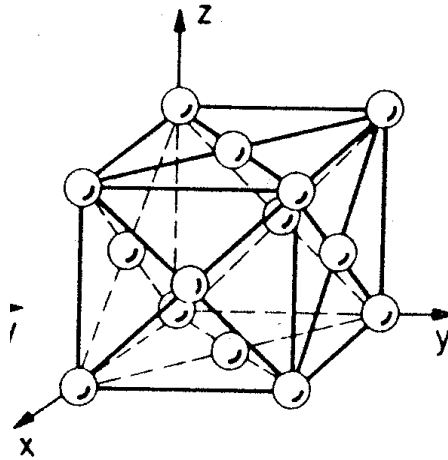
Frumeining miðjusetins tenings hefur að geyma tvo grindarpunkta

$$1 + 8 \times \frac{1}{8} = 2$$

Hvert atóm hefur 8 næstu granna

Dæmi um miðjusetinn tening eru natríum og þungsteinn

## Hliðarsetinn teningur (fcc)



Frumeining hliðarsetins tenings hefur að geyma fjóra grindarpunkta

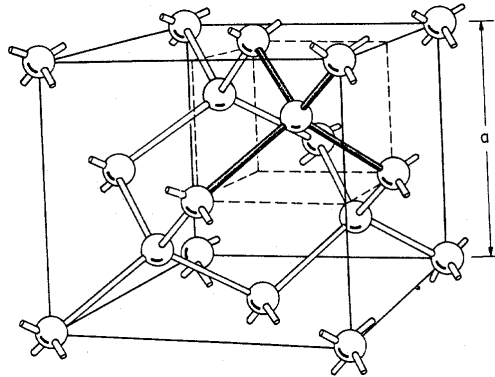
$$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$$

Hvert atóm hefur 12 næstu granna

Dæmi um hliðarsetinn tening eru kopar, gull og platína

## Teningsgrindur-demant

Tvær kristallagrindur, sem hvor um sig er hliðarsetinn teningur, með grunn í  $(0\ 0\ 0)$  og  $(\frac{1}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4})$

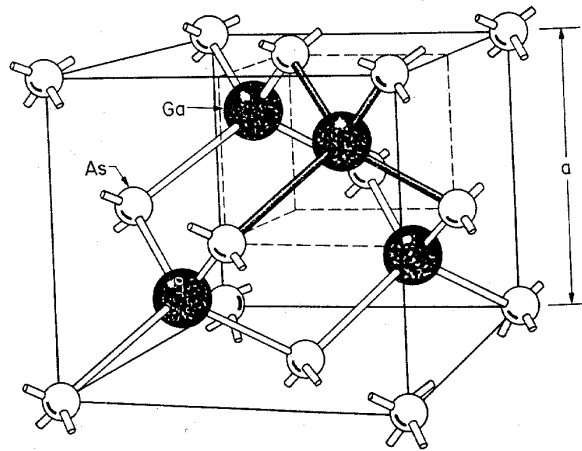


Dæmi um demantkristalgerð eru demantur, kísill og german



## Teningsgrindur-zinc blende

Tvær kristallagrindur úr mismunandi atómum, sem hvor um sig er hliðarsetinn teningur, með grunn í  $(0\ 0\ 0)$  og  $(\frac{1}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4})$



Dæmi um zinkblende kristallagerð eru ZnSe og GaAs

⇒ Dæmi 2.1.

⇒ Dæmi 2.2.

## Kristallafræði

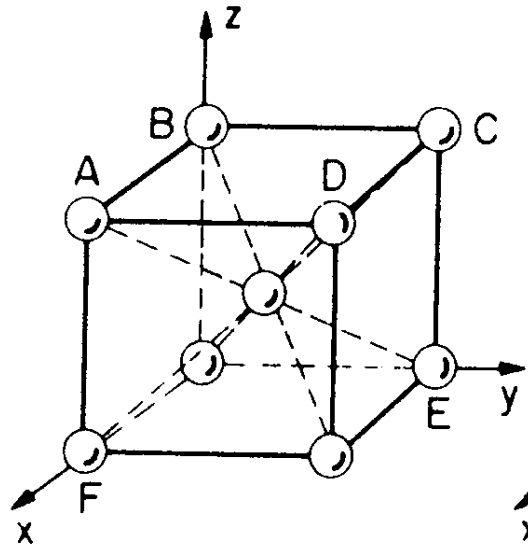
- Grindareining kísils við stofuhita hefur lengdir  $a = 5.43 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}$ )
- Það eru 8 kísilatóm á grindareiningu sem hefur rúmmálið  $a^3$
- Þetta þýðir að

$$\frac{8}{a^3} = 5 \times 10^{22} \text{ atóm/cm}^3$$

eru í kísilkristalli

- Á svipaðan hátt má reikna radía atóma, fjarlægðir milli plana o. s. frv.
- Athuga bera að atóm í demant og zinckblende grindum hafa fjóra næstu granna

