



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Υλικά

Ενότητα 3: Καταστάσεις πολυμερών και ελαστική συμπεριφορά ελαστομερών

*Νικόλαος Ζαχαρόπουλος
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης
Προϊόντων και Συστημάτων*



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

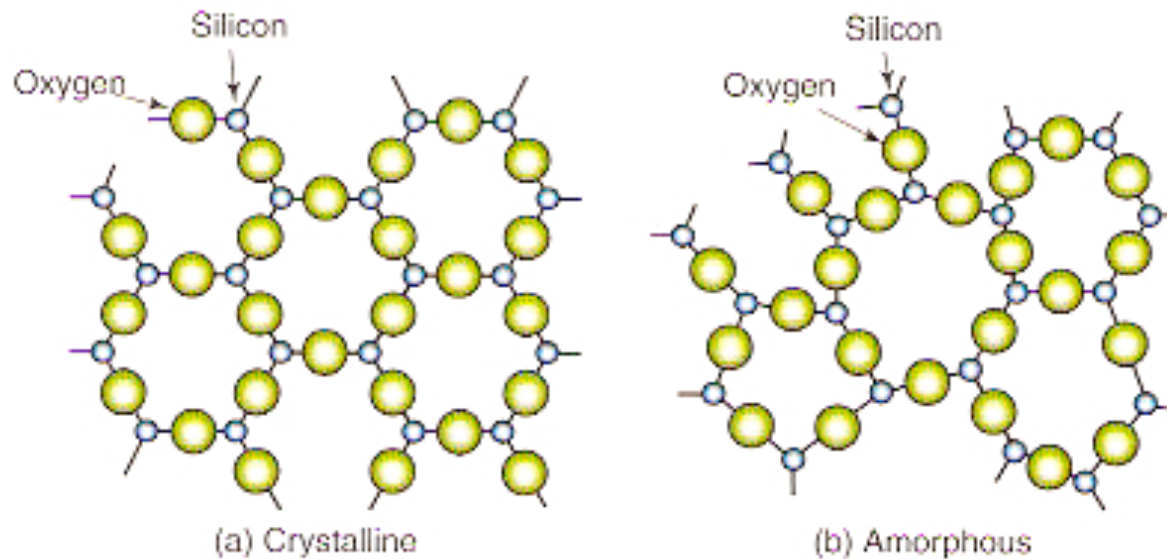
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Στοιβάξη των ατόμων στα υλικά

Οι δομικές μονάδες (άτομα, ιόντα, μόρια) που αποτελούν ένα υλικό είτε στοιβάζονται σε κανονικά, περιοδικά, επαναλαμβανόμενα τριδιάστατα μοτίβα (κρυσταλλικά), είτε βρίσκονται σε τυχαία διάταξη στον χώρο (γυαλιά ή άμορφα)



κρυσταλλικός χαλαζίας

άμορφο πυριτικό γυαλί

Κρύσταλλοι και κρυσταλλίτες (κόκκοι) [1]



τα άτομα στοιβάζονται σε κρυστάλλους (σε κατάλληλες συνθήκες)
για να μειώσουν την ενέργεια του υλικού

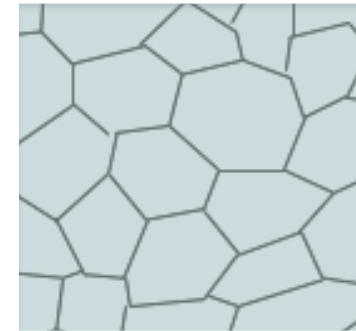
Κρύσταλλοι και κρυσταλλίτες (κόκκοι) [2]



