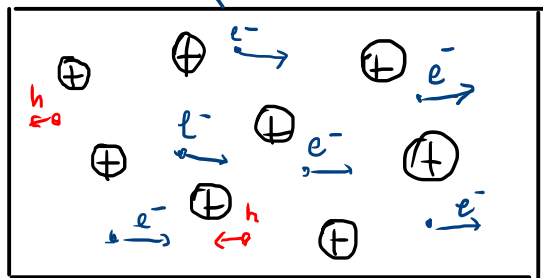
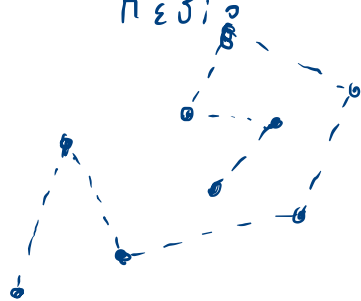


# Μεταφορά φορτίων μέσα στον ημιαγωγό

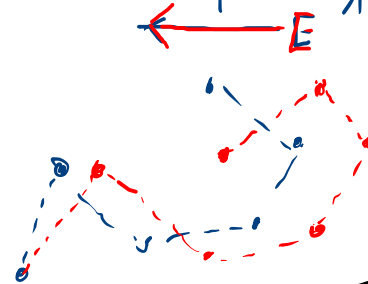
Έστω ένας ημιαγωγός τύπου n



κίνηση χωρίς ηλ. πεδίο



κίνηση με ηλ. πεδίο

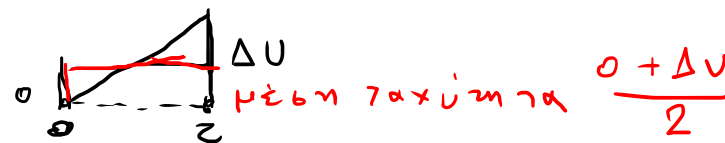


Μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο τα ηλεκτρόνια

νικά (και οι οπές) έχουν και θερμική κίνηση και ορισμένη ροή των πεδίων. Αν ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο συγκρούσεων είναι  $\tau$  τότε λόγω της δύναμης λόγω ηλ. πεδίου είναι  $F = q_e \cdot E = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m_e \Delta U}{\Delta t} = \frac{m_e \Delta U}{\tau}$  επομένως

$$\frac{q_e E \cdot \tau}{m_e} = \Delta U \text{ δηλ. η μέση ταχύτητα ορισμένης είναι}$$

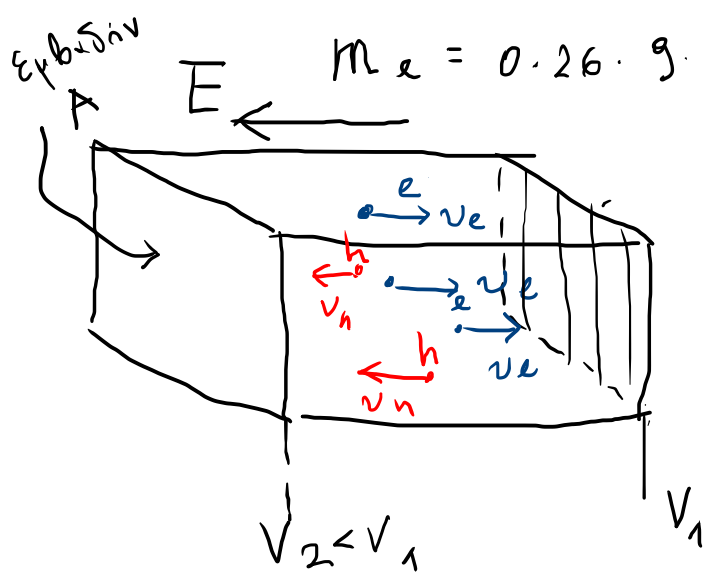
$$v_{\text{drift}} = \frac{q_e \cdot \tau}{m_e} \cdot E$$



$$v_{\text{drift},e} = \mu_e \cdot E, \quad \mu_e: \text{"Ευκινησία"} (\text{mobility}) \quad \mu_e: \frac{1500 \text{ cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

