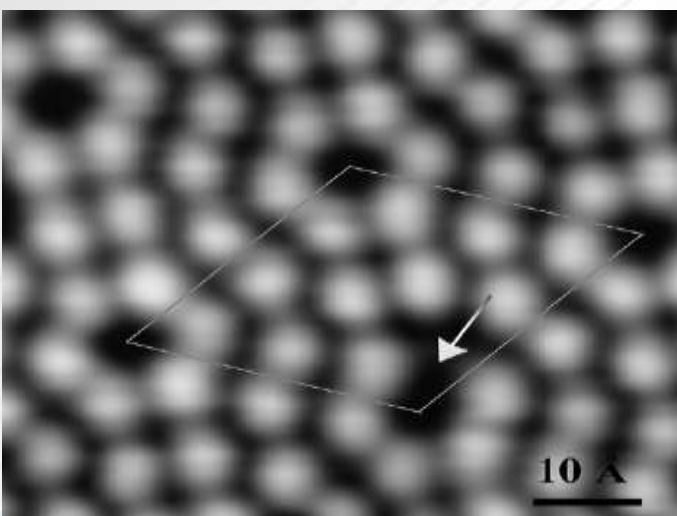
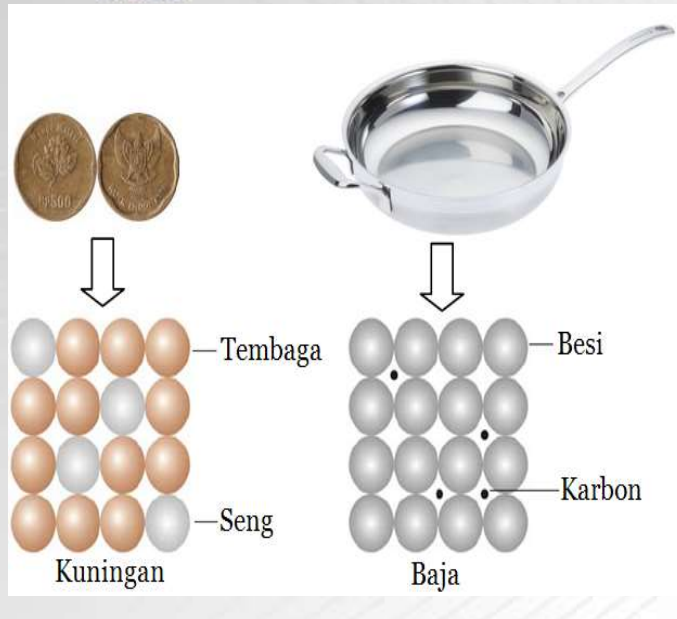


# CACAT KRISTAL, SENYAWA NONSTOIKIOMETRIK, DAN LARUTAN PADAT



Oleh

Dr. H. Harun Nasrudin, M.S.



Samik, S.Si., M.Si.



Untuk lebih memahami materi ini silahkan  
baca Bab VI di buku kami / yg lain:

**Biodata Penulis**

**Samik, S.Si, M.Si.**, merupakan alumni S1 Kimia Unesa dan S2 Kesiia ITS dengan bidang keahlian Kimia Fisika dan kimia katalisa. Saat ini berprofesi sebagai Dosen Kimia Unesa yang mengampu mata kuliah kimia dasar, kimia zat padat, kimia elektro, kimia kuantum, IAD dan fisafat IPA. 4 Buku yang telah disusunnya: Panduan Karya Tulis, Panduan Praktikum KF III, Bunga Rampai Pemikiran Intelektual Muslim, Kimia Zat Padat. CP: samik@unesa.ac.id

**Dr. Harun Nasrudin, M.S.** adalah dosen Kimia Unesa dengan bidang keahlian Pendidikan Kimia Fisika. Mata kuliah yang diampu adalah: kimia umum, termodinamika kimia, kimia Permukaan dan koloid, asesmen, metodologi penelitian, kimia padatan, fisafat kurikulum, fisafat IPA, dan Pengembangan Instrumen tes. Hingga saat ini telah menulis beberapa buku diklat kuliah seperti: Asesmen, Kimia Umum, dan buku Diktat Perkulahan Ilmu Alamiah Dasar. CP: harunnasrudin@unesa.ac.id

**Dr. Piriin Seliarsa, M.Si** adalah dosen Kimia Unesa dengan bidang keahlian Kimia Analitik. Lulusan S1 dan S2 UGM, STITB. Saat ini menjabat sebagai ketua Lab terpadu IPA dan Kasubdit Kimia Instrumen Unesa. Mata kuliah yang diampu adalah: kimia umum, Kimia Dasar, Kimia Analitik II, III, dan IV. Hingga saat ini telah menulis beberapa buku Matematika Kimia, Kimia Analitik. CP: pirinseliarsa@unesa.ac.id

**Kimia  
Zat Padat**

Samik

**PPT ini digunakan untuk mempermudah pembelajaran, kebanyakan saya ambil dari berbagai literatur buku dan PPT (terutama yg berbahasa Inggris) dan dari buku Kimia Zat**

Mau ebook buku Kimia Zat Padat, silahkan klik <https://bit.ly/ebukuKZP> / 085731160005

# OVERVIEW

## DEFINITION & Classification of Defects

- ❏ **Point defects**: solute atoms (strength, conductivity)
- ❏ **Line defects**: dislocations (plastic deformation)
- ❏ **Surface defects**: external surface (crystal shape)
- ❏ **Volume defects**: voids, inclusions (fracture)



*solid solution*

**nonstoikiometri**

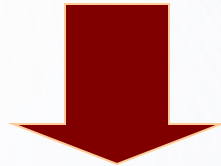
- Struktur kristal sempurna, partikelnya disusun secara berulang dan teratur, mengulangi pola tiga dimensi
- Fakta: susunan partikel penyusun kebanyakan bahan kristal di alam / dibuat di laboratorium adalah tidak sempurna / cacat.
- Berdasarkan dimensinya, terdapat 4 jenis cacat kristal yaitu cacat titik, cacat garis, cacat bidang, dan cacat ruang.
- Senyawa non-stoikiometrik = senyawa yang memiliki komposisi unsur yang proporsinya tidak hanya bilangan bulat.
- Larutan padat = campuran homogen berwujud padat yang terdiri dari satu atau lebih zat terlarut dalam pelarut.

# DEFINITION

An ideal crystal can be described in terms a three-dimensionally periodic arrangement of points called lattice and an atom or group of atoms associated with each lattice point called motif:

$$\text{Crystal} = \text{Lattice} + \text{Motif}$$

However, there can be deviations from this ideality.

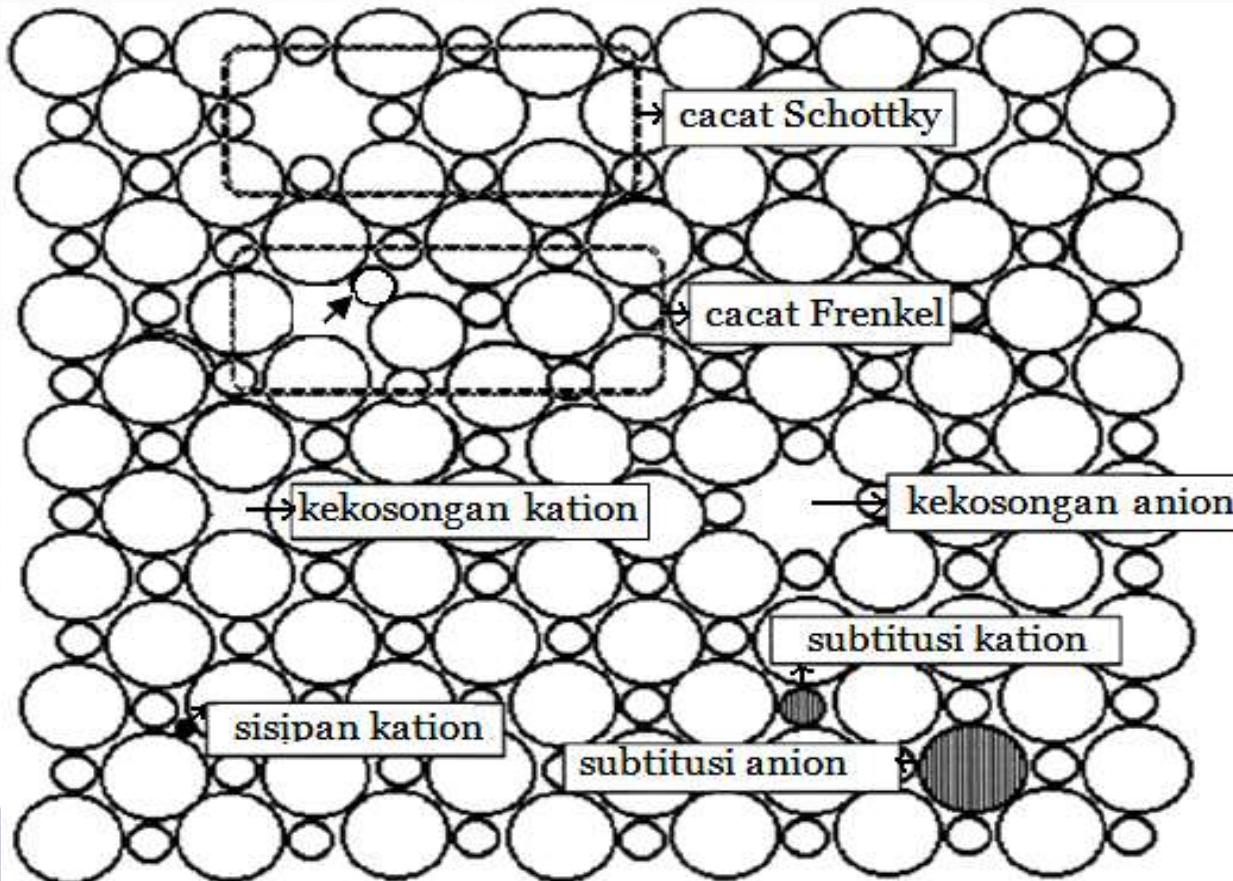


These deviations are known as **CRYSTAL DEFECTS**.

# POINT DEFECTS

Intrinsic defects : Occur in pure substances:  
Schottky defects and Frenkel defects

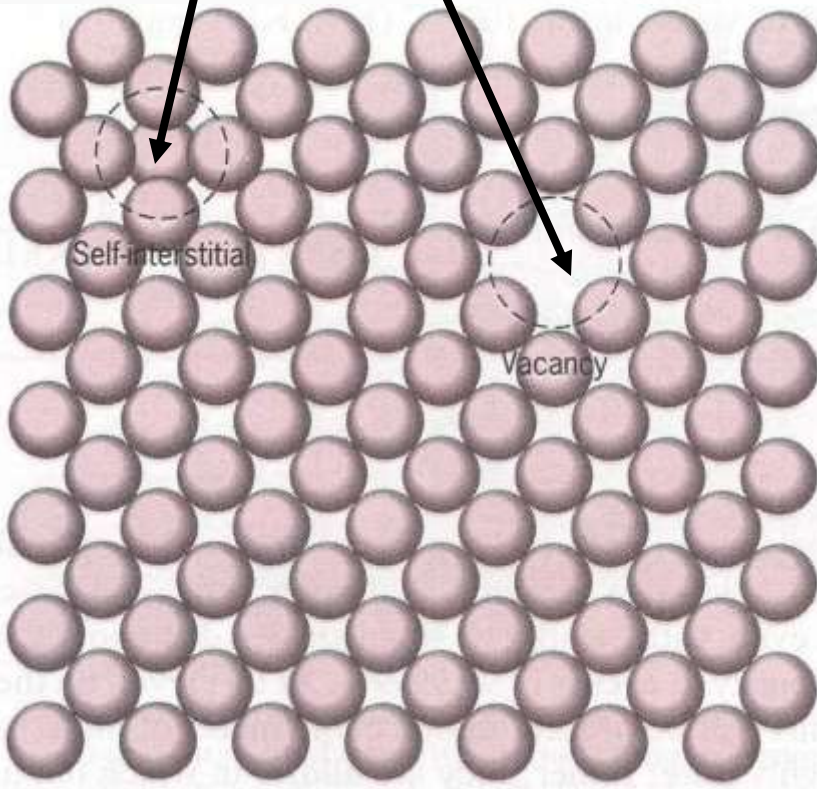
Extrinsic defects Due to impurities: Substitutional  
solid solutions and Interstitial solid solutions



# Point Defects

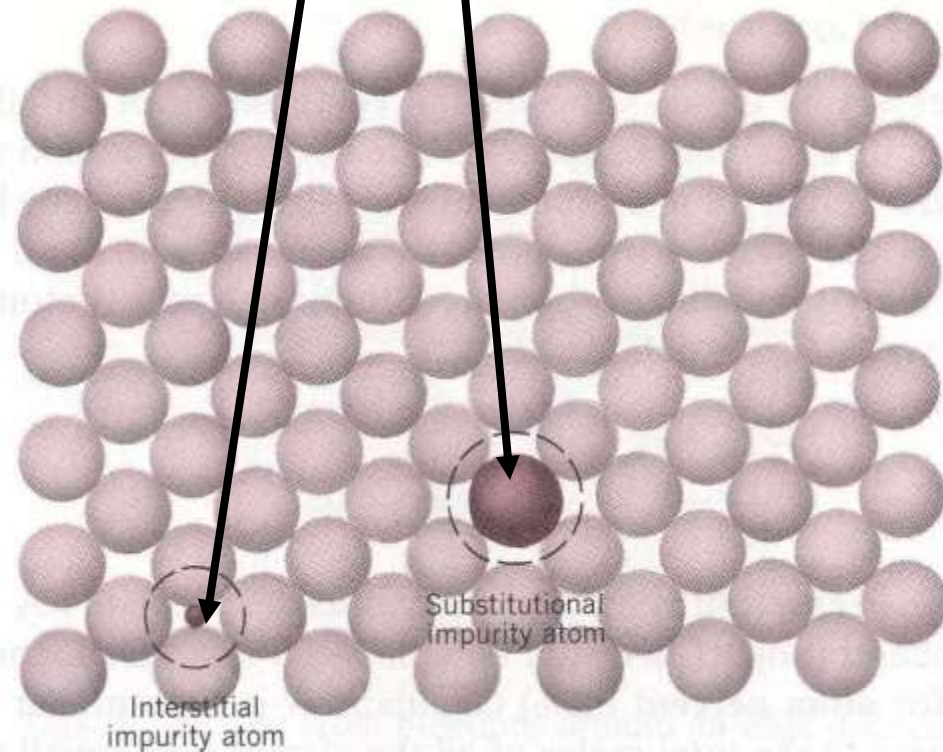
## - **Intrinsic** defects

- **Vacancy**
- **Self-interstitial**



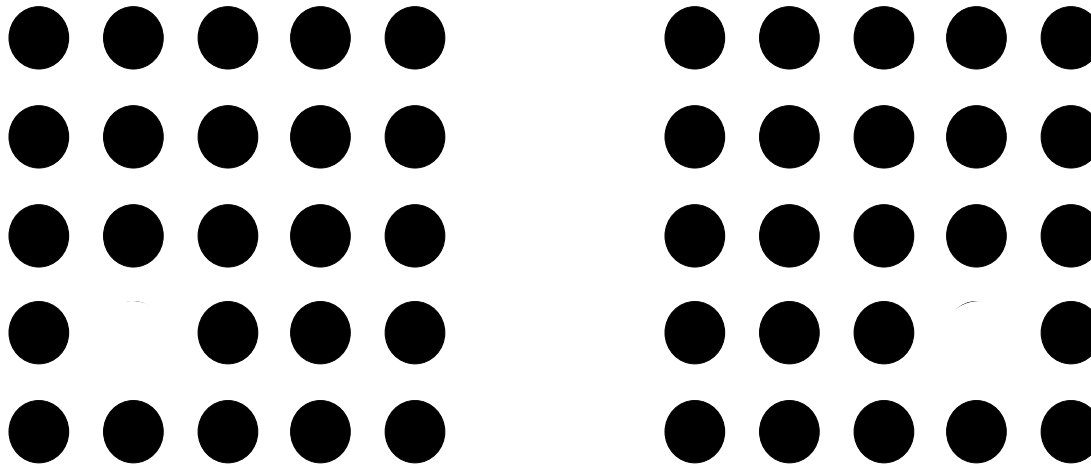
## - **Extrinsic** defects

- **Substitutional impurity**
- **Interstitial impurity**



# Vacancy

- ❑ Missing atom from an atomic site
- ❑ Atoms around the vacancy displaced
- ❑ Tensile stress field produced in the vicinity

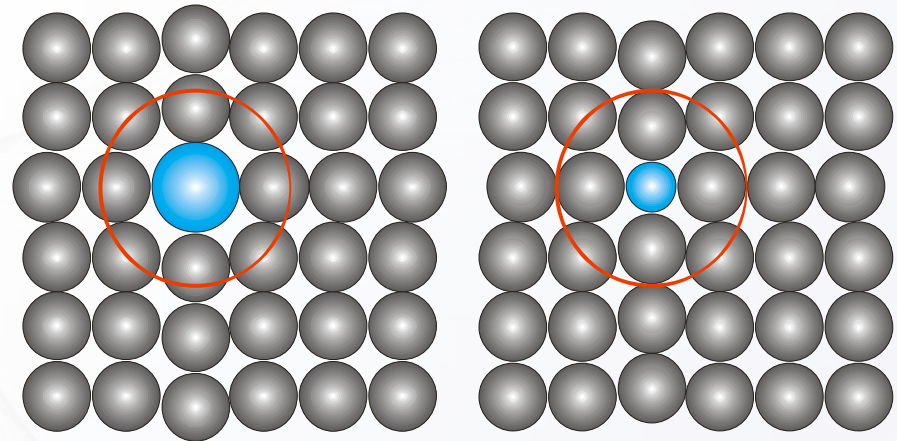
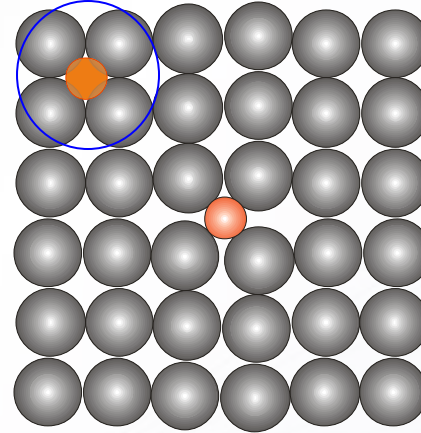




Impurity

Interstitial

Substitutional



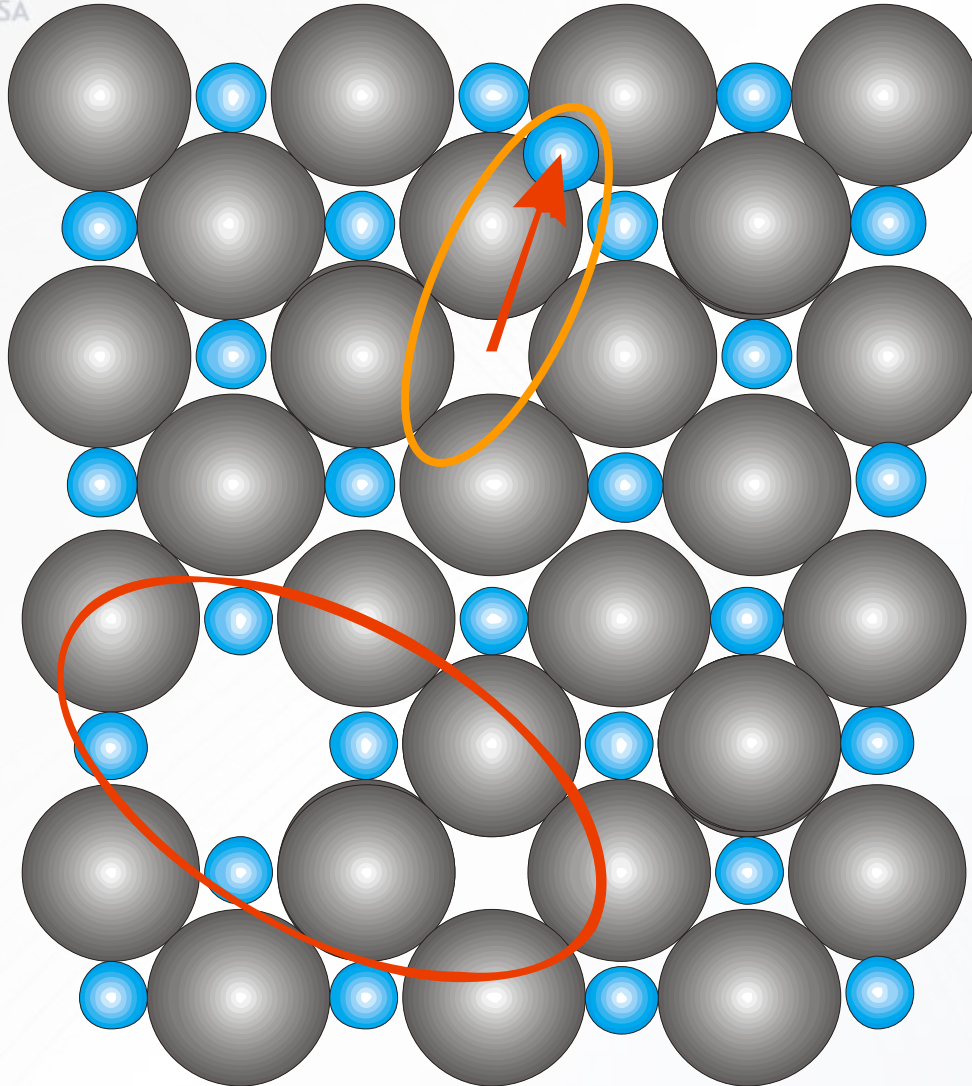
## ❑ SUBSTITUTIONAL IMPURITY

- Foreign atom replacing the parent atom in the crystal
- E.g. **Cu** sitting in the lattice site of FCC-**Ni**

## ❑ INTERSTITIAL IMPURITY

- Foreign atom sitting in the void of a crystal
- E.g. **C** sitting in the octahedral void in HT FCC-**Fe**

# Defects in ionic solids



Frenkel defect

Cation vacancy  
+  
cation interstitial

Schottky defect

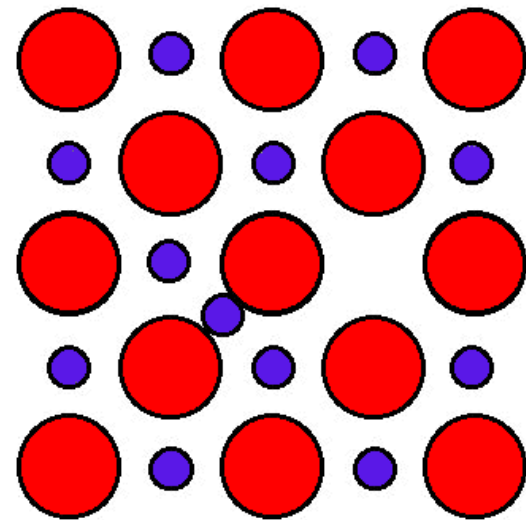
Cation vacancy  
+  
anion vacancy

# Intrinsik Defects -Frenkel

Often a vacancy and interstitial occur together - an ion is displaced from its site into an interstitial position.

This is a **Frenkel Defect** (common in e.g. AgCl) and charge balance is maintained.

Frenkel defects can be induced by irradiation of a sample



**Frenkel Defect**

# Extrinsic defects (due to impurities)

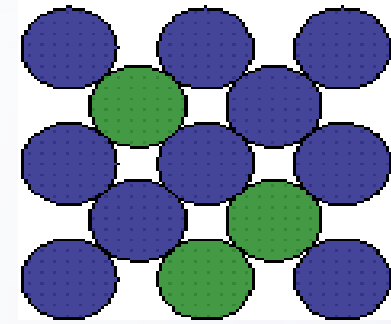
**Impurities** or **dopants** in a solid are any atom(s) of a type that do not belong in the perfect crystal structure (see 'extrinsic semiconductors')

The host crystal with impurities is called a **solid solution**

## Substitutional solid solutions

**Impurity atoms** occupy the same sites of the **host atoms**

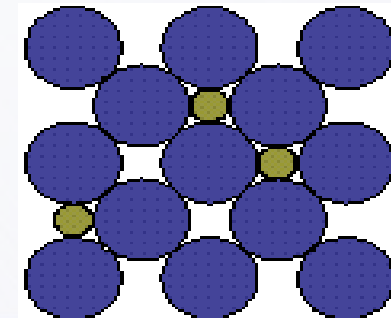
Impurities "substitute" for the host atoms

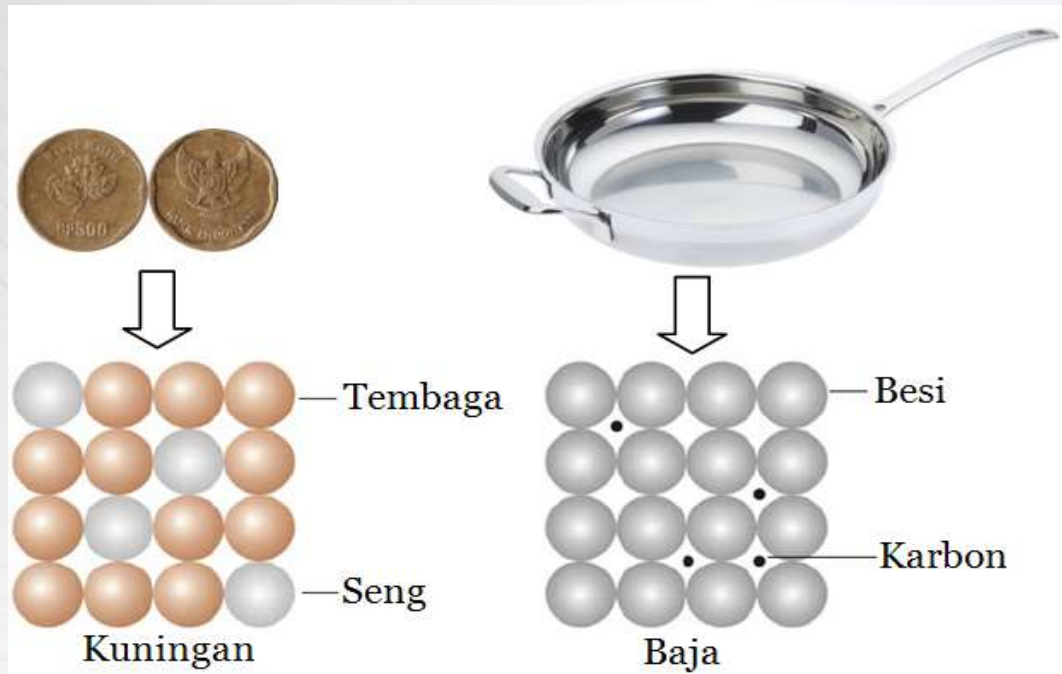


## Interstitial solid solutions

**Impurity atoms** occupy interstices in the **host crystal** structure

Impurities usually have a small size compared to the host atoms

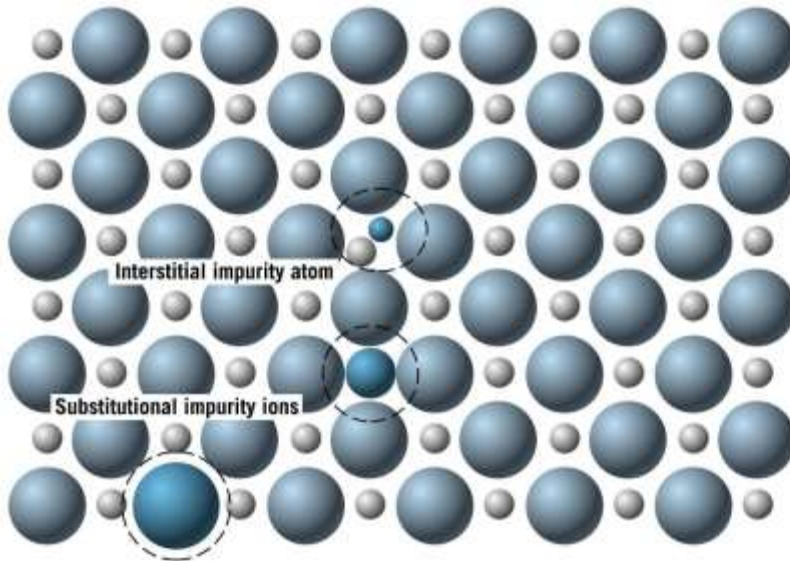




## Gambar. Struktur paduan: kuningan dan baja

- Ada dua jenis paduan (*alloy*) yaitu paduan tersubstitusi dan paduan sisipan.
- Paduan tersubstitusi, contohnya kuningan (sekitar sepertiga dari atom tembaga telah digantikan oleh atom seng).
- Paduan sisipan, Misalnya, baja merupakan paduan dari besi dan karbon.

