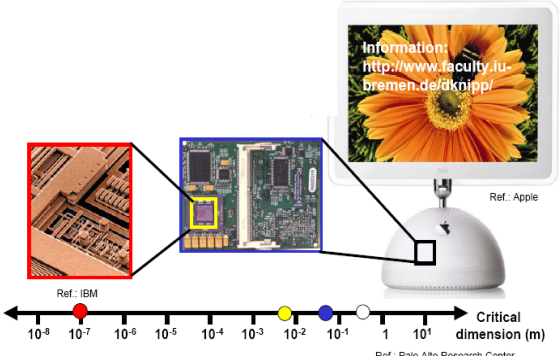

 Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
 Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
 Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Τμήματος ΗΜΜΥ
 Ακαδ. Έτος 2023-2024

ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΥΛΙΚΩΝ



Φίλιππος Φαρμάκης

Ref.: Pao Alto Research Center

1

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΛΕΞΗΣ

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΓΝΩΣΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ
 Ηλεκτρονική-Τηλεπικοινωνίες-Ενέργεια-Περιβάλλον-Υγεία

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

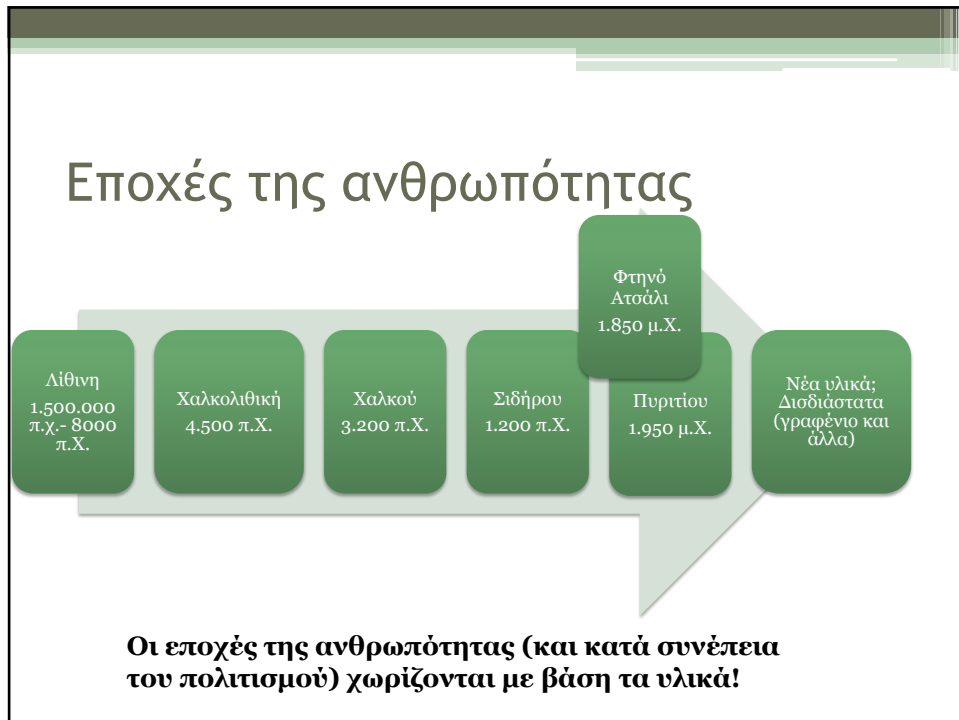
ΒΙΒΛΙΑ ΔΙΑΔΑΣΚΑΛΙΑΣ-ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ

ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ-ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ

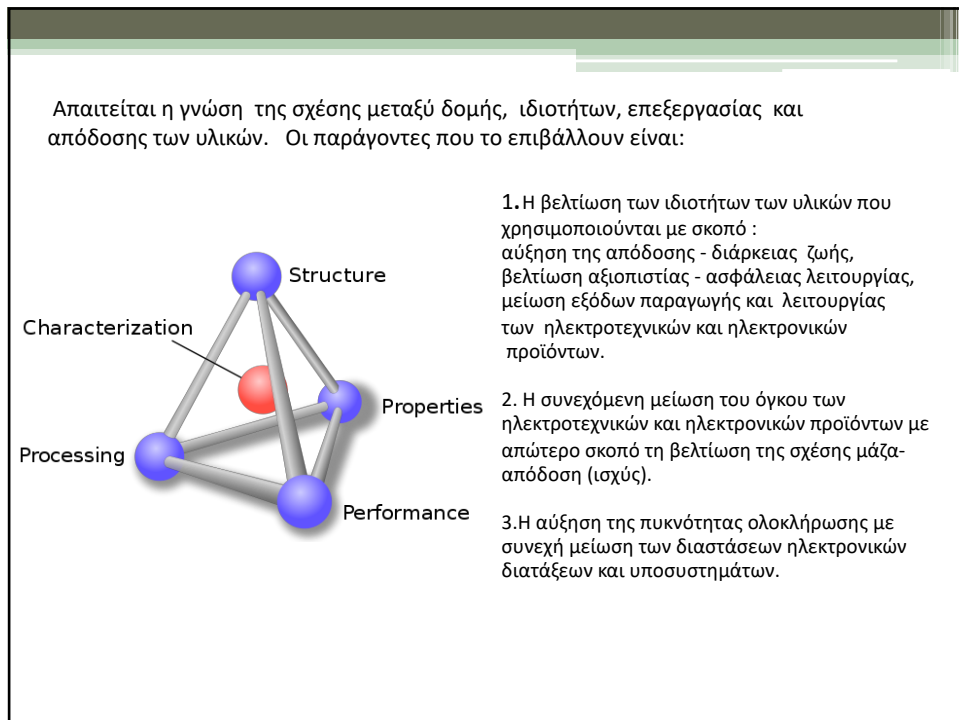
ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ-ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΕΣ

ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ-ΔΟΜΗ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

2



3



4

Δομή υλικών

- 1. Σε υποατομικό επίπεδο : Δεσμοί**
 Η ηλεκτρονική δομή μεμονωμένων ατόμων και η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών για το σχηματισμό δεσμών
- 2. Σε ατομικό επίπεδο: Κρυσταλλική Δομή**
 Η περιοδική διάταξη των ατόμων/ιόντων/μορίων/ ή ομάδων από αυτά στο χώρο (μπορεί για το ίδιο άτομο να έχουμε διαφορετικές δομές, επομένως έχουμε υλικά με διαφορετικές ιδιότητες π.χ. δύο μορφές του άνθρακα, γραφίτης και διαμάντι)
- 3. Μικροσκοπική δομή:**
 Διευθέτηση των κρυσταλλιτών /φάσεων /ατελειών στα υλικά
- 4. Μακροσκοπική δομή:** Το σχήμα, μέγεθος του υλικού

Κλίμακες μήκους

Angstrom = $1\text{\AA} = 1/10,000,000,000 \text{ meter} = 10^{-10} \text{ m}$

Nanometer = $10 \text{ nm} = 1/1,000,000,000 \text{ meter} = 10^{-9} \text{ m}$

Micrometer = $1\mu\text{m} = 1/1,000,000 \text{ meter} = 10^{-6} \text{ m}$

Millimeter = $1\text{mm} = 1/1,000 \text{ meter} = 10^{-3} \text{ m}$

5

The Scale of Things – Nanometers and More

Things Natural

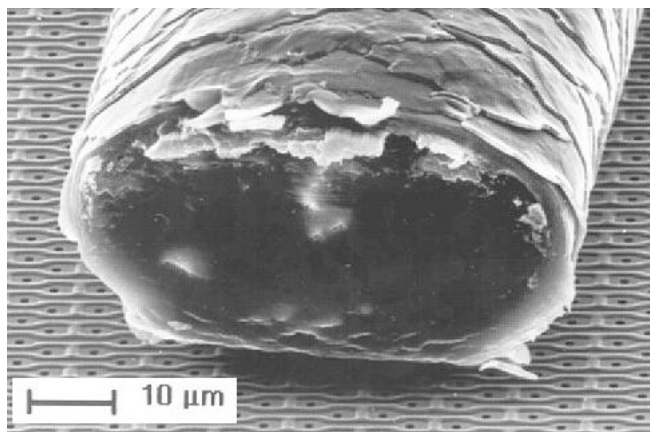
Things Manmade

The Challenge

Fabricating and combining nanoscale building blocks to make a useful device, e.g. a microprocessor, involves creating and controlling structures at the nanoscale.

