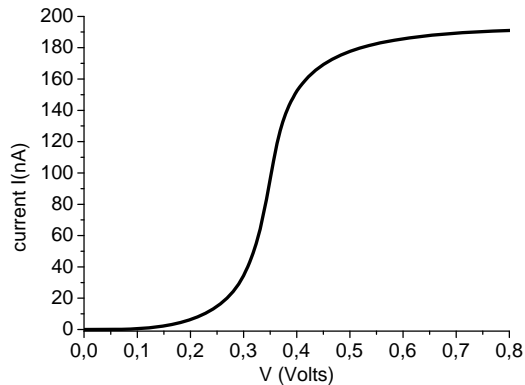




Θέμα 1. (1,5 μονάδες)



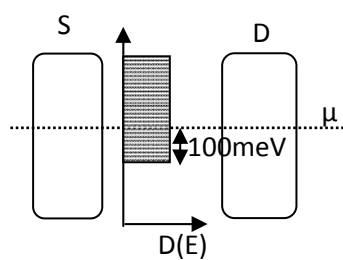
Δίνεται η χαρακτηριστική $i=i(V)$ για την περίπτωση βαλλιστικής αγωγιμότητας μέσα από μία κατάσταση. Να σχεδιαστεί το ενεργειακό διάγραμμα ζωνών για τάση 0Volt και 200mV. Να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η απόσταση της κατάστασης από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό. Να υπολογιστεί ο συντελεστής διαφυγής και ο ρυθμός με τον οποίο μπαίνουν τα ηλεκτρόνια στο κανάλι.

Λύση: Το ρεύμα αρχίζει να αυξάνεται στα 200mV και φτάνει σε κορεσμό στα 600mV. Η ενεργειακή κατάσταση μπαίνει στο παράθυρο των ηλ.χημ. δυναμικών όταν η τάση είναι 400mV. Η κατάσταση θα βρίσκεται περίπου 200meV πάνω (ή κάτω) από το κοινό ηλ.χημ. δυναμικό. Χρόνος εισόδου στο κανάλι $\frac{\hbar}{\gamma}$, χρόνος εξόδου $\frac{\hbar}{\gamma}$, συνολικός χρόνος κίνησης $2\frac{\hbar}{\gamma}$. Κάθε κατάσταση μπορεί να εφοικιστεί από 2 ηλεκτρόνια spin επάνω και spin κάτω

$$i_{\uparrow\downarrow} = 2 \frac{q}{2\hbar/\gamma} = \frac{q\gamma}{\hbar}, \quad \text{οπότε} \quad \gamma = \frac{i_{\uparrow\downarrow}\hbar}{q} = 0,825 \text{ meV}. \quad \text{Ρυθμός εισόδου}$$

$$\frac{\gamma}{\hbar} = 1,25 \times 10^{12} \text{ ηλ} / \text{sec}$$

Θέμα 2. (3,5 μονάδες)



Η αγωγή ηλεκτρονίων μέσα από το κανάλι ενός transistor MOSFET γίνεται βαλλιστικά και η πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων είναι σταθερή 500καταστάσεις/eV. Το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των δύο επαφών βρίσκεται 100meV πιο πάνω από το κάτω όριο των καταστάσεων του καναλιού. Εάν ο ρυθμός διαφυγής είναι $\gamma=2\text{meV}$.

α) Να υπολογιστεί το ρεύμα μέσα από μία κατάσταση (να πάρετε υπόψη σας το spin των ηλεκτρονίων που εφοικίζουν κάθε κατάσταση) (0,7μ)

β) Να σχεδιάσετε το ενεργειακό διάγραμμα όταν $V_{DS}=0,2V$ και $V_{DS}=0,4V$. Να σχεδιάσετε την καμπύλη $I=i(V)$ μέχρι τάση 400mV. (1μ)

γ) Σχεδιάστε την καμπύλη $I=I(V)$ μέχρι τάση $V_{DS}=0,2V$ όταν στην πύλη έχει εφαρμοστεί τάση $V_{GS}=-0,150V$ (0,8μ)

Λύση: Μέγιστο ρεύμα μέσα από μια κατάσταση $i_{\uparrow\downarrow} = \frac{q\gamma}{h} = 0,5\mu A$, υποθέτουμε $T=0K$.

Στα 200mV το μ_2 έχει ευθυγραμμιστεί με το κάτω άκρο των καταστάσεων του καναλιού (ελάχιστο της ζώνης αγωγιμότητας) και το ρεύμα θα είναι

$$I(200mV) = i_{\uparrow\downarrow} \times (\pi\lambda\kappa\tau\sigma) = 0,5 \times \frac{500\kappa\tau\sigma}{1000meV} \times 200meV = 50\mu A$$

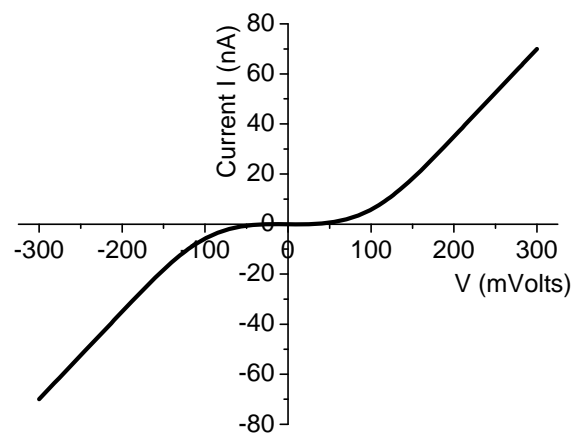
Για τάση μεγαλύτερη από 200mV το μ_2 συνεχίζει να κατεβαίνει προς τα κάτω αλλά δεν προσθέτει νέες καταστάσεις στο παραθυρο των ηλ. χημ. δυναμικών. Το μ_1 ανεβαίνει και προσθέτει νέες καταστάσεις επομένως το ρευμα θα αυξάνεται με μισό ρυθμό απ' ότι πριν.

