

Μάθημα:

Ακαδημαϊκό Έτος 2012-13

Φυσική Ημιαγωγών
και Διατάξεων

Εξάμηνο Εαρινό

Α' Εξαεστική Περίοδος

Σημειώσεις : κλειστές

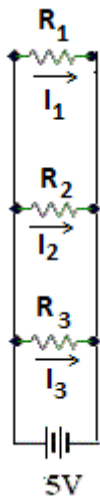
Διάρκεια εξέτασης: 2 ώρες

Δυνατότητα απάντησης και στα 5 θέματα στον προβλεπόμενο χρόνο εξέτασης

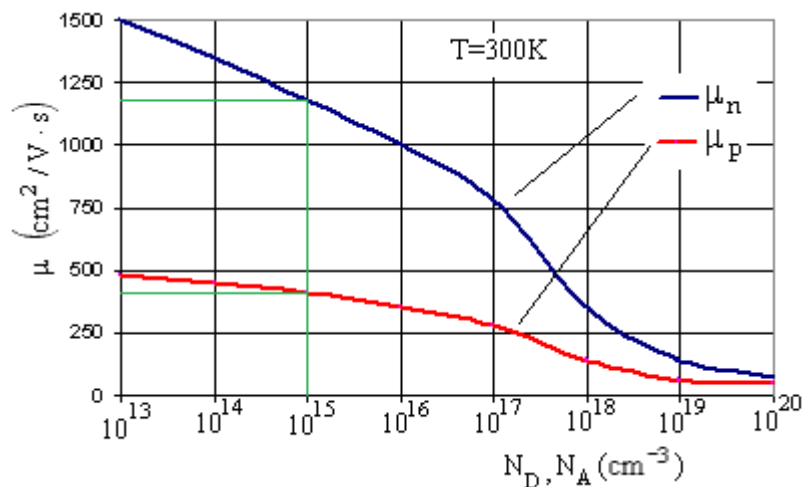
Θέμα 1^ο (3.0 μονάδες)

Οι αντιστάσεις στο κύκλωμα του σχήματος 1 είναι Si με τα ίδια γεωμετρικά στοιχεία (μήκος $\ell = 200\mu\text{m}$ και διατομή $A=0.1\text{mm}^2$). Η αντίσταση R_1 αποτελείται από καθαρό Si, η R_2 από n-Si με συγκέντρωση δοτών $N_D=10^{15}\text{cm}^{-3}$ και η R_3 από p-Si με συγκέντρωση αποδεκτών $N_A=10^{15}\text{cm}^{-3}$. Να υπολογιστούν στη θερμοκρασία 300K:

- Οι τιμές των τριών ειδικών αντιστάσεων ρ_1 , ρ_2 και ρ_3 , σε μονάδα $\Omega\cdot\text{cm}$, λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:
 - Ενδογενής συγκέντρωση φορέων Si $n_i=1.45\cdot 10^{10}\text{cm}^{-3}$ με αντίστοιχες ευκινησίες ηλεκτρονίων, οπών $1500\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ και $450\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ αντίστοιχα.
 - Το διάγραμμα του σχήματος 2 και το φορτίο του ηλεκτρονίου $q=1.6\cdot 10^{-19}\text{C}$.
- Οι τιμές των τριών αντιστάσεων R_1 , R_2 και R_3 , καθώς και των τριών ρευμάτων I_1 , I_2 και I_3 και να σχολιαστούν οι τιμές που βρήκατε.



Σχήμα 1.



Σχήμα 2. Η μεταβολή των ευκινησιών μ_n και μ_p , n - Si και p - Si αντίστοιχα συγκέντρωση των δοτών και αποδεκτών.

Απάντηση:

$$\sigma_1 = q \cdot (\mu_n + \mu_p) \cdot n_i = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 1950 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1.45 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-3} = 4.5 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}. \quad \rho_1 = \frac{1}{\sigma_1} = 2.2 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{cm}.$$

$$\sigma_2 = q \cdot \mu_n \cdot N_D = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 1150 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3} = 0.18 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}. \quad \rho_2 = \frac{1}{\sigma_2} = 5.4 \Omega \cdot \text{cm}.$$

$$\sigma_3 = q \cdot \mu_p \cdot N_A = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 400 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3} = 6.4 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}. \quad \rho_3 = \frac{1}{\sigma_3} = 15.6 \Omega \cdot \text{cm}.$$

$$R_1 = \rho_1 \cdot \frac{\ell}{A} = 2.2 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{cm} \cdot \frac{0.2 \text{mm}}{0.1 \text{mm}^2} = 4.4 \text{M}\Omega$$

$$R_2 = \rho_2 \cdot \frac{\ell}{A} = 5.4 \Omega \cdot \text{cm} \cdot \frac{0.2 \text{mm}}{0.1 \text{mm}^2} = 108 \Omega$$

$$R_3 = \rho_3 \cdot \frac{\ell}{A} = 15.6 \Omega \cdot \text{cm} \cdot \frac{0.2 \text{mm}}{0.1 \text{mm}^2} = 312 \Omega$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{5V}{4.4 \text{M}\Omega} = 1.13 \mu\text{A} \quad I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{5V}{108 \Omega} = 46 \text{mA} \quad I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{5V}{312 \Omega} = 16 \text{mA}$$

