



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Ηλεκτρονική

Ενότητα 2: Η επαφή p_n

Αγγελική Αραπογιάννη

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Περιεχόμενα ενότητας (1 από 2)

- Η δομή του ημιαγωγού
- Ενδογενής ημιαγωγός
- Οπές και ηλεκτρόνια
- Ημιαγωγός με προσμίξεις:
 - τύπου-p
 - τύπου-n
- Μηχανισμοί αγωγιμότητας του ημιαγωγού

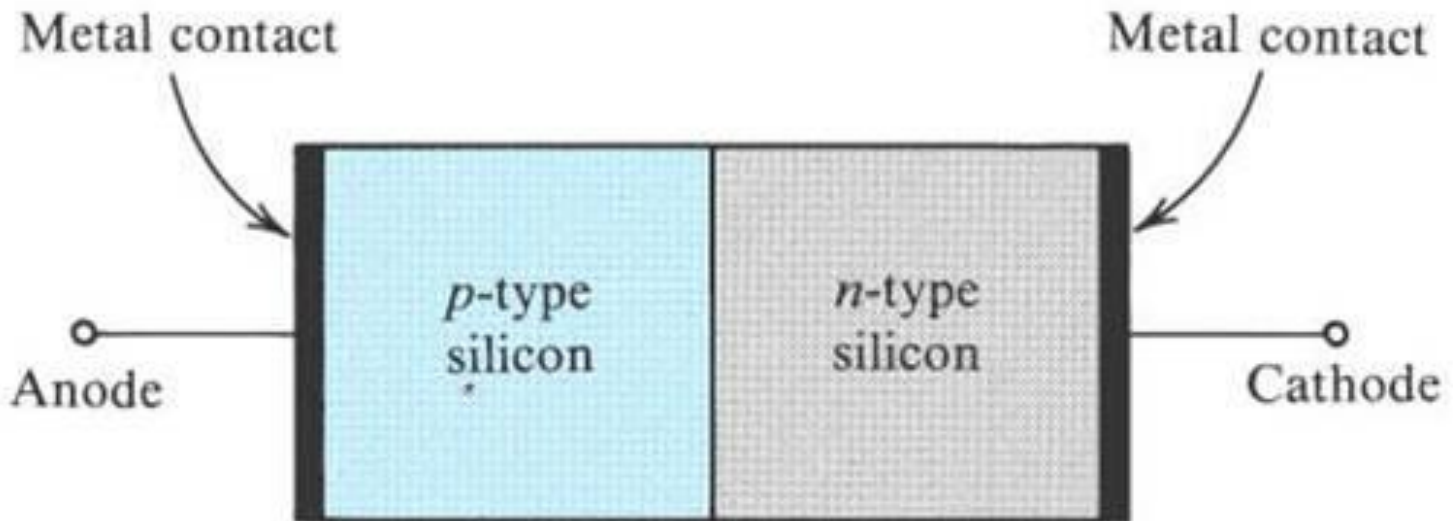


Περιεχόμενα ενότητας (2από2)

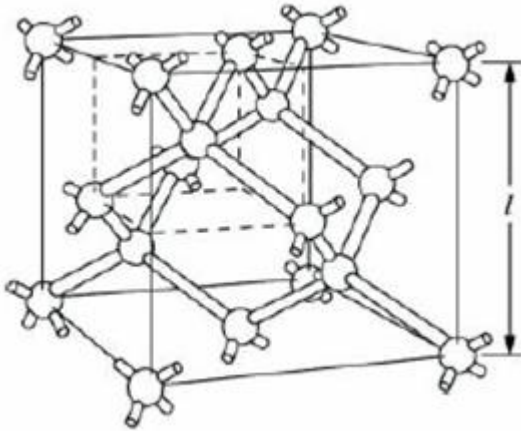
- Η επαφή pn:
 - χωρίς πόλωση
 - ορθά πολωμένη
 - ανάστροφα πολωμένη
- Το φαινόμενο της κατάρρευσης της επαφής pn
- Η χαρακτηριστική τάσης - ρεύματος της διόδου επαφής pn