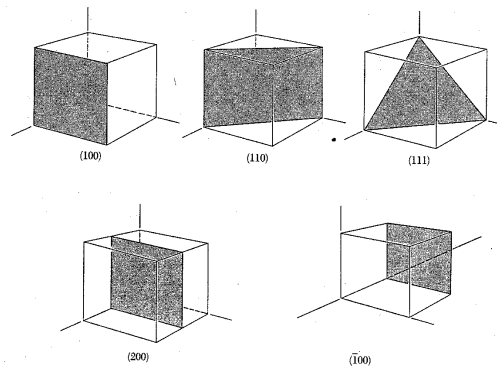
# Kristallafræði



- Við sjáum að í planinu ABCD eru fjögur atóm
- Í planinu ACEF eru fimm atóm
- Þá eru fjarlægðir milli atóma mismunandi í þessum tveimur plönnum
- Eiginleikar kristalla í mismunandi kristallastefnur eru ólíkir

# Kristallafræði

- Til að skilgreina plön í kristöllum eru notaðir Miller vísar
- Þeir eru fundnir samkvæmt eftirfarandi forskrift:
  - Skurðpunktar plansins við rétthyrnt hnitakerfi í grindarföstum eru fundnir
  - Fundin er umhverfa þessara talna. Þá er fundnar smæstu heiltölur sem hafa sömu hlutföll.
  - Niðurstaðan er rituð sem Miller vísir ( $hkl$ )



# Kristallafræði

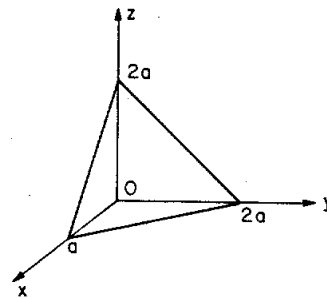
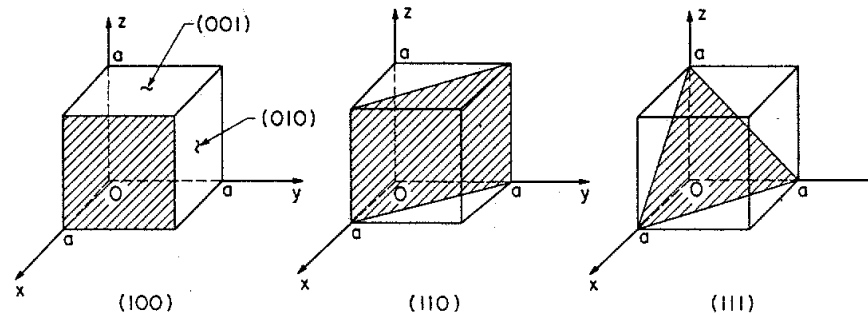


Fig. 4 A (211)-crystal plane.



Dæmi:

- Planið sker í  $a, 2a, 2a$ .  $\longrightarrow$  Umhverfur eru  $1 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$
- Smæstu heiltölur því  $2 \ 1 \ 1$   $\longrightarrow$  Þannig að Miller vísir er (211)

# Kristallafræði

Ritháttur:

- $(\bar{h}kl)$ : Fyrir plan sem sker x-ásinn í neikvæða stefnu t.d.  $(\bar{1}11)$
- $\{hkl\}$ : Tákna plön af jafngildri samhverfu - t.d.  $\{100\}$  fyrir  $(100)$ ,  $(010)$ ,  $(001)$ ,  $(\bar{1}00)$ ,  $(0\bar{1}0)$ , og  $(00\bar{1})$  í teningsamhverfu
- $[hkl]$ : Fyrir kristalstefnur, eins og  $[100]$  fyrir x-ásinn. Þannig er  $[100]$ -stefnan hornrétt á  $(100)$ -planið, og  $[111]$ -stefnan hornrétt á  $(111)$ -planið
- $\langle hkl \rangle$ : Fyrir mengi jafngildra stefna - t.d.  $\langle 100 \rangle$  fyrir  $[100]$ ,  $[010]$ ,  $[001]$ ,  $[\bar{1}00]$ ,  $[0\bar{1}0]$ , og  $[00\bar{1}]$

⇒ Dæmi 2.3.

## Kristallafræði

- Hornið  $\theta$  milli tveggja plana  $(u_1v_1w_1)$  og  $(u_2v_2w_2)$  er gefið með

$$\cos \theta = \frac{u_1u_2 + v_1v_2 + w_1w_2}{\sqrt{(u_1^2 + v_1^2 + w_1^2)(u_2^2 + v_2^2 + w_2^2)}}$$

- Línan sem lýsir skurði þessara plana er  $[uvw]$  þar sem

$$u = v_1w_2 - v_2w_1, \quad v = w_1u_2 - w_2u_1, \quad \text{og} \quad w = u_1v_2 - u_2v_1$$

- Aðskilnaður tveggja samsíða plana  $hkl$  er

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

- Fyrir  $\{100\}$  plönin er fjarlægðin  $a$ , fyrir  $\{110\}$  plönin  $0.707a$  og  $0.577a$  fyrir  $\{111\}$  plönin

