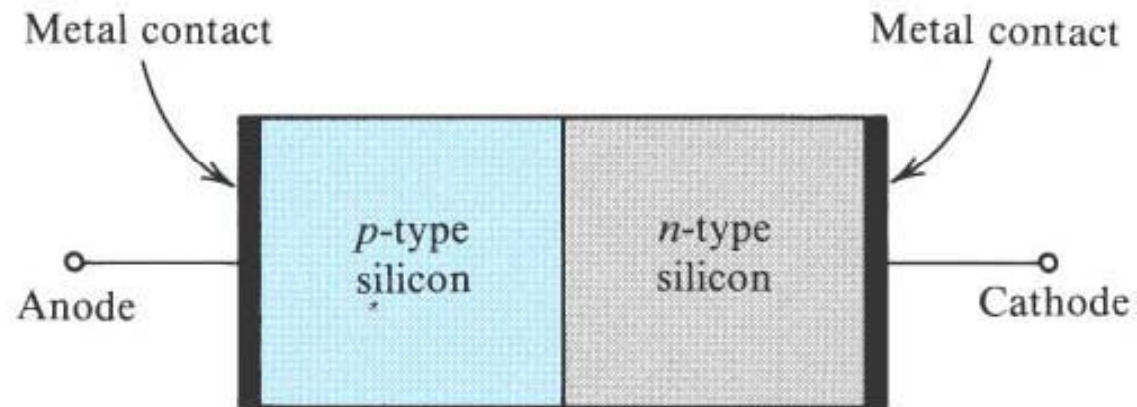
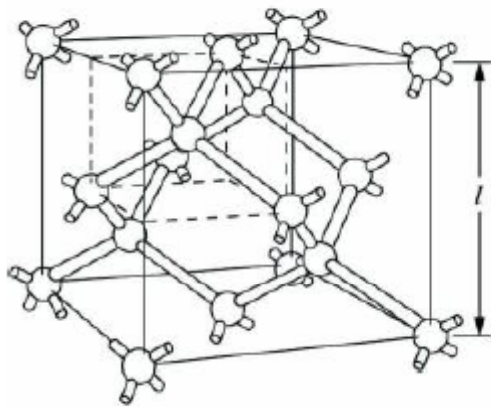


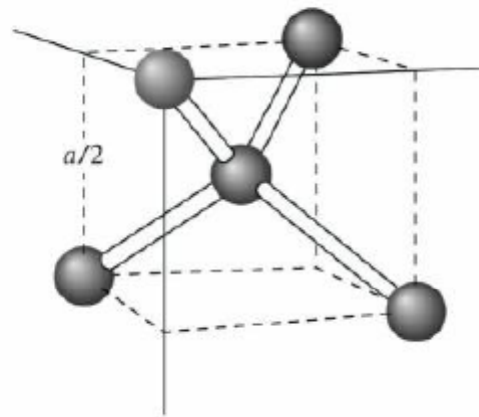
Η επαφή pn



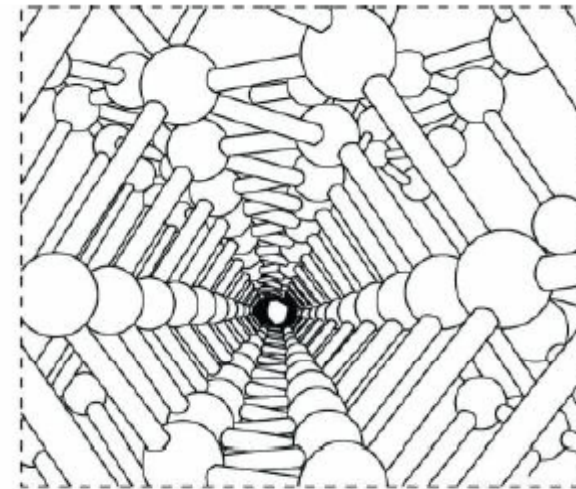
Η κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού



Η μοναδιαία κυψελίδα του κρυστάλλου πυριτίου (δομή διαμαντιού)

