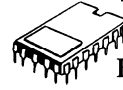




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ



ΤΜΗΜΑ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Μάθημα:

## Φυσική Ημιαγωγών και Διατάξεων

Ακαδημαϊκό Έτος 2011-12

Εξάμηνο Εαρινό

Α΄ Εξεταστική Περίοδος

Σημειώσεις : κλειστές

Διάρκεια εξέτασης: 2 ώρες

### Θέμα 1<sup>ο</sup> (μονάδες 2):

Να γραφούν οι εκφράσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (conductivity)  $\sigma$ , στις ακόλουθες περιπτώσεις:

1. περίπτωση μετάλλου
2. περίπτωση ημιαγωγού με ενδογενή συμπεριφορά
3. περίπτωση ημιαγωγού n-τύπου με σημαντική πλειοψηφία ηλεκτρονίων έναντι οπών
4. περίπτωση ημιαγωγού p-τύπου με σημαντική πλειοψηφία οπών έναντι ηλεκτρονίων

Να γραφεί η ονοματολογία όλων των μεγεθών στις εκφράσεις που θα δώσετε.

#### Απάντηση:

##### **περίπτωση μετάλλου:**

$$\sigma = q \cdot \mu \cdot n$$

q: το στοιχειώδες φορτίο (ηλεκτρονίου)

$\mu$ : η ευκινησία των ελευθέρων ηλεκτρονίων στο συγκεκριμένο μέταλλο

n: η συγκέντρωση των ελευθέρων ηλεκτρονίων του μετάλλου.

##### **περίπτωση ημιαγωγού με ενδογενή συμπεριφορά:**

$$\sigma = q \cdot (\mu_n + \mu_p) \cdot n_i$$

q: το στοιχειώδες φορτίο (ηλεκτρονίου)

$\mu_n$ : η ευκινησία των ελευθέρων ηλεκτρονίων του ημιαγωγού

$\mu_p$ : η ευκινησία των οπών του ημιαγωγού

$n_i$ : η ενδογενής συγκέντρωση φορέων του ημιαγωγού ( $n=p=n_i$ )

##### **περίπτωση ημιαγωγού n-τύπου με σημαντική πλειοψηφία ηλεκτρονίων έναντι οπών:**

$$\sigma = q \cdot \mu_n \cdot n \quad (n \gg p)$$

q: το στοιχειώδες φορτίο (ηλεκτρονίου)

$\mu_n$ : η ευκινησία ελευθέρων ηλεκτρονίων

n: η συγκέντρωση των ελευθέρων ηλεκτρονίων

##### **περίπτωση ημιαγωγού p-τύπου με σημαντική πλειοψηφία οπών έναντι ηλεκτρονίων:**

$$\sigma = q \cdot \mu_p \cdot p \quad (n \ll p)$$

q: το στοιχειώδες φορτίο (ηλεκτρονίου)

$\mu_p$ : η ευκινησία οπών

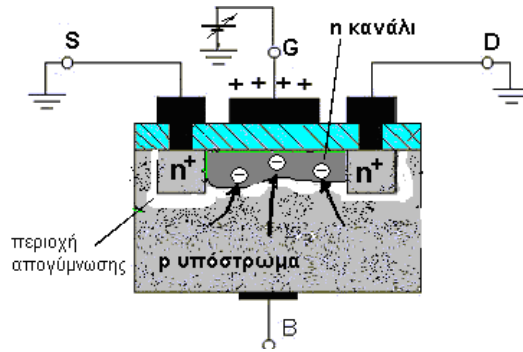
p: η συγκέντρωση οπών

**Θέμα 2° (μονάδες 3):**

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

**Απάντηση:**

Εφαρμόζοντας στην πύλη θετικό δυναμικό ( $V_{GS} > 0$ ), τότε λαμβάνουμε μια εντελώς νέα κατάσταση (βλέπε σχήμα). Στην περιοχή του ημιαγωγικού υποστρώματος ακριβώς κάτω από το μονωτικό στρώμα επάγεται φορτίο χώρου, που συνίσταται στην συσσώρευση ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας του υποστρώματος p-τύπου). Στην περιοχή αυτή τα ηλεκτρόνια καθίστανται φορείς πλειοψηφίας και η περιοχή αυτή είναι πλέον n-τύπου, 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 (διάυλος n) μεταξύ των δυο περιοχών n<sup>+</sup> της πηγής και της εκροής.

