

Kαδαντζής Νίκος

42 Εξάμηνο

V

1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ. Α' Πρόοδος (20/4/2002)

### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 2<sup>ος</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Δομή των κρυσταλλικών στερεών.

1. Τι είναι κρύσταλλος, πλέγμα και δομή;  
Οι κρύσταλλοι σχηματίζονται με την κανονική επανάληψη στο χώρο πανομοιότυπων δομικών μονάδων στη μορφή παραλληλεπίπεδων. Δηλαδή, τα άτομα από τα οποία αποτελούνται παρουσιάζουν μια τριδιάστατη περιοδική επανάληψη.  
Πλέγμα είναι μια ομάδα από σημεία, τους λεγόμενους δεσμούς του πλέγματος, που έχουν τους ίδιους "γείτονες".  
Η αντικατάσταση κάθε πλεγματοκού σημείου ενός πλέγματος με μια ομάδα ατόμων που λέγεται βάση, δίνει τη δομή του υλικού.

2. Να ορίσετε την πρωτογενή και τη μοναδιαία κυψέλη.  
Τρία διανύσματα στο χώρο ορίζουν ένα παραλληλεπίπεδο, το οποίο ορίζει μια τριδιάστατη μοναδιαία κυψέλη.  
Πρωτογενής είναι η μοναδιαία κυψέλη με τον ελάχιστο όγκο που περιέχει ένα μόνο πλεγματοκό σημείο.

3. Δείκτες Miller κρυσταλλικού επιπέδου και κρυσταλλικής διεύθυνσης.  
Ο προσανατολισμός των κρυσταλλικών επιπέδων και τη διεύθυνση στα κρυσταλλικά υλικά δηλώνεται με το σύστημα των δεικτών του Miller που ορίζονται ως εξής: Πρώτα βρίσκουμε τις τομές του εξεταζόμενου επιπέδου με τους κρυσταλλικούς άξονες a, b, c. Στη συνέχεια παίρνουμε τους αντίστροφους των αριθμών που εκφράζουν τους λόγους των μισών των ευθυγράμμων τμημάτων, που ορίζονται από τα παραπάνω σημεία τομής και από την αρχή των αξόνων, προς τα μήκη των αντίστοιχων πλεγματοκών σταθερών a, b, c και τους αντιστρέφουμε στις τρεις μικρότερους ακέραιους αριθμούς με τους ίδιους λόγους αντίστοιχα. Οι ακέραιοι αριθμοί h, k, l, που προκύπτουν κατ' αυτόν τον τρόπο είναι οι δείκτες Miller του εξεταζόμενου κρυσταλλικού επιπέδου και όταν εμφανίζονται με τη μορφή (h k l), δηλώνουν τον προσανατολισμό του επιπέδου αυτού στο χώρο. Όμως, υπάρχει μια ολόκληρη οικογένεια τέτοιων επιπέδων παραλλήλων μεταξύ τους, των οποίων η γενική μορφή είναι: h·x/a + k·y/b + l·z/c = λ, όπου το λ παίρνει όλες τις τιμές, θετικές και αρνητικές. Τα παράλληλα πλεγματοκά επίπεδα μιας οικογένειας έχουν σταθερή τη μεταξύ τους απόσταση d, η οποία είναι χαρακτηριστική της οικογένειας.  
Μια οποιαδήποτε διεύθυνση μέσα σ' ένα κρυσταλλικό υλικό δηλώνεται με τους αντίστοιχους δείκτες Miller, οι οποίοι ορίζονται ως το σύνολο των τριών μικρότερων ακέραιων αριθμών που έχουν τους ίδιους λόγους με τις τρεις προβολές ως προς τους άξονες a, b, c ενός οποιοδήποτε διανύσματος στην εξεταζόμενη διεύθυνση. Οι δείκτες αυτοί γράφονται μέσα σε αγκύλες, όπως π.χ. [h k l]. Έτσι, η διεύθυνση g = 6·a + 4·b + 12·c είναι η [3 2 6]. Η εξίσωση της γραμμής που περνάει από την αρχή των αξόνων και είναι παράλληλη στη διεύθυνση [h k l] είναι η x/h·a = y/k·b = z/l·c.

4. Περιγραφή των τριών πλεγμάτων του κυβικού συστήματος, δηλαδή από κυβικό, ενδοκεντρικό και ομοαξονικό κεντρομένο.  
α) Από κυβικό - Σχέση αξόνων: a = b = c - Σχέση γωνιών: α = β = γ = 90° - 8 πλεγματοκά σημεία στις κορυφές του κύβου - R = a/2 - Αριθμός συναρμογής = 6 - Ποσοστό κενού χώρου = (100 - 52.3)%  
β) Ενδοκεντρικό κυβικό - Σχέση αξόνων: a = b = c - Σχέση γωνιών: α = β = γ = 90° - 8 πλεγματοκά σημεία στις κορυφές του κύβου και 1 στο κέντρο του - R = (a·√3)/4 - Αριθμός συναρμογής = 8 - Ποσοστό κενού χώρου = (100 - 68)%  
γ) Ομοαξονικό κεντρομένο κυβικό - Σχέση αξόνων: a = b = c - Σχέση γωνιών: α = β = γ = 90° - 8 πλεγματοκά σημεία στις κορυφές του κύβου και 6 στα κέντρα των πλευρών του - R = (a·√2)/4 - Αριθμός συναρμογής = 12 - Ποσοστό κενού χώρου = (100 - 74)%

5. Ομοίως για το εξαγωνικό πλέγμα συμμεταξούς ομοσυσταμμένης.  
Σχέση αξόνων: a = b ≠ c - Σχέση γωνιών: α = β = 90°, γ = 120° - Τα επίπεδα στην κορυφή και τη βάση της μοναδιαίας κυψέλης αποτελούνται από 6 άτομα που σχηματίζουν κανονικά εξάγωνα και περιβάλλονται από 1 άτομο στο κέντρο. Ένα άλλο επίπεδο μεταξύ της κορυφής και της βάσης της μοναδιαίας κυψέλης περιβάλλει 3 άτομα. - R = a/2 - Αριθμός συναρμογής = 12 - Ποσοστό κενού χώρου = (100 - 64)%

6. Υπολογισμός ποσοστού κενού χώρου σε από κυβικό, fcc, bcc, και hcp πλέγμα.  
APF = ποσοστό πληρότητας κυψέλης = (όγκος περιεχόμενων ατόμων)/(όγκος κυψέλης) %  
Ποσοστό κενού χώρου = (100 - APF) %

7. Υπολογισμός πυκνότητας ατόμων σε κρυσταλλικά επίπεδα συμμεταξούς ομοσυσταμμένης στο από κυβικό, fcc, bcc, και hcp πλέγμα.  
Atomic Density = (αριθμός περιεχόμενων ατόμων)/(εμβαδόν επιφάνειας) σε atoms/m<sup>2</sup>

3

3. Σχέση αριθμού κενών με τη θερμοκρασία.  
N<sub>v</sub> = N·exp(-E<sub>k</sub>/T), όπου N<sub>v</sub>: ο αριθμός των κενών, N: ο συνολικός αριθμός των ατομικών θέσεων, E: η ενέργεια σχηματισμού του κενού, T: η απόλυτη θερμοκρασία και k: η σταθερά του Boltzmann.

4. Τι είναι εξαρμοσίς, ποιες είναι οι βασικές τους κατηγορίες και ποιο το κριτήριο διαχωρισμού;  
Ο σχηματισμός μιας γραμμικής στέλειας οφείλεται σε ολίσθηση ενός μέρους ενός κρυσταλλικού υλικού σε σχέση με το υπόλοιπο. Η γραμμή με τις στέλειες που σχηματίζεται στην περιοχή διαχωρισμού ονομάζεται εξαρμοσίς και το επίπεδο πάνω στο οποίο μπορεί να γίνει ολίσθηση κατά τη διεύθυνση ολίσθησης, ονομάζεται επίπεδο ολίσθησης.  
Οι εξαρμοσίς χωρίζονται σε 3 κατηγορίες, ανάλογα με τη διεύθυνση της ολίσθησης σε σχέση με τη διεύθυνση της γραμμής:  
- Όταν οι 2 διευθύνσεις συμπίπτουν, η εξαρμοσίς ονομάζεται ελικοειδής,  
- Όταν οι 2 διευθύνσεις είναι κάθετες, η εξαρμοσίς ονομάζεται κατ' ακμή και, τέλος  
- Όταν οι 2 διευθύνσεις σχηματίζουν τυχία γωνία, η εξαρμοσίς ονομάζεται μικτή.