# Impurity defects



**FIGURE 12.23** Schematic representations of interstitial, anion-substitutional, and cation-substitutional impurity atoms in an ionic compound. (Adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. 1, *Structure*, p. 78. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

**Charge neutrality must be maintained.**

**Thus, if a substitutional impurity has a different charge than the substituted ion, another defect (or defects) must be present to balance it out.**

**Non-stoichiometry often results.**

## Cationic

Ca instead of Na in NaCl

B instead of Si in SiO<sub>2</sub>

## Anionic

O instead of Cl in NaCl

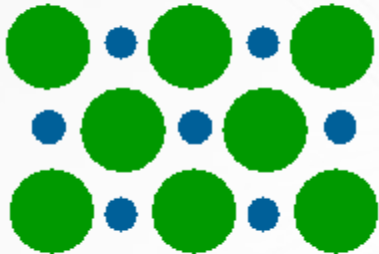
O instead of N in GaN

# IMPURITIES

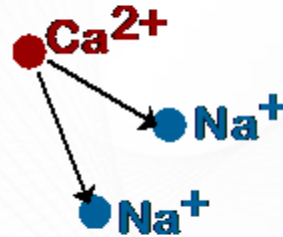
- Impurities must satisfy **charge balance**



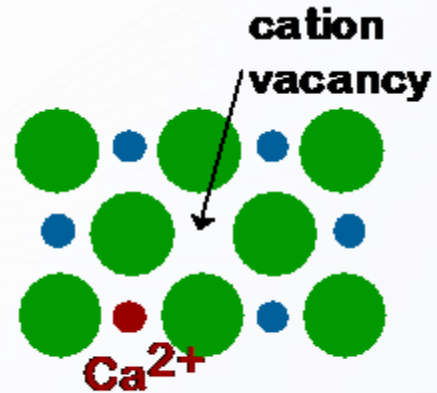
- Substitutional cation impurity



initial geometry

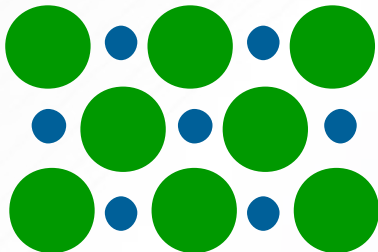


Ca<sup>2+</sup> impurity

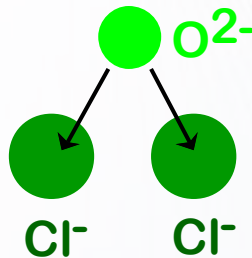


resulting geometry

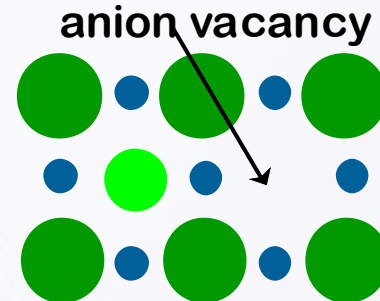
- Substitutional anion impurity



initial geometry

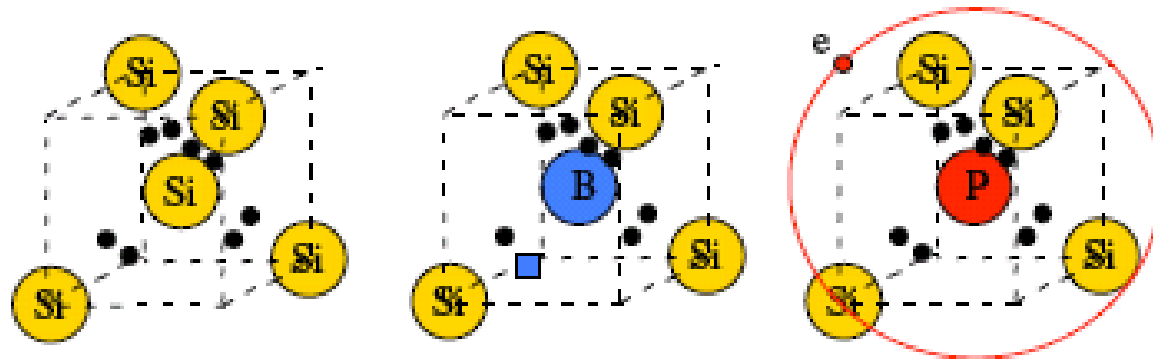


O<sup>2-</sup> impurity



resulting geometry

# Substitutional Solutes: Electrical Defects in Semiconductors

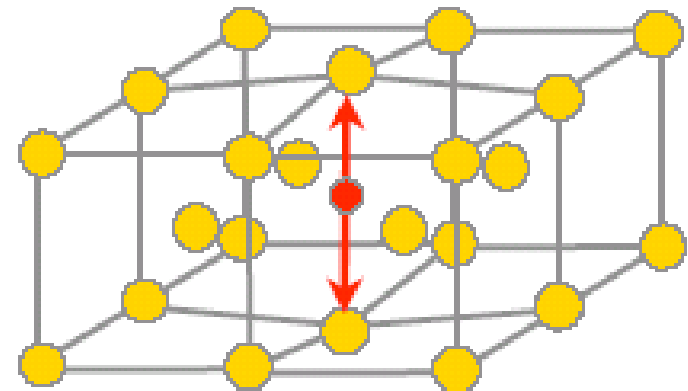
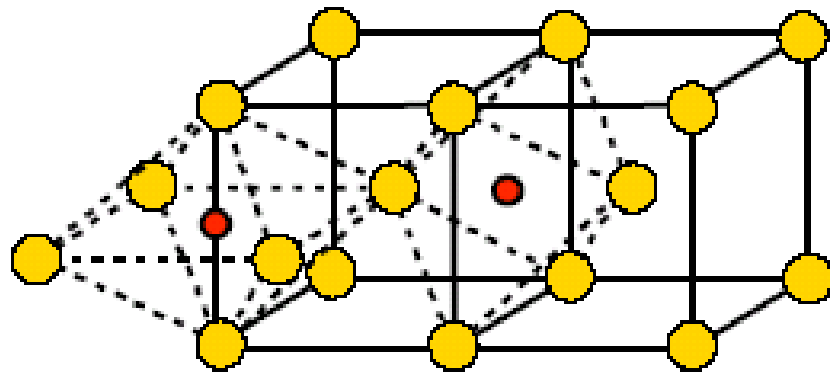


- Solutes can control the number and type of carriers in Si
- P ( $z = 5$ ) introduces an electron in an excited state
  - Electron can be liberated to conduct electricity
  - “Donor” solutes create “n-type” extrinsic semiconductors
- B ( $z = 3$ ) leaves a hole in a bonding state
  - Hole can “accept” an electron to create a mobile positive charge
  - “Acceptor” solutes create “p-type” extrinsic semiconductors



# Interstitial Solutes: Carbon in Steel

---



- Carbon interstitials fill octahedral sites in bcc Fe
  - Octahedral has larger volume (smaller radius) than tetrahedral
- Octahedral sites are asymmetric
  - Sites distort, creating local strain
  - Makes deformation difficult, strengthens material

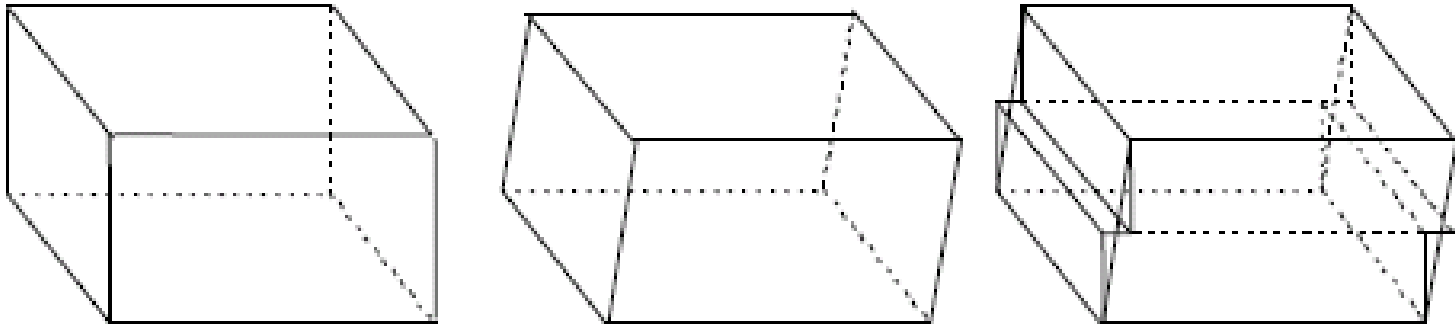


# LINE DEFECTS (DISLOCATIONS)

- @ Plastic deformations by Slip
- @ Edge Dislocations
- @ Screw Dislocations
- @ Mixed Dislocation

# Line Defects: Plastic Deformation by Slip

---



- Plastic deformation is a change in shape
  - Changes in shape happen by shear
  - Equivalent to simple shear shown
- Shear happens by “slip”
  - Planes of atoms slip over one another like cards in a deck
  - Slip is accomplished by linear defects - “dislocations”

**Mechanism of plastic deformation in crystals: dislocation glide, or slip of atomic planes (atomic planes move one by one via the formation and movement of dislocations, rather than all the planes move simultaneously)**

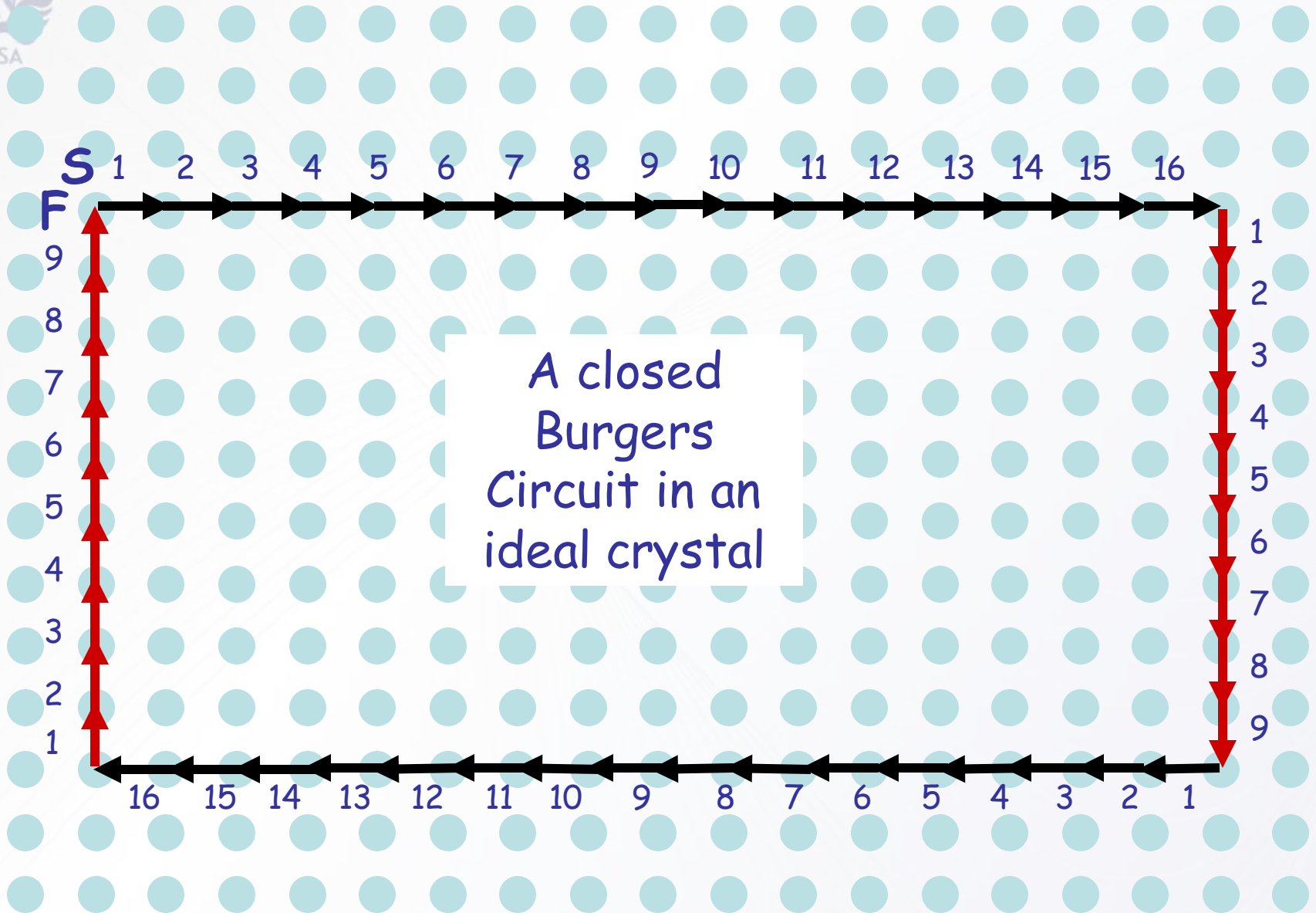
# Burgers vector

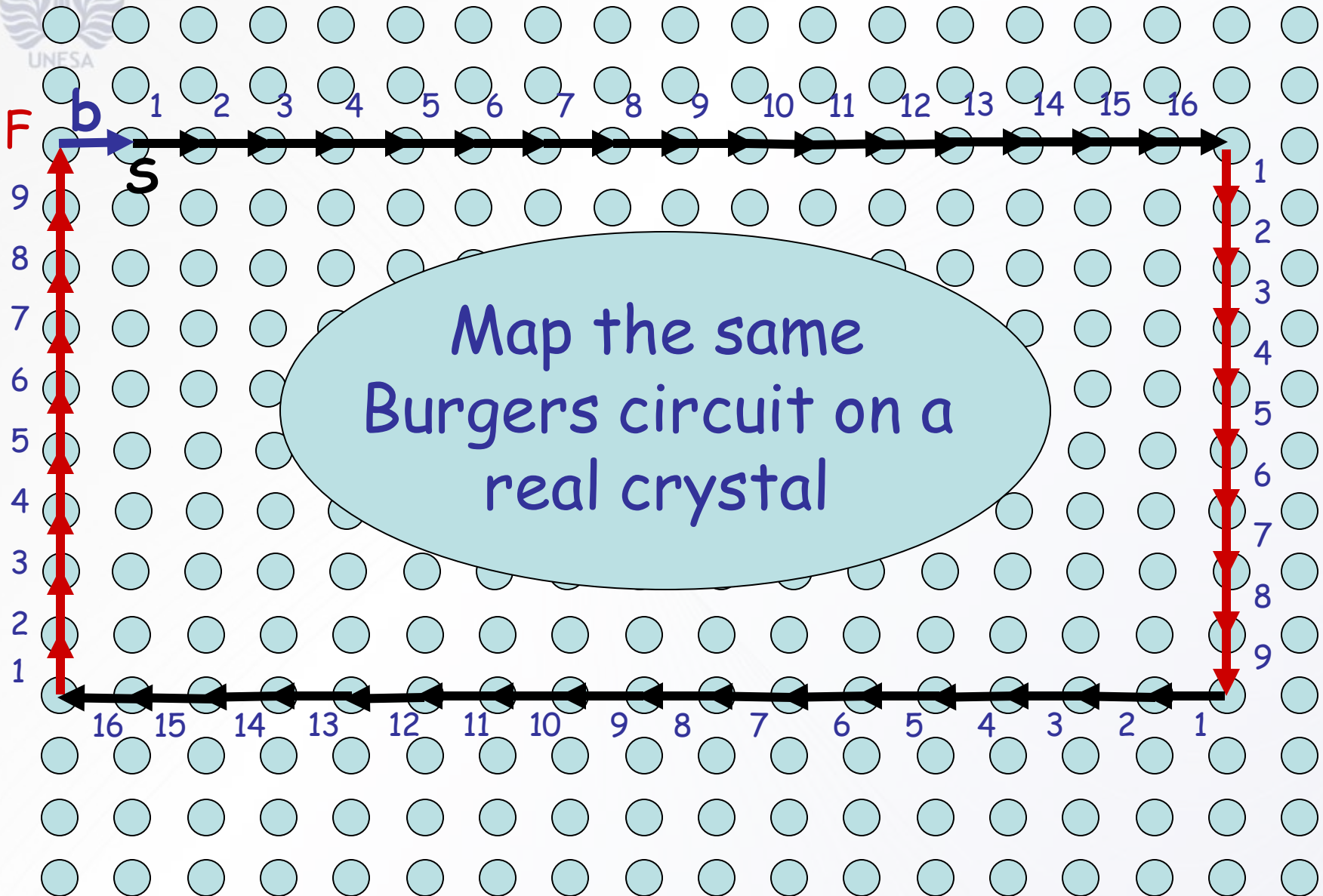


Johannes Martinus  
**BURGERS**

~~Burger's~~ vector

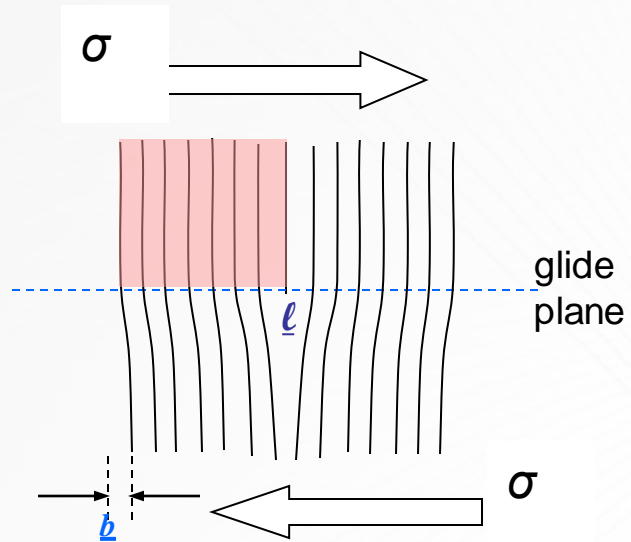
~~Burgers~~ vector





## RHFS convention

# Definitions

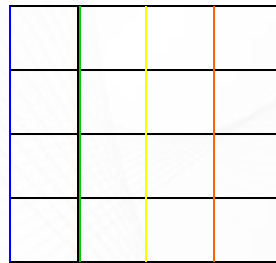


- The boundary plane across which shear occurs is the **glide plane**
- The boundary line that separates slipped (**red**) and unslipped regions is the **dislocation line** or **axis  $\ell$**
- The direction and magnitude of slip = **Burger's vector,  $\underline{b}$**
- $\underline{b}$  is in general a lattice vector, so there is no long range mismatch between slipped and unslipped planes
- If  $\underline{b}$  is parallel to  $\ell$  dislocation is '**screw**'
- If  $\underline{b}$  is perpendicular to  $\ell$  dislocation is '**edge**'

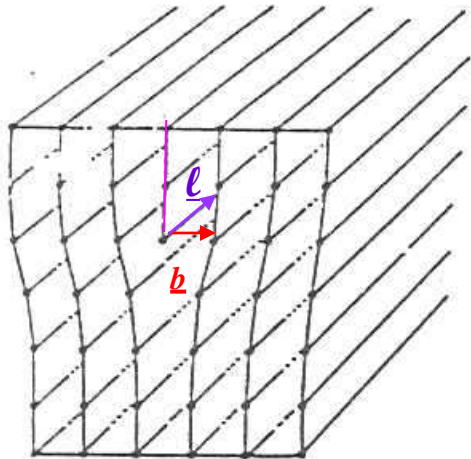


# Edge and Screw Dislocations

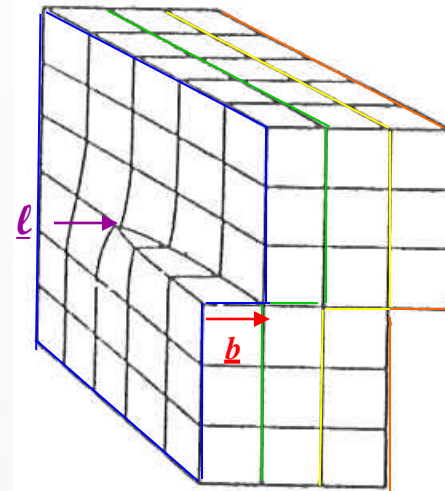
Perfect crystal lattice



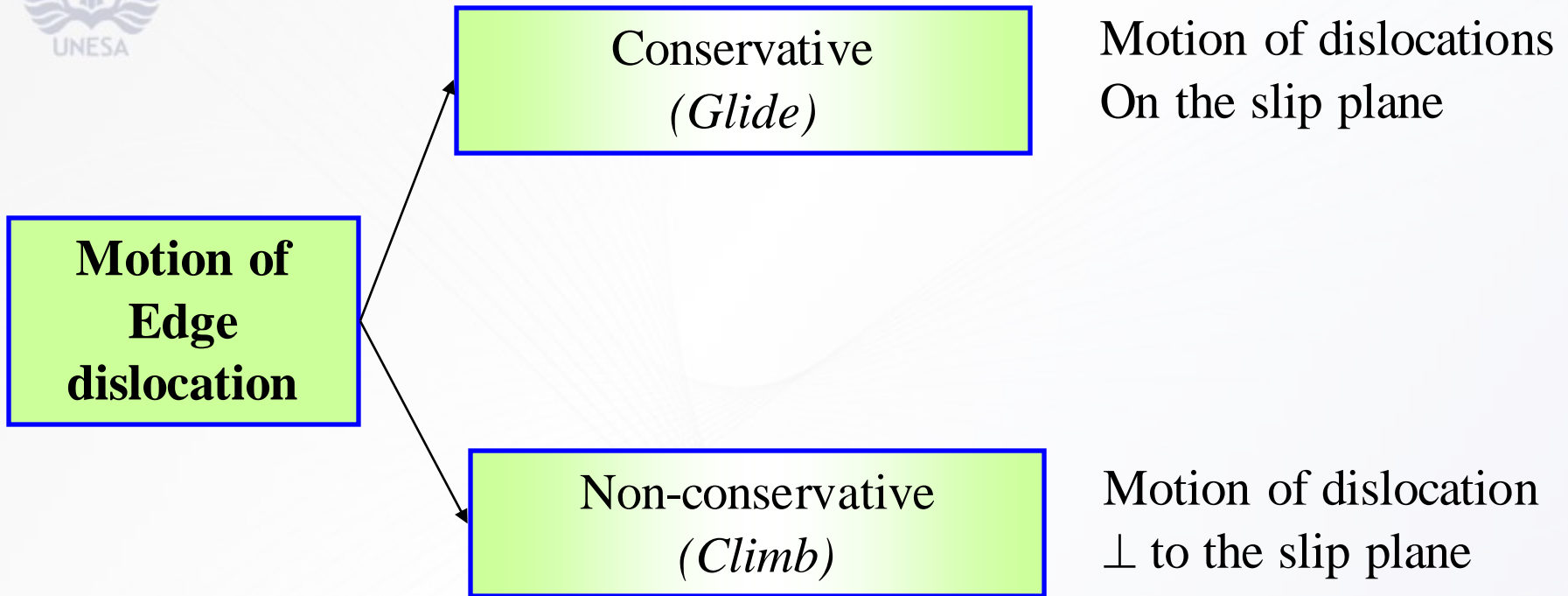
Edge dislocation:  
“extra plane”



Screw dislocation  
(distortion of the  
crystal)

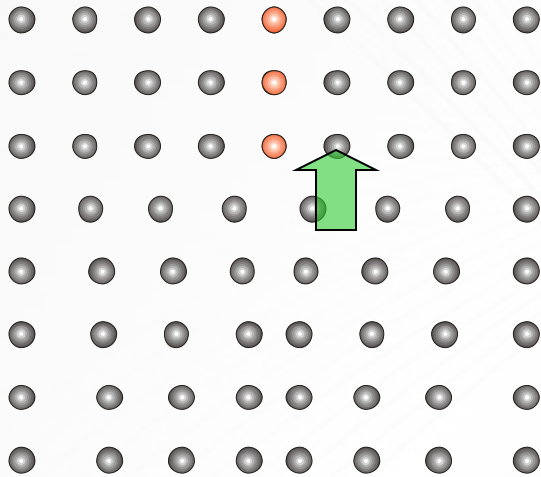






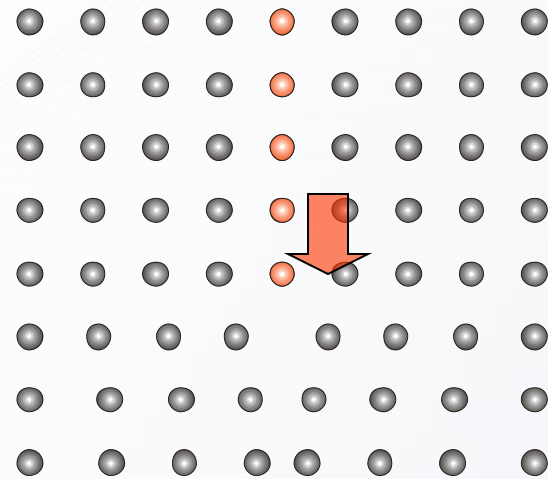
- ❑ For edge dislocation: as  $\mathbf{b} \perp \mathbf{l}$
- ❑ Climb involves addition or subtraction of a row of atoms below the half plane
  - ▶ positive climb = climb up  $\rightarrow$  removal of a plane of atoms
  - ▶ negative climb = climb down  $\rightarrow$  addition of a plane of atoms