6

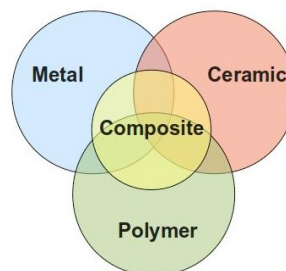
Τρίχα πάνω σε 16KB DRAM



7

Βασικές κατηγορίες υλικών

- Μέταλλα
- Κεραμικά
- Πολυμερή
- Σύνθετα υλικά



- Υπάρχει και κατηγοριοποίηση ανάλογα με την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα
 - Μονωτές
 - Αγωγοί
 - Ημιαγωγοί

8

Ιδιότητες Υλικών –Καταλληλότητα για εφαρμογή

1. Ηλεκτρικές Ιδιότητες Υλικών :

Απόκριση σε ηλεκτρικά πεδία:

- ★ αγωγιμότητα, κ.λ.π.

2. Θερμικές Ιδιότητες Υλικών :

Συνδέονται με τη μετάδοση της θερμότητας

και τη Θερμοχωρητικότητα:

- ★ Θερμική αγωγιμότητα
- ★ Θερμική διαστολή
- ★ Ειδική θερμοχωρητικότητα

3. Διηλεκτρικές Ιδιότητες Υλικών:

- ★ Διηλεκτρική σταθερά
- ★ Πολωσιμότητα
- ★ Διηλεκτρικές απώλειες

4. Οπτικές Ιδιότητες Υλικών :

- ★ Απορρόφηση
- ★ Διαπερατότητα
- ★ Διασκεδασμός του φωτός

5. Πιεζοηλεκτρικές Ιδιότητες Υλικών :

- ★ Πιεζοηλεκτρισμός
- ★ Θερμοηλεκτρισμός

Μέτρο καταλληλότητας υλικού για συγκεκριμένη εφαρμογή

1. Κόστος
2. Διάρκεια ζωής
3. Αποτελεσματικότητα
4. Αξιοπιστία
5. Οικολογικές επιδράσεις

9

Εφαρμογές στην Ηλεκτρονική

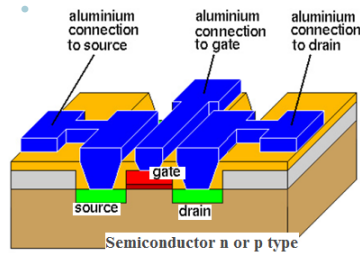
Βιομηχανία ημιαγωγών: Πάνω από 95% των ηλεκτρονικών διατάξεων (δίοδοι, τρανζίστορ, θυρίστορ) και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (π.χ. μικροεπεξεργαστές, μνήμες), βασίζονται στην τεχνολογία πυριτίου **Si**
 Ημιαγωγοί **Ge, GaAs** για ειδικές εφαρμογές: δίοδοι LED, ηλεκτρονικά υψηλής ταχύτητας.
 Σήμερα, η πιο σημαντική διάταξη είναι το τρανζίστορ MOSFET

Υλικά στο Τρανζίστορ MOSFET :

Ημιαγωγικά Si, Ge, GaAs, GaN,...

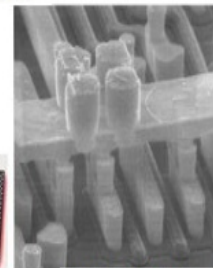
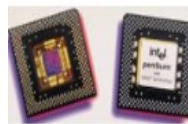
Διηλεκτρικά για τη μόνωση της πύλης SiO₂, Al₂O₃, Si₃N₄.....

Μέταλλα για τις μεταλλικές διασυνδέσεις, Cu, Al, Au...



Semiconductors

Si wafer for computer chip devices.



Εικόνα μεταλλικών διασυνδέσεων στο Ic

University of Virginia, Dept. of Materials Science and Engineering

10

Εφαρμογές στην Ηλεκτρονική

Τύπος δομής υλικού στο τρανζίστορ MOSFET

κρυσταλλική δομή

πολυκρυσταλλικό υλικό

μόρια κρυσταλλιτών

όρια κρυσταλλιτών

silicide

G

nitride spacer

D

poly Si

S

substrate Si

50nm

άμορφο υλικό

μονοκρυσταλλικό υλικό

11

Εφαρμογές στην Ηλεκτρονική

Απαιτήσεις για συνεχώς μικρότερες διατάξεις
Επόμενη γενιά ηλεκτρονικών μετά το τέλος της εξέλιξης της
τεχνολογίας CMOS, MOSFET ποιά θα είναι ?

