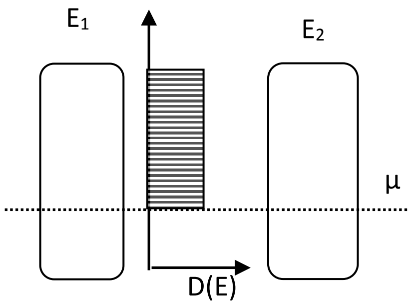
Πρόβλημα 1

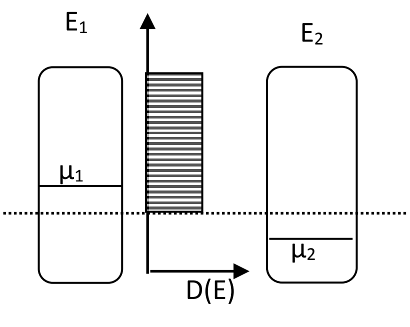


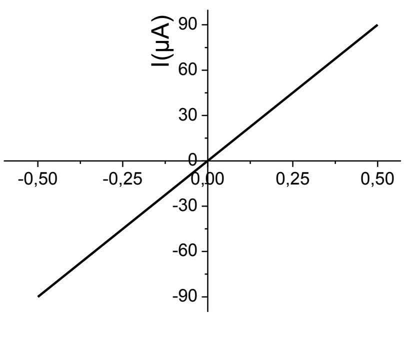
Η πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων σε ένα μικρό αγωγό είναι σταθερή ίση με 1500καταστάσεις/eV. Η αγωγή από το ηλεκτρόδιο E_1 στο E_2 γίνεται βαλλιστικά. Οι επαφές του αγωγού με τα ηλεκτρόδια είναι απόλυτα συμμετρικές. Σε κατάσταση ισορροπίας το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των δύο επαφών είναι ευθυγραμμισμένο με το κάτω όριο της ζώνης αγωγιμότητας του μικρού αγωγού. Εάν ο συντελεστής διαφυγής είναι γ=1meV, $\hbar = 6{,}6 \times 10^{-16} eV - sec$. Να σχεδιάστε την χαρακτηριστική ρεύματος τάσης από -0,5Volt έως +0,5Volt.

Λύση:

Εφόσον οι επαφές είναι απόλυτα συμμετρικές οι συντελεστές διαφυγής θα είναι ίσοι $\gamma_1 = \gamma_2$ καθώς επίσης και οι χωρητικότητες του αγωγού με τις δύο μεταλλικές επαφές $C_1 = C_2$. Αυτό σημαίνει ότι η τάση ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια θα μετατοπίζει εξίσου τα ηλεκτροχημικά δυναμικά. Καταστάσεις εισάγονται μόνο από την αριστερή επαφή. Το ρεύμα μέσα από μία κατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη το spin, θα είναι $i_{\uparrow\downarrow} = \frac{q\gamma}{\hbar} = \frac{1{,}6\times10^{-19}\times10^{-3}}{6{,}6\times10^{-16}} = 0{,}24\mu\mathrm{A}$.

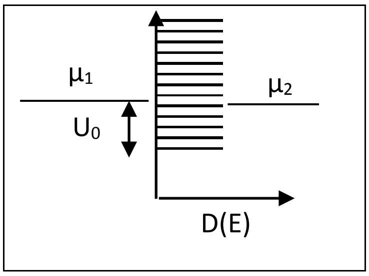
Το συνολικό ρεύμα για τάση 0,5Volt είναι $I = i_{\uparrow\downarrow} \times Dq\frac{V_{DS}}{2} = 0{,}24\mu A \times 1500 \times \frac{0{,}5}{2} = 90\mu A$. Το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης πράγμα που δείχνει ότι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης θα είναι ευθεία.





Πρόβλημα 2

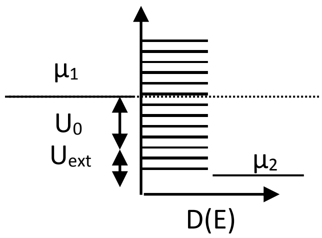
Η αριστερή επαφή (S) είναι συνδεμένη στη γη. Οι καταστάσεις του καναλιού βρίσκονται $U_0(eV)$ πιο χαμηλά από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό. Η πυκνότητα καταστάσεων στο κανάλι είναι σταθερή ίση με 1200καταστάσεις/eV, γ=0,5meV.



