



ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΥ ΕΞΑΜΗΝΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2014-14

ΜΑΘΗΜΑ: ΦΥΣΙΚΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δ. ΤΡΙΑΝΤΗΣ

ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ - ΛΥΣΕΙΣ

ΘΕΜΑ 1^ο (12+8=20 ΜΟΡΙΑ)

a) Ημιαγωγός μελετήθηκε και βρέθηκε ότι έχει χαρακτήρα n-τύπου με συγκέντρωση ελευθέρων ηλεκτρονίων ίση με $5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ και πολύ μεγαλύτερη από την συγκέντρωση των οπών. Μετρήθηκε και η ευκινησία των ηλεκτρονίων και βρέθηκε ίση με $10^3 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Να προσδιοριστεί η ειδική αντίσταση του ανωτέρω ημιαγωγού. Φορτίο ηλεκτρονίου $q=1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

b) Προσδιορισμός της πυκνότητας ρεύματος ολίσθησης σε ημιαγωγό που παρουσιάζει ειδική αντίσταση $10 \Omega \cdot \text{cm}$ για εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο 100 V/cm .

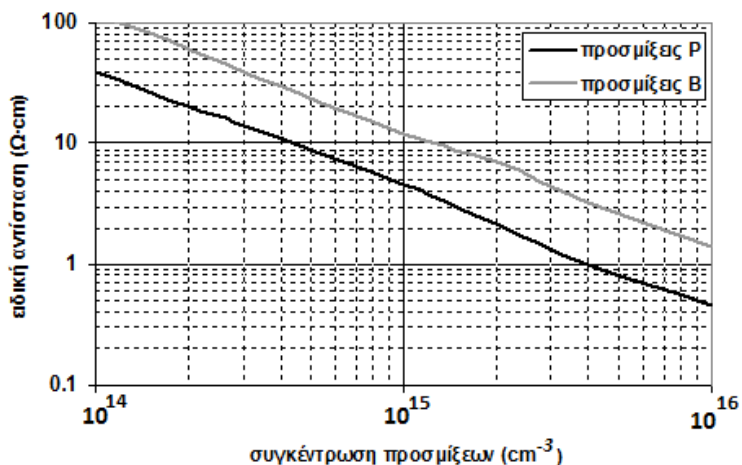
$$\text{a) } \sigma = q \cdot \mu_n \cdot n = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^3 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3} = 1.6 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} = 0.08 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{0.08 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}} = 12.5 \Omega \cdot \text{cm}$$

$$\text{b) } J = \sigma \cdot \epsilon = \frac{\epsilon}{\rho} = \frac{100 \text{ V/cm}}{10 \Omega \cdot \text{cm}} = 10 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

ΘΕΜΑ 2^ο (12 ΜΟΡΙΑ)

Σε δισκίο καθαρού Si δημιουργούμε δυο περιοχές ίδιων διαστάσεων n-Si και p-Si. Η περιοχή n-Si είναι εμπλουτισμένη με δότες (άτομα P) συγκέντρωσης $2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Προκειμένου οι δυο περιοχές n-Si και p-Si να παρουσιάσουν την ίδια αντίσταση, ποια πρέπει να είναι η συγκέντρωση των αποδεκτών (άτομα B) της περιοχής του p-Si. Αξιοποίηση της πληροφορίας του διαγράμματος του σχήματος 1.



σχήμα 1

Επειδή οι δυο περιοχές έχουν ίδιες διαστάσεις πρέπει: $\rho_{n-Si} = \rho_{p-Si}$. Με βάση τη συγκέντρωση $2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ της περιοχής n-Si προκύπτει μέσω του διαγράμματος $\rho_{n-Si} = 20 \Omega \cdot \text{cm}$.

Άρα $\rho_{n-Si} = \rho_{p-Si} = 20\Omega \cdot \text{cm}$. Για $\rho_{p-Si} = 20\Omega \cdot \text{cm}$ προκύπτει μέσω του διαγράμματος συγκέντρωση αποδεκτών (άτομα B) ίση με $6 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-3}$.

ΘΕΜΑ 3^ο (6+8+10=24 ΜΟΡΙΑ)

Σε μια επαφή p-n Si με απότομο προφίλ συγκέντρωσης προσμίξεων η συγκέντρωση δοτών της n περιοχής είναι $N_D = 6 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-3}$ και η συγκέντρωση αποδεκτών της p περιοχής είναι $N_A = 1.2 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$.

