



Μάθημα:

Φυσική Ημιαγωγών και Διατάξεων

Ακαδημαϊκό Έτος 2011-12 - Εξεταστική
Περίοδος Σεπτεμβρίου

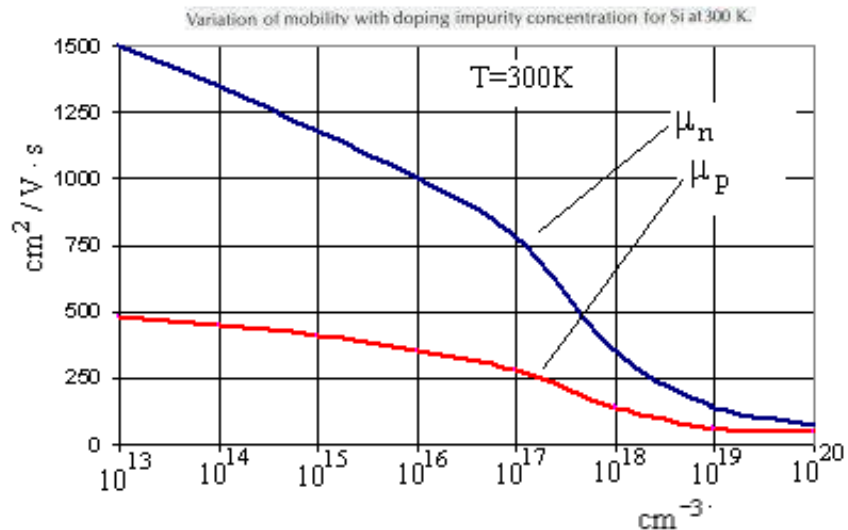
Σημειώσεις : κλειστές, Διάρκεια εξέτασης: 2 ώρες

Θέμα 1^ο (μονάδες 4):

1. Προσδιορίστε την ειδική αντίσταση ενδογενούς Ge στους 300K.
2. Δείγμα Si με μήκος 0.1cm και διατομή 100μm² είναι εμπλουτισμένο με άτομα Sb συγκέντρωσης 10¹⁷cm⁻³. 10V εφαρμόζονται στα άκρα του δείγματος. Προσδιορίστε στους 300K:
 - I. την ειδική αντίσταση του ανωτέρω δείγματος και
 - II. το ηλεκτρικό ρεύμα ολίσθησης.

Δεδομένα 1^{ου} Θέματος:

- Φορτίο ηλεκτρονίων – οπών (απόλυτη τιμή): $q=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$.
- Ευκινησίες ηλεκτρονίων, οπών στους 300K για καθαρό κρύσταλλο Ge: 3900 και 1900 $\frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ αντίστοιχα.
- Ενδογενής συγκέντρωση φορέων κρυστάλλου Ge στους 300K: $2.5 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$.
- Σθένος Sb: 5
- Διάγραμμα του διπλανού σχήματος.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

$$1. \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q \cdot (\mu_n + \mu_p) \cdot n_i}$$

όπου q : το στοιχειώδες φορτίο (ηλεκτρονίου), μ_n : η ευκινησία των ελευθέρων ηλεκτρονίων του ημιαγωγού, μ_p : η ευκινησία των οπών του ημιαγωγού και n_i : η ενδογενής συγκέντρωση φορέων του ημιαγωγού.

Με αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει:

$$\rho = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \text{C} \cdot (3900 + 1900) \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot 2.5 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}} = \frac{10^4}{1.6 \cdot 58 \cdot 2.5} \frac{\text{V} \cdot \text{cm}}{\text{C}} = 43 \Omega \cdot \text{cm}$$

2. Ο εμπλουτισμός του Si με προσμίξεις ατόμων Sb (πεντασθενή άτομα – δότες) καθιστά τον κρύσταλλο Si n-τύπου και ως εκ τούτου η ειδική αντίσταση του δείγματος θα υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot n} \text{ και λαμβάνοντας υπόψη } n \approx N_D \text{ προκύπτει: } \rho = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot N_D}$$

όπου q : το στοιχειώδες φορτίο (ηλεκτρονίου) , n : η συγκέντρωση των ελευθέρων ηλεκτρονίων που πρακτικά λαμβάνεται ίση με την συγκέντρωση N_D των δοτών (ατόμων Sb) και μ_n : η ευκινησία ελευθέρων ηλεκτρονίων που με βάση το διάγραμμα έχει τιμή $770 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$.

$$\text{Συνεπώς: } \rho = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \text{C} \cdot 770 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}} = \frac{10}{1.6 \cdot 77} \Omega \cdot \text{cm} = 0.08 \Omega \cdot \text{cm}$$

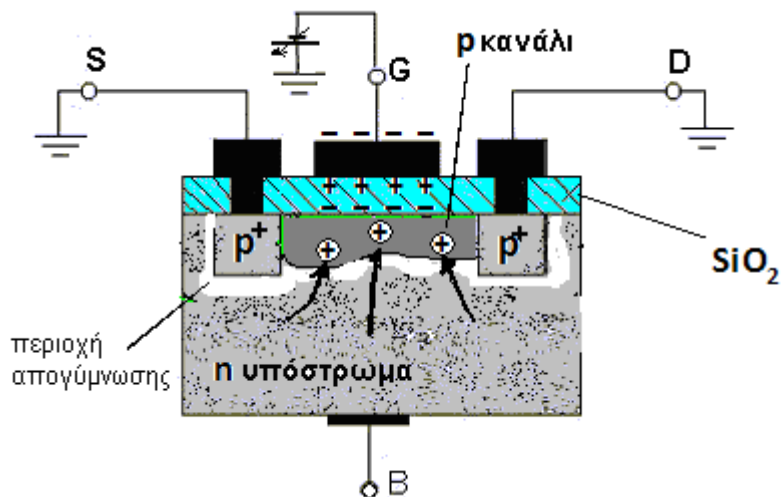
Η αντίσταση R του δείγματος έχει τιμή: $R = \rho \cdot \frac{\ell}{A} = 0.08 \Omega \cdot \text{cm} \cdot \frac{0.1 \text{cm}}{100 \cdot 10^{-8} \text{cm}^2} = 8 \text{k}\Omega$, οπότε με εφαρμογή τάσης 10V θα παρατηρηθεί ηλεκτρικό ρεύμα έντασης: $I = \frac{V}{R} = \frac{10 \text{V}}{8 \text{k}\Omega} = 1.25 \text{mA}$