5. Τι παρόμοιο το διάνυσμα Burger μιας εξαρμοσίς; Πώς υπολογίζεται;  
Το διάνυσμα Burger μιας εξαρμοσίς, εκφράζει το μέγεθος και τη διεύθυνση της παραμόρφωσης του πλέγματος λόγω της εξαρμοσίς αυτής. Ο υπολογισμός του γίνεται ως εξής:  
Αφού ορίσουμε τη θετική φορά της εξαρμοσίς, διαγράφουμε ένα δεξιόστροφο βρόχο γύρω από τη γραμμή εξαρμοσίς, κάνοντας ορισμένα βήματα σε ορισμένες διευθύνσεις, ώπου να καταλήξουμε στο ίδιο σημείο. Στη συνέχεια, διαγράφουμε τα ίδια βήματα, σε ένα όμοιο αλλά τελείο πλέγμα. Στον τελείο αυτό κρυστάλλο, το διάνυσμα που ενώνει το τελείο με το αρχικό σημείο είναι το διάνυσμα b του Burger.

6. Επίπεδες στέλειες. Σφάλματα επιστοιβάζσης, διδυμίες, διαχωριστικές επιφάνειες κρυστάλλων. Αιτίες δημιουργίας γραμμικών και επιφανειακών στείλων.  
Οι επίπεδες στέλειες ταξινομούνται σε: σφάλματα επιστοιβάζσης, διδυμίες και διαχωριστικές επιφάνειες κρυστάλλων.

- Σφάλμα επιστοιβάζσης ορίζεται ως το σφάλμα στην προβλεπόμενη από τη δομή διαδοχή των κρυσταλλικών επιπέδων.  
- Η διδυμία είναι μια ειδική μορφή μιας διαχωριστικής επιφάνειας κρυσταλλικών κατά μήκος της οποίας υπάρχει μια συνεκκριμένη συμμετρία καταπριτικού πλέγματος.  
- Οι επιφάνειες που δημιουργούνται όταν 2 κρυστάλλες σε πολικρυσταλλική μορφή έρθουν σε επαφή, είναι επιφάνειες με σφάλματα, επειδή ο σχετικός τους προσανατολισμός είναι τυχαίος.

- Αιτίες δημιουργίας:  
Γραμμικών στείλων: Οι εξαρμοσίς δημιουργούνται κατά τη διάρκεια στερεοποίησης, πλαστικής παραμόρφωσης και σαν συνέπεια των θερμικών τάσεων που προκύπτουν από ταχεία ψύξη.  
Σφάλματων επιστοιβάζσης: Η διακοπή στη διαδοχή μπορεί να γίνει είτε ακαριαία μιας στρώσης ατόμων με τη διάχυση πλεγματοκών κενών, είτε προσθέτοντας μια στρώση ενδότετων ατόμων, είτε αν θεωρήσουμε ότι ένα τμήμα του κρυστάλλου ολισθαίνει ανάμεσα σε 2 στρώσεις συμμεταξούς συσσωματώσεως.

- Διδυμίων: Οι διδυμίες προκύπτουν από ατομικές εξαρμοσίς, οι οποίες παράγονται κατά την ανάπτυξη του κρυστάλλου από την υγρή ή την αέρια φάση, κατά τη θερμική επεξεργασία της ανάπτυξης και κατά τη διάρκεια πλαστικής παραμόρφωσης.

- Διαχωριστικές επιφάνειες: Ο σχηματισμός μιας διαχωριστικής επιφάνειας προκύπτει από την ένωση 2 επιφανειών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζεται μια γωνιακή απόλυση θ ανάμεσα στις κανονικές τους διευθύνσεις ανάπτυξης.

7. Ποιά διαφέρουν το οπτικό από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο;  
Διαφέρουν ως προς τη μεγέθυνση (οπτικό 2000x - ηλεκτρονικό 100000x ως 300000x) και τη διακριτική ικανότητα (οπτικό d<sub>min</sub> > λ/2λ, όπου λ = n·sinθ - ηλεκτρονικό 1nm). Διακριτική ικανότητα ορίζεται ως η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να έχουν 2 σημεία για να είναι διακριτά από τον παρατηρητή.

8. Τι είδους παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν με α) μεταλλογραφικό και β) με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο;  
Η μεταλλογραφία χρησιμοποιεί φως της ορατής περιοχής και απαιτείται παρατήρηση μόνο της επιφάνειας. Με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, αντίθετως, επειδή χρησιμοποιείται πολύ πιο διευστική ακτινοβολία (ηλεκτρόνια υψηλών ενεργειών) είναι δυνατή η παρατήρηση του εσωτερικού της ύλης και η εξήγηση της δομής της.

9. Για την ηλεκτρονική μικροσκοπία απαιτείται ένα μήκος κύματος ηλεκτρονίων μικρό σε σύγκριση με τις ατομικές διαστάσεις. Αν είναι επιθυμητό ένα μήκος κύματος 0.05 Å ποια είναι η τιμή της επιταχυντικής τάσης που πρέπει να εφαρμοστεί;  
E = e·V, E = p<sup>2</sup>/2m, p = h/λ. Λύνω ως προς V και αντικαθιστώ τις τιμές των σταθερών.

### 8. Περιγραφή του $fcc$ και $hcp$ πλέγματος με διαδοχή ατομικών επιπέδων.

~ Ας ονομάσουμε με Α τα κέντρα των ατόμων στο επίπεδο συμμεταξύς συσσωμάτωσης. Ανάμεσα στα οφαιρικά άτομα υπάρχουν δύο κατηγορίες κενών χώρων, τριγωνικής μορφής. Αυτοί που έχουν την κορυφή του τριγώνου προς τα πάνω, που συμβολίζονται με Β και αυτοί που έχουν την κορυφή του τριγώνου προς τα κάτω, που συμβολίζονται με C. Έτσι, αν η διάταξη στο 1<sup>ο</sup> επίπεδο είναι διάταξη τύπου Α, τότε το επόμενο επίπεδο τοποθετείται με τα άτομα του σε θέσεις Β και το αμέσως επόμενο σε θέσεις C. Το 4<sup>ο</sup> στη σειρά θα είναι ίδιο με το Α, το 5<sup>ο</sup> με το Β κ.ο.κ. Έτσι, προκύπτει η εξής διαδοχή επιπέδων: ...ABCABCABC...  
- Το εξωνωκικό πλέγμα συμμαγούς συσσωμάτωσης προκύπτει αντίστοιχα από την παρακάτω διαδοχή επιπέδων: ...ABABABABAB...

### 9. Νόμος περίθλασης του Bragg.

$2d \sin \theta = n\lambda$ ,  $n \in \mathbb{N}^*$ , όπου  
d: η απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών επιπέδων του κρυστάλλου  
θ: η συμπεριφορική της γωνίας πρόσπτωσης και  
λ: το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Είναι φανερό από την εξίσωση, ότι η κρυσταλλική περίθλαση μπορεί να συμβεί μόνο για μήκη κύματος  $\lambda < 2d$ . Αυτός είναι και ο λόγος που δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ορατή ακτινοβολία, ενώ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ακτίνες Χ, γιατί έχουν μήκη κύματος που ικανοποιούν την παραπάνω ανισότητα.

### 10. Ορισμός των παράγοντα σκέδασης της μοναδιαίας κυρελίδας.

Ξεκαίει της ιδιαίτερης διάταξης των ηλεκτρονίων σε κάθε είδος ατόμου, το άτομο έχει ένα ατομικό πλάτος σκέδασης που είναι συνάρτηση της γωνίας θ και του ατομικού παράγοντα σκέδασης f. Επειδή όμως το στοιχείο που εταναλαμβάνεται στο κρυσταλλικό πλέγμα είναι η μοναδιαία κυρελίδα, η τελική σκέδαση θα εξαρτηθεί από το είδος και τη θέση των ατόμων αυτής. Ο νόμος του Bragg ισχύει μόνο για τις πρωτογενείς κυρελίδες, γι' αυτό στην περίπτωση της μη πρωτογενούς κυρελίδας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη των παράγοντα σκέδασης της,  $F_{hk}$ , που είναι το πλάτος της δέσμης που περιέχεται στη διεύθυνση  $\{hk\}$  και δίνεται από τη σχέση:  $F_{hk} = \sum f_i \sin(2\pi(hx_i/a + ky_i/b + lz_i/c))$   
Εάν  $F_{hk} = 0$  τότε η ανάκλαση είναι απαγορευμένη, ενώ αν  $F_{hk} \neq 0$  υπάρχει ανάκλαση.

### 11. Τι πληροφορίες παίρνουμε από την περιθλασί με ακτίνες Χ σχετικά με την κρυσταλλική δομή των υλικών;

Παίρνουμε πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και τη γεωμετρία της μοναδιαίας κυρελίδας (προσδιορίζονται από τη θέση των κορυφών περιθλασης) και τη θέση των ατόμων (από την ένταση αυτών των κορυφών).