Δίνεται ότι: $\frac{C_S}{C_d} = 7$ και ότι $U_0 = 140meV$. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης από 0 έως 0,48Volt.

Λύση: Όταν εφαρμόζεται τάση V ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια το ηλεκτροχημικό δυναμικό του αριστερού παραμένει ακίνητο ενώ του δεξιού μετατοπίζεται προς τα κάτω κατά qV. Παράλληλα μεταβάλλεται το δυναμικό του μικρού αγωγού σύμφωνα με την σχέση $V_{ch} = \frac{1}{7+1}V = \frac{1}{8}V$ και γλιστράει προς τα κάτω. Για κάποια τιμή της τάσης $V = V_d$ το κάτω όριο της ζώνης των καταστάσεων ευθυγραμίζεται με το ηλεκτροχημικό δυναμικό της δεξιάς επαφής οπότε: $qV_d = U_0 + U_{ext}$. ή

$qV_d = 0{,}14 + \frac{1}{8}qV_d \Rightarrow \frac{7}{8}qV_d = 0{,}14$ ή $V_d = 0{,}16Volt$.



Το ρεύμα μέσα από μία κατάσταση είναι:

$$i_{\uparrow\downarrow} = \frac{q\gamma}{\hbar} = \frac{1{,}6\times10^{-19}\cdot5\times10^{-3}}{6{,}6\times10^{-16}} = 1{,}2\mu\text{A}.$$

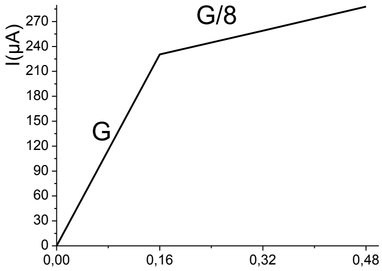
Μέχρι τα 0,16Volt το παράθυρο των ηλεκτροχημικών δυναμικών είναι γεμάτο με καταστάσεις του καναλιού οπότε:

$I_1 = i_{\uparrow\downarrow}\times DqV_d = 1{,}2\mu A\times1200\frac{\kappa\alpha\tau}{eV}\times0{,}16eV = 230{,}4\mu A$. Το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης πράγμα που δείχνει ότι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης θα είναι ευθεία.

Η αγωγιμότητα μέχρι τα 0,16Volt θα είναι $G_1 = \frac{I_1}{V_d} = i_{\uparrow\downarrow}\times qD$.

Υπολογισμός της αγωγιμότητας $G_1 = \frac{I_1}{V_d} = 1{,}2\mu\text{A}\cdot1{,}6\times10^{-19}Cb\cdot1200\frac{\kappa\alpha\tau}{1{,}6\times10^{-19}Joule}$.

Κάνοντας απλοποιήσεις προκύπτει ότι $G_1 = \frac{I_1}{V_d} = 1{,}2\times10^{-6}\cdot1200 = 1{,}44mSiemens$.



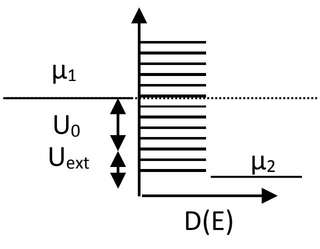
Για τάση μεγαλύτερη από 0,16Volt , η αύξηση του ρεύματος οφείλεται μόνο στις καταστάσεις του καναλιού που προστίθενται ανάμεσα στα μ_1 και μ_2 εξαιτίας της μεταβολής του δυναμικού του οπότε: $\Delta I_2 = i_{\uparrow\downarrow} \times Dq \frac{\Delta V}{8} \Rightarrow G_2 = \frac{\Delta I_2}{\Delta V} = i_{\uparrow\downarrow} \times Dq$. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι $G_2 = \frac{G_1}{8} = 0{,}18 mSiemens$.

Πρόβλημα 3

Η αριστερή επαφή (S) είναι συνδεμένη στη γη. Τότε το δυναμικό της θα είναι σταθερά μηδέν, ενώ το δυναμικό του καναλιού θα καθορίζεται από το δυναμικό στην δεξιά επαφή και το λόγο των χωρητικοτήτων C_1 και C_2. Ας πούμε ακόμα ότι οι καταστάσεις του καναλιού βρίσκονται $U_0(eV)$ πιο χαμηλά από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό. Η πυκνότητα καταστάσεων στο κανάλι είναι σταθερή ίση με 100καταστάσεις/eV, γ=10meV

Δίνεται ότι: $\frac{C_1}{C_2} = 4$ και ότι $U_0 = 40 meV$. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης από 0 έως 0,1Volt.