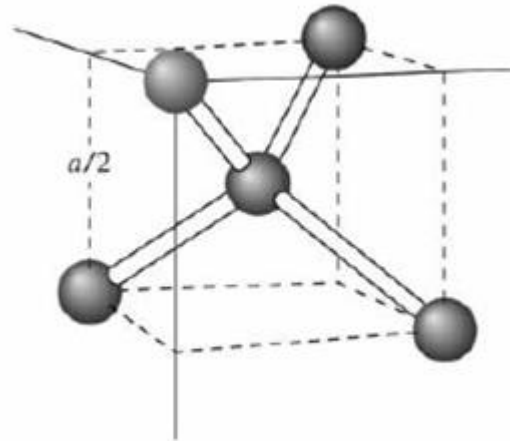
Η επαφή pn



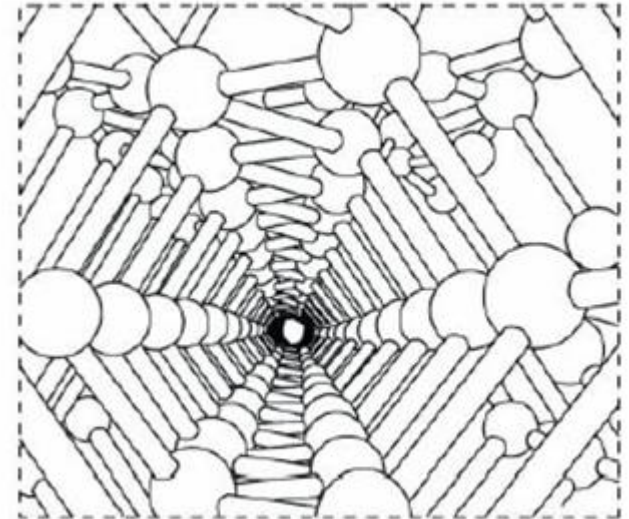
Η κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού



Η μοναδιαία κυψελίδα του κρυστάλλου πυριτίου (δομή διαμαντιού)

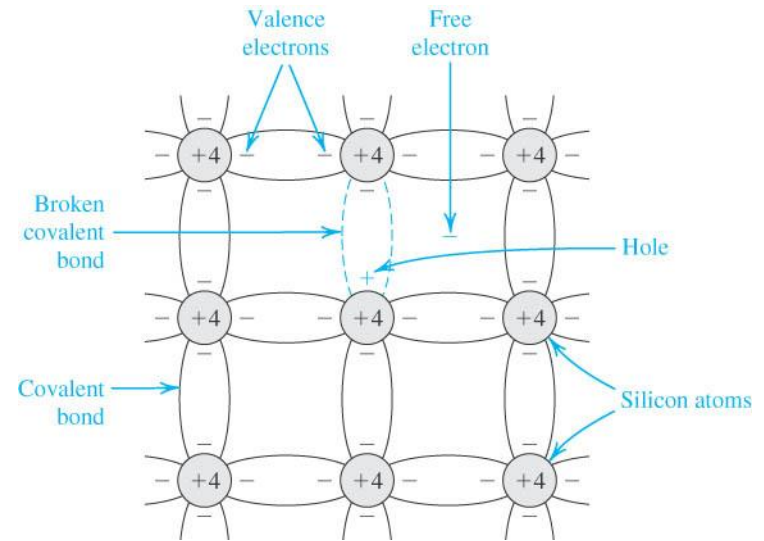
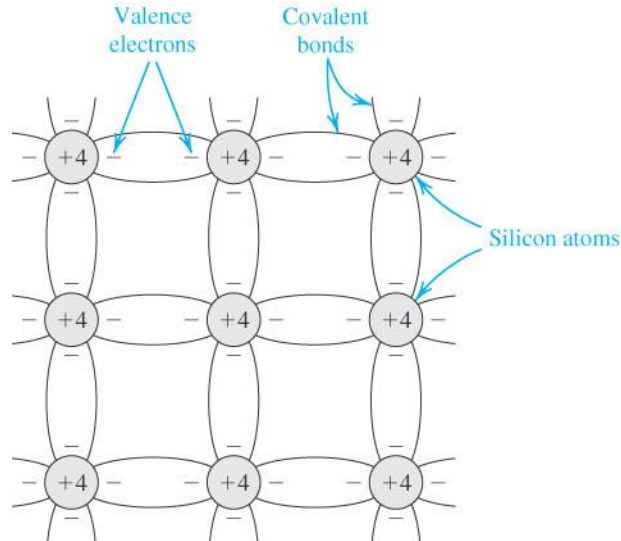


