



# ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ενότητα 7: ΚΕΡΑΜΙΚΑ

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.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# ΚΕΡΑΜΙΚΑ



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. ΚΕΡΑΜΙΚΑ

- i. Δεσμοί στα κεραμικά
- ii. Σταθερότητα δομής
- iii. Αριθμός σύνταξης
- iv. Ατέλειες δομής
- v. Προσμίξεις
- vi. Μηχανικές ιδιότητες
- vii. Κατηγορίες και εφαρμογές



# Σκοποί ενότητας

- Να είναι σε θέση οι φοιτητές να υπολογίσουν το ποσοστό του ιοντικού χαρακτήρα ενός δεσμού.
- Να μπορούν οι φοιτητές να προβλέψουν τη κρυσταλλική δομή ενός κεραμικού κάνοντας χρήση του λόγου  $r_{\text{cation}}/r_{\text{anion}}$ .
- Να εξοικειωθούν οι φοιτητές με τις μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες των κεραμικών.
- Να είναι σε θέση να απαριθμούν κάποιες από τις βασικές εφαρμογές των κεραμικών.



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Τα κεραμικά υλικά είναι ανόργανα μη μεταλλικά υλικά, τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες ( συνήθως  $>1000^{\circ}\text{C}$ ).
- Είναι κυρίως ενώσεις μεταλλικών με μη – μεταλλικά στοιχεία.

Η διάταξη των ατόμων σε ένα κεραμικό υλικό μπορεί να είναι:

- Περιοδική  $\rightarrow$  κρυσταλλικά κεραμικά.
- Τυχαία  $\rightarrow$  άμορφα γυαλιά.



# ΔΕΣΜΟΙ ΣΤΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ (1)

- Οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων κυμαίνονται από καθαρά ιοντικοί έως ομοιοπολικοί.
- Το είδος του δεσμού επηρεάζει τόσο την κρυσταλλική δομή όσο και τις ιδιότητες του υλικού.
- Καθορίζεται από τη διαφορά ηλεκτροαρνητικότητας μεταξύ των εμπλεκόμενων στοιχείων.





# ΔΕΣΜΟΙ ΣΤΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ (2)

- Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ηλεκτροαρνητικότητας τόσο εντονότερος είναι ο ιοντικός χαρακτήρας του δεσμού.
- Στην περίπτωση υλικών που αποτελούνται από δυο στοιχεία A και B, το % ιοντικού χαρακτήρα P δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$P = 1 - \exp[-0,25 \cdot (X_A - X_B)^2] \cdot 100\%$$

( όπου  $X_A, X_B$  οι τιμές ηλεκτροαρνητικότητας κατά Pauling)



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Να υπολογίσετε το ποσοστό (%) του ιοντικού χαρακτήρα των δεσμών στα παρακάτω υλικά:

1.  $\text{TiO}_2$

2.  $\text{SiC}$

- Για το  $\text{TiO}_2$  έχουμε:  $X_{\text{Ti}} = 1,5$  και  $X_{\text{O}} = 3,5$  όποτε με αντικατάσταση στην σχέση της προηγούμενης διαφάνειας και πράξεις προκύπτει  $P = 63\%$ .
- Για το  $\text{SiC}$  έχουμε:  $X_{\text{Si}} = 1,8$  και  $X_{\text{C}} = 2,5$  όποτε με αντικατάσταση στην σχέση της προηγούμενης διαφάνειας και πράξεις προκύπτει  $P = 11\%$ .



# ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΔΟΜΗΣ

Τα ιοντικά κεραμικά μπορούν να περιγραφούν από ένα γενικό τύπο της μορφής  $A_m B_n$ .

- Οι τιμές των  $m$ ,  $n$  πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ηλεκτρική ουδετερότητα του υλικού.
- Κάθε κατιόν θα πρέπει να περιβάλλεται από όσο το δυνατόν περισσότερα γειτονικά ανιόντα.
- Κάθε κατιόν πρέπει να εφάπτεται σε όλα τα ανιόντα που το περιβάλλουν.



# ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝΤΑΞΗΣ ΠΟΛΥΕΔΡΟΥ (1)

- Ο αριθμός των κοντινότερων ανιόντων σε ένα κατιόν ονομάζεται αριθμός σύνταξης [CN: Coordination Number].
- Για κάθε αριθμό σύνταξης υπάρχει ένας κρίσιμος λόγος ιοντικών ακτινών  $r_{\text{cation}}/r_{\text{anion}}$  για τον οποίο εξασφαλίζεται η επαφή με το κατιόν όλων των ανιόντων που το περιβάλλουν.



# ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝΤΑΞΗΣ ΠΟΛΥΕΔΡΟΥ (2)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝΤΑΞΗΣ	ΛΟΓΟΣ ΙΟΝΤΙΚΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ	ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ
2	$<0,155$	
3	$0,155 - 0,225$	
4	$0,225 - 0,414$	Σφαλερίτη (ZnS)
6	$0,414 - 0,732$	Ορυκτού άλατος (NaCl)
8	$0,732 - 1$	Χλωριούχου καισίου (ClCs)



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΟΜΗΣ (1)

Με βάση τις ιοντικές ακτίνες που δίνονται στον παρακάτω πίνακα, μπορείτε να προβλέψετε την κρυσταλλική δομή του FeO;

ΙΟΝΤΑ	ΙΟΝΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΑ (nm)
Al <sup>3+</sup>	0.053
Fe <sup>2+</sup>	0.077
Fe <sup>3+</sup>	0.069
Ca <sup>2+</sup>	0.100
O <sup>2-</sup>	0.140
Cl <sup>-</sup>	0.181
F <sup>-</sup>	0.133

$$\frac{r_{cation}}{r_{anion}} = \frac{0.077}{0.140} = 0.550 \xrightarrow{\text{πίνακας}} CN = 6$$

$\xrightarrow{\text{Δομή}} NaCl$



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΟΜΗΣ (2)

Με βάση τις ιοντικές ακτίνες που δίνονται στον παρακάτω πίνακα, μπορείτε να προβλέψετε την κρυσταλλική δομή του  $\text{CaF}_2$ ;

ΙΟΝΤΑ	ΙΟΝΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΑ (nm)
$\text{Al}^{3+}$	0.053
$\text{Fe}^{2+}$	0.077
$\text{Fe}^{3+}$	0.069
$\text{Ca}^{2+}$	0.100
$\text{O}^{2-}$	0.140
$\text{Cl}^-$	0.181
$\text{F}^-$	0.133

$$\frac{r_{\text{cation}}}{r_{\text{anion}}} = \frac{0.100}{0.133} = 0.752 \xrightarrow{\text{πίνακας}} \text{CN} = 8$$
$$\xrightarrow{\text{Δομή}} \text{CsCl}$$

✓ Όμως, πρέπει επιπλέον να ληφθεί υπόψη πως ο αριθμός  $\text{Ca}^{2+}$  ισούται με το μισό του αριθμού  $\text{F}^-$ . Τελικά έχουμε δομή φλουορίτη.



# ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΔΟΜΗΣ

- Ατέλειες Frenkel: ένα κατιόν μετακινηθεί από την κανονική πλεγματική του θέση.
- Ατέλειες Schottky: ζεύγος κενών θέσεων ώστε να μην επηρεάζεται η ηλεκτρική ουδετερότητα.
- Ο αριθμός ατελειών είναι ανάλογος του  $\exp(-E_D/kT)$ .

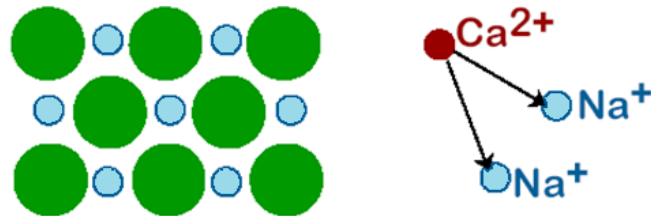




# ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ

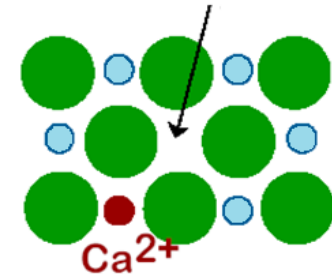
- Τα ιόντα τα οποία αντικαθίστανται ενδέχεται να έχουν φορτίο ίσο, μεγαλύτερο ή μικρότερο από τα ιόντα πρόσμιξης.
- Η διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας ενδέχεται να δημιουργήσει και άλλες ατέλειες.