## Edge Climb



Positive climb

*Removal of a row of atoms*

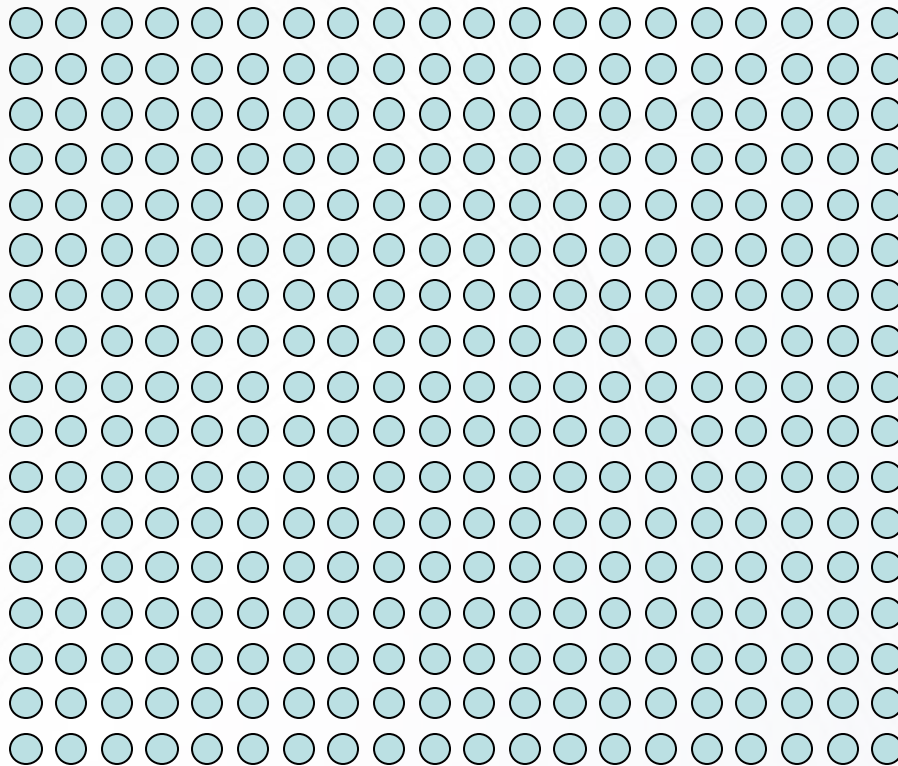


Negative climb

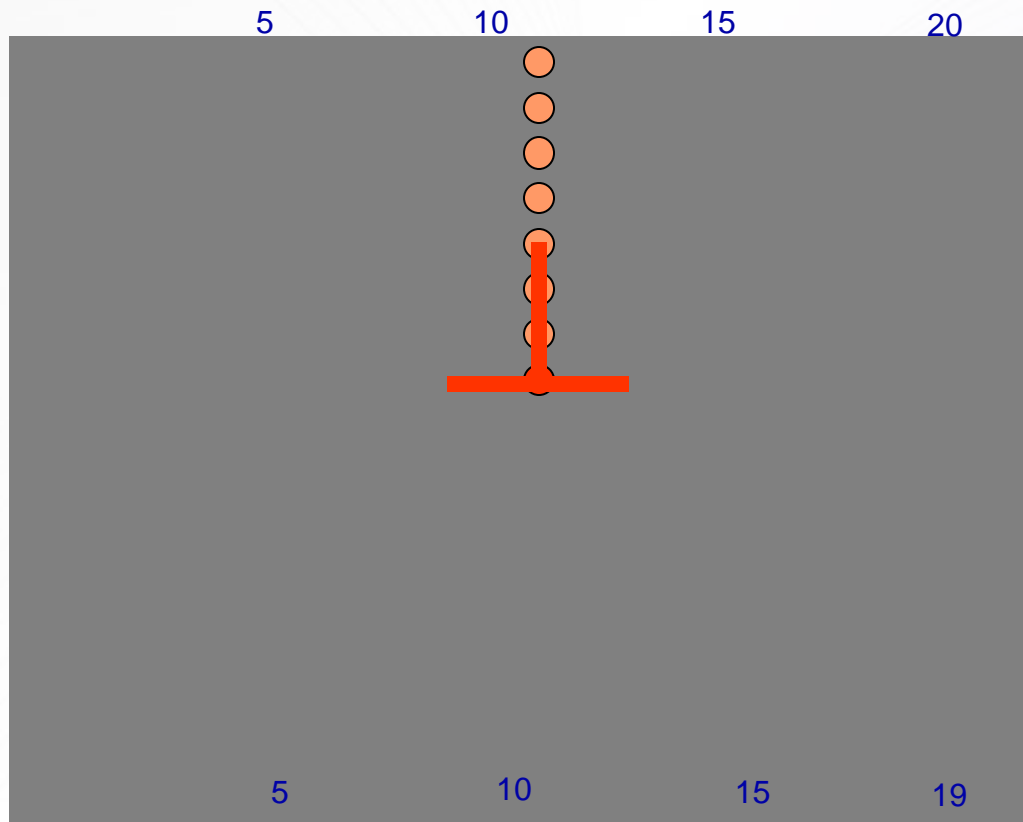
*Addition of a row of atoms*



# Let's look at the atoms in a perfect crystal

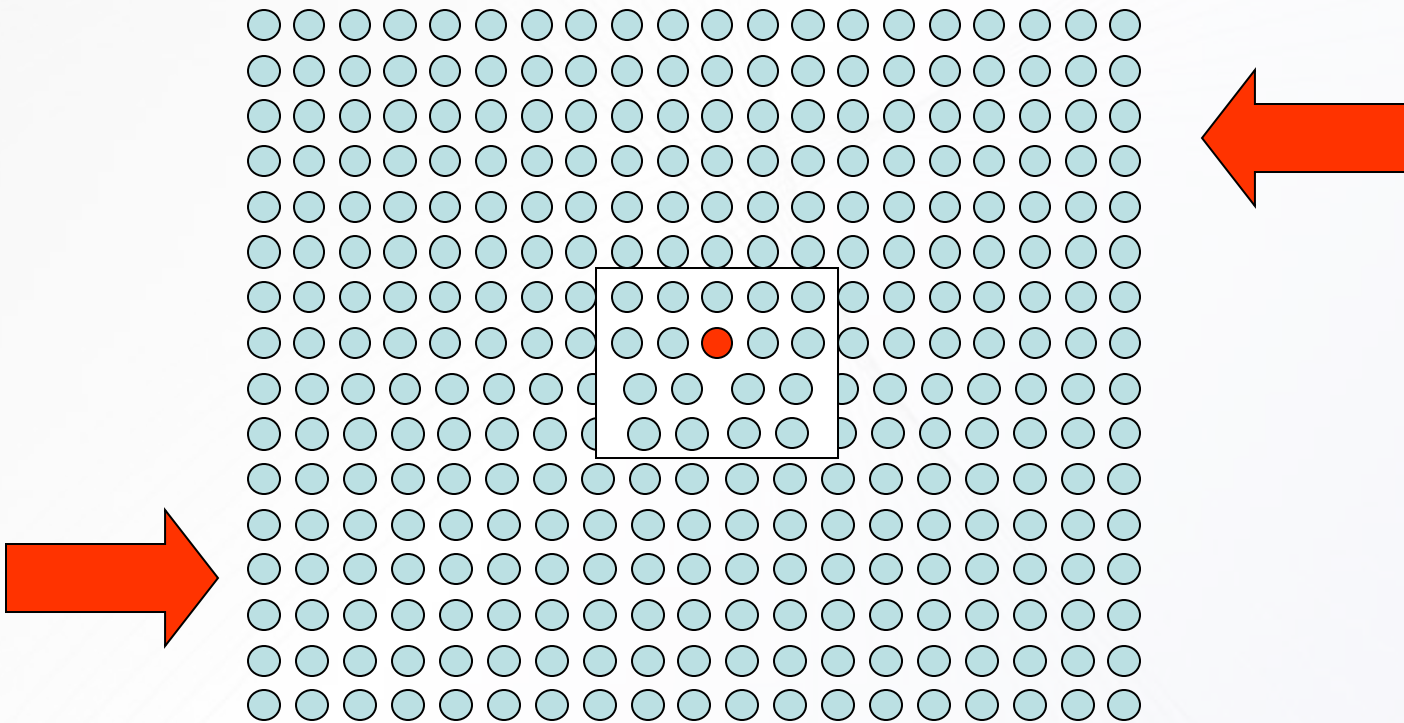


# Let's look at the atoms in a realistic crystal

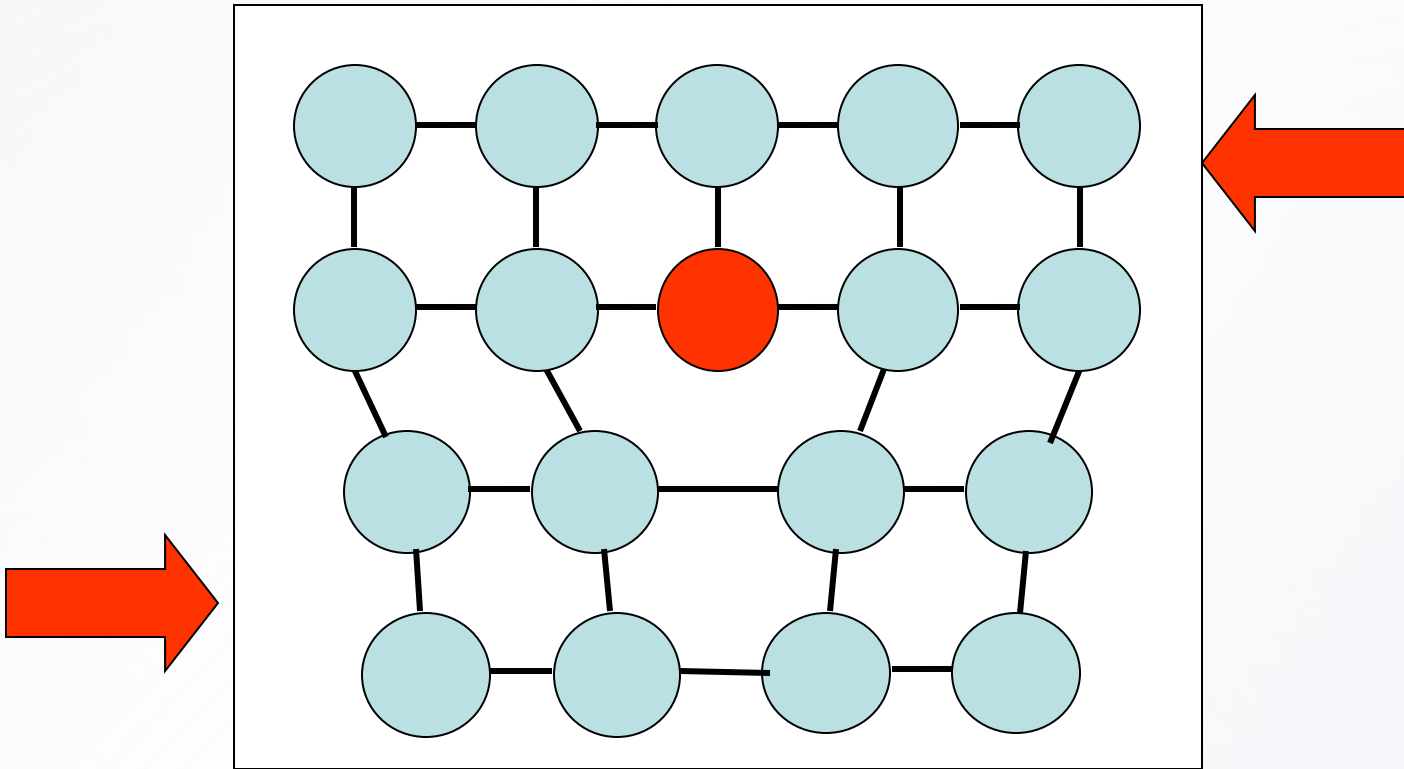


⊥ = “Edge dislocation”

