



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικό και Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών

---

## Σχεδίαση Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

### Ασκήσεις Μικροηλεκτρονικής

Αραπογιάννη Αγγελική

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.

---



1. Εισαγωγή.....	4
2. Ανάπτυξη Κρυστάλλων .....	4
3. Οξειδωση του πυριτίου .....	4
4. Διάχυση και εμφύτευση ιόντων .....	5

## 1. Εισαγωγή

1. Προσδιορίστε τον αριθμό τετραγώνων που απαιτούνται για να κατασκευαστούν αντιστάσεις 22Ω, 150Ω, 680Ω, 4,7kΩ, 33 kΩ και 1ΜΩ, αν η αντίσταση φύλλου είναι: α) 50Ω/□, β) 100Ω/□ και γ) 1000 Ω/□.
2. Η ειδική αντίσταση ενός ημιαγωγού δίνεται από την  $\rho = (q \cdot \mu \cdot n)^{-1}$  όπου q είναι το στοιχειώδες φορτίο ( $1,602 \cdot 10^{-19}\text{Cb}$ ),  $\mu$  η ευκινησία και n η συγκέντρωση των φορέων. Να βρείτε την αντίσταση μιας ράβδου ημιαγωγού με διαστάσεις: μήκος 400 μm, πλάτος 25 μm και πάχος 5 μm αν το  $n=10^{18}\text{cm}^{-3}$  και  $\mu=135 \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{sec}^{-1}$ .

## 2. Ανάπτυξη Κρυστάλλων

1. Αν θεωρήσουμε ότι τα άτομα στο πλέγμα ενός κρυστάλλου είναι σκληρές σφαίρες με ακτίνα ίση με το μισό της απόστασης μεταξύ των κέντρων των πιο κοντινών γειτόνων, βρείτε το λόγο του όγκου που καταλαμβάνεται από άτομα προς τον ολικό όγκο που διατίθεται στο κρυσταλλικό πλέγμα του διαμαντιού. Συγκρίνετε αυτόν προς τον αντίστοιχο λόγο για ένα απλό κυβικό πλέγμα.
2. Για να κινηθεί ένα άτομο πρόσμιξης αντικατάστασης μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, είναι απαραίτητο να εμφανιστεί ένα πλεγματικό κενό γειτονικό προς το άτομο της πρόσμιξης. Για να προσδιορίσουμε ποιος τύπος ατέλειας συμμετέχει περισσότερο στην κίνηση των ατόμων πρόσμιξης και πώς εξαρτάται από τη θερμοκρασία η πυκνότητα πλεγματικών κενών, υπολογίστε την πυκνότητα των ατελειών Schottky και Frenkel στη θερμοκρασία ισορροπίας, για  $T=27, 400, 800$  και  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  (αν  $E_f=0,85\text{eV}$ ).
3. Υπολογίστε και σχεδιάστε την κατανομή προσμίξεων βορίου σε συνάρτηση με την αξονική θέση σε έναν κρύσταλλο πυριτίου μήκους 30cm, που έχει «τραβηχτεί» από ένα τήγμα με αρχική συγκέντρωση προσμίξεων  $10^{17}\text{cm}^{-3}$ . Επαναλάβετε τον ίδιο υπολογισμό αν η πρόσμιξη είναι αρσενικό.
4. Έστω ότι το Al είναι μία πρόσμιξη που περιέχεται στο δοχείο από χαλαζία, όπου τοποθετείται το πυρίτιο. Χρησιμοποιώντας μία τιμή συγκέντρωσης  $2 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$  στο δοχείο, υποθέτουμε ότι  $300 \text{ cm}^3$  του δοχείου διαλύονται μέσα σε 6500 gr τήγματος όλα στην αρχή του κύκλου. Υπολογίστε τη συγκέντρωση Al στη ράβδο του κρυστάλλου στην αρχή (0 % στερεοποιημένο Si) και προς το τέλος (90 % στερεοποιημένο Si).

