Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Τεχνολογία Υλικών Ι

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Δρ. Σκλήρη Ευαγγελία

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Στερεά Υλικά

- **Κρυσταλλικά Υλικά**

Ένα υλικό είναι **κρυσταλλικό** όταν τα άτομα βρίσκονται σε επαναλαμβανόμενη ή περιοδική διάταξη. Η περιοδικότητα εκτείνεται σε μεγάλες ατομικές αποστάσεις. Κατά τη στερεοποίηση, τα άτομα τοποθετούνται σε επαναλαμβανόμενο τρισδιάστατο πρότυπο.

- **Μη Κρυσταλλικά (Άμορφα) Υλικά**

Δεν υπάρχει μακράς εμβέλειας τάξη. Η ατομική διάταξη είναι ακανόνιστη και δεν εμφανίζεται περιοδικότητα στο χώρο.

- **Κρυσταλλική Δομή**

Η **κρυσταλλική δομή** περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο άτομα, ιόντα ή μόρια διατάσσονται στο χώρο. Ορισμένες ιδιότητες των υλικών εξαρτώνται άμεσα από την κρυσταλλική δομή. Υπάρχει μεγάλος αριθμός διαφορετικών δομών από απλές (κυρίως στα μέταλλα) εώς πολύπλοκες (κεραμικά και πολυμερή)

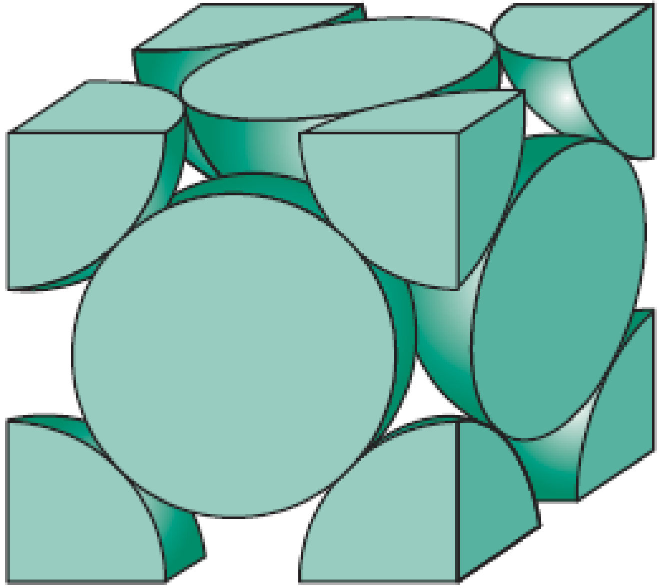
Μοντέλο Σκληρής Σφαίρας

Στην περιγραφή κρυσταλλικών δομών:

- Τα άτομα θεωρούνται στερεές σφαίρες
- Έχουν καθορισμένη διάμετρο
- Τα γειτονικά άτομα εφάπτονται μεταξύ τους
- Το μοντέλο χρησιμοποιείται συχνά για μεταλλικές δομές.

Πλέγμα (Lattice)

Πλέγμα = τρισδιάστατη διευθέτηση σημείων που ταυτίζονται με τις θέσεις των ατόμων (ή τα κέντρα των σφαιρών).



Μοναδιαία Κυψελίδα

Μοναδιαία κυψελίδα είναι το μικρότερο τμήμα του πλέγματος που όταν επαναλαμβάνεται δημιουργεί ολόκληρο τον κρύσταλλο.

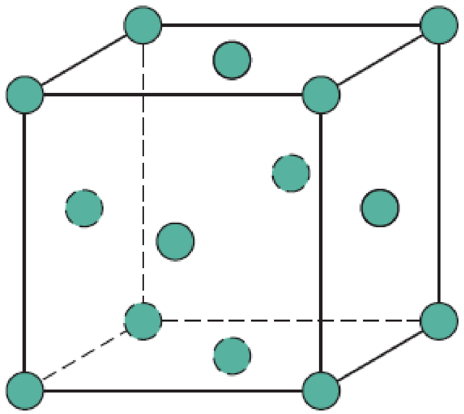
- Αν μετακινήσουμε τη μοναδιαία κυψελίδα κατά x, y και z άξονα παίρνουμε ολόκληρη την κρυσταλλική δομή.
- Όλες οι κυψελίδες είναι ίδιες.
- Ο κρύσταλλος έχει περιοδικότητα.

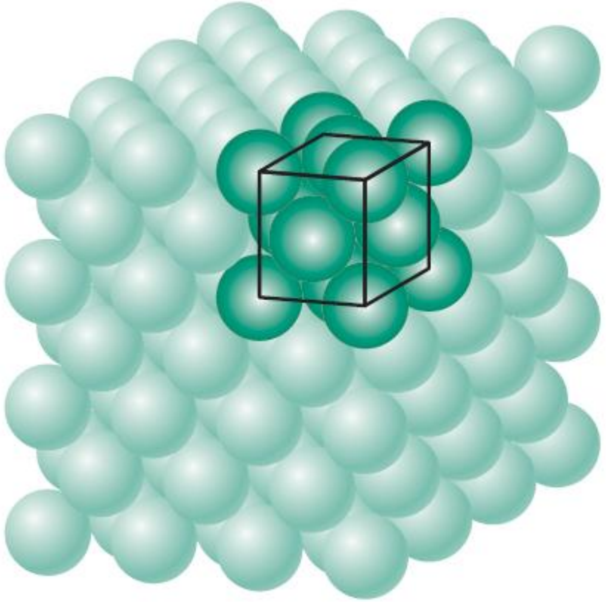
Ρόλος της Μοναδιαίας Κυψελίδας

- Όλες οι θέσεις ατόμων μπορούν να προκύψουν από μεταθέσεις ακέραιων αποστάσεων της μοναδιαίας κυψελίδας κατά μήκος κάθε μιας από τις ακμές.
- Αποτελεί το βασικό δομικό δομικό στοιχείο του κρυστάλλου

Ορίζει τη δομή μέσω:

  - της γεωμετρίας της
  - των θέσεων των ατόμων στο εσωτερικό της





Κρυσταλλικές Δομές Μετάλλων

Ο δεσμός στα μέταλλα είναι μεταλλικός

Είναι μη κατευθυντικός

Υπάρχουν ελάχιστοι περιορισμοί:

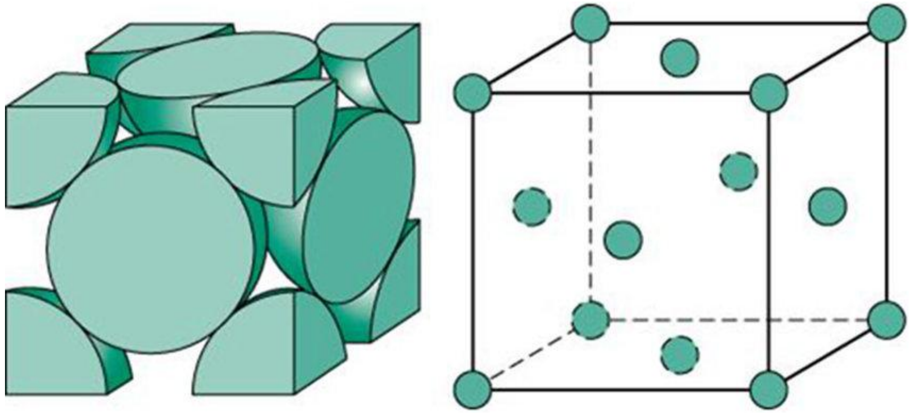
- στον αριθμό γειτονικών ατόμων
- στη θέση τους

Οδηγεί σε:

- Μεγάλο αριθμό γειτόνων
- Πυκνή ατομική συσκευασία

Οι τρεις κύριες δομές των μετάλλων:
Κυβική εδροκεντρωμένη δομή FCC (Face-Centered Cubic)
Χωροκεντρωμένη κυβική δομή BCC (Body-Centered Cubic)
Εξαγωνική κρυσταλλική δομή μέγιστης πυκνότητας HCP (Hexagonal Close-Packed)

Κυβική Εδροκεντρωμένη Δομή (FCC)



- **Άτομα**

•στις 8 κορυφές
•στα κέντρα των 6 εδρών

- **Σχέση ακμής κυψελίδας – ατομικής ακτίνας (FCC)**

Τα άτομα εφάπτονται κατά τη **διαγώνιο της έδρας**

$$a = 2R\sqrt{2}$$

- **Αριθμός Ατόμων ανά Κυψελίδα (FCC)**

Γενικός τύπος:

$$N = N_i + \frac{N_f}{2} + \frac{N_c}{8}$$

Ni: αριθμός των εσωτερικών ατόμων
Nf: ο αριθμός των ατόμων στο κέντρο των έδρων
Nc: ο αριθμός των ατόμων στις κορυφές

$$N = 0 + \frac{6}{2} + \frac{8}{8} = 4$$

- **Αριθμός ένταξης (FCC)**

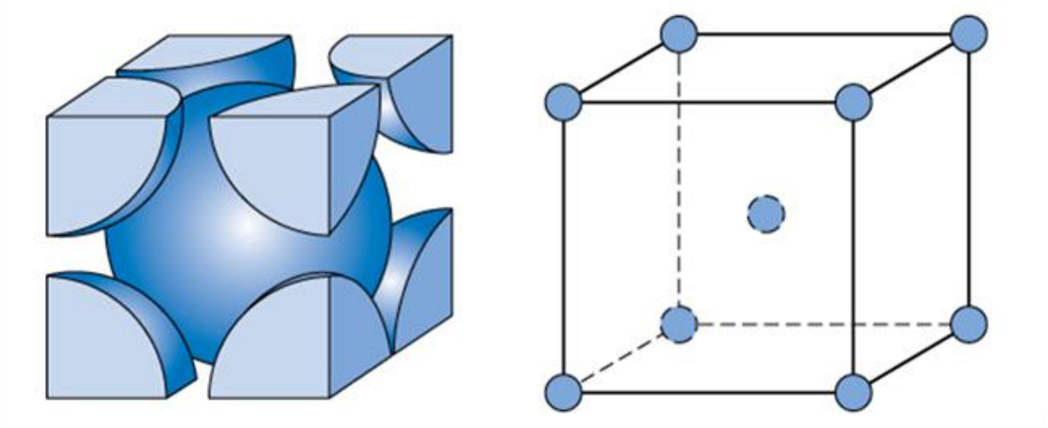
CN = 12 δηλαδή κάθε άτομο έχει 12 γειτονικά άτομα.

- **Συντελεστής Ατομικής Πλήρωσης- Atomic Packing Factor (FCC)**

APF = $\frac{\textit{ογκος των ατομων της μοναδιαιας κυψελιδας}}{\textit{ολικος ογκος μοναδιαιας κυψελιδας}}$

Για FCC:
$APF = 0.74$ → Μέγιστη δυνατή επιστοίβαση σφαιρών

Χωροκεντρωμένη Κυβική Δομή (BCC)



- **Άτομα**

•στις 8 κορυφές
•1 στο κέντρο

- **Σχέση ακμής – ακτίνας (BCC)**

Τα άτομα εφάπτονται κατά τη **διαγώνιο του κύβου**

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

- **Αριθμός Ατόμων (BCC)**

8 άτομα στις κορυφές → 1 άτομο
1 εσωτερικό άτομο → 1 άτομο

$$N = N_i + \frac{N_f}{2} + \frac{N_c}{8}$$

$$N = 1 + 1 = 2$$

- **Αριθμός ένταξης**

CN = 8

- **Συντελεστής Ατομικής Πλήρωσης**

APF = 0.68
Λιγότερο πυκνή δομή από FCC

Εξαγωνική Κρυσταλλική Δομή (HCP)

- **Εξαγωνική κυψελίδα**

Διαφορετική γεωμετρία από κυβικές

- **Αριθμός Ατόμων**

$$N = N_i + \frac{N_f}{2} + \frac{N_c}{8}$$

Για HCP:

$$N = 6$$

➞ 6 άτομα ανά κυψελίδα

- **Αριθμός ένταξης**

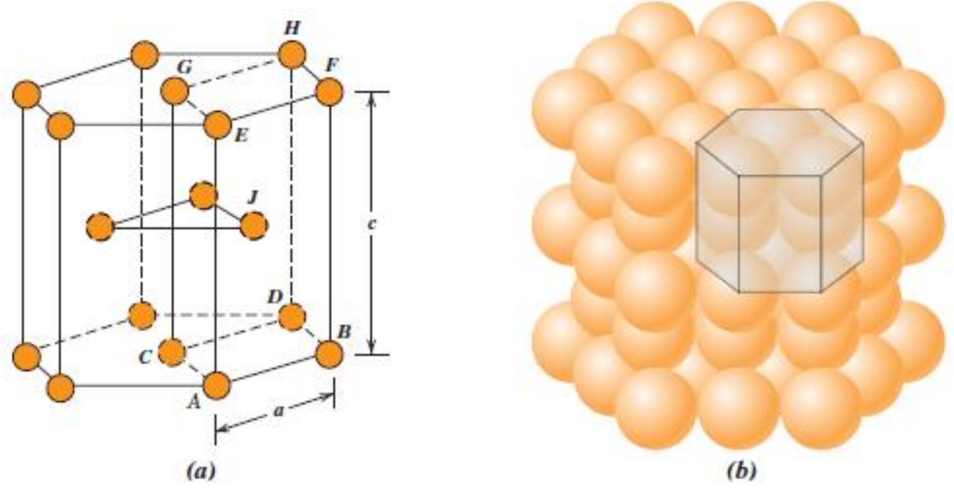
CN = 12

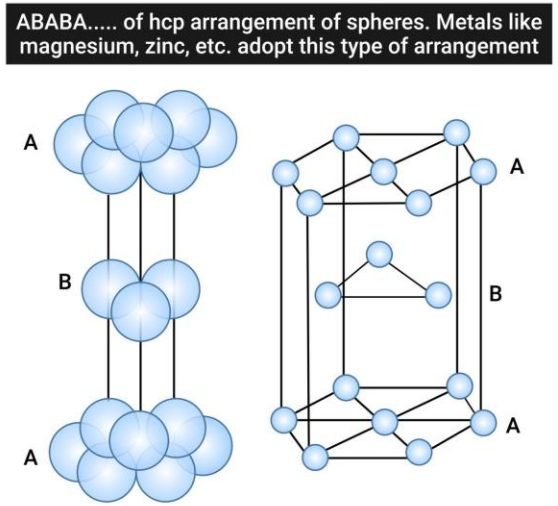
- **Συντελεστής Ατομικής Πλήρωσης**

APF = 0.74

Μέγιστη επιστοίβαση σφαιρών όπως στην FCC

Διαφορετική στοίβαξη επιπέδων

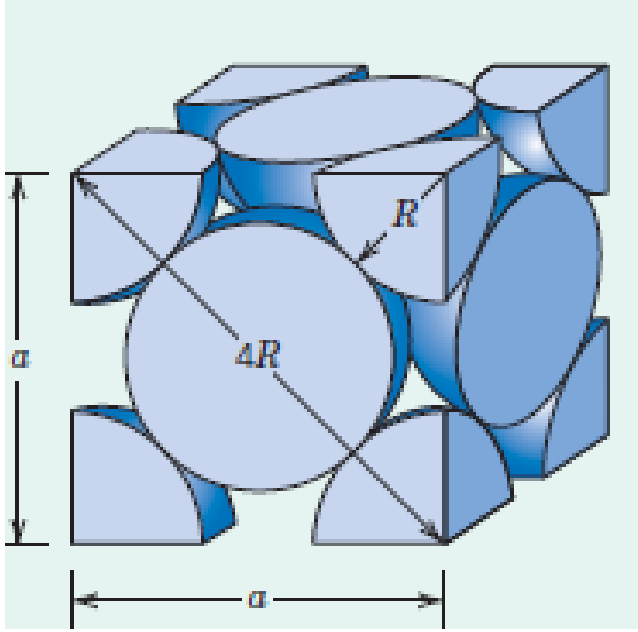




Κρυσταλλικές Δομές Μετάλλων

Άσκηση: Υπολογίστε τον όγκο μιας μοναδιαίας κυψελίδσς FCC βάση της ατομικής ακτίνας R.

Απάντηση:
Στη δομή **FCC**, τα άτομα **εφάπτονται κατά τη διαγώνιο της έδρας** (όχι στην ακμή!).



Διαγώνιος Έδρας = 4R

Από το ορθογώνιο τρίγωνο της έδρας (όπου α είναι η ακμή του κύβου)

$\alpha^2 + \alpha^2 = (4R)^2 \rightarrow 2\alpha^2 = 16R^2 \rightarrow \alpha^2 = 8R^2 \rightarrow \alpha = \sqrt{8R^2} \rightarrow \alpha = \sqrt{4 \cdot 2 \cdot R^2} \rightarrow \alpha = 2\sqrt{2}\,R$

Ο όγκος κύβου είναι:

$$V = a^3$$

Άρα:

$V = (2\sqrt{2}\,R)^3$

$V = 2^3 R^3 (\sqrt{2})^3 = 8R^3 (2^{1/2})^3 = 8R^3\, 2^{3/2} = 8R^3\, 2^{1+1/2} = 8R^3\, 2\sqrt{2} = 16R^3\sqrt{2}$

Κρυσταλλικές Δομές Μετάλλων

Άσκηση: Δείξτε ότι ο συντελεστής ατομικής πλήρωσης για την κρυσταλλική δομή FCC είναι 0.74.

Απάντηση: APF = $\frac{Ολικός\ όγκος\ σφαιρών}{Ολικός\ όγκος\ μοναδιαιας\ κυψελιδας}$

Στο FCC έχουμε:

- 8 γωνιακά άτομα → 8 × 1/8 = 1
- 6 άτομα στη κάθε έδρα → 6 × 1/2 = 3

Σύνολο: **4 άτομα ανά μοναδιαία κυψελίδα**

Ο όγκος σφαίρας : V = 4/3πR^3 άρα ο συνολικός όγκος των σφαιρών είναι 4·(4/3πR^3) = $\frac{16}{3}\pi R^3$

Ξέρουμε ότι:

$\alpha^2 + \alpha^2 = (4R)^2 \rightarrow 2\alpha^2 = 16R^2 \rightarrow \alpha^2 = 8R^2 \rightarrow \alpha = \sqrt{8R^2}$

$\rightarrow \alpha = \sqrt{4 \cdot 2 \cdot R^2} \rightarrow \alpha = 2\sqrt{2}\, R$

Όγκος μοναδιαίας κυψελίδας

$$V_c = a^3 = \left(2R\sqrt{2}\right)^3$$

Άρα:

$$V_c = 8R^3 \cdot 2\sqrt{2}$$
$$V_c = 16R^3\sqrt{2}$$

$$APF = \frac{Ολικός\ όγκος\ σφαιρών}{Ολικός\ όγκος\ μοναδιαιας\ κυψελιδας} = \frac{\frac{16}{3}\pi R^3}{16R^3\sqrt{2}} = 0.74$$

Κρυσταλλικές Δομές Μετάλλων

Άσκηση: Ο χαλκός έχει ατομική ακτίνα 0.128 nm, κρυσταλλική δομή FCC και ατομικό βάρος 63.5 g/mol. Υπολογίστε την θεωρητική του πυκνότητα και συγκρίνετέ την με την πειραματική τιμή (8.94 g/cm^3).