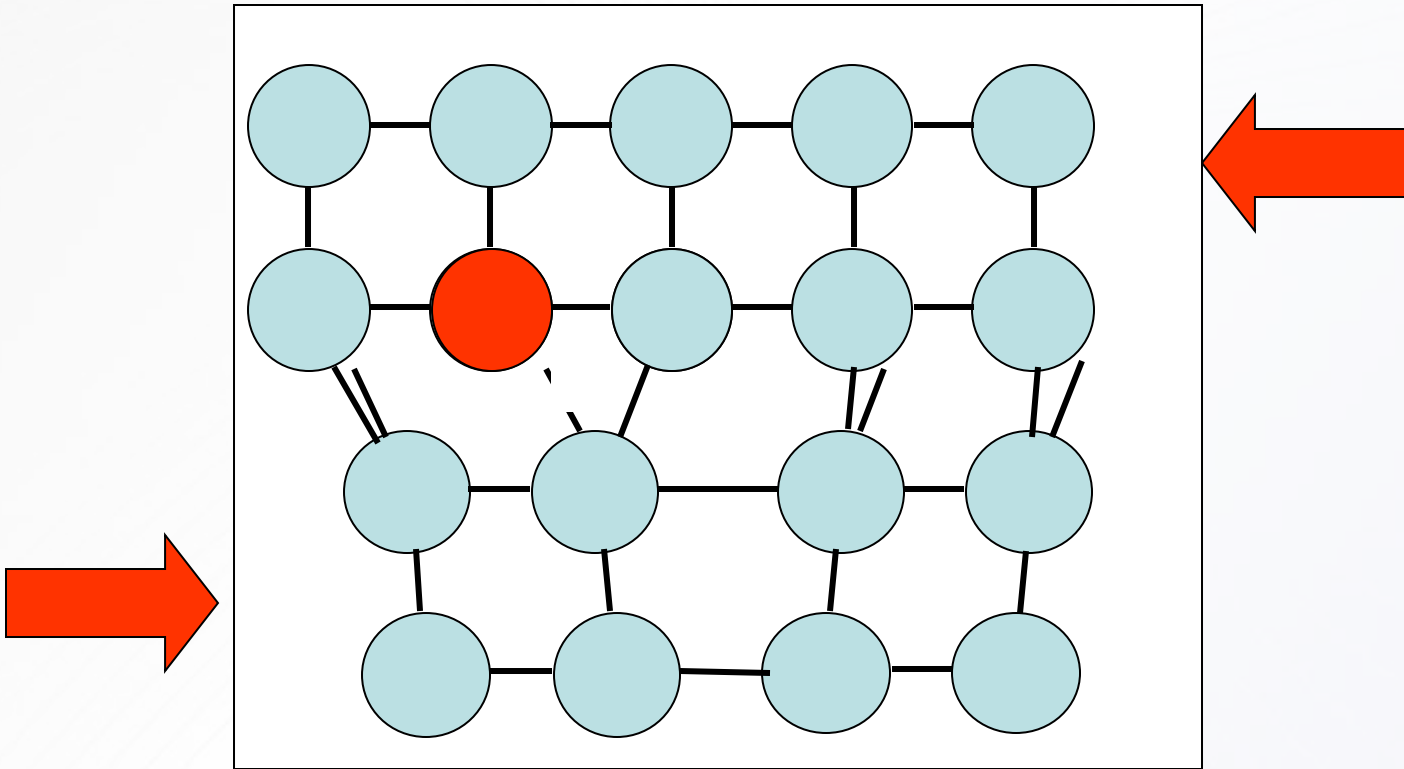
# “glide” edge dislocations



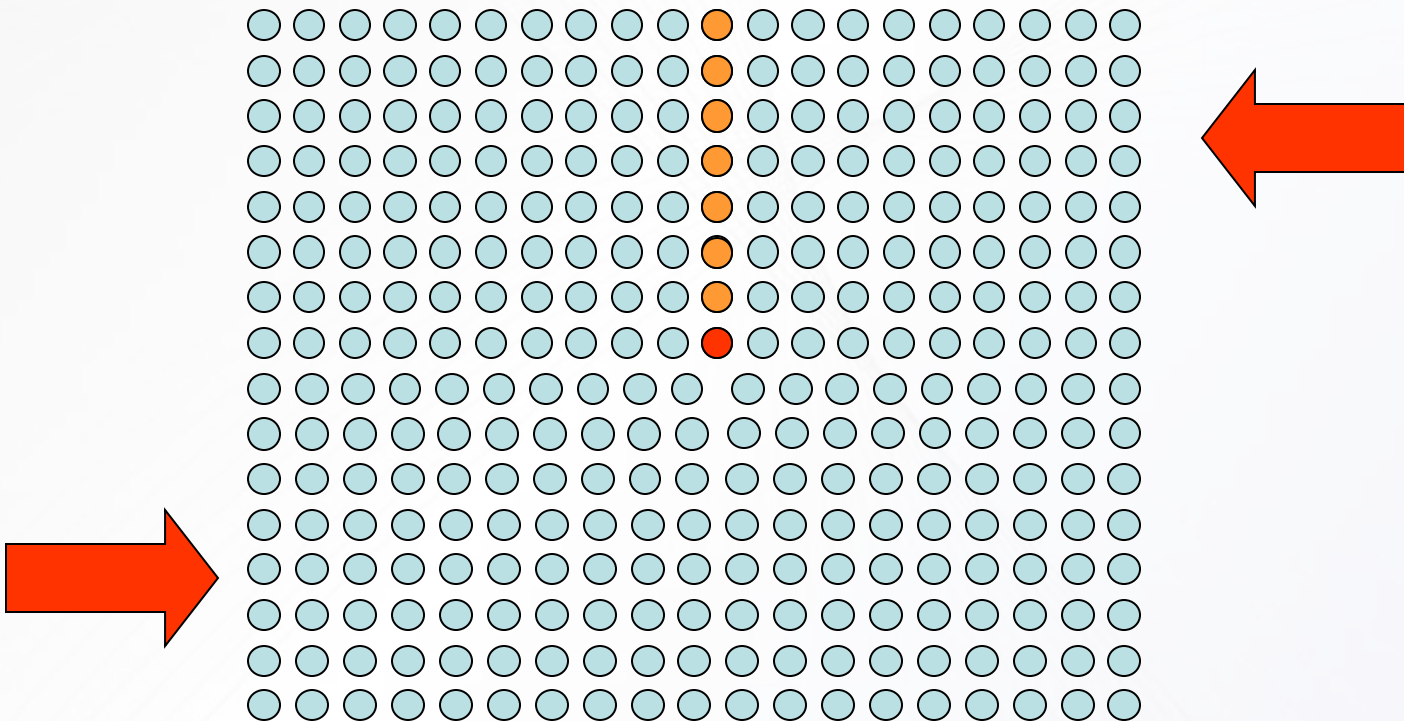
# “glide” edge dislocations



# “glide” edge dislocations

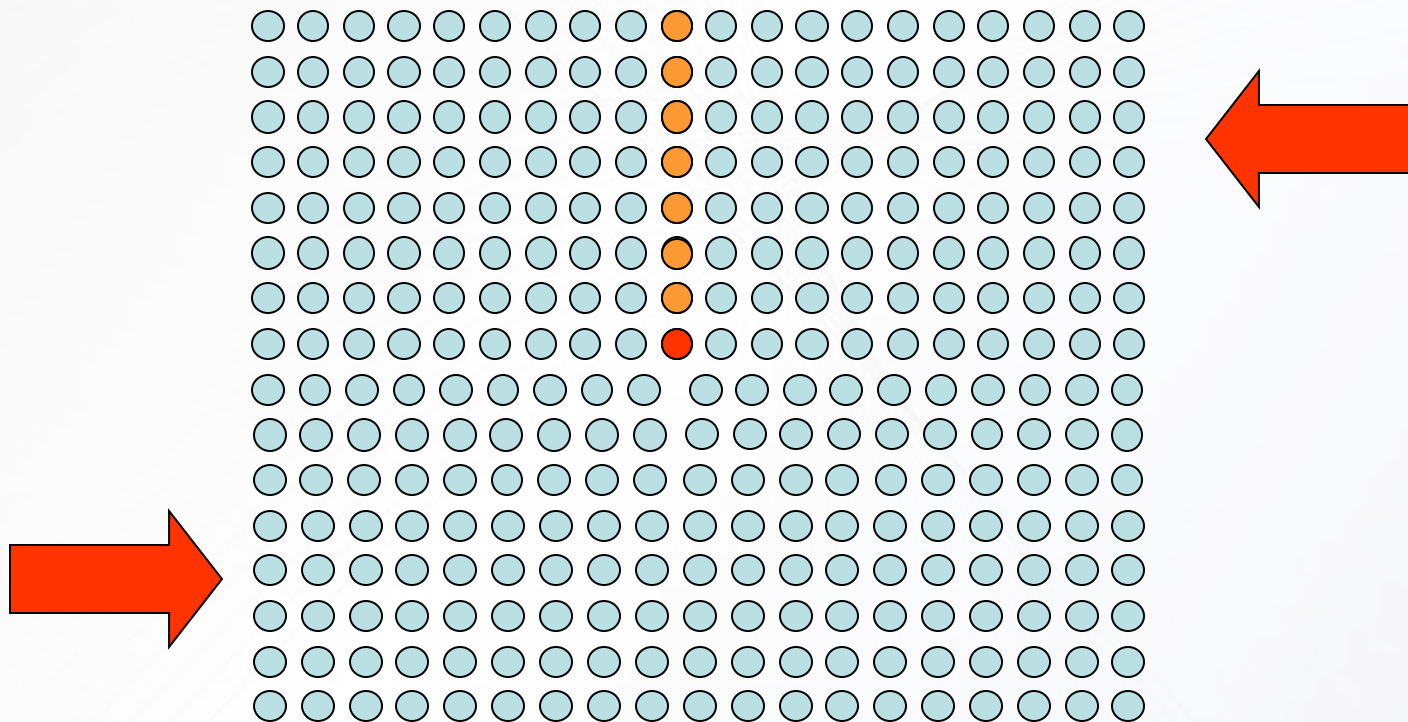


# “glide” edge dislocations

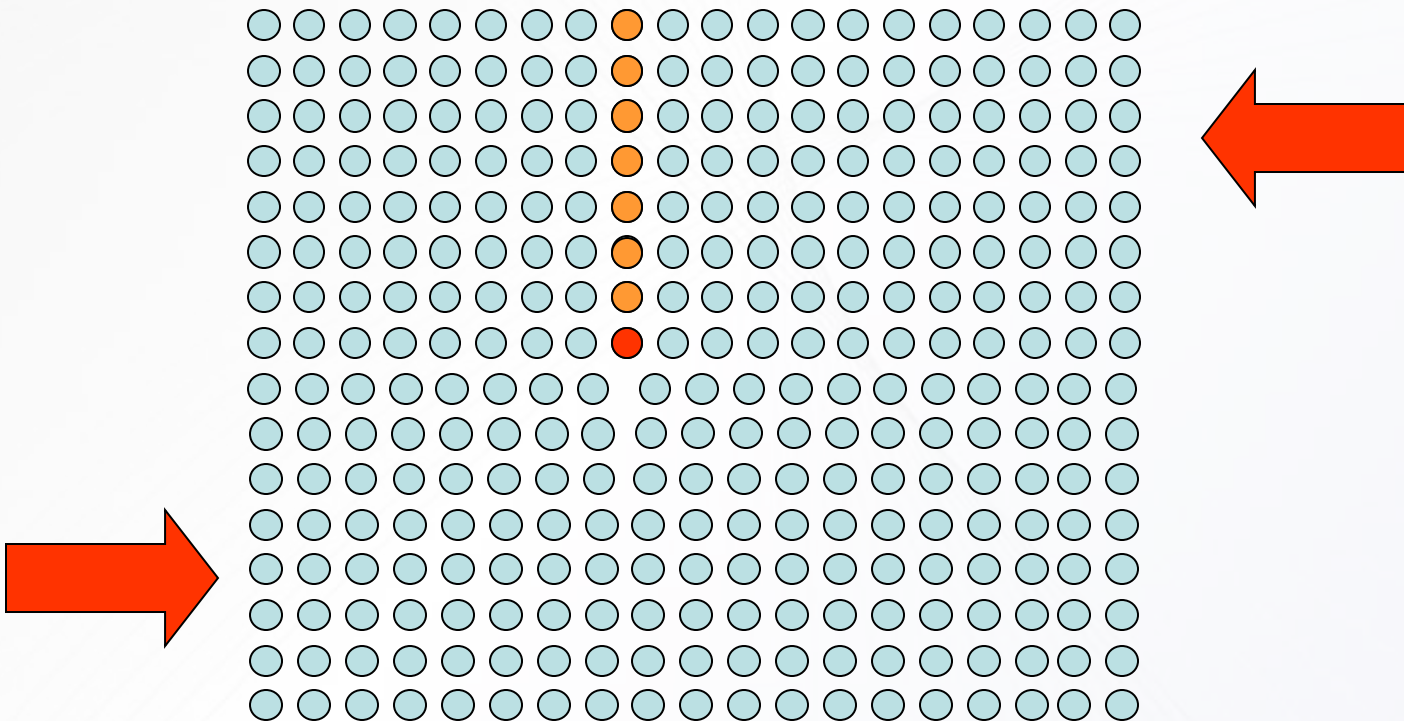




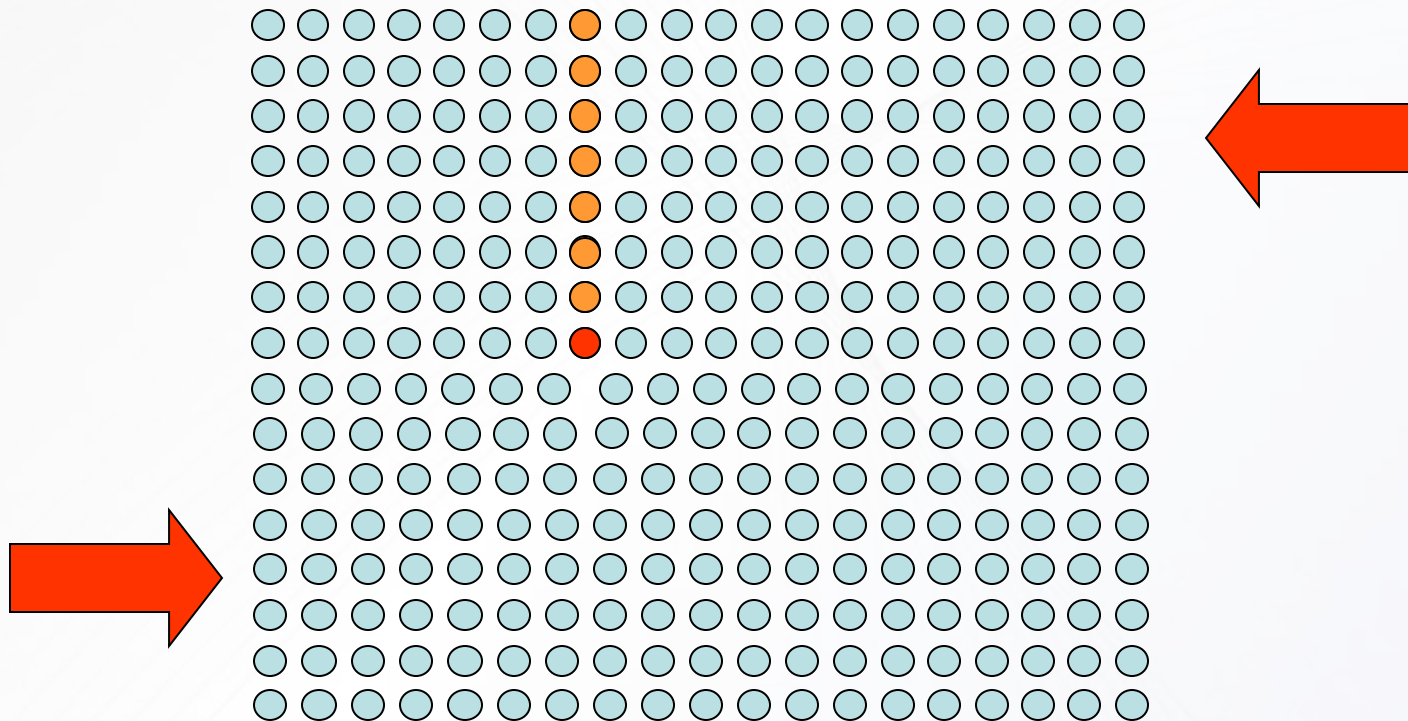
# “glide” edge dislocations



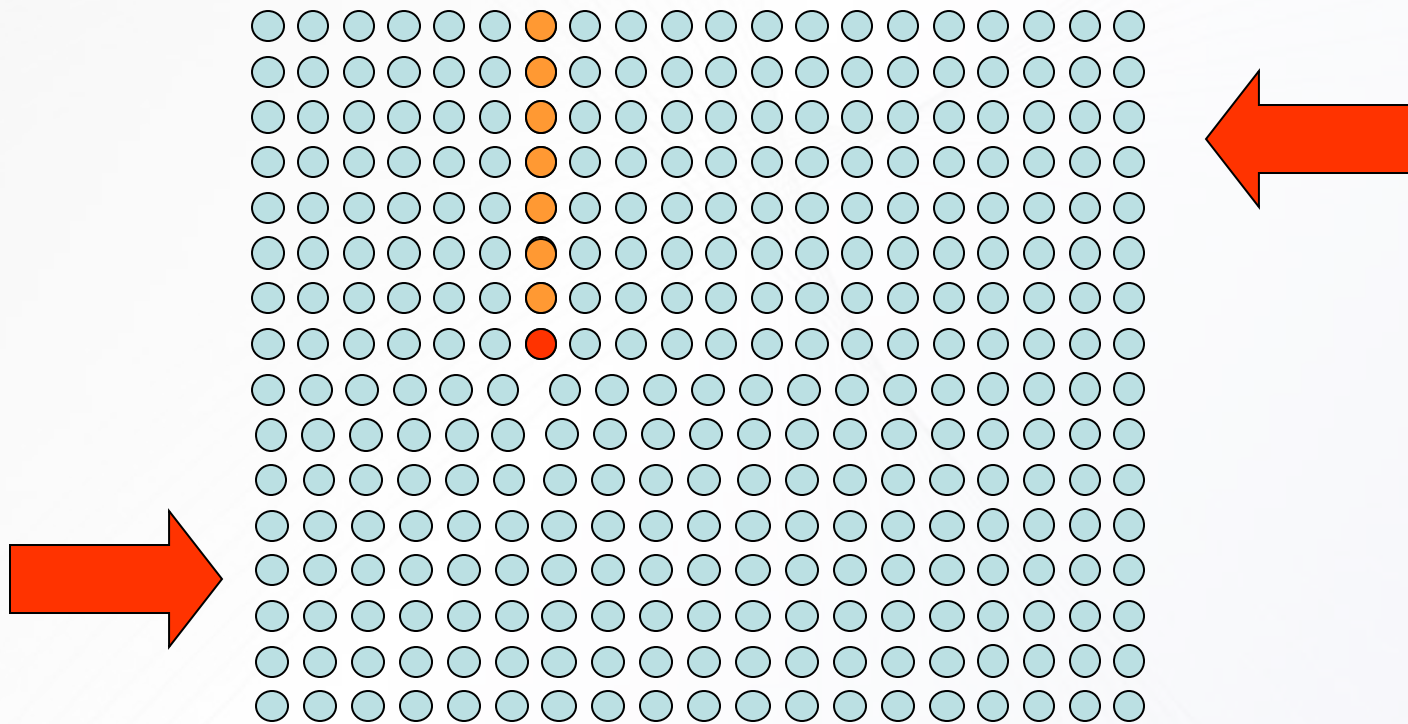
# “glide” edge dislocations



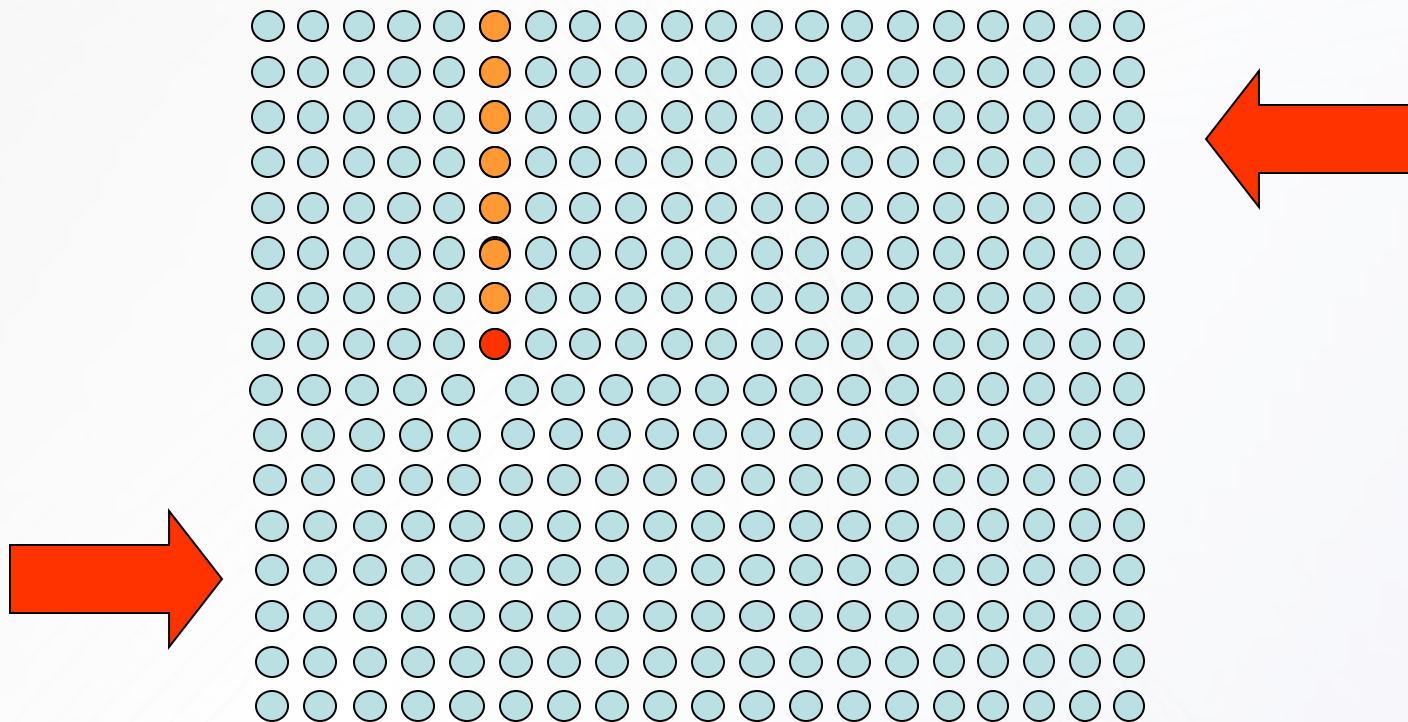
# “glide” edge dislocations



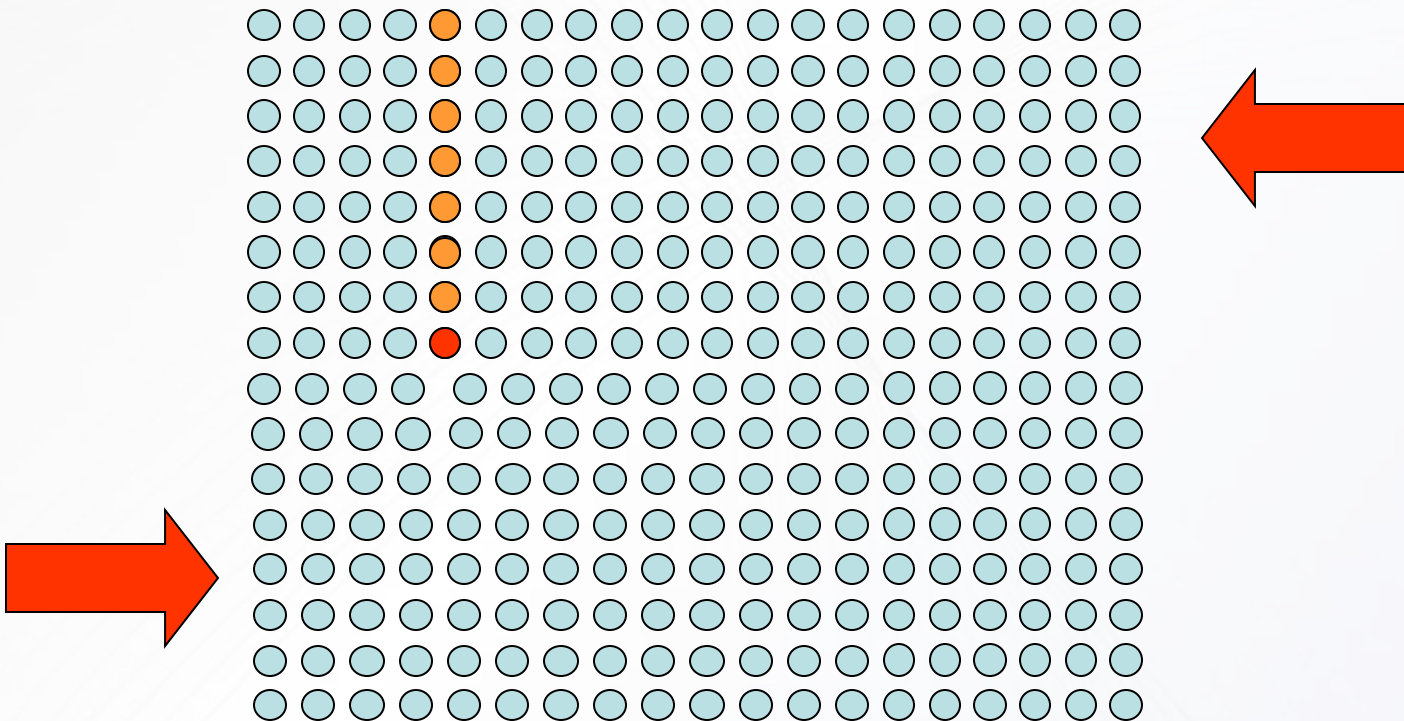
# “glide” edge dislocations



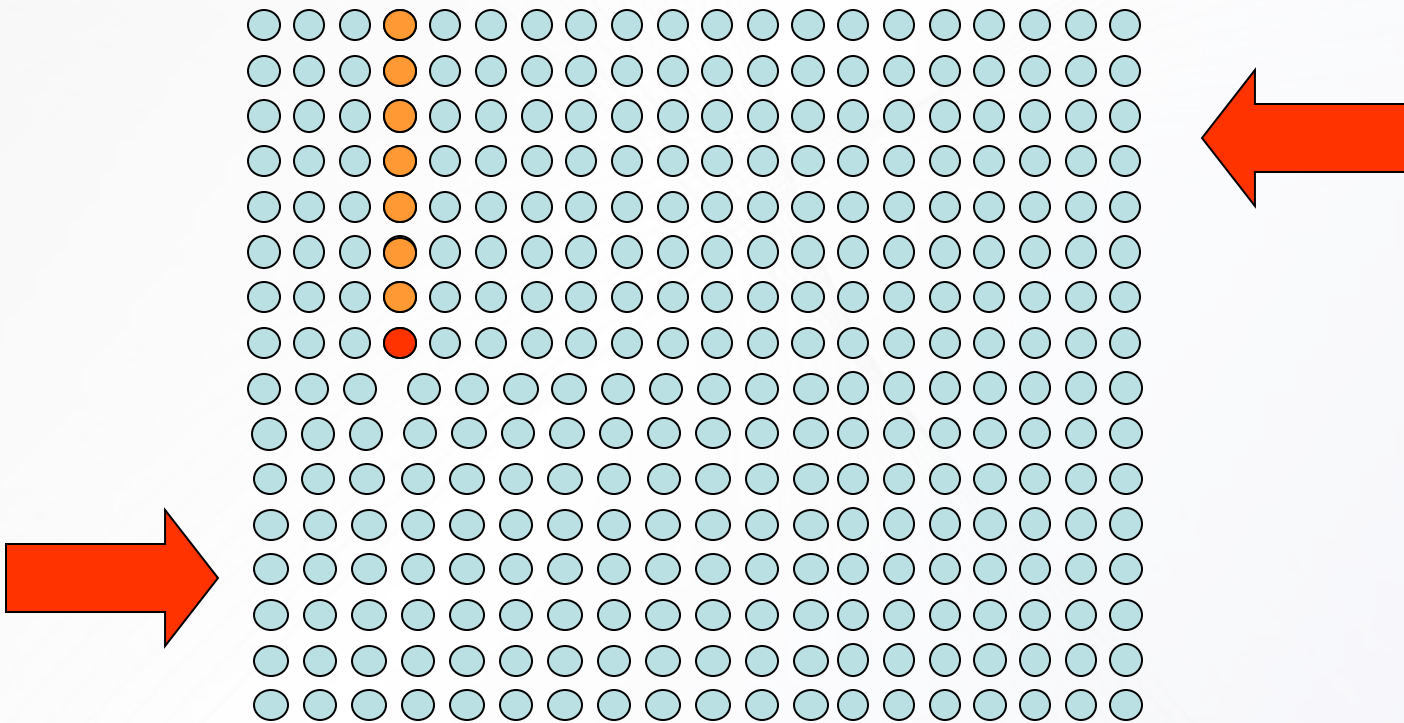
# “glide” edge dislocations



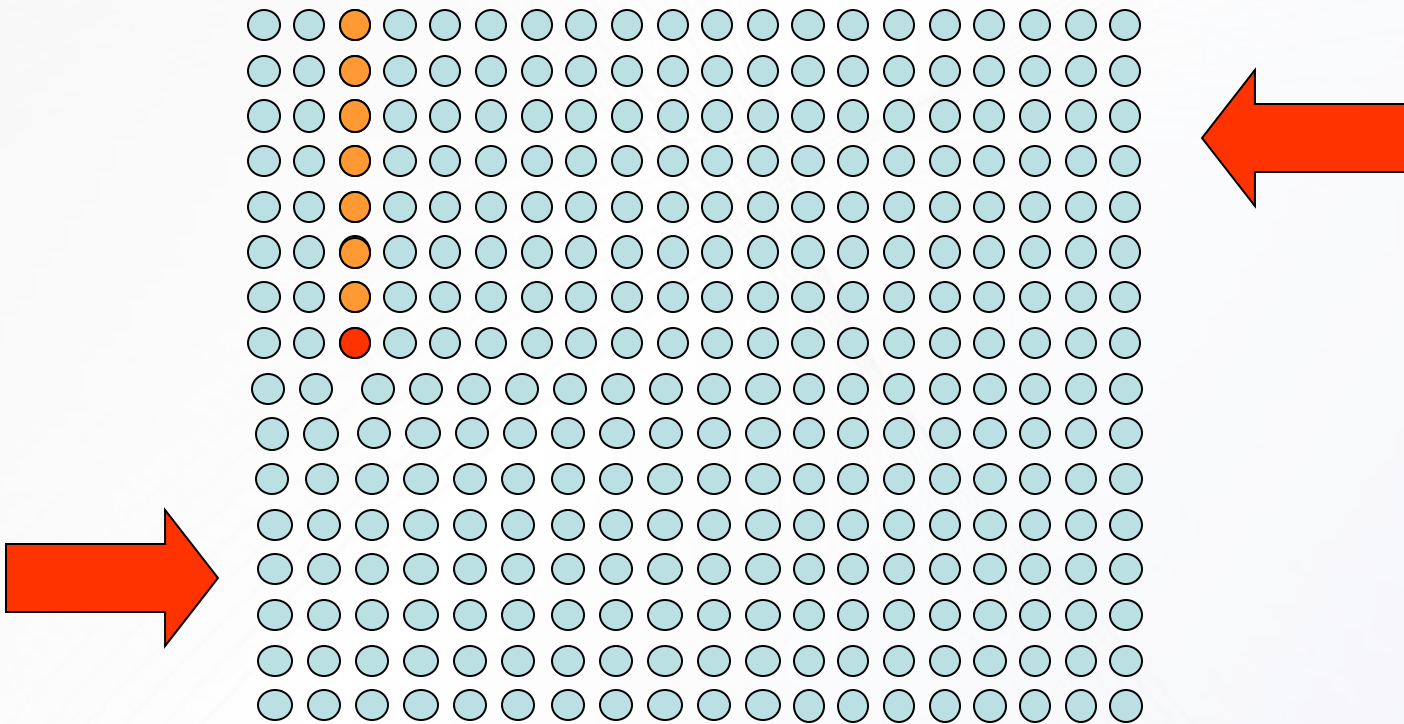
# “glide” edge dislocations



# “glide” edge dislocations

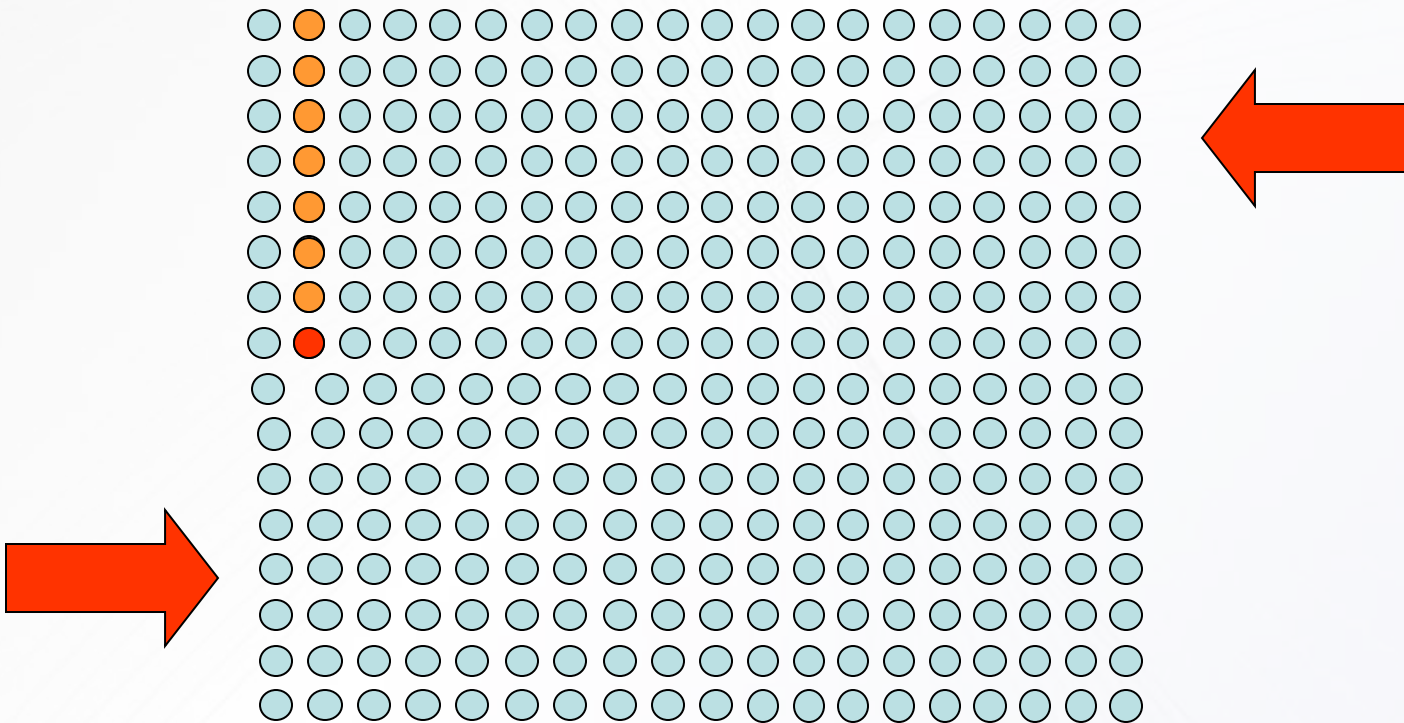


# “glide” edge dislocations

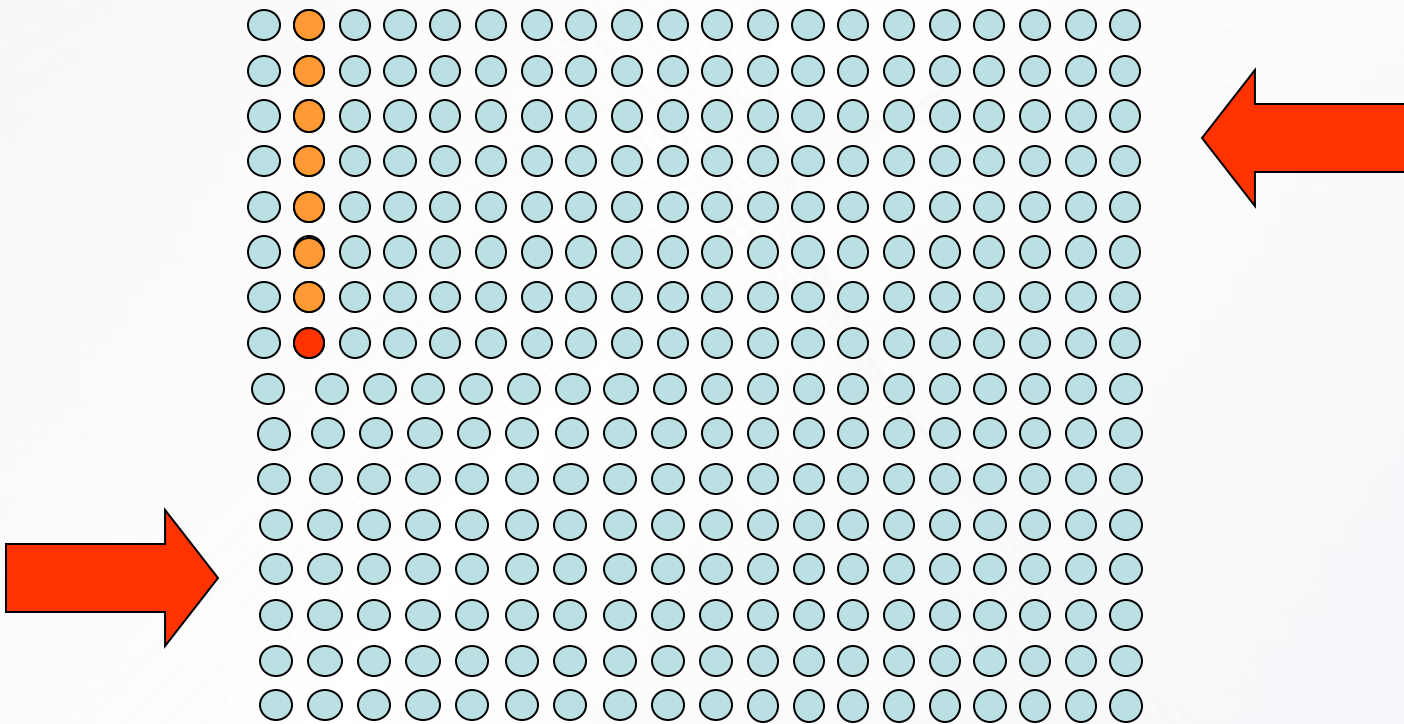




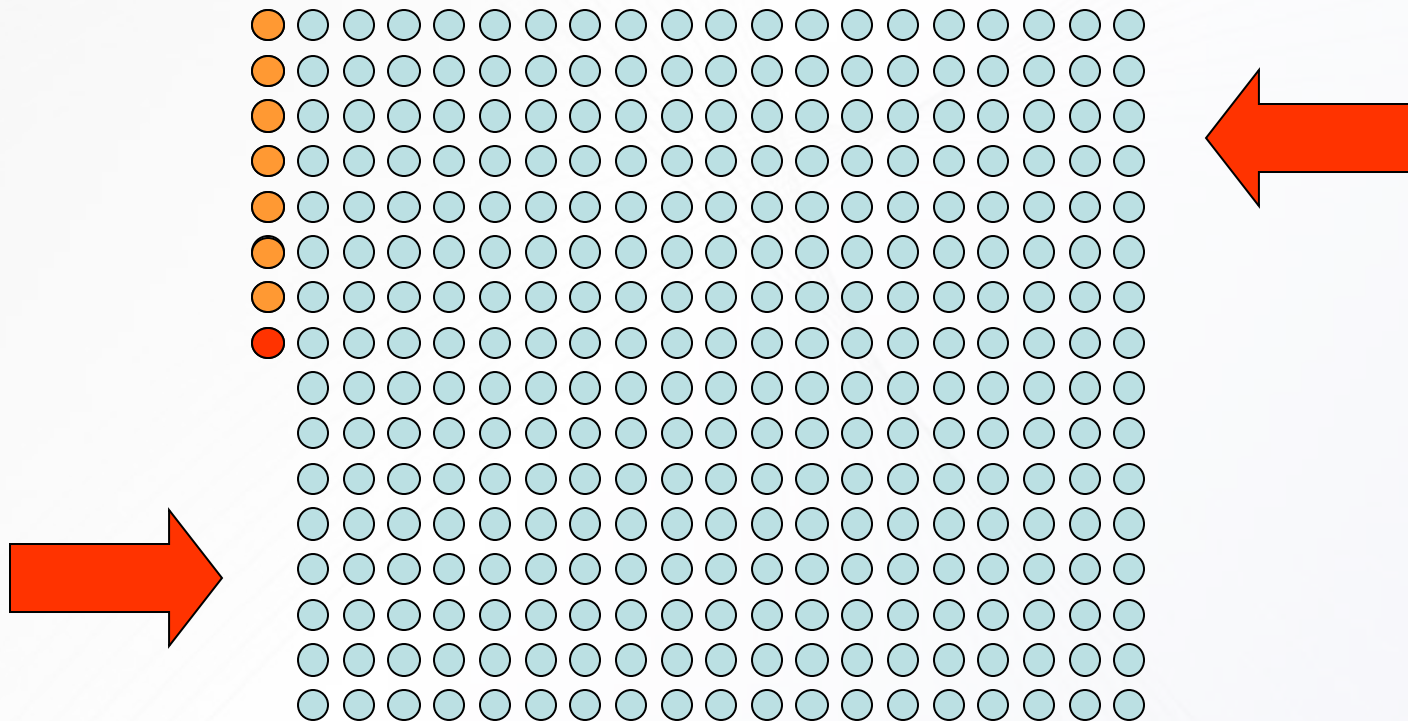
# “glide” edge dislocations



# “glide” edge dislocations

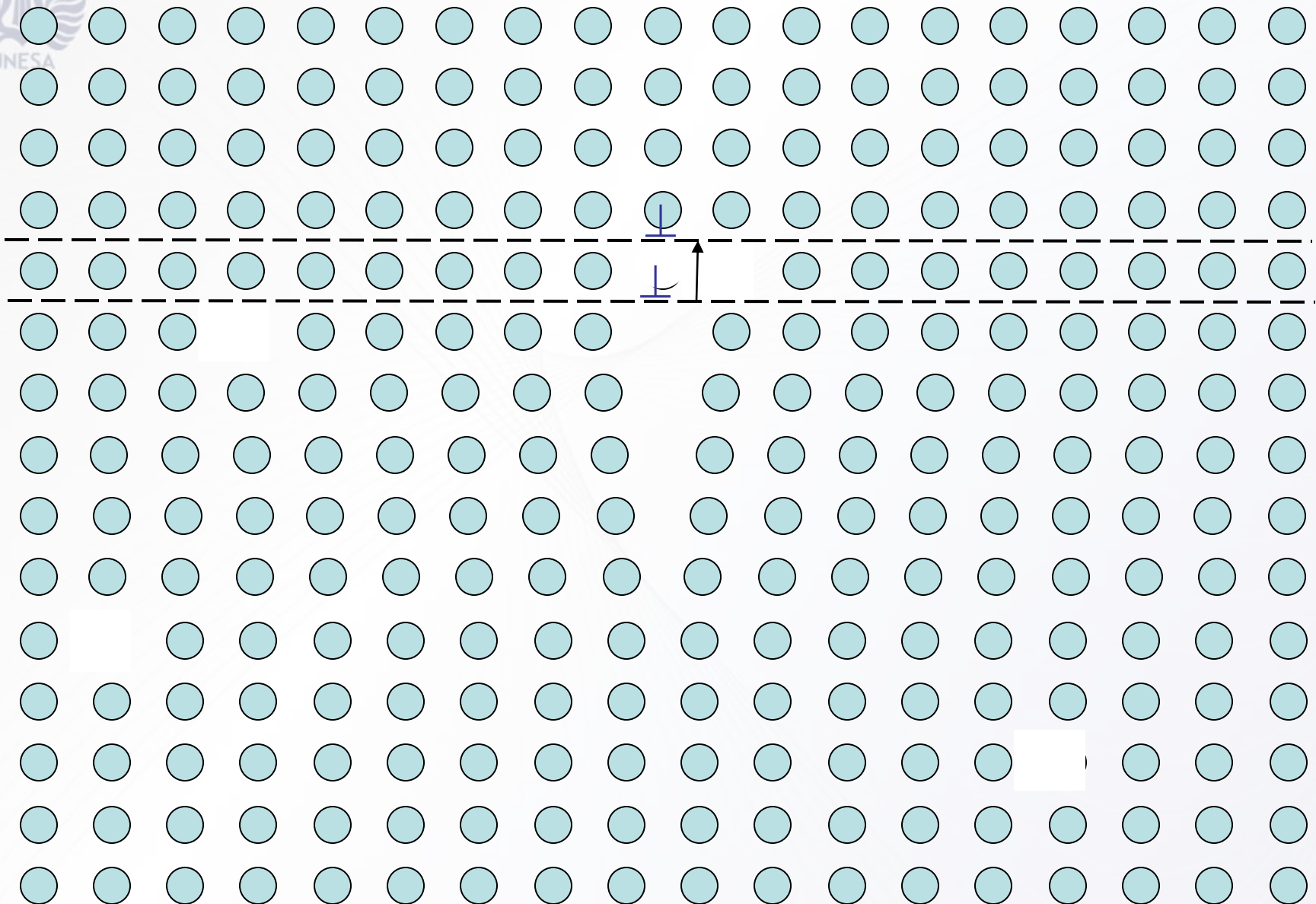


# “glide” edge dislocations



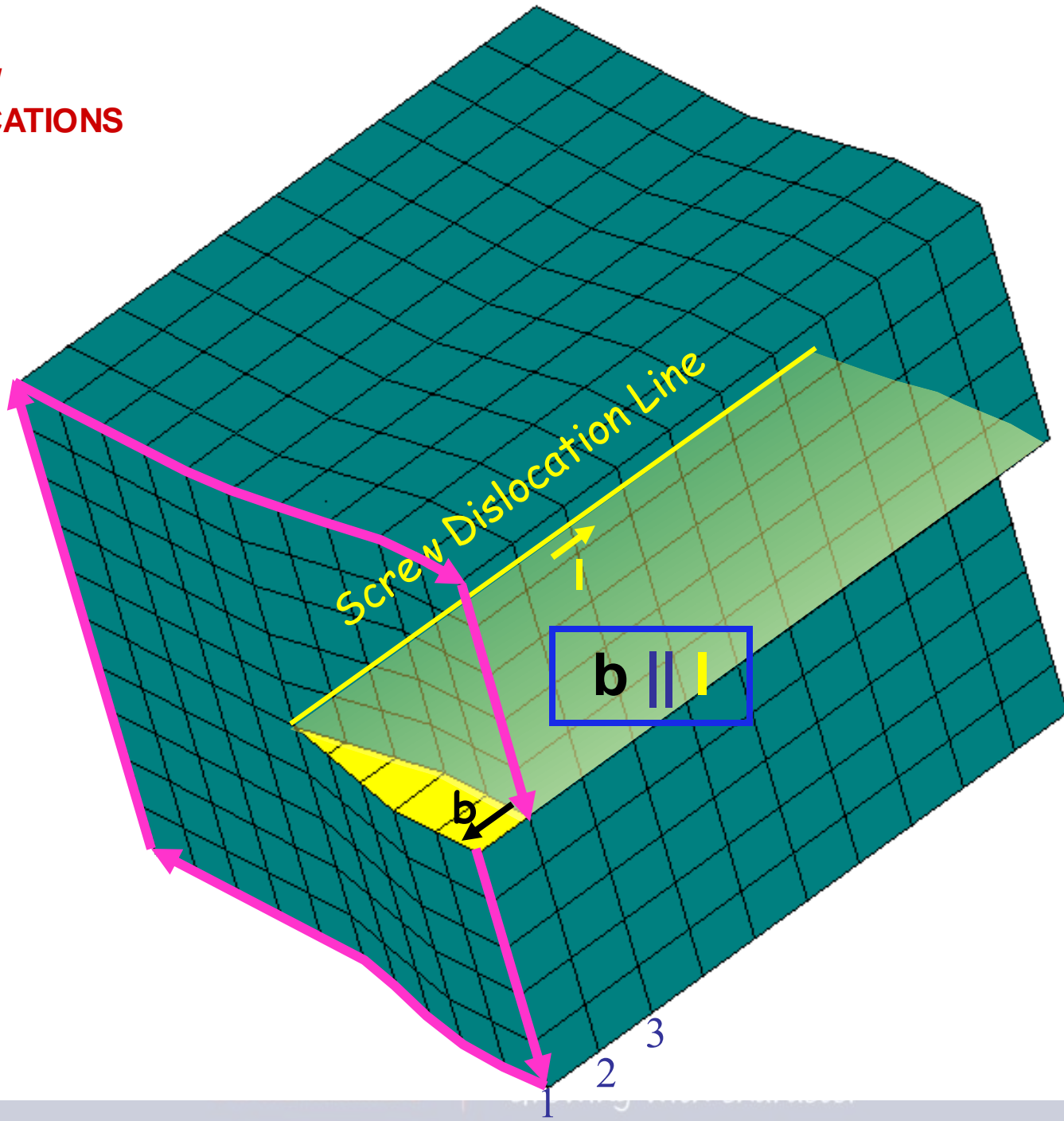


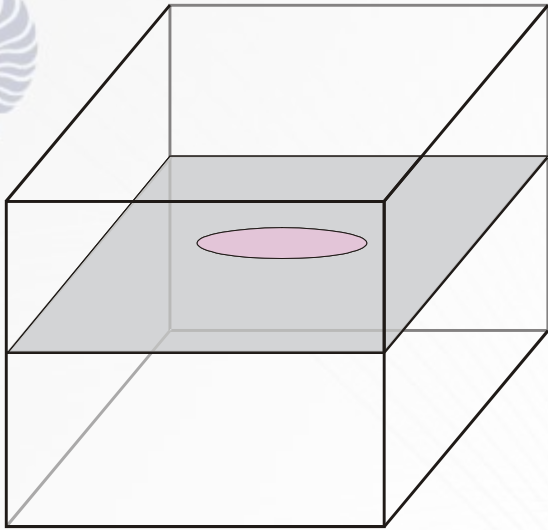
# Atomistic mechanism of climb



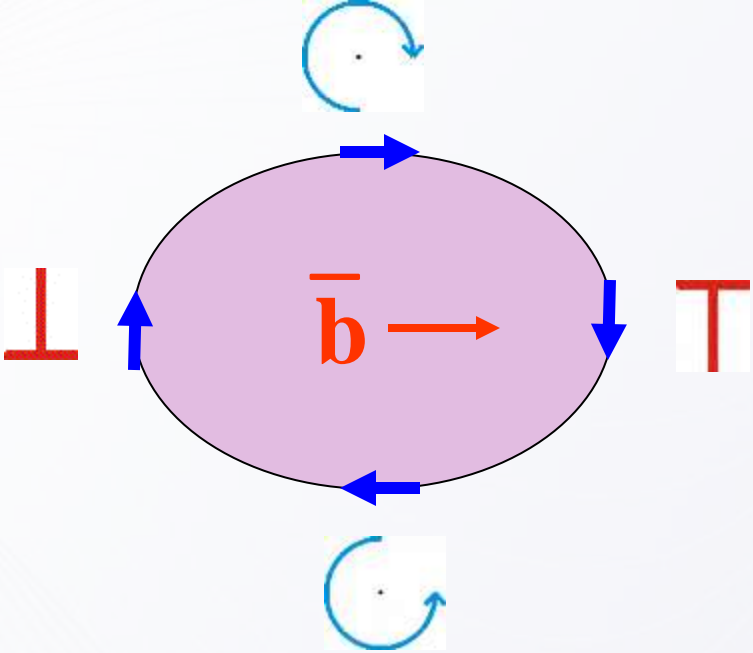
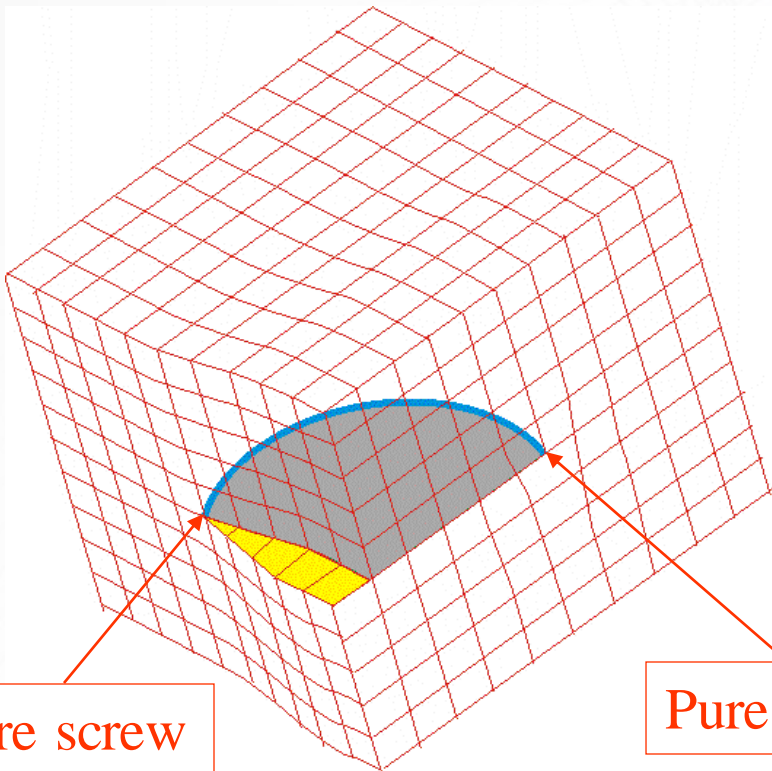
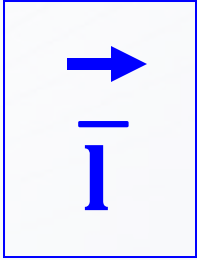
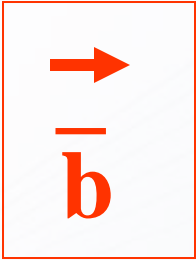