### 12. Να δώσετε τον ορισμό του αντιστροφου πλέγματος και να αναφέρετε σε τι χρησιμεύει.

Το αντιστροφο πλέγμα κατασκευάζεται αν φέρουμε από την αρχή του κανονικού πλέγματος τις κάθετες σε κάθε ομάδα επιπέδων. Πάνω στις κάθετες αυτές ορίζεται ένα διάνυσμα G, του οποίου το μέτρο ισούται με το αντιστροφο της απόστασης των διπλοτύπων επιπέδων, δηλαδή  $G_{hk} = 1/d_{hk}$ , το οποίο στο κυβικό σύστημα είναι  $d_{hk} = a/\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$ . Το τέλος του διανύσματος G ορίζει το δεσμό hkl του αντιστροφου χώρου και αντιστοιχείται τα επίπεδα (hkl) στο χώρο αυτό. Το αντιστροφο πλέγμα μας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο καθώς οι εικόνες που λαμβάνουμε με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, αντιπροσωπεύουν το αντιστροφο πλέγμα του εξεταζόμενου κρυστάλλου, το οποίο θα πρέπει να αντιστρέψουμε εκ νέου για να λάβουμε το ορθό.

### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 3<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Κρυσταλλικές ατέλειες.

1. Σε ποιες κατηγορίες χωρίζουμε τις ατέλειες με κριτήριο τη γεωμετρία; Ποια είναι η επίδραση της θερμοκρασίας πάνω σε αυτές; Ποιες από αυτές είναι ανισοτροπικές και ποιες μη ανισοτροπικές; Υπάρχουν 3 κατηγορίες ατελειών σύμφωνα με τη γεωμετρία ή τις διαστάσεις της ατέλειας: α) σημειακές ατέλειες, β) γραμμικές ατέλειες ή εφαρμόσεις και γ) επιφανειακές ατέλειες.  
Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται το πλήθος των ατελειών. Οι γραμμικές και οι επιφανειακές είναι μη ανισοτροπικές ενώ οι σημειακές είναι ανισοτροπικές.

### 2. Αναπτύξτε τα είδη σημειακών ατελειών.

Οι σημειακές ατέλειες είναι τοπικές διαταραχές σε κάποιο σημείο του πλέγματος και μπορούν να δημιουργηθούν: α) από την απουσία ενός ατόμου της δομής (πλεγματικό κενό), β) από την παρουσία ατόμου της δομής σε θέση που προβλεπόταν κενό (ενδόθετο άτομο), γ) από την παρουσία ξένου ατόμου σε χώρο κενού (ξένο ενδόθετο), δ) από την παρουσία ξένου ατόμου σε κανονική θέση του πλέγματος (άτομο αντικατάστασης), ε) όταν το ίδιο άτομο δημιουργεί τις ατέλειες (α) και (β), ο συνδυασμός τους ονομάζεται ατέλεια Frenkel, και στ) εάν το άτομο που φεύγει, καταλήγει στην επιφάνεια, ο συνδυασμός τους ονομάζεται ατέλεια του Schottky. Οι ατέλειες που συνηθίζονται στα μέταλλα και τους ημιαγωγούς είναι τα πλεγματικά κενά και τα ενδόθετα ή ξένα ενδόθετα άτομα, ενώ στις χημικές ενώσεις είναι οι ατέλειες Frenkel και Schottky.

### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 4<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Διάχυση

1. Τι ονομάζεται διάχυση; Δώστε τη μαθηματική έκφραση της (1<sup>η</sup> νόμος του Fick).  
Τα άτομα των στερεών μετακινούνται σε όλη τη μέση τους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάχυση. Σύμφωνα με τη θεωρία διάχυσης του Fick, η ροή J (J: ο αριθμός των ατόμων που διέρχονται από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου) δίνεται (για χώρο μιας διάστασης) από τη σχέση:  $J(x, t) = -D \cdot \partial C(x, t) / \partial x$ , όπου C: η συγκέντρωση των διαχεόμενων ατόμων και D: ο συντελεστής διάχυσης των εξεταζόμενων ατόμων. Το αρνητικό πρόσημο στον τύπο δηλώνει ότι η ροή των ατόμων γίνεται προς την κατεύθυνση της μικρότερης συγκέντρωσης. Στην περίπτωση που η ροή είναι ανεξάρτητη του χρόνου, η εξίσωση γίνεται:  $J = -D \cdot dC/dx$ . Η εξίσωση αυτή αποτελεί τον 1<sup>ο</sup> νόμο του Fick.

### 2. Αναφέρετε όλους τους μηχανισμούς διάχυσης και αναπτύξτε τους δύο επικρατέστερους.

- Διάχυση με κενά: Όταν ένα άτομο μετακινείται σε γειτονικό πλεγματικό κενό (ή αντίστροφα), ο μηχανισμός λέγεται διάχυση με κενά. Η παραμόρφωση που απαιτείται είναι σχετικά μικρή και ο αριθμός των κενών σημαντικός, ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες, γι' αυτό και ο μηχανισμός αυτός θεωρείται ως ένας από τους επικρατέστερους.  
- Ενδόθετος μηχανισμός: Στον ενδόθετο μηχανισμό ένα μικρό ενδόθετο άτομο μετακινείται μέσα από το πλέγμα σε άλλη ενδόθετη θέση. Διάφορες παραλλαγές του μηχανισμού αυτού προβλέπουν μετακίνηση του ενδόθετου ατόμου σε κανονική θέση, με ταυτόχρονη μετακίνηση του ατόμου της θέσης αυτής σε ενδόθετη.  
- Απειθείας ανταλλαγή  
- Κυκλική ανταλλαγή  
- Εκταμένες ατέλειες.

### 3. Δεύτερος νόμος διάχυσης του Fick. Εξηγήστε τα σύμβολα.

Από τη βασική αρχή της διατήρησης της ύλης, προκύπτει ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης των προσμίξεων με το χρόνο, είναι ίση με την τοπική μείωση της ροής λόγω διάχυσης.  $\partial C(x, t) / \partial t = -\partial J(x, t) / \partial x$ . Από την εξίσωση αυτή καθώς και από την  $J(x, t) = -D \cdot \partial C(x, t) / \partial x$ , παίρνουμε το 2<sup>ο</sup> νόμο του Fick (για μία διάσταση)  $\partial J(x, t) / \partial t = \partial / \partial x [D \cdot \partial C(x, t) / \partial x]$ . Για μικρές συγκεντρώσεις προσμίξεων μπορούμε να θεωρήσουμε  $D = \text{cte} \Rightarrow \partial J(x, t) / \partial t = D \cdot \partial^2 C(x, t) / \partial x^2$  ή  $(C = N_A) \partial N_A / \partial t = D \cdot \partial^2 N_A / \partial x^2$  η λύση της οποίας για διάχυση μεταξύ 2 στερεών διαλυμάτων που αποσπώνονται από συστατικό Α και Β, στα οποία η αρχική συγκέντρωση του Α ήταν  $N_{A1}$  και  $N_{A2}$  με  $N_{A1} < N_{A2}$ , είναι  $N_A = N_A + (N_{A2} - N_{A1})/2 \cdot (1 - \exp[-(x - x_0)^2 / (4Dt)])$ , για  $x_0 < x / (2 \cdot \sqrt{4Dt}) < \infty$ , όπου  $N_A$  είναι η συγκέντρωση του συστατικού Α σε απόσταση x από τη διαχωριστική επιφάνεια και t ο χρόνος σε sec. Το σύμβολο  $\exp(x)$  παριστάνει τη συνάρτηση σφάλλματος  $\exp(x) = (e^x / \sqrt{\pi}) \cdot \int_0^x \exp(-y^2) \cdot dy$ .

### 4. Παράγοντες που επηρεάζουν το συντελεστή διάχυσης D. Γράψτε τον τύπο της εξάρτησης του D από τη θερμοκρασία.

Ο συντελεστής D εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και τη σύσταση. Ο συντελεστής διάχυσης επηρεάζεται τόσο από τα άτομα που διαχέονται, όσο και από το υλικό στο οποίο γίνεται η διάχυση. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο διαφορετικό μηχανισμό διάχυσης.  
 $D = D_0 \cdot \exp(-Q/RT)$ , όπου  $D_0$ : παράγοντας συχνότητας (σταθερά) και Q: η ενέργεια ενεργοποίησης διάχυσης.

