



ΗΜΙΑΓΩΓΑ ΥΛΙΚΑ: ΘΕΩΡΙΑ-ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Μέρος 2^ο: Αρχές λειτουργίας των ημιαγωγικών διατάξεων
Ενότητα 12^η: Πόλωση επαφής p-n. Χαρακτηριστική I-V.

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.





12. Πόλωση επαφής p-n. Χαρακτηριστική I-V.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

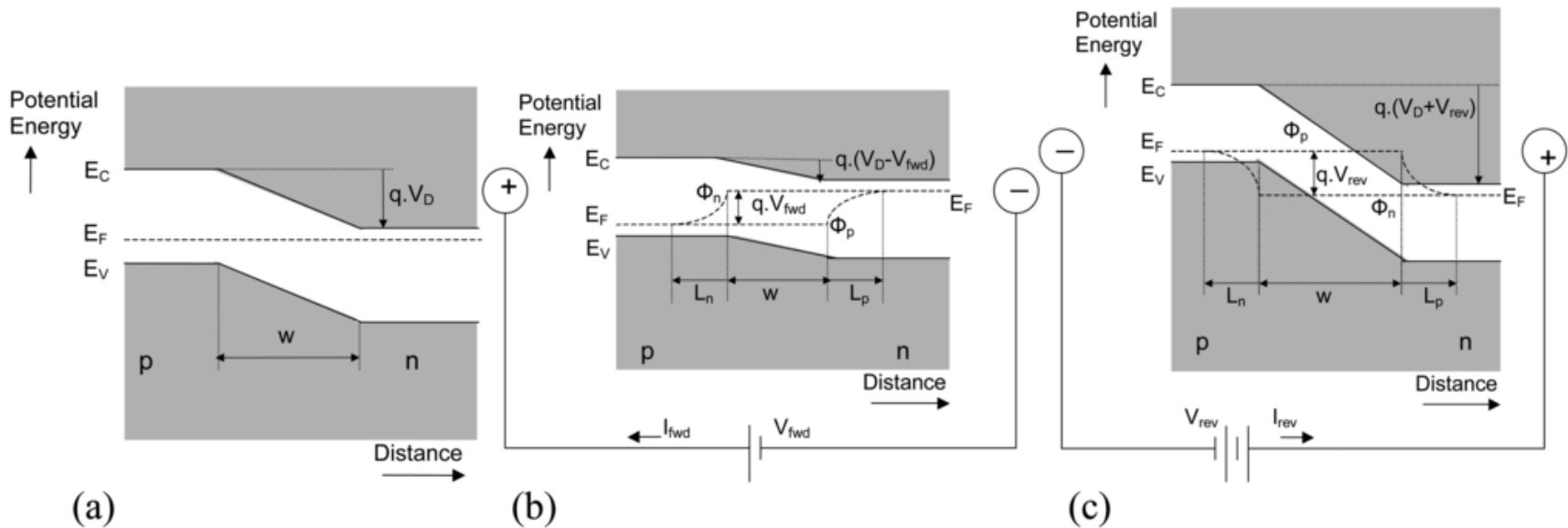


Περιεχόμενα ενότητας

1. Ορθή και ανάστροφη πόλωση.
2. Πλεονάζοντες φορείς μειοψηφίας.
3. Χαρακτηριστική I-V.
4. Στενή δίοδος.



Πόλωση επαφής p-n



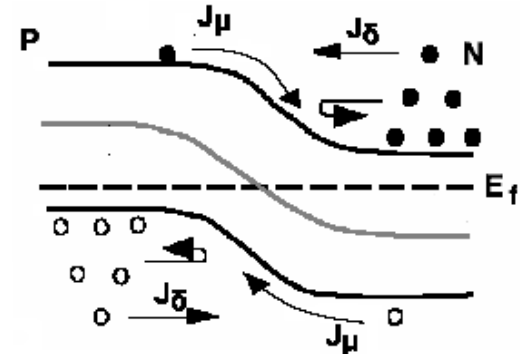
Πηγή: http://www.mdpi.com/sensors/sensors-04-00058/article_deploy/html/images/sensors-04-00058f2-1024.png