## Kristallafræði

- Sumir efniseiginleikar kísils eru ráðast af kristallsstefnum
- $\{111\}$  plönin hafa mesta pökkun atóma
- Fjarlægð milli plana er minnst í  $\langle 111 \rangle$  stefnur 3.135 Å
- Aflfræðilegir eiginleikar eins og togþol eru bestir í  $\langle 111 \rangle$  stefnur
- $\{111\}$  plönin oxast hraðar en  $\{100\}$  plönin, þar eð þau hafa fleiri atóm á flatarmálseiningu fyrir hvarfið til að eiga sér stað
- Ræktun er hægust í  $\langle 111 \rangle$  stefnur þegar atómlögum er raðað lag eftir lag
- Atómpéttleiki hefur hlutföllin  
 $\{100\} : \{110\} : \{111\} = 1 : 1.414 : 1.155$



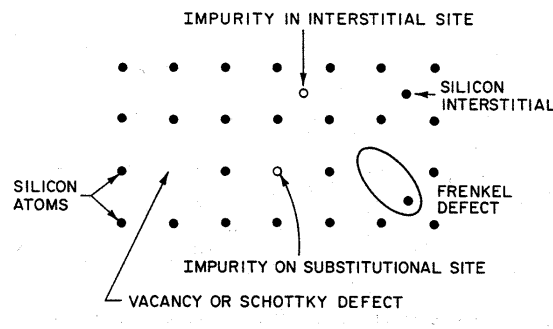
## Veilur í kristöllum

- Raunverulegur kristallur er endanlegur, yfirborðsatóm eru ekki að fullu bundin
- Hann hefur veilur, sem hafa áhrif á raf-, ljós- og aflfræðilega eiginleika hálfleiðarans

Slíkar veilur skiptast í

- Punktveilur
- Línuveilur
- Veilunet
- Útfellingar

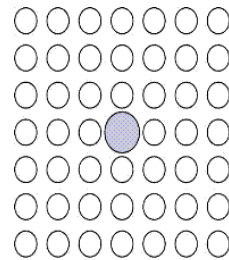
# Punktveilur



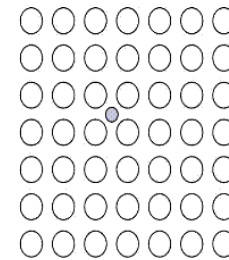
Myndin sýnir nokkur dæmi um punktveilur

- Sérhvert aðskotaatóm sem er í grindinni hvort heldur sem **staðgengill í grindarsæti** eða **atóm í milligrindarsæti** er punktveila
- Atóm sem vantar í grind myndar **eyðuveilu** sem einnig er punktveila (**Schottky veila**)
- Hýsis atóm sem situr milli reglulegra grindarsæta næst eyðuveilu er **Frenkel veila**

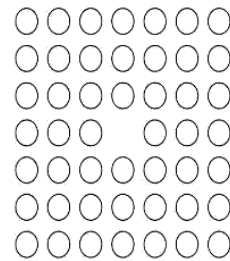
# Punktveilur



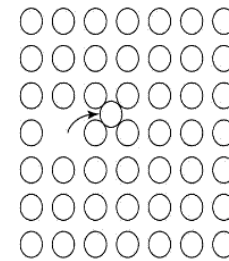
(a)



(b)



(c)

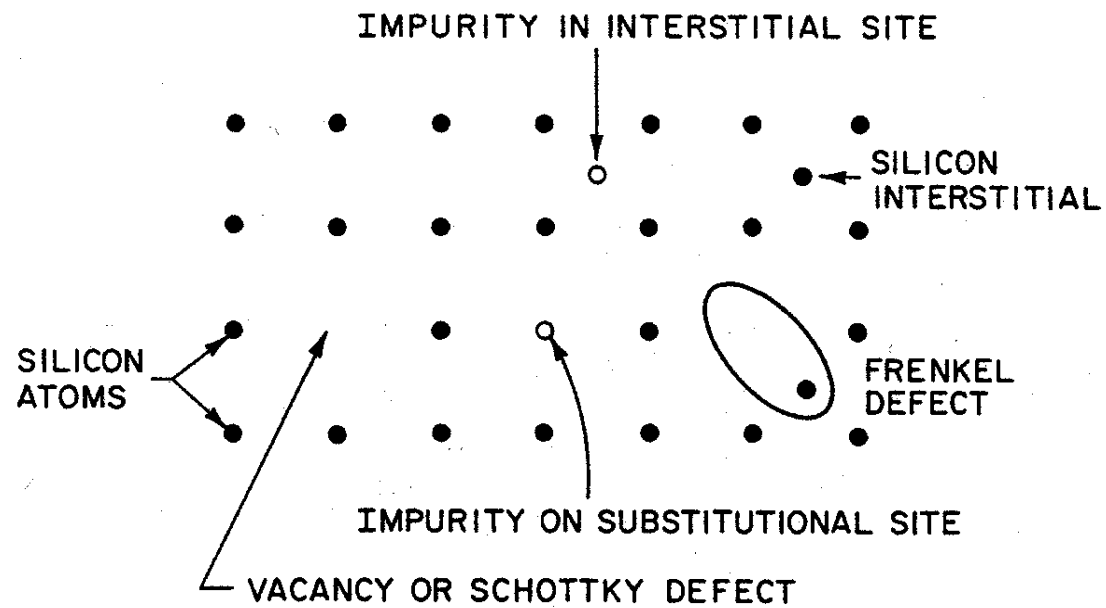


(d)

