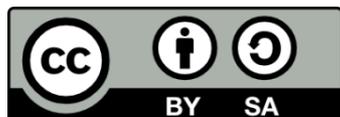




ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ενότητα 9: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ & ΑΓΩΓΟΙ

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



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ & ΑΓΩΓΟΙ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

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. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

- i. Εισαγωγή
- ii. Μοντέλο ελεύθερων ηλεκτρονίων
- iii. Επίδραση της θερμοκρασίας
- iv. Αγωγιμότητα κραμάτων
- v. Φαινόμενο Hall
- vi. Μαγνητοαντίσταση
- vii. Εφαρμογές



Σκοποί ενότητας

- Να μπορούν οι φοιτητές να υπολογίσουν την αγωγιμότητα ενός υλικού.
- Να μπορούν οι φοιτητές να υπολογίσουν την μεταβολή της αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας σε κράματα .
- Να μπορούν οι φοιτητές να περιγράψουν το φαινόμενο Hall και της ανισότροπης μαγνητοαντίστασης.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

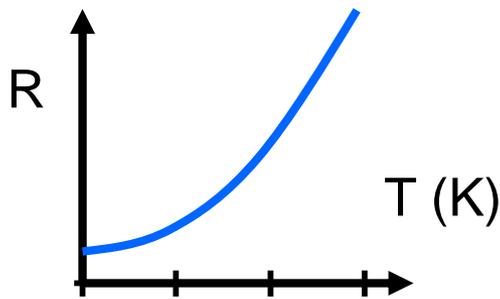
- Η αγωγιμότητα είναι φυσικό μέγεθος με μοναδικό εύρος τιμών.

ΥΛΙΚΟ	σ [S/m] στους 20°C
ΧΑΛΚΟΣ	$5.96 \cdot 10^7$
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	$3.5 \cdot 10^7$
ΠΥΡΙΤΙΟ	$1.56 \cdot 10^{-3}$
ΓΕΡΜΑΝΙΟ	2.17
ΡΕΤ	10^{-21}

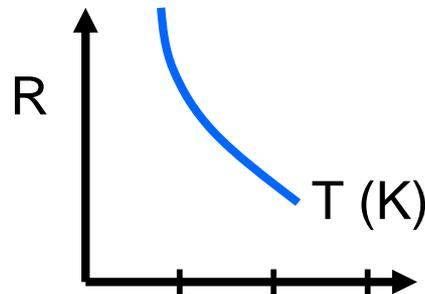
- Εξαρτάται από τον αριθμό των διαθέσιμων φορέων φορτίου (ηλεκτρόνια e^- , οπές p^+ , ιόντα)



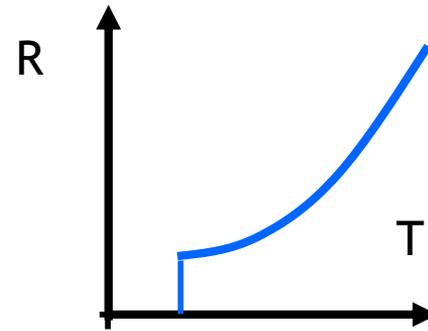
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Αγωγοί



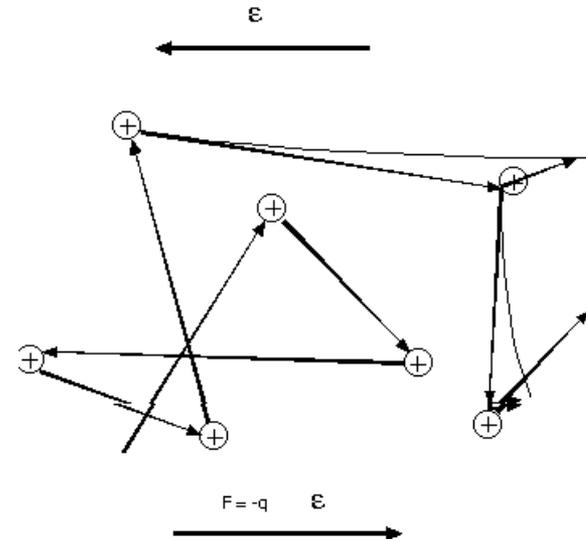
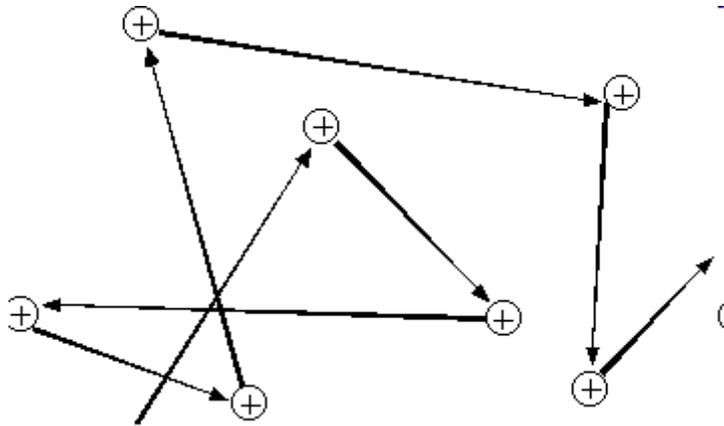
ημιαγωγοί/
μονωτές