# SCREW DISLOCATIONS





# Mixed dislocations



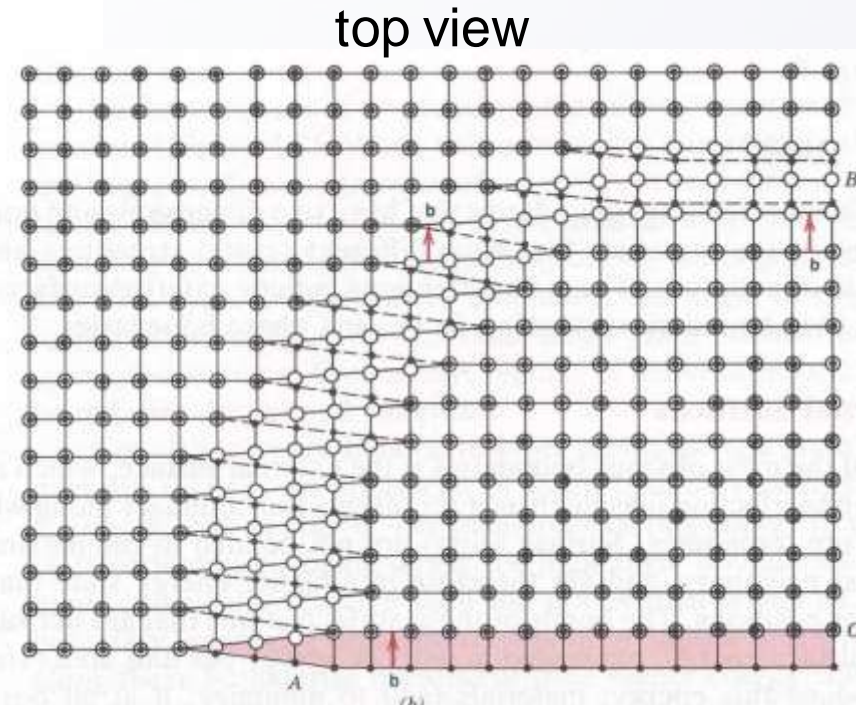
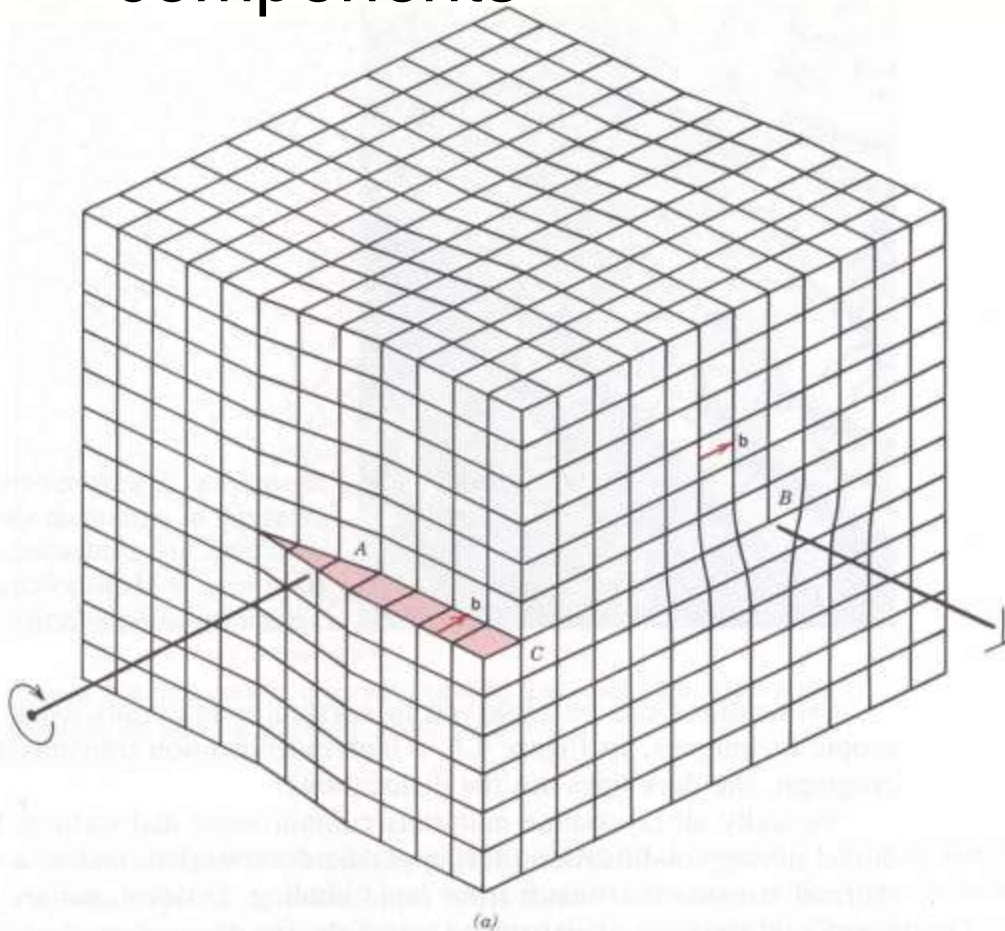
Pure screw

Pure Edge

# Mixed Dislocations

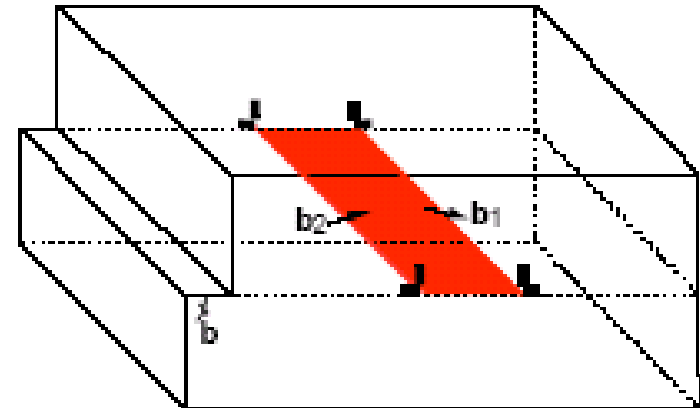
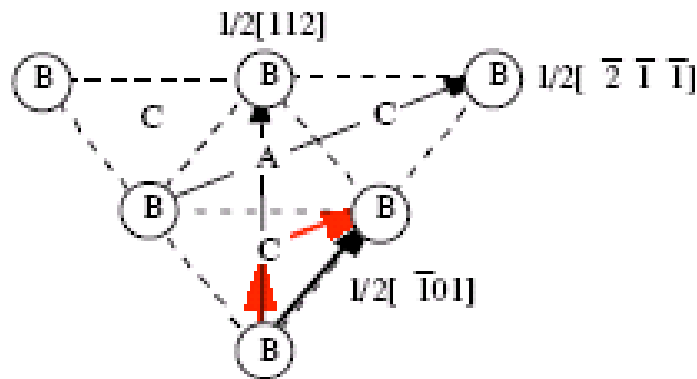
- **Mixed dislocations** have edge & screw components

Orientation of line  
w.r.t. fault vector  $\mathbf{b}$   
varies along dislocation





# PARTIAL DISLOCATIONS



- Sometimes dislocations are split into “partials”
  - Separated by a “stacking fault”
- Common in fcc
  - “Total” dislocation  $B \rightarrow B$
  - Splits into “partial” dislocations  $B \rightarrow C$  and  $C \rightarrow B$
  - Separated by “stacking fault”  $\dots ABCABC\dots \rightarrow \dots A|CABCA\dots$



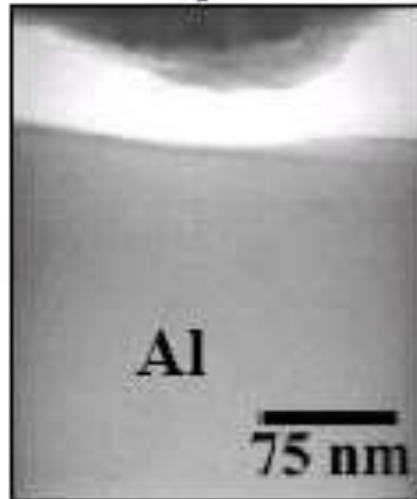
# Dislocations Created on Indenting Al

- Minor, Stach and Morris, *Appl. Phys. Lett.*, 79, 1625-27 (2001)

Diamond Nanoindenter



Before

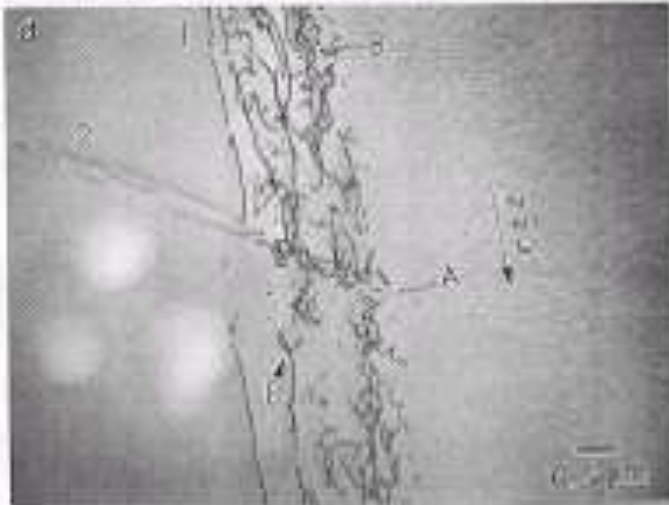


After



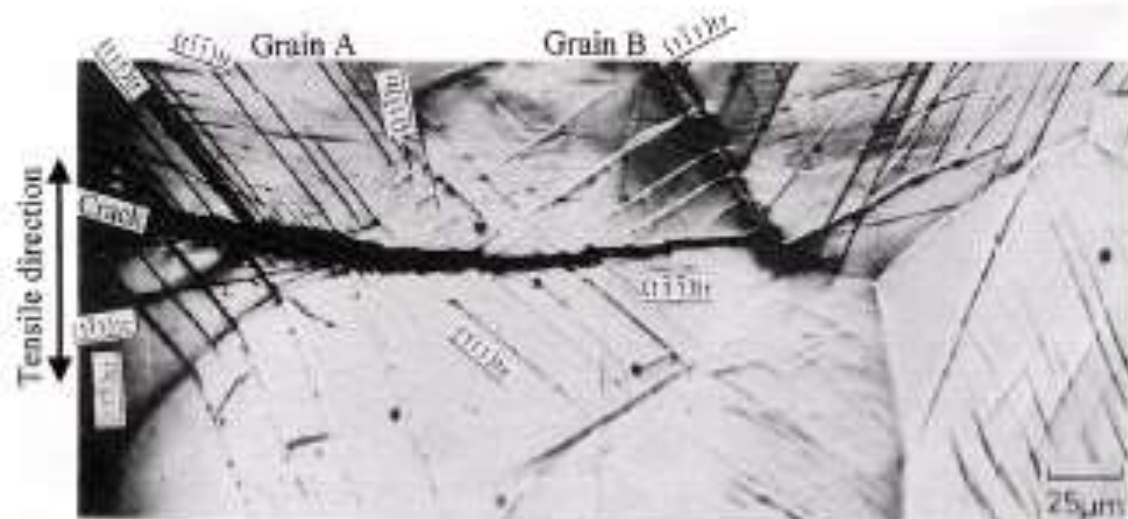
# Dislocations in TiC

- Chien, Ning and Heuer, *Acta Mater.*, 44, 2265 (1996)



# Slip Lines Across Grains in Stainless Steel

- Tomota, et al., *Acta Mater.*, 46, 3099-3108 (1998)





## *Defects*

## *Dimensionality*

## *Examples*

Point

0

Vacancy

Line

1

Dislocation

Surface

2

Free surface,  
Grain boundary

Volume

3

Voids, Inclusions,  
Precipitates

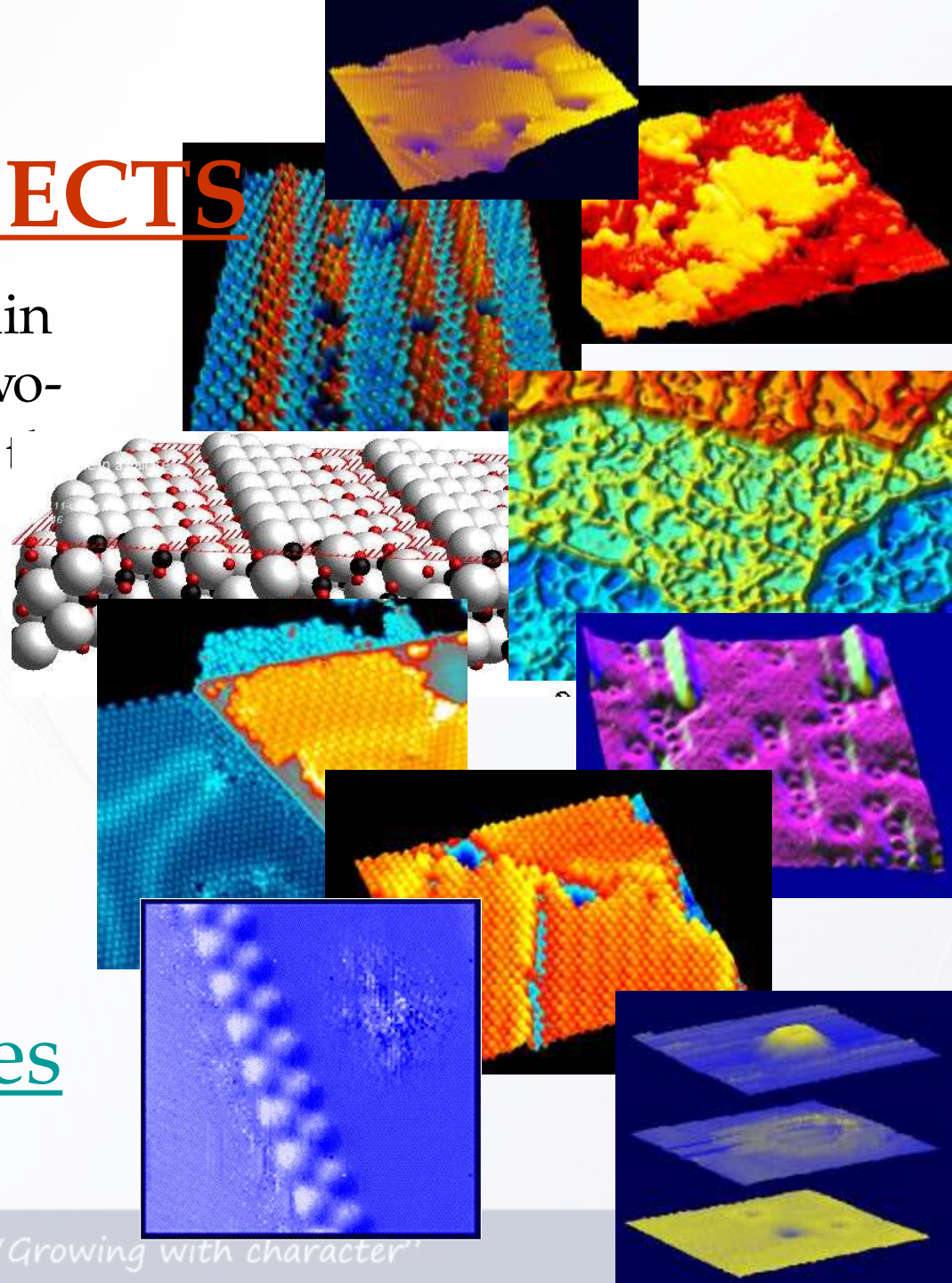


# SURFACE DEFECTS

Imperfections, such as grain boundaries, that form a two-dimensional plane within a crystal.

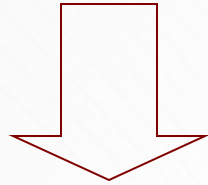
## classifications

- free surface
- twin boundary
- stacking faults
- grain boundaries





# VOLUME DEFECTS



Three-dimensional defects in solids

Volume defects play an important role in corrosion mechanisms

Always involve a second phase

- Porosity (solid – vapor)
- Inclusions (solid – solid)
- Precipitates (solid – solid)
- Cracks (solid – vapor)

- voids
- inclusions
- precipitates



## External

Free surface

## Internal

Grain boundary

Stacking fault

*Same  
phase*

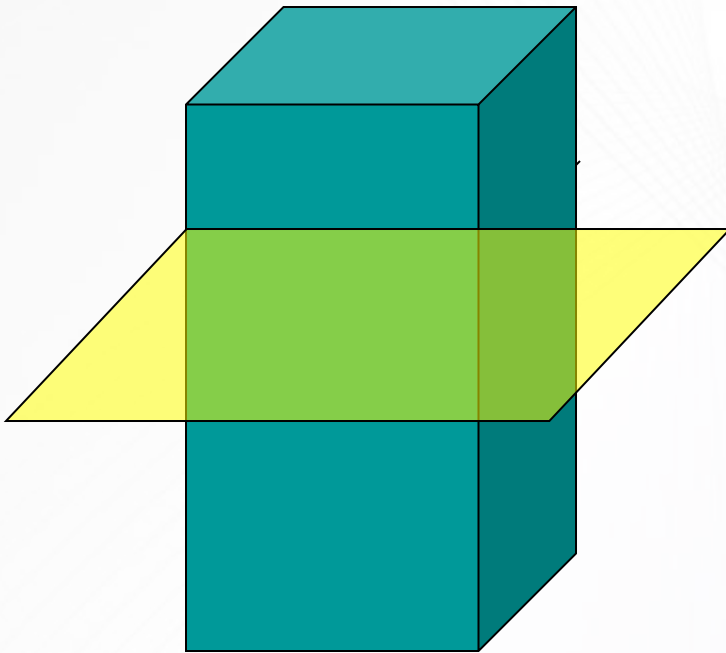
Twin boundary

Interphase boundary

*Different  
phases*

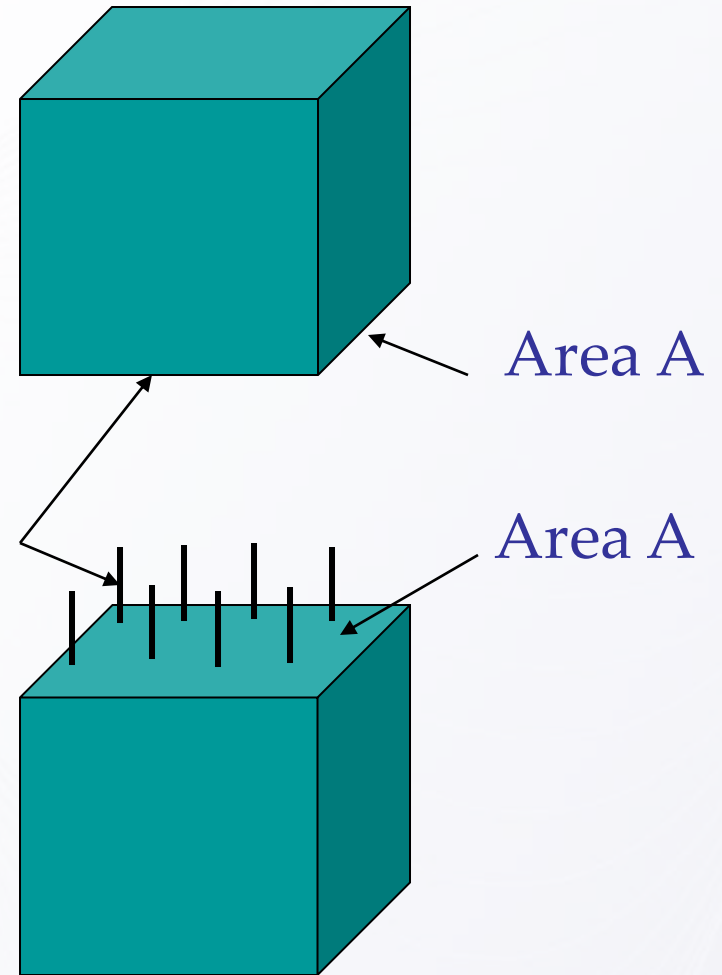
# free surface

Surface grooving where grain boundaries intersect free surfaces leads to surface roughness, possibly break-up of thin films



If bond are broken over an area  $A$   
then two free surfaces of a total  
area  $2A$  is created

Broken  
bonds







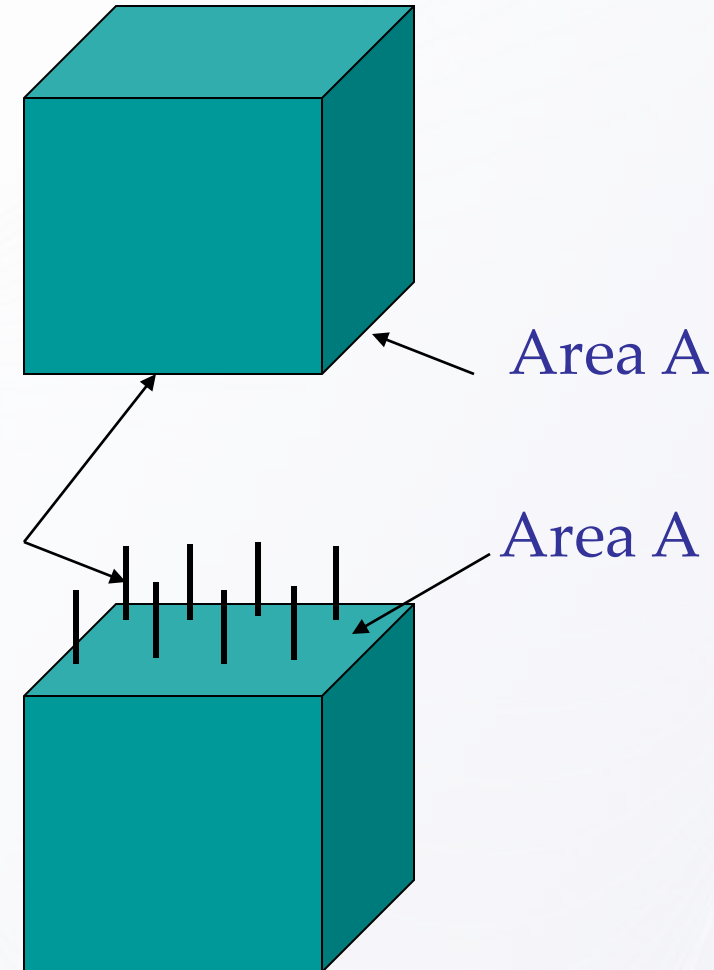
$n_A$  = no. of surface atoms per unit area

$n_B$  = no. of broken bonds per surface atom

$\epsilon$  = bond energy per atom

$$\gamma = \frac{1}{2} n_A n_B \epsilon$$

Surface energy per unit area

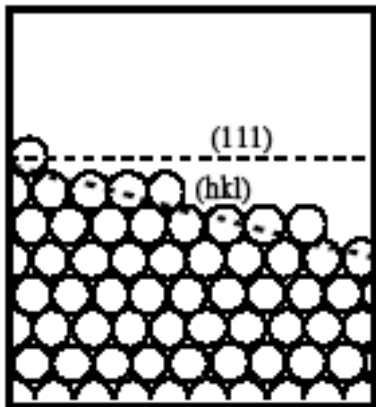


If bond are broken over an area A then two free surfaces of a total area 2A is created

# Surface energy is anisotropic

Surface energy depends on the orientation, i.e., the Miller indices of the free surface

$n_A, n_B$  are different for different surfaces

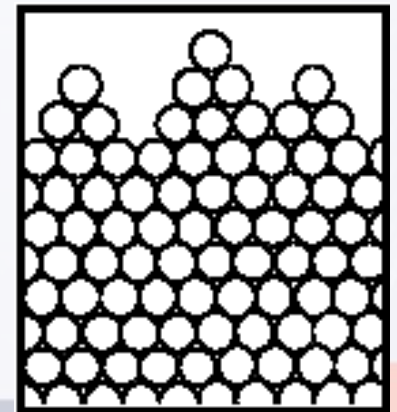


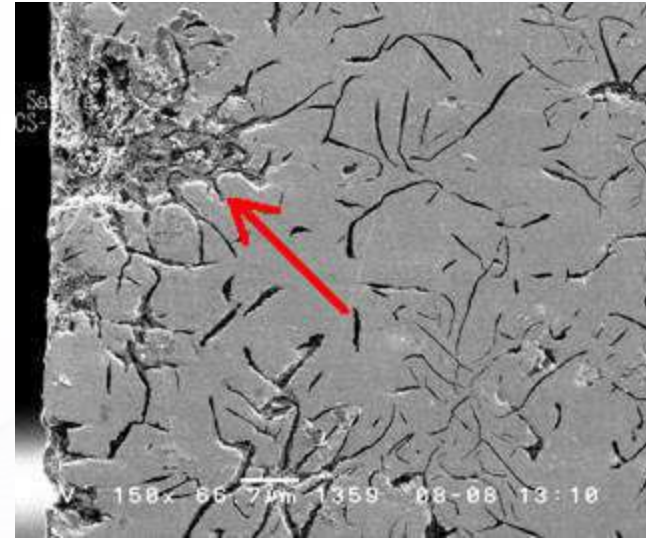
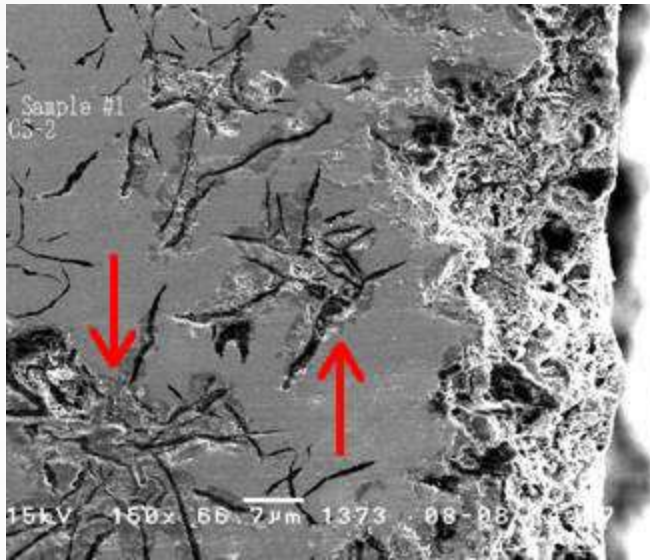
## Free Surfaces of Metals