Θέμα 2^ο (3.0 μονάδες)

1. Σε μια επαφή p-n Si με απότομο προφίλ συγκέντρωσης προσμίξεων η συγκέντρωση δοτών της περιοχής n-τύπου είναι $N_D = 8 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-3}$ και η συγκέντρωση αποδεκτών της περιοχής p-τύπου είναι $N_A = 1.6 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$. Δεδομένου ότι το δυναμικό επαφής δίνεται από τη σχέση:

$$V_o = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right), \text{ να υπολογιστεί η τιμή του στη θερμοκρασία των } 300\text{K}. \text{ Η ενδογενής}$$

συγκέντρωση φορέων του Si στους 300K έχει τιμή $n_i = 1.45 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-3}$ και η ποσότητα kT στους 300K έχει τιμή 26 meV.

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

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

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

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

Απάντηση:

$$V_o = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right) = \frac{26 \text{meV}}{q} \cdot \ln(6.1 \cdot 10^9) = 26 \text{mV} \cdot 22.5 = 0.586 \text{V}$$

$$\ell_n + \ell_p = \ell = 9 \mu\text{m} \text{ και } N_D \cdot \ell_n = N_A \cdot \ell_p \text{ ή } \ell_n = 2 \ell_p \text{ Άρα } 3 \ell_p = \ell \text{ ή } \ell_p = \frac{\ell}{3} = 3 \mu\text{m} \text{ και } \ell_n = 6 \mu\text{m}$$

$$\text{Με ορθή πόλωση } V=0.28\text{V}: I = I_o \cdot \exp \left(\frac{q \cdot V}{n \cdot kT} \right).$$

$$\text{Αν } V_1 \text{ η τάση ορθής πόλωσης για την οποία διπλασιάζεται το ρεύμα τότε: } 2I = I_o \cdot \exp \left(\frac{q \cdot V_1}{n \cdot kT} \right)$$

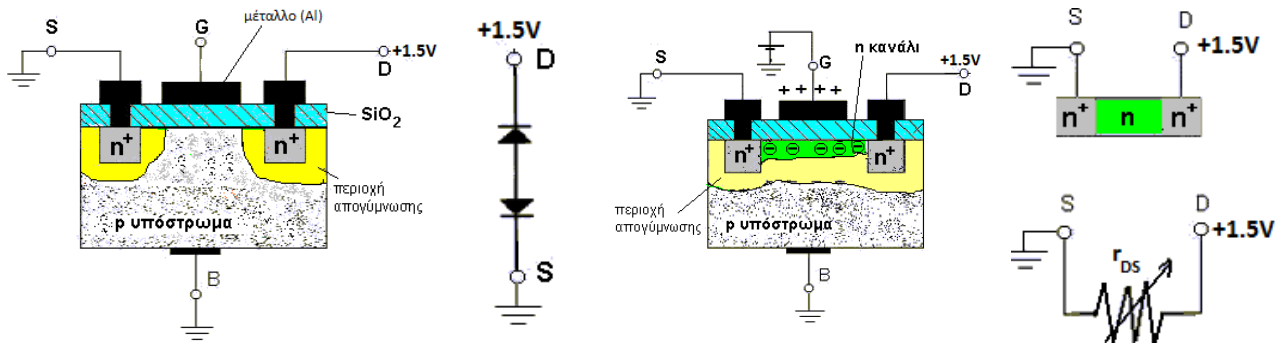
$$\text{οπότε: } \ln 2 = \frac{q}{n \cdot kT} (V_1 - V) \text{ ή } V_1 = V + n \cdot \ln 2 \cdot \frac{kT}{q} = 0.28 + 1.2 \cdot \frac{26 \text{meV}}{q} = 0.28 + 1.2 \cdot 26 \text{mV} = 0.302 \text{V}$$

Θέμα 3^ο (2.5 μονάδες)

Σχεδιάστε τη δομή ενός NMOS εμπλουτισμού. Θεωρείστε γειωμένους τους ακροδέκτες πηγής και υποστρώματος. Η πύλη βρίσκεται σε μηδενικό δυναμικό και η εκροή οδηγείται σε δυναμικό +1.5V ενώ πηγή και υπόστρωμα γειώνονται. Γιατί δεν παρατηρείται ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ πηγής και εκροής; Πως μπορούμε να δημιουργήσουμε ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ πηγής και εκροής. Εξηγήστε πως επιτυγχάνεται αυτό.

Απάντηση

Βλέπε σχήμα (α). Μεταξύ των ακροδεκτών εκροής και πηγής, υφίστανται δυο δίοδοι επαφής $n^+ - p$, συνδεμένες σε σειρά και σε αντίθεση, βλέπε σχήμα (β), με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλη αντίσταση πηγής-εκροής και πρακτικά μη ύπαρξη αγωγιμότητας.