κρύσταλλος γύψου

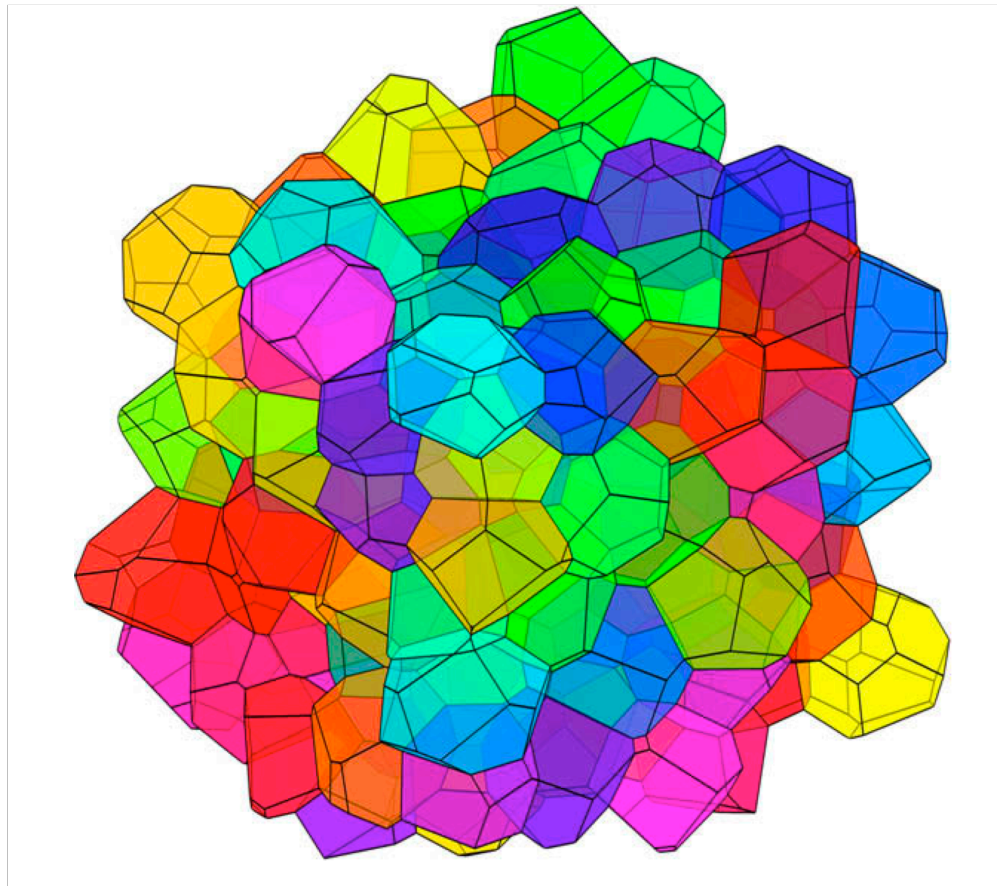


συνοθήλευμα κρυστάλλων



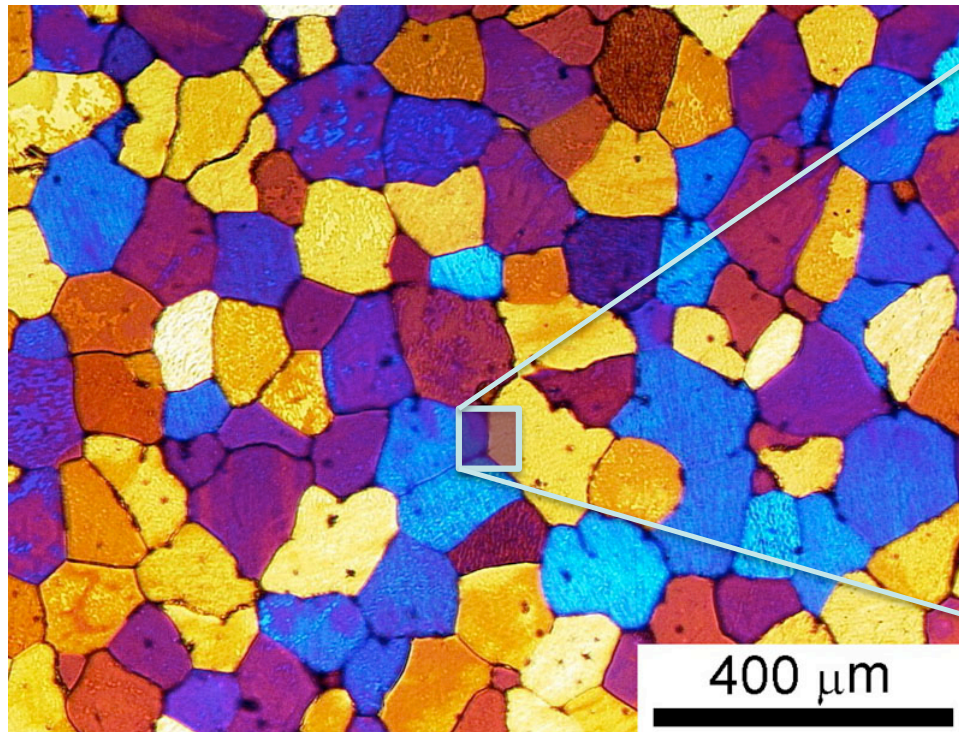
κρυσταλλίτες (κόκκοι)
διαχωρίζονται από
όρια κόκκων

Κρύσταλλοι και κρυσταλλίτες (κόκκοι) [3]



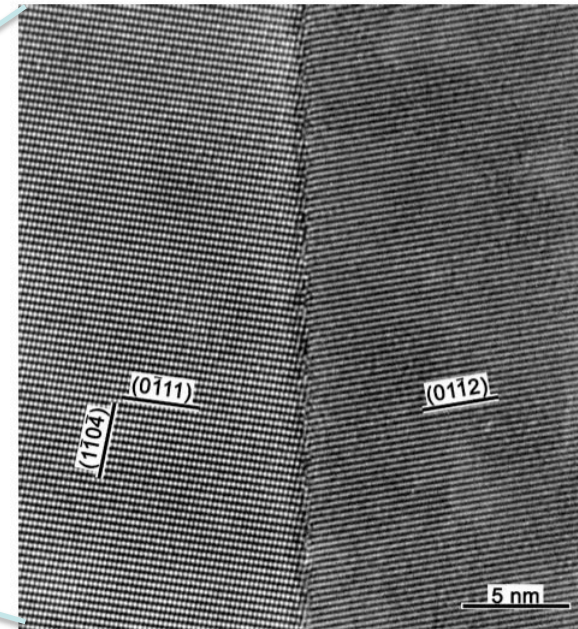
κάθε κόκκος αναπτύσσεται από μια τοπική τακτική συγκέντρωση ατόμων (πυρήνας) – καθώς οι κόκκοι αναπτύσσονται συναντούν τους γείτονές τους στα όρια των κόκκων

Κρύσταλλοι και κρυσταλλίτες (κόκκοι) [4]