3. α) Δεδομένου ότι το δυναμικό επαφής δίνεται από τη σχέση: $V_0 = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right)$, να

υπολογιστεί η τιμή του στη θερμοκρασία των 300K. Η ενδογενής συγκέντρωση φορέων του Si στους 300K έχει τιμή $n_i = 1.45 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-3}$ και η ποσότητα kT/q στους 300K έχει τιμή 26 mV.

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right) = 26 \text{mV} \cdot \ln \left(\frac{1.2 \cdot 10^{15} \cdot 6 \cdot 10^{14}}{1.45^2 \cdot 10^{20}} \right) = 26 \text{mV} \cdot 21.95 = 0.571 \text{V}$$

β) Στην ανωτέρω επαφή το εύρος της περιοχής απογύμνωσης έχει τιμή $l = 9 \mu\text{m}$. Να προσδιοριστεί το επιμέρους εύρος της περιοχής απογύμνωσης στις περιοχές n και p (l_n και l_p αντίστοιχα).

$$l = l_n + l_p, \text{ ενώ } N_D \cdot l_n = N_A \cdot l_p \text{ ή } 6 \cdot 10^{14} \cdot l_n = 1.2 \cdot 10^{15} \cdot l_p \text{ ή } l_n = 2l_p$$

$$\text{άρα } l = l_n + l_p = 3l_p \Rightarrow l_p = \frac{l}{3} = 3 \mu\text{m} \text{ και } l_n = 6 \mu\text{m}.$$

γ) Η ανωτέρω επαφή πολώνεται ορθά με τάση 0.28V. Για την ανωτέρω επαφή και για ορθές πολώσεις μεγαλύτερες από 0.1V ικανοποιείται η ακόλουθη σχέση μεταξύ ρεύματος I και τάσης V:

$$I = I_0 \cdot \exp \left(\frac{q \cdot V}{n \cdot kT} \right), \text{ όπου: } I_0 \text{ ένα σταθερό ρεύμα, και } n \text{ ένας εμπειρικός συντελεστής με τιμή 1.2.}$$

Προκειμένου να διπλασιαστεί το ρεύμα ορθής πόλωσης της επαφής, ποια τιμή πρέπει να λάβει η τάση ορθής πόλωσης.

$$\text{Για τάση πόλωσης } V_1 = 0.28 \text{V} \text{ το αντίστοιχο ρεύμα } I_1 = I_0 \cdot \exp \left(\frac{q \cdot V_1}{n \cdot kT} \right)$$

Για ρεύμα $I_2 = 2I_1$ έστω V_2 η τάση πόλωσης.

$$\text{Άρα: } I_0 \cdot \exp \left(\frac{q \cdot V_2}{n \cdot kT} \right) = 2I_0 \cdot \exp \left(\frac{q \cdot V_1}{n \cdot kT} \right) \text{ ή}$$

$$\exp \left(\frac{q \cdot (V_2 - V_1)}{n \cdot kT} \right) = 2 \text{ ή } \frac{q \cdot (V_2 - V_1)}{n \cdot kT} = \ln 2 \Rightarrow V_2 = V_1 + n \frac{kT}{q} \ln 2 \Rightarrow 0.28 \text{V} + 1.2 \cdot 26 \text{mV} \cdot 0.6 = 0.3 \text{V}$$

ΘΕΜΑ 4^ο (8+6+10=24 ΜΟΡΙΑ)

α) npn-transistor, συμμετέχει σε κύκλωμα συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού με dc πόλωση $V_{CC} = +9\text{V}$. Μετρήθηκαν οι τάσεις: $V_{BE} = 0.72\text{V}$, και $V_{CE} = 0.19\text{V}$. Να υπολογιστεί η τάση συλλέκτη – βάσης V_{CB} και να σχολιάσετε αν είναι πολωμένη ορθά ή ανάστροφα και στην συνέχεια να τεκμηριώσετε σε ποια περιοχή λειτουργεί το transistor .

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 0.19 \text{V} - 0.72 \text{V} = -0.53 \text{V}.$$

Η βάση έχει υψηλότερο δυναμικό από το συλλέκτη άρα η επαφή CB είναι ορθά πολωμένη όπως και επαφή BE. Κατά συνέπεια επειδή τόσο η επαφή BE όσο και η επαφή CB είναι ορθά πολωμένες το transistor λειτουργεί στην περιοχή κόρου.

b) Να απαντηθεί η προηγούμενη ερώτηση αν μετρηθούν τάσεις: $V_{BE} = 0.7V$ και $V_{CE} = 5V$.