Η θεωρητική πυκνότητα δίνεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{nA}{V_c N_A}$$

όπου:

- n = αριθμός ατόμων ανά μοναδιαία κυψελίδα
- A = ατομικό βάρος
- V_c =όγκος μοναδιαίας κυψελίδας
- N_A = αριθμός Avogadro

Για FCC ο αριθμός ατόμων στην μοναδιαία κυψελίδα είναι 4.
Ο όγκος της μοναδιαίας κυψελίδας είναι $V = 16R^3\sqrt{2}$
Για R=0.128 nm=$1.28\cdot10^{-8}$ cm → $V=16\sqrt{2}\,(1.28 \cdot 10^{-8})^3$

Άρα

$$\rho = \frac{(4)(63.5\ \mathrm{g/mol})}{[16\sqrt{2}(1.28 \times 10^{-8})^3](6.022 \times 10^{23})}$$

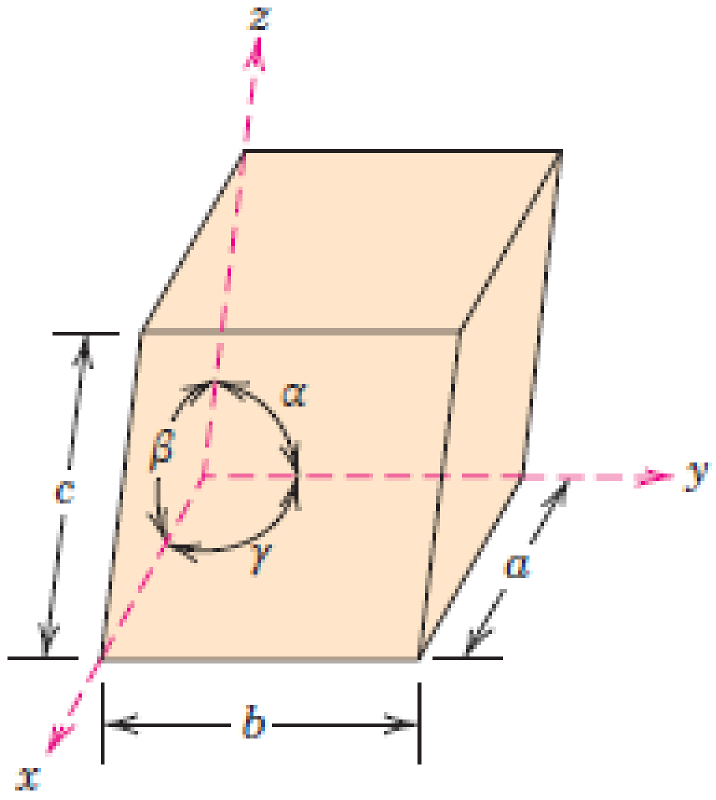
$$\rho = 8.89\ \mathrm{g/cm^3}$$

Κρυσταλλικά Συστήματα

Υπάρχουν πολλές δυνατές κρυσταλλικές δομές.

Για λόγους οργάνωσης, ταξινομούνται με βάση:

- τη γεωμετρία της μοναδιαίας κυψελίδας
- τις πλεγματικές παραμέτρους (lattice parameters)



Πλεγματικές Παράμετροι

Η γεωμετρία της κυψελίδας ορίζεται από:

Ακμές: a, b, c

Γωνίες: α, β, γ

Αυτές ονομάζονται **lattice parameters**.

Κρυσταλλικά Συστήματα

Υπάρχουν 7 Κρυσταλλικά Συστήματα

1.Κυβικό (Cubic)

2.Τετραγωνικό (Tetragonal)

3.Ορθορομβικό (Orthorhombic)

4.Ρομβοεδρικό (Trigonal)

5.Μονοκλινές (Monoclinic)

6.Τρικλινές (Triclinic)

7.Εξαγωνικό (Hexagonal)

❑ Κυβικό Σύστημα

$a = b = c$

$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

FCC και BCC ➞ Υψηλότερη συμμετρία

❑ Εξαγωνικό Σύστημα

$a = b \neq c$

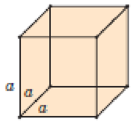
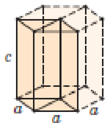
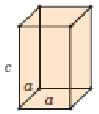
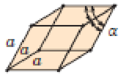
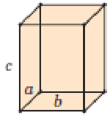
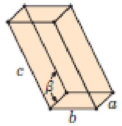
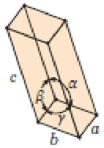
$\alpha = \beta = 90°$

$\gamma = 120°$

HCP

Table 3.2 Lattice Parameter Relationships and Figures Showing Unit Cell Geometries for the Seven Crystal Systems

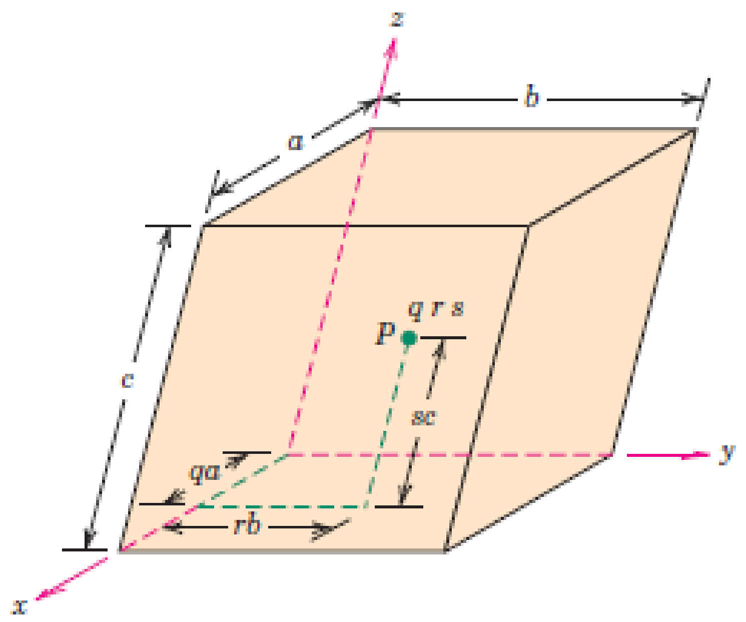
WileyPLUS: VMSE Crystal Systems and Unit Cells for Metals

Crystal System	*Axial Relationships*	*Interaxial Angles*	*Unit Cell Geometry*
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	
Rhombohedral (Trigonal)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	

Συντεταγμένες Σημείων

❑ Συντεταγμένες Σημείων

Για να ορίσουμε μια θέση μέσα στην κυψελίδα:
Χρησιμοποιούμε σύστημα αξόνων x, y, z με αρχή σε μία γωνία.



