



# ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ενότητα 3: ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΔΟΜΗΣ

ΛΙΤΣΑΡΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΤΗΜΜΥ



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# 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 Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» 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.





# ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΔΟΜΗΣ



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας

1. Ατέλειες στη κρυσταλλική δομή
  - i. Σημειακές ατέλειες.
  - ii. Γραμμικές ατέλειες.
  - iii. Επίπεδες ατέλειες.
  - iv. Ατέλειες όγκου.
  - v. Υπολογισμός ατελειών.
  - vi. Μέθοδοι παρατήρησης ατελειών.
  - vii. Διάχυση.



# Σκοποί ενότητας

- Να μπορούν οι φοιτητές να ορίζουν την ατέλεια δομής.
- Να μπορούν οι φοιτητές να ταξινομούν τις ατέλειες δομής.
- Να μπορούν οι φοιτητές να υπολογίζουν το ποσοστό ατελειών δομής.
- Να μπορούν οι φοιτητές να ορίζουν το φαινόμενο της διάχυσης και να διατυπώνουν το νόμο του Fick.



# ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΔΟΜΗΣ

Ορίζουμε ως ατέλεια ή σφάλμα ή αταξία την απόκλιση από την ιδανική θέση. Οι ατέλειες στην κρυσταλλική δομή ενός υλικού διακρίνονται σε:

- Σημειακές.
- Γραμμικές.
- Επίπεδες.
- Όγκου.



# ΘΕΡΜΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

Μετατόπιση των ατόμων γύρω από θέση ισορροπίας  
(στην θερμοκρασία δωματίου:  $\nu \sim 10^{13}$  Hz,  $A \sim 0,001$  nm)

- είναι δομική ατέλεια;
- Τι είναι η θερμοκρασία;

*μέση τιμή της ενέργειας λόγω θερμικής ταλάντωσης*

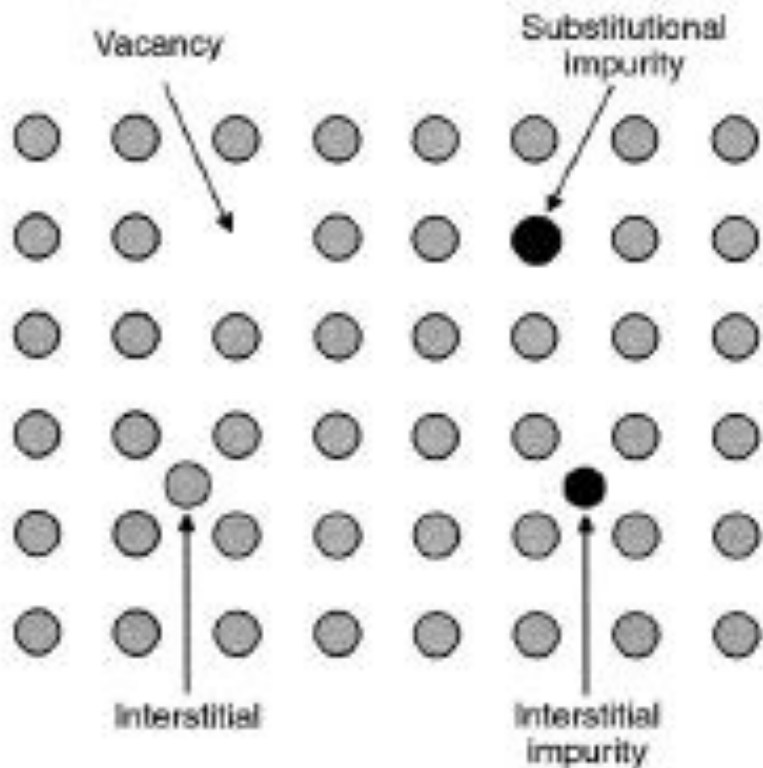
➤ Υπάρχει κατανομή συχνοτήτων και πλάτους ταλάντωσης.

➤ Η θερμική ταλάντωση συνδέεται με την αγωγιμότητα, τη μεταβολή της ηλ. αντίστασης με τη θερμοκρασία, τη θερμοχωρητικότητα, την ειδική θερμότητα.





# ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ

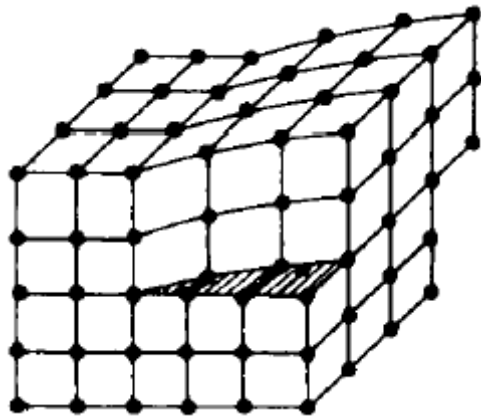
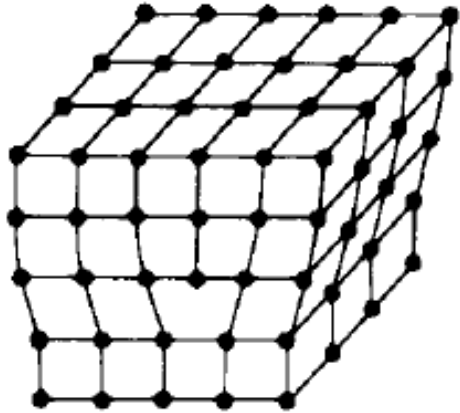


Μόνιμη μετατόπιση του ατόμου

1. Πλεγματικό κενό (σφάλμα Schottky).
2. Άτομο πρόσμιξης.
  - a. παρεμβολή (ενδόθετο)
  - b. υποκατάσταση (διαφορετικό στοιχείο)
3. Κενό + παρεμβολή = σφάλμα Fresnel.



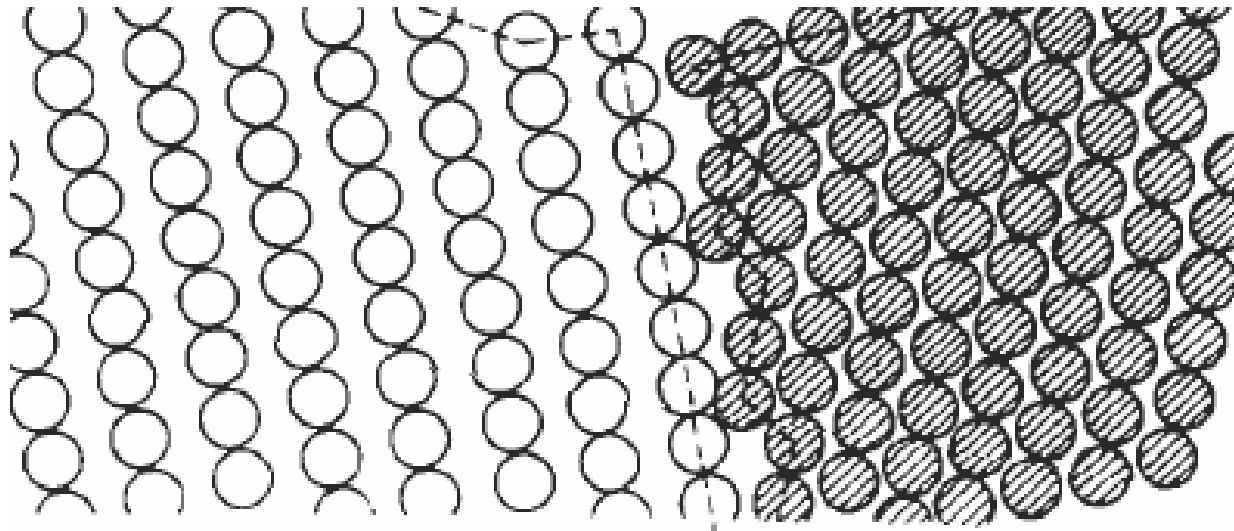
# ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ



- Μηχανικές ή μετασχηματισμού φάσεων, όχι θερμικές.
- Δεν αφαιρούνται με ανόπτηση – επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες.
- «εξαρμόσεις» (dislocations).
  - ακμής (edge)
  - κοχλιωτές (screw)



# ΕΠΙΠΕΔΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ - ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ

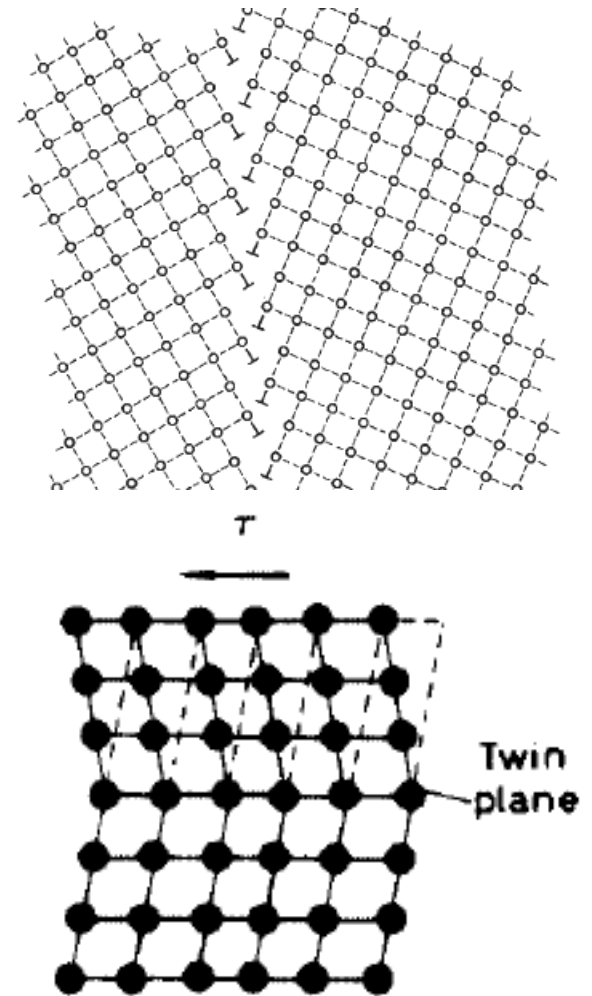


- Εξωτερικές (διεπιφάνειες με άλλες φάσεις).
- Ελεύθεροι δεσμοί = αυξημένη ενέργεια (επιφανειακή).