*Semiconductor Devices, 2/E by S. M. Sze*  
Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

- Atóm sem viljandi er bætt í kristallagrindina, sem og óhreinindi sem sest í grindina, er punktveila

# Punktveilur

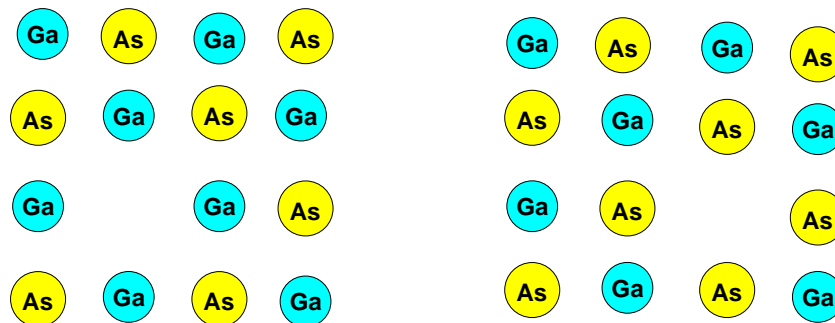


- Margar veilur verða til við framleiðslu tóla
- Sveim og ræktun kristalla ræðst að miklu leyti af hegðun veilna

## Punktveilur

- Allar veilur breyta rafeiginleikum þeirra hálfleiðara sem þær gista
- Í kísilgrindinni er einfaldasta punktveilan, eyðuveila, nefnd Schottky veila
- Einföld eyðuveila er mynduð með því að slíta fjögur samgild tengi, en tvöföld eyðuveila fæst með því að slíta sex tengi
- Orkan sem þarf til að mynda tvöfalda eyðuveilu er því minni en þarf til að mynda tvær einfaldar eyðuveilur

## Punktveilur



- Í GaAs geta Schottky veilur myndast í bæði Ga og As sätum
- Eins geta bæði Ga og As setið í milligrindarsæti
- Það eru mögulegar tvær gerðir Frenkel veilna
- Þá getur Ga setið í As sæti og öfugt. Þegar svo er komið höfum við **andsætuveilu**

## Punktveilur

- Eyðuveilur og atóm í milligrindarsæti hafa í varmajafnvægi tiltekin þéttleika, sem ræðst af hitastigi

$$N_s = N \exp\left(\frac{-E_s}{kT}\right)$$

þar sem

- $N_s$  er þéttleiki punktveilunnar
- $N$  er fjöldi atóma á einingarrúmmál í kristallsgrindinni,  $N \approx 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  fyrir kísil
- $E_s$  er örvunarorkan
- örvunarorkan er 2.6 eV fyrir eyðuveilur og 4.5 eV fyrir milligrindarveilur
- $T$  er hitastigið
- $k$  er fasti Boltzmann

## Punktveilur

- Frenkelveilur hafa í varmajafnvægi tiltekin þéttleika, sem ræðst af hitastigi

$$N_f = N \exp\left(\frac{-E_f}{2kT}\right)$$

þar sem

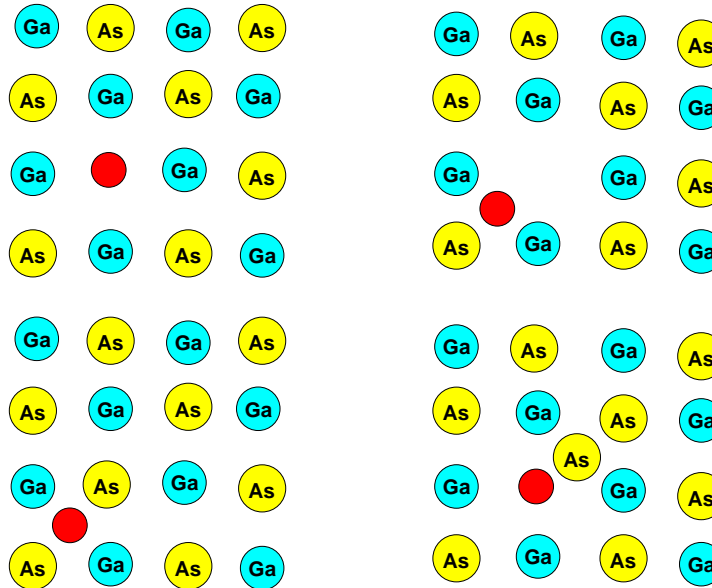
- $N_f$  er þéttleiki Frenkelveilu
- $N$  er fjöldi atóma á einingarrúmmál í kristallsgrindinni,  $N \approx 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  fyrir kísil
- $E_f$  er örvunarorkan,  $\sim 1.1 \text{ eV}$  fyrir Frenkel veilur
- $T$  er hitastigið
- $k$  er fasti Boltzmann