Το ίδιο γίνεται και με τις οπές  $v_{drift,h} = \frac{q n_h}{2 m_h} E = \mu_h \cdot E$

$\mu_h$  στο πυρίτιο:  $450 \frac{cm^2}{V \cdot s}$



$m_e = 0.26 \cdot 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$m_h = 0.36 \cdot 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$I = \frac{\text{φορτίο ηλεκτρονίων} + \text{φορτίο οπών, που περνάει μέσω από την επιφάνεια A σε χρόνο } \Delta t \text{ (π.χ. 1s)}}{\Delta t \text{ (π.χ. 1s)}}$

Το φορτίο ηλεκτρονίων =  $q_e \cdot \text{αριθμός ηλεκτρονίων}$   
 αριθμός ηλεκτρονίων = πυκνότητα ηλεκτρονίων  $(n_e/cm^3) \cdot \text{Όγκος} (= A \cdot v_e \cdot 1s) = n_e \cdot v_e \cdot 1s \cdot A$   
 φορτίο ηλεκτρονίων:  $|q_e| n_e v_e \cdot 1s \cdot A$

Ομοίως φορτίο οπών:  $|q_e| \cdot n_h \cdot v_h \cdot 1s \cdot A$

άρα  $I = \frac{|q_e| n_e \cdot v_e \cdot 1s \cdot A + |q_e| \cdot n_h \cdot v_h \cdot 1s \cdot A}{1s} \Leftrightarrow \frac{I}{A} = |q_e| (n_e \cdot v_e + n_h \cdot v_h)$

$\frac{I}{A} = J$  πυκνότητα ρεύματος  $[\frac{A}{m^2}]$  οπότε

$$J = |q_e| \cdot (N_e \cdot v_e + N_h \cdot v_h), \quad \text{επειδή } v_e = \mu_e \cdot E, \quad v_h = \mu_h \cdot E$$

$$J = |q_e| (N_e \cdot \mu_e + N_h \cdot \mu_h) \cdot E$$

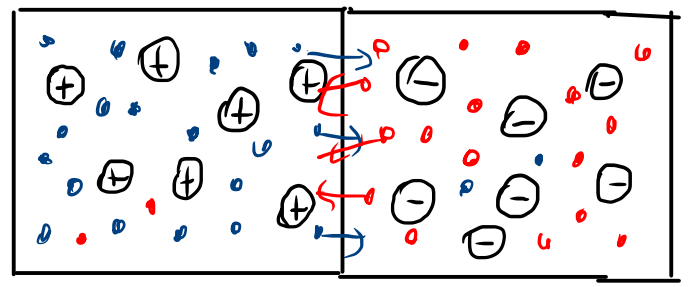
Επειδή όταν αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η συγκέντρωση η) ελευθέρων και π) ιόντων, το ρεύμα αυξάνεται. Εξ αντιθέτου με τα μέταλλα που όταν αυξάνεται η θερμοκρασία το ρεύμα μειώνεται.

$$\text{Το } |q_e| \cdot (N_e \mu_e + N_h \mu_h) = \sigma \text{ (ειδικοί αγώγιμοί αριθμοί)} = \frac{1}{\rho} \left( \frac{1}{\text{ειδικοί αντιστάσεις}} \right)$$

των ημιαγωγών.

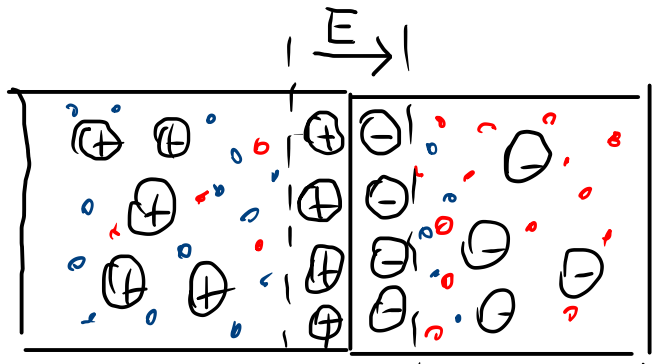
• ελεύθερα ηλεκτρόνια  $n$

$p$  • οπές



Λόγω διάχυσης τα ελεύθερα ηλεκτρόνια περνάνε στην περιοχή  $p$  και οι οπές στην περιοχή  $n$ . Λόγω της επακόλουθης των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τις οπές στην περιοχή της διαφοράς δημιουργείται εκεί μια περιοχή αποσυμπύκνωσης ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές.