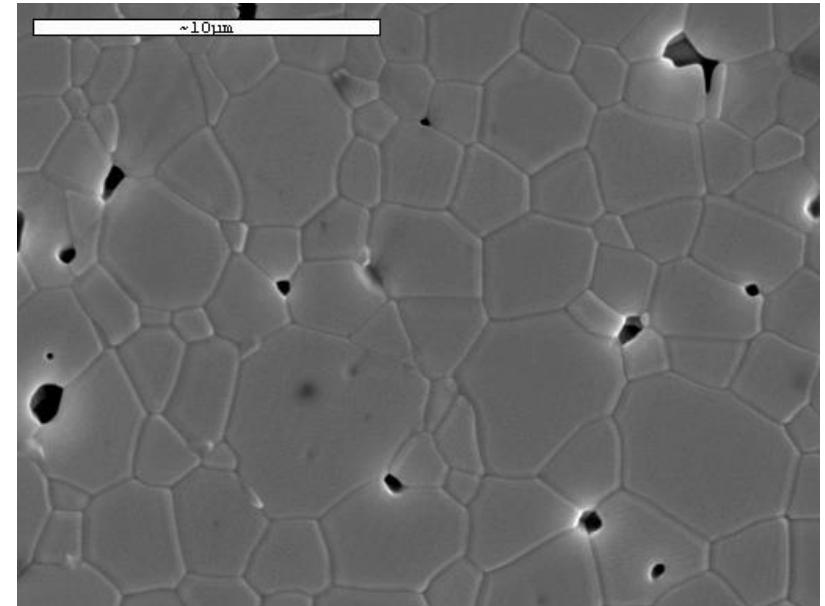
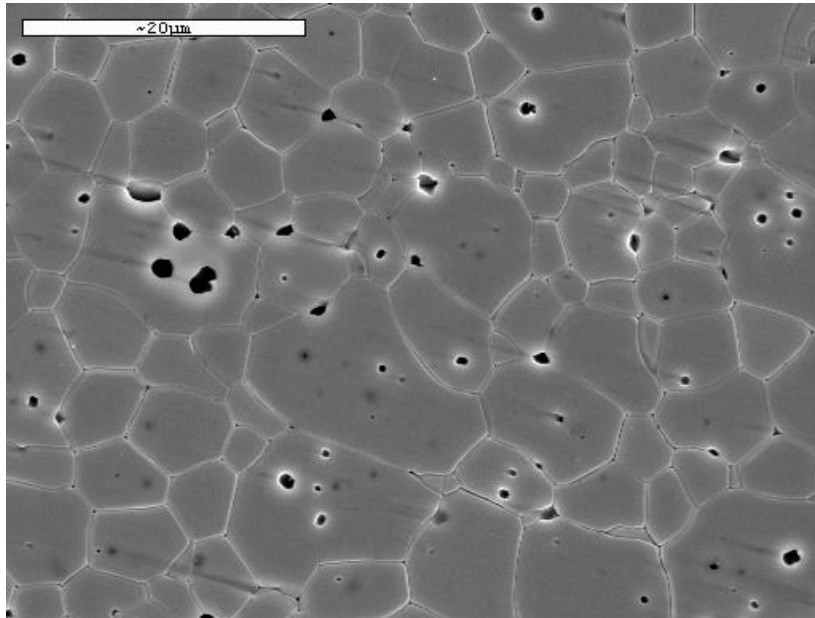


# ΕΠΙΠΕΔΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ - ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ

- Όρια κόκκων (σφάλματα στοίβαξης).
- Διδυμίες (twins).
- Στα όρια των κόκκων εμφανίζονται νέες φάσεις.
- Αυξάνεται η μηχανική αντοχή (περιορίζουν τη διάδοση γραμμικών ατελειών).
- Σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων (μείωση επιφανειακής ενέργειας) – μειώνεται η μηχανική αντοχή.



# ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΟΓΚΟΥ



- Κενά, πόροι, ρωγμές, εγκλείσματα

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ

Υπολογισμός ποσοστού πλεγματικών κενών στον Cu:

Δεδομένα:

- ✓  $E_a = 0,9 \text{ eV/at}$  (ενέργεια ενεργοποίησης)
- ✓  $N_o = 8 \times 10^{28} \text{ at/m}^3$  [άσκηση 1]
- ✓  $k_B = 8,6 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
- ✓  $T=1000 \text{ K}$

Με χρήση του τύπου  $N_k = N_o \exp(-E_a/k_B T)$  και αντικατάσταση έχουμε τελικά:

$$\rightarrow N_k = 2,2 \times 10^{25} \text{ m}^{-3} \quad (N_k/N_o \approx 1/10.000)$$



# ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ

1. Οπτικό μικροσκόπιο – μεταλλογραφία.
2. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.
  - i. Σάρωσης (SEM)
  - ii. Διέλευσης (TEM)
3. Μικροσκόπιο ατομικής δύναμης (AFM)



# ΔΙΑΧΥΣΗ

- Ροή προς την πλευρά με την χαμηλότερη συγκέντρωση.
- Νόμος του Fick:  $\frac{dN(x,t)}{dt} = -D \frac{dN(x,t)}{dx}$
- Συντελεστής διάχυσης:  $D(T) = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$





# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λιτσαρδάκης Γεώργιος.  
«Ηλεκτρολογικά Υλικά. Ατέλειες δομής». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

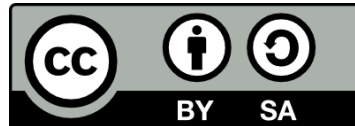
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS492/>.



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Τονοζλής Γεώργιος  
Θεσσαλονίκη, 03/06/2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