Εικόνα των επιμεταλλώσεων στις διασυνδέσεις των
διατάξεων στο ολοκληρωμένο κύκλωμα Ic, από χαλκό
Cu έξι επιπέδων, (η μόνωση μεταξύ των επιπέδων των
διασυνδέσεων γίνεται με SiO₂)

Information:
<http://www.faculty.iu-bremen.de/dknipp/>

Ref.: Apple

Ref.: IBM

Ref.: Palo Alto Research Center

Critical dimension (m)

12

Νανοτεχνολογία (nanotechnology)
 nanowires, nanotubes, nanoparticles (quantum dots)

Integrated Circuits and Nanotech

The IC industry is approaching a period where nanotech approaches will be required to sustain technology growth

• History and future projections for minimum feature size in silicon chips.

J.D. Plummer, M.D. Deal, and P.B. Griffin, "Silicon VLSI Technology – Fundamentals, Practice and Modeling" Prentice Hall, NJ

A

B

5 nm Si nanowire FET

13

NANOTECHNOLOGIA

Ο σχεδιασμός, χαρακτηρισμός και εφαρμογή δομών, διατάξεων και συστημάτων που βασίζεται στο έλεγχο του μεγέθους και σχήματος στην κλίμακα του nm (σε ατομική, μοριακή και μακρομοριακή κλίμακα) με σκοπό να παράγουμε υλικά με καινούργια/βελτιωμένα χαρακτηριστικά/ιδιότητες

Γιατί στην κλίμακα των nm, οι φυσικές και χημικές ιδιότητες διαφέρουν σημαντικά από αυτές σε μεγαλύτερη κλίμακα !

Σχηματίζονται με εισαγωγή ή δόμηση από νανοσωματίδια

Κατηγορίες: νανοκρύσταλλοι, νανοσκόρες, νανοσωλήνες

Εφαρμογές: πληροφορια-αποθήκευση, Αποθήκευση μνήμης, νέα ημιαγωγικές – οπτοηλεκτρονικές διατάξεις, οθόνες, Κβαντικοί υπολογιστές

atom 0.1 nm

carbon nanotube diameter 5-10 nm

transistor 35 nm

red blood cell 10 μm

grain of sand 1 mm

1 nm DNA diameter

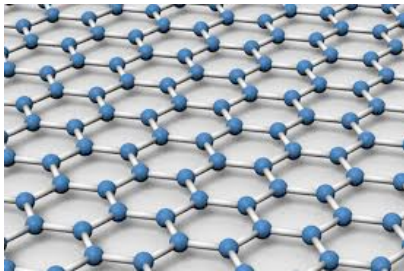
10 nm protein

150 μm human hair diameter

14

Γραφένιο - το νέο πυρίτιο;

- Υλικό δύο διαστάσεων
- Ανακαλύφθηκε πρόσφατα 2004 (Andre Geim και Konstantin Novoselov)- Βραβείο Νόμπελ 2010
- Η Ευρώπη επενδύει στην έρευνα και ανάπτυξη του υλικού και των εφαρμογών του **1 δις Ευρώ!!**
- Το λεπτότερο και ελαφρύτερο υλικό, πάχους μόλις ενός ατόμου (με διάσταση 2D) ισχυρότερο από το διαμάντι και 200 φορές ισχυρότερο από το ατσάλι, με εξαιρετική αγωγιμότητα, άγει τον ηλεκτρισμό χίλιες φορές ταχύτερα και καλύτερα από το χαλκό

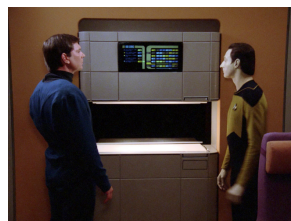
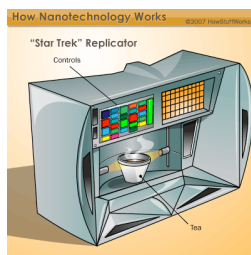


Δυνατές εφαρμογές:

για ενίσχυση πλαστικών, καθιστώντας τα αγωγικά ταυτόχρονα σε οθόνες των κινητών τηλεφώνων, οθόνες αφής, οθόνες τηλεόρασης κλπ., αντικατάσταση της τεχνολογίας πυρίτιου, για την κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, πυκνότερων και ταχύτερων από τα σημερινά. Αυτές είναι μόνο ελάχιστες από τις εφαρμογές που μελετώνται διεθνώς.