Surface tension ( $\sigma$ ) lowest for low-index planes

## Diffuse Interface

At high T, metal surfaces tend to be rough, diffuse





*free surface*



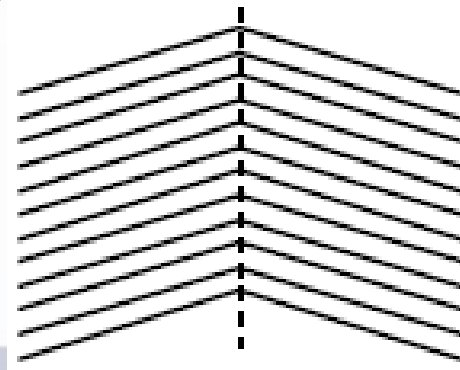
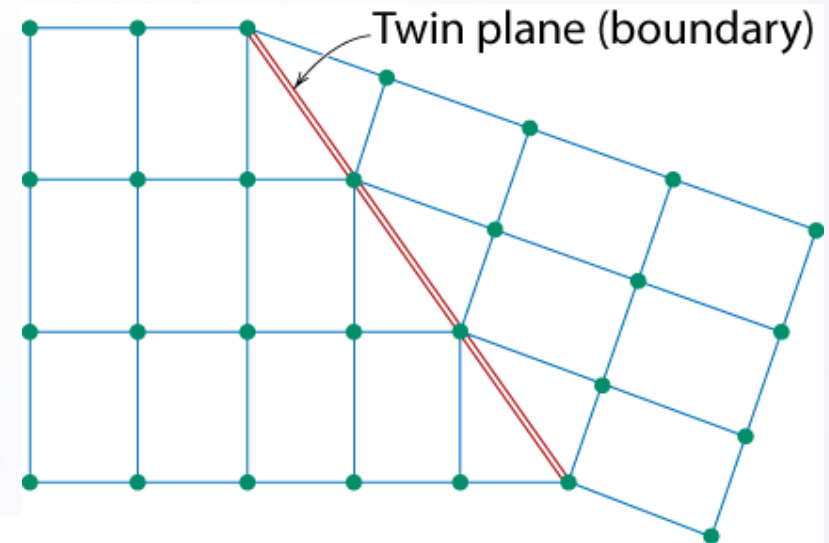
# twin boundary (plane)

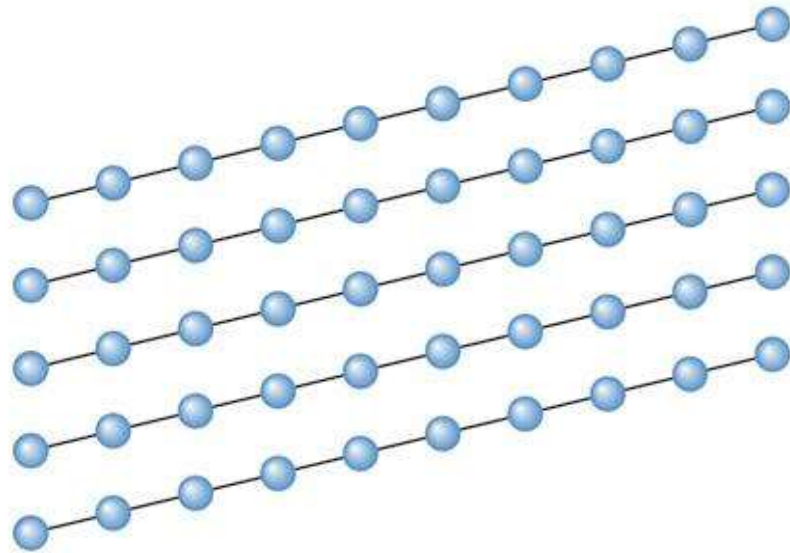
Essentially a reflection of atom positions across the **twin plane**

Twining is very common in minerals (result of phase transition during cooling)

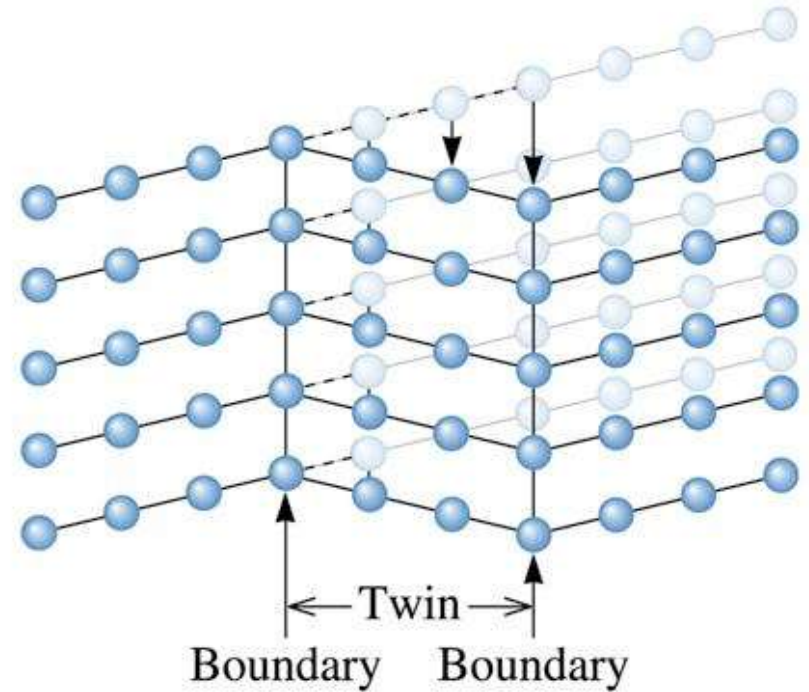
Twinning is an important deformation mechanism

Sn, Mg, high-N austenitic (FCC) steel, Cu at low T



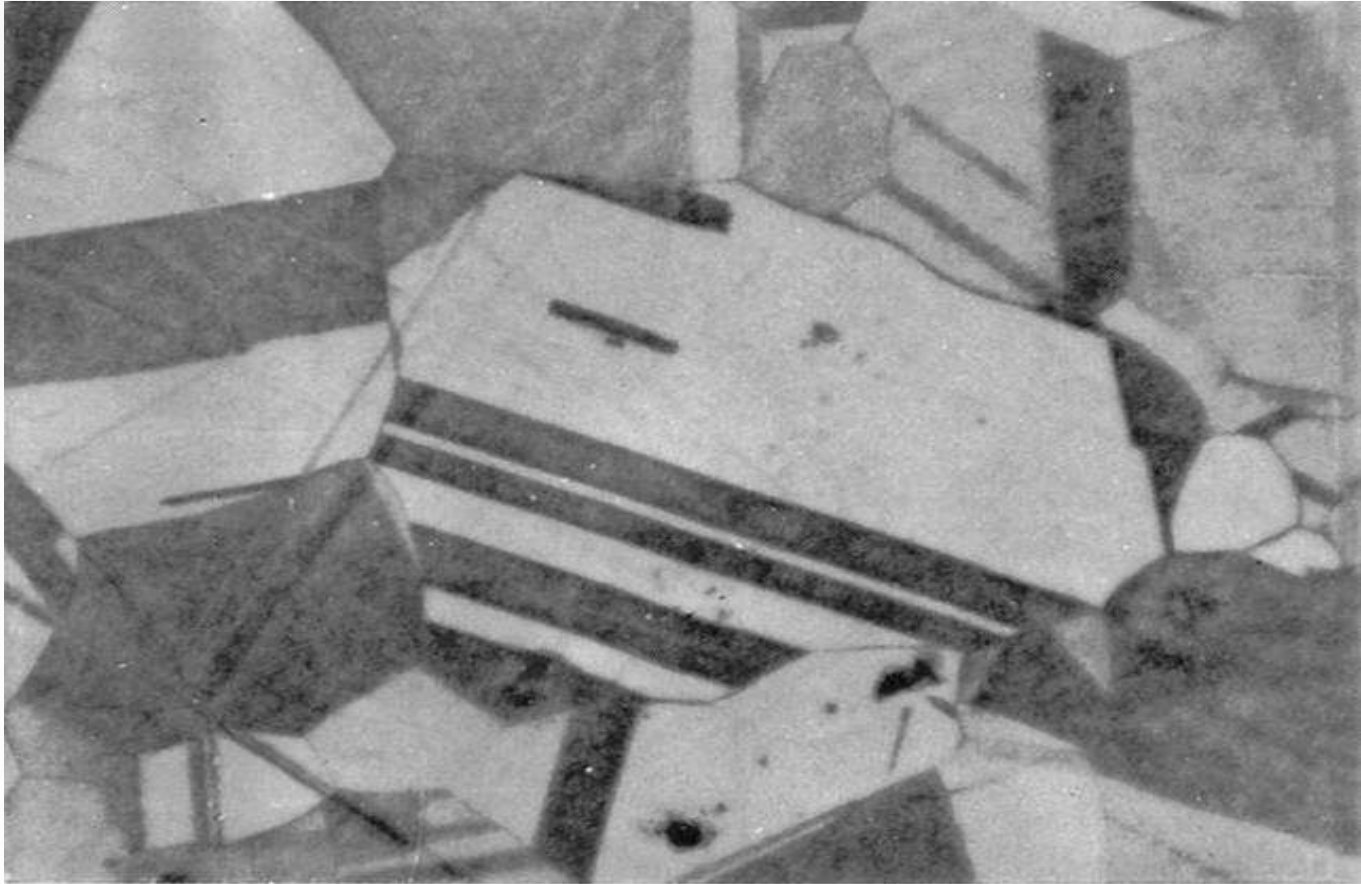


(a)



(b)

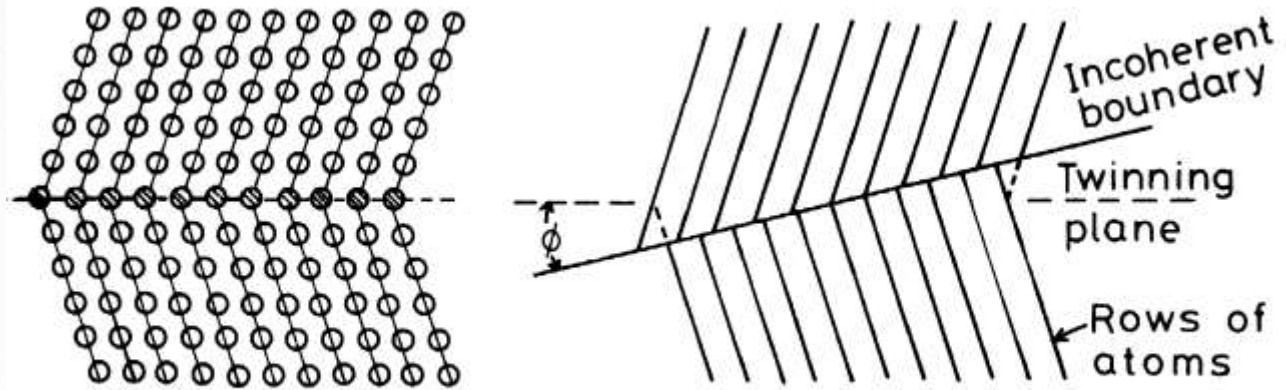
Formation of twin (b) may be caused by application of stress to the perfect crystal (a)



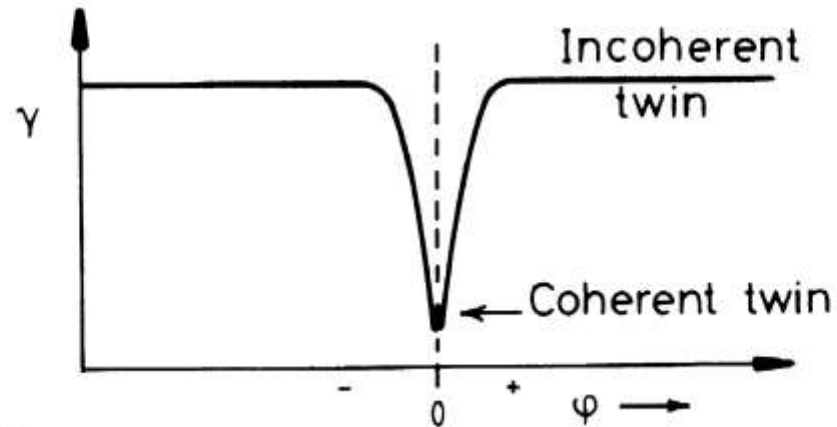
(c)

*Figure (c) : A micrograph of twins within a grain of brass (x250)*

# Twin: coherent vs. incoherent



(b)



(c)

(Porter & Easterling - fig.3.12/p123)

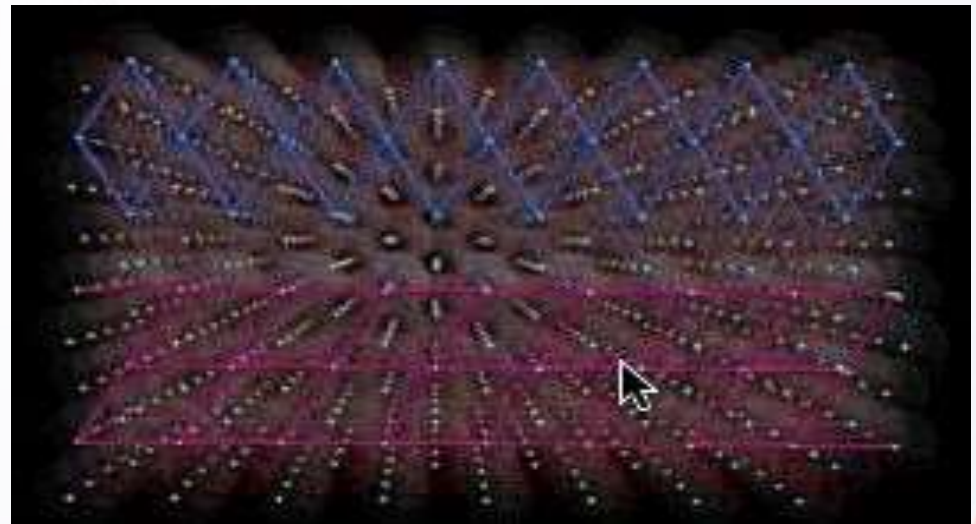


# stacking faults

- Stack close-packed planes in wrong sequences  
Create extra or missing plane inside the crystal

It may occur during

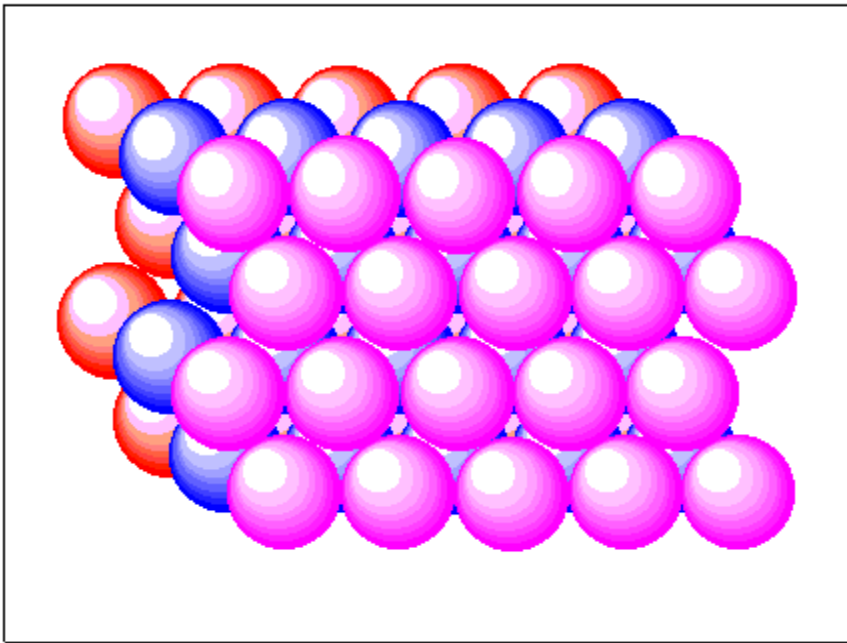
- (1) crystallization from the melt or solid state,
- (2) solid state processes or recrystallization, phase transition, and crystal growth, and
- (3) deformations.



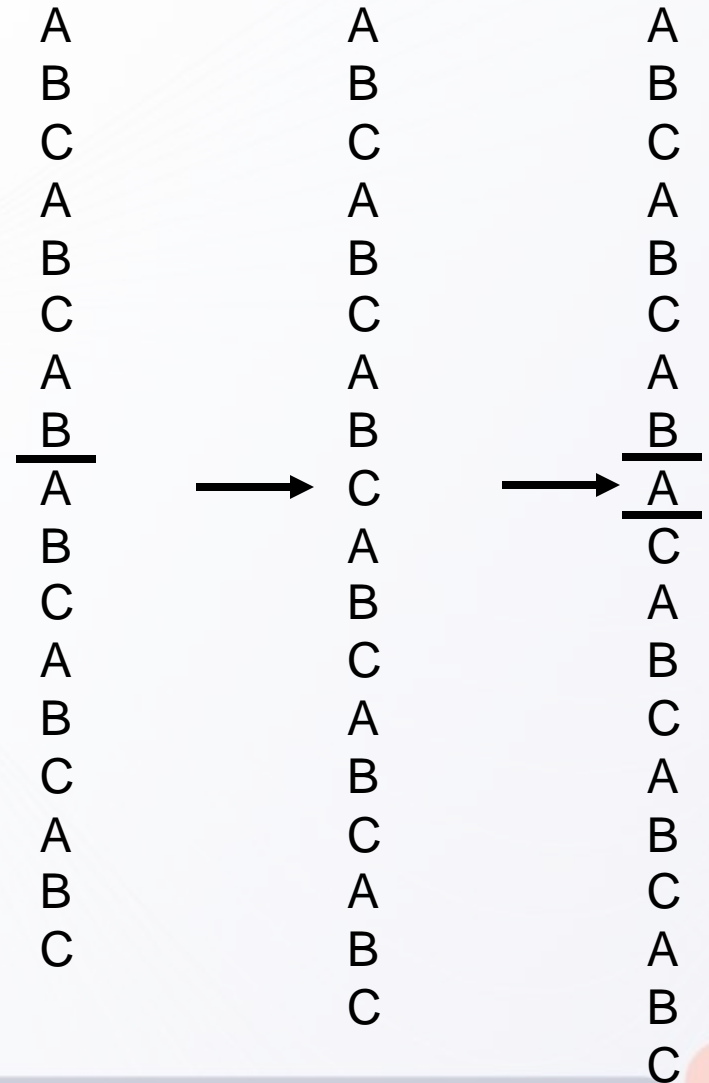


– For FCC metals an error in ABCABC packing sequence

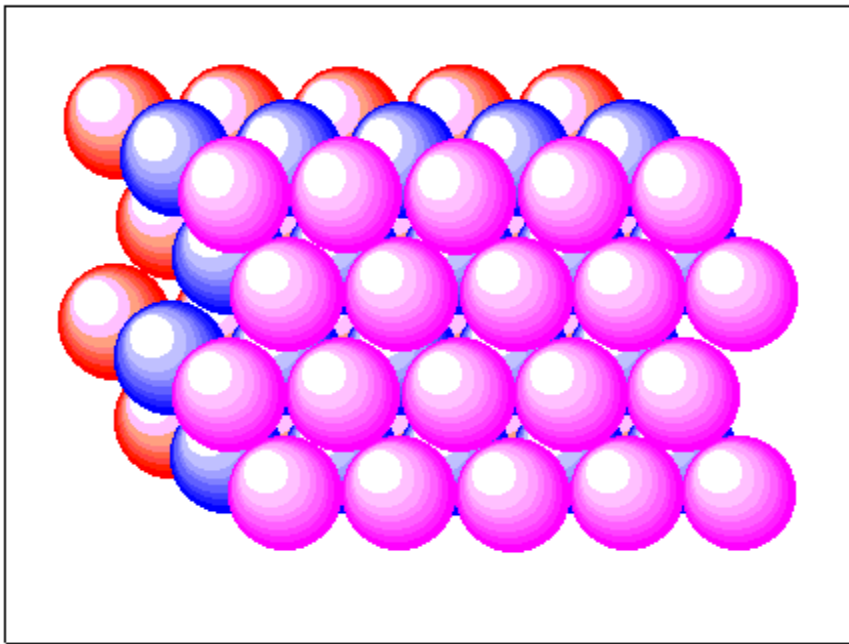
- Intrinsic : Remove a plane (C)
- Extrinsic : Insert an extra plane (A)



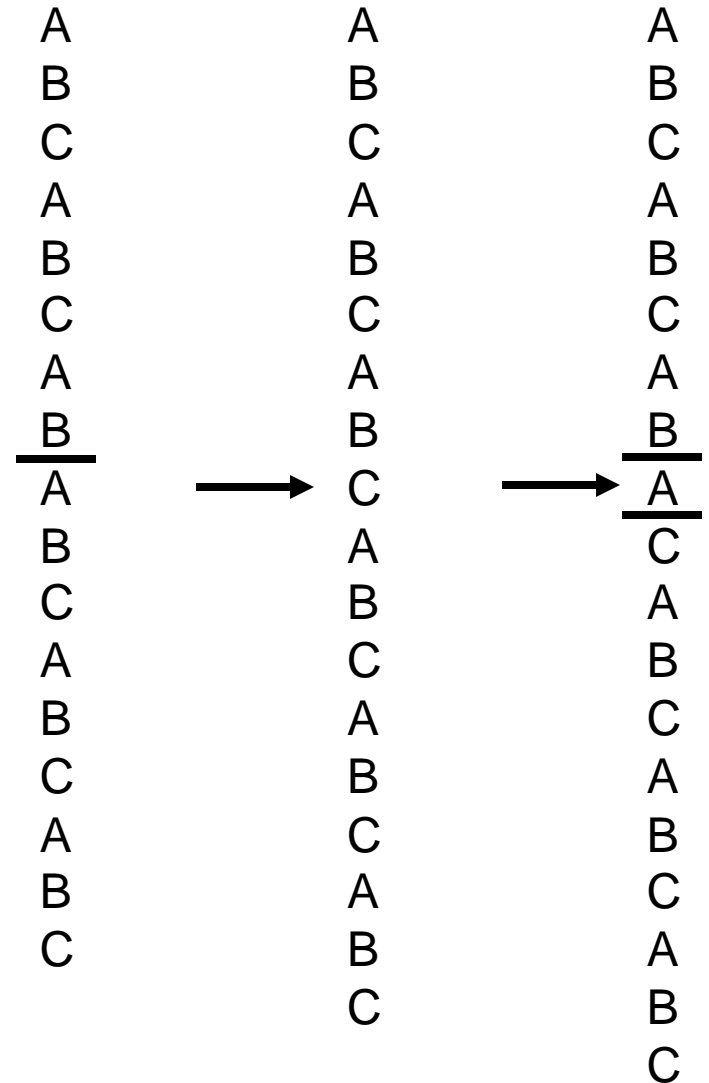
**ABCABCABC**



- Intrinsik : menghilangkan bidang C
- Extrinsik : Memasukkan bidang tambahan A
- Kristal sempurna

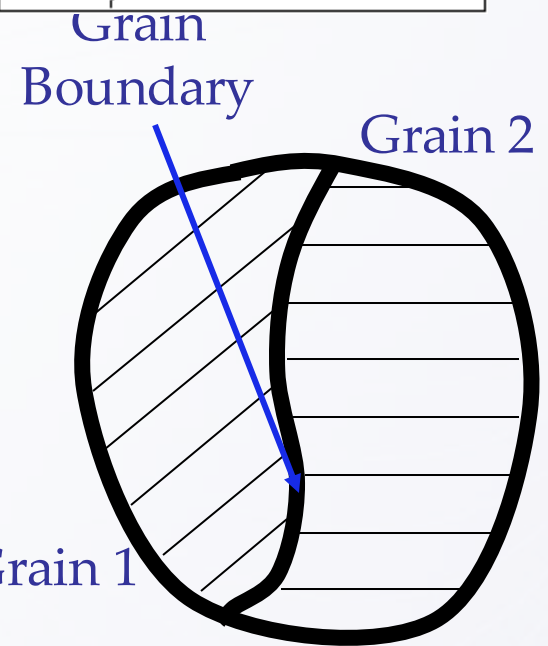
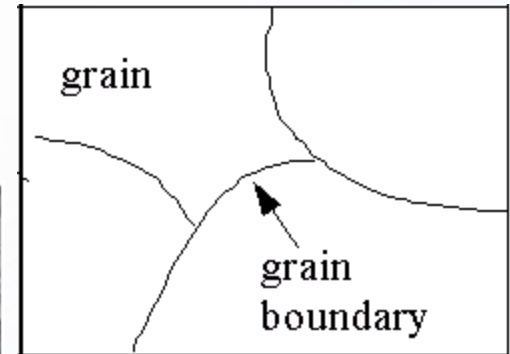
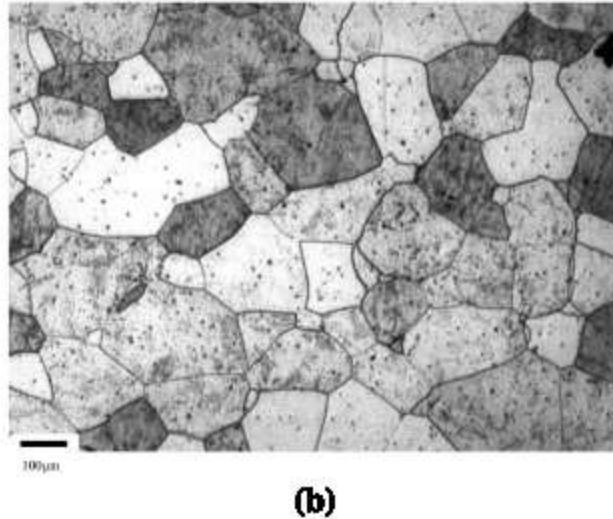
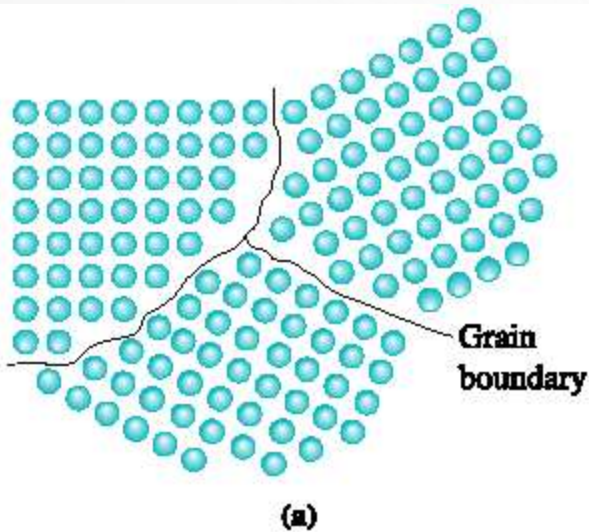


**ABCABCABC**





# grain boundaries

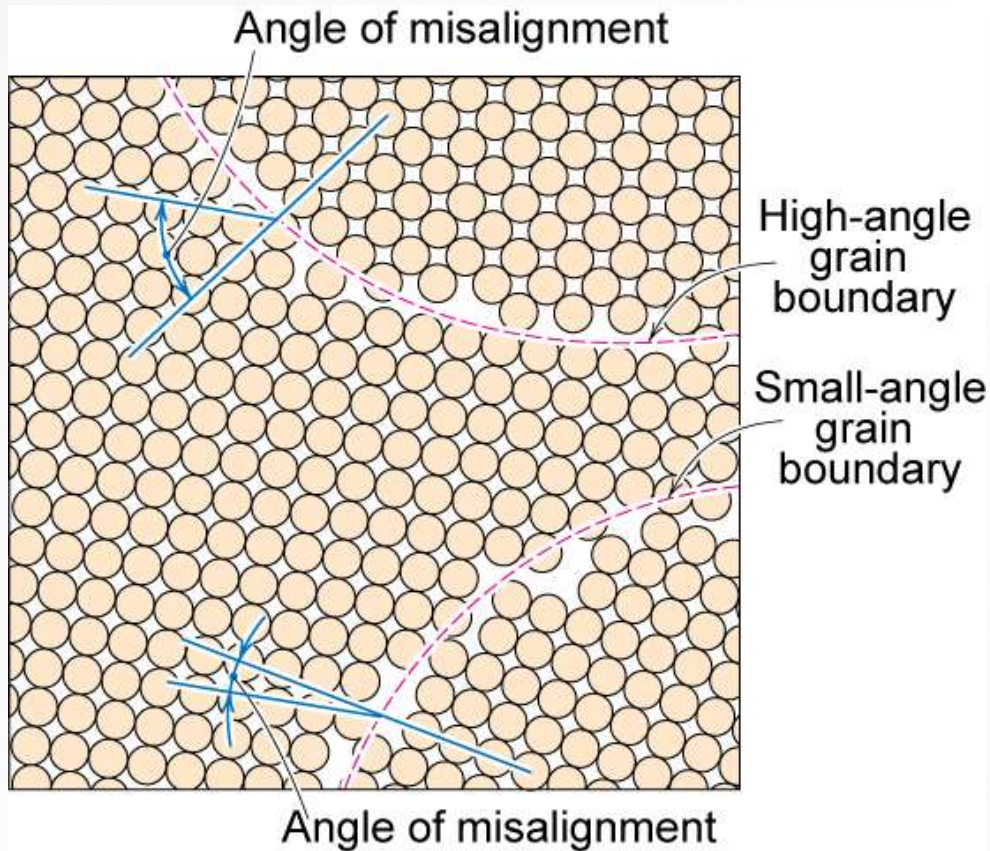


See Figure :

- (a) The atoms near the boundaries of the three grains
- (b) Grains and grain boundaries in a stainless steel sample.

(Courtesy Dr. A. Deardo.)