### 5. Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης Q.

Η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης είναι μικρότερη:

- α) όσο μικρότερα είναι τα ενδόθετα άτομα που μετακινούνται
- β) όταν το μέσο στο οποίο γίνεται η διάχυση έχει χαμηλότερο σημείο τήξης και
- γ) όταν η διάχυση γίνεται σε αραιότερη δομή, δηλαδή σε δομή με μεγαλύτερο ποσοστό κενού χώρου.

### 6. Περιγράψτε με δυο παραδείγματα την πρακτική εφαρμογή του φαινομένου της διάχυσης.

- Κατασκευή ενός ημιαγωγού προσμίξεων: Αρχικά όλη η επιφάνεια του αγωγού καλύπτεται με  $\text{SiO}_2$  και στη συνέχεια τη διαβρώνουμε χημικά συνήγοντας παράθυρα στις περιοχές που θέλουμε να γίνει διάχυση. Έτσι σχηματίζεται ένα προσφυλακτικό στρώμα από  $\text{SiO}_2$  στα σημεία που δεν θέλουμε να γίνει διάχυση. Μετά, στην κατάλληλη θερμοκρασία, εξαχνώνουμε την ποσότητα της πρόσμιξης που απαιτείται και η οποία διαχέεται σε ένα μικρό βάθος μέσα στο πυρίτιο. Η τελική διεργασία είναι η πιο κρίσιμη και περιλαμβάνει θέρμανση στην κατάλληλη θερμοκρασία και για τη κατάλληλη χρονική διάρκεια, ώστε η κατανομή της πρόσμιξης να είναι η επιθυμητή.  
- Κατασκευή κραμάτων (C)

### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 5<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Στερεοποίηση των μετάλλων.

### 1. Να δώσετε συνοπτικά τον ορισμό της υγρής φάσης.

Ένα υγρό δεν παρουσιάζει την τρισδιάστατη περιοδική επανάληψη στο χώρο, όπως ένα στερεό, ούτε όμως τα μόριά του έχουν την ελευθερία που χαρακτηρίζει ένα αέριο. Το υγρό είναι μια ενδιάμεση κατάσταση, που όμως είναι πολύ πιο κοντά στη στερεά. Τα άτομα του είναι περίπου στις ίδιες αποστάσεις με το στερεό μια και η πυκνότητα δε μεταβάλλεται σημαντικά. Επίσης, η λαμβάνουσα θερμότητα τήξης είναι πολύ μικρότερη



από τη λαθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης, γεγονός που δείχνει ότι η συνθετική δύναμη μεταξύ των ατόμων ενός υγρού εξακολουθεί να είναι ισχυρή. Το υγρό παρουσιάζει μικρές διατεταγμένες περιοχές όπως το αντίστοιχο στερεό, που σημαίνει ότι υπάρχουν μικρές κρυσταλλικές περιοχές. Η μεγάλη κινητικότητα των υγρών έχει ως αποτέλεσμα τα άτομα να μην καταλαμβάνουν συγκεκριμένες θέσεις σε συγκεκριμένο χώρο, όπως τα στερεά, οπότε δεν μπορούν να αντιδράσουν σε τάσεις ολίσθησης. Ένα παράδειγμα χαρακτηριστικό της υγρής φάσης είναι ότι οι ιδιότητες όλων των υγρών μετάλλων (π.χ. ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα) τείνουν να έχουν ίδιες τιμές. Επίσης ο αριθμός συναρμολόγησης τείνει να γίνει ο ίδιος, με αποτέλεσμα στην υγρή φάση τα άτομα όλων των μετάλλων να έχουν τον ίδιο αριθμό γειτονικών ατόμων. Τους αυτή η συμπεριφορά να οφείλεται στο ότι ο αριθμός των "ατελειών" είναι τόσο μεγάλος, ώστε τελικά οι ατέλειες και όχι οι κρυσταλλικές περιοχές να καθορίζουν τις ιδιότητες.

## 2) Τι είναι θερμοκρασία ισορροπίας;

Όταν έχουμε σε επαφή μία στερεά ουσία με το τμήμα της, τότε υπάρχει μια θερμοκρασία, η θερμοκρασία ισορροπίας, κάτω από την οποία η στερεά φάση αυξάνεται σε βάρος της υγρής και πάνω από την οποία γίνεται το αντίστροφο.

## 3) Ποιες είναι οι προϋποθέσεις για μεταβολή φάσης;

Οι προϋποθέσεις για τη μεταβολή της φάσης είναι: α) να φθάσει το άτομο σε μια ενεργοποιημένη κατάσταση Ε, όπου η ενέργειά του θα είναι τουλάχιστον ίση με τη μέση ενέργεια των ατόμων της υγρής φάσης. β) να έχει ικανοποιητική ή μέγιστη συνιστώσα ταχύτητας κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια και γ) να υπάρχει κατάλληλη θέση για να πάει.

## 4) Ποια είναι η απαιτούμενη προδιάθεση για το σχηματισμό κρυστάλλων από την υγρή φάση; (ορισμός πυρήνα κρυστάλλωσης)

Στο σχηματισμό ενός πυρήνα λαμβάνουν μέρος πολλά άτομα, τα οποία συγκροτούνται σε κρυσταλλικό ιστό (πλέγμα). Γύρω από τον ιστό συνεχίζεται η συσπειρώση των ατόμων, σχηματίζουν νέους ιστούς οι οποίοι με τη σειρά τους στοιβάζονται πάνω στον πρώτο κ.ο.κ. Τον ιστό που σχηματίστηκε στην αρχή ονομάζουμε κρυσταλλικό πυρήνα.

## 5) Να αναπτύξετε το φαινόμενο της υπόψυξης. Ποια επιρρέει η υπόψυξη την κρίση ακτίνων ενός πυρήνα; Καθώς η υγρή φάση φτάνει στη θερμοκρασία $T_c$ υπάρχει μία τάση διαφύγης ατόμων να σχηματίσουν πυρήνες. Οι πυρήνες όμως αυτοί βρίσκονται σε μία μετασταθερή κατάσταση και μόνο όταν η θερμοκρασία του υγρού κατεβεί αρκετά κάτω από το σημείο τήξης, ένα φαινόμενο που το λέμε υπόψυξη ή υπέρψυξη, οι πυρήνες αποκτούν σταθερότητα και μπορεί να αρχίσει η στερεοποίηση.

Μικρή υπόψυξη χρειάζεται μεγάλο πυρήνα, ενώ μεγάλη υπόψυξη χρειάζεται μικρό πυρήνα και είναι ευκολότερο να αρχίσει η στερεοποίηση. Όταν αρχίσει, η λαθάνουσα θερμότητα αυξάνει τη θερμοκρασία της υγρής φάσης στην κανονική θερμοκρασία ή περίπου κοντά σ' αυτήν.

## 6) Να αναπτύξετε τα είδη πυρηνοποίησης. Τι είναι στατική και τι δυναμική πυρηνοποίηση;

Οι πυρήνες στερεοποίησης όταν προέρχονται από συσσωμάτωση ατόμων της ίδιας υγρής φάσης, σχηματίζονται μέσα στην υγρή μάζα και έχουν σφαιρικό σχήμα. Ο τρόπος αυτός λέγεται ομογενής πυρηνοποίηση, χρειάζεται μεγάλη υπόψυξη και εμφανίζεται σε ελάχιστες περιπτώσεις. Στην πραγματικότητα παρατηρούμε ότι δεν προφταίνουμε να φτάσουμε σε μεγάλη υπόψυξη και το υγρό στερεοποιείται, εκτός αν πάρουμε ειδικές προφυλάξεις. Το γεγονός οφείλεται σε ετερογενή στερεοποίηση, δηλαδή στην ύπαρξη ξένων σωμάτων με διαφορετικό σημείο τήξης.

Οι δύο παραπάνω τρόποι πυρηνοποίησης χαρακτηρίζονται ως στατικοί. Υπάρχουν όμως και τρόποι δυναμικής πυρηνοποίησης, π.χ. μηχανικές δονήσεις ενός υγρού που βρίσκεται σε υπόψυξη προκαλούν τη στερεοποίηση του. Η λογικότερη εξήγηση για το γεγονός αυτό είναι ότι κενά που υπάρχουν για διάφορους λόγους μέσα στο υγρό καταστρέφονται με τις μηχανικές δονήσεις. Τα κώματα πίεσης που δημιουργούνται έχουν ως αποτέλεσμα να ανέβει το σημείο τήξης. Έτσι δημιουργείται μια τεχνητή αύξηση της υπόψυξης, ικανή να δημιουργήσει πυρήνα στερεοποίησης.