## 3. Οξειδωση του πυριτίου

1. Ένα οξειδίο αναπτύσσεται στους  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  για 15 min σε ξηρό οξυγόνο. Εκτιμήστε το πάχος του οξειδίου χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.13) και συγκρίνετε το αποτέλεσμα με τις προσεγγίσεις των εξισώσεων (3.14) και (3.15) και τα εμπειρικά αποτελέσματα του σχ. 3.5. Υποθέστε ότι το αρχικό πάχος οξειδίου είναι  $50 \text{ \AA}$ .
2. Η πλακέτα του προηγούμενου προβλήματος υφίσταται παραπέρα οξειδωση με υδρατμό στους  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  για 15 min. Εκτιμήστε το πάχος του οξειδίου και το πάχος του πυριτίου που καταναλώθηκε κατά την οξειδωση. Κάτω από κατακόρυφο φωτισμό με λευκό φως, τι χρώμα θα εμφανιστεί να έχει το οξειδίο;

#### 4. Διάχυση και εμφύτευση ιόντων

1. Η πυκνότητα ηλεκτρικού ρεύματος,  $J_E$ , για θετικά φορτισμένα σωματάρια σε έναν ημιαγωγό μιας διάστασης είναι:  $J_E = q \cdot N \cdot \mu \cdot E - q \cdot D \cdot \frac{\partial N}{\partial x}$  όπου  $N$  είναι η πυκνότητα φορέων,  $q$  το στοιχειώδες φορτίο,  $\mu$  η ευκινησία των φορέων,  $E$  η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και  $D$  ο συντελεστής διάχυσης. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.2) φτιάξτε μία γενική διαφορική εξίσωση με μερικές παραγώγους για θετικά φορτισμένα σωματάρια σ' έναν ημιαγωγό.
2. Μία επαφή p-n πρέπει να φτιαχτεί σε 2μm από την επιφάνεια ενός υλικού τύπου-n με συγκέντρωση προσμίξεων  $10^{16}$  άτομα φωσφόρου ανά κυβικό εκατοστό. Η αντίσταση φύλλου είναι  $150\Omega/\square$ . Ποια είναι η επιφανειακή συγκέντρωση του βορίου που χρειάζεται για να ικανοποιούνται αυτές οι συνθήκες αν χρησιμοποιηθεί διάχυση σταθερής πηγής;
3. Μία διάχυση βορίου δύο βημάτων πραγματοποιείται σε Si τύπου-n με συγκέντρωση προσμίξεων  $N_B=10^{16}\text{cm}^{-3}$ . Η προαπόθεση γίνεται στους  $950^\circ\text{C}$  με επιφανειακή συγκέντρωση  $10^{21}\text{cm}^{-3}$  για 15min. Η θερμοκρασία ανακατανομής είναι  $1100^\circ\text{C}$ . (α) Πόσο θα έπρεπε να διαρκέσει η ανακατανομή για να σχηματιστεί μία επαφή σε βάθος  $x_j=3\mu\text{m}$ ; (β) Ποια είναι η συγκέντρωση προσμίξεων στην επιφάνεια μετά την ανακατανομή; Δίνονται:  $D_1=10^{-14}\text{cm}^2/\text{sec}$  και  $D_2=2,5 \cdot 10^{-13}\text{cm}^2/\text{sec}$ .
4. Προσδιορίστε την ενέργεια και τη δόση που απαιτείται για τη δημιουργία μιας εμφύτευσης βορίου με το μέγιστο τοποθετημένο στα 0,4μm από την επιφάνεια ενός υποστρώματος πυριτίου. Η αντίσταση φύλλου της εμφύτευσης πρέπει να είναι  $500\Omega/\square$ . Υποθέτουμε ότι η συγκέντρωση προσμίξεων του υποστρώματος είναι  $10^{15}\text{cm}^{-3}$ .

# Σημειώματα

## Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0

## Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Αραπογιάννη Αγγελική, 2014.  
Αραπογιάννη Αγγελική. «Σχεδίαση Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων. Ασκήσεις Μικροηλεκτρονικής». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI31/>.

## Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

## Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