- Με ορθή πόλωση, το φράγμα δυναμικού μειώνεται κατά eV_{fwd}
- Με ανάστροφη πόλωση, το φράγμα δυναμικού αυξάνεται κατά eV_{rev}

πλεονάζοντες φορείς μειοψηφίας

$$V_o = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{no} p_{po}}{n_i^2} = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_{po}}{p_{no}} \Rightarrow$$

$$p_{no} = p_{po} e^{-\frac{eV_o}{kT}}$$



- Με πόλωση V_e αλλάζει το ποσοστό των φορέων που διαχέονται (με ενέργεια μεγαλύτερη από το φράγμα δυναμικού eV) $p_\delta \neq p_{no}$

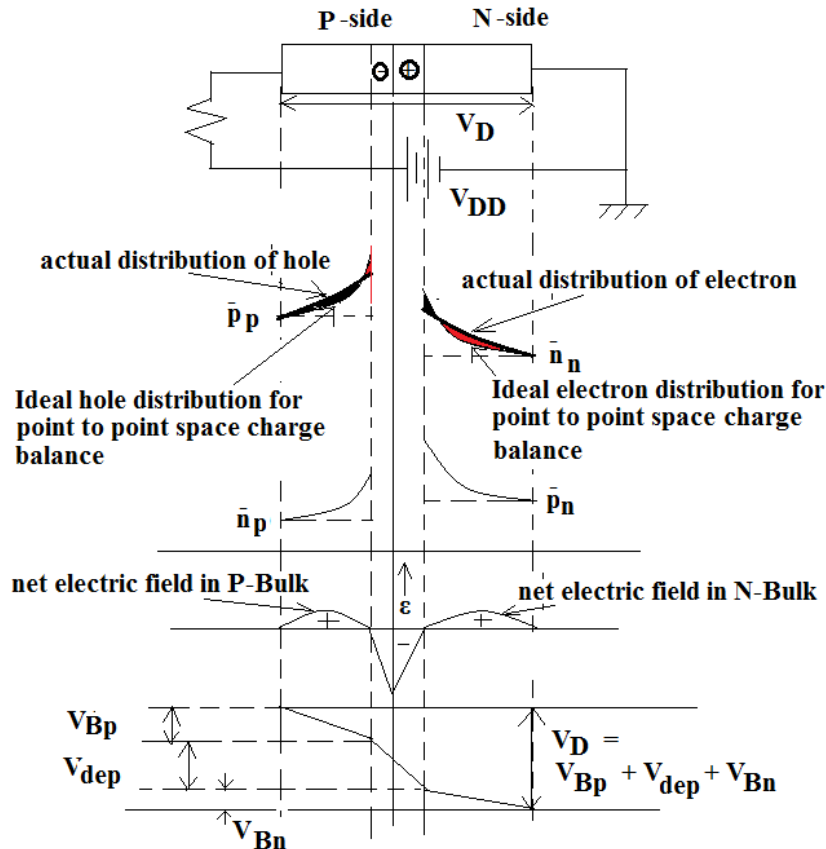
$$p_n(x_n) = p_\delta = p_{po} e^{-\frac{eV}{kT}} = p_{po} e^{-\frac{e(V_o - V_e)}{kT}} =$$

$$= p_{po} e^{-\frac{eV_o}{kT}} \cdot e^{\frac{eV_e}{kT}} = p_{no} e^{\frac{eV_e}{kT}}$$

Πλεονάζοντες φορείς $\Delta p_n(x_n) = p_\delta - p_{no} = p_{no} [\exp(eV_e/kT) - 1]$



Έγχυση ή αφαίρεση φορέων στα όρια της ΠΦΧ



$$\Delta p_n(x_n) = p_\delta - p_{no} \neq 0$$

Πηγή:

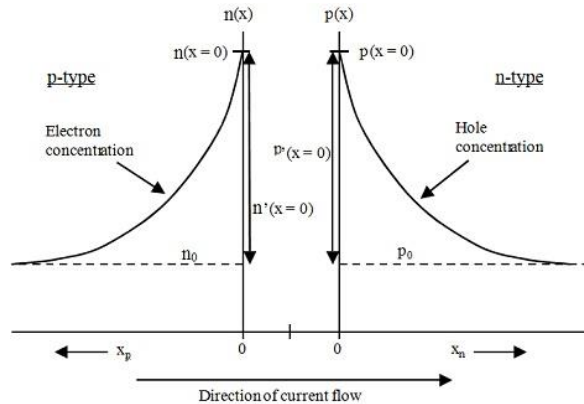
<http://cnx.org/resources/9500ef9914c3a7a2b17f210dab9b45aabdc554ca/Picture%2017.png>

<http://cnx.org/contents/41dc30ce-bc33-452d-a97e-9b4225de1b70@1>

Figure 3.14. The Voltage Drop across the bulk and the depletion region under HIL.



χαρακτηριστική I-V



Διεύθυνση επαφής ρεύματος διάχυσης φορέων σε μία επαφή p-n κατά την σύνδεσή της. Carrier Concentration Profiles in a Forward Biased p-n Diode

Πηγή: tutorsglobe- Theory of Bipolar Junction Diode II
http://secure.tutorsglobe.com/CMSImages/71_4.5.jpg
<http://www.tutorsglobe.com/homework-help/electrical-engineering/bipolar-junction-diode-ii-74131.aspx>

- Οι πλεονάζοντες φορείς διαχέονται σε απόσταση x από το όριο x_n της μεταβατικής περιοχής

$$\Delta p(x) = \Delta p(x_n) \exp(-x/L_p)$$
- Το ρεύμα έγχυσης των οπών προς την ουδέτερη περιοχή n είναι

$$J_p(x_n) = -eD_p \left. \frac{dp(x)}{dx} \right|_{x=x_n} = \frac{eD_p}{L_p} \cdot \Delta p(x_n) = \frac{eD_p}{L_p} \cdot p_{no} [\exp(eV_f / kT) - 1]$$

χαρακτηριστική I-V

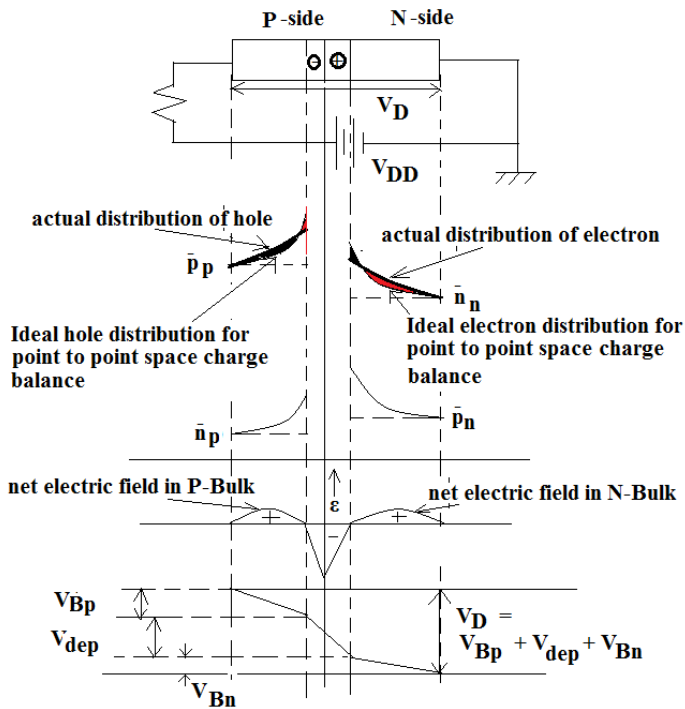
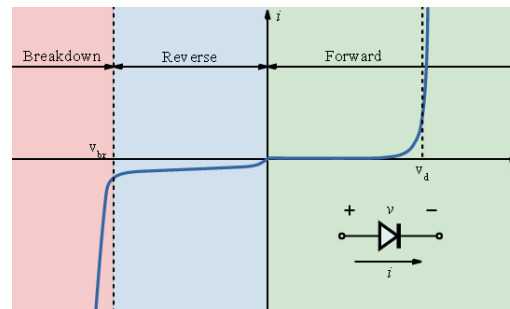


Figure 3.14. The Voltage Drop across the bulk and the depletion region under HIL.