Θέμα 2° (μονάδες 2):

Σχεδιάστε την δομή ενός PMOS εμπλουτισμού. Εξηγήστε την δημιουργία στρώματος ανάστροφης (inversion layer), που αποκαθιστά μια άμεση ηλεκτρική σύνδεση (p κανάλι) μεταξύ των δυο περιοχών της πηγής και της εκροής.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Εφαρμόζοντας στην πύλη αρνητικό δυναμικό (κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερο από την τάση κατωφλίου του MOS) λαμβάνουμε μια εντελώς νέα κατάσταση (βλέπε σχήμα). Στην κάτω επιφάνεια του μονωτικού στρώματος SiO_2 , επάγεται αρνητικό φορτίο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την έλξη και συνεπώς την συσσώρευση οπών (φορείς μειονότητας του υποστρώματος n-τύπου) ακριβώς κάτω από το μονωτικό υπόστρωμα. Στην περιοχή αυτή οι οπές καθίστανται φορείς πλειοψηφίας και η περιοχή αυτή γίνεται πλέον p-τύπου, αντίθετου τύπου σε σχέση με το ημιαγωγικό υλικό του υποστρώματος. Το νέο αυτό στρώμα p-τύπου καλείται στρώμα ανάστροφης (inversion layer) και αποκαθιστά μια άμεση ηλεκτρική σύνδεση (κανάλι p) μεταξύ των δυο περιοχών p^+ της πηγής και της εκροής.



Θέμα 3° (μονάδες 3):

1. Πως επιδρά στο εύρος της περιοχής απογύμνωσης η αύξηση της τάσης:
 - I. ορθής πόλωσης και
 - II. ανάστροφης πόλωσης σε σε μια p-n επαφή
2. Ποιες είναι οι περιοχές λειτουργίας ενός BJT και ποιες οι επικρατούσες πολώσεις των επαφών EB και CB στις αντίστοιχες περιοχές.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

1. i) Η παρουσία της εξωτερικής ορθής πόλωσης έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνει τους φραγμούς δυναμικού των ηλεκτρονίων και οπών και ταυτόχρονα περιορίζεται το εύρος της περιοχής απογύμνωσης. ii) Η ανάστροφη πόλωση έχει σαν αποτέλεσμα τη διεύρυνση της περιοχής απογύμνωσης, δεδομένου ότι τα ηλεκτρόνια της περιοχής n έλκονται από το θετικό πόλο της πηγής V_s όπως επίσης και οι οπές της περιοχής p από τον αρνητικό πόλο. Ταυτόχρονα έχουμε μια αύξηση του φραγμού δυναμικού.
- 2.

Περιοχές λειτουργίας	Πόλωση επαφής EB	Πόλωση επαφής CB
Ενεργή	Ορθή	Ανάστροφη
Κόρος	Ορθή	Ορθή
Αποκοπή	Ανάστροφη	Ανάστροφη

Θέμα 4^ο (μονάδες 3):

1. Στη θέση x και την χρονική στιγμή t σε υλικό ημιαγωγού n -τύπου, επικρατεί ηλεκτρικό πεδίο έντασης $\mathcal{E}(x,t)$ και συγχρόνως βαθμίδα συγκέντρωσης οπών $\frac{dn(x)}{dx}$. Να γραφεί η εξίσωση της πυκνότητας του ρεύματος $J(x,t)$. Για κάθε μέγεθος που περιλαμβάνεται στην εξίσωση να γραφεί η αντίστοιχη ονοματολογία του.
2. Να προσδιοριστεί στους 300K η τιμή της ευκινησίας των ηλεκτρονίων ενός ημιαγωγού, αν η αντίστοιχη τιμή της σταθεράς διάχυσης έχει τιμή 220 cm²/s.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

1. $J(x, t) = q \cdot \mu_n \cdot n(x) \cdot \mathcal{E}(x, t) + q \cdot D_n \cdot \frac{dn(x)}{dx}$

q : το στοιχειώδες φορτίο (φορτίο ηλεκτρονίων) με τιμή $1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

μ_n : η ευκινησία των ηλεκτρονίων του συγκεκριμένου ημιαγωγού

$n(x)$: η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων στη θέση x

D_n : η σταθερά διάχυσης των ηλεκτρονίων

2. Μεταξύ της ευκινησίας μ_n και της σταθεράς διάχυσης D_n υφίσταται η ακόλουθη σχέση:

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{kT}{q} \quad (\text{Σχέση Einstein})$$

Η ποσότητα $\frac{kT}{q}$ φέρεται με όνομα θερμική τάση (thermal voltage), συμβολίζεται με V_T και στη θερμοκρασία των 300K έχει τιμή 26mV περίπου. Συνεπώς για την ευκινησία των ηλεκτρονίων προκύπτει τιμή:

$$\mu_n = \frac{220 \text{ cm}^2/\text{s}}{0.026 \text{ V}} = 8460 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

Δ. ΤΡΙΑΝΤΗΣ

Καθηγητής

27.09.2012