A grain boundary is a boundary between two regions of identical crystal structure but different orientation



**Grains:** individual crystals

**Grain boundaries:** zones between any two grains

- regions between crystals
- transition from lattice of one region to that of the other
- slightly disordered
- low density in grain boundaries
  - high mobility
  - high diffusivity
  - high chemical reactivity



## Grain Boundary: *low* and *high* angle

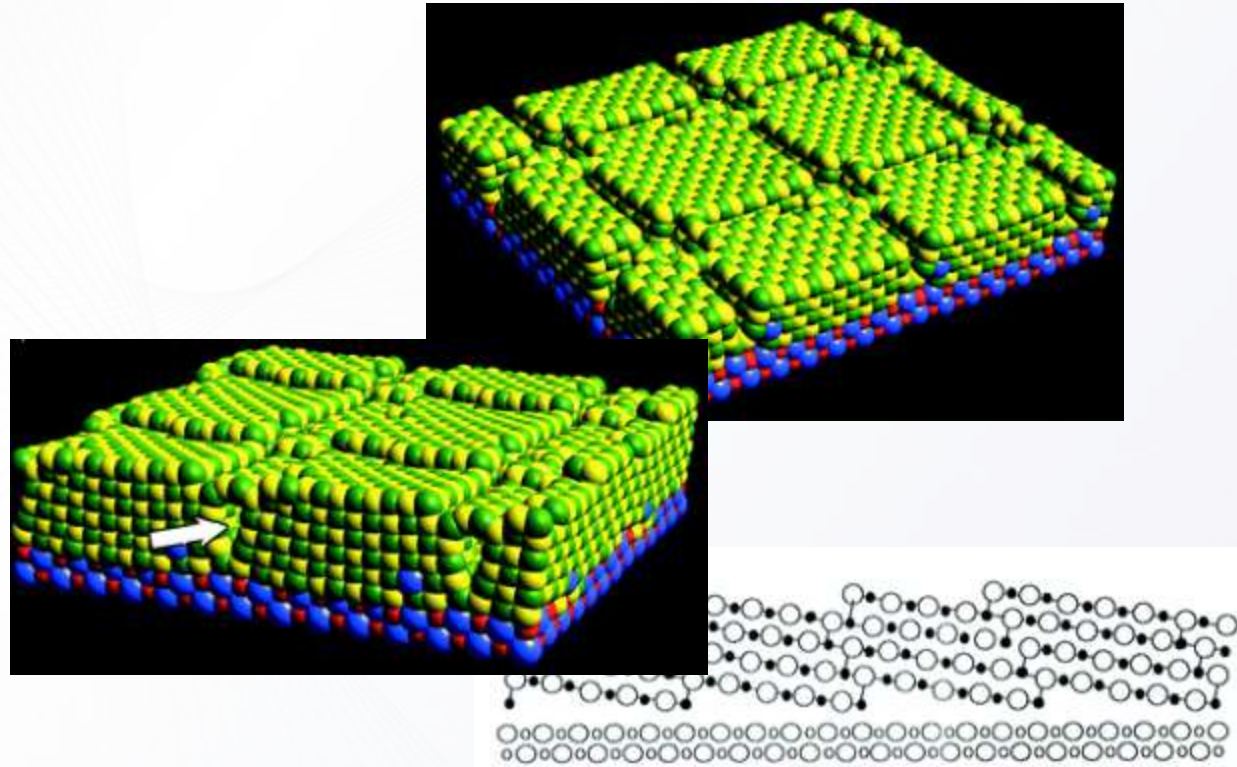
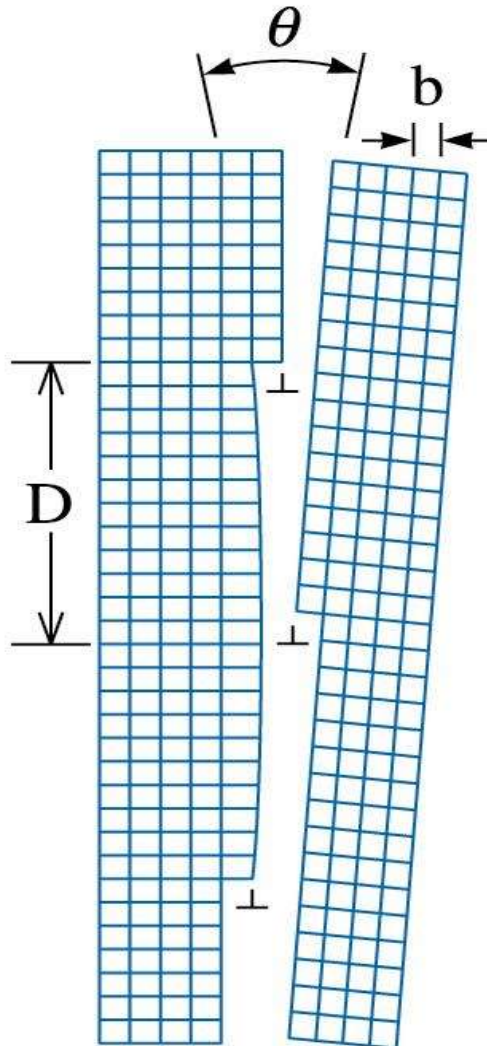
One grain orientation can be obtained by rotation of another grain across the grain boundary about an axis through an **angle**

If the angle of rotation is high, it is called a **high angle grain boundary**

If the angle of rotation is low it is called a **low angle grain boundary**

# Low-angle grain boundary

➤ An array of dislocations causing a small misorientation of the crystal across the surface of the imperfection.



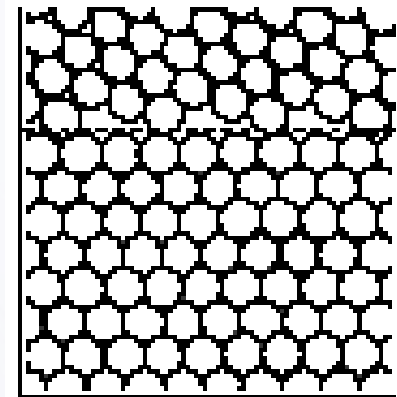
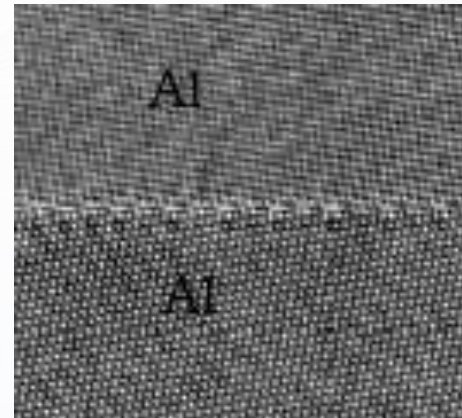
The low angle grain boundary is produced by an array of dislocations, causing an angular mismatch  $\theta$  between lattices on either side of the boundary.



# High-angle grain boundary

High-angle boundaries are likely sites for chemical segregation

A simple high-angle boundary where two crystals meet





# Grain Boundary: *tilt* and *twist*

One grain orientation can be obtained by rotation of another grain across the grain boundary about an **axis** through an angle

If the axis of rotation lies in the boundary plane it is called **tilt boundary**

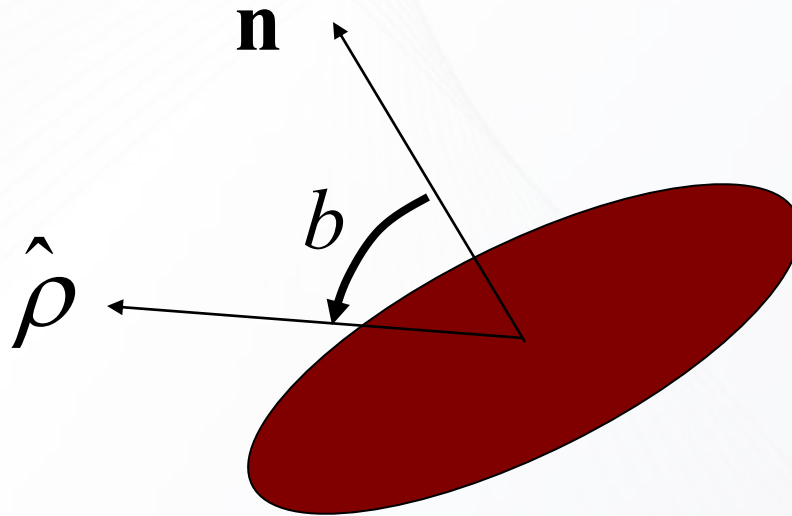
If the angle of rotation is perpendicular to the boundary plane it is called a **twist boundary**

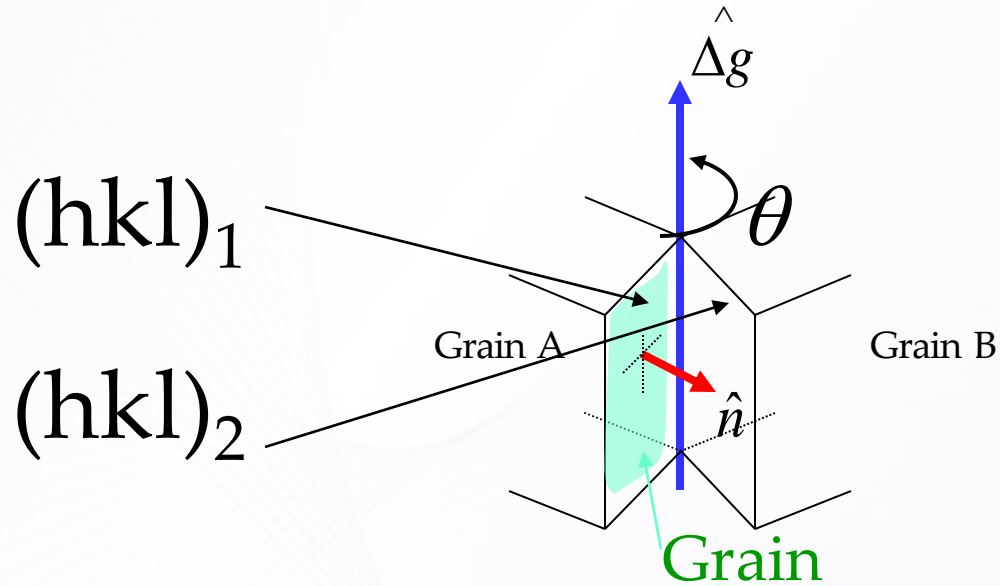


# Tilt-twist character

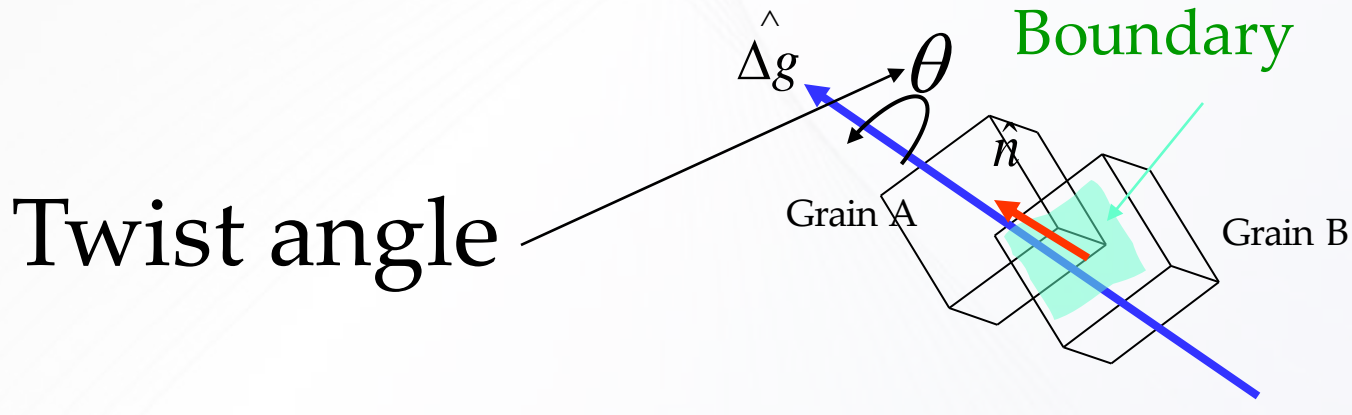
If  $\cos^{-1}(b)=0^\circ$ , boundary is pure twist;

If  $\cos^{-1}(b)=90^\circ$ , boundary is pure tilt.

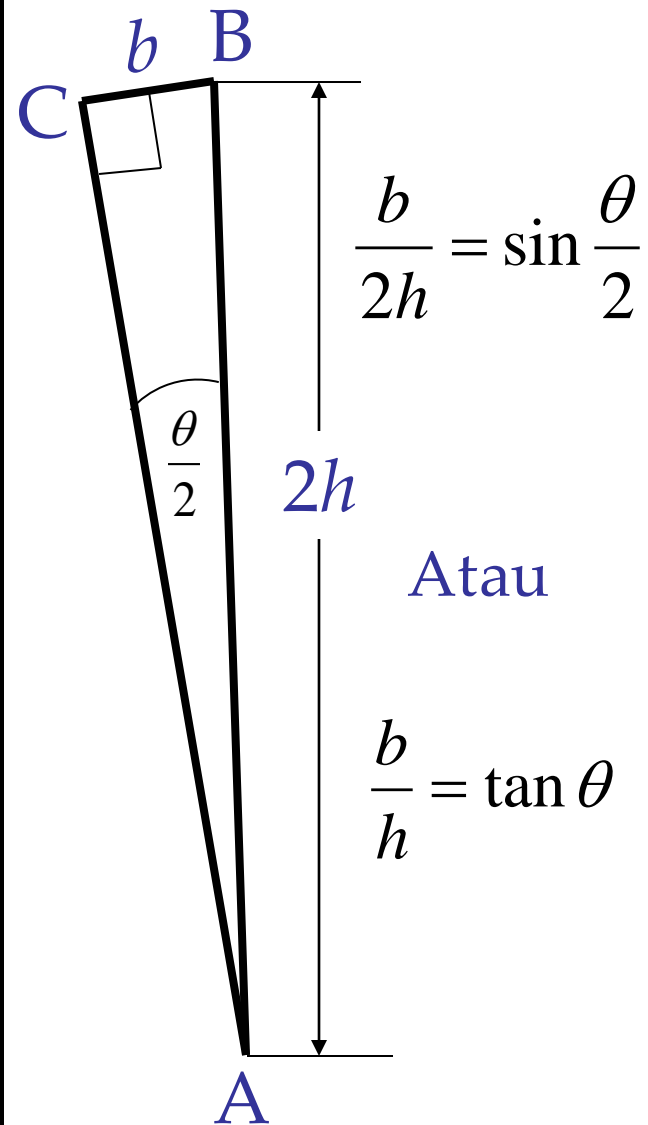
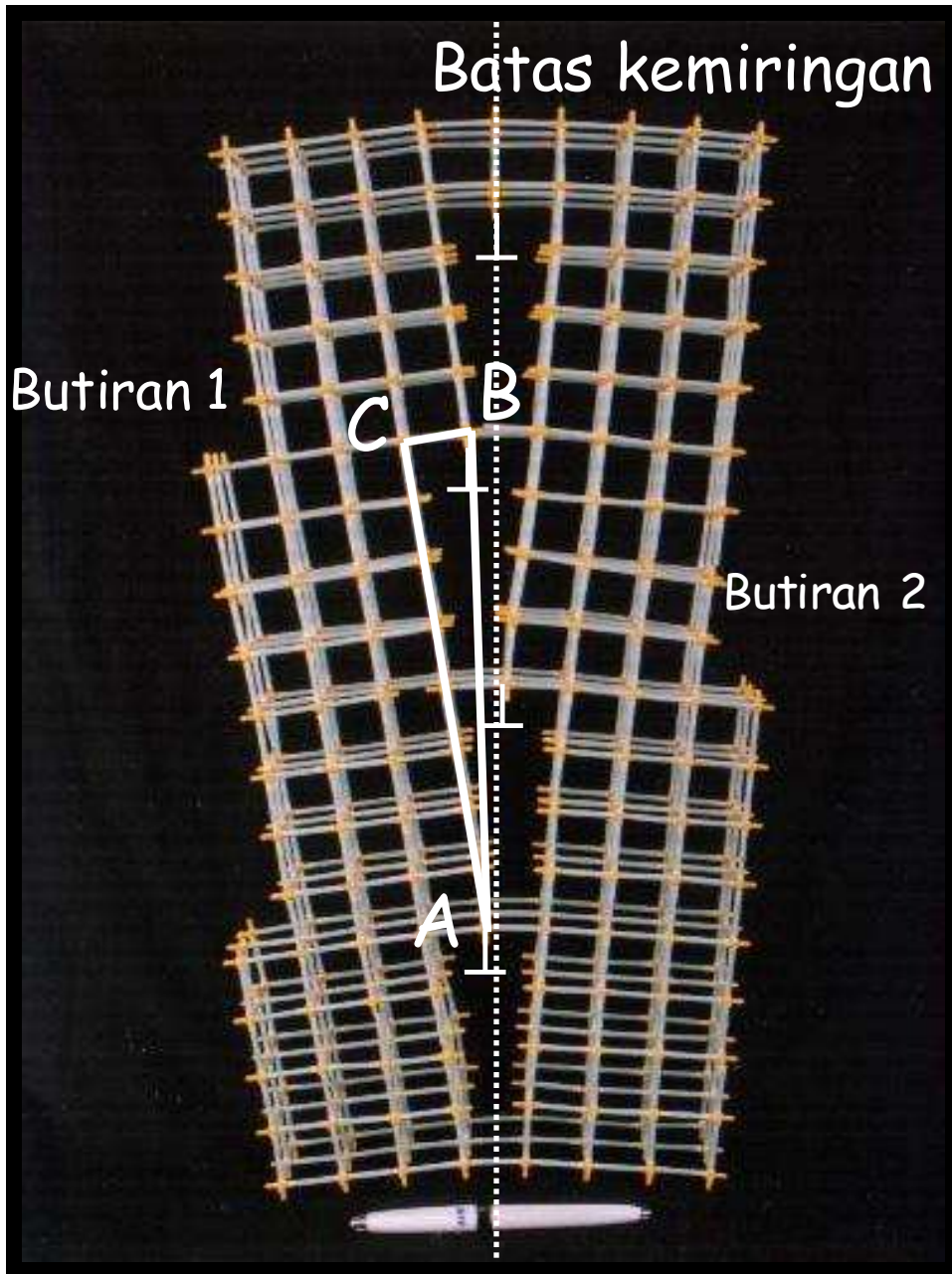


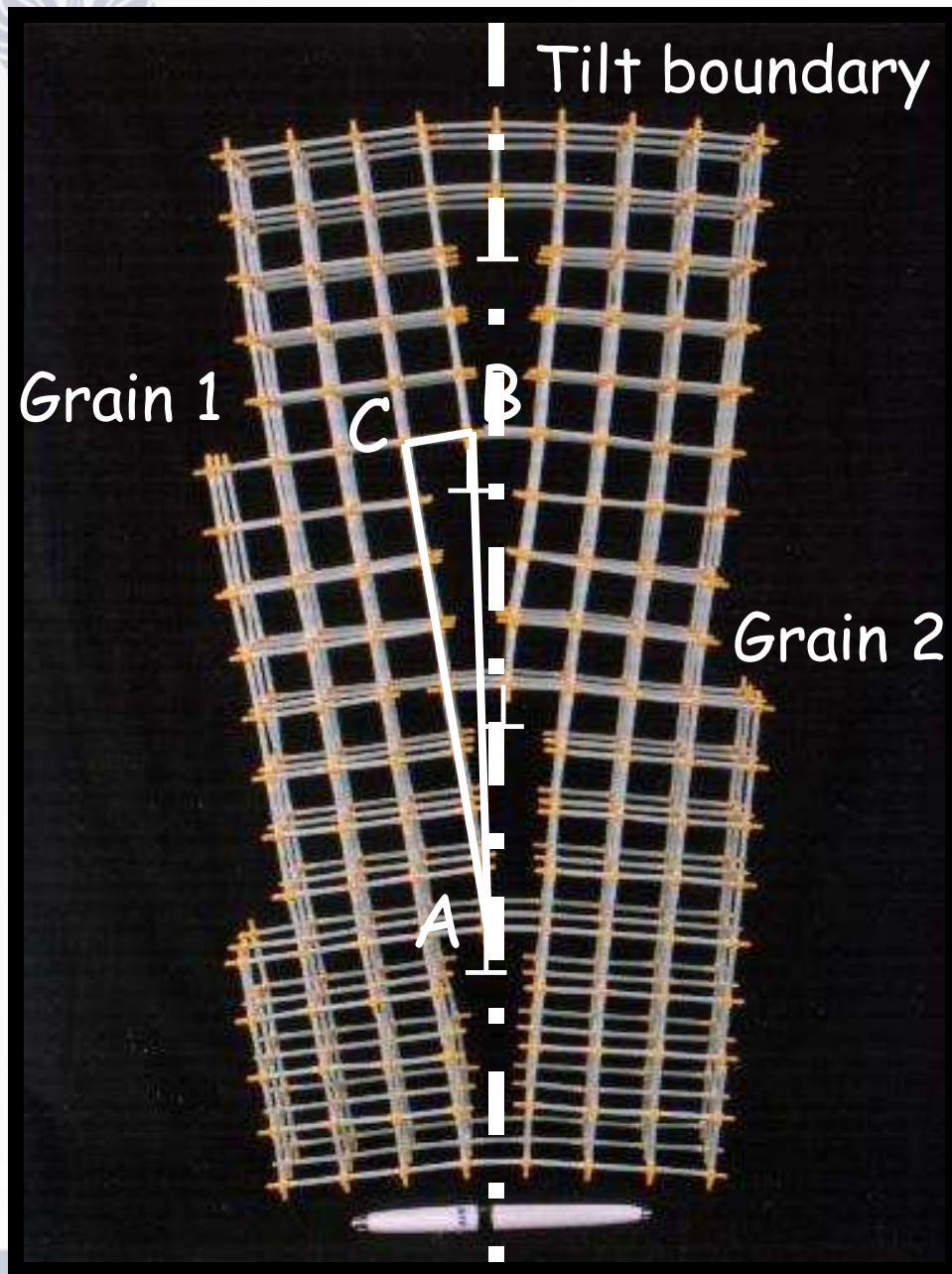


**Tilt  
Boundary**



**Twist  
Boundary**





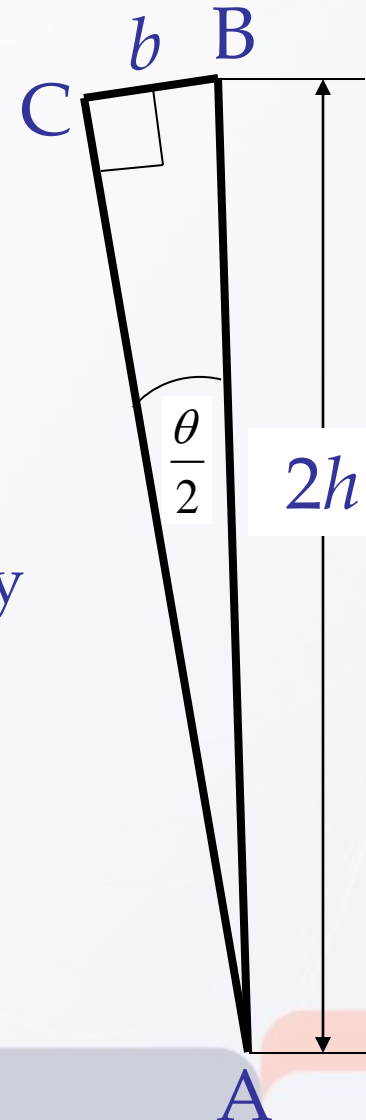
# Edge dislocation model of a small angle tilt boundary

$$\frac{b}{2h} = \sin \frac{\theta}{2}$$

Or

approximately

$$\frac{b}{h} = \tan \theta$$





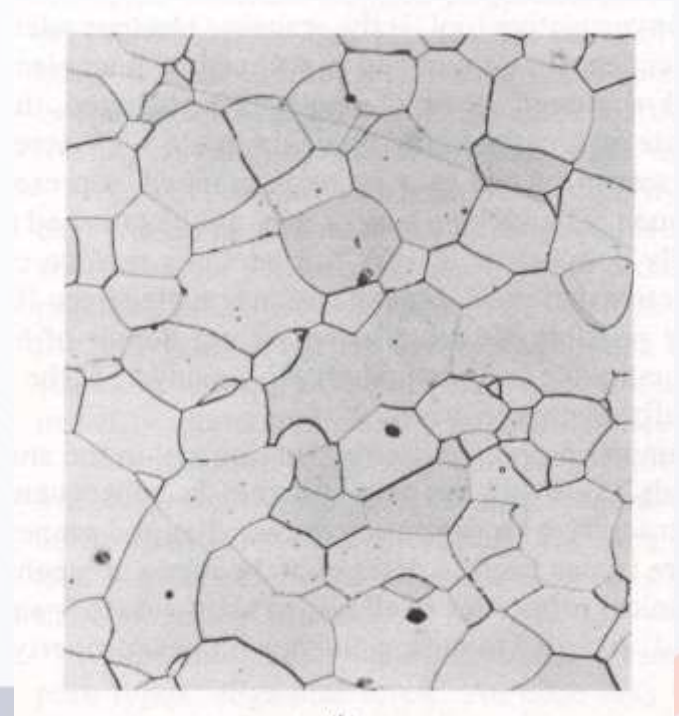
## voids (porosity)

➤ holes in the materials

Voids are small regions where there are no atoms, and can be thought of as clusters of vacancies

## inclusions

inclusions particles of foreign matter embedded in the solid





# precipitations

Every impurity introduced into a crystal has a certain level of solubility, which defines the concentration of that impurity that the solid solution of the host crystal can accommodate.

Impurity solubility usually decreases with decreasing temperature.



If an impurity is introduced into a crystal at the maximum concentration allowed by its solubility at a high temperature,



the crystal will become supersaturated with that impurity once it is cooled down.



A crystal under such supersaturated conditions seeks and achieves equilibrium by **precipitating** the excess impurity atoms into another phase of different composition or structure.



**PRECIPITATES**

Impurities cluster together to form small regions of a different phase



Precipitates are considered undesirable because they have been known to act as sites for the generation of dislocations

Precipitates induced during silicon wafer processing come from oxygen, metallic impurities, and dopants like boron



# Importance of Defects

- ❑ Effect on Mechanical Properties via Control of the Slip Process
- ❑ Strain Hardening
- ❑ Solid-Solution Strengthening
- ❑ Grain-Size Strengthening
- ❑ Effects on Electrical, Optical, and Magnetic Properties



Defectoscope



## Defectoscope

Detect fine surface defects

The system can detect flaws as fine as 30 microns on polished surfaces

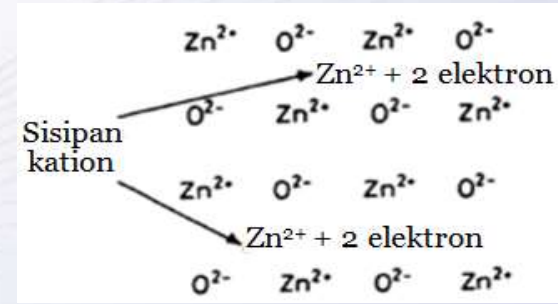
Electron microscopy

Optical microscopy

- Selain diklasifikasikan berdasarkan dimensinya, cacat kristal juga diklasifikasikan berdasarkan stoikiometrianya.
- Berdasarkan stoikiometrianya, cacat kristal dibagi menjadi dua katagori, yaitu cacat stoikiometrik dan cacat nonstoikiometrik.
- Cacat stoikiometrik diakibatkan faktor temperatur sehingga atom/ion pindah meninggalkan posisi normalnya menghasilkan cacat kekosongan & / cacat sisipan → tidak mengubah rumus kimia suatu senyawa
- Cacat nonstoikiometrik diakibatkan oleh sebagian kecil atom hilang atau ketambahan atom pengotor ke dalam kisi yang tidak sempurna → dapat mengubah rumus kimia suatu senyawa. Contoh  $\text{NaCl}_{0,95}$

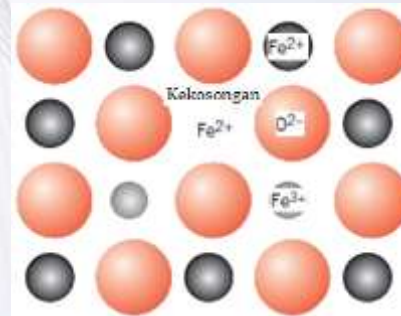
# Cacat kristal nonstokiometrik dibagi menjadi tiga:

1. Cacat kelebihan logam / cacat pusat  $F$  / cacat pusat warna

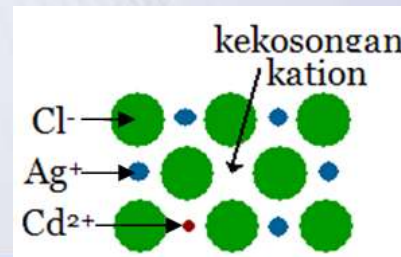


Cacat kelebihan logam pada  $Zn_{1+x}O$

2. Cacat kekurangan logam



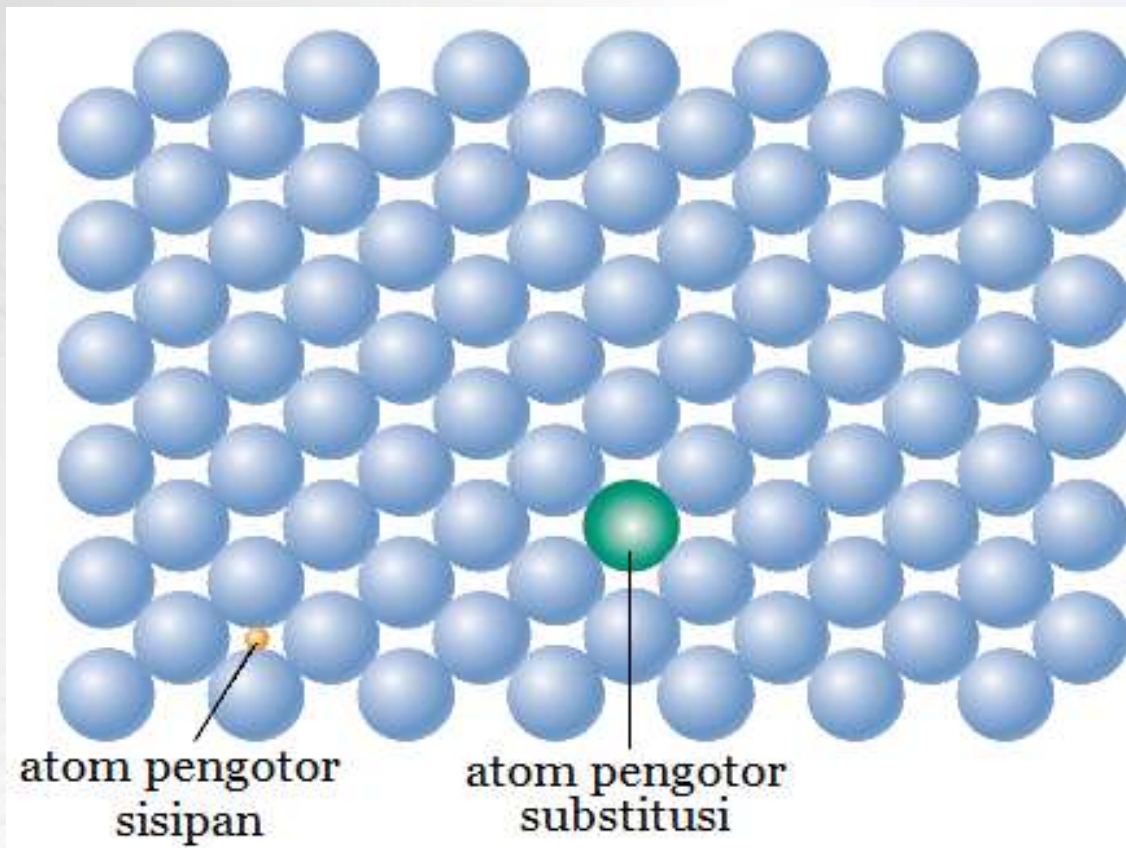
3. Cacat ketidakmurnian (*Impurity defect*)





# Larutan padat (*solid solution*)

- Larutan padat adalah campuran homogen berwujud padat yang terdiri dari satu atau lebih zat terlarut dalam pelarut.
- Pelarut (*solvent*) mewakili unsur atau senyawa yang ada dalam jumlah terbesar. Terkadang, atom pelarut juga disebut atom *host*.
- Zat terlarut (*solute*) digunakan untuk menunjukkan unsur atau senyawa yang ada dalam konsentrasi kecil.