❑ Οι συντεταγμένες δίνονται ως:

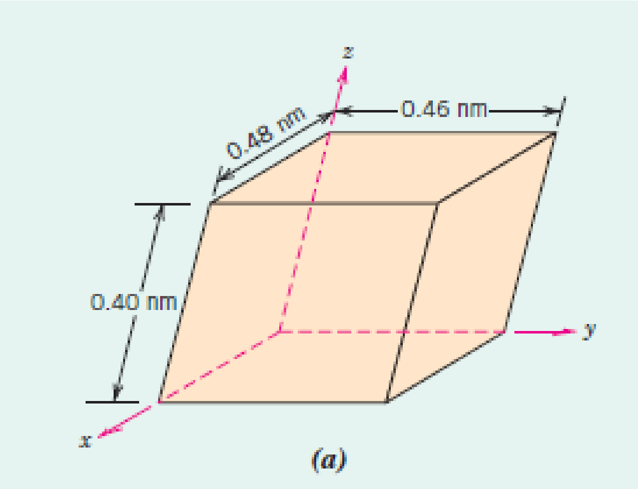
$$P_x = qa$$
$$P_y = rb$$
$$P_z = sc$$

Όπου:
q, r, s = κλασματικά πολλαπλάσια των ακμών

q = κλάσμα της ακμής a
r = κλάσμα της ακμής b
s = κλάσμα της ακμής c

Συντεταγμένες Σημείων

Άσκηση:
Για τη μοναδιαία κυψελίδα που φαίνεται στο σχήμα (α), να προσδιοριστεί η θέση του σημείου που έχει δείκτες $\frac{1}{4}\ 1\ \frac{1}{2}$



(a)

Απάντηση:
Από το σχήμα δίνονται τα μήκη ακμών της κυψελίδας :

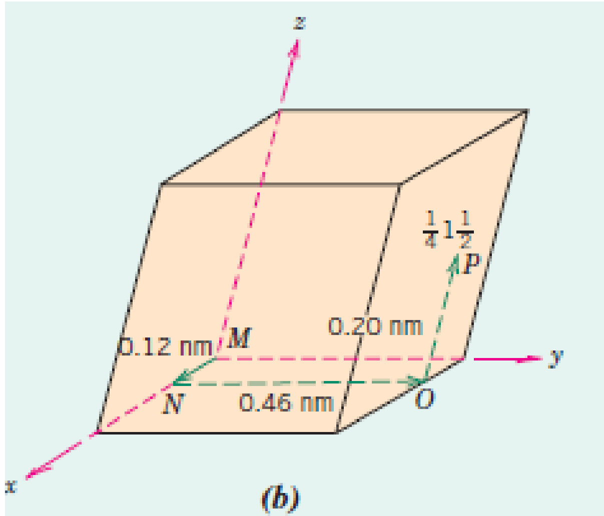
a = 0.48 nm
b = 0.46 nm
c = 0.40 nm

Οι δείκτες σημείου είναι:

q = κλάσμα της ακμής a = $\frac{1}{4}$
r = κλάσμα της ακμής b = 1
s = κλάσμα της ακμής c = $\frac{1}{2}$

Χρησιμοποιούμε τις σχέσεις των συντεταγμένων πλέγματος:

$$P_x = qa$$
$$P_y = rb$$
$$P_z = sc$$



(b)

Άρα:
Px=qa = ¼ (0.48 nm) = 0.12nm
Py=rb = 1 (0.46 nm) = 0.46 nm
Pz=sc = ½ (0.40 nm) = 0.20 nm

Κρυσταλλογραφικές Διευθύνσεις

- Μια κρυσταλλογραφική διεύθυνση όριζεται ως μια κατευθυντική γραμμή μεταξύ 2 σημειών, δηλαδή ως διάνυσμα

- Συμβολισμός: $[uvw]$

Οι δείκτες [u v w] περιγράφουν μια κρυσταλλογραφική διεύθυνση, δηλαδή:
- ένα διάνυσμα μέσα στη μοναδιαία κυψελίδα
- μια κατευθυντική γραμμή από ένα σημείο σε άλλο

- Υπολογισμός

1.Ορίζουμε σύστημα x-y-z
2.Βρίσκουμε «κεφαλή» και «ουρά»
3.Αφαιρούμε συντεταγμένες του σημείου ουράς από του σημείου κεφαλής
4.Διαιρούμε με a, b, c
5.Απλοποιούμε σε ακέραιους

$$\mathrm{u} = n\left(\frac{\mathrm{x}2 - x1}{a}\right)$$
$$v = n\left(\frac{y_2 - y_1}{b}\right)$$
$$w = n\left(\frac{z_2 - z_1}{c}\right)$$

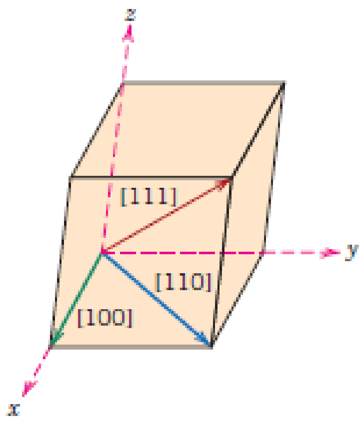


Figure 3.7 The [100], [110], and [111] directions within a unit cell.

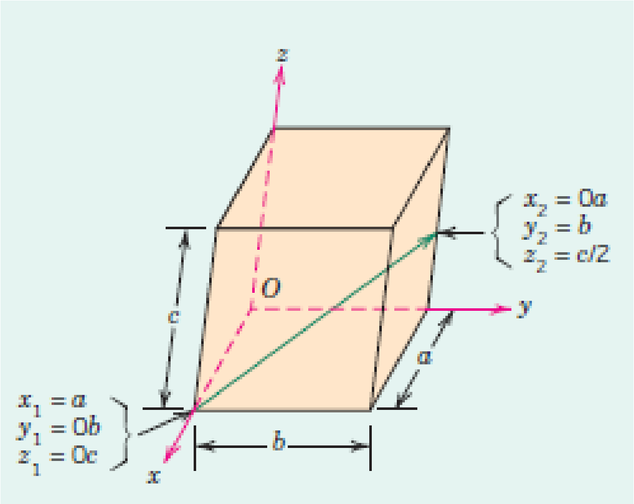
Αν πρόσημο είναι αρνητικό γράφεται με παύλα πάνω από τον αριθμό.

Ισοδύναμες Διευθύνσεις

Σε κυβικά κρυσταλλικά συστήματα: [100], [010], [001] είναι ισοδύναμες.

Κρυσταλλογραφικές Διευθύνσεις

Άσκηση: Να προσδιοριστούν οι δείκτες της διεύθυνσης που φαίνεται στο συνοδευτικό σχήμα.