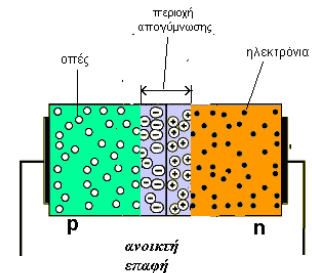


**Θέμα 3° (μονάδες 2):**

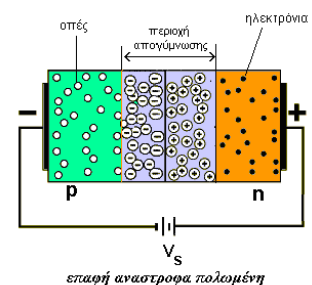
1. Πως επιδρά στο εύρος της περιοχής απογύμνωσης η αύξηση της τάση ανάστροφης πόλωσης σε μια p-n επαφή.
2. Ποιες είναι οι περιοχές λειτουργίας ενός BJT και ποιές οι επικρατούσες πολώσεις των επαφών EB και CB στις αντίστοιχες περιοχές.

**Απάντηση:**

1. 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 (βλέπε σχήμα).



2.



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

#### Θέμα 4<sup>ο</sup> (μονάδες 5):

Διαφορά δυναμικού 1V εφαρμόζεται στα άκρα κυλινδρικής ράβδου εξωγενούς ημιαγωγού (με παρουσία προσμίξεων), μήκους  $\ell=200\mu\text{m}$  και διατομής  $A=200\mu\text{m}^2$ . Προγενέστερες μετρήσεις στο ανωτέρω δοκίμιο του ημιαγωγού στη θερμοκρασία 300K, έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Συγκεντρώσεις ελευθέρων ηλεκτρονίων  $n=1.5 \cdot 10^9 \text{cm}^{-3}$  και οπών  $p=6 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$
- Για ηλεκτρικά πεδία μικρότερα από  $10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ , οι ευκινήσιες ηλεκτρονίων και οπών του ημιαγωγού στη θερμοκρασία 300K είναι  $920 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$  και  $340 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$  αντίστοιχα.

1. Τι τύπου είναι ο ημιαγωγός;
2. Αν ο ανωτέρω ημιαγωγός ήταν εντελώς καθαρός (χωρίς προσμίξεις), ποια τιμή θα είχε η ενδογενής συγκέντρωση φορέων  $n_i$  στη θερμοκρασία 300K.
3. Να υπολογιστεί η ειδική αγωγιμότητα (conductivity)  $\sigma$  του ανωτέρω ημιαγωγού. Φορτίο ηλεκτρονίου:  $q=1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .
4. Ποια η τιμή της πυκνότητας ρεύματος  $J$  στην κυλινδρική ράβδο του ημιαγωγού και ποια η τιμή της έντασης  $I$  του ηλεκτρικού ρεύματος.

#### Απάντηση:

Επειδή  $n \ll p$  ο ημιαγωγός χαρακτηρίζεται p-τύπου.

$$n_i^2 = n \cdot p = 9 \cdot 10^{24} \text{cm}^{-6} \Rightarrow n_i = 3 \cdot 10^{12} \text{cm}^{-3}$$

Επειδή  $n \ll p$  η αγωγιμότητα  $\sigma$  του ημιαγωγού δίνεται με καλή προσέγγιση από την σχέση:

$$\sigma = q \cdot \mu_p \cdot p \text{ (θεωρείται αμελητέα η συνεισφορά των ηλεκτρονίων στην αγωγιμότητα).}$$