**Gambar. Atom pengotor sisipan dan substitusi pada larutan padat**

Cacat titik ketidakmurniaan ditemukan pada larutan padat, dimana ada dua jenis: substitusi dan sisipan. Untuk jenis substitusional, atom terlarut atau pengotor menggantikan atom pelarut




# Jawablah soal-soal berikut dengan benar!


1. Tuliskan macam-macam cacat kristal berdasarkan dimensinya!
2. Kenapa besi oksida ( $\text{FeO}$ ) dapat mengalami cacat kekurangan logam?
3. Bagaimana cara membuat kristal  $\text{NaCl}$  yang mengalami cacat kelebihan logam?
4. Apa yang dimaksud larutan padat?
5. Apa perbedaan larutan padat substitusional dan larutan padat sisipan?
6. Apa perbedaan Cacat Frenkel dengan cacat Schottky?
7. Tuliskan macam-macam cacat kristal nonstokiometrik!
8. Untuk kristal  $\text{KCl}$  dan  $\text{KI}$ , manakah yang lebih mudah mengalami a) Cacat Frenkel; b) Cacat Schottky


# Referensi


Buku ajar kimia zat padat,  
buku referensi lainnya, artikel ilmiah dll

**Biodata Penulis**

 Samik, S.Si, M.Si, merupakan alumni S1 Kimia Unesa dan S2 Kimia ITS dengan bidang keahlian kimia fisika dan kimia katalis. Saat ini berprofesi sebagai Dosen Kimia Unesa yang mengampu mata kuliah kimia dasar, kimia zat padat, kimia elektro, kimia kuantum, IAD dan fisika IPA. 4 Buku yang telah disusunnya: Panduan Karya Tulis, Panduan Praktikum KF III, Bunga Rampai Pemikiran Intelektual Muslim, Kimia Zat Padat. CP: samik@unesa.ac.id

 Dr. Harun Nasrudin, M.Si adalah dosen Kimia Unesa dengan bidang keahlian Pendidikan Kimia Fisika. Mata kuliah yang diampu adalah: kimia umum, termodinamika kimia, kimia Permukaan dan koloid, asesmen, metodologi penelitian, kimia padatan, sejarah kurikulum, fisika IPA, dan Pengembangan instrumen tes. Hingga saat ini telah menulis beberapa buku dikalid kuliah seperti Asesmen, Kimia Umum, dan buku Diktat Perkulahan Ilmu Alamiah Dasar. CP: harunnasrudin@unesa.ac.id

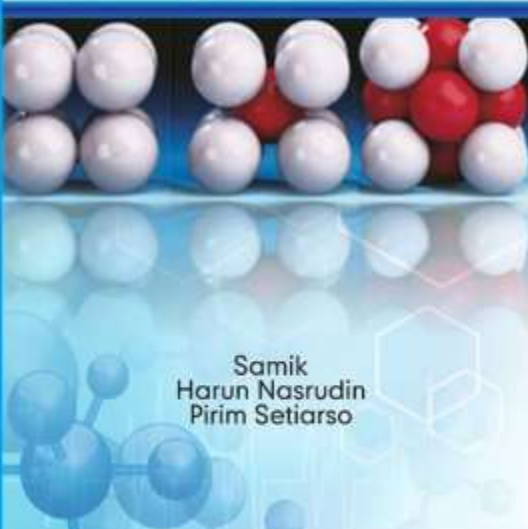
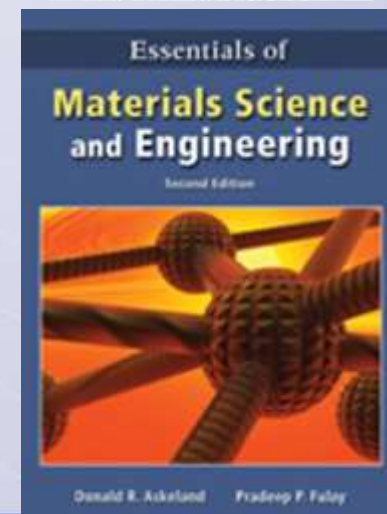
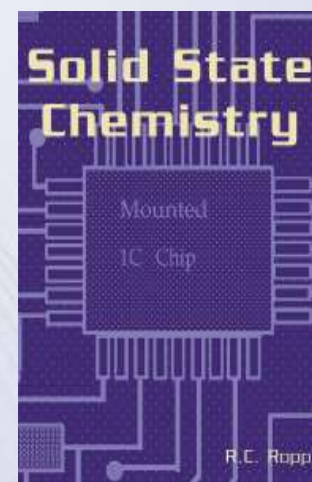
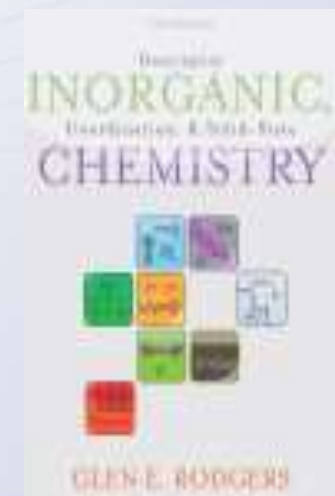
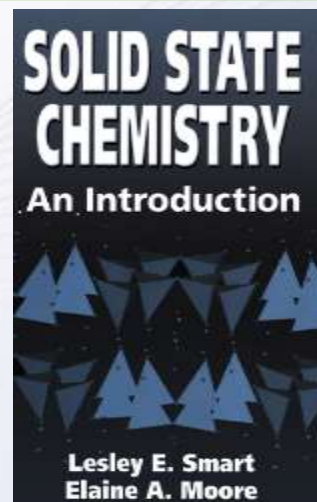
 Dr. Piri Setiarso, M.Si adalah dosen Kimia Unesa dengan bidang keahlian Kimia Analitik. Lulusan S1 dan S2 UKM, STB. Saat ini menjabat sebagai ketua Lab terpadu IPA dan Kasubid Kimia Instrumen Unesa. Mata kuliah yang diampu adalah: kimia umum, Kimia Dasar, Kimia Analitik II, III, dan IV. Hingga saat ini telah menulis beberapa buku Matematika Kimia, Kimia Analitik. CP: pirisetiarso@unesa.ac.id

 Universitas Boga Indonesia  
UNIVERSITY OF BOGOR

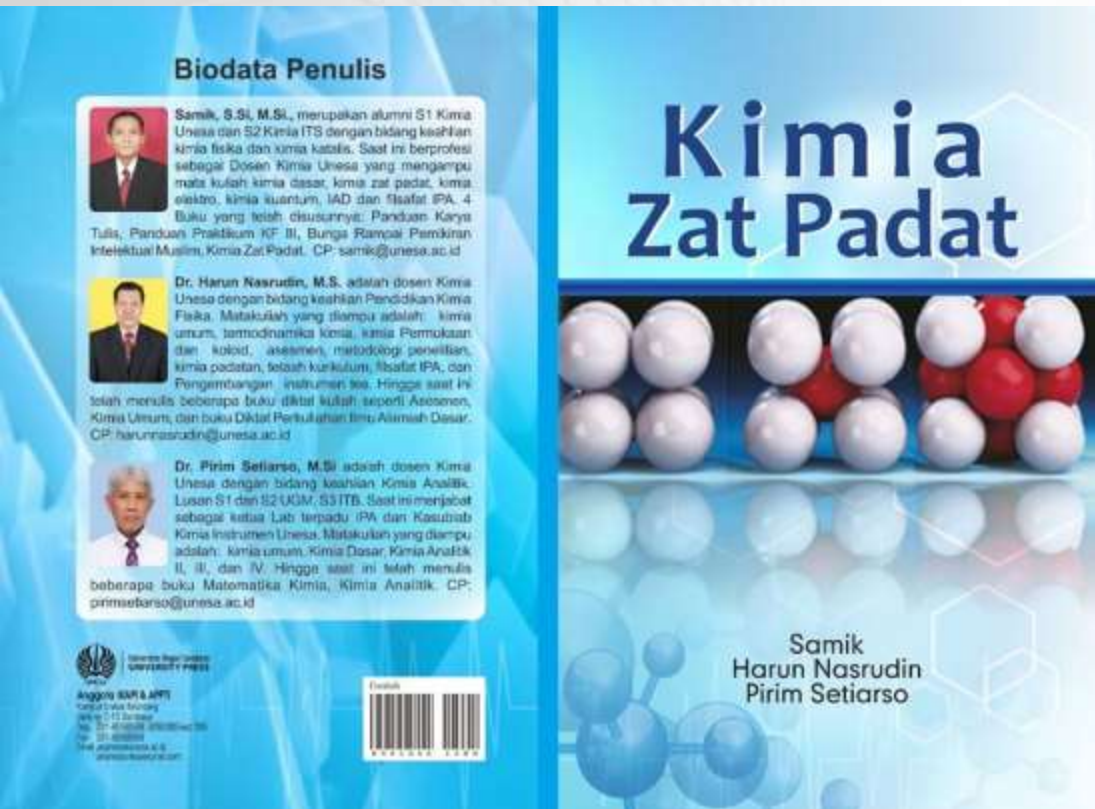
Anggota SAKI & APPI  
Cepat & Mudah Belajar  
WA: 0811 22 22 22  
No. 021-89999999  
No. 021-89999999  
Email: info@unesa.ac.id  
www.unesa.ac.id

**Kimia  
Zat Padat**

Samik  
Harun Nasrudin  
Piri Setiarso

Untuk lebih memahami materi ini silahkan  
baca di buku kami / yg lain:



PPT ini digunakan untuk mempermudah pembelajaran, kebanyakan saya ambil dari berbagai literatur buku dan PPT (terutama yg berbahasa Inggris) dan dari buku Kimia Zat Padat, Samik dkk.

Mau ebook buku Kimia Zat Padat, silahkan klik <https://bit.ly/ebookKZP> / 085731160005





# Daftar Isi buku Kimia Zat Padat, Mau ebooknya, silahkan klik

<https://bit.ly/ebukuKZP> / 085731160005

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	iii
Rencana Pembelajaran Semester (RPS) .....	v
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel .....	xv
Daftar Gambar .....	xvii
<b>BAB I. Pengenalan Ilmu Kimia Zat Padat dan Material</b> .....	<b>1</b>
A. Pendahuluan .....	1
1. Deskripsi Singkat .....	1
2. Tujuan Pembelajaran .....	1
B. Materi .....	1
1. Ilmu kimia zat padat .....	1
2. Sejarah dan perkembangan ilmu kimia zat padat .....	4
3. Kedaan materi .....	5
4. Jenis Padatan .....	8
5. Latihan .....	11
6. Rangkuman .....	11
C. Evaluasi .....	11
D. Daftar Bacaan .....	12
<b>BAB II. Struktur Kristal</b> .....	<b>13</b>
A. Pendahuluan .....	13
1. Deskripsi Singkat .....	13
2. Tujuan Pembelajaran .....	13
B. Materi .....	13
1. Ciri khas padatan kristal .....	13
2. Struktur kristal .....	18
3. Latihan .....	29
4. Rangkuman .....	29
C. Evaluasi .....	30
D. Daftar Bacaan .....	31
<b>BAB III. Jenis kristal</b> .....	<b>33</b>
A. Pendahuluan .....	33
1. Deskripsi Singkat .....	33
2. Tujuan Pembelajaran .....	33

B. Materi .....	BAB VI. CACAT KRISTAL, SENYAWA NON STOIKIOMETRIK, DAN LARUTAN PADAT .....	109
1. Gaya antar atom / molekul dan energi ikat .....	A. Pendahuluan .....	109
2. Jenis ikatan .....	1. Deskripsi Singkat .....	109
3. Kristal Ionik .....	2. Tujuan Pembelajaran .....	109
4. Kristal Kovalen .....	B. Materi .....	110
5. Kristal Logam .....	1. Cacat Kristal .....	110
6. Kristal Molekular .....	2. Senyawa Nonstoikiometrik .....	127
7. Latihan .....	3. Larutan Padat .....	131
8. Rangkuman .....	4. Latihan .....	136
C. Evaluasi .....	5. Rangkuman .....	136
D. Daftar Bacaan .....	C. Evaluasi .....	136
<b>BAB IV. Teknik Karakterisasi Zat Padat</b> .....	D. Daftar Bacaan .....	137
A. Pendahuluan .....	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	139
1. Deskripsi Singkat .....	<b>DAFTAR ISTILAH (GLOSARIUM)</b> .....	143
2. Tujuan Pembelajaran .....	<b>KUNCI JAWABAN</b> .....	144
B. Materi .....	<b>INDEKS</b> .....	155
1. Teknik Difraksi .....	1. Deskripsi Singkat .....	60
2. Teknik Mikroskopi .....	2. Tujuan Pembelajaran .....	60
3. Teknik Spektroskopi .....	B. Materi .....	60
4. Analisa Thermal .....	1. Teknik Difraksi .....	63
5. Latihan .....	2. Teknik Mikroskopi .....	66
6. Rangkuman .....	3. Teknik Spektroskopi .....	72
C. Evaluasi .....	4. Analisa Thermal .....	83
D. Daftar Bacaan .....	5. Latihan .....	90
<b>BAB V. SIFAT PADATAN</b> .....	6. Rangkuman .....	91
A. Pendahuluan .....	C. Evaluasi .....	91
1. Deskripsi Singkat .....	D. Daftar Bacaan .....	93
2. Tujuan Pembelajaran .....	<b>BAB V. SIFAT PADATAN</b> .....	96
B. Materi .....	A. Pendahuluan .....	96
1. Sifat listrik .....	1. Deskripsi Singkat .....	96
2. Sifat Magnetik .....	2. Tujuan Pembelajaran .....	96
3. Sifat Optik .....	B. Materi .....	96
4. Latihan .....	1. Sifat listrik .....	96
5. Rangkuman .....	2. Sifat Magnetik .....	103
C. Evaluasi .....	3. Sifat Optik .....	106
D. Daftar Bacaan .....	4. Latihan .....	107
1. Deskripsi Singkat .....	5. Rangkuman .....	107
2. Tujuan Pembelajaran .....	C. Evaluasi .....	107
3. Deskripsi Singkat .....	D. Daftar Bacaan .....	108
4. Tujuan Pembelajaran .....	1. Deskripsi Singkat .....	107
5. Deskripsi Singkat .....	2. Tujuan Pembelajaran .....	107
6. Tujuan Pembelajaran .....	3. Deskripsi Singkat .....	107
7. Deskripsi Singkat .....	4. Tujuan Pembelajaran .....	107
8. Tujuan Pembelajaran .....	5. Deskripsi Singkat .....	107
9. Deskripsi Singkat .....	6. Tujuan Pembelajaran .....	107
10. Tujuan Pembelajaran .....	7. Deskripsi Singkat .....	107
11. Deskripsi Singkat .....	8. Tujuan Pembelajaran .....	107
12. Tujuan Pembelajaran .....	9. Deskripsi Singkat .....	107
13. Deskripsi Singkat .....	10. Tujuan Pembelajaran .....	107
14. Tujuan Pembelajaran .....	11. Deskripsi Singkat .....	107
15. Deskripsi Singkat .....	12. Tujuan Pembelajaran .....	107
16. Tujuan Pembelajaran .....	13. Deskripsi Singkat .....	107
17. Deskripsi Singkat .....	14. Tujuan Pembelajaran .....	107
18. Tujuan Pembelajaran .....	15. Deskripsi Singkat .....	107
19. Deskripsi Singkat .....	16. Tujuan Pembelajaran .....	107
20. Tujuan Pembelajaran .....	17. Deskripsi Singkat .....	107
21. Deskripsi Singkat .....	18. Tujuan Pembelajaran .....	107
22. Tujuan Pembelajaran .....	19. Deskripsi Singkat .....	107
23. Deskripsi Singkat .....	20. Tujuan Pembelajaran .....	107
24. Tujuan Pembelajaran .....	21. Deskripsi Singkat .....	107
25. Deskripsi Singkat .....	22. Tujuan Pembelajaran .....	107
26. Tujuan Pembelajaran .....	23. Deskripsi Singkat .....	107
27. Deskripsi Singkat .....	24. Tujuan Pembelajaran .....	107
28. Tujuan Pembelajaran .....	25. Deskripsi Singkat .....	107
29. Deskripsi Singkat .....	26. Tujuan Pembelajaran .....	107
30. Tujuan Pembelajaran .....	27. Deskripsi Singkat .....	107
31. Deskripsi Singkat .....	28. Tujuan Pembelajaran .....	107
32. Tujuan Pembelajaran .....	29. Deskripsi Singkat .....	107
33. Deskripsi Singkat .....	30. Tujuan Pembelajaran .....	107
34. Tujuan Pembelajaran .....	31. Deskripsi Singkat .....	107
35. Deskripsi Singkat .....	32. Tujuan Pembelajaran .....	107
36. Tujuan Pembelajaran .....	33. Deskripsi Singkat .....	107
37. Deskripsi Singkat .....	34. Tujuan Pembelajaran .....	107
38. Tujuan Pembelajaran .....	35. Deskripsi Singkat .....	107
39. Deskripsi Singkat .....	36. Tujuan Pembelajaran .....	107
40. Tujuan Pembelajaran .....	37. Deskripsi Singkat .....	107
41. Deskripsi Singkat .....	38. Tujuan Pembelajaran .....	107
42. Tujuan Pembelajaran .....	39. Deskripsi Singkat .....	107
43. Deskripsi Singkat .....	40. Tujuan Pembelajaran .....	107
44. Tujuan Pembelajaran .....	41. Deskripsi Singkat .....	107
45. Deskripsi Singkat .....	42. Tujuan Pembelajaran .....	107
46. Tujuan Pembelajaran .....	43. Deskripsi Singkat .....	107
47. Deskripsi Singkat .....	44. Tujuan Pembelajaran .....	107
48. Tujuan Pembelajaran .....	45. Deskripsi Singkat .....	107
49. Deskripsi Singkat .....	46. Tujuan Pembelajaran .....	107
50. Tujuan Pembelajaran .....	47. Deskripsi Singkat .....	107
51. Deskripsi Singkat .....	48. Tujuan Pembelajaran .....	107
52. Tujuan Pembelajaran .....	49. Deskripsi Singkat .....	107
53. Deskripsi Singkat .....	50. Tujuan Pembelajaran .....	107
54. Tujuan Pembelajaran .....	51. Deskripsi Singkat .....	107
55. Deskripsi Singkat .....	52. Tujuan Pembelajaran .....	107
56. Tujuan Pembelajaran .....	53. Deskripsi Singkat .....	107
57. Deskripsi Singkat .....	54. Tujuan Pembelajaran .....	107
58. Tujuan Pembelajaran .....	55. Deskripsi Singkat .....	107
59. Deskripsi Singkat .....	56. Tujuan Pembelajaran .....	107
60. Tujuan Pembelajaran .....	57. Deskripsi Singkat .....	107
61. Deskripsi Singkat .....	58. Tujuan Pembelajaran .....	107
62. Tujuan Pembelajaran .....	59. Deskripsi Singkat .....	107
63. Deskripsi Singkat .....	60. Tujuan Pembelajaran .....	107
64. Tujuan Pembelajaran .....	61. Deskripsi Singkat .....	107
65. Deskripsi Singkat .....	62. Tujuan Pembelajaran .....	107
66. Tujuan Pembelajaran .....	63. Deskripsi Singkat .....	107
67. Deskripsi Singkat .....	64. Tujuan Pembelajaran .....	107
68. Tujuan Pembelajaran .....	65. Deskripsi Singkat .....	107
69. Deskripsi Singkat .....	66. Tujuan Pembelajaran .....	107
70. Tujuan Pembelajaran .....	67. Deskripsi Singkat .....	107
71. Deskripsi Singkat .....	68. Tujuan Pembelajaran .....	107
72. Tujuan Pembelajaran .....	69. Deskripsi Singkat .....	107
73. Deskripsi Singkat .....	70. Tujuan Pembelajaran .....	107
74. Tujuan Pembelajaran .....	71. Deskripsi Singkat .....	107
75. Deskripsi Singkat .....	72. Tujuan Pembelajaran .....	107
76. Tujuan Pembelajaran .....	73. Deskripsi Singkat .....	107
77. Deskripsi Singkat .....	74. Tujuan Pembelajaran .....	107
78. Tujuan Pembelajaran .....	75. Deskripsi Singkat .....	107
79. Deskripsi Singkat .....	76. Tujuan Pembelajaran .....	107
80. Tujuan Pembelajaran .....	77. Deskripsi Singkat .....	107
81. Deskripsi Singkat .....	78. Tujuan Pembelajaran .....	107
82. Tujuan Pembelajaran .....	79. Deskripsi Singkat .....	107
83. Deskripsi Singkat .....	80. Tujuan Pembelajaran .....	107
84. Tujuan Pembelajaran .....	81. Deskripsi Singkat .....	107
85. Deskripsi Singkat .....	82. Tujuan Pembelajaran .....	107
86. Tujuan Pembelajaran .....	83. Deskripsi Singkat .....	107
87. Deskripsi Singkat .....	84. Tujuan Pembelajaran .....	107
88. Tujuan Pembelajaran .....	85. Deskripsi Singkat .....	107
89. Deskripsi Singkat .....	86. Tujuan Pembelajaran .....	107
90. Tujuan Pembelajaran .....	87. Deskripsi Singkat .....	107
91. Deskripsi Singkat .....	88. Tujuan Pembelajaran .....	107
92. Tujuan Pembelajaran .....	89. Deskripsi Singkat .....	107
93. Deskripsi Singkat .....	90. Tujuan Pembelajaran .....	107
94. Tujuan Pembelajaran .....	91. Deskripsi Singkat .....	107
95. Deskripsi Singkat .....	92. Tujuan Pembelajaran .....	107
96. Tujuan Pembelajaran .....	93. Deskripsi Singkat .....	107
97. Deskripsi Singkat .....	94. Tujuan Pembelajaran .....	107
98. Tujuan Pembelajaran .....	95. Deskripsi Singkat .....	107
99. Deskripsi Singkat .....	96. Tujuan Pembelajaran .....	107
100. Tujuan Pembelajaran .....	97. Deskripsi Singkat .....	107
101. Deskripsi Singkat .....	98. Tujuan Pembelajaran .....	107
102. Tujuan Pembelajaran .....	99. Deskripsi Singkat .....	107
103. Deskripsi Singkat .....	100. Tujuan Pembelajaran .....	107
104. Tujuan Pembelajaran .....	101. Deskripsi Singkat .....	107
105. Deskripsi Singkat .....	102. Tujuan Pembelajaran .....	107
106. Tujuan Pembelajaran .....	103. Deskripsi Singkat .....	107
107. Deskripsi Singkat .....	104. Tujuan Pembelajaran .....	107
108. Tujuan Pembelajaran .....	105. Deskripsi Singkat .....	107
109. Deskripsi Singkat .....	106. Tujuan Pembelajaran .....	107
110. Tujuan Pembelajaran .....	107. Deskripsi Singkat .....	107
111. Deskripsi Singkat .....	108. Tujuan Pembelajaran .....	107
112. Tujuan Pembelajaran .....	109. Deskripsi Singkat .....	107
113. Deskripsi Singkat .....	110. Tujuan Pembelajaran .....	107
114. Tujuan Pembelajaran .....	111. Deskripsi Singkat .....	107
115. Deskripsi Singkat .....	112. Tujuan Pembelajaran .....	107
116. Tujuan Pembelajaran .....	113. Deskripsi Singkat .....	107
117. Deskripsi Singkat .....	114. Tujuan Pembelajaran .....	107
118. Tujuan Pembelajaran .....	115. Deskripsi Singkat .....	107
119. Deskripsi Singkat .....	116. Tujuan Pembelajaran .....	107
120. Tujuan Pembelajaran .....	117. Deskripsi Singkat .....	107
121. Deskripsi Singkat .....	118. Tujuan Pembelajaran .....	107
122. Tujuan Pembelajaran .....	119. Deskripsi Singkat .....	107
123. Deskripsi Singkat .....	120. Tujuan Pembelajaran .....	107
124. Tujuan Pembelajaran .....	121. Deskripsi Singkat .....	107
125. Deskripsi Singkat .....	122. Tujuan Pembelajaran .....	107
126. Tujuan Pembelajaran .....	123. Deskripsi Singkat .....	107
127. Deskripsi Singkat .....	124. Tujuan Pembelajaran .....	107
128. Tujuan Pembelajaran .....	125. Deskripsi Singkat .....	107
129. Deskripsi Singkat .....	126. Tujuan Pembelajaran .....	107
130. Tujuan Pembelajaran .....	127. Deskripsi Singkat .....	107
131. Deskripsi Singkat .....	128. Tujuan Pembelajaran .....	107
132. Tujuan Pembelajaran .....	129. Deskripsi Singkat .....	107
133. Deskripsi Singkat .....	130. Tujuan Pembelajaran .....	107
134. Tujuan Pembelajaran .....	131. Deskripsi Singkat .....	107
135. Deskripsi Singkat .....	132. Tujuan Pembelajaran .....	107
136. Tujuan Pembelajaran .....	133. Deskripsi Singkat .....	107
137. Deskripsi Singkat .....	134. Tujuan Pembelajaran .....	107
138. Tujuan Pembelajaran .....	135. Deskripsi Singkat .....	107
139. Deskripsi Singkat .....	136. Tujuan Pembelajaran .....	107
140. Tujuan Pembelajaran .....	137. Deskripsi Singkat .....	107
141. Deskripsi Singkat .....	138. Tujuan Pembelajaran .....	107
142. Tujuan Pembelajaran .....	139. Deskripsi Singkat .....	107
143. Deskripsi Singkat .....	140. Tujuan Pembelajaran .....	107
144. Tujuan Pembelajaran .....	141. Deskripsi Singkat .....	107
145. Deskripsi Singkat .....	142. Tujuan Pembelajaran .....	107
146. Tujuan Pembelajaran .....	143. Deskripsi Singkat .....	107
147. Deskripsi Singkat .....	144. Tujuan Pembelajaran .....	107
148. Tujuan Pembelajaran .....	145. Deskripsi Singkat .....	107
149. Deskripsi Singkat .....	146. Tujuan Pembelajaran .....	107
150. Tujuan Pembelajaran .....	147. Deskripsi Singkat .....	107
151. Deskripsi Singkat .....	148. Tujuan Pembelajaran .....	107
152. Tujuan Pembelajaran .....	149. Deskripsi Singkat .....	107
153. Deskripsi Singkat .....	150. Tujuan Pembelajaran .....	107
154. Tujuan Pembelajaran .....	151. Deskripsi Singkat .....	107
155. Deskripsi Singkat .....	152. Tujuan Pembelajaran .....	107



# TERIMA KASIH



Supaya lebih  
bermanfaat dan  
berkah:

Silahkan di  
subscribe,  
like & share.



<https://www.youtube.com/channel/UCI41m9b4vD9I4PILUJLphlg>