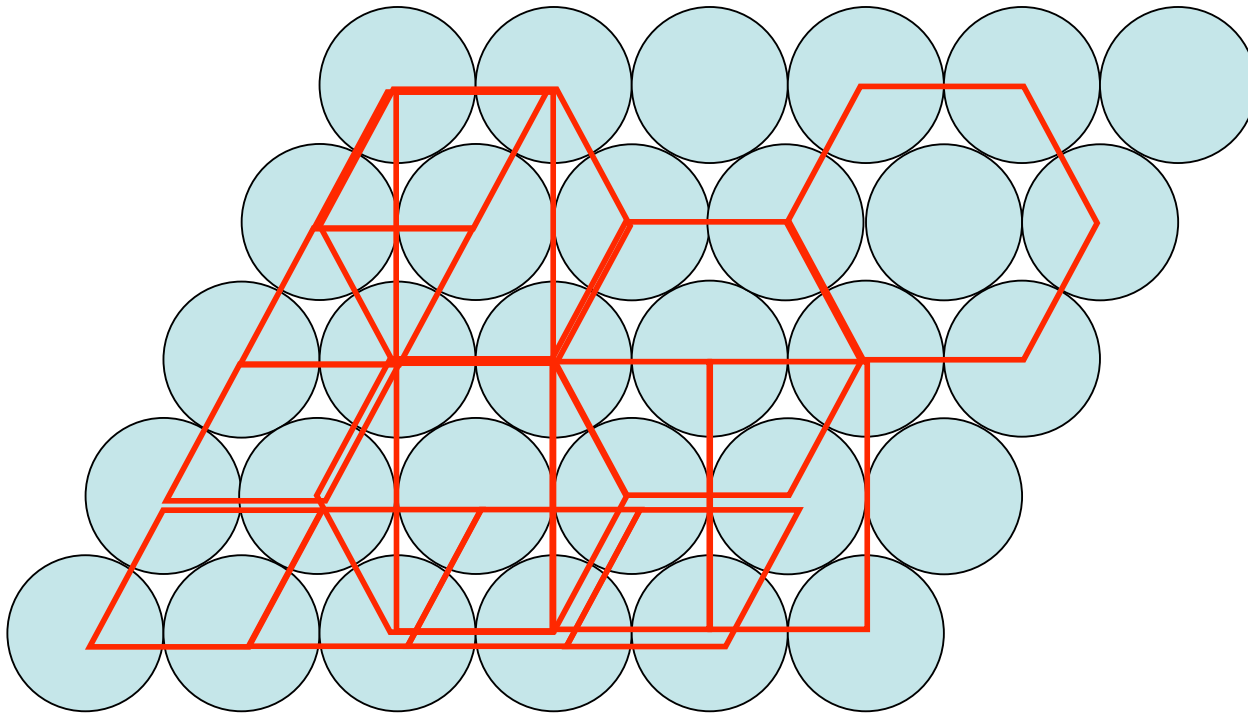
http://www.doitpoms.ac.uk/miclib/full_record.php?id=712

στα όρια των κόκκων συναντώνται ξεχωριστοί κρύσταλλοι του υλικού με πανομοιότυπη κρυσταλλική δομή αλλά διαφορετικό προσανατολισμό



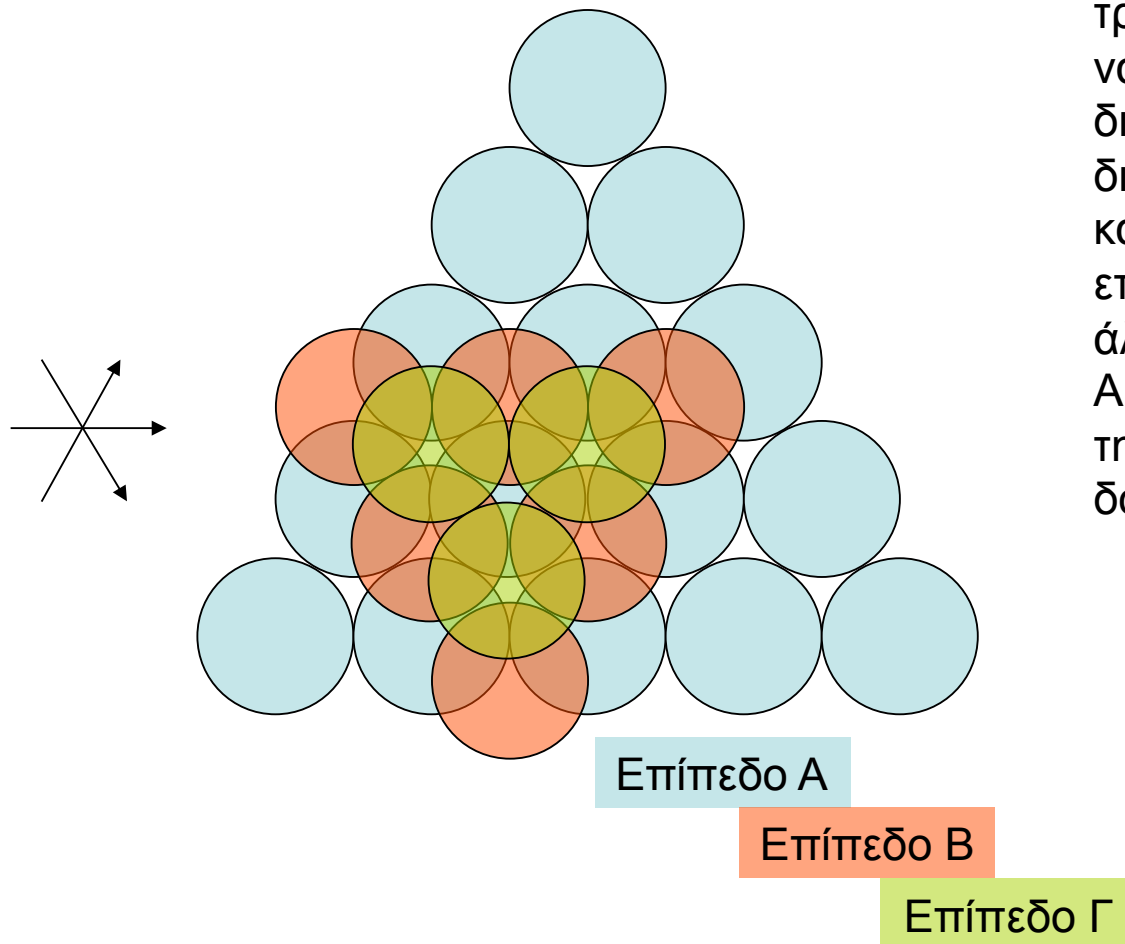
H. Yoshida, Y. Ikuhara, T. Sakuma, M. Sakurai & E. Matsubara, X-ray absorption fine-structure study on the fine structure of lutetium segregated at grain boundaries in fine-grained polycrystalline alumina, *Phil. Mag.*, 84(9): 865 – 876, 2004