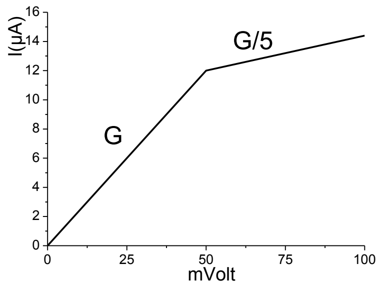
Λύση: Όταν εφαρμόζεται τάση V ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια το ηλεκτροχημικό δυναμικό του αριστερού παραμένει ακίνητο ενώ του δεξιού μετατοπίζεται προς τα κάτω κατά qV. Παράλληλα μεταβάλλεται το δυναμικό του μικρού αγωγού σύμφωνα με την σχέση $V_{ch} = \frac{1}{4+1} V = \frac{1}{5} V$. Για κάποια τιμή της τάσης $V = V_d$ το κάτω όριο της ζώνης των καταστάσεων ευθυγραμίζεται με το ηλεκτροχημικό δυναμικό της δεξιάς επαφής οπότε:



$qV_d = U_0 + U_{ext}$. ή $qV_d = 0{,}04 + \frac{1}{5} qV_d \Rightarrow \frac{4}{5} qV_d = 0{,}04$ ή $V_d = 0{,}05 Volt$.

Το ρεύμα μέσα από μία κατάσταση είναι: $i_{\uparrow\downarrow} = \frac{q\gamma}{\hbar} = \frac{1{,}6\times10^{-19} \cdot 10\times10^{-3}}{6{,}6\times10^{-16}} = 2{,}4\mu\mathrm{A}$.

Μέχρι τα 50mVolt το παράθυρο των μ_1 και μ_2 είναι γεμάτο με καταστάσεις του καναλιού οπότε: $I_1 = i_{\uparrow\downarrow} \times DqV_d = 2{,}4\mu A \times 100 \frac{\kappa\alpha\tau}{eV} \times 0{,}05 eV = 12\mu A$. Το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης πράγμα που δείχνει ότι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης θα είναι ευθεία.



Η αγωγιμότητα μέχρι τα 50mVolt θα είναι $G_1 = \frac{I_1}{V_d} = i_{\uparrow\downarrow} \times qD$.

Υπολογισμός της αγωγιμότητας: $G_1 = \frac{I_1}{V_d} = 2{,}4\mu\text{A} \cdot 1{,}6 \times 10^{-19} Cb \cdot 100 \frac{\kappa\alpha\tau}{1{,}6 \times 10^{-19} Joule}$

Κάνοντας απλοποιήσεις προκύπτει ότι $G_1 = \frac{I_1}{V_d} = 2{,}4 \times 10^{-6} \cdot 100 = 240\mu Siemens$.

Για τάση μεγαλύτερη από 0,05Volt , η αύξηση του ρεύματος οφείλεται μόνο στις καταστάσεις που προστίθενται στο παράθυρο των ηλεκτροχημικών δυναμικών εξαιτίας της μεταβολής του δυναμικού του καναλιού οπότε:

$\Delta I_2 = i_{\uparrow\downarrow} \times Dq \frac{\Delta V}{5} \Rightarrow G_2 = \frac{\Delta I_2}{\Delta V} = i_{\uparrow\downarrow} \times \frac{Dq}{5}$. Το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης πράγμα που δείχνει ότι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης θα είναι ευθεία. Η σχέση ανάμεσα στις δύο αγωγιμότητες είναι $G_2 = \frac{G_1}{5} = 48\mu Siemens$