Το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο στο δοκίμιο του ημιαγωγού (μέσω της τάσης του 1V) έχει τιμή:

$$\xi = \frac{1\text{V}}{200\mu\text{m}} = 0.5 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}, \text{ με τιμή μικρότερη από } 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}. \text{ Συνεπώς μπορεί να ληφθεί υπόψη η τιμή}$$

$$340 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \text{ της ευκινήσιας των οπών. Άρα:}$$

$$\sigma = q \cdot \mu_p \cdot p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 340 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot 6 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3} = 0.33 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} = 0.33 \frac{\text{S}}{\text{cm}}.$$

$$J = \sigma \cdot \xi = 0.33 \frac{\text{S}}{\text{cm}} \cdot 0.5 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 0.33 \frac{\text{S}}{\text{cm}} \cdot 0.5 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{100\text{cm}} = 16 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

$$I = J \cdot A = 16 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2} \cdot 200\mu\text{m}^2 = 16 \frac{\text{A}}{10^{-4} \text{m}^2} \cdot 200 \cdot 10^{-12} \text{m}^2 = 33\mu\text{A}$$

**Θέμα 5° (μονάδες 2):**

Περιγράψτε πως το φαινόμενο Hall μπορεί να αξιοποιηθεί για την μέτρηση της μαγνητικής επαγωγής ενός μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται μεταξύ των πόλων ενός ηλεκτρομαγνήτη.

**Απάντηση:**

Η μέτρηση της τάσης Hall ( $V_H$ ), ενός γνωστού δοκιμίου ημιαγωγού (αισθητήριο Hall), μας επιτρέπει τον προσδιορισμό της μαγνητικής επαγωγής  $B$ . Το αισθητήριο Hall είναι ένα λεπτό φιλμ ημιαγωγού γνωστού πάχους  $d$  για το οποίο είναι γνωστή η συγκέντρωση των φορέων πλειοψηφίας (πχ για  $p$  τύπου ημιαγωγού, η συγκέντρωση οπών  $p$ ). Το αισθητήριο Hall μπορεί να τοποθετηθεί κάθετα στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου (μεταξύ των πόλων του ηλεκτρομαγνήτη). Επιβάλλουμε μέσω μιας εξωτερικής τάσης ένα γνωστό ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$  στο δοκίμιο ημιαγωγού (αισθητήριο Hall) και η μαγνητική επαγωγή  $B$  θα υπολογιστεί σύμφωνα με την σχέση:

$$B = \frac{q \cdot p \cdot V_H \cdot d}{I}$$

**Θέμα 6° (μονάδες 2):**

Στη θέση  $x$  και την χρονική στιγμή  $t$  σε υλικό ημιαγωγού  $p$ -τύπου, επικρατεί ηλεκτρικό πεδίο έντασης  $\mathcal{E}(x,t)$  και συγχρόνως βαθμίδα συγκέντρωσης οπών  $\frac{dp(x)}{dx}$ . Να γραφεί η εξίσωση της πυκνότητας του ρεύματος  $J(x,t)$ . Για κάθε μέγεθος που περιλαμβάνεται στην εξίσωση να γραφεί η αντίστοιχη ονοματολογία του.

**Απάντηση:**

$$J(x, t) = q \cdot \mu_p \cdot p(x) \cdot \mathcal{E}(x, t) - q \cdot D_p \cdot \frac{dp(x)}{dx}$$

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

$\mu_p$ : η ευκινησία των οπών του συγκεκριμένου ημιαγωγού

$p(x)$ : η συγκέντρωση των οπών στη θέση  $x$

$D_p$ : η σταθερά διάχυσης των οπών

**Σημείωση:**

Μεταξύ της ευκινησίας  $\mu_p$  και της σταθεράς διάχυσης  $D_p$  υφίσταται η ακόλουθη σχέση:

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{q} \quad (\text{Σχέση Einstein})$$

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.

**09.07.2012**

*Σημείωση: ο κάθε εξεταζόμενος μπορεί να απαντήσει σε όσα θέματα επιθυμεί στον διαθέσιμο χρόνο εξέτασης των 2 ωρών.*