Απάντηση:

Συντεταγμένες ουράς

x_1 = α, y_1 = 0b, z_1 = 0c

Συντεταγμένες κεφαλής

x_2 = 0a, y_2 = b, z_2 = c/2

Υπολογίζουμε την διαφορά τους

x_2-x_1 = 0α - α = -α

y_2-y_1 = b - 0b = b

z_2-z_1 = c/2 – 0c = c/2

Υπολογίζουμε τους τρεις δείκτες διεύθυνσης:

$$u = n\left(\frac{x2-x1}{a}\right) = 2\left(\frac{-a}{a}\right) = -2$$

$$v = n\left(\frac{y_2-y_1}{b}\right) = 2\left(\frac{b}{b}\right) = 2$$

$$w = n\left(\frac{z_2-z_1}{c}\right) = 2\left(\frac{c/2}{c}\right) = 2\,\frac{1}{2} = 1$$

Οι δείκτες διεύθυνσης γράφονται μέσα σε αγκύλες:

$$[\bar{2}\ 2\ 1]$$

Διευθύνσεις σε Εξαξωνικά Κρύσταλλα

❑ Εξαγωνικό Σύστημα

Οι τρεις άξονες δεν είναι ορθογώνιοι.

Χρησιμοποιείται σύστημα **Miller–Bravais (4 δεικτών)**

$$[uvtw]$$

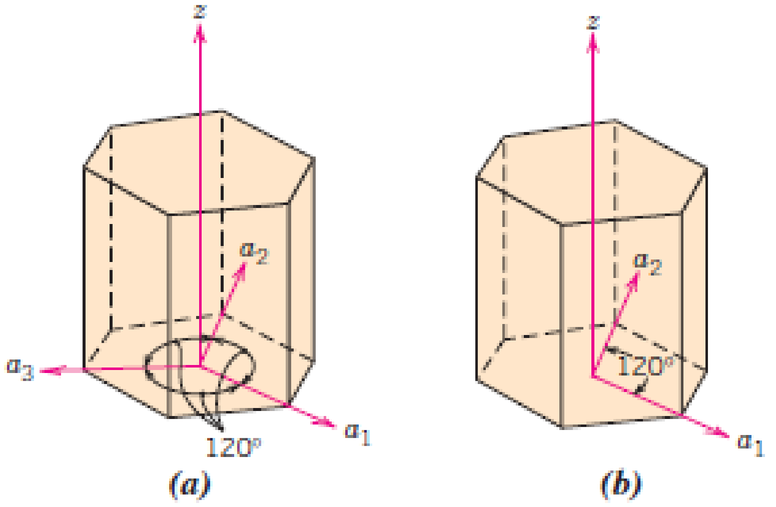
$$\mathrm{u} = \frac{1}{3}(2V - V)$$

$$v = \frac{1}{3}(2V - U)$$

$$t = -(u + v)$$

$$w = W$$

Figure 3.8 Coordinate axis systems for a hexagonal unit cell: (*a*) four-axis Miller–Bravais; (*b*) three-axis.



Κρυσταλλογραφικά Επίπεδα

❑ Ο προσανατολισμός ενός επιπέδου περιγράφεται με τους **δείκτες Miller (hkl)**.
Γράφονται σε παρενθέσεις:

$$(\boldsymbol{hkl})$$

❑ **Διαδικασία για να καθορίσουμε τους δείκτες**

- Βρίσκουμε τα σημεία τομής του επιπέδου με τους άξονες x, y, z → A, B, C
- Παίρνουμε τα αντίστροφα των τομών
- Πολλαπλασιάζουμε ώστε να γίνουν ακέραιοι
- Γράφουμε σε μορφή (hkl)

❑ Οι δείκτες μπορούν h, k και l μπορούν να καθοριστούν χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις

$$h = \frac{na}{A}$$

$$k = \frac{nb}{B}$$

$$l = \frac{nc}{C}$$

όπου n επιλέγεται ώστε οι δείκτες να γίνουν ακέραιοι.

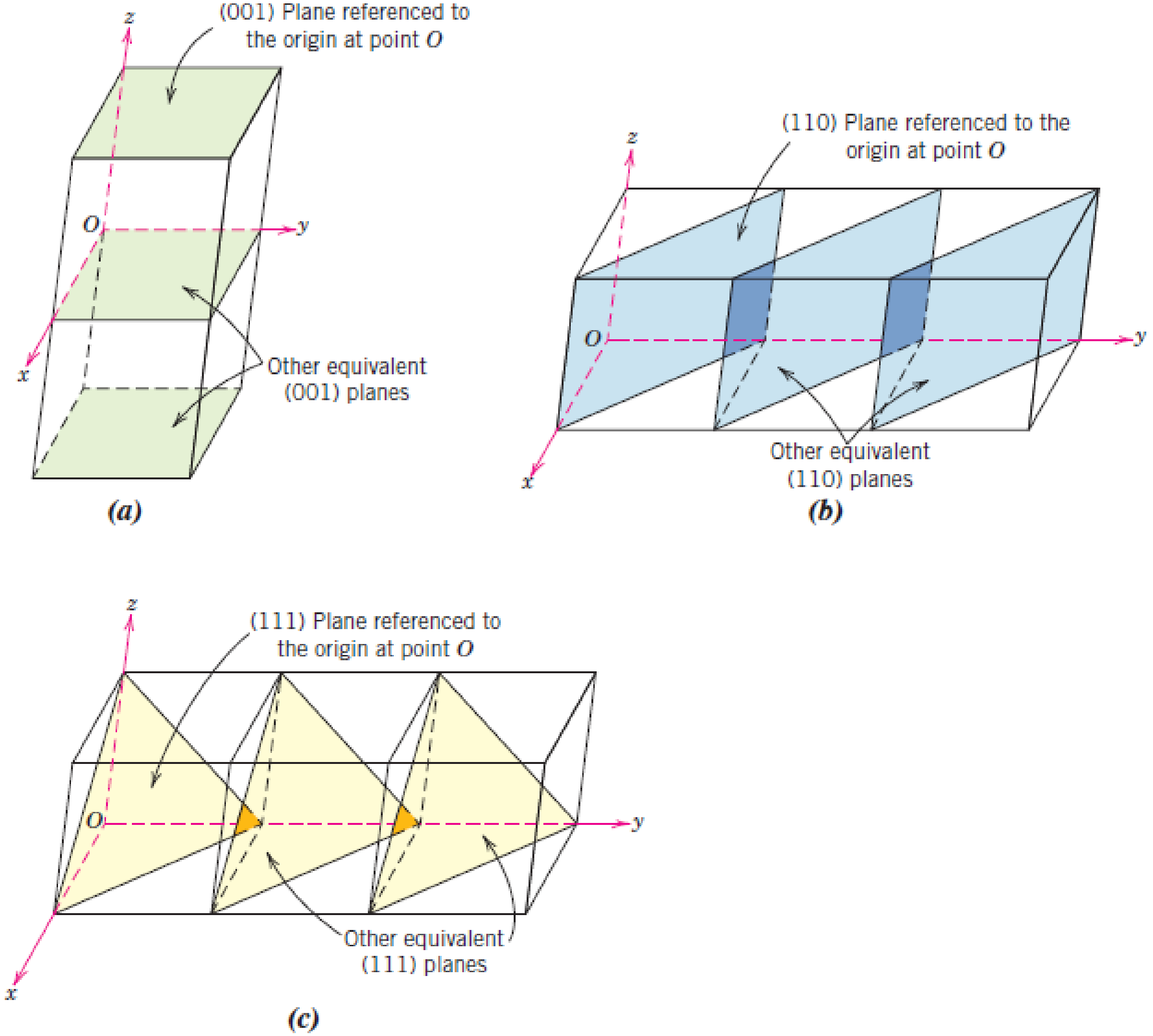
! Αν το επίπεδο είναι παράλληλο σε άξονα → δείκτης = 0