Οι δεσμοί μεταξύ τεσσάρων πλησιέστερων γειτόνων



Άποψη του κρυσταλλικού πλέγματος κατά μήκος ενός κρυσταλλογραφικού άξονα

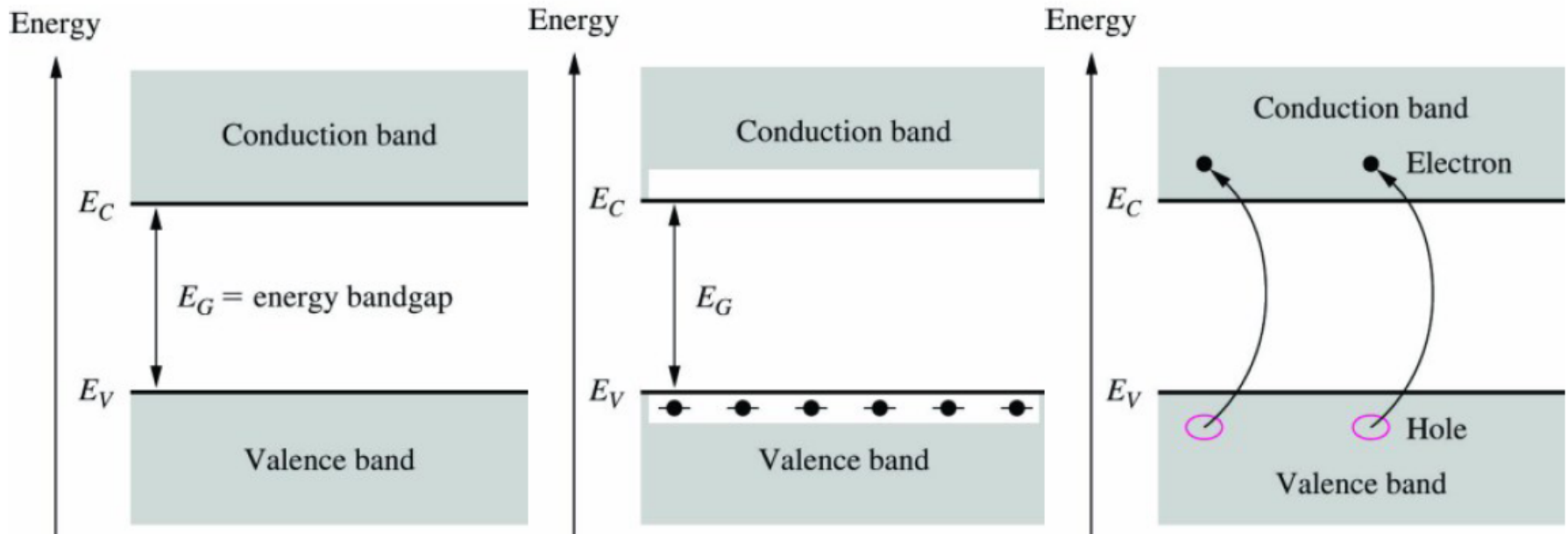
Ενδογενές πυρίτιο



$$n = p = n_i$$

$$pn = n_i^2$$

Οι ενεργειακές ζώνες του πυριτίου



Ζώνη Σθένους
Ζώνη Αγωγιμότητας
Ενεργειακό Χάσμα

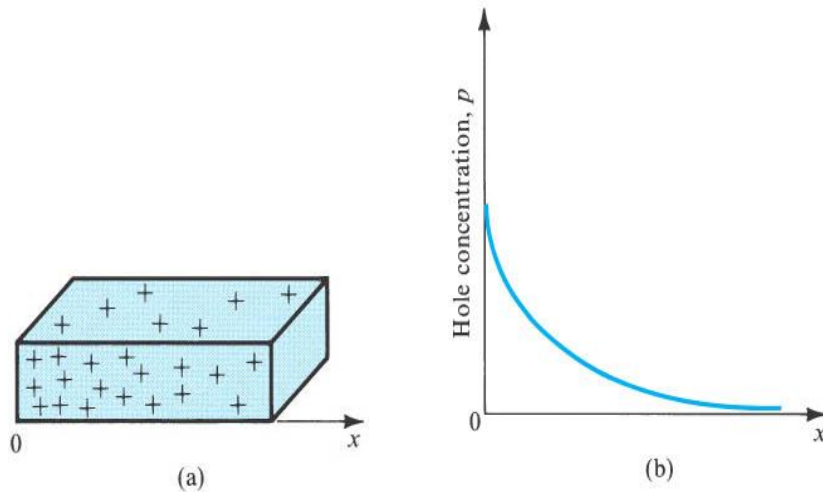
Τα ηλεκτρόνια σθένους
σε θερμοκρασία 0°K

Δημιουργία
ελεύθερων
ηλεκτρονίων και οπών
σε θερμοκρασία
περιβάλλοντος

$$n_i^2 = B \cdot T^3 \exp\left(-\frac{E_G}{kT}\right)$$



Διάχυση και ολίσθηση φορέων



$$j_p^{diff} = (+q)D_p \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right) = -qD_p \frac{\partial p}{\partial x} \left[A/cm^2 \right]$$

$$j_n^{diff} = (-q)D_n \left(-\frac{\partial n}{\partial x} \right) = +qD_n \frac{\partial n}{\partial x} \left[A/cm^2 \right]$$

Ρεύμα διάχυσης οπών και ηλεκτρονίων

Ρεύμα διάχυσης και ολίσθησης οπών και ηλεκτρονίων

$$\begin{cases} j_n^T = q\mu_n nE + qD_n \frac{\partial n}{\partial x} \\ j_p^T = q\mu_p pE - qD_p \frac{\partial p}{\partial x} \end{cases}$$

