

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΝΟΤΗΤΑΣ IV

ΕΠΑΦΕΣ P-N

(A) Γενικά για τις επαφές p - n :

1.(Γραμμικά διαβαθμισμένη επαφή). Μία επαφή p-n ονομάζεται γραμμικά διαβαθμισμένη εάν καθώς μεταβαίνουμε από το ένα τμήμα της (p) στο άλλο (n) ισχύει ότι:

$$N_D - N_A = \alpha x, \alpha = \text{θετική σταθερά}$$

Δεχθείτε ότι η περιοχή απογύμνωσης της επαφής

τερματίζεται απότομα στα $x = \pm W/2$, όπως στο Σχήμα και ότι το αυτοαναπτυσσόμενο ηλεκτρικό πεδίο τερματίζεται απότομα στα όρια της.

Θεωρώντας την κατάσταση ισορροπίας της επαφής:

(α) Κάνοντας χρήση της εξίσωσης Poisson να υπολογίσετε τη μεταβολή του δυναμικού $\psi(x)$ κατά μήκος της επαφής.

Να αποδείξετε ότι το δυναμικό επαφής έχει την τιμή:

$$V_{bi} = \frac{|q_e| \alpha W^3}{12 \epsilon_s}$$

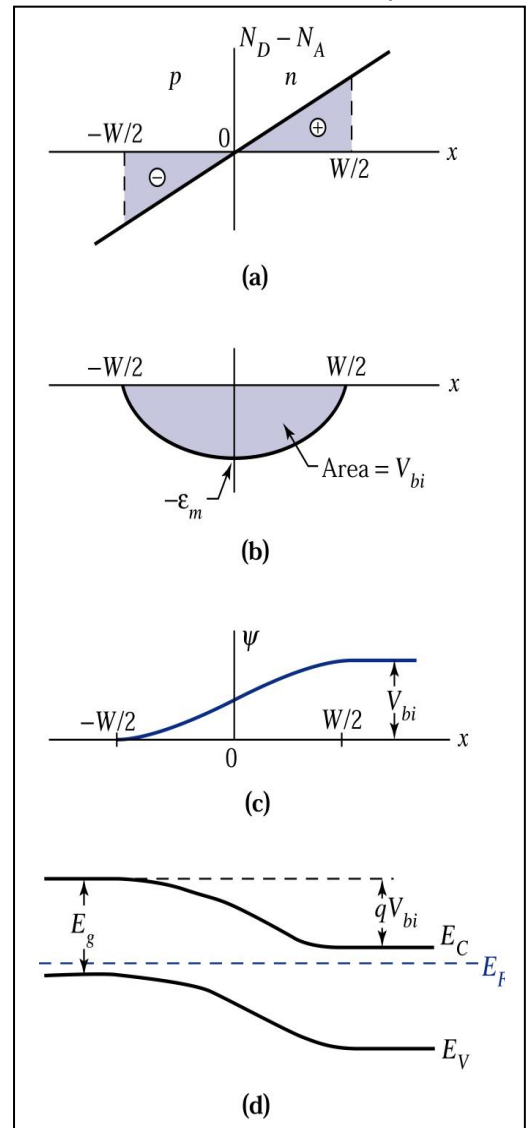
(β) Να αποδειχθεί ότι η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος της επαφής δίνεται από τη σχέση:

$$\mathcal{E}(x) = -\frac{|q_e| \alpha}{12 \epsilon_s} \left[\frac{(W/2)^2 - x^2}{2} \right]$$

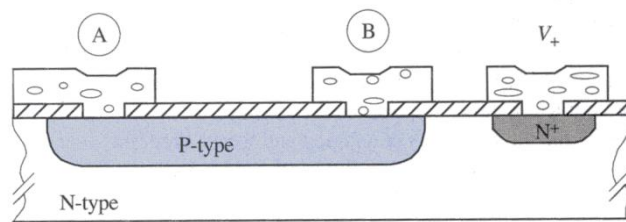
Και ότι η μέγιστη τιμή του είναι:

$$\mathcal{E}_{\max} = -\frac{|q_e| \alpha W^2}{8 \epsilon_s}$$

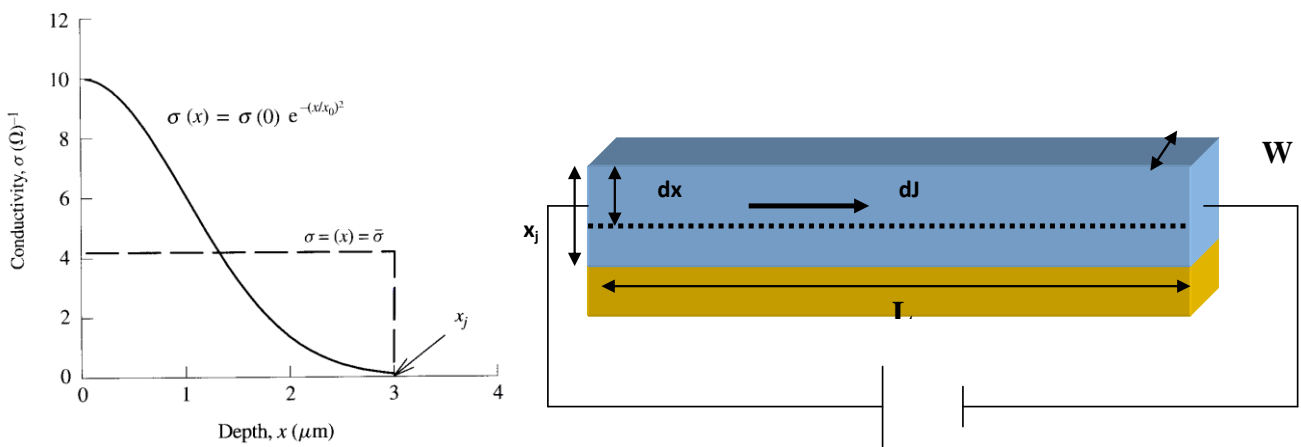
[Υπόδειξη: Είναι η παράγραφος 4.3.2 του βιβλίου του S.M.Sze, "Semiconductor Devices: Physics and Technology", 2nd Edition, John Wiley and Sons, 2002.]



5. Ένας εναλλακτικός τρόπος κατασκευής ενός ολοκληρωμένου αντιστάτη εικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα. Σχηματίζεται και αυτός με τοπική εισαγωγή πρόσμιξης τύπου - p σε υπόστρωμα τύπου - n και αντιστρόφως. Στην περίπτωση του σχήματος το σώμα της αντίστασης (resistive body) είναι η τύπου p περιοχή και οι φορείς του ρεύματος οι οπές. Στα άκρα του αντιστάτη σχηματίζονται λιθογραφικά επαφές μετάλλου για την ροή του ρεύματος δια μέσου αυτού. Για να εμποδίζεται η ανάπτυξη ρεύματος διαρροής οπών προς το υπόστρωμα τύπου n αυτό πολώνεται σε θετική τάση μέσω μιας μεταλλικής επαφής που πραγματοποιείται τοπικά σε μια ισχυρά νοθευμένη (n⁺) περιοχή του υποστρώματος, δεδομένου ότι τα μέταλλα σχηματίζουν καλές ωμικές επαφές μόνο σε ισχυρά νοθευμένα τμήματα n.



Εάν σε έναν τέτοιο ολοκληρωμένο αντιστάτη η αγωγιμότητα μεταβάλλεται από την επιφάνεια προς τον όγκο του όπως στο Σχήμα με $\sigma(0) = 10 (\Omega\text{cm})^{-1}$ και $x_0 = \sqrt{2} \mu\text{m}$:



- (α) Βρείτε τη μέση αγωγιμότητα του σώματος του αντιστάτη.
 (β) Σχεδιάστε έναν αντιστάτη 100 KΩ χρησιμοποιώντας αυτό το σώμα, εάν η μικρότερη διάσταση που μπορεί να επιτευχθεί με την τεχνολογία που διαθέτετε είναι 1μm.
 (γ) Υπολογίστε τη μέγιστη πυκνότητα ρεύματος και το συνολικό ρεύμα που διαρρέει τον παραπάνω αντιστάτη εάν στους ακροδέκτες του εφαρμόζεται τάση V=5V.

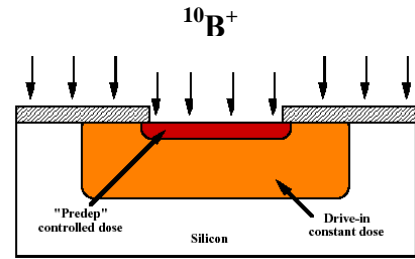
Δίδεται το ολοκλήρωμα $\int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \sqrt{\pi/2}$

[Απ.: (α) 4,18 (Ωcm)⁻¹, (β) 125 μm με W=1μm, L=125 μm (γ) J_{max} = 4x10⁷A/m², I = 50 μA].

(Γ) Νόθευση με Εμφύτευση :

6. (Διαπραγμάτευση τοπικής εμφύτευσης)

Θέλομε να εμφυτεύσομε τοπικά $^{10}\text{B}^+$ σε υπόστρωμα πυριτίου τύπου n με συγκέντρωση προσμίξεων $C_B = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ για την πραγματοποίηση μιας επαφής p – n. Για τον λόγο αυτό η εμφύτευση πραγματοποιείται μέσα από μία μάσκα SiO_2 , όπως φαίνεται στο Σχήμα.



Προεναπόθεση: Το αρχικά εμφυτευμένο profile του βορίου θέλομε να έχει μέγιστη συγκέντρωση 10^{18} cm^{-3} σε βάθος $0,11 \mu\text{m}$ (1100 \AA) περίπου.