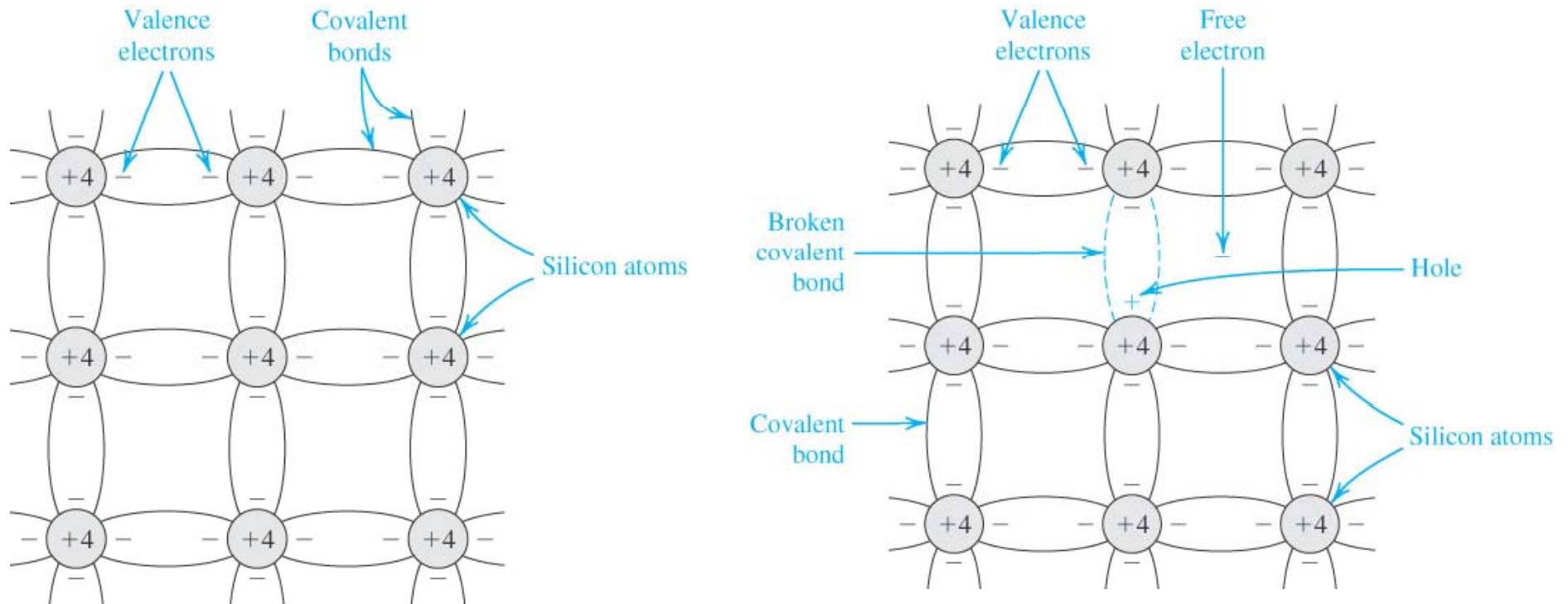


Οι δεσμοί μεταξύ τεσσάρων πλησιέστερων γειτόνων.



Άποψη του κρυσταλλικού πλέγματος κατά μήκος ενός κρυσταλλογραφικού άξονα.