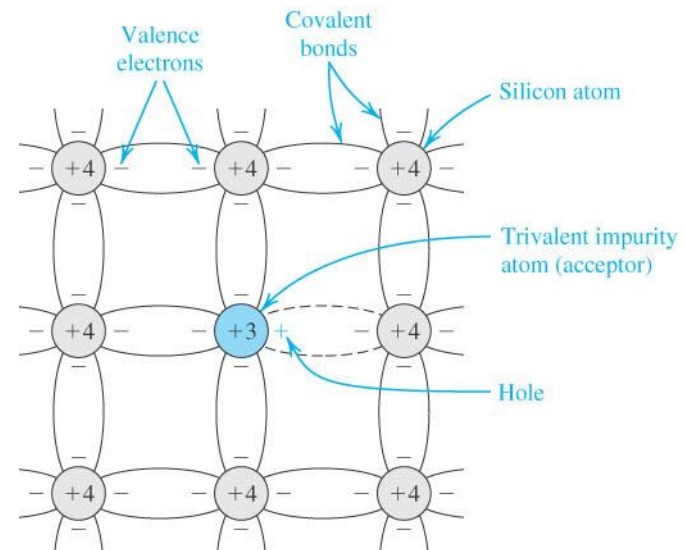
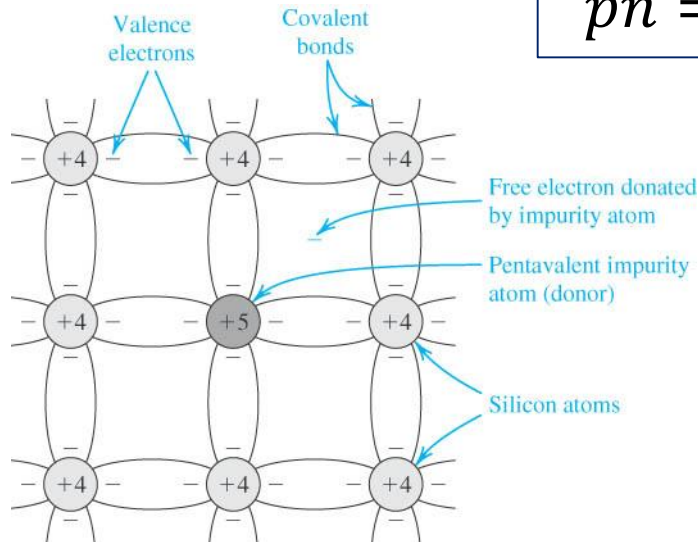
Ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού $\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$

Ημιαγωγοί με προσμίξεις

Ημιαγωγός τύπου n

Ημιαγωγός τύπου p

$$pn = n^2$$



$$n_n \approx N_D$$

$$p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$

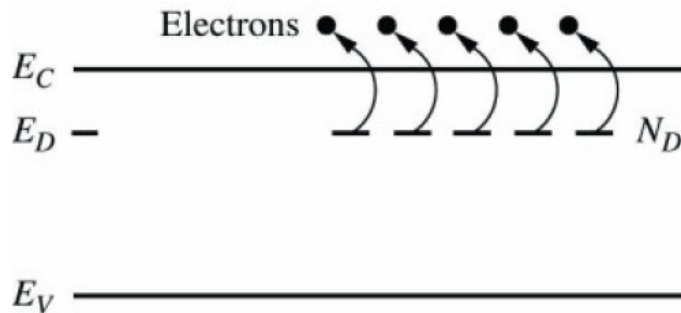
$$p_p \approx N_A$$

$$n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

Οι ενεργειακές ζώνες των ημιαγωγών με προσμίξεις

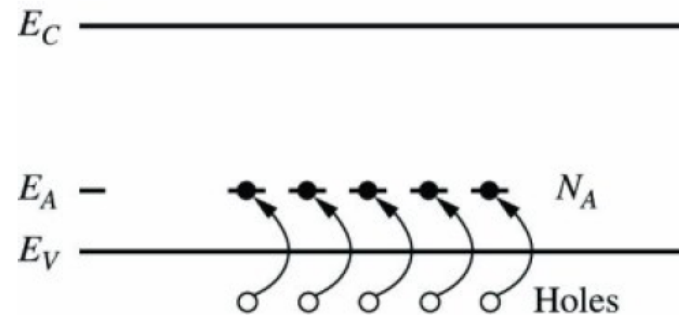
Ημιαγωγός τύπου n ή με προσμίξεις δότου.

Ηλεκτρόνια από την ενεργειακή στάθμη E_D εύκολα μετακινούνται στη ζώνη αγωγιμότητας.