## 7) Από ποια παράγοντα επιρρέζεται το μέγεθος των κρυσταλλινών;

Εφόσον λείπουν από το τμήμα πυρήνες κάθε φύσης, τότε δημιουργούνται από το ίδιο το τηγμένο μέταλλο. Ο αριθμός αυτών προσδιορίζει το μέγεθος των κρυσταλλινών της στερεάς κατάστασης και όσο μεγαλύτερος είναι αυτός, τόσο μικρότερο γίνεται το μέγεθος τους.

## 8) Όταν κατά τη στερεοποίηση έχουμε μεγάλο βαθμό απόψυξης, δηλαδή ταχεία ψήξη, το λαμβανόμενο μέταλλο είναι λεπτόκοκκο ή χοντροκοκκο και γιατί.

Το μέσο μέγεθος του κόκκου εξαρτάται από το  $n_0$ , και από τη μέση ταχύτητα ανάπτυξης του κόκκου  $V_n$ , η οποία έχει διαφορετική τιμή για τις διάφορες κρυσταλλικές διευθύνσεις. Είναι φανερό, ότι το μέσο μέγεθος του κόκκου είναι αύξουσα συνάρτηση του  $V_n$  και φθίνουσα συνάρτηση του  $n_0$ . Έτσι, όταν κατά τη στερεοποίηση έχουμε μεγάλο βαθμό απόψυξης, δηλαδή ταχεία ψήξη και επομένως μεγάλο αριθμό πυρήνων, το λαμβανόμενο μέταλλο είναι λεπτόκοκκο.

$$E = \Sigma \cdot \Phi + 2 \quad E : \text{οι βαθμοί ελευθερίας του συστήματος} \\ \Sigma : \text{ο αριθμός των συστατικών και } \Phi : \text{ο αριθμός των φάσεων}$$

## 5. Με ποιους τρόπους μπορεί να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα φάσεων; (Αντή αναφορά)

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα φάσεων, να τοποθετηθούν δηλαδή πάνω σε ένα διάγραμμα θερμοκρασίας - σύστασης διάφορα χαρακτηριστικά σημεία. Οπτική Μικροσκοπία - Ακτικές Χ - Ηλεκτρονική Μικροσκοπία - Ηλεκτρική Αγωγιμότητα - Θερμική Ανάλυση - Γραμμική Διαστολή.

## 6. Γνώση που κενόνα τον μοχλό για επίλυση ασκήσεων με διαγράμματα φάσης.

οκ

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 7<sup>ης</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Μηχανικές ιδιότητες μετάλλων και μέθοδοι ελέγχου.

### 1. Βασικά χαρακτηριστικά ελαστικής-πλαστικής παραμόρφωσης. (Πολύ καλά τις σελ. 106-109)

-Βασικά γνώρισμα της ελαστικής παραμόρφωσης είναι το γεγονός ότι η παραμόρφωση εξαφανίζεται μόλις απομακρυνθεί η δύναμη που την προκαλεί. Με άλλα λόγια η τάση που εφαρμόστηκε δε στάθηκε αρκετή να προκαλέσει την μετακίνηση των εξαρμώσεων, πράγμα που θα δημιουργούσε μια μόνιμη παραμόρφωση. Πάνω στην καμπύλη τάσης - παραμόρφωσης υπάρχει μια περιοχή ελαστικότητας, στην οποία η τάση είναι ανώτερη της παραμόρφωσης. Είναι ο γνωστός νόμος του Hooke, του οποίου η μαθηματική διατύπωση είναι: σ (τάση) = Ε (μέτρο ελαστικότητας - σταθερά) · ε (παραμόρφωση) Η μεγαλύτερη τιμή της τάσης για την οποία η παραμόρφωση είναι ακόμα ελαστική, ονομάζεται όριο ελαστικότητας και εξαρτάται από τη φύση του υλικού, από τον τρόπο παρασκευής του δοκιμίου, την προηγούμενη κατεργασία του, την παρουσία προσμίξεων κ.λπ.

-Όταν ξεπεράσουμε το όριο ελαστικότητας μπαίνουμε στην περιοχή της πλαστικής παραμόρφωσης, όπου το μέταλλο και μετά την απομάκρυνση της δύναμης διατηρεί ένα ποσοστό παραμόρφωσης, δηλαδή δεν επανέρχεται στο αρχικό του μήκος. Πρέπει να τονιστεί ότι η τάση που απαιτείται για να αρχίσει η πλαστική παραμόρφωση είναι πολύ μικρότερη από τη θερμική της τιμή, γεγονός που οφείλεται στις εξαρμώσεις. Καθορίζουμε ένα μήκος  $l_0$  πάνω στο δοκίμιο το οποίο μας πληροφορεί για την επιμήκυνση του. Είναι φανερό πως πρέπει να τηρηθεί μια σχέση ανάμεσα στο μήκος και τη διατομή ώστε να έχουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα και ουσιαστικά συμπεράσματα. Αυτή είναι η εξής:  $l_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$ .

Η τιμή της τάσης  $\sigma_0$  που αντιστοιχεί στη θραύση του δοκιμίου ονομάζεται όριο θραύσης. Η μέγιστη τάση  $\sigma_m$  που εμφανίζεται στην καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης ονομάζεται αντοχή σε εφελκυσμό. Το σημείο Ε στο οποίο αρχίζει η πλαστική παραμόρφωση, ονομάζεται σημείο διαρροής και η αντίστοιχη τάση, τάση διαρροής. Τις περισσότερες φορές όμως δε διακρίνεται επειδή η μεταβατική περιοχή είναι ομαλή. Τότε ορίζεται κατά συνθήκη σαν τάση διαρροής μια τέση τέτοια, ώστε να προκαλεί ορισμένη μόνιμη παραμόρφωση, συνήθως 0,1%, αλλά σε κάθε περίπτωση μικρότερη από 5%.

### 2. Ποιοι είναι οι παράγοντες που επιρρέαζον τον ίδιο τρόπο την αντοχή σε εφελκυσμό των μετάλλων και των κραμάτων;

Οι βασικοί παράγοντες που επιρρέαζον τον ίδιο τρόπο και τα κράματα και τα μέταλλα, είναι το μέγεθος των κρυσταλλινών, η θερμοκρασία, οι προσμίξεις, η προηγούμενη κατεργασία του υλικού και ακόμη η ταχύτητα με την οποία γίνεται η φόρτιση.

### 3. Τι είναι θραύση, ποια τα είδη αυτής και από ποιους παράγοντες εξαρτάται;

Θραύση ονομάζεται η διακοπή της συνέχειας του υλικού. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες, η ψαθυρή θραύση, εφόσον προηγείται μόνο η ελαστική παραμόρφωση, και η πλαστική θραύση, εφόσον προηγείται και πλαστική παραμόρφωση, με παράλληλο σχηματισμό μιας στένωσης. Η πιο συνηθισμένη μορφή της πλαστικής θραύσης είναι η κωνική θραύση, όπου η μια επιφάνεια έχει σχήμα κώνου. Εκτός από το υλικό και τη θερμοκρασία, δύο άλλοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το είδος της θραύσης είναι η αρχική κατάσταση παραμόρφωσης του υλικού και η ταχύτητα φόρτισης. Υλικά με πλαστική θραύση εμφανίζουν ψαθυρά, ήα μάλλον ταχύτητα φόρτισης.

### 4. Τι γνωρίζετε για τη σκληρότητα;

Ως σκληρότητα ορίζεται η αντίσταση που προβάλλει ένα μέταλλο στην προσπάθεια κάθετης παραμόρφωσης της επιφάνειάς του ή με άλλα λόγια με την οποία μπορούμε να χαράξουμε την επιφάνειά του. Η βασική αρχή λειτουργίας των μεθόδων προσδιορισμού είναι η εξής: Η δύναμη που εξασκείται από ένα γνωστό βάρος μεταφέρεται κατάλληλα σε μια διάταξη που καταλήγει σε μια αμυή (εντυπωστή) που με τη σειρά της πιέζει την επιφάνεια του δείγματος δημιουργώντας μια κοιλότητα. Το πλάτος της δύναμης που χρησιμοποιήθηκε προς την παραμόρφωση που προκαλείται μας δίνει ένα μέτρο της σκληρότητας. Πρέπει να σημειωθεί πως για τα ελατά μέταλλα υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στη σκληρότητα και την αντοχή σε εφελκυσμό, όχι η ίδια για όλα τα μέταλλα. Συνήθως η αντοχή σε εφελκυσμό που προκύπτει από μετρήσεις σκληρότητας έχει ακρίβεια 5% - 10%.