$$I(400mV) = i_{\uparrow\downarrow} \times (\pi\lambda\kappa\tau\sigma) = 0,5 \times \frac{500\kappa\tau\sigma}{1000meV} \times 300meV = 75\mu A$$

Όταν στη πύλη εφαρμόζεται τάση -150mV, οι καταστάσεις του καναλιού ανεβαίνουν κατά 150meV. Στο παράθυρο των ηλ.χημ. δυναμικών ($V=200mV$) υπάρχουν

$$\frac{500\kappa\tau\sigma}{1000meV} \times 50meV = 25\kappa\alpha\tau\alpha\sigma\tau. \text{ Το ρεύμα είναι 0 μέχρι το 50mV περίπου και στη συνέχεια αυξάνεται γραμμικά και στα 200mV παίρνει την τιμή } 0,5 \times 25 = 12,5\mu A$$

Θέμα 3. (1,5 μονάδες)



Δίνεται η χαρακτηριστική ρεύματος τάσης από μια διάταξη που εμφανίζει φραγή Coulomb. Να γίνει το ισοδύναμο ενεργειακό διάγραμμα ζωνών του 'καναλιού' (0,3μ). Να υπολογιστεί η χωρητικότητα C_{Σ} και η αντίσταση της διάταξης (0,5μ). Μέχρι ποια θερμοκρασία θα παρατηρείται η φραγή Coulomb (0,7μ);

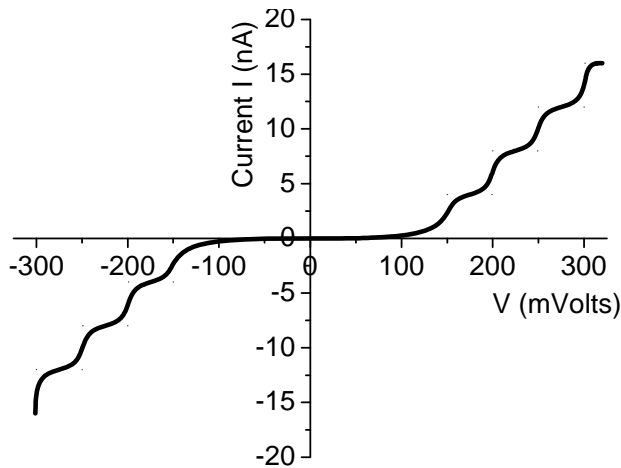
Λύση: $V_{Cb}^+ = V_{Cb}^- = 80mV$

$$V_{Cb}^+ = \frac{q}{2C_{\Sigma}} \Rightarrow C_{\Sigma} = \frac{q}{2V_{Cb}^+} = 1aF, R_{Tot} = \frac{(300 - 200)mV}{(70 - 30)nA} = 2,5M\Omega$$

Η φραγή Coulomb είναι εμφανής όταν η τάση Coulomb είναι περίπου 3 φορές από την τάση που αντιστοιχεί στην θερμική ενέργεια των ηλεκτρονίων δηλ.

$$V_{Cb}^+ \geq 3 \frac{k_B T}{q} \Rightarrow T \leq \frac{q V_{Cb}^+}{3 k_B} = 320^0 K$$

Θέμα 4 (3,5 μονάδες)



Δίνεται η χαρακτηριστική $i=i(V)$ μιας διάταξης με ασύμμετρες επαφές που εμφανίζει φραγή Coulomb. Να υπολογιστεί η συνολική αντίσταση της διάταξης, η ολική χωρητικότητα και η κβαντική χωρητικότητα (2μ). Να γίνει το διάγραμμα ενεργειακών ζωνών όπως αυτό προκύπτει από την χαρακτηριστική $i=i(V)$. Να γίνει το διάγραμμα ενεργειακών ζωνών εάν δεν υπήρχε κβαντικός περιορισμός (1μ). Επιβεβαιώστε ότι η κβαντική χωρητικότητα είναι συνδεδεμένη σε

σειρά με την χωρητικότητα της διάταξης (C_Σ) ($0,5\mu$).

Λύση: Η ολική χωρητικότητα C_{Tot} (χωρητικότητα της διάταξης C_Σ σε σειρά με την κβαντική χωρητικότητα) υπολογίζεται από το V_{Cb}^+ .

$$V_{Cb}^+ = \frac{q}{2C_{Tot}} \Rightarrow C_{Tot} = \frac{q}{2V_{Cb}^+} = 0,8aF, V_{st} = 50mV, \text{ εάν δεν υπήρχε κβ. περιορισμός}$$

$$\text{θα ήταν } V_{Cb}^+ = \frac{V_{st}}{2} = 25mV$$

Η χωρητικότητα της διάταξης είναι $C_\Sigma = \frac{q}{V_{st}} = 3,2aF$. Τα παραπάνω $75mV$ στη φραγή

Coulomb οφείλονται στη κβαντική χωρητικότητα οπότε είναι

$$75mV = \frac{q}{2C_Q} \Rightarrow C_Q = 1,07aF. \text{ Πράγματι } C_{Tot} = \frac{C_\Sigma \cdot C_Q}{C_\Sigma + C_Q} = 0,8aF$$