



ΗΜΙΑΓΩΓΑ ΥΛΙΚΑ: ΘΕΩΡΙΑ-ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Μέρος 1^ο: Στοιχεία Θεωρίας Ημιαγωγών
Ενότητα 8^η: Αγωγιμότητα ημιαγωγών-αμιγείς αγωγοί.

Γεώργιος Λιτσαρδάκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
& Μηχανικών Υπολογιστών



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.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





8. Αγωγιμότητα ημιαγωγών- αμιγείς ημιαγωγοί.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Αγωγιμότητα ημιαγωγών
2. Υπολογισμός συγκέντρωσης φορέων.
3. Ενεργός πυκνότητα καταστάσεων.
4. Η θέση της στάθμης Fermi.



αγωγιμότητα ημιαγωγών

- δύο είδη φορέων

$$\sigma = e[(n\mu_e) + (p\mu_h)]$$

n, p η συγκέντρωση ηλεκτρονίων και οπών

μ_e, μ_h η ευκινησία των ηλεκτρονίων & οπών

- αμιγείς ημιαγωγοί (χωρίς προσμίξεις)

$$n_i = p_i \quad \sigma = en_i(\mu_e + \mu_h)$$

- πιθανότητα διέγερσης $\sim \exp(-E_G/2kT)$

– 10^{-35} για $E_G = 4 \text{ eV}$

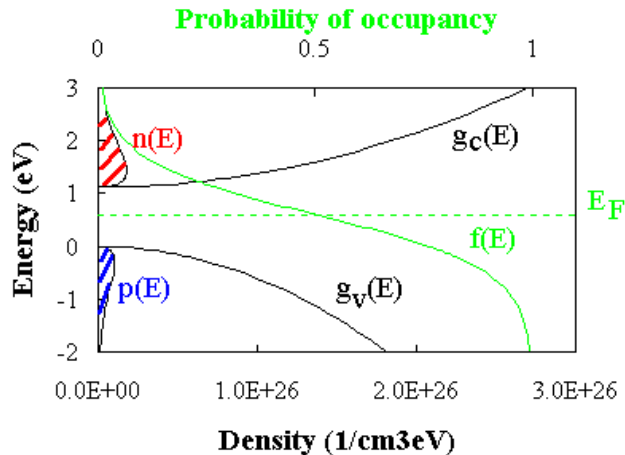
– 10^{-2} για $E_G = 0.25 \text{ eV}$ ($T = 300\text{K}$)

- ενδογενής αγωγιμότητα Si

$$n_i = 1.45 \times 10^{10} / \text{cm}^3 \quad \text{και} \quad \sigma_i = 5 \times 10^{-6} / \Omega \text{cm}$$



υπολογισμός συγκέντρωσης φορέων



Πιθανότητα κατάληψης Ενεργειακών θέσεων

The density of states and carrier densities in the conduction and valence band. Shown are the electron and hole density per unit energy, $n(E)$ and $p(E)$, the density of states in the conduction and valence band, $g_c(E)$ and $g_v(E)$ and the probability of occupancy, $f(E)$, (green curve). The electron (hole) density equals the red (blue) cross-hatched area.

Πηγή: ecee Bart J. Van Zeghbroeck, 1996, 1997, <http://ecee.colorado.edu/~bart/book/carrier.gif>
<http://ecee.colorado.edu/~bart/book/carriers.htm>

- $n, p = \int Z(E)f(E)dE$
- $Z(E)=g(E)/V$, (ελ.ηλεκτρόνια, $E(k)\sim k^2$), $m=m^*$
- όταν $E_C-E_F \gg kT$, $f(E) \cong \exp[-(E-E_F)/kT]$
- στη ζώνη σθένους, αν $E_F-E_V \gg kT$,