15

Το μέλλον της νανοτεχνολογίας;- Star Trek Replicator



3D printer



Θα μπορούσαμε άραγε να παρασκευάσουμε την ύλη άτομο-άτομο;

Ίσως με τη εξέλιξη της νανοτεχνολογίας!

16

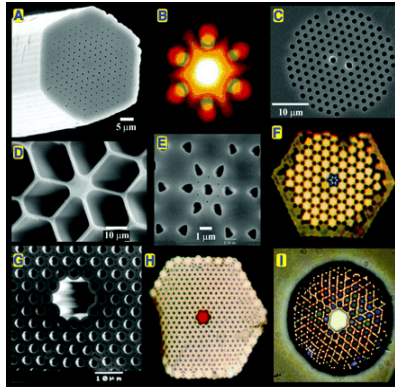
Τηλεπικοινωνίες

★ Αναζήτηση τεχνολογίας για κατασκευή γραμμών μεταφοράς με μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης και μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων

★ Οπτικές ίνες :
SiO₂, P₂O₅, Ακρυλική ουρεθάνη
Φωτονικοί κρύσταλλοι (ελάχιστη απορρόφηση φωτός)

★ Κεραίες-πομποδέκτες
Μέταλλα, Μετα-μέταλλα
Νανοτεχνολογία

★ Δορυφόροι
Υλικά σκληρών συνθηκών
Ειδικά κεραμικά



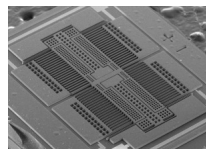
Cross-sections of various types of photonic-crystal fibres. Reproduced from the review article

17

Αισθητήρες



• MEMS (Microelectromechanic Sensor)



• Επιταχυνσιόμετρο σε smart phone

Τα Μικροηλεκτρομηχανικά Συστήματα (MEMS) είναι ολοκληρωμένα συστήματα που συνδυάζουν και ηλεκτρικά και μηχανικά εξαρτήματα.

Ανήκουν γενικά στη μικροσκοπική κλίμακα, αλλά μπορούν να είναι τόσο μεγάλα όσο μερικά χιλιοστά .

Είναι κατασκευασμένα χρησιμοποιώντας τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, ICs.

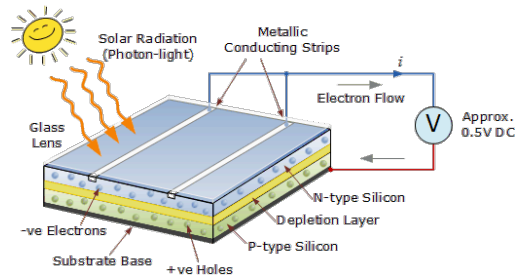
Οι συσκευές MEMS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μικρογραφημένοι αισθητήρες , ελεγκτές ή ενεργοποιητές .

18

Εφαρμογές στην Ενέργεια

Φωτοβολταϊκό στοιχείο ή ηλιακή κυψελίδα ή φωτοστοιχείο: διάταξη που μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

φ/β ενέργεια: Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
Λύση στην ενεργειακή και περιβαλλοντική κρίση. Αξιοπιστία και αντοχή, μηδενική περιβαλλοντική επίδραση



Φωτοβολταϊκό φαινόμενο :
Η εμφάνιση τάσης στα άκρα του φ/β στοιχείου όταν πέφτει φως

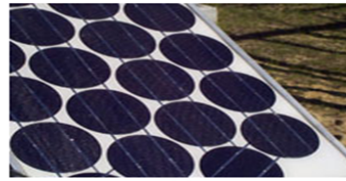
19

Εφαρμογές στην Ενέργεια

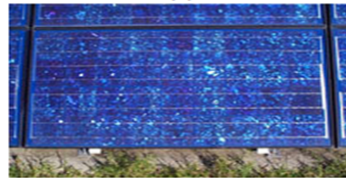
PV PANELS με Φωτοβολταϊκά στοιχεία από
α) μονοκρυσταλλικό, β) πολυκρυσταλλικό, γ)
υμένια από άμορφο πυρίτιο