Διάταξη των ατόμων σε επαναλαμβανόμενα μοτίβα

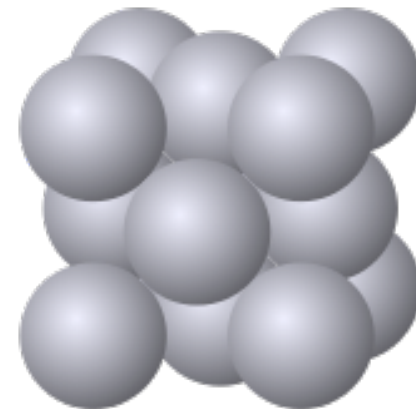


το μοτίβο μπορεί να περιγραφεί από διάφορα γεωμετρικά σχήματα που γεμίζουν τον χώρο – το απλούστερο από αυτά είναι η στοιχειώδης κυψελίδα

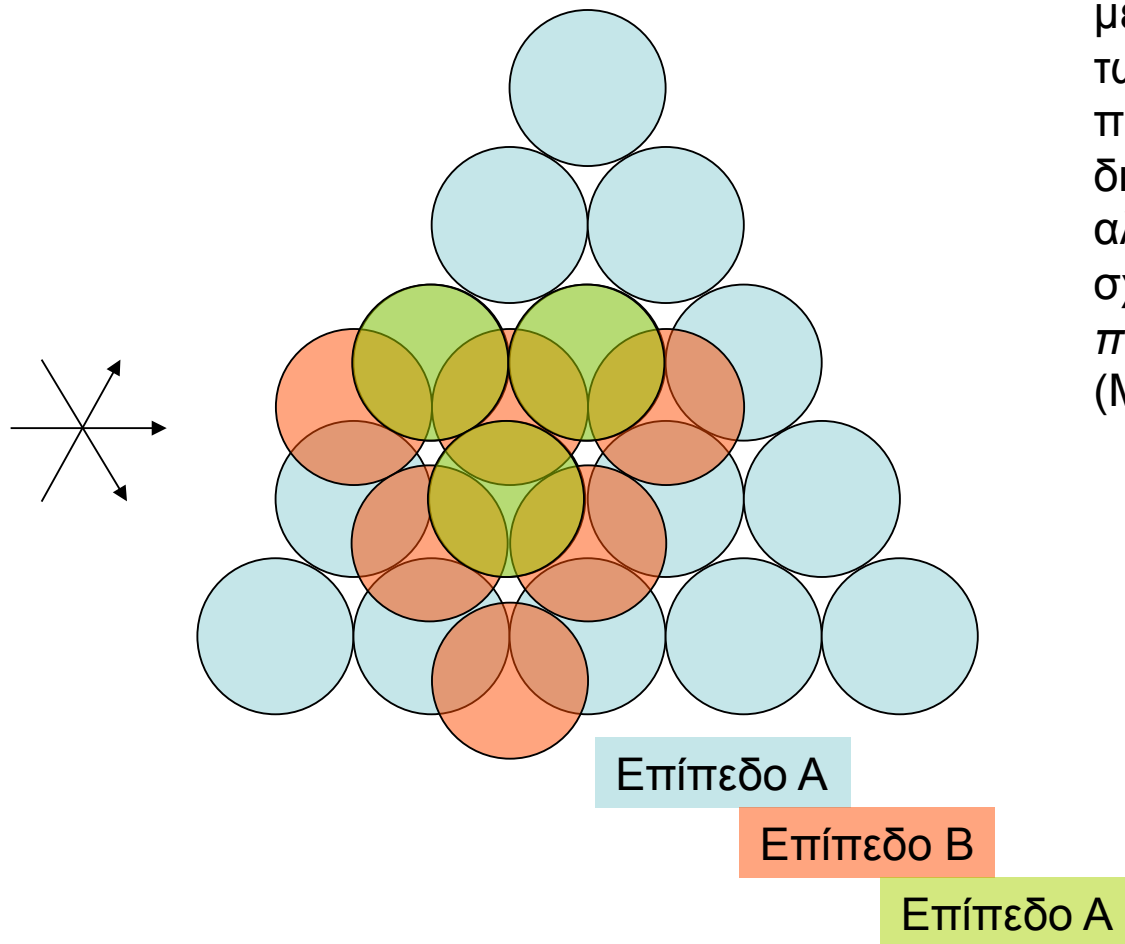
Δομές μέγιστης πυκνότητας (1)



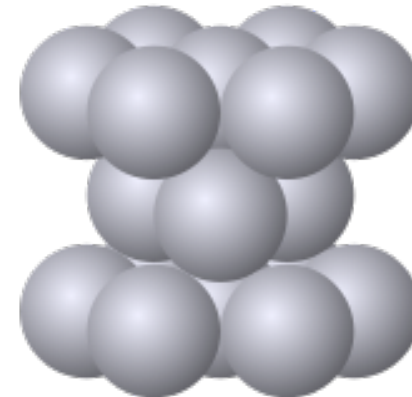
τριδιάστατα μοτίβα μπορούν να κατασκευαστούν από διάταξη των ατόμων σε διδιάστατα ατομικά επίπεδα και την στοίβαξη των επιπέδων το ένα πάνω στο άλλο – π.χ.: η αλληλουχία ΑΒΓΑΒΓΑΒΓ... σχηματίζει την *εδροκεντρωμένη κυβική δομή* (Al, Cu, Ni)