-Μέθοδος του Brinell. Ο εννοωτός στη μέθοδο αυτή είναι μια σφαίρα από ατσάλι που έχει υποβληθεί σε σκληρότητα ή από καρβίδιο του βολφραμίου. Με το χτύπημα με μια δύναμη  $P$ , η σφαίρα διαμέτρου  $D$ ,

9. Κατά τη χύτευση των κραμάτων παρατηρούνται μακροσκοπικά τρεις ζώνες με διαμορφωτική δομή κρυσταλλινών. Πως είναι αυτές (συντομικά). Ποια από αυτές πρέπει να αποκλεισούμε και πως για να έχουμε πολικρυσταλλικό λειτουργικό μέταλλο;

Μακροσκοπικά παρατηρούνται 3 ζώνες, οι εξής: α) Ψυχρή ζώνη, που είναι κοντά στα τοιχώματα του καλούπιου και αποτελείται από μικρούς κρυσταλλίτες, ιδίου περίπου μεγέθους με τυχαιούς προσανατολισμούς. β) Κολωνοειδής ή βασολακή ζώνη, που είναι συνέχεια από την ψυχρή και αποτελείται από μακροστενούς κρυσταλλίτες που έχουν αναπτυχθεί κατά μήκος της διεύθυνσης ροής της θεοειότητας και αντιστοιχούν σε Δενδριτική ανάπτυξη. γ) Κεντρική ή ισοζωνική ζώνη, που έχει πολύ ομοιομορφους κρυσταλλίτες με τυχαία κατανομή όπως η ψυχρή ζώνη, αλλά μεγαλύτερους σε μέγεθος. Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί για το σχηματισμό αυτής της ζώνης. Οι 2 επικρατέστεροι είναι: α) Ο σχηματισμός των πυρήνων οφείλεται σε υπόφυξη από μεταβολή συγκέντρωσης, αφού πρώτα η υγρή φάση πλησιάζει τη θερμοκρασία δημιουργίας πυρήνων. Η ανάπτυξη αυτών των ισοζωνικών κρυσταλλινών σταματάει την ανάπτυξη της βασολακής ζώνης. β) Ο σχηματισμός των πυρήνων γίνεται κατά την αρχική ψύξη και όσοι από αυτούς "επιζήσουν" δημιουργούν την ισοζωνική ζώνη. Η 2η αυτή θεωρία εξηγεί καλύτερα τα πειραματικά δεδομένα.

Πρέπει να ελαττώσουμε ή να αποκλείσουμε την ανάπτυξη της κολωνοειδούς ζώνης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται 2 μέθοδοι που αποβλέπουν στον έλεγχο της πυρινοποίησης:

- Κατάλληλες συνθήκες χύτευσης ή χρησιμοποίηση κατάλληλων προσμίξεων που θα ενεργήσουν ως πυρήνες
- Χρήση εξωτερικών επιδράσεων, όπως παράδειγμα ανάδευση ή υπέρηχοι.

10. Κατά τη στερεοποίηση των μετάλλων δημιουργούνται ατέλειες κυρίως εξαρμόσεις. Να αναφέρετε επιγραμματικά τις αιτίες. Πως μπορούμε να ελαττώσουμε την πυκνότητα των εξαρμόσεων;

Οι αιτίες είναι οι εξής: α) Διαφορά συγκέντρωσης ή ξένες προσμίξεις. Οι τοπικές τάσεις που δημιουργούνται από την κακή προσαρμολογία μετατρέπονται σε εξαρμόσεις. β) Μεγάλες συγκεντρώσεις κενών. Καθώς το μέταλλο στερεοποιείται και ψύχεται, η συγκέντρωση των πλεγματικών κενών μένεται εκθετικά. Κενά που δεν μπορούν να βρουν μια άλλη διέξοδο, πληθαίνουν π.χ. σε εξαρμόσεις που έχουν ήδη δημιουργηθεί ή στην επιφάνεια, συγκεντρώνονται σε ορισμένα σημεία, παραμορφώνουν το πλέγμα και δημιουργούν εξαρμόσεις. Είναι πανερό ότι όσο πιο αργή είναι η ψύξη τόσο λιγότερες είναι οι εξαρμόσεις αυτού του είδους, γιατί τα κενά προφταίνουν να βρουν διέξοδο. γ) Θερμικές τάσεις. Πολλές φορές κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης δημιουργείται στο στερεό ένα καμτίλο μέτωπο θερμοκρασίας που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων αρκετά ισχυρών ώστε να προκαλέσουν πλαστικές παραμορφώσεις. δ) Εξαρμόσεις μπορούν επίσης να ξεκινήσουν από ανομοιότητες στα τοιχώματα του καλούπιου που μπορούν να προκαλέσουν μια κακή αρχή στο κρυσταλλικό πλέγμα.

Για να ελαττώσουμε την πυκνότητα των εξαρμόσεων χρειάζεται μια αρκετά μεγάλη ανάπτυξη σε μια θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από τη θερμοκρασία τήξης και στη συνέχεια βραδεία πήξη.

### Β' Πρόδος (30/5/2002)

#### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 6<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Διαγράμματα φάσεων σε ισορροπία.

1. Τι είναι φάση, συστατικό ενός συστήματος, αλληροπία ή πολυμορφισμός;

Η έννοια φάση σημαίνει ένα ομοιογενές υλικό σώμα που αποτελεί τμήμα ενός συστήματος και χωρίζεται από τα άλλα τμήματα με μια επιφάνεια. Ένα ομοιογενές σώμα έχει την ίδια χημική σύσταση και δομή και τις ίδιες ιδιότητες σε όλη του την έκταση.

Τα συστατικά του συστήματος είναι ένας αριθμός καθαρών ουσιών που αποτελούν το σύνολο των φάσεων.

Μερικά αυτά σώματα παρουσιάζουν στη στερεά τους κατάσταση πολυμορφισμό ή αλλοτροπία, δηλαδή εμφανίζονται με περισσότερες από μια δομές που η καθεμία τους είναι σταθερή σε μια ορισμένη περιοχή θερμοκρασιών. Επομένως, εμφανίζουν περισσότερες από μια φάσεις στη στερεά κατάσταση και περισσότερες από τρεις στο σύνολο.

2. Τι ορίζουν τα διαγράμματα φάσεων και πότε ισχύουν;

Τα διαγράμματα φάσεων ορίζουν τις περιοχές σταθερότητας με την έννοια της χημικής και της θερμοδυναμικής ισορροπίας των διαφόρων φάσεων που μπορεί να υπάρχουν σε ένα σύστημα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση των συστατικών και την πίεση. Τα διαγράμματα φάσεων ισχύουν μόνο για συνθήκες ισορροπίας και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε μέταλλα που δεν είναι σε ισορροπία.

3. Τι είναι κράμα; Πώς κατατάσσονται ανάλογα με το πλήθος των συστατικών;

Κράμα ονομάζουμε κάθε φάση που προκύπτει από ανάμιξη σε διαφορετικές αναλογίες δύο ή περισσότερων συστατικών ενός συστήματος, ανεξάρτητα αν τα συστατικά είναι καθαρά μέταλλα ή ενώσεις μετάλλου με άλλο στοιχείο. Αν τα συστατικά είναι δύο, μιλάμε για διαδιά ή διμερές κράμα, αν είναι τρία, για τριδιά ή τριμερές κ.ο.κ.

4. Διατυπώστε το γενικευμένο νόμο των φάσεων του Gibbs. Εξηγήστε τα σύμβολα.

δημιουργεί μια κοιλότητα διαμέτρου d. Η σκληρότητα στην κλίμακα BHN δίνεται από τη σχέση:

$$(BHN) = 2P / (\pi D^2 [1 - \sqrt{1 - (d/D)^2}])$$

-Έλεγχος Vickers-. Στη μέθοδο αυτή ο εντυπωτής είναι μια λευκαμένη τετραγωνική πυραμίδα από οξείδια. Η τιμή της σκληρότητας δίνεται από τον τύπο:  $VDN = (P/D^2) \cdot 2 \sin(136^\circ/2) = 1,854 \cdot (P/D^2) \text{ kg/mm}^2$ . Επειδή η κοιλότητα που προκαλείται με τη μέθοδο αυτή είναι πολύ μικρή, θα πρέπει η επιφάνεια του δοκιμίου να λειανεται πολύ προσεκτικά.

-Έλεγχος Rockwell. Η μέθοδος αυτή διαφέρει από τις άλλες γιατί μετράει το βάθος της κοιλότητας που δημιουργεί η εφαρμογή του φορτίου. Ο εντυπωτής μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος του δοκιμίου. Στη μέθοδο αυτή εφαρμόζουμε αρχικά ένα φορτίο 10 kg και έπειτα ό,τι είναι το αντίστοιχο βάθος της κοιλότητας. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε ένα πρόσθετο φορτίο, του οποίου η τιμή υπολογίζεται από κατάλληλους πίνακες. Αν h' είναι τώρα το αντίστοιχο βάθος της κοιλότητας, η σκληρότητα υπολογίζεται ως εξής:

$$R = [K - (h' - h)] / C$$

όπου K: σταθερά, ίση με 0,2 για κωνικό εντυπωτή και 0,26 για σφαιρικό και  
C: σταθερά της κλίμακας

#### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 8<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Ημιαγωγικά υλικά.