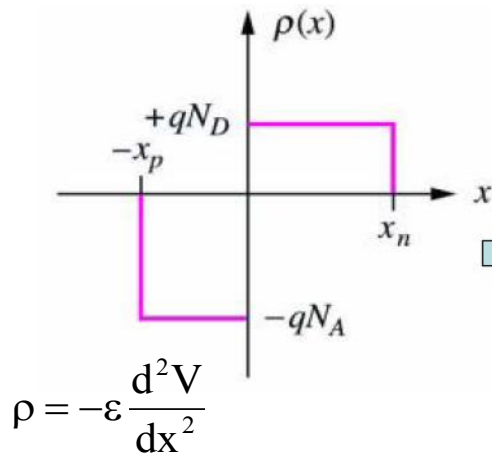
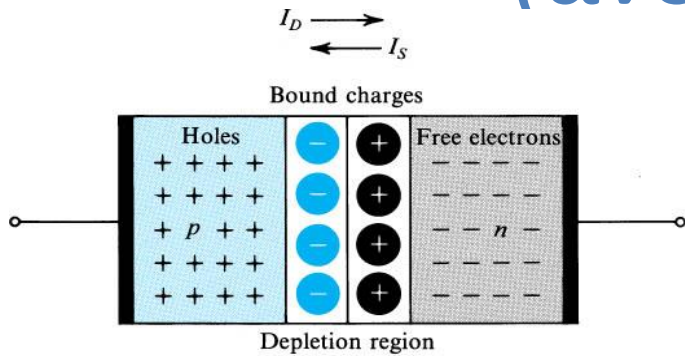


Ημιαγωγός τύπου p ή με προσμίξεις αποδέκτη.

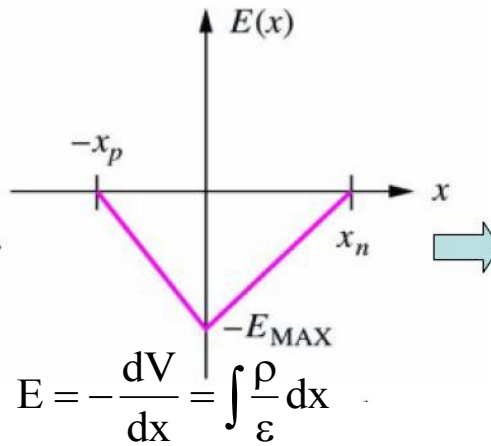
Ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους εύκολα καταλαμβάνουν την ενεργειακή στάθμη E_A και δημιουργούν οπές στη ζώνη σθένους.



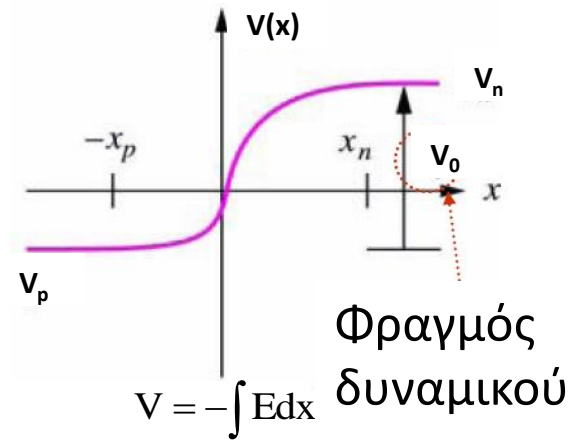
Η επαφή pn χωρίς πόλωση (ανοιχτό κύκλωμα)



Πυκνότητα φορτίου



Ηλεκτρικό πεδίο



Δυναμικό

Φραγμός
δυναμικού

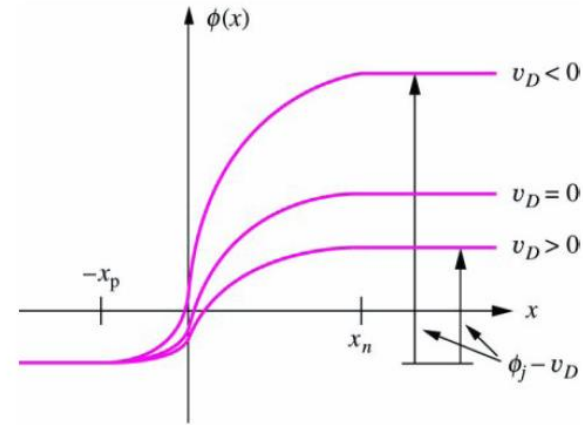
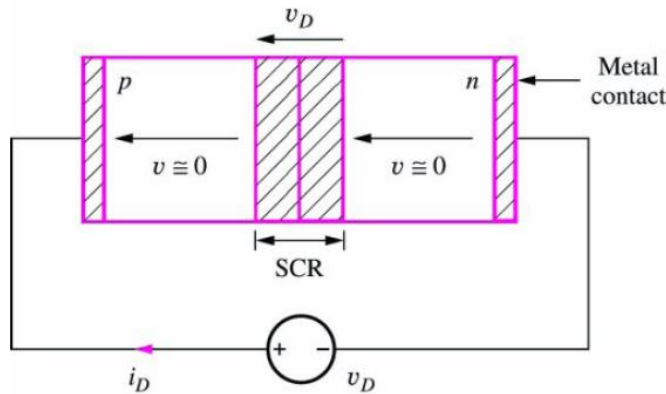
$$V_0 = V_T \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$$

$$W_{dep} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_0}$$

$$C_{jo} = A \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right) \left(\frac{1}{V_0} \right)}$$