Δομές μέγιστης πυκνότητας (2)



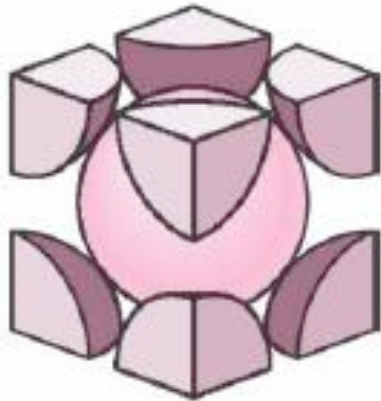
με αλλαγή της αλληλουχίας των επιπέδων μέγιστης πυκνότητας σχηματίζεται διαφορετική δομή – π.χ.: η αλληλουχία ABABAB... σχηματίζει την *μέγιστης πυκνότητας εξαγωνική* δομή (Mg, Zn, Ti)



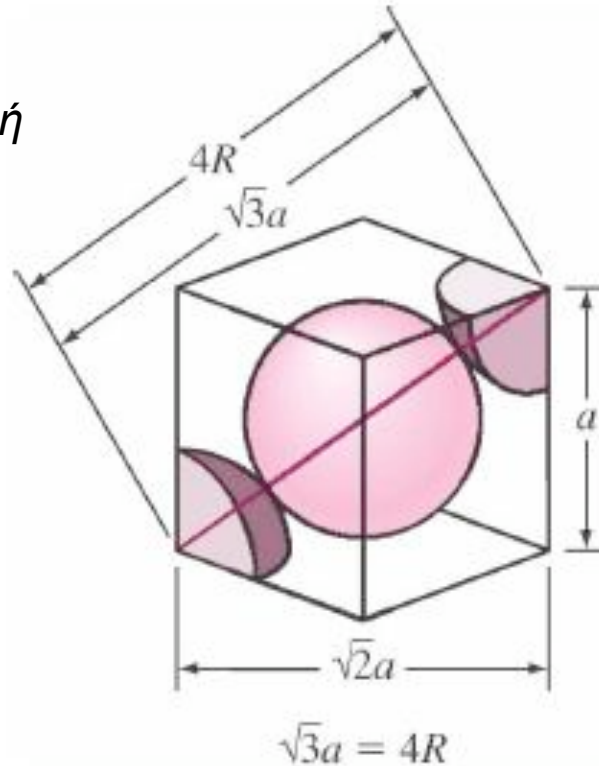
Κοινές κρυσταλλικές δομές– στοιχειώδης κυψελίδα – παράγοντας ατομικής πλήρωσης (1)

ένα κρυσταλλικό σύστημα περιγράφεται από την στοιχειώδη κυψελίδα (ή μοναδιαία κυψελίδα)

χωροκεντρωμένη κυβική



δεν είναι μέγιστης
πυκνότητας –
κατευθυντικοί δεσμοί



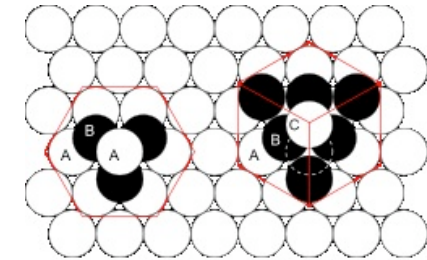
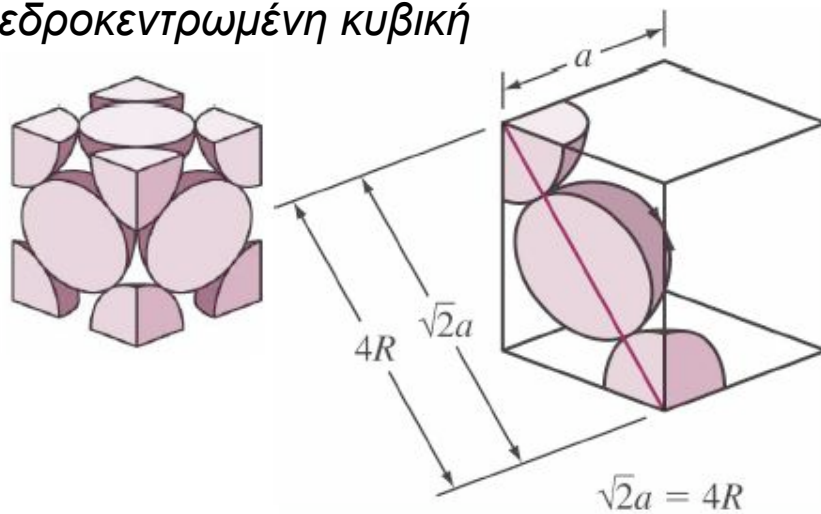
α : πλεγματική σταθερά

παράγοντας ατομικής
πλήρωσης: το ποσοστό
κάλυψης του χώρου

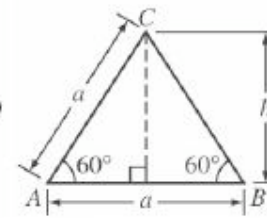
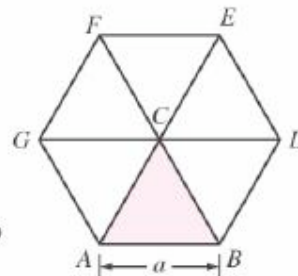
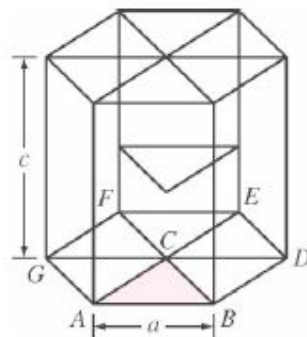
$$\begin{aligned} \text{APF} &= \frac{N_{\text{ατομων}} V_{\text{ατομων}}}{V_{\text{κρυσταλλου}}} \\ &= \frac{2(4/3)\pi r^3}{(4r/\sqrt{3})^3} \\ &= \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \approx 0.68 \end{aligned}$$