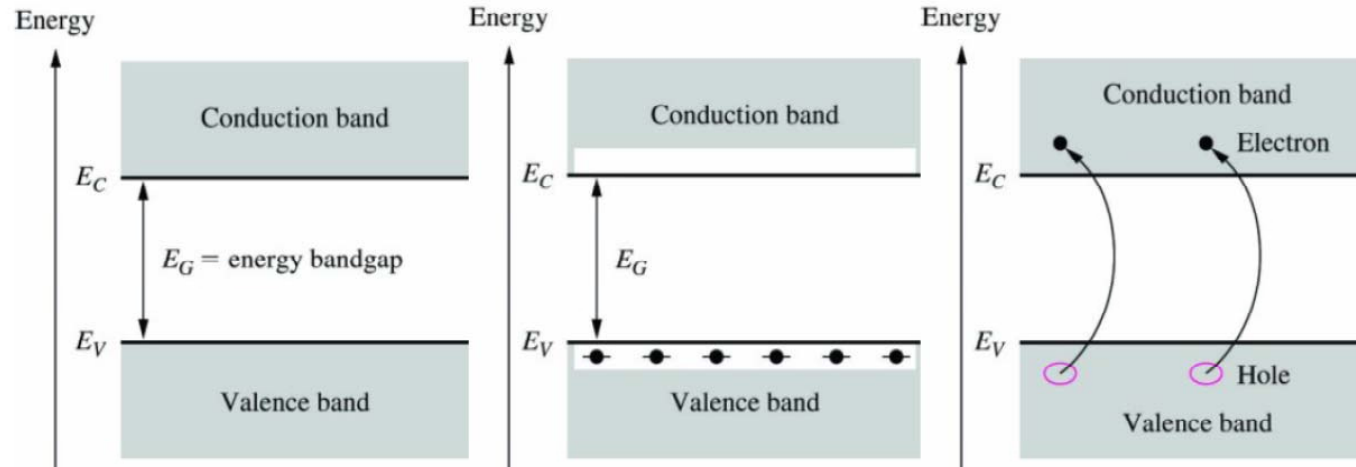
Ενδογενές πυρίτιο



$$n = p = n_i$$

$$pn = n_i^2$$

Οι ενεργειακές ζώνες του πυριτίου



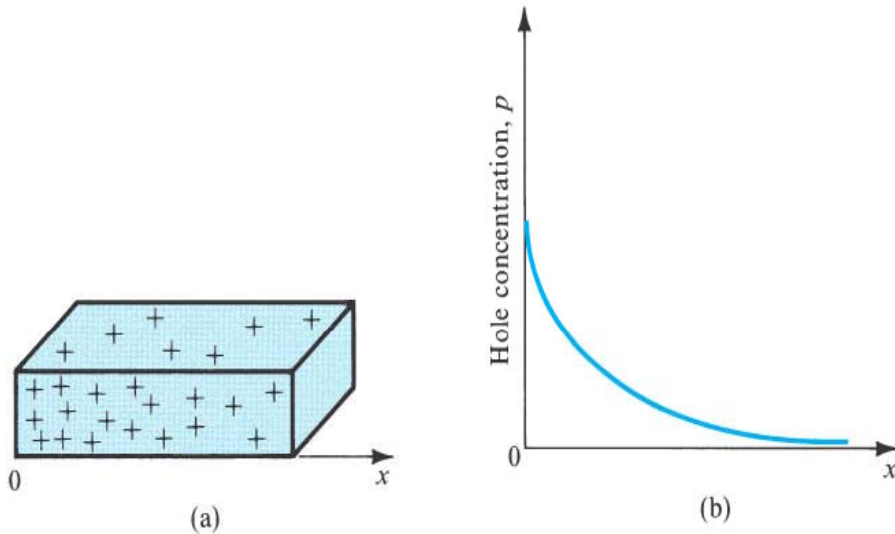
Ζώνη Σθένους
Ζώνη Αγωγιμότητας
Ενεργειακό Χάσμα

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



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

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

Ρεύμα διάχυσης οπών και ηλεκτρονίων

Ρεύμα διάχυσης και ολίσθησης οπών και ηλεκτρονίων

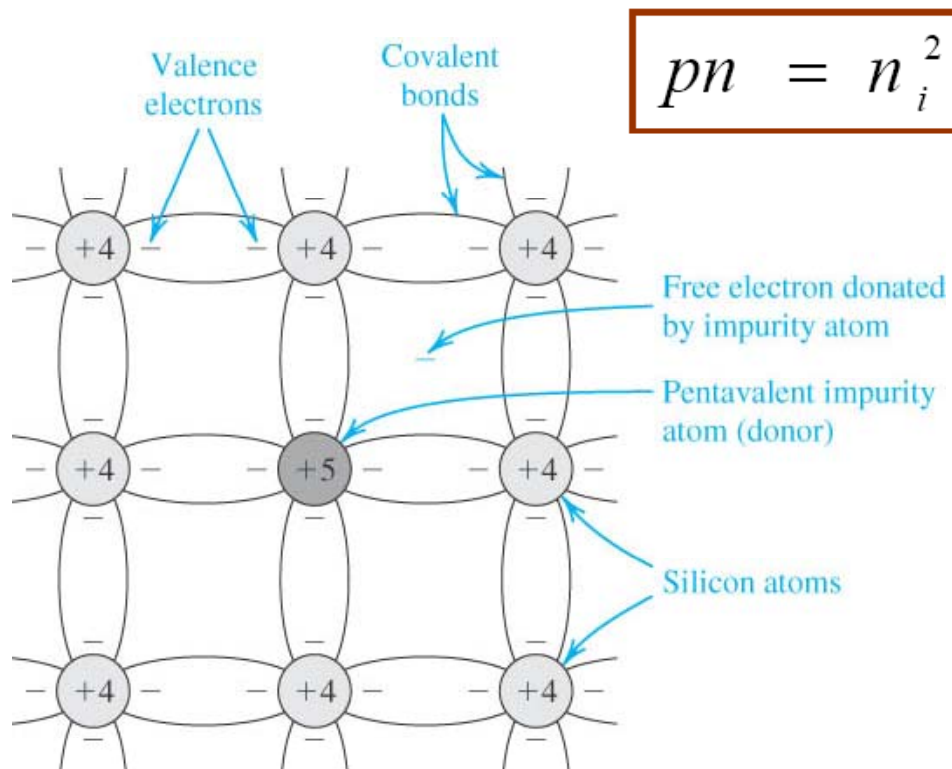
$$\begin{cases} j_n^T = q\mu_n nE + qD_n \frac{\partial n}{\partial x} \\ j_p^T = q\mu_p pE - qD_p \frac{\partial p}{\partial x} \end{cases}$$

Ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

Ημιαγωγοί με προσμίξεις

Ημιαγωγός τύπου n

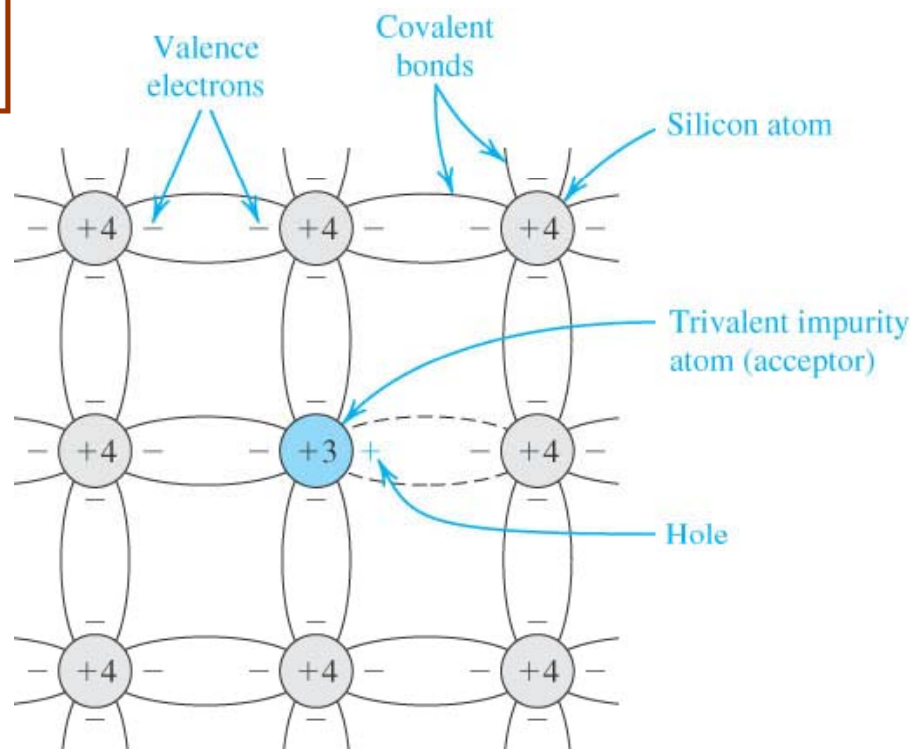


$$n_n \approx N_D$$

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

$$pn = n_i^2$$

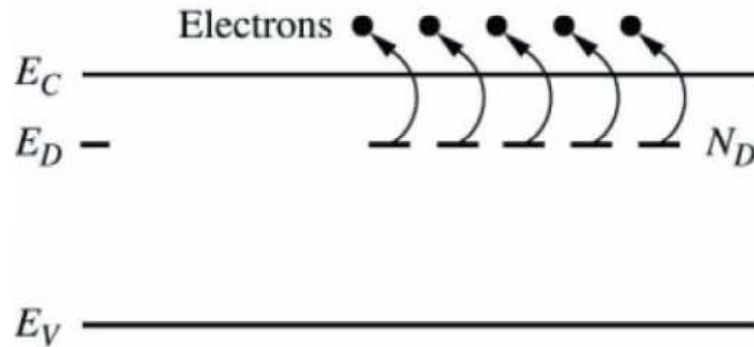
Ημιαγωγός τύπου p



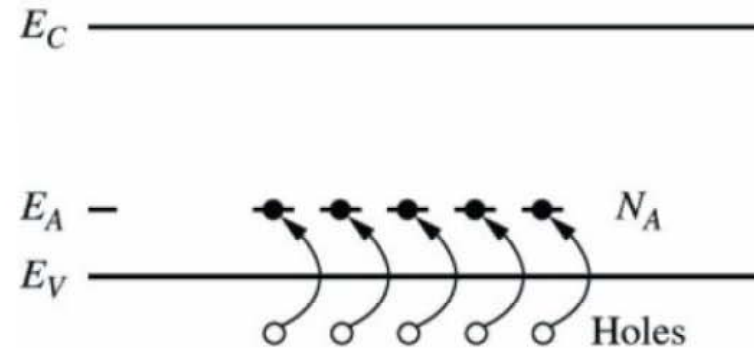
$$p_p \approx N_A$$

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