• ότι το ρεύμα διάχυσης και το ρεύμα ορισθόμενης είναι ίσα (αδυναμία)



Περιοχή αποσυμπίκνωσης (από ηλεκτρόνια και οπές)

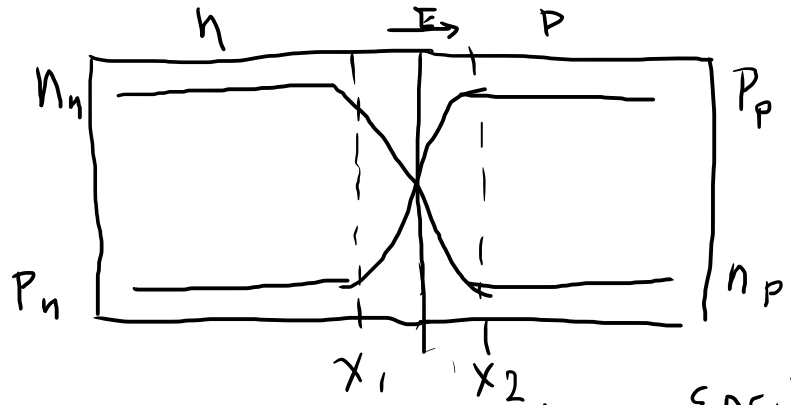
• Όταν ηλεκτρόνια ή οπές κινούνται θερμικά έχουμε ρεύμα λόγω διάχυσης:

$$I_{\text{διάχυσης}} = A \cdot q \left( D_n \frac{dn}{dx} - D_p \frac{dp}{dx} \right)$$

σταθερά διάχυσης

$$D_n = 39 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}, \quad D_p = 12 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

• Στην περιοχή αποσυμπίκνωσης έχουμε



$$p \mu_p E = D_p \frac{dp}{dx}, \quad E = -\frac{dV}{dx} \quad \text{да } \epsilon x w$$

$$- \mu_p p \frac{dV}{dx} = D_p \frac{dp}{dx} \Leftrightarrow$$

$$- \mu_p dV = D_p \frac{dp}{p} \Rightarrow$$

$$- \mu_p \int_{V_{x_1}}^{V_{x_2}} dV = D_p \ln \frac{P_2}{P_1} \Leftrightarrow$$

$$V(x_2) - V(x_1) = -\frac{D_p}{\mu_p} \ln \frac{P_p}{\left(\frac{n_i^2}{n_n}\right)}$$

Этот результат получается, если  $\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{qe}$

$$A_p \times V_1 - V_2 = \frac{kT}{qe} \ln \frac{P_p \cdot n_n}{n_i^2}$$

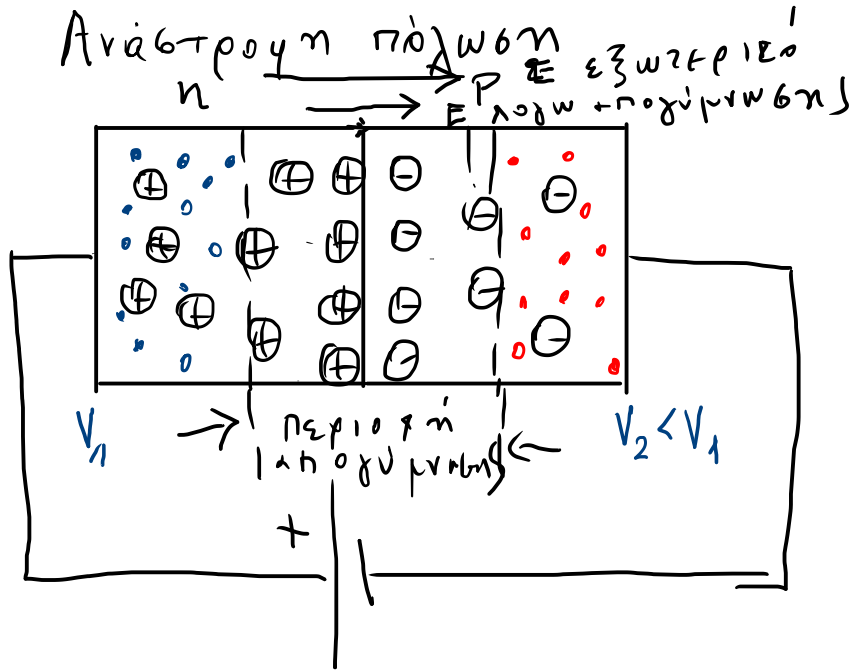
То  $n_i^2 \approx 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