Η επαφή pn ανάστροφα πολωμένη

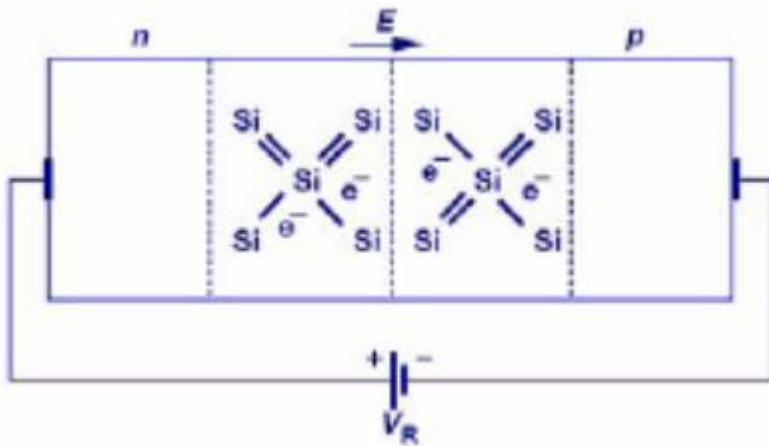
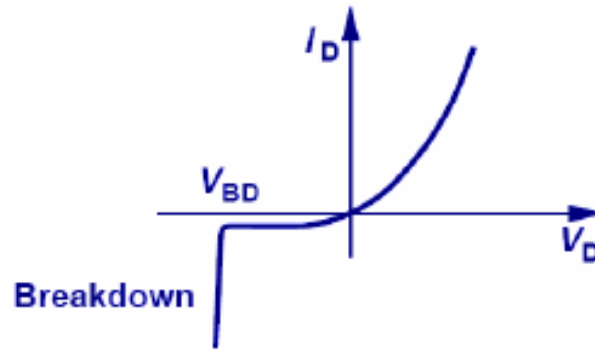


Ανάστροφη πόλωση σημαίνει εφαρμογή εξωτερικής τάσης $v_D < 0$:

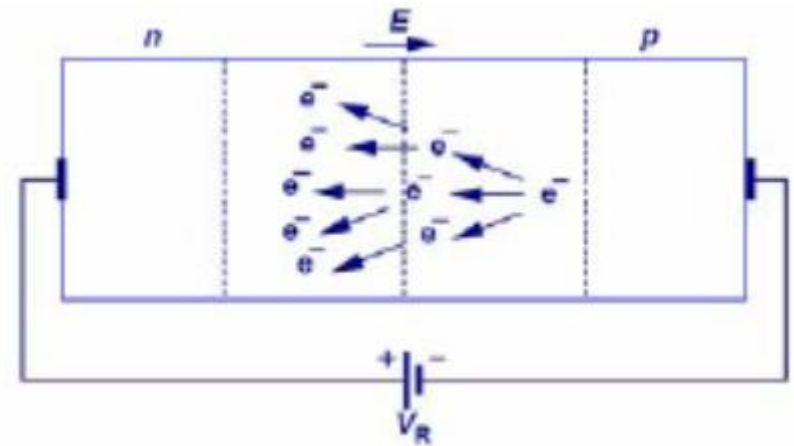
- Ο φραγμός δυναμικού αυξάνεται
- Τα ηλεκτρόνια και οι οπές πλειονότητας διασχίζουν δύσκολα την επαφή
- Η διάχυση μειώνεται
- Το ρεύμα ολίσθησης δεν μεταβάλλεται καθώς υπάρχει μικρή τροφοδοσία σε φορείς μειονότητας