Οι ενεργειακές ζώνες των ημιαγωγών με προσμίξεις

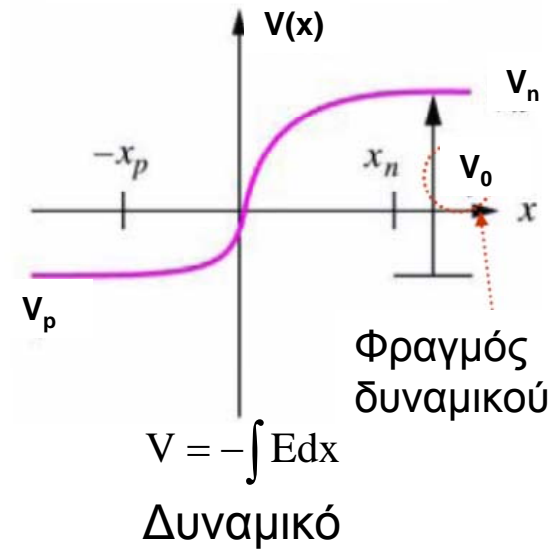
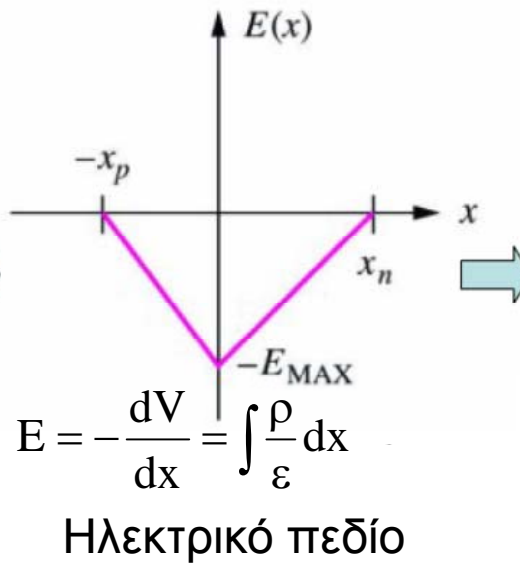
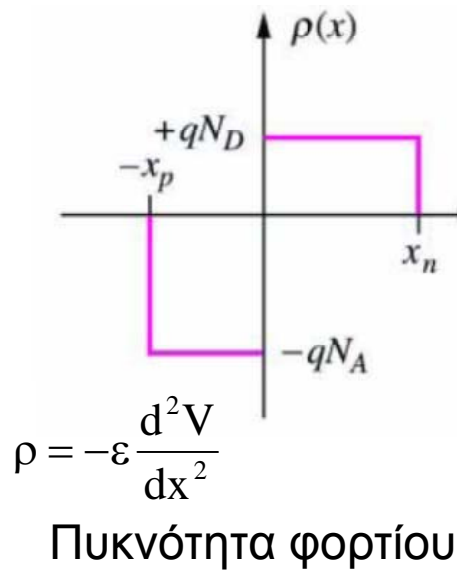
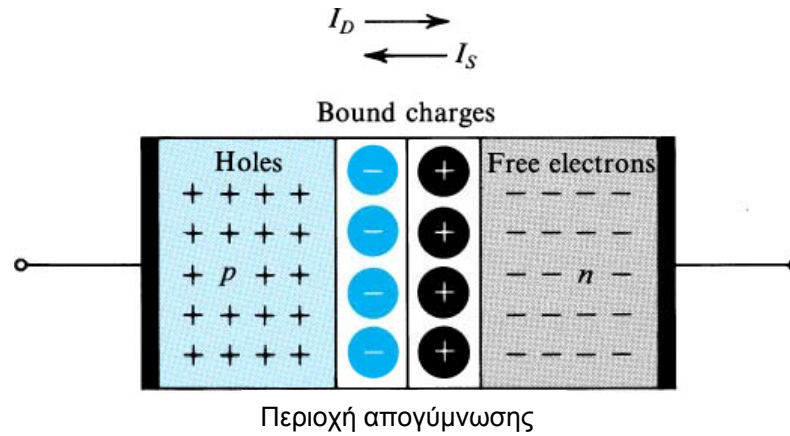


Ημιαγωγός τύπου n ή με προσμίξεις δότου. Ηλεκτρόνια από την ενεργειακή στάθμη E_D εύκολα μετακινούνται στη ζώνη αγωγιμότητας.



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)