Κοινές κρυσταλλικές δομές– στοιχειώδης κυψελίδα – παράγοντας ατομικής πλήρωσης (2)

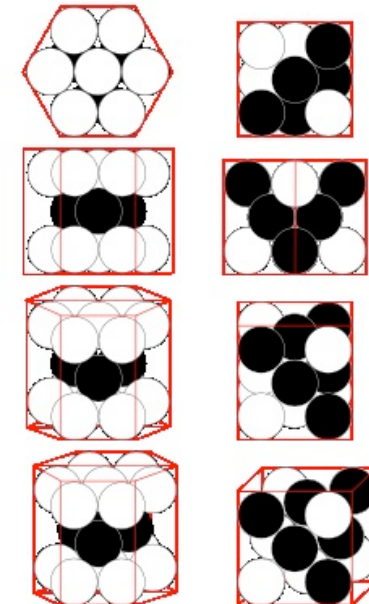
εδροκεντρωμένη κυβική



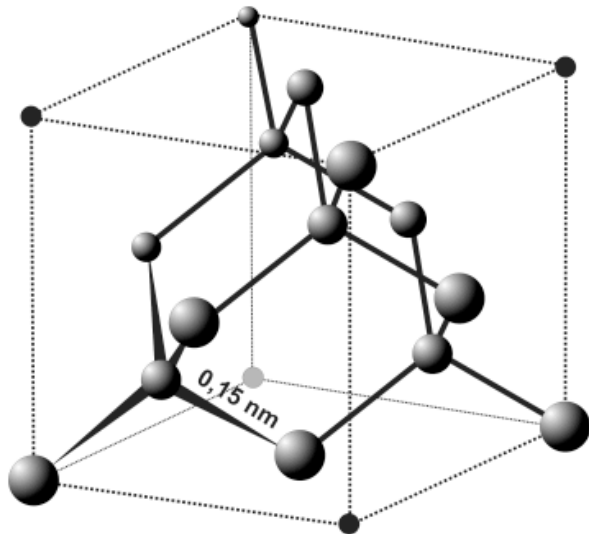
μέγιστης πυκνότητας εξαγωνική



APF ≈ 0.74

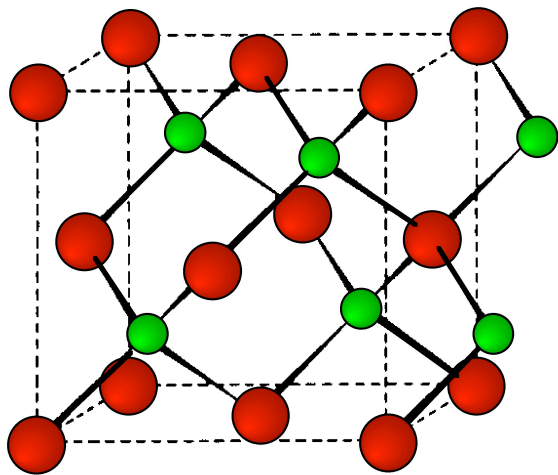


Άλλες κρυσταλλικές δομές

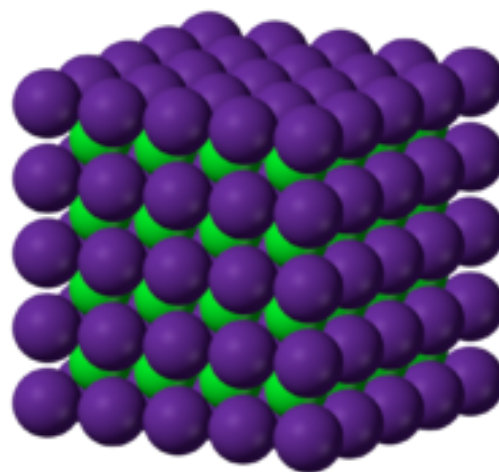


κυβικό διαμαντιού

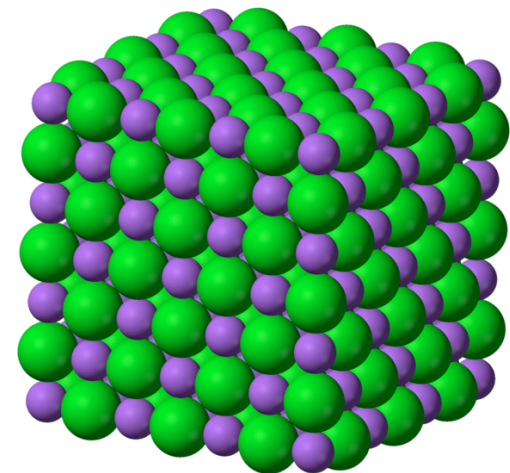
$$APF \approx 0.34$$



ZnS



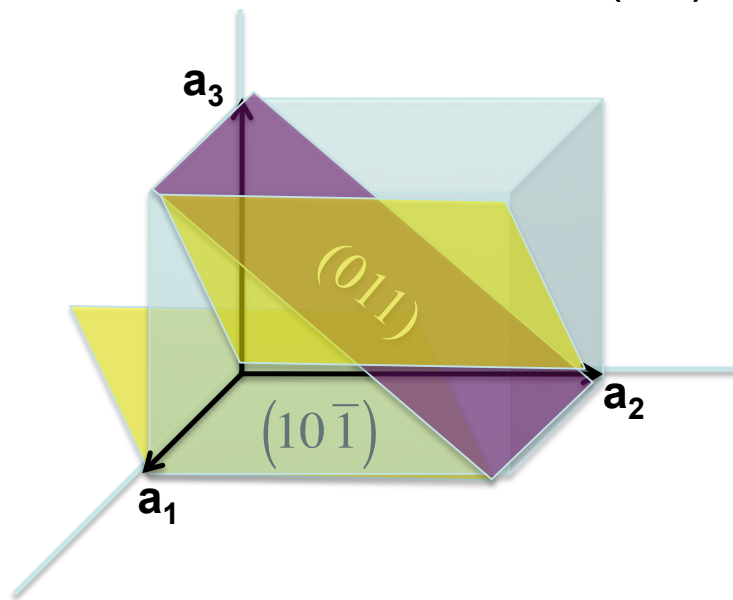
CsCl



NaCl

Κρυσταλλογραφία (1)

οι πολύπλοκες κρυσταλλικές δομές περιγράφονται μέσω δεικτών που χαρακτηρίζουν τις κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις $[hkl]$ και τα κρυσταλλογραφικά επίπεδα (hkl) (δείκτες Miller)



οι δείκτες Miller προκύπτουν ως εξής:

- 1) μετακινούμε το επίπεδο παράλληλα στον εαυτό του έτσι ώστε να μην διέρχεται από άξονα
- 2) εντοπίζουμε τα σημεία όπου το επίπεδο τέμνει τον κάθε άξονα
- 3) αντιστρέφουμε τα σημεία τομής και διαιρούμε με τον μέγιστο κοινό διαιρέτη (τα αρνητικά σημεία τομής συμβολίζονται με μια παύλα πάνω από τον δείκτη)