Πρόβλημα 4

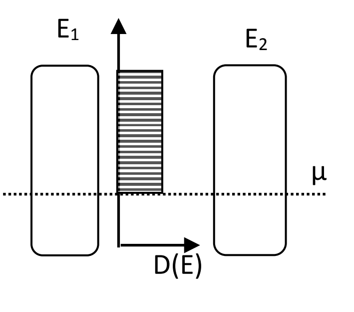
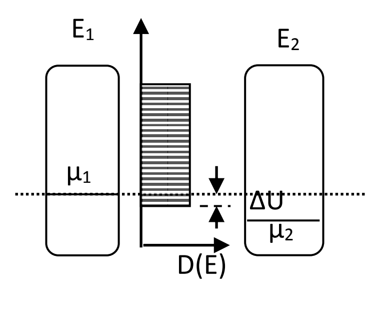
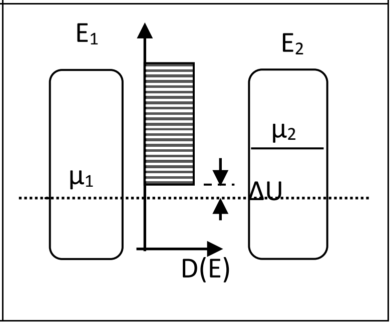
Η αγωγιμότητα μέσα από ένα αγωγό μικρού μήκους γίνεται βαλλιστικά. Η πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων στον αγωγό είναι σταθερή ίση με 1000καταστάσεις/eV. Στα άκρα του αγωγού έχουν δημιουργηθεί δυο επαφές E_1 και E_2. Οι χωρητικότητες αγωγού-επαφών είναι C_1 και C_2 αντίσοιχα. Η επαφή E_1 είναι γειωμένη. Ο συντελεστής διαφυγής είναι 0,5meV. Όταν δεν εφαρμόζεται τάση μεταξύ των δύο επαφών, το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των δύο επαφών είναι ευθυγραμισμένο με το κάτω όριο της ζώνης αγωγιμότητας. Δίνεται ότι $\frac{C_1}{C_2} = 49$. α) Υπολογίστε την αγωγιμότητα για θετικές και αρνητικές τάσεις. Σχεδιάστε ποιοτικά τη χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης. Εξηγείστε την απάντηση σας. β) Να υπολογιστεί το ρεύμα για τάσεις 0,1 και -0,1Volt.

Λύση: Θεωρούμε ότι το δυναμικό του μικρού αγωγού είναι το ίδιο σε όλο το μήκος του. Το δυναμικό του μικρού αγωγού υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση $V_{ch} = \frac{1}{49+1} V = \frac{1}{50} V$.

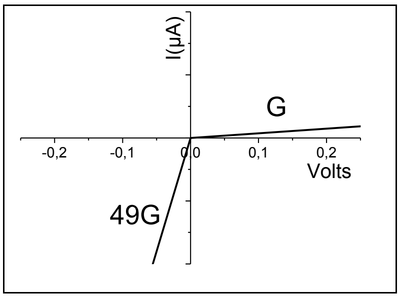
Το αποτέλεσμα δείχνει ότι το δυναμικό του μικρού αγωγού είναι πολύ σφιχτά δεμένο με το δυναμικό της αριστερής επαφής. Όταν εφαρμόζεται θετική τάση στην δεξιά επαφή οι καταστάσεις του καναλιού ολισθαίνουν προς τα κάτω αλλά πολύ λιγότερο σε σύγκριση με το ηλεκτροχημικό δυναμικό μ_2. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι οι καταστάσεις του καναλιού ολισθαίνουν με το 1/50 της ταχύτητας ολίσθησης του μ_2. Η επαφή E_1 είναι συνδεμένη με την γείωση και το ηλεκτροχημικό δυναμικό μ_1 και παραμένει ακίνητο.

Όταν το δυναμικό της δεξιάς επαφής αυξάνεται κατά ΔV, το μ_2 κατεβαίνει κατά qΔV και το πλήθος των καταστάσεων στο παράθυρο των ηλεκτροχημικών δυναμικών αυξάνεται κατά $q\Delta V_{ch}\cdot D=\frac{1}{50}\Delta VqD$, κατά συνέπεια το ρεύμα θα αυξάνεται κατά $I=i_{\uparrow\downarrow}\times q\Delta V_{ch}\cdot D=i_{\uparrow\downarrow}\times\frac{1}{50}\Delta VqD$. Το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης πράγμα που δείχνει ότι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης θα είναι ευθεία. Η αγωγιμότητα θα είναι $G_{+}=\frac{\Delta I}{\Delta V}=i_{\uparrow\downarrow}\times\frac{1}{50}qD$.

Όταν εφαρμόζεται αρνητικό δυναμικό στην δεξιά επαφή το ηλεκτροχημικό δυναμικό μ_2, ανεβαίνει προς τα επάνω. Μαζί του συμπαρασύρει και τις καταστάσεις του καναλιού οι οποίες ανεβαίνουν πολύ λιγότερο σε σύγκριση με το μ_2.