$$i_D = I_{diffusion} - I_{drift} < 0 \Rightarrow -I_{drift}$$

Η επαφή pn στην περιοχή κατάρρευσης

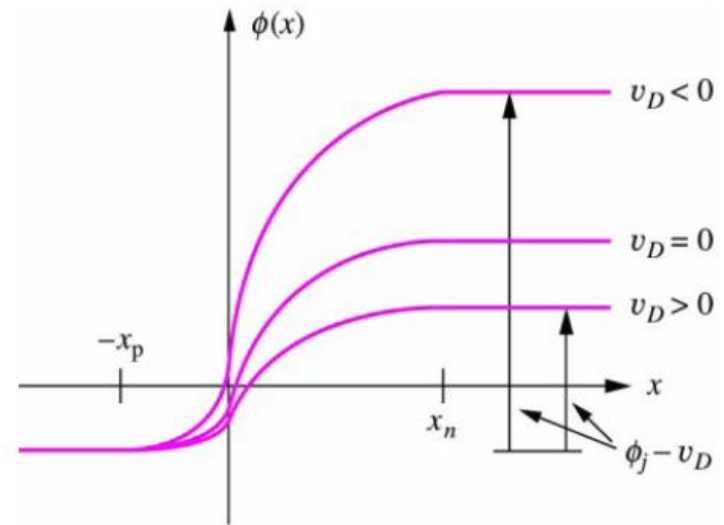
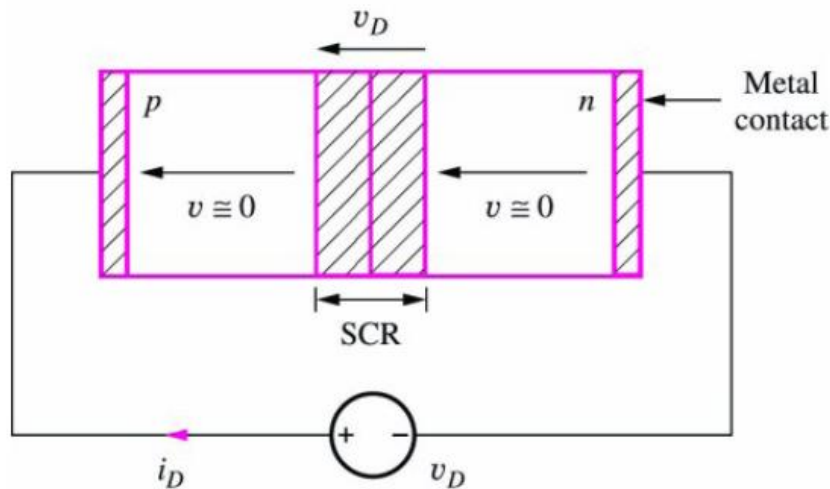


Φαινόμενο Zener
 $V_R < 5V$



Φαινόμενο χιονοστιβάδας
 $V_R > 7V$

Η επαφή pn ορθά πολωμένη (1/2)



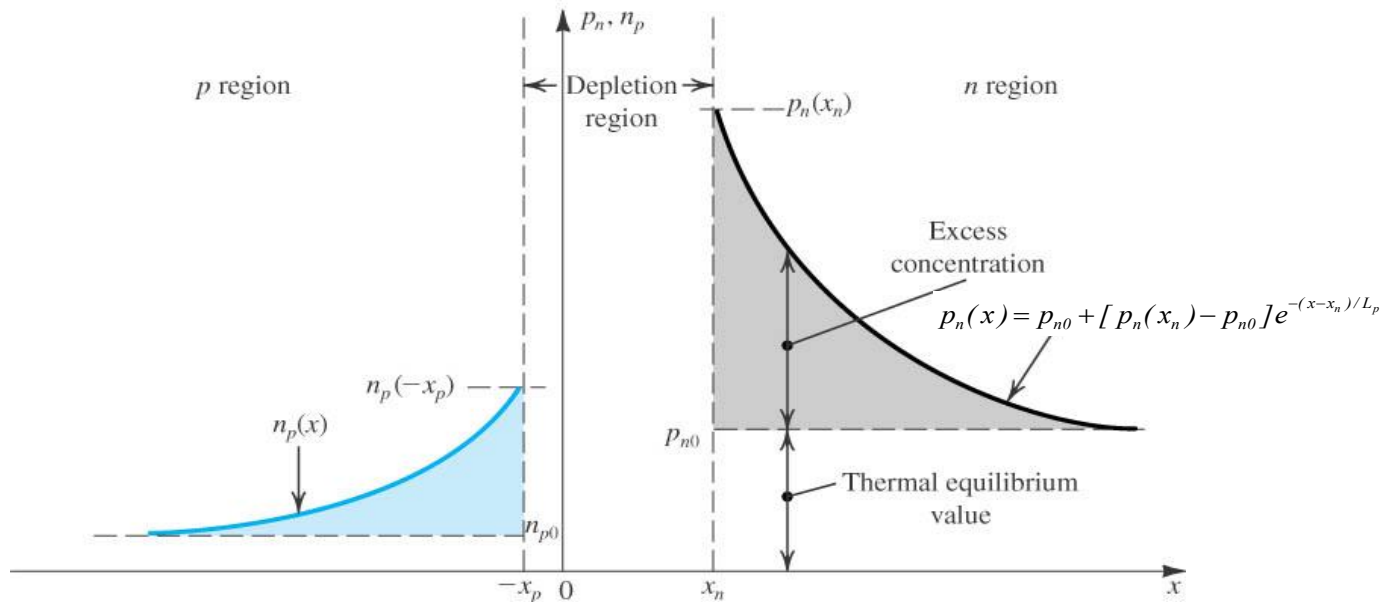
Ορθή πόλωση σημαίνει εφαρμογή εξωτερικής τάσης $v_D > 0$:

- Ο φραγμός δυναμικού μειώνεται
- Τα ηλεκτρόνια και οι οπές πλειονότητας διασχίζουν εύκολα την επαφή
- Χαλάει η ισορροπία μεταξύ διάχυσης και ολίσθησης
- Εμφανίζεται ρεύμα στους ακροδέκτες

$$i_D = I_{diffusion} - I_{drift} > 0$$



Η επαφή pn ορθά πολωμένη (2/2)



- Κατανομή της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας κοντά στην περιοχή απογύμνωσης στην ορθά πολωμένη επαφή pn
- Αποδεικνύεται ότι το ρεύμα οπών είναι ανάλογο του ολικού πλεονάζοντος φορτίου οπών που αποθηκεύεται στην περιοχή n.

$$I = A \left(\frac{qD_p p_{n0}}{L_p} + \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} \right) (e^{V/V_T} - 1) = Aqn_i^2 \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) (e^{V/V_T} - 1) = I_S (e^{V/V_T} - 1)$$

Το ρεύμα της διόδου συναρτήσκει της τάσης πόλωσης

Ανάστροφη πόλωση

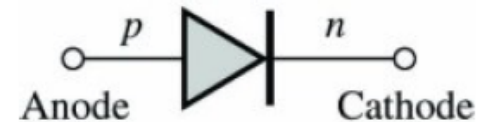
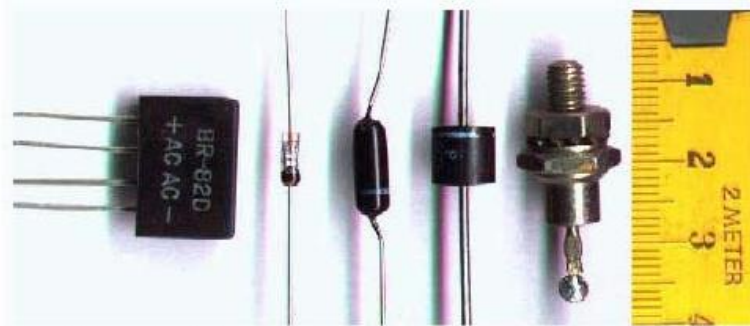
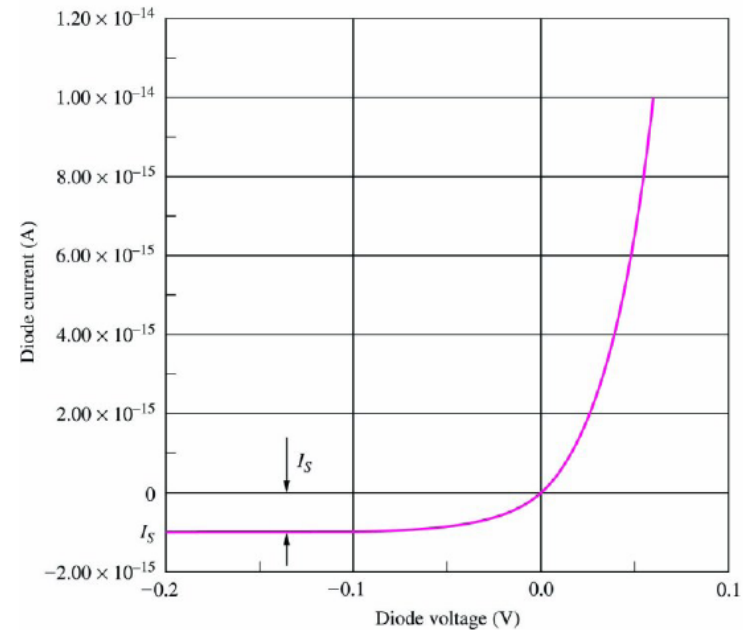
$$i_D = I_s \left[\exp\left(\frac{v_D}{V_T}\right) - 1 \right] \approx I_s [0 - 1] \approx -I_s, \text{ για } v_D < -4V_T$$

Μηδενική πόλωση

$$i_D = I_s \left[\exp\left(\frac{v_D}{V_T}\right) - 1 \right] = I_s [1 - 1] = 0$$

Ορθή πόλωση

$$i_D = I_s \left[\exp\left(\frac{v_D}{V_T}\right) - 1 \right] \approx I_s \exp\left(\frac{v_D}{V_T}\right), \text{ για } v_D > 4V_T$$



Συμβολισμός της διόδου pn



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.01.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Αραπογιάννη Αγγελική 2014. «Ηλεκτρονική. Ενότητα 2: Η επαφή pn». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI4/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [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».



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

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



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.