επίπεδα με αντίθετους δείκτες είναι ισοδύναμα

$$(10\bar{1}) \quad (\bar{1}01)$$

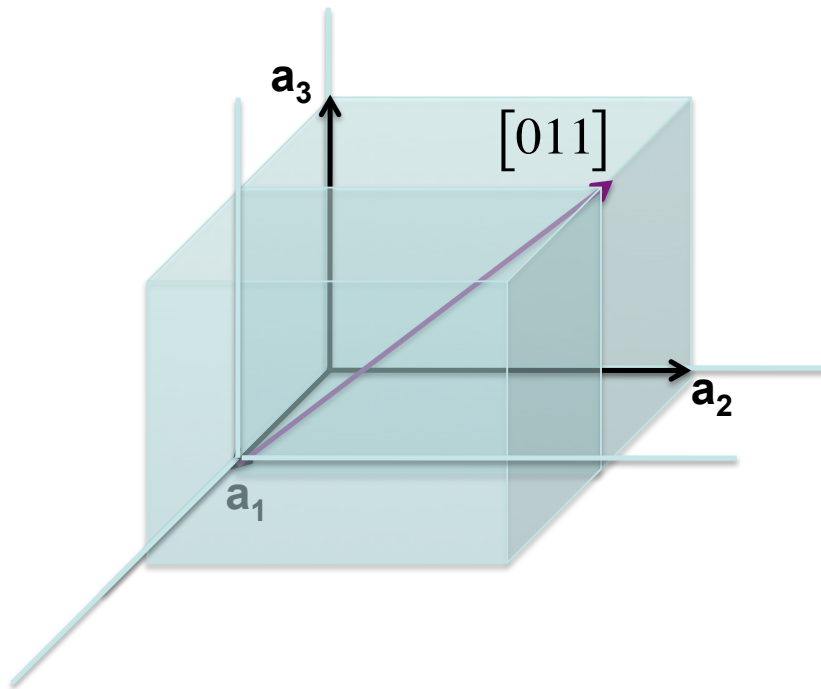
στις κυβικές δομές επίπεδα με δείκτες αντιμεταθετειμένους είναι ισοδύναμα (ανήκουν στην ίδια οικογένεια)

$$\{110\}$$

Κρυσταλλογραφία (2)

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

στις κυβικές δομές η απόσταση d μεταξύ γειτονικών επιπέδων (hkl) είναι



οι κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις προκύπτουν ως εξής:

- 1) μετακινούμε την διεύθυνση παράλληλα στον εαυτό της έτσι ώστε να διέρχεται από την αρχή των αξόνων
- 2) εντοπίζουμε τις συντεταγμένες ενός σημείου της
- 3) πολλαπλασιάζουμε με τον ελάχιστο κοινό παρανομαστή (τα αρνητικά σημεία τομής συμβολίζονται με μια παύλα πάνω από τον δείκτη)

διευθύνσεις με αντίθετους δείκτες είναι ισοδύναμες

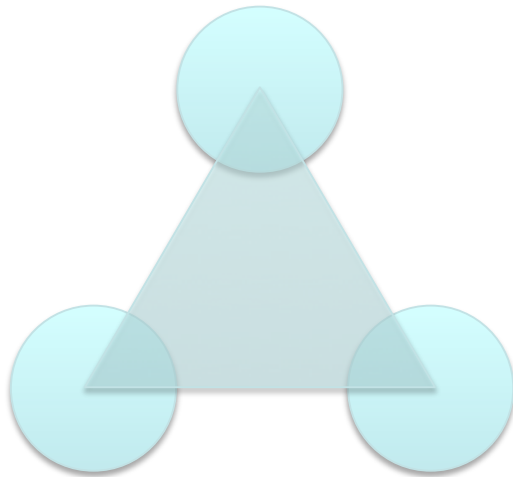
$$[011] \quad [0\bar{1}\bar{1}]$$

στις κυβικές δομές διευθύνσεις με δείκτες αντιμεταθετειμένους είναι ισοδύναμες (ανήκουν στην ίδια οικογένεια)