## Punktveilur

- Punktveilur gegna lykilhlutverki í sveimi og við oxun
- Sveim margra íbótarefna ræðst af þéttleika eyðuveilna og sama á við um oxunarhraða kísils
- Til að mynda rafvirkar veilur verða íbótaratóm yfirleitt að sitja sem staðgengill í grind. Þá mynda þau veilu með orkustig í orkugeilinni
- Veilur vegna staðgengilsatóma, sem eru efnafræðilega líkar hýsi, eru grunnar
- Þær ákvarða hleðsluberapéttleika efnisins

# Punktveilur



- Staðgengilveilur eru venjulega rafvirkar og ákvarða leiðnigerð efnis
- Veilur í milligrindarsæti eru oft ekki rafvirkar
- Mikilvæg undantekning á þessu er litín í kísli, sem situr í milligrindarsæti og er rafgjafi

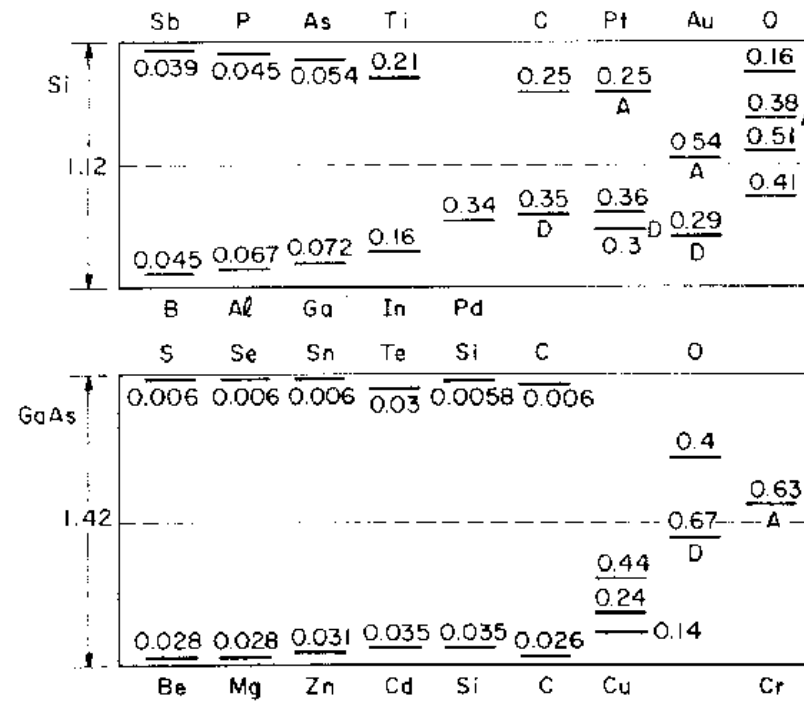
# Punktveilur

		IIIA	IVA	VA	VIA					
	5	10.811	6	12.01115	7	14.0067	8	15.9994		
	<b>B</b>		<b>C</b>		<b>N</b>		<b>O</b>			
	Boron		Carbon		Nitrogen		Oxygen			
	13	26.9815	14	28.086	15	30.9738	16	32.064		
	<b>Al</b>		<b>Si</b>		<b>P</b>		<b>S</b>			
	Aluminum		Silicon		Phosphorus		Sulfur			
<b>IIB</b>	30	65.37	31	69.72	32	72.59	33	74.922	34	78.96
	<b>Zn</b>		<b>Ga</b>		<b>Ge</b>		<b>As</b>		<b>Se</b>	
	Zinc		Gallium		Germanium		Arsenic		Selenium	
	48	112.40	49	114.82	50	118.69	51	121.75	52	127.60
	<b>Cd</b>		<b>In</b>		<b>Sn</b>		<b>Sb</b>		<b>Te</b>	
	Cadmium		Indium		Tin		Antimony		Tellurium	
	80	200.59	81	204.37	82	207.19	83	208.980	84	(210)
	<b>Hg</b>		<b>Tl</b>		<b>Pb</b>		<b>Bi</b>		<b>Po</b>	
	Mercury		Thallium		Lead		Bismuth		Polonium	

- Til að mynda n-leiðni í hálfleiðara er gjarnan íbætt með atómum sem hafa einni gildisrafeind umfram hýsi
- Til að mynda p-leiðni í hálfleiðara er gjarnan íbætt með atómum sem hafa einni gildisrafeind minna en hýsir

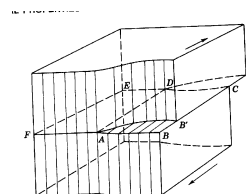
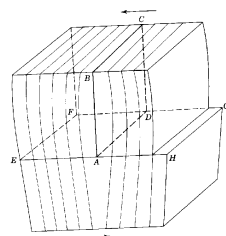
# Punktveilur

- Ef íbótaratómið er efnafræðilega ólíkt hýsi, ekki úr sama eða nálægum dálki lotukerfisins þá er líklegt að veilan verði djúp