υπεραγωγοί



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ



- Πως κινούνται τα ηλεκτρόνια;
 - Θερμική ταχύτητα
 - Μέση ταχύτητα ολίσθησης λόγω ηλ. πεδίου
- Αντίσταση = σκέδαση



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (1)

- Μοντέλο ελεύθερων ηλεκτρονίων:
ελεύθερα (μηδενική έλξη από τα κατιόντα)
+ ανεξάρτητα (μηδενική άπωση μεταξύ τους)
- αντίσταση: σκέδαση μόνο από «ατέλειες»
 - πεδίο E_x ασκεί δύναμη $F = -eE_x$
 - μέση ταχύτητα μετατόπισης v_D
 - μέσος χρόνος μεταξύ σκεδάσεων τ (πιθανότητα σκέδασης dt/τ)
 - μέση ελεύθερη διαδρομή $l_D = v_D \cdot \tau$ (~ 100 nm)



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (2)

- αγωγιμότητα

- Ευκινησία $\mu_e = \frac{|v_d|}{|E|} = \frac{e}{m_e} \tau$

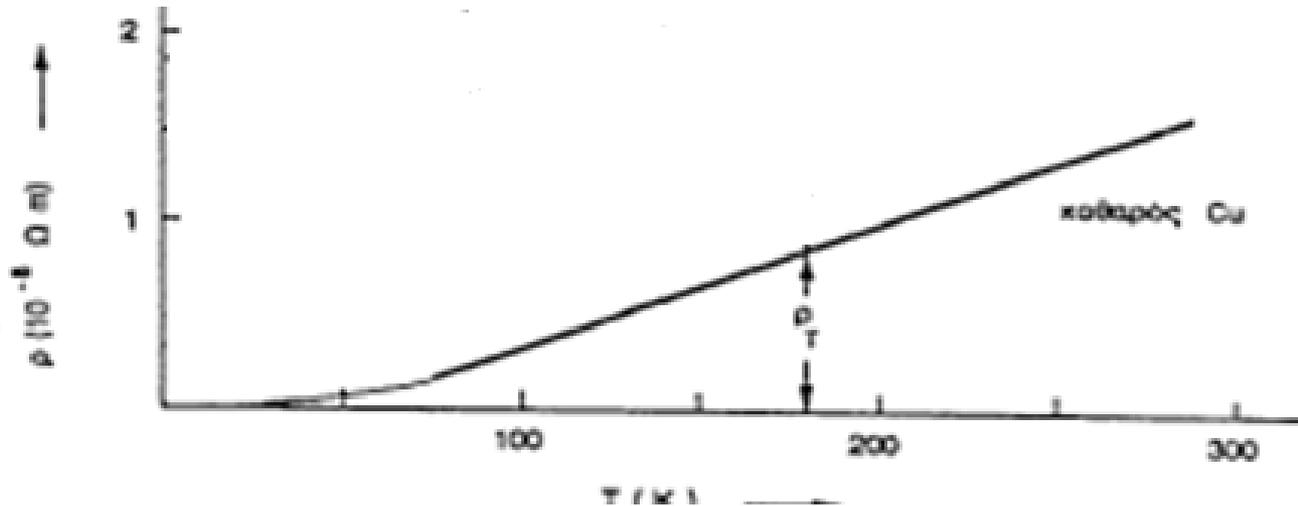
- πυκνότητα ρεύματος $J = -ne v_D = -ne \mu E = \sigma E$

Αγωγιμότητα $\sigma = n \cdot e \cdot \mu_e = 1/\rho$

$$\sigma = \frac{n e^2 \tau}{m_e}$$



ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΚΑΘΑΡΑ ΜΕΤΑΛΛΑ



Στα καθαρά μέταλλα

- $\rho = A \cdot T$
- $\rho = C \cdot T^5$ (σε χαμηλές θερμοκρασίες)
- $\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$
- $(\rho_T / \rho_0) = (T / T_0)^n$



ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

- $\rho(T,x) = \rho_T + \rho_r$ (νόμος του *Mathiessen*)

ρ_T : αντίσταση καθαρού μετάλλου, λόγω θερμοκρασίας

ρ_r : παραμένουσα αντίσταση λόγω ατελειών
(προσμίξεις και παραμορφώσεις)