Τρεις γενιές φ/β στοιχείων, η τελευταία ακόμη σε ερευνητικό στάδιο:

1. Πλακίδια μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αποτελούνται από επαφή pn (σχήμα α). Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (σχήμα β)
2. Βασίζεται στην τεχνολογία λεπτού υμενίου π.χ. Μικροκρυσταλλικό, άμορφο πυρίτιο (σχήμα γ)
3. Νέα υλικά: πολυμερή στοιχεία, κβαντικές κουκίδες, νανοδομές



(α)



(β)



(γ)

20

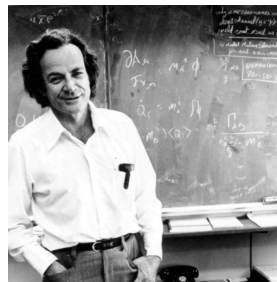
Future of materials science

Design of materials having specific desired characteristics directly from our knowledge of atomic structure.

- **Miniaturization:** “Nanostructured” materials, with microstructure that has length scales between 1 and 100 nanometers with unusual properties. Electronic components, materials for quantum computing.
- **Smart materials:** airplane wings that adjust to the air flow conditions, buildings that stabilize themselves in earthquakes...
- **Environment-friendly materials:** biodegradable or photodegradable plastics, advances in nuclear waste processing, etc.
- **Learning from Nature:** shells and biological hard tissue can be as strong as the most advanced laboratory-produced ceramics, molluscs produce biocompatible adhesives that we do not know how to reproduce...
- Materials for lightweight batteries with high storage densities, for turbine blades that can operate at 2500°C, room-temperature superconductors? chemical sensors (artificial nose) of extremely high sensitivity, cotton shirts that never require ironing...

21

Richard Feynman



- «... Ακόμα κι αν το μικρό μας μυαλό, επειδή το βολεύει, χωρίζει [...], αυτό το σύμπαν, σε μέρη —φυσική, βιολογία, γεωλογία, αστρονομία, ψυχολογία, και τα λοιπά— εσείς να θυμόσαστε: Η φύση αυτό δεν το ξέρει!»

22

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ**Σκοπός Μαθήματος**

1. Απόκτηση γνώσης και ικανότητας υπολογισμού των ιδιοτήτων των υλικών από βασικές αρχές
2. Εξοικείωση εφαρμογής της φυσικής των υλικών σε προβλήματα μηχανικού (πεδία Ηλεκτρονικής-Τηλεπικοινωνίες-Ενέργεια-Περιβάλλον-Υγεία)
3. Η πλήρης κατανόηση της συσχέτισης μεταξύ της δομής των υλικών και των ιδιοτήτων είναι η βάση για την πρόοδο μιας τεχνολογικής εφαρμογής (βελτίωση ή και σχεδιασμός νέων υλικών και συστημάτων)

Σελίδα Μαθήματος στο DUTHNET eClass:

Επιστήμη Υλικών

23

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ**Εκπαιδευτικές δραστηριότητες:**

Το μάθημα περιλαμβάνει :

2 ώρες Θεωρία (9.15-11.00, Τρίτη)

1 ώρα Φροντιστηριακών Ασκήσεων (11.15-12.00, Τρίτη)

2 ώρες Εργαστηριακών Ασκήσεων (12.15- 14.15, Τετάρτη)

Στις φροντιστηριακές Ασκήσεις θα υπολογίζονται δομικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των υλικών με βάση τη θεωρητική περιγραφή με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των ιδιοτήτων (κυρίως ηλεκτρονικών υλικών) για να μπορεί να εξοικειωθεί ο φοιτητής σε προβλήματα Μηχανικού

Στις Εργαστηριακές Ασκήσεις θα γίνουν μετρήσεις και προσδιορισμός βασικών ιδιοτήτων ημιαγωγικών υλικών

24

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

Βιβλία Διδασκαλίας-Βοηθήματα

Τα προτεινόμενα βιβλία μέσω του συστήματος Εύδοξος είναι:

1. Ηλεκτροτεχνικά Υλικά Αρχές και Εφαρμογές, S. O. Kasap, Τρίτη έκδοση, 2017, Εκδόσεις Τζιόλα
2. Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών, William D. Callister, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004

Βοηθήματα σε PDF στο e-class :