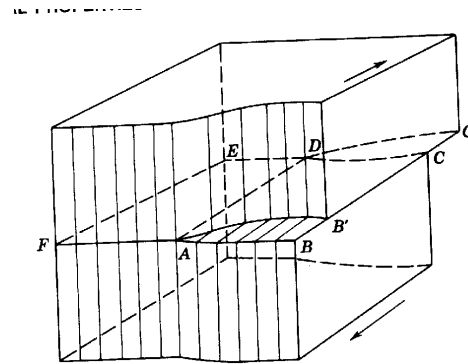
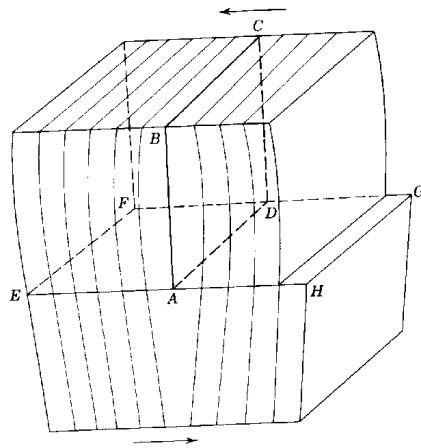


# Misgengi

- Misgengi (e. dislocation) er einvíð röð punktveilna í annars fullkomnum kristalli
- Það getur komið fram ef kristallur verður fyrir álagi sem er meira en fjaðurmörk (e. elastic limit), t. d. þegar kristallurinn kólnar eftir ræktun
- Misgengi eru oft mjög flókin en samanstanda oftast af tveimur grunngerðum, **línuveilur** og **skrúfveilur**

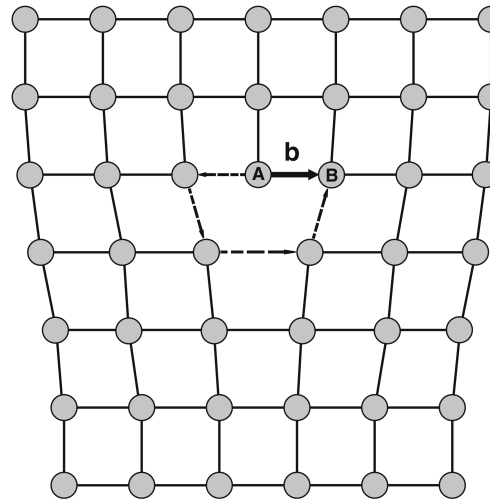


# Misgengi



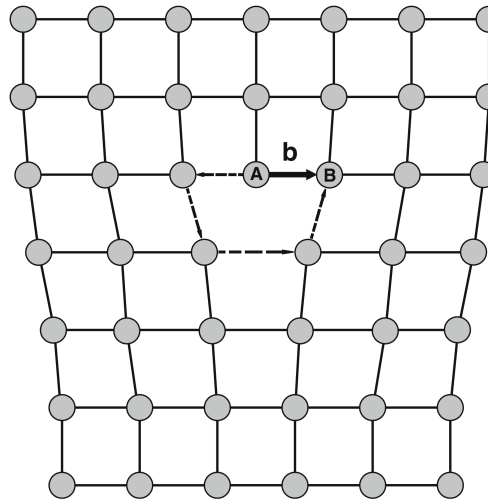
- Línuveila sést á myndinni til vinstri, og er í raun auka atómplan AB sem sett hefur verið inn í grindina
- Skrúfveila er sýnd á myndinni til hægri

# Misgengi



- Misgengi er lýst með Burgers vigrinum
- Brotalínan sýnir lykkju umhverfis kjarna veilunnar
- Lykkjan byrjar í frumeind A – henni myndi ljúka í frumeind B ef misgengið væri ekki til staðar

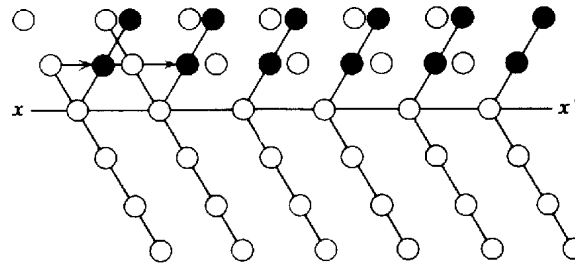
# Misgengi



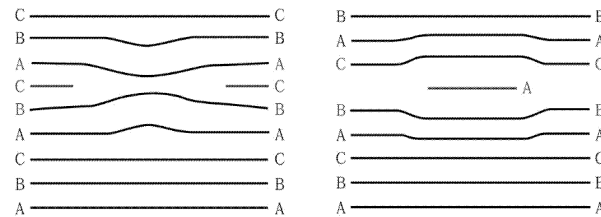
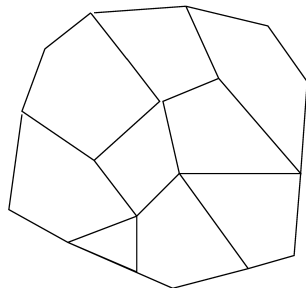
- Þegar Burgers vigrinn er hornrétt á misgengið er um að ræða edge misgengi
- Ef Burgers vigrinn er í stefnu eftir misgenginu er um að ræða skrúfuveilu