! Αρνητική τομή → παύλα πάνω από τον δείκτη

! Παράλληλα επίπεδα έχουν ίδιους δείκτες

Κρυσταλλογραφικά Επίπεδα

Figure 3.10
Representations of a series each of the (*a*) (001), (*b*) (110), and (*c*) (111) crystallographic planes.



Ισοδύναμες Διευθύνσεις – Ισοδύναμα Επίπεδα

Στο κυβικό σύστημα: $\boldsymbol{a = b = c}$

Ισοδύναμες διευθύνσεις

Μετατρέπονται η μία στην άλλη με περιστροφή του κύβου

- Έχουν ίδιο μήκος
- Έχουν ίδια φυσική σημασία

Συμβολίζονται με: $\langle uvw \rangle$

Παράδειγμα:

$$\langle 100 \rangle = [100], [010], [001], \textit{και αλλαγές πρόσημου}$$

$$\langle 110 \rangle = [110], [101], [011], \textit{και αλλαγές πρόσημου}$$

Ισοδύναμα Επίπεδα

Ισοδύναμα επίπεδα έχουν:

- Ίδια ατομική πυκνότητα
- Ίδιες φυσικές ιδιότητες

Συμβολίζονται με: $\{hkl\}$

Παράδειγμα:

$$\{100\} = (100), (010), (001)$$

$$\{110\} = (110), (101), (011)$$

$$\{111\} = (111), (1\bar{1}1), (\bar{1}11), \textit{κ.λπ.}$$

Κρυσταλλογραφικές Δομές Πυκνής Διάταξης

Δομές Πυκνής Συσκευασίας (Close-Packed Structures)
Στις μεταλλικές κρυσταλλικές δομές, οι δύο βασικές διατάξεις μέγιστης δυνατής επιστοίβασης είναι:

- Face-Centered Cubic (FCC)
- Hexagonal Close-Packed (HCP)

Και οι δύο παρουσιάζουν:

APF = 0.74

δηλαδή τη μέγιστη δυνατή διάταξη ίσων σφαιρών.

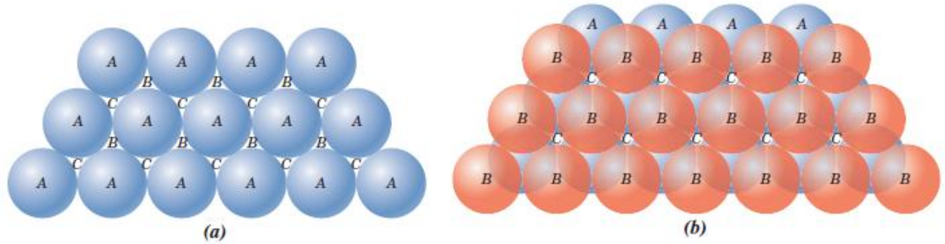


Figure 3.15 (*a*) A portion of a close-packed plane of atoms; *A*, *B*, and *C* positions are indicated. (*b*) The *AB* stacking sequence for close-packed atomic planes.
(Adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, John Wiley & Sons, 1964. Reproduced with permission of Janet M. Moffatt.)

- Τα κέντρα των ατόμων ενός επιπέδου συμβολίζονται ως **θέσεις A**.
- Πάνω από ένα πυκνό επίπεδο A υπάρχουν δύο δυνατές θέσεις:

Θέσεις B
Θέσεις C

Σε διαφορετικές τριγωνικές κενές θέσεις που σχηματίζονται ανάμεσα στα άτομα της πρώτης στρώσης.

- Η δεύτερη στρώση μπορεί να τοποθετηθεί:

είτε στις B θέσεις
είτε στις C θέσεις
Και οι δύο επιλογές είναι αρχικά **ισοδύναμες.**

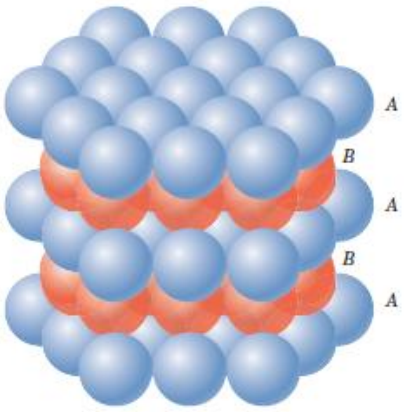
Κρυσταλλογραφικές Δομές Πυκνής Διάταξης

- **Δομή HCP**

Στη δομή HCP:
Η τρίτη στρώση τοποθετείται ακριβώς πάνω από την πρώτη.
Η ακολουθία στοίβαξης είναι:

$$ABABAB\ldots$$

Η γεωμετρία επαναλαμβάνεται κάθε δύο στρώσεις.
Τα πυκνά επίπεδα στη HCP είναι τύπου (0001)

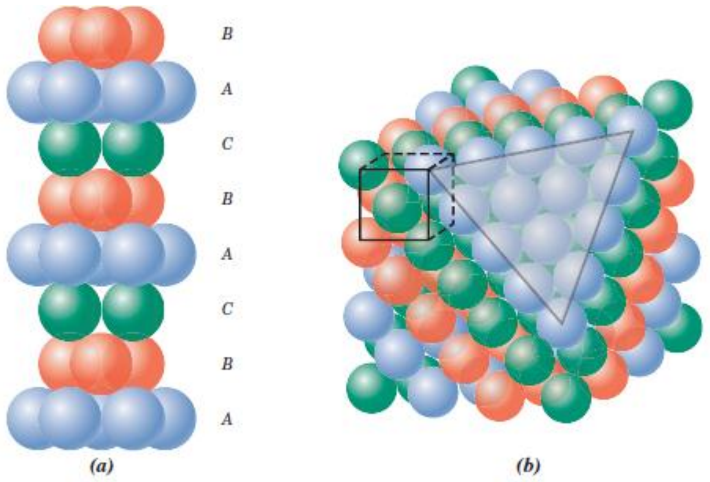


- **Δομή FCC**

Στη δομή FCC:
Η τρίτη στρώση δεν τοποθετείται πάνω από την πρώτη, αλλά σε νέα θέση C.
Η ακολουθία στοίβαξης είναι:

$$ABCABCABC\ldots$$

Η περιοδικότητα επαναλαμβάνεται κάθε τρεις στρώσεις.
Τα επίπεδα (111) είναι τα πυκνά συσκευασμένα επίπεδα.