Πρόσμιξη λόγω αντικατάστασης κατιόντος



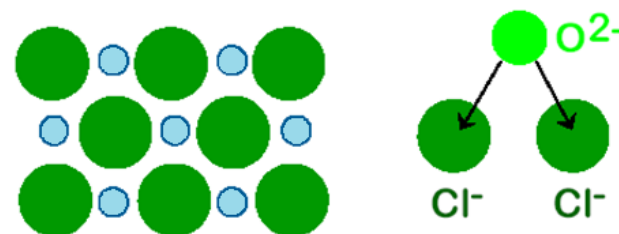
Τέλειος κρύσταλλος NaCl

Κενή θέση κατιόντος



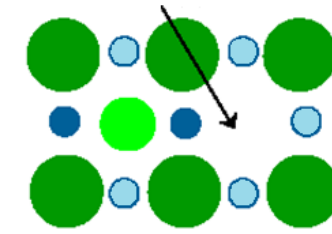
Τελική γεωμετρία

Πρόσμιξη λόγω αντικατάστασης ανιόντος



Τέλειος κρύσταλλος NaCl

Κενή θέση ανιόντος



Τελική γεωμετρία



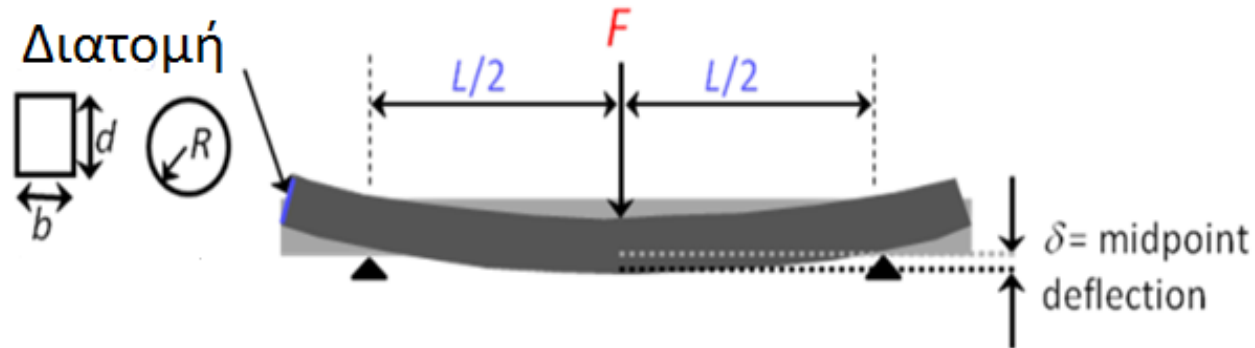
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Σε θερμοκρασία δωματίου παρουσιάζουν:

- ✓ Ψαθυρή θραύση (όχι πλαστική παραμόρφωση).
- ✓ Υψηλό μέτρο ελαστικότητας.
- ✓ Αυξημένη σκληρότητα.



# ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



$$E = \frac{F}{\delta} \frac{L^3}{4bd^3} \rightarrow \text{τύπος για ορθογ. διατομή}$$

$$E = \frac{F}{\delta} \frac{L^3}{12\pi R^4} \rightarrow \text{τύπος για κυκλ. διατομή}$$

- Η συμβατική δοκιμή εφελκυσμού δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στα κεραμικά.
- Εφαρμόζεται η δοκιμασία της κάμψης τριών σημείων.



# ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- Τα περισσότερα κεραμικά υλικά είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού (έλλειψη ελεύθερων ηλεκτρονίων).
- Εξαίρεση τα καρβίδια, νιτρίδια, βορίδια των W, V, Co, Nb, Cr.
- Κάποια κεραμικά (π.χ. GaAs, SiC) ανήκουν στους ημιαγωγούς.
- Κάποια επίσης εμφανίζουν πιεζοηλεκτρικές και φερροηλεκτρικές ιδιότητες (BaTiO<sub>3</sub>).



# ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

- Πυριτικά (γυαλιά)
- Αργιλικά (πηλός)
- Πυρίμαχα
- Λειαντικά
- Τσιμέντο
- Προηγμένα
- Ορυκτά
- Απλά οξειδία
- Μεικτά οξειδία
- Μη - οξυγονούχα



# ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ

- Οξειδία ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{UO}_2$ )
- Καρβίδια ( $\text{SiC}$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{WC}$ ,  $\text{TiC}$ )
- Νιτρίδια ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{GaN}$ )
- Βορίδια ( $\text{ZrB}_2$ ,  $\text{TiB}_2$ )
- Πυριτίδια ( $\text{MoSi}_2$ ,  $\text{TiSi}_2$ )
- Φθορίδια ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{LiF}$ )



# ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- Αντιδιαβρωτικά μέρη κατασκευών.
- Στοιχεία υψηλών θερμοκρασιών.
- Θερμομονωτές.
- Κοπτικά εργαλεία.
- Μέρη Μ.Ε.Κ. και τουρμπίνων.
- Ιατρικά εμφυτεύματα.
- Αισθητήρες.
- Μαγνητικά υλικά.
- Υπεραγωγοί.



# Σημείωμα Αναφοράς

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

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

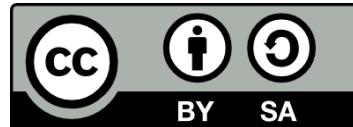
<https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS492/>.





# 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.

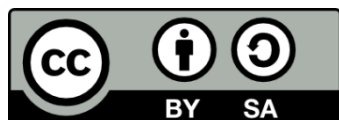
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





# 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.