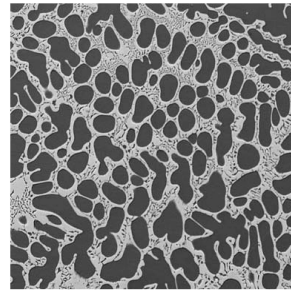
# Veilunet



- Dæmi um veilunet eru tvíburar (e. twin), kornamörk (e. grain boundaries) og hlaðveilur (e. stacking fault)



## Fasalínurit

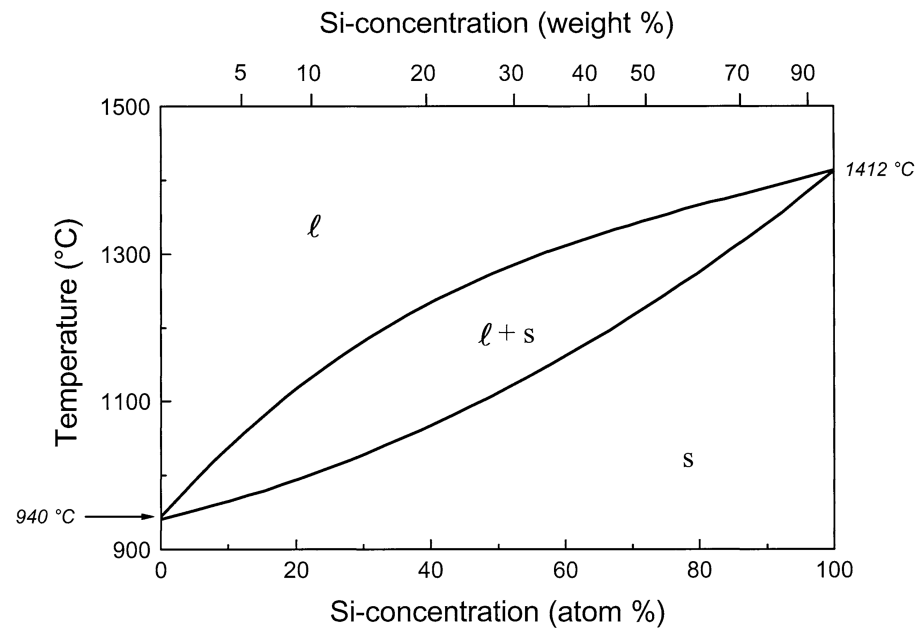


- Nútíma functional materials samanstanda af mörgum frumefnum í ólíkum fösum
- Fasi vísar hér til svæðis af einsleitum þéttleika og formgerð sem er á lengdarskala sem er langur miðað við víddir frumeindarinnar
- Mismunandi fasa má sjá í einföldum binary melmi
- Myndin sýnir rafeindasmásjármynd (SEM) af Ag/Cu melmi
- Ljósu fletirnir sýna kopar ríka fcc fasa og dökku fletirnir silfurríka fcc fasa

## Fasalínurit

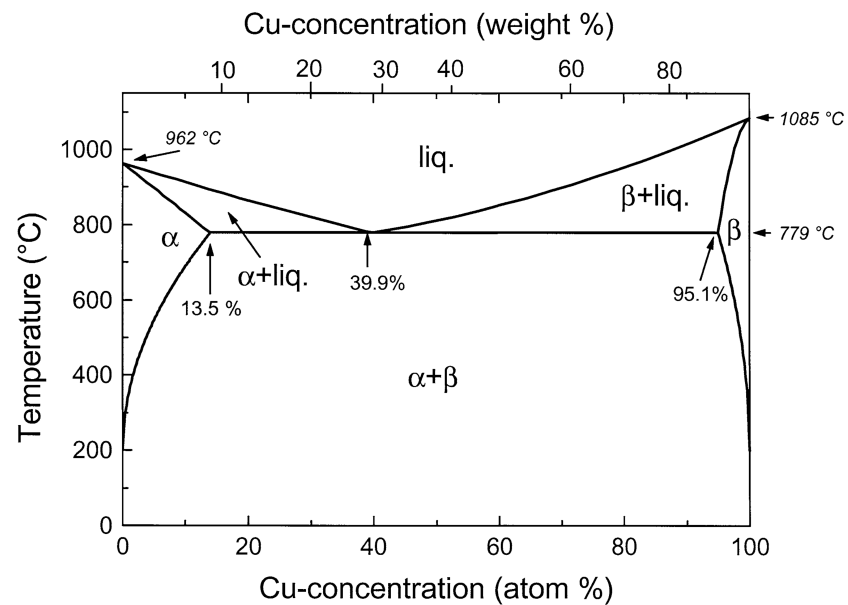
- Hinir mörgu fasar í nútíma samsettu þéttefni eru oftast ekki í varmajafnvægi
- Á fasalínuriti er hitastig teiknað sem fall af þéttleika eins þáttar (á kostnað hinna)
- Fyrir tiltekið hitastig og samsetningu hefur þéttefnið tiltekna formgerð í jafnvægi
- Skilin milli mismunandi formgerða eru táknuð með línum, t. d. skil milli vökva forms og storku
- Melmi sem eru blandanleg (e. miscible) í storku hafa einföldustu fasalínuritin