- $\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

- $\rho_r(x) = A_N \cdot x \cdot (1-x) \approx A_N \cdot x$ (κανόνας του *Nordheim*)

A_N σταθερά του *Nordheim* για το ζεύγος μητρικού μετάλλου-πρόσμιξης

$$\rho(T,x) = \rho_T + A_N \cdot x = \rho_T (1 + \beta \cdot x)$$

(όπου $A_N = \rho_T \cdot \beta$)



ΛΟΓΟΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

- $\rho_{RT}/\rho_{T=0} = (\rho_r + \rho_T)/\rho_r = 1 + (\rho_T/\rho_r)$
- για καθαρά μέταλλα $\rho_r \rightarrow 0$, $\rho_{RT}/\rho_0 \gg 1$

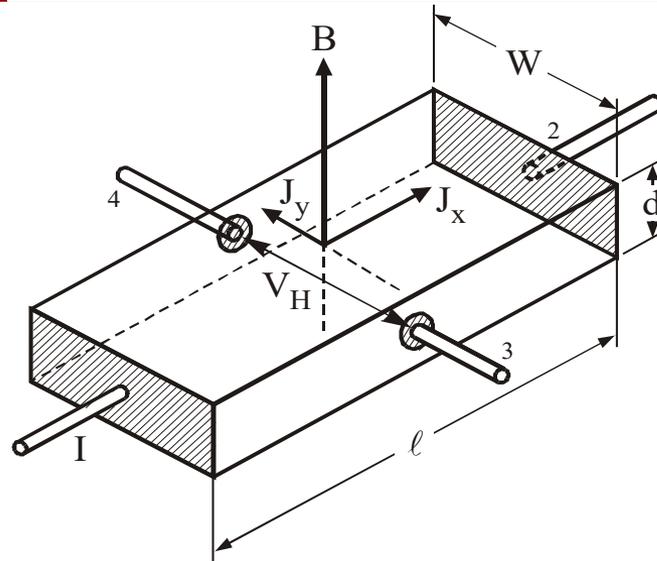


ΑΛΛΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

- Μεταβολή αγωγιμότητας με το μαγνητικό πεδίο (μοντέλο ελεύθερων e^- ανεπαρκές)
 - Φαινόμενο **Hall**.
 - Μαγνητοαντίσταση.
- Θερμοηλεκτρικά φαινόμενα (Επίδραση βαθμίδας θερμοκρασίας)
 - Seebeck (θερμοζεύγη).
 - Peltier.



ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL (1)



- ρεύμα $I_x = JS = ne\mu E_x \cdot wd$
- μαγνητικό πεδίο $B_z = \mu_0 H_z$
- δύναμη Lorentz $-F_y$ κάθετα στο πεδίο και στον αγωγό $F_y = -e v_x B_z = -e \mu E_x B_z = \frac{I_x B_z}{nwd}$



ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL (2)

- συσώρευση των φορέων του ρεύματος στη διεύθυνση $-y$.
- ηλεκτροστατικό πεδίο $E_y = -F_y/e$.
- τάση Hall ανάλογη της έντασης του μαγνητικού πεδίου και του ρεύματος:

$$V_H = -E_y w = \frac{I_x \mu_o H_z}{den}$$



ΜΑΓΝΗΤΟΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

- Ορίζεται από τη σχέση: $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{R(H) - R(0)}{R(0)}$
- Ανισότροπη μαγνητοαντίσταση (**AMR**): η τιμή της αντίστασης εξαρτάται από την γωνία μεταξύ του διεύθυνσης ροής του ρεύματος και του εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου.
- Γιγαντιαία μαγνητοαντίσταση (**GMR**).
- Μαγνητοαντίσταση σήραγγας (**TMR**).



ΑΓΩΓΑ ΥΛΙΚΑ

- Αγωγοί (χαμηλή αντίσταση, μηχ.αντοχή)
 - Cu (μικρότερος όγκος), Al (μικρότερο βάρος)
 - Ικανότητα μεταφοράς ρεύματος: διατομή + μόνωση
- Αντιστάτες (υψηλότερη αντίσταση, αντοχή σε οξείδωση)
 - Θερμικές αντιστάσεις (Cr, Ni)
 - Νήματα λυχνιών (W)
- Επαφές διακοπών (Cu)
- Ασφάλειες τήξης
- Συγκολλητικά αγωγών (Sn-Pb, Sn-Sb-Pb, Zn-Cd)
- Μη-μεταλλικοί αγωγοί: γραφίτης



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λιτσαρδάκης Γεώργιος.
«Ηλεκτρολογικά Υλικά. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα και Αγωγοί». 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.

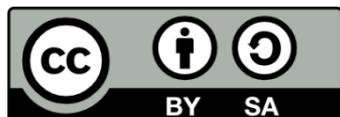
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





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



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
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.