Πηγή:

<http://cnx.org/resources/9500ef9914c3a7a2b17f210dab9b45aa/bdc554ca/Picture%2017.png>
<http://cnx.org/contents/41dc30ce-bc33-452d-a97e-9b4225de1b70@1>



Πηγή:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/Diode-IV-Curve.svg>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diode-IV-Curve.svg>

Με την προσέγγιση ότι δεν υπάρχει ανασύνδεση στη μεταβατική περιοχή, $J_n(x_n) = J_n(x_p)$, επομένως $J = J_p(x_n) + J_n(x_n) = J_p(x_n) + J_n(x_p)$

$$J = e \left(\frac{D_p p_{no}}{L_p} + \frac{D_n n_{po}}{L_n} \right) \left[\exp(eV_f / kT) - 1 \right]$$

$$J = en_i^2 \left(\frac{D_p}{N_D L_p} + \frac{D_n}{N_A L_n} \right) \left[\exp(eV_f / kT) - 1 \right]$$

$$J = J_S \left[\exp(eV_f / kT) - 1 \right]$$



Στενή δίοδος

Αν λύνοντας την εξίσωση διάχυσης δεν πάρουμε δίοδο με μήκος άπειρο, αλλά ορισμένο, τότε $\Delta p(x_{cn})=0$ και οι οριακές συνθήκες είναι:

$$\Delta p(x_{cn}) = 0 = C_1 \exp(x_{cn}/L_p) + C_2 \exp(-x_{cn}/L_p) \text{ και}$$

$$\Delta p(x_n) = C_1 \exp(x_n/L_p) + C_2 \exp(-x_n/L_p)$$

- Στην περίπτωση αυτή η λύση είναι

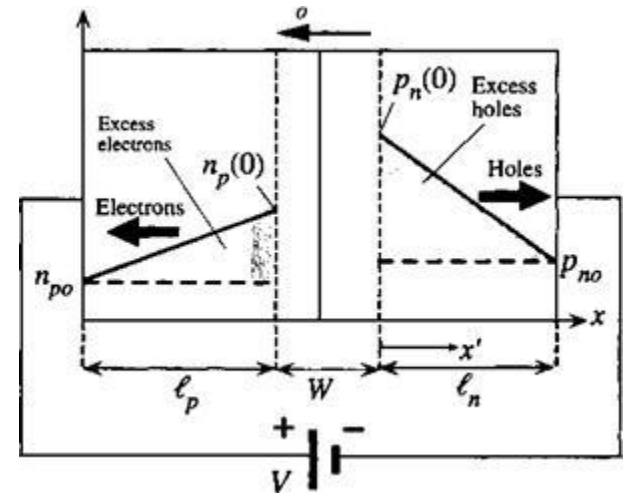
$$\Delta p(x) = p_{no} \frac{\sinh\left(\frac{x_{cn} - x}{L_p}\right)}{\sinh\left(\frac{x_{cn} - x_n}{L_p}\right)} \left[\exp(eV_f - 1) \right]$$

- και το ρεύμα των οπών στην επαφή

$$J_p(x_n) = \frac{eD_p}{L_p} \cdot p_{no} \cdot \coth\left(\frac{x_{cn} - x_n}{L_p}\right) \left[\exp(eV_f / kT) - 1 \right]$$

- Αν $x_{cn} - x_n = W_n \ll L_p$, οι πλεονάζοντες φορείς μειώνονται **γραμμικά**

$$\Delta p(x) = \Delta p(x_n) \cdot (1 - x/W_n)$$



Πηγή:

<http://elektroarsenal.net/img/720/image681.jpg>

<http://elektroarsenal.net/page/377>



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