Επίσης θα δοθούν Παραδόσεις -Σημειώσεις του μαθήματος σε PDF στο e-class

- «Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Τεχνολογία ηλεκτροτεχνικών και ηλεκτρονικών υλικών», Δ. Γκιργκινούδη, Φ. Φαρμάκης, Εκδόσεις Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη 2010
- Διαφάνειες από τις παραδόσεις του μαθήματος
- Φροντιστηριακές Ασκήσεις και Εργαστηριακές Ασκήσεις

25

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

Στο αντικείμενο της Επιστήμης των Υλικών υπάρχουν Ελληνόγλωσσα και πολλά ξενόγλωσσα βιβλία, όπως :

1. «Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης», C. KITTEL, Μετάφραση Γ. Παπαγεωργόπουλου, Έκδοση Γ. Πνευματικού
2. «Φυσική Στερεάς Κατάστασης», Καίσαρ Αλεξόπουλος, Παναγιώτης Βαρώτσος, Έκδοση Σαββάλας, 1990
3. «Αρχές της Φυσικής Στερεάς Κατάστασης», Robert A. Levy, Επιμέλεια-Μετάφραση Χ. Παπαγεωργόπουλου, Γ. Πνευματικού, Αθήνα 1978.
4. «Επιστήμη & Τεχνολογία Υλικών», Αργύρης Σ. Βατάλης, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Ζητή, 2009

26

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ**Τρόποι Αξιολόγησης- Εξετάσεις: Θεωρία-Φροντιστηριακές και Εργαστηριακές Ασκήσεις**

Η αξιολόγηση των φοιτητών γίνεται με γραπτές εξετάσεις στη θεωρία και τις φροντιστηριακές ασκήσεις (90% της βαθμολογίας, δηλαδή 9 μονάδες):

Στην πρόοδο (υποχρεωτική) και στο τέλος του εξαμήνου

Στις εξετάσεις επιτρέπεται μόνο το τυπολόγιο που είναι αναρτημένο στο e-class

Η παρουσία των φοιτητών στις Εργαστηριακές Ασκήσεις που θα διεξάγονται στο «Εργαστήριο ΗΜ&ΜΥ, κτήρια ΠΡΟΚΑΤ, 1ος όροφος, Αίθουσα 13» και η παράδοση των Εργασιών είναι υποχρεωτική (10% της βαθμολογίας)

Όσοι δεν κάνουν τις Εργαστηριακές Ασκήσεις δεν μπορούν να συμμετέχουν στις Εξετάσεις!

27

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ**Διδάσκοντες-Εκπαιδευτές:**

Αναπληρωτής καθηγητής Φίλιππος Φαρμάκης

Κτήριο Β, 1ος όροφος, Γραφείο 1.09, (e-mail farmakis@ee.duth.gr):

ΕΙΔΙΠ Σταύρος Ματζίρης

Εργαστήριο ΗΜ&ΜΥ, κτήρια ΠΡΟΚΑΤ, 1ος όροφος, Αίθουσα 13,

(e-mail smatziri@ee.duth.gr):

(Εργαστηριακές Ασκήσεις)

28

ΔΟΜΗ-ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ:

Δ1. Στόχοι-Πληροφορίες-Σημασία-Επισκόπηση	(05/03/2024)
Δ2. Βασικές γνώσεις κβαντομηχανικής-Ατομικές δυνάμεις-Δεσμοί	(12/03/2024)
Δ3. Δομή των κρυσταλλικών υλικών-Βασικές έννοιες (Α μέρος)	(19/03/2024)
Δ4. Είδη κρυσταλλικών δομών-Κρυσταλλικές ατέλειες-Διάχυση	(09/04/2024)
Δ5. Θερμικές ιδιότητες	(16/04/2024)
Δ6. Μηχανικές ιδιότητες	(23/04/2024)
Εξετάσεις πρώτης Προόδου	(14/05/2024)
Δ7. Ενεργειακές ζώνες στα στερεά	(21/05/2024)
Δ8. Ηλεκτρική αγωγιμότητα στα μέταλλα	(28/05/2024)
Δ9. Ημιαγωγικά υλικά (Α μέρος)	(04/06/2024)
Δ10. Ημιαγωγικά υλικά (Β μέρος)	(11/06/2024)
Δ11. Διηλεκτρικά υλικά	(18/06/2024)
Εξετάσεις δεύτερης Προόδου	(Εξεταστική Ιουνίου/2024)

29



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

30