σχήμα (α)

σχήμα (β)

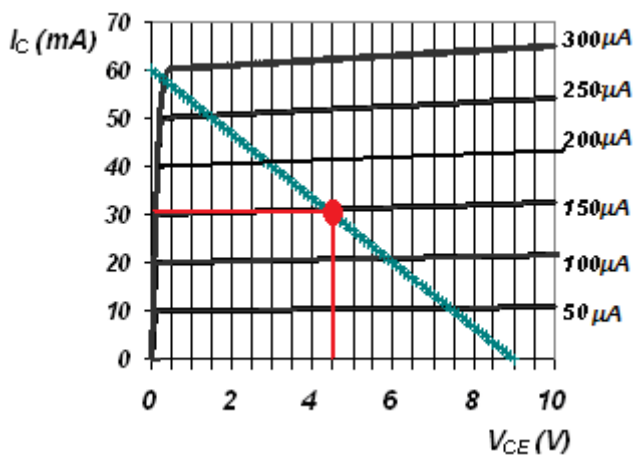
σχήμα (γ)

σχήμα (δ)

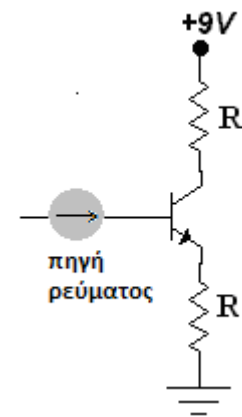
Όταν εφαρμόσουμε στην πύλη θετικό δυναμικό ($V_{GS} > 0$), τότε λαμβάνουμε μια εντελώς νέα κατάσταση (σχήμα γ). Στην περιοχή του ημιαγωγικού υποστρώματος, ακριβώς κάτω από το μονωτικό στρώμα, λόγω έλξης των ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας του υποστρώματος p -τύπου) δημιουργείται περιοχή που συνίσταται από μια μεγαλύτερη συγκέντρωση ηλεκτρονίων έναντι των οπών (περιοχή n -τύπου), δηλαδή μια περιοχή αντίθετου τύπου σε σχέση με το ημιαγωγικό υλικό του υποστρώματος. Το νέο αυτό στρώμα n -τύπου καλείται στρώμα ανάστροφης (inversion layer) και αποκαθιστά μια άμεση ηλεκτρική σύνδεση (κανάλι n) μεταξύ των δυο περιοχών n^+ της πηγής και της εκροής. Η νέα αυτή κατάσταση, ως ισοδύναμο κύκλωμα παρουσιάζεται στο σχήμα (δ) και η αντίσταση του καναλιού r_{DS} είναι μια αντίσταση που διαφοροποιείται τόσο από την πόλωση V_{DS} , όσο και την V_{GS} .

Θέμα 4^ο (3.0 μονάδες)

Στις χαρακτηριστικές συλλέκτη (σχήμα 3), του transistor της συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού (σχήμα 4), έχει χαραχθεί η ευθεία φόρτου. Οι αντιστάσεις συλλέκτη και εκπομπού έχουν την ίδια τιμή R .



Σχήμα 3



Σχήμα 4

- Ποια η τιμή της R σε Ω .
- Αν πηγή ρεύματος ρυθμιστεί στα $150\mu A$, τι τάση επικρατεί μεταξύ συλλέκτη-εκπομπού;
- Προκειμένου το transistor να οδηγηθεί στην περιοχή του κόρου σε ποια τιμή πρέπει να ρυθμιστεί η πηγή ρεύματος;
- Με βάση τις διαθέσιμες χαρακτηριστικές συλλέκτη (σχήμα 3), του transistor εκτιμήστε κατά προσέγγιση την τιμή της dc παραμέτρου β (απολαβή ρεύματος κοινού εκπομπού) του transistor.

Ακολούθως αφού αποδειχθεί ποια σχέση συνδέει την dc παράμετρο α (απολαβή ρεύματος κοινής βάσης) με την αντίστοιχη dc παράμετρο β , προσδιορίστε και την τιμή της παραμέτρου α .

Απάντηση

Σύμφωνα με το κύκλωμα (σχήμα 4): $9V = I_C \cdot 2R + V_{CE}$ (ελήφθη υπόψη $I_C = I_E$). Η ευθεία φόρτου τέμνει τον

άξονα I_C στην τιμή των $60mA$ ($V_{CE}=0$), οπότε: $2R = \frac{9V}{60mA}$. Άρα $R=75\Omega$.

Περίπου $4.5V$

Μεγαλύτερη από $300\mu A$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{30mA}{150\mu A} = 200$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} \quad \alpha = \frac{I_C}{I_C + I_B} = \frac{I_C/I_B}{I_C/I_B + 1} = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Δεδομένου ότι $\beta=200$ προκύπτει $\alpha=0.995$

01.07.2013

Δ. Τριάντης
Καθηγητής