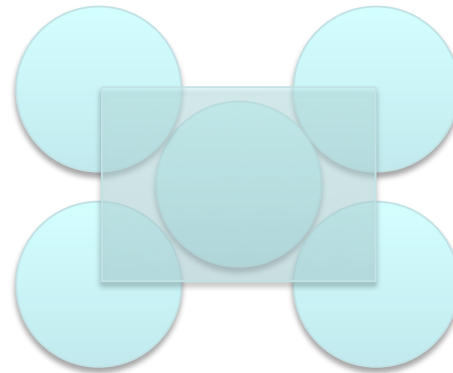
$$\langle 110 \rangle$$

Κρυσταλλογραφία (3)

ΧΚΚ



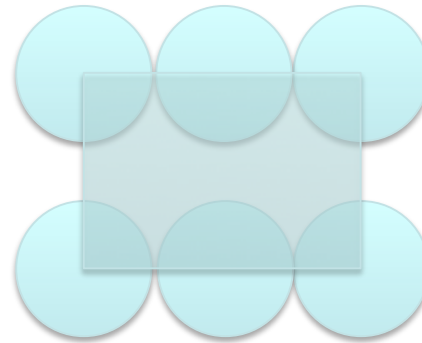
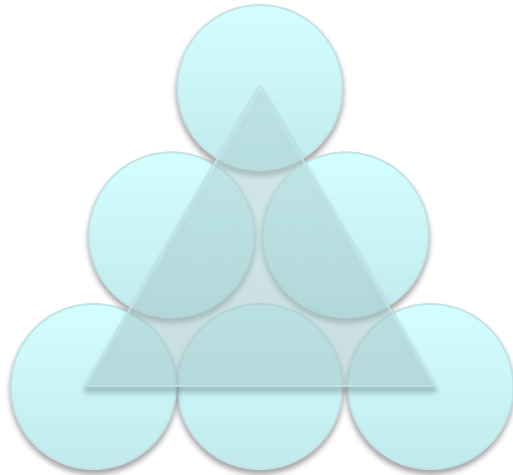
(111)



(101)

στα επίπεδα
ανήκουν άτομα
όταν περιέχονται
τα κέντρα τους

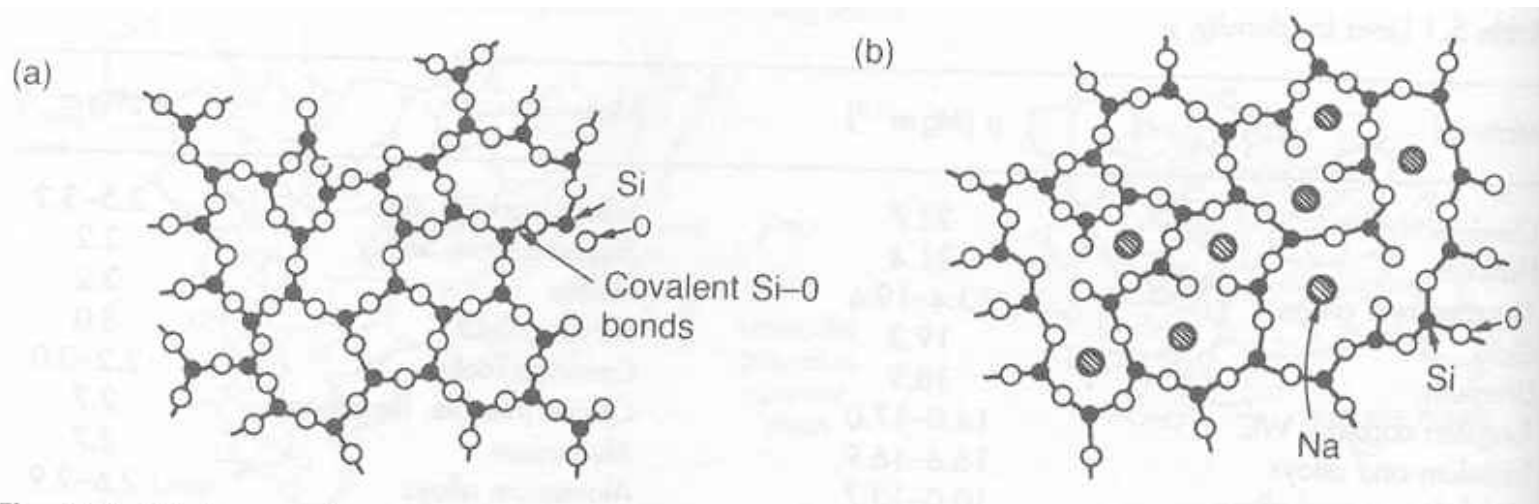
ΕΚΚ



Άμορφα υλικά (γυαλιά)

σε πολύ ειδικές συνθήκες είναι δυνατόν να παραχθούν άμορφα μέταλλα σε μορφή ινών ή φύλλων

άμορφα είναι κυρίως πυριτιούχες ενώσεις (κοινά γυαλιά) και πολυμερή



στα άμορφα απουσιάζει τάξη μακράς εμβέλειας και η δομές είναι πιο ανοιχτές

Πυκνότητα

το εύρος στην πυκνότητα οφείλεται κυρίως στο εύρος του ατομικού βάρους των στοιχείων που συνιστούν το υλικό

λόγω μη κατευθυντικού δεσμού τα μέταλλα σχηματίζουν τις πυκνότερες δομές

λόγω ελαφρών στοιχείων και απουσίας κρυσταλλικότητας τα πολυμερή έχουν την χαμηλότερη πυκνότητα

M.F. Ashby and D.R.H. Jones,
Engineering Materials 1, Butterworth
– Heinemann, Oxford, 1980