$P_p = 10^{15} \text{ cm}^{-3}, \quad n_n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

$$V_1 - V_2 = 26 \text{ mV} \cdot \ln \frac{10^{15} \cdot 10^{15}}{10^{20}} = \approx 600 \text{ mV}$$

или  $n_n = 2 \cdot 10^6, \quad P_p = 4 \cdot 10^6$

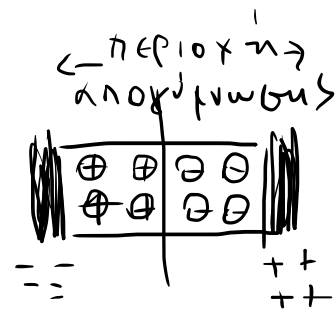
тогда  $V_1 - V_2 \approx 768 \text{ mV}$



Η περιοχή αποχύμωσης μεταβάλλεται  
 γίνεται βολών αδύνατο να περάσουν  
 ελεύθερα ηλεκτρόνια από την περιοχή  
 $\eta$  στην περιοχή  $P$  και οπές από την  
 περιοχή  $P$  στην περιοχή  $\eta$ .

Η διασμός δεν έχει

Συμφε ότι δημιουργείται ένας πυκνωτής:

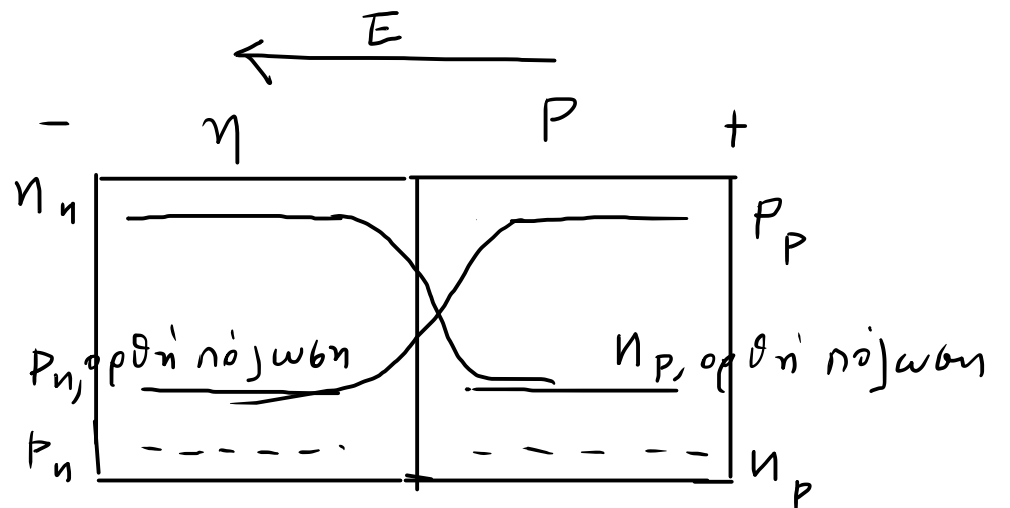
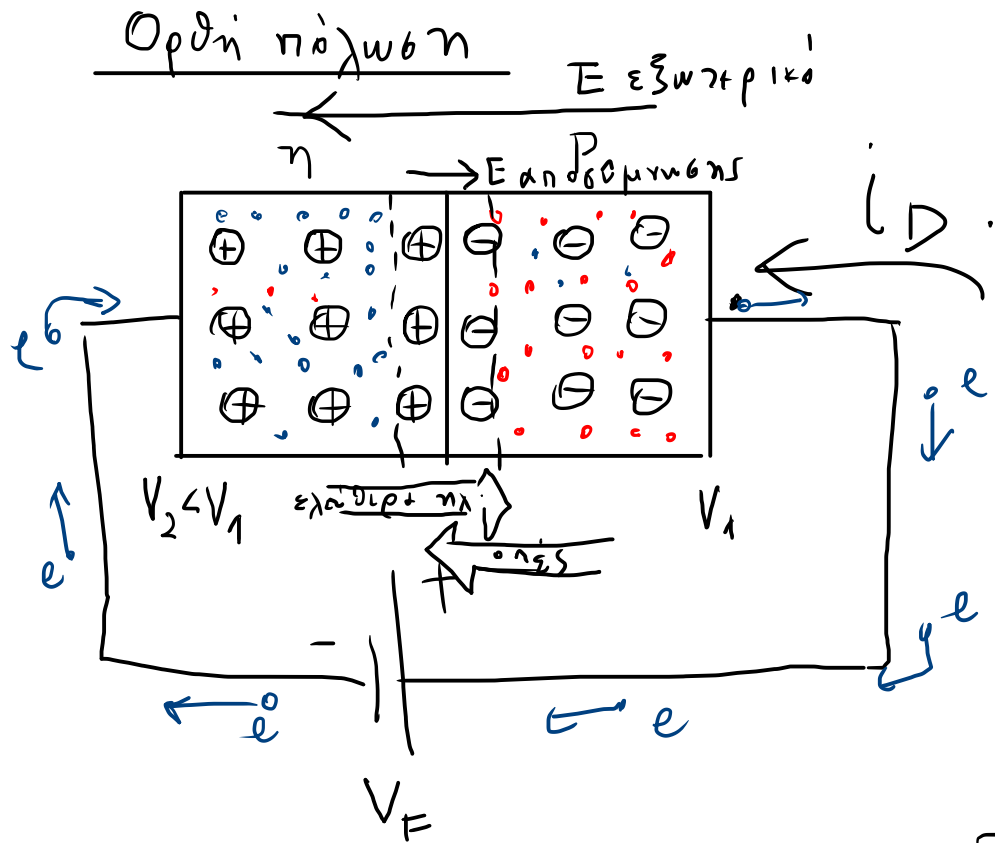


$$C = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_R}{V_0}}}$$

$V_R = \eta$  τάση ανάστροφης πρόσωσης