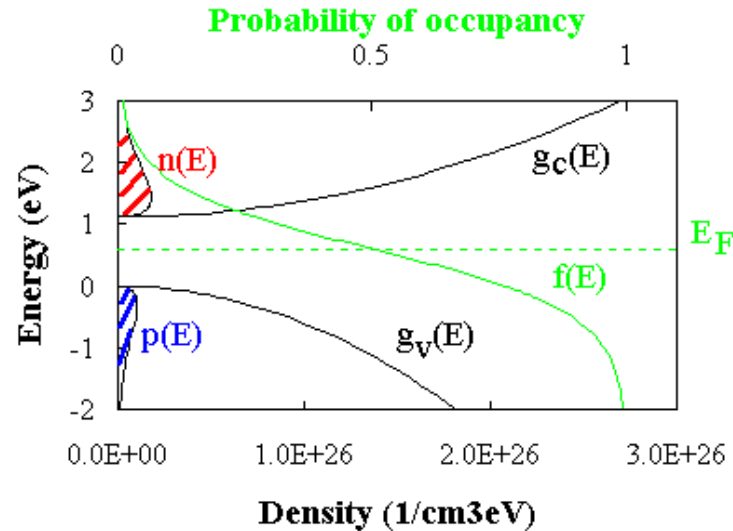
$$f(E) \cong 1 - \exp[(E-E_F)/kT]$$

για οπές,

$$f_h(E) = 1 - f(E) \cong \exp[-(E_F-E)/kT]$$



συγκέντρωση φορέων



- $n = 2(2\pi m^* kT/h^2)^{3/2} \exp[-(E_C - E_F)/kT]$
 $= N_C(T) \exp[-(E_C - E_F)/kT]$
 $= N_C f(E_C)$
- $p = 2(2\pi m^* kT/h^2)^{3/2} \exp[-(E_F - E_V)/kT]$
 $= N_V(T) \exp[-(E_F - E_V)/kT]$
 $= N_V f_h(E_V)$



ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

$$\begin{aligned}N_{C,V} &= 4.83 \times 10^{21} (m^*/m_e)^{3/2} T^{3/2} \text{ m}^{-3} \\ &= 2.5 \times 10^{25} (m^*/m_e)^{3/2} (T/300\text{K})^{3/2} \text{ m}^{-3} \\ &= 2.5 \times 10^{19} (m^*/m_e)^{3/2} (T/300\text{K})^{3/2} \text{ cm}^{-3}\end{aligned}$$



αμιγείς ημιαγωγοί - ενέργεια Fermi

- η E_{Fi} στο μέσο του χάσματος:

$$n_i = p_i \Rightarrow$$

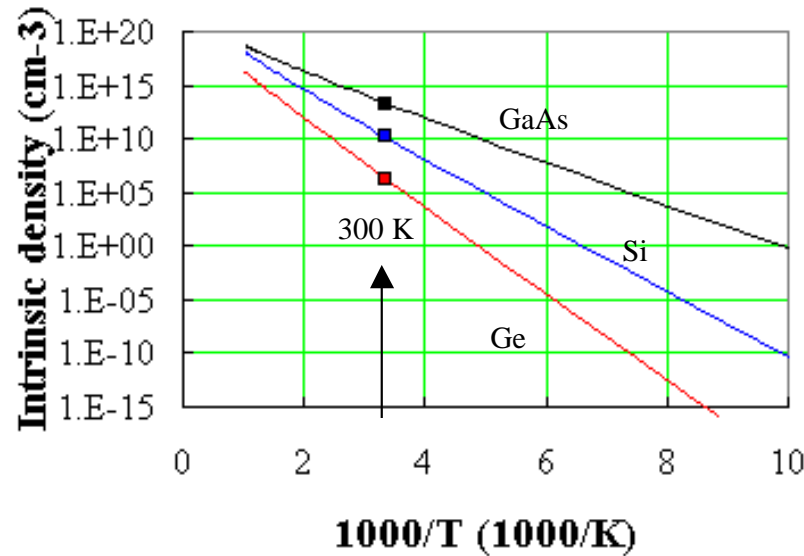
$$N_C \exp[-(E_C - E_{Fi})/kT] = N_V \exp[-(E_{Fi} - E_V)/kT]$$

$$\Rightarrow E_{Fi} = (E_C + E_V)/2 + (3/4)kT \ln(m_h^*/m_e^*)$$

$$\Rightarrow E_{Fi} \cong (E_C + E_V)/2$$



αμιγείς ημιαγωγοί - συγκέντρωση φορέων



Ενδογενής πυκνότητα φορέων στη ζώνη αγωγιμότητας σε σχέση με το αντίστροφο της θερμοκρασίας.
Intrinsic carrier density versus temperature in GaAs (top/black curve), Silicon (blue curve) and Germanium (bottom/red curve). The markers correspond to $T = 300 \text{ K}$

Πηγή: ecee Bart J. Van Zeghbroeck, 1996, 1997,
<http://ecee.colorado.edu/~bart/book/intrinsi.gif>
<http://ecee.colorado.edu/~bart/book/intrinsi.htm>

$$n_i p_i = \underline{n_i^2} = N_C N_V \exp[-(E_C - E_V)/kT]$$

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp[-(E_G)/2kT]$$

$$n_i \cong N_C \exp[-(E_G)/2kT]$$



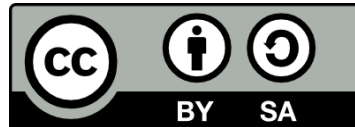
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λιτσαρδάκης Γεώργιος.
«Ημιαγωγά Υλικά: Θεωρία – Διατάξεις» Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS463>.



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: Καρανάσιος Νικόλαος
Θεσσαλονίκη, 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