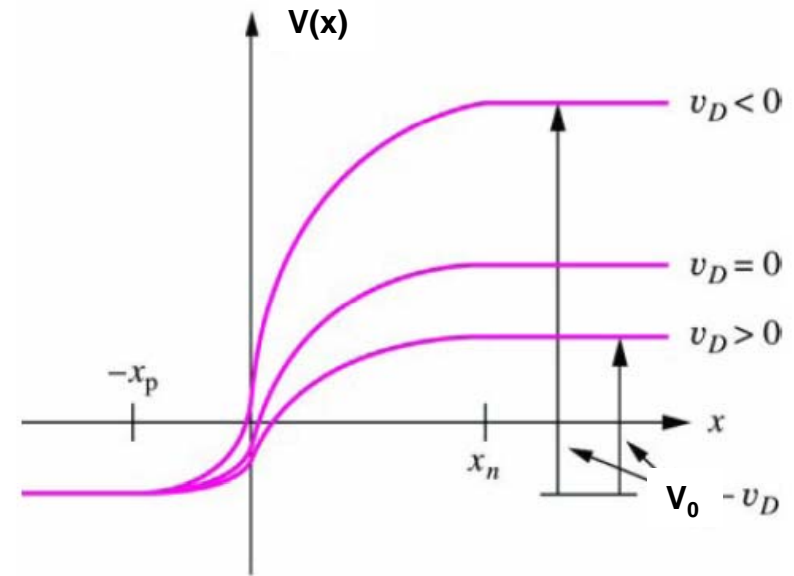
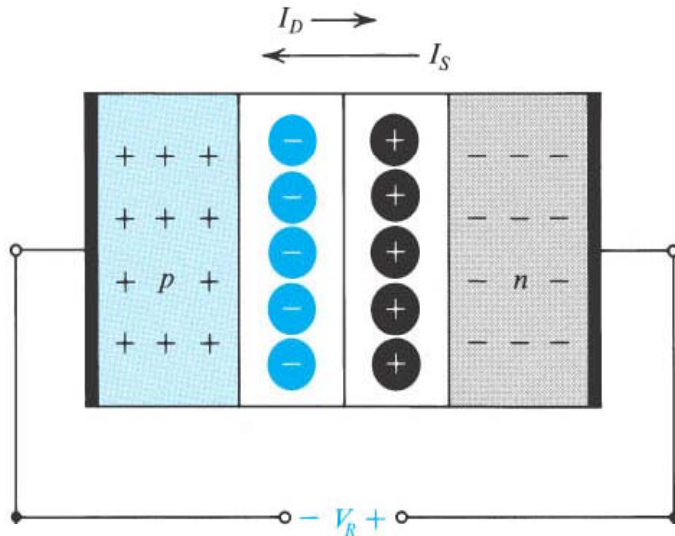


$$V_0 = V_T \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$$

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

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

Η επαφή pn ανάστροφα πολωμένη

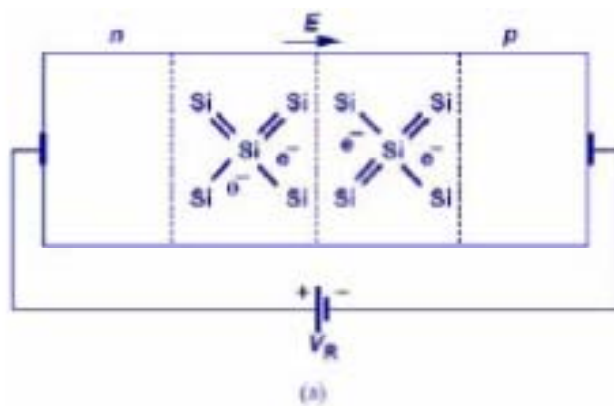
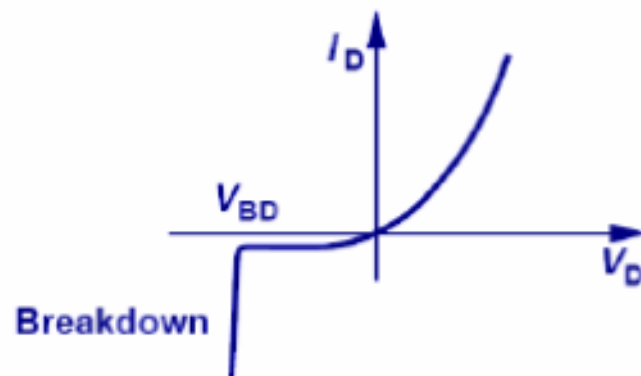


Ανάστροφη πόλωση σημαίνει εφαρμογή εξωτερικής τάσης $v_D < 0$:

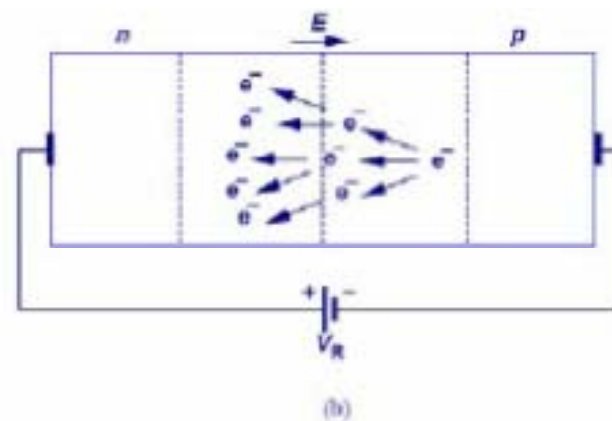
- Ο φραγμός δυναμικού αυξάνεται
- Τα ηλεκτρόνια και οι οπές πλειονότητας διασχίζουν δύσκολα την επαφή
- Η διάχυση μειώνεται
- Το ρεύμα ολίσθησης δεν μεταβάλλεται καθώς υπάρχει μικρή τροφοδοσία σε φορείς μειονότητας