$V=0$	$V>0$	$V<0$
		

Όταν εφαρμόζεται αρνητική τάση V_- στο δεξί ηλεκτρόδιο το ηλεκτροχημικό δυναμικό μ_2 ανεβαίνει κατά qV_-. Ποιο είναι το πλήθος των καταστάσεων που υπάρχουν μέσα στο παράθυρο των μ_1 και μ_2; Αφού η χωρητικότητα C_2 είναι πολύ μικρότερη από τη C_1 οι καταστάσεις του καναλιού θα ακολουθούν περισσότερο το μ_1 παρά το μ_2. Συγκεκριμένα θα ανέβουν προς τα πάνω μόνο κατά $\Delta U=q\frac{1}{50}V_-$. Το πλήθος των καταστάσεων στο παράθυρο των ηλεκτροχημικών δυναμικών θα είναι: $\left(qV_- - q\frac{1}{50}V_-\right)\cdot D=\frac{49}{50}D\,q\,V_-$, κατά συνέπεια το ρεύμα θα είναι $I = i_{\uparrow\downarrow} \times \frac{49}{50} DqV_{-}$. Το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης πράγμα που δείχνει ότι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης θα είναι ευθεία. Η αγωγιμότητα



θα είναι $G_{-} = \frac{\Delta I}{\Delta V_{-}} == i_{\uparrow\downarrow} \times \frac{49}{50} qD$. Από την μέχρι τώρα ανάλυση συνάγονται τα εξής συμπεράσματα: Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης είναι γραμμική τόσο για αρνητικές όσο και για θετικές τάσεις. Η αγωγιμότητα για αρνητικές τιμές της τάσης είναι 49 φορές μεγαλύτερη από αυτήν για θετικές. Η μορφή της χαρακτηριστικής για θερμοκρασία κοντά στο απόλυτο μηδέν φαίνεται στο σχήμα.

β) Υπολογισμός του ρεύματος για τάση 0,1Volt.

Το ρεύμα μέσα από μία κατάσταση είναι: $i_{\uparrow\downarrow} = \frac{q\gamma}{\hbar} = \frac{1{,}6\times10^{-19}\cdot 5\times10^{-3}}{6{,}6\times10^{-16}} = 1{,}2\mu\mathrm{A}$.

Το ρεύμα δίνεται από τη σχέση: $I = i_{\uparrow\downarrow} \times \frac{1}{50} VqD = 1{,}2\times\frac{1}{50}\underbrace{qV}_{0{,}1eV} 1000\frac{\kappa\alpha\tau}{eV}$ ή

$I = 2{,}4\mu A$.

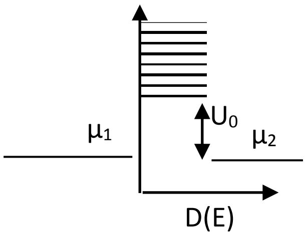
Υπολογισμός του ρεύματος για τάση -0,1Volt. Με βάση την σχέση που έχουν οι δύο αγωγιμότητες περιμένουμε ότι το ρεύμα θα είναι $I = 49\cdot 2{,}4\mu A = 117{,}6\mu A$.

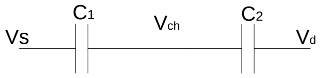
Το ρεύμα δίνεται από τη σχέση: $I = i_{\uparrow\downarrow} \times \frac{49}{50} VqD = 1{,}2\times\frac{49}{50}\underbrace{qV}_{0{,}1eV} 1000\frac{\kappa\alpha\tau}{eV}$ ή

$I = 117{,}6\mu A$.

Πρόβλημα 5

Στα άκρα ενός μικρού αγωγού έχουν δημιουργηθεί δύο επαφές. Η αριστερή επαφή (S) είναι συνδεμένη στη γη. Οι καταστάσεις του καναλιού βρίσκονται $U_0(eV)$ πιο ψηλά από το

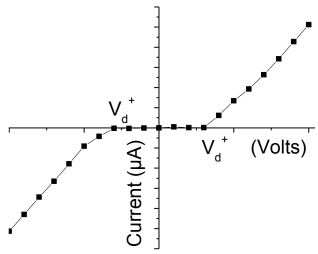


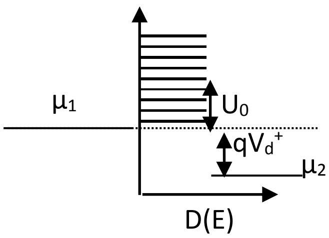


κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των επαφών. Η πυκνότητα καταστάσεων στο κανάλι είναι σταθερή ίση με 1800καταστάσεις/eV και ο συντελεστής διαφυγής γ=0,5meV.

Δίνεται ότι: $\frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2}$ και ότι $U_0 = 80meV$. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης από -0,4 έως 0,4Volt.

Λύση:Αν οι επαφές ήταν απόλυτα συμμετρικές η χαρακτηριτική ρεύματος-τάσης θα είχε την μορφή που φαίνεται στο σχήμα . Στην περίπτωση που εξετάζεται, οι τάσεις V_d^+ και V_d^- δεν θα είναι ίσες μεταξύ τους. Αρχικά θα υπολογίσουμε τις τάσεις V_d^+ και V_d^-. Όταν εφαρμόζεται θετικό δυναμικό στην δεξιά επαφή οι καταστάσεις του γλυστράνε προς τα κάτω. Όταν εφαρμόζεται θετική τάση V^+

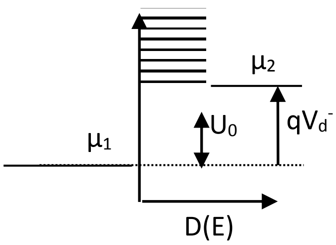




στην δεξιά επαφή το δυναμικό του καναλιού γίνεται $V_{ch} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} V^+$. Σαν συνέπεια αυτού οι καταστάσεις του καναλιού γλυστράνε προς τα κάτω κατά $q \cdot V_{ch}$. Για να υπάρχει ρεύμα θα πρέπει η εφαρμαζόμενη τάση να είναι αρκούντως μεγάλη ώστε το κάτω όριο της ζώνης αγωγιμότητας να έρθει κάτω από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό. Για την μέγιστη τάση V_d^+ για την οποία δεν υπάρχει ρεύμα και θα ισχύει $q \cdot V_{ch} = U_0$ ή $q \frac{C_2}{C_1 + C_2} V_d^+ = U_0$.

(1)

Όταν εφαρμόζεται αρνητική τάση $V^=$ στο δεξιό ηλεκτρόδιο το ηλεκτροχημικό δυναμικό του



μετατοπίζεται προς τα επάνω κατά $qV^=$. Παράλληλα μεταβάλλεται το δυναμικό του μικρού αγωγού ανεβαίνει προς τα επάνω κατά $q \frac{C_2}{C_1 + C_2} V^-$. Για κάποια τιμή της τάσης $V = V_d^-$ το κάτω όριο των καταστάσεων του καναλιού ευθυγραμίζεται με το ηλεκτροχημικό δυναμικό της δεξιάς επαφής οπότε: $qV_d^- = U_0 + q \cdot V_{ch}$. ή $qV_d^- = U_0 + q \frac{C_2}{C_1 + C_2} V_d^- \Rightarrow \frac{C_1}{C_1 + C_2} qV_d^- = U_0$, (2) Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (1) κσι (2) προκύπτει ότι: $\frac{C_1}{C_1+C_2} qV_d^{\,-} = q\frac{C_2}{C_1+C_2} V_d^{\,+}$

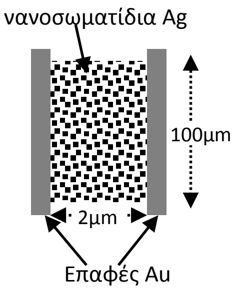
οπότε $\frac{V_d^{\,+}}{V_d^{\,-}} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2}$.

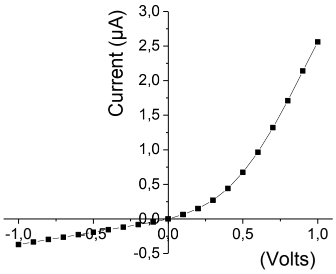
Από την εξίσωση (1) υπολογίζεται η τιμή του δυναμικού V_d^+ $\frac{1}{0,5+1} V_d^{\,+} = 80mV \Rightarrow V_d^{\,+} = 120mV$.

Από την εξίσωση (2) υπολογίζεται η τιμή του δυναμικού V_d^- $\frac{1}