Κρυσταλλικά και Μη Κρυσταλλικά Υλικά

❑ **Κρυσταλλικά και Μη Κρυσταλλικά Υλικά**

Τα στερεά υλικά διακρίνονται σε:

- Κρυσταλλικά
- Μη κρυσταλλικά (άμορφα)

Στα κρυσταλλικά υλικά, τα άτομα είναι διατεταγμένα με περιοδική και επαναλαμβανόμενη τάξη.

❑ **Μονοκρύσταλλοι (Single Crystals)**

Όταν η περιοδική και επαναλαμβανόμενη διάταξη των ατόμων:

- είναι τέλεια
- εκτείνεται σε όλο το δείγμα χώρις διακοπή → μονοκρύσταλλο

Σε ένα μονοκρύσταλλο όλες οι μοναδιαίες κυψελίδες συνδέονται με τον ίδιο τρόπο και έχουν τον ίδιο προσανατολισμό.

Οι μονοκρύσταλλοι απαντώνται στη φύση αλλά μπορούν και να παραχθούν τεχνητά.

Κρυσταλλικά Υλικά

Μονοκρύσταλλοι (Single Crystals)

- Εάν τα άκρα ενός μονοκρύσταλλου αφεθούν να αναπτυχθούν χωρις εξωγενείς περιορισμούς, ο κρύσταλλος
- αποκτά κανονικό γεωμετρικό σχήμα με επίπεδες έδρες.
- Το σχήμα του μονοκρυστάλλου είναι ενδεικτικό της κρυσταλλικής δομής
- Οι μονοκρύσταλλοι είναι ιδιαίτερα σημαντικά στη σύγχρονη τεχνολογία (π.χ. πυρίτιο σε ηλεκτρονικά μικροκυκλώματα).

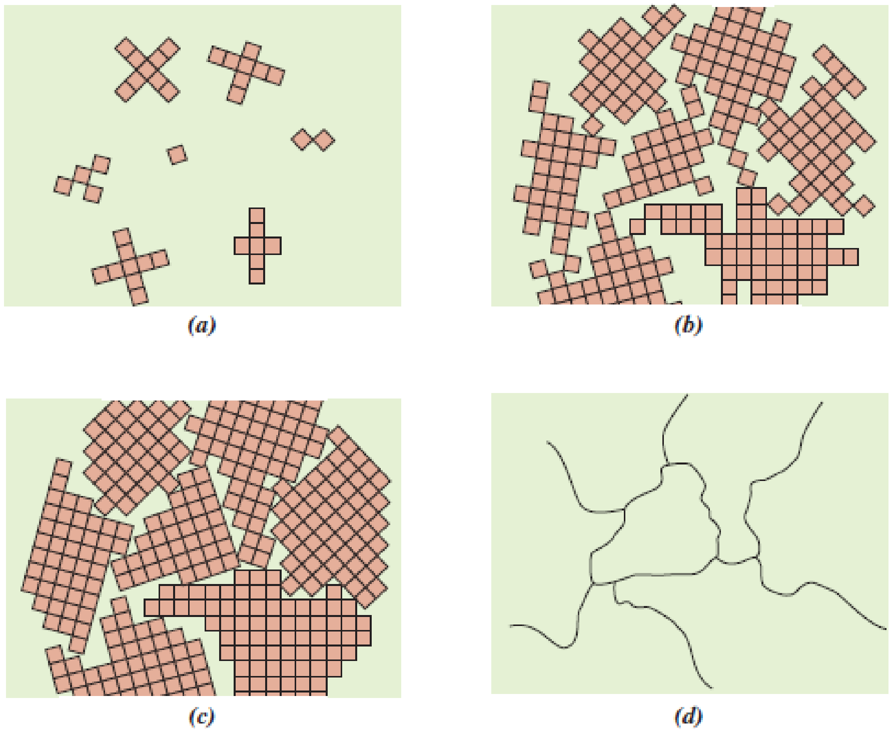
© William D. Callister, Jr.

Figure 3.18 An iron pyrite single crystal that was found in Navajún, La Rioja, Spain.

Κρυσταλλικά Υλικά

Τα περισσότερα κρυσταλλικά στερεά αποτελούνται από πολλούς μικρούς κρυστάλλους, ή κόκκους (grains) και ονομάζονται **πολυκρυσταλλικά.**

Κατά τη στερεοποίηση:
(α) Δημιουργούνται μικροί κρύσταλλοι (ή πυρήνες) με τυχαίους κρυσταλλογραφικούς προσανατολισμούς.
(β) Οι πυρήνες αναπτύσσονται σε κόκκους με σταδιάκη προσθήκη ατόμων στη δομή τους.
(γ) Οι γειτονικοί κόκκοι συναντώνται και ο σχηματισμός ολοκληρώνεται με ακανόνιστα σχήματα κόκκων.
(δ) Η κοκκώδης δομή όπως θα φαινόταν στο μικροσκόπιο
Οι περιοχές συνάντησης ονομάζονται **όρια κόκκων (grain boundaries)**



Ανισοτροπία

Σε μονοκρυσταλλικά υλικά:
Οι φυσικές ιδιότητες εξαρτώνται από την κρυσταλλογραφική διεύθυνση.
Όπως:

- Το μέτρο ελαστικότητας
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα

μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές στις διευθύνσεις [100], [110], [111].
Αυτή η κατευθυντικότητα των ιδιοτήτων ονομάζεται ανισοτροπία

Ισοτροπία
Ένα υλικό είναι ισοτροπικό όταν:

- Οι ιδιότητές του είναι ανεξάρτητες από τη διεύθυνση μέτρησης.

Στα πολυκρυσταλλικά υλικά:

- Αν οι κόκκοι είναι τυχαία προσανατολισμένοι το συνολικό υλικό συμπεριφέρεται ισοτροπικά.
- Η μετρούμενη ιδιότητα είναι μέσος όρος των τιμών από όλες τις διευθύνσεις.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!