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

Η επαφή pn στην περιοχή κατάρρευσης

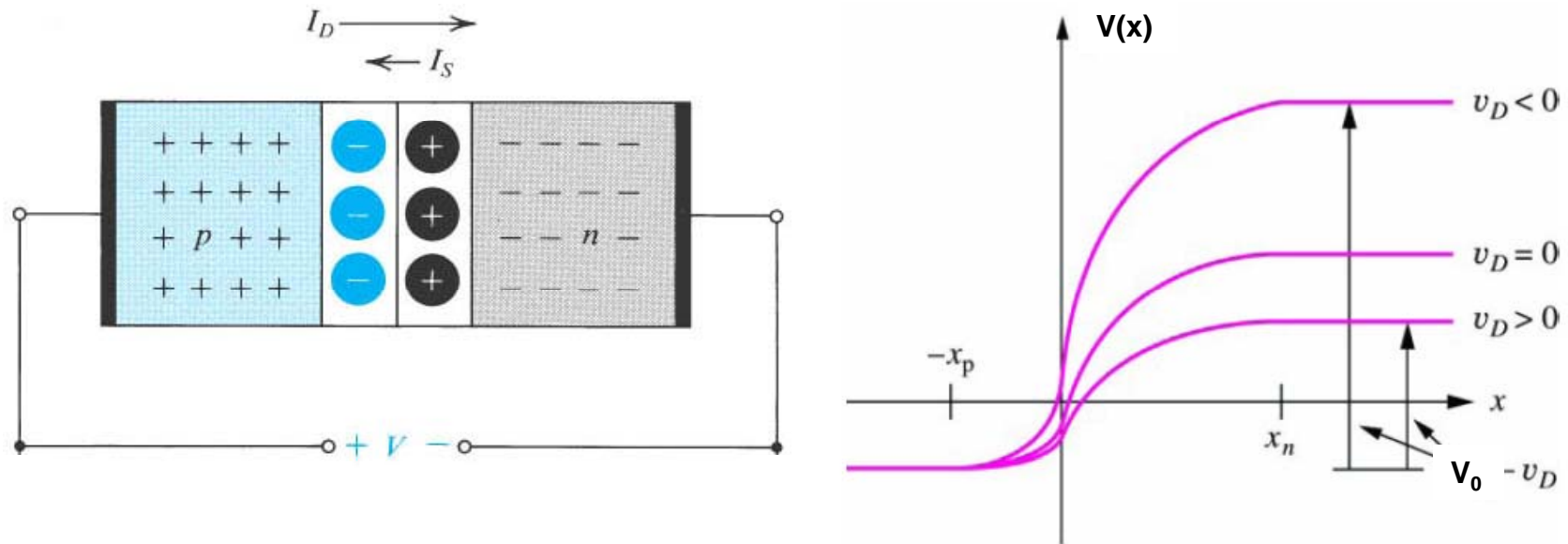


Φαινόμενο Zener
 $V_R < 5V$



Φαινόμενο χιονοστιβάδας
 $V_R > 7V$

Η επαφή pn ορθά πολωμένη

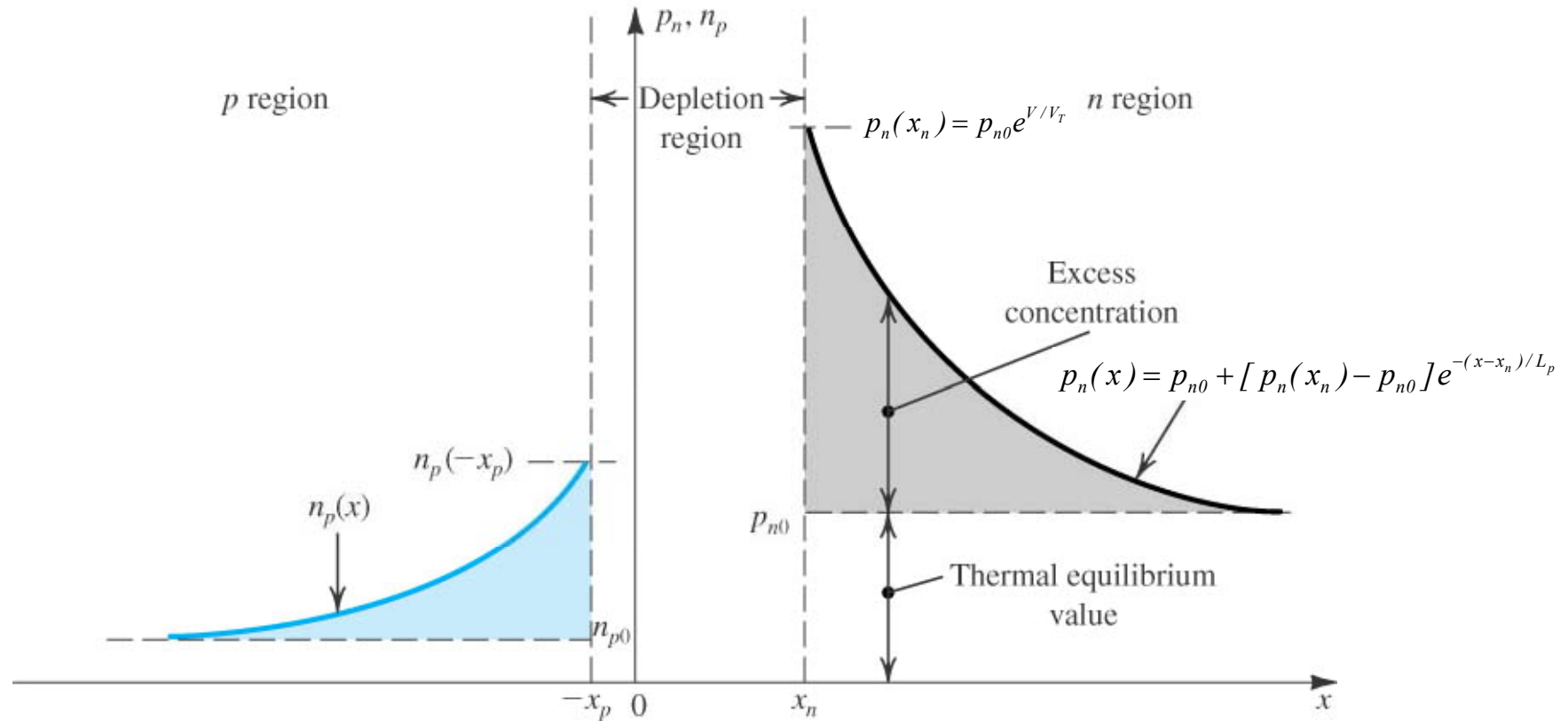


Ορθή πόλωση σημαίνει εφαρμογή εξωτερικής τάσης $v_D > 0$:

- 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

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