$V_0 = \eta$  τάση 0.6 - 0.7V που υπάρχει χωρίς πρόσωση στην διασμή

και  $C_{j0}$  η χωρητικότητα της περιοχής αποχύμωσης χωρίς πρόσωση



Τώρα αφού η ορθή πόλωση "χαμηλώνει" το εμπόδιο της περιοχής απόδοσης πηρούν, πολλά ηλεκτρόνια βγάν στην περιοχή τύπου P και πολλές οπές βγάν στην περιοχή τύπου η και οπότε, ρεύμα από την έξοδο (P) προς την είσοδο (η)

ρεύμα από την έξοδο (P) προς την είσοδο (η)

Το ρεύμα ορθής πόλωσης είναι:

$$I_D = I_S \left( e^{\frac{V_D}{n k T / q_e}} - 1 \right)$$

$$I_S = \underbrace{A}_{\text{εμβαδόν}} \cdot q_e \cdot n_i^2 \left( \frac{D_n}{N_A \cdot L_A} + \frac{D_p}{N_D \cdot L_D} \right)$$

$A$ : εμβαδόν,  $N_A, N_D$  συγκεντρώσεις νοθεύσεων

$D_n = \frac{kT}{q_e} \mu_e$ ,  $D_p = \frac{kT}{q_e} \mu_h$ ,  $L_p, L_n$  "μήκη διάχυσης".

(είναι περιεκτικά μικρότερα).