(α) Ποια είναι η δόση βορίου που πρέπει να εμφυτευθεί και ποιά η απαιτούμενη ενέργεια; Η κατανομή του βορίου για την απαιτούμενη ενέργεια είναι πολύ καλή προσέγγιση γκαουσιανής.

Οδήγηση:

(β) Ποιο είναι το βάθος της πραγματοποιούμενης επαφής p – n μετά από ανόπτηση 60 min στους 950°C ; Πόσος χρόνος θα χρειαζόταν για να πάρουμε το ίδιο αποτέλεσμα στους 1050°C ; Φαινόμενα ανώμαλης διάχυσης λόγω παρουσίας εκτεταμένων ατελειών μετά την εμφύτευση στο υπόστρωμα αγνοούνται.

Επιλογή μάσκας:

(γ) Αποδείξτε ότι το πάχος d του οξειδίου που απαιτείται για μάσκα δίδεται από την λύση της εξίσωσης :

$$\frac{e^{-u^2}}{u} = 2\sqrt{\pi T}, \quad u = \left(\frac{d - R_p^*}{\sigma_p^* \sqrt{2}} \right)$$

και T το ηλίκο της δόσης που διεισδύει στο πυρίτιο προς την συνολικά εμφυτευόμενη δόση. Η λύση της δίδεται στον ακόλουθο πίνακα :

T	u
10^{-1}	1,01
10^{-2}	1,67
10^{-3}	2,20
10^{-4}	2,64
10^{-5}	3,02
10^{-6}	3,36

Ποιο το πάχος του οξειδίου που πρέπει να αναπτυχθεί ώστε να σταματήσει το 99,99% της εμφυτευόμενης δόσης ; Οι μηχανισμοί ανάσχεσης του βορίου στο οξείδιο είναι ίδιοι με αυτούς στο πυρίτιο.

[Απ.: (α) $1,2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, 30 keV (β) $0,369 \mu\text{m}$ (γ) $0,2943 \mu\text{m} \approx 3000 \text{ \AA}$]

Χρήσιμα Δεδομένα

1. Φορτίο ηλεκτρονίου : $|q_e| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Cb}$

Σταθερά Boltzmann : $k_B = 8,61 \times 10^{-5} \text{ eV/ } ^\circ\text{K}$

2. Για το πυρίτιο : $n_i (900^\circ\text{C}) = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $n_i (1100^\circ\text{C}) = 6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

3. Οι προβεβλημένες εμβέλειες και οι διακυμάνσεις των κυριότερων προσμιξεων στο πυρίτιο :

Energy (keV)	Phos		As		Sb		Boron	
	Range (μm)	Std Dev (μm)	Range (μm)	Std Dev (μm)	Range (μm)	Std Dev (μm)	Range (μm)	Std Dev (μm)
10	0.0199	0.0064	0.0084	0.0043	0.0121	0.0058	0.0473	0.0249
20	0.0342	0.0125	0.0156	0.0075	0.0219	0.0100	0.0826	0.0384
30	0.0473	0.0179	0.0226	0.0102	0.0306	0.0133	0.114	0.0483
40	0.0598	0.0229	0.0294	0.0128	0.0385	0.0162	0.143	0.0562
50	0.0717	0.0275	0.0362	0.0152	0.0459	0.0187	0.171	0.0628
60	0.0833	0.0317	0.0429	0.0176	0.0528	0.0209	0.198	0.0685
70	0.0947	0.0356	0.0495	0.0198	0.0594	0.0229	0.223	0.0736
80	0.105	0.0393	0.0561	0.0220	0.0656	0.0248	0.248	0.0780
90	0.116	0.0428	0.0626	0.0241	0.0716	0.0265	0.272	0.0821
100	0.127	0.0461	0.0692	0.0261	0.0773	0.0280	0.296	0.0857
120	0.148	0.0522	0.0821	0.0301	0.0883	0.0309	0.341	0.0922
140	0.169	0.0579	0.0950	0.0339	0.0985	0.0334	0.385	0.0978
160	0.189	0.0630	0.107	0.0375	0.108	0.0357	0.428	0.102
180	0.210	0.0678	0.120	0.0411	0.117	0.0378	0.469	0.107
200	0.229	0.0723	0.133	0.0446	0.126	0.0397	0.509	0.110

4. Οι συντελεστές διάχυσης των κυριότερων προσμιξεων στο πυρίτιο σε ενδογενείς συνθήκες :

	Si	B	In	As	Sb	P	Units
D^0	560	1.0	1.2	9.17	4.58	4.70	$\text{cm}^2 \text{ sec}^{-1}$
E_A	4.76	3.5	3.5	3.99	3.88	3.68	eV

5. Οι καμπύλες Irvin :