$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 5V - 0.7V = +4.3V$. Συνεπώς $V_{CB} > 0$ οπότε η επαφή CB είναι ανάστροφα πολωμένη ενώ η επαφή BE είναι ορθά πολωμένη. Άρα το transistor λειτουργεί στην ενεργή περιοχή.

c) Ένα BJT σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού του οποίου η παράμετρος $\alpha = 0.989$, λειτουργεί στην ενεργή περιοχή και το ρεύμα του συλλέκτη είναι ίσο με $1mA$. Ποιά η τιμή του ρεύματος βάσης;

$$I_C = \alpha \cdot I_E \Rightarrow I_C = \alpha \cdot (I_C + I_B) \Rightarrow I_C = \alpha \cdot I_C + \alpha \cdot I_B \Rightarrow (1 - \alpha) \cdot I_C = \alpha \cdot I_B \Rightarrow$$

$$I_B = \frac{1 - \alpha}{\alpha} \cdot I_C = \frac{1 - 0.989}{0.989} \cdot 1mA = 11.1\mu A$$

ΘΕΜΑ 5^ο (10+10=20 ΜΟΡΙΑ)

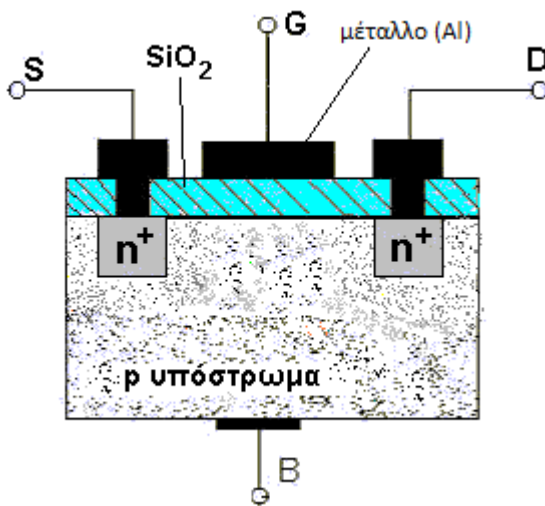
Στο σχήμα 2 έχει σχεδιαστεί η δομή ενός NMOS. Μετρήσεις έδειξαν ότι η τάση κατωφλίου πύλης έχει τιμή $+1.2V$. Τους ακροδέκτες πηγής και υποστρώματος τους γειώνουμε. Η εκροή οδηγείται σε δυναμικό $+5V$ και η πύλη σε δυναμικό $-2V$.

a) Γιατί δεν παρατηρείται ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ πηγής και εκροής; Ποιο είναι το ισοδύναμο κύκλωμα μεταξύ πηγής και εκροής.

Με δυναμικό πύλης $-2V$ μεταξύ πηγής και εκροής και ακριβώς κάτω από το λεπτό στρώμα SiO_2 συσσωρεύονται οπές και η περιοχή p-τύπου γίνεται περισσότερο εμπλουτισμένη με οπές (φορείς πλειονότητας). Συνεπώς οι ακροδέκτες μεταξύ πηγής και εκροής «βλέπουν» ένα σύστημα δυο επαφών p-n, κατ' αντίθεση (βλέπε σχήμα 2α), γεγονός που δεν επιτρέπει ύπαρξη ρεύματος εκροής.

b) Αν θέλουμε να δημιουργήσουμε ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ πηγής και εκροής ποια αλλαγή πρέπει να πραγματοποιηθεί στην πόλωση της πύλης. Απαιτούνται τεκμηριωμένες απαντήσεις.

Με δυναμικό πύλης θετικό που να υπερβαίνει την τάση κατωφλίου πύλης του MOS, κάτω από το λεπτό στρώμα SiO_2 θα συσσωρεύονται ηλεκτρόνια τα οποία θα καταστούν φορείς πλειονότητας έναντι των οπών. Συνεπώς αυτή η περιοχή μετατρέπεται σε περιοχή n-τύπου και με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται αγωγή διαδρομή ημιαγωγού n-τύπου μεταξύ πηγής και εκροής.



σχήμα 2



σχήμα 2α