



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Υλικά Ι Ενότητα 8: Ηλεκτρικές Ιδιότητες

Ασκήσεις

Δημήτρης Παπάζογλου
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης Creative Commons και ειδικότερα Αναφορά - Μη εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγο Έργο v. 3.0 (Attribution – Non Commercial – Non-derivatives)
- 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 Πανεπιστήμιο Κρήτης» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Ηλεκτρικές Ιδιότητες

Υποδείξεις

Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (σ) σε ένα υλικό εξαρτάται από την πυκνότητα και την ευκινησία των φορέων, καθώς και το φορτίο τους. Σε ένα ημιαγωγό υπάρχουν δύο είδη φορέων, τα ηλεκτρόνια και οι οπές. Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνεται σε αυτή την περίπτωση από το άθροισμα της αγωγιμότητας λόγω των ηλεκτρονίων και των οπών την σχέση: $\sigma = n \mu_e |e| + p \mu_h |e|$, όπου n η πυκνότητα των ηλεκτρονίων, p η πυκνότητα των οπών, μ_e η ευκινησία των ηλεκτρονίων, μ_h η ευκινησία των οπών (γενικά $\mu_h < \mu_e$) και $|e|$ το φορτίο του ηλεκτρονίου.

Σε ένα ενδογενή ημιαγωγό η πυκνότητες των ηλεκτρονίων και των οπών είναι ίσες οπότε ισχύει:

$$\text{Ενδογενής ημιαγωγός: } n = p \Rightarrow \sigma = n(\mu_e + \mu_h)|e|$$

Όταν εισάγουμε προσμίξεις τύπου n αυξάνουμε δραματικά την πυκνότητα των ηλεκτρονίων έτσι ώστε $n \gg p$ οπότε η ηλεκτρική αγωγιμότητα καθορίζεται ουσιαστικά από τα ηλεκτρόνια

$$\text{Ημιαγωγός με προσμίξεις τύπου } n: \quad n \gg p \Rightarrow \sigma \cong n \mu_e |e|$$

Όταν εισάγουμε προσμίξεις τύπου p αυξάνουμε δραματικά την πυκνότητα των οπών έτσι ώστε $p \gg n$ οπότε η ηλεκτρική αγωγιμότητα καθορίζεται ουσιαστικά από τις οπές

$$\text{Ημιαγωγός με προσμίξεις τύπου } p: \quad p \gg n \Rightarrow \sigma \cong p \mu_h |e|$$

Ασκήσεις

8.1 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου p με συγκέντρωση οπών $p = 5 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$. Ποια είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού αυτού αν υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου 300 V/m η μέση ταχύτητα μετατόπισης των ηλεκτρονίων είναι 15 m/s ; (φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Λύση:

Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα σ σε ένα εξωγενή ημιαγωγό τύπου n δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = p \mu_h |e|$$

όπου μ_e η ευκινησία των ηλεκτρονίων και $|e|$ το φορτίο του ηλεκτρονίου. Η ευκινησία των ηλεκτρονίων μπορεί να υπολογιστεί από την μέση ταχύτητα μετατόπισης τους μέσω της σχέσης:

$$\langle v \rangle = \mu_h \cdot E \Rightarrow \mu_h = \frac{\langle v \rangle}{E} = \frac{15 \text{ m/s}}{300 \text{ V/m}} = 0.05 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

Αντικαθιστώντας μπορούμε να υπολογίσουμε την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα:

$$\sigma = p \mu_h |e| = 5 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3} \cdot 0.05 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 0.04 \text{ m}^{-1} \cdot \text{Ohm}^{-1}$$

$$\left(\text{m}^{-3} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot \text{C} = \frac{1}{\text{m}} \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{s}} = \frac{1}{\text{m}} \frac{\text{A}}{\text{V}} = \frac{1}{\text{m} \cdot \text{Ohm}} \right)$$

8.2 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου n με συγκέντρωση ηλεκτρονίων $n = 2.23 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$. Ποια είναι η μέση ταχύτητα μετατόπισης των ηλεκτρονίων αν η πυκνότητα ρεύματος είναι 20 mA/cm^2 ; (ειδική αντίσταση του ημιαγωγού: $\rho = 20 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$, ευκινησία των ηλεκτρονίων: $\mu_e = 0.14 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Λύση:

Η μέση ταχύτητα μετατόπισης συνδέεται άμεσα με την ευκινησία των σπών μέσω της σχέσης:

$$\langle v \rangle = \mu_e \cdot E$$

όπου E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από τον νόμο του Ohm:

$$J = \sigma \cdot E \Rightarrow E = \frac{J}{\sigma}$$

όπου J η πυκνότητα ρεύματος και σ η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ($\sigma \equiv \rho^{-1}$). Έτσι τελικά μπορούμε να γράψουμε:

$$\begin{aligned} \langle v \rangle &= \mu_e \cdot E = \mu_e \frac{J}{\sigma} = \mu_e \cdot \rho \cdot J = \\ &= 0.14 (\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot 10 (\text{Ohm} \cdot \text{m}) \cdot 20 \cdot 10^{-3} (\text{A} \cdot 10^4 \text{m}^{-2}) = 560 \text{ m/s} \\ & \left(\frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot \text{Ohm} \cdot \text{m} \frac{\text{A}}{\text{m}^2} = \frac{\text{m} \text{ Ohm} \cdot \text{A}}{\text{s} \text{ V}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \end{aligned}$$

8.3 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου n . Ποια είναι η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων αν υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου 500 V/m η πυκνότητα ρεύματος είναι 30 mA/cm^2 ; (φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, ευκινησία των ηλεκτρονίων: $\mu_e = 0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Λύση:

Μπορούμε να υπολογίσουμε την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα σ από τον νόμο του Ohm:

$$J = \sigma \cdot E \Rightarrow \sigma = \frac{J}{E}$$

όπου E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και J η πυκνότητα ρεύματος. Όμως η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα σ σε ένα εξωγενή ημιαγωγό τύπου n δίνεται και από την σχέση:

$$\sigma = n \mu_e |e|$$

Όπου $|e|$ το φορτίο του ηλεκτρονίου και n , μ_e η συγκέντρωση και η ευκινησία των ηλεκτρονίων αντίστοιχα. Λύνοντας ως προς την συγκέντρωση n :

$$n = \frac{\sigma}{\mu_e |e|} = \frac{J}{\mu_e |e| E} = \frac{30 \cdot 10^{-3} \text{ A cm}^{-2}}{(0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) \cdot (500 \text{ V/m})} = 2.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

Άλυτες Ασκήσεις

8.4 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου n με συγκέντρωση ηλεκτρονίων $n = 2 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$. Ποια είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού αυτού αν, υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου 400 V/m, η μέση ταχύτητα μετατόπισης των ηλεκτρονίων είναι 50 m/s; (φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Απάντηση: $\sigma = 0.4 \text{ m}^{-1} \cdot \text{Ohm}^{-1}$

8.5 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου p με συγκέντρωση οπών $p = 3 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Ποια είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού αυτού αν, υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου 100 V/m, η μέση ταχύτητα μετατόπισης των ηλεκτρονίων είναι 20 m/s; (φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Απάντηση: $\sigma = 0.96 \text{ m}^{-1} \cdot \text{Ohm}^{-1}$

8.6 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου p με συγκέντρωση οπών $p = 1.25 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$. Ποια είναι η μέση ταχύτητα μετατόπισης των οπών αν η πυκνότητα ρεύματος είναι 100 mA/cm²; (ειδική αντίσταση του ημιαγωγού: $\rho = 10 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$, ευκινησία των οπών: $\mu_h = 0.05 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Απάντηση: $\langle v \rangle = 500 \text{ m/s}$

8.7 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου p. Ποια είναι η μέση ταχύτητα μετατόπισης των οπών αν η πυκνότητα ρεύματος είναι 20 mA/cm²; (ειδική αντίσταση του ημιαγωγού: $\rho = 25 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$, ευκινησία των οπών: $\mu_h = 0.04 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Απάντηση: $\langle v \rangle = 200 \text{ m/s}$

8.8 Έστω εξωγενής ημιαγωγός τύπου p. Ποια είναι η συγκέντρωση των οπών αν υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου 200 V/m η πυκνότητα ρεύματος είναι 5 mA/cm²; (φορτίο του ηλεκτρονίου $|e| \cong 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, ευκινησία των οπών: $\mu_h = 0.05 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Απάντηση: $p = 3.125 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

Τέλος Ασκήσεων Ενότητας