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 συναρτήσει της τάσης πόλωσης

Ανάστροφη πόλωση

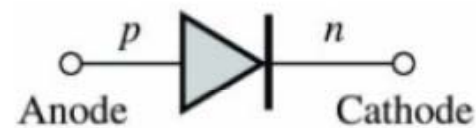
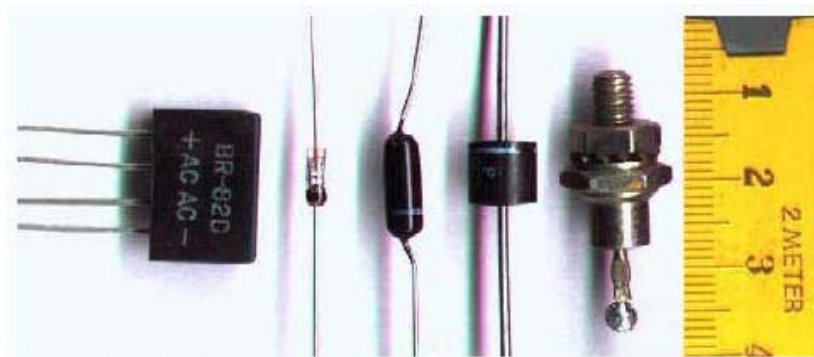
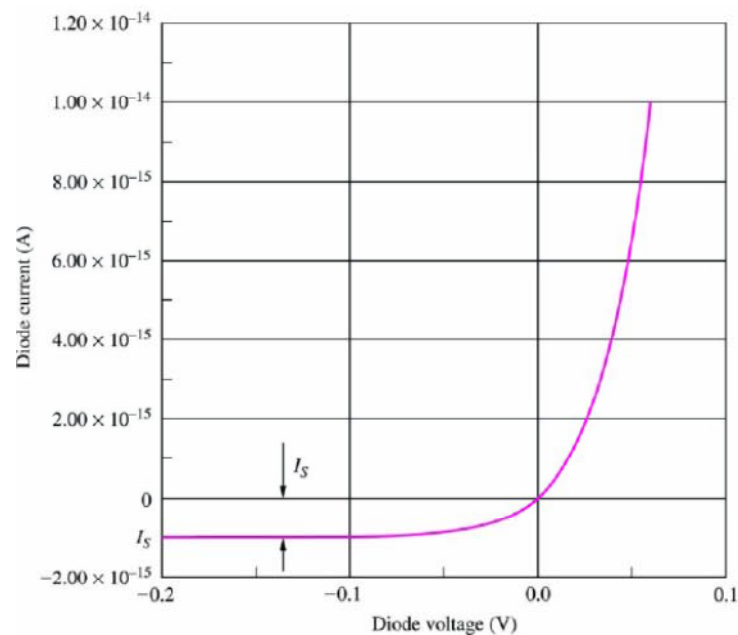
$$i_D = I_s \left[\exp\left(\frac{v_D}{V_T}\right) - 1 \right] \approx I_s [0 - 1] \approx -I_s, \text{ για } v_D < -4V_T$$

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