# Fasalínurit



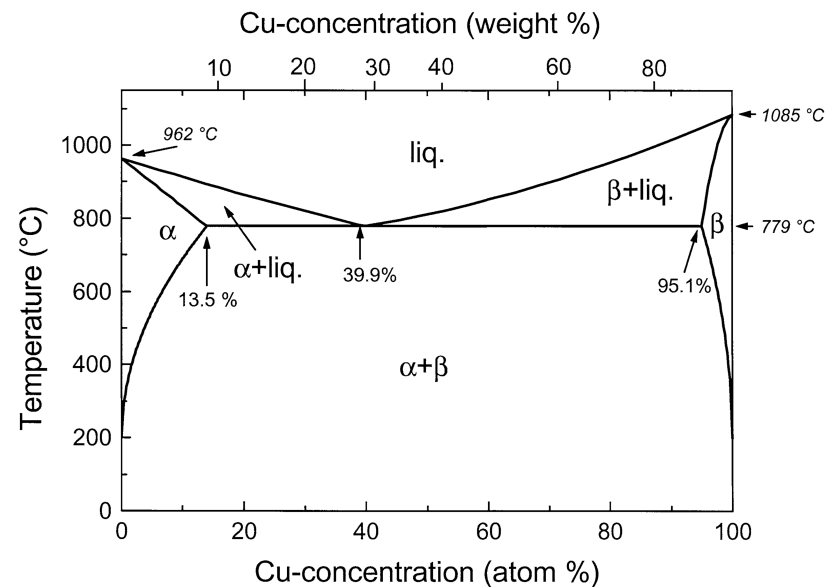
- Dæmi um tiltölulega einfalt fasalínurit er SiGe melmið
- Það ræðst af hitastigi og hlutlallslegum þéttleika Si hvort melmið er einsleitur vökvi (l), einsleitt þéttefni (s) eða tveggja fasa kerfi með bæði storku og vökva (l+s)

# Fasalínurit



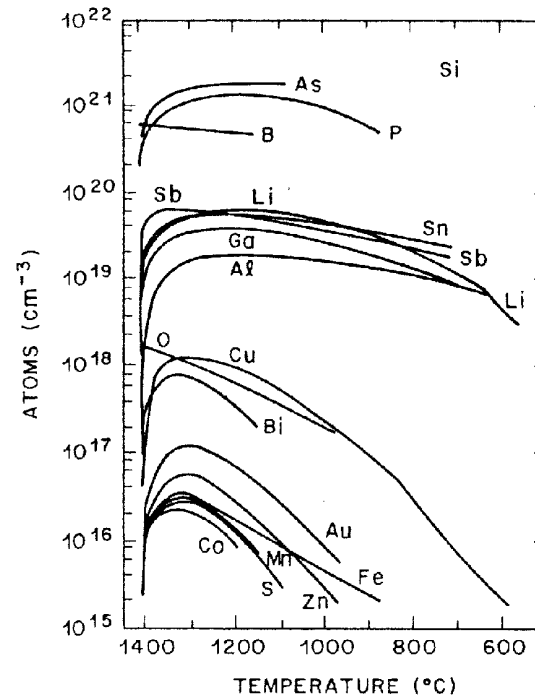
- Fasalínuritið fyrir AgCu melmið er mun flóknara
- Ástæðan fyrir því er að storkufasi AgCu er ekki að fullu blandanlegt
- Cu er uppleysanlegt í Ag aðeins upp að tilteknu hlutfalli sem ræðst af hitastigi ( $\alpha$ -fasi)

# Fasalínurit



- Á sama hátt er Ag aðeins uppleysanlegt í Cu upp að hitaátigsháðu hlutfalli ( $\beta$ -fasi)
- Þar á milli, í blöndunar gapinu (e. miscibility gap) samanstendur storkan af smásæum míkrokristölluðum svæðum Ag-ríks  $\alpha$ -fasa og Cu-ríks  $\beta$ -fasa

# Útfellingar



- Útfellingar óhreininda eða íbótar atóma geta myndað veilur
- Óhreinindi hafa öll tiltekna leysni þ.e. þéttleika sem hýsir getur tekið við í storku

## Frekari upplýsingar

- Þessi kafli er að mestu byggður á kafla 2 hjá Ibach and Lüth (2009) og að einhverju leyti á kafla 2.2. og 10.4.2. hjá Sze (2002). Frekari upplýsingar um kristallagerðir og samhverfur má finna hjá Barret and Massalski (1980) og Glazer (1987).

## Heimildir

Barret, C. and T. B. Massalski (1980). *Structure of Metals: Crystallographic Methods, Principles and Data* (3 ed.). Pergamon Press.

Glazer, A. M. (1987). *The Structure of Crystals*. Bristol: Adam Hilger.

Ibach, H. and H. Lüth (2009). *Solid-State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science* (4 ed.). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Sze, S. M. (2002). *Semiconductor devices: Physics and technology* (2 ed.). John Wiley & Sons.