1. Τι είναι ενεργειακές ταινίες και ενεργειακά χάσματα και πως διαμορφώνονται για αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές;

Όταν τα άτομα του στερεού υλικού απέχουν πολύ μεταξύ τους, το σύστημα έχει πολλές κβαντικές καταστάσεις με την ίδια τιμή ενέργειας. Όταν η ενδοατομική απόσταση μελώνεται σταθερά για να φτάσει στην τιμή που αντιστοιχεί στην κατάσταση ισορροπίας του υλικού, η αλληλεπίδραση ανάμεσα στα γειτονικά άτομα έχει ως αποτέλεσμα κάθε ενεργειακή στάθμη να διευρυνθεί σε μια περιοχή τιμών ενέργειας, δηλαδή σε μια ενεργειακή ταινία που περιέχει τόσες ηλεκτρονικές κβαντικές καταστάσεις όσες υπήρχαν στην αρχική ατομική ενεργειακή κατάσταση για άπειρη απόσταση. Η ταινία που προέρχεται από τα ηλεκτρόνια σθένους ονομάζεται ταινία σθένους και η αμοιός επίσημη ονομάζεται ταινία αγωγιότητας.

Σε ένα μισμαγμένο άτομο, ανάμεσα στις ενεργειακές καταστάσεις των ηλεκτρονίων υπάρχουν απαγορευμένες ενεργειακές τιμές, οι οποίες οδηγούν στο σχηματισμό απαγορευμένων ενεργειακών ταινιών ανάμεσα στις επιτρεπόμενες. Οι ταινίες αυτές είναι τα λεγόμενα ενεργειακά χάσματα.

Στα μέταλλα, οι ταινίες σθένους και αγωγιότητας βρίσκονται πολύ κοντά ή επικαλύπτονται, δημιουργώντας πολύ μικρό ή και ανύπαρκτο ενεργειακό χάσμα, αντίστοιχα. Συνεπώς, τα ηλεκτρόνια σθένους των μετάλλων μπορούν πολύ εύκολα να βρεθούν στην ταινία αγωγιότητας και καθιστούν τα μέταλλα καλούς αγωγούς.

Στους ημιαγωγούς, οι ταινίες σθένους και αγωγιότητας απέχουν κατά ένα ενεργειακό χάσμα λίγο μικρότερο από 4eV, που σημαίνει ότι ένας απόλυτα καθαρός ημιαγωγός είναι άριστος μονωτής σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος εμφανίζει αγωγιμότητα, η οποία οφείλεται στην θερμική ενέργεια που παίρνουν τα ηλεκτρόνια από το περιβάλλον η οποία τους επιτρέπει να αυξήσουν την κινητική τους ενέργεια και να υπερπηδήσουν το ενεργειακό χάσμα.

Τέλος, στους μονωτές, το ενεργειακό χάσμα είναι τόσο μεγάλο που ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες τα ηλεκτρόνια σθένους δεν μπορούν να το υπερπητήσουν.

2. Ποια είναι οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι ημιαγωγοί σήμερα;

Μερικοί από τους σημαντικότερους ημιαγωγούς στην ηλεκτρονική βιομηχανία είναι οι: Si, Ge, GaAs, InSb, InP, GaP, ZnS, CdS, PbS, Cu<sub>2</sub>O κ.α.

3. Γιατί εισάγουμε προσμίξεις (π.χ. φωσφόρο, αρσενικό, βορίο...) σε καθαρούς ημιαγωγούς πυριτίου;

Να δοθούν οι ορισμοί ημιαγωγού πυριτίου τύπου p και τύπου n.

Όταν σε έναν καθαρό ημιαγωγό εισαχθεί μια μικρή ποσότητα πρόσμιξης, η μεταβολή της αγωγιμότητάς του θα είναι σημαντική. Το φαινόμενο αυτό της προσθήκης προσμίξεων, είναι βασικό για τις εφαρμογές των ημιαγωγών στη βιομηχανία ηλεκτρονικών.

Η προσθήκη ατόμων πενταθενών στοιχείων, έχει ως αποτέλεσμα η συγκέντρωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων στην ταινία αγωγιότητας να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των οποίων στην ταινία σθένους. Στην περίπτωση αυτή ο ημιαγωγός είναι τύπου n, που σημαίνει ότι στις διεργασίες αγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στους ημιαγωγούς αυτούς κυριαρχούν τα ηλεκτρόνια.

Κατά την προσθήκη ατόμων τρισθενών στοιχείων, τα τρία αυτά ηλεκτρόνια σθένους σχηματίζουν τρεις ομοιοπολικούς δεσμούς με τρία γειτονικά άτομα του καθαρού ημιαγωγικού κρυστάλλου. Για να σχηματιστεί και τέταρτος δεσμός, προσλαμβάνεται ένα ηλεκτρόνιο από διάσπαση ενός γειτονικού ομοιοπολικού δεσμού. Έτσι θα σχηματιστεί μια σπή στη θέση του δεσμού που διασπάστηκε. Στους ημιαγωγούς τύπου p, δηλαδή, η πλειονότητα των φορέων είναι οιές και η μειονότητα ηλεκτρόνια.

4. Να δώσετε σε επίπεδη παράσταση τη δομή ενός ενδογενούς κρυστάλλου καθώς και την παράσταση των ενεργειακών ταινιών για  $T=0K$  και για  $T>>0K$  και να εξηγήσετε συνοπτικά που οφείλεται η αγωγιμότητά του για  $T>>0K$ .

5. Να κάνετε το ίδιο για ημιαγωγό πυριτίου με προσμίξεις τύπου n και p. (Βασικό θέμα)



6. Τι είναι οι οπές, πως δημιουργούνται και τι ρόλο παίζουν στην ηλεκτρική συμπεριφορά του ημιαγωγού; Όταν τους προσφερθεί αρκετή ενέργεια, κάποια ηλεκτρόνια των δεσμών μπορεί να απομακρυνθούν από τους πυρήνες των ατόμων που ανήκουν και ελεύθερα πλέον να κινηθούν μέσα στον κρύσταλλο. Αυτό σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια από την ταυρία σθένους πηγαίνουν στην ταυρία αγωγιμότητας. Στο δεσμό από τον οποίο έφυγε το ηλεκτρόνιο, έμεινε μια θέση κενή, η οποία ονομάζεται οπή. Οι οπές αποτελούν ένα νέο στοιχείο στην αγωγιμότητα. Είναι δυνατόν ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό προς την οπή δεσμό να μετακινηθεί και να εξανδρατερώσει την οπή. Τότε όμως, ενώ η οπή αυτή θα εξαφανιστεί, στη θέση από την οποία έφυγε το ηλεκτρόνιο θα εμφανιστεί μια άλλη. Έτσι φαίνεται σαν να κινήθηκε η οπή προς αντίθετη κατεύθυνση προς αυτή που κινήθηκε το ηλεκτρόνιο. Όταν δεν υπάρχει εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, οι κινήσεις αυτές είναι τυχαίες. Γι' αυτό στους καθαρούς ημιαγωγούς ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι ίσος με τον αριθμό των οπών. Έτσι, όταν ο ημιαγωγός βρίσκεται σε θερμική ισορροπία, ο αριθμός των ηλεκτρονίων και των οπών είναι σταθερός.

#### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 9<sup>ος</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ. Διηλεκτρικά υλικά.

1. Ποια είναι η κυριότερη χρήση των διηλεκτρικών; Από τι εξαρτάται η διηλεκτρική σταθερά ενός υλικού; Διηλεκτρικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πυκνωτών και ηλεκτρικών μονώσεων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα κεραμικά και τα πολυμερή υλικά.

Η διηλεκτρική σταθερά ενός διηλεκτρικού εξαρτάται από τον τύπο δεσμών, την κρυσταλλική δομή, τη σύσταση των φάσεων και τις δομικές ατέλειες του υλικού. Η σταθερά αυτή επίσης μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και τη συχνότητα.

2. Τι είναι πόλωση; Δώστε τη σχέση της πυκνότητας επιφανειακού φορτίου  $D$  σε επίπεδο πυκνωτή, με και χωρίς διηλεκτρικά.

Όταν ένα διηλεκτρικό τοποθετείται ανάμεσα στις πλάκες πυκνωτή και εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, τα θετικά φορτία θα υποστούν μικρές μετατοπίσεις προς την κατεύθυνση του πεδίου, ενώ τα αρνητικά φορτία θα μετατοπιστούν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Επειδή τα φορτία δεν είναι ελεύθερα, οι μετατοπίσεις αυτές είναι περιορισμένες, αλλά το συνολικό αποτέλεσμα είναι ισοδύναμο με μια σειρά από ηλεκτρικά διπολα προσανατολισμένα προς την κατεύθυνση του πεδίου. Η παραπάνω διαδικασία της ευθυγράμμισης των μόνιμων ή επαγόμενων ατομικών ή μοριακών διπολικών ροπών με ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται πόλωση. Η πυκνότητα επιφανειακού φορτίου σε επίπεδο πυκνωτή δίνεται από τις σχέσεις:  $D_0 = \epsilon_0 \cdot E$  όταν δεν υπάρχει διηλεκτρικό και  $D = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$  ή  $D = \epsilon_r \cdot E + P$  όταν υπάρχει διηλεκτρικό, όπου  $\epsilon_r$ : η διηλεκτρική σταθερά του κενού,  $\epsilon_r$ : η διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού και  $P$ : η πόλωση.

3. Ποιοι είναι οι τύποι της πόλωσης;

-Η ηλεκτρονική πόλωση υπάρχει σε όλα τα διηλεκτρικά υλικά, επειδή προέρχεται από τη μετατόπιση του αρνητικού νέφους ηλεκτρονίων κάθε ατόμου σχετικά με τον πυρήνα του, με αποτέλεσμα κάθε άτομο να γίνει ένα ηλεκτρικό διπολό.

-Η ιοντική πόλωση οφείλεται στη μετατόπιση γειτονικών ιόντων αντίθετου φορτίου και εμφανίζεται μόνο σε διηλεκτρικά με ιοντικούς δεσμούς.

Σημ: Η θερμική κίνηση των ατόμων και των μορίων ασκεί μικρή επίδραση στον προσανατολισμό αυτών των επαγόμενων διπολών και, επομένως, ο βαθμός της ηλεκτρονικής και της ιοντικής πόλωσης είναι σχεδόν ανεξάρτητος από τη θερμοκρασία.

-Πόλωση από προσανατολισμό εμφανίζεται σε υγρά και στερεά που έχουν ασύμμετρα μόρια, των οποίων οι μόνιμες ροπές διπολών μπορούν να ευθυγραμμιστούν από το ηλεκτρικό πεδίο. Επειδή όμως η θερμική κίνηση των μορίων τείνει να δημιουργήσει τυχαίο προσανατολισμό, ο βαθμός της πόλωσης μειώνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας.

Η πόλωση από προσανατολισμό δεν ισχύει στους ιοντικούς κρυστάλλους και στο γυαλί. Στα υλικά αυτά υπάρχει όμως ένας διαφορετικός μηχανισμός προσανατολισμού, που λειτουργεί όταν υπάρχουν δύο ή περισσότερες ισοδύναμες θέσεις για ένα ιόν πρόσμιξης που βρίσκεται κοντά σε μια οπή πλέγματος. Το διπολό ιόντος - οπής μπορεί να αλλάξει θέση στο χώρο ανάλογα με τη διεύθυνση του πεδίου.

-Ο τέταρτος τύπος πόλωσης οφείλεται στη συσώρευση φορτίων στις διεπιφάνειες μεταξύ φάσεων σε πολυφασικά διηλεκτρικά υλικά λόγω της μεγάλης διαφοράς των ειδικών ηλεκτρικών αγωγιμότητων των διαφόρων φάσεων. Ο τύπος αυτός της πόλωσης παρουσιάζεται σε φερρίτες, ημιαγωγούς και σύνθετους μονωτές σε υψηλές θερμοκρασίες.

4. Δώστε τον ορισμό της διηλεκτρικής αντοχής.

Σημαντικό κριτήριο για την αξιολόγηση ενός διηλεκτρικού είναι η διηλεκτρική αντοχή ή αντοχή διάτρησης. Η ποσότητα αυτή ορίζεται ως η μέγιστη βαθμίδα δυναμικού που μπορεί να παραλάβει το διηλεκτρικό πριν διατρηθεί από το ρεύμα.

5. Από ποια ισχύος σε πυκνωτή. Σχέση, συντελεστής απώλειών και που οφείλονται.

Όταν χρησιμοποιούνται πραγματικά διηλεκτρικά, το ρεύμα προηγείται της τάσης κατά  $90^\circ$ - $8^\circ$ , οπότε προκαλείται απώλεια ισχύος από το διηλεκτρικό που εμφανίζεται σαν θερμότητα και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Απώλεια Ισχύος} = \pi \cdot \nu \cdot V^2 \cdot \epsilon_r \cdot \tan \delta$$

Αυτή η υστέρηση του ρεύματος μέσα από τον πυκνωτή οφείλεται στο γεγονός ότι η πόλωση καθυστερεί σχετικά με το εφαρμοζόμενο εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Το γινόμενο  $\epsilon_r \cdot \tan \delta$  λέγεται συντελεστής απωλειών και η εραπτομένη  $\delta$  λέγεται εραπτομένη απωλειών ή συντελεστής υποβάθμισης. Συνεπώς ο συντελεστής απωλειών χαρακτηρίζει τη χρησιμότητα του υλικού σαν διηλεκτρικό ή μονωτικό. Και στις δύο περιπτώσεις είναι επιθυμητή η μικρή εραπτομένη απωλειών σαν ιδιότητα του υλικού. Οι διηλεκτρικές απώλειες στα διηλεκτρικά οφείλονται στην αγωγιμότητα των υλικών αυτών για συνεχή ρεύματα, δεδομένου ότι η αντίστασή τους δεν είναι άπειρη, και στο χρόνο χαλάρωσης που χρειάζονται τα δίπολα.

6. Τι μεταβολή επιφέρει η μηχανική πίεση και αντίστροφα τι μεταβολή επιφέρει η εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου σε έναν κρύσταλλο και πως ονομάζονται οι κρύσταλλοι αυτοί;

-Η μηχανική πίεση επιφέρει πόλωση του κρυστάλλου, προκαλώντας μη συμμετρική μετατόπιση των ιόντων του (με την προϋπόθεση ότι ο κρύσταλλος δεν παρουσιάζει κέντρο συμμετρίας) με αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος. Η διπολική απόσταση  $d$  μειώνεται, οπότε μειώνεται το φορτίο στα ηλεκτρόδια, εφόσον υπάρχει αγωγή σύνδεση μεταξύ τους. Αν δεν υπάρχει σύνδεση, τότε δημιουργείται διαφορά δυναμικού.

-Αντίστροφα, με την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου στα δύο ηλεκτρόδια, τα δίπολα για να αντισταθμίσουν τη δύναμη του πεδίου αυξάνουν την απόστασή τους  $d$ , με αποτέλεσμα τη μεταβολή των διαστάσεων του υλικού και έτσι έχουμε ηλεκτρομηχανικές παραμορφώσεις (αντίστροφο φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού).

Τα υλικά που έχουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά ονομάζονται πιεζοηλεκτρικά (δηλαδή αλληλεπίδραση πίεσης και ηλεκτρισμού). Οι κρύσταλλοι στους οποίους υπάρχουν προσανατολισμένα δίπολα είναι επίσης πιεζοηλεκτρικά υλικά.

7. Ποια η χρήση των διηλεκτρικών υλικών (συνοπτικά) και πως διακρίνονται;

Ένα διηλεκτρικό υλικό που χρησιμοποιείται κυρίως για μονωτικούς σκοπούς, πρέπει να έχει μικρή διηλεκτρική σταθερά για να διατηρεί τη χωρητικότητα μεταξύ των αγωγών χαμηλή και μικρό συντελεστή απωλειών για τη μείωση των φαινομένων θέρμανσης, αλλά υψηλή αντίσταση μόνωσης και υψηλή διηλεκτρική ισχύ.

Όταν όμως τα διηλεκτρικά χρησιμοποιούνται σε πυκνωτές, τότε είναι συνήθως επιθυμητή η μεγάλη διηλεκτρική σταθερά προκειμένου η χωρητικότητα να είναι μεγάλη για σταθερό όγκο.

Τα διηλεκτρικά υλικά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: α) Αυτά που έχουν διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon_r < 12$  β) Αυτά που έχουν διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon_r > 12$  και γ) Τα σιδηροηλεκτρικά και σιδηρομαγνητικά υλικά.

Η πρώτη κατηγορία μπορεί να διαιρεθεί σε υποκατηγορίες με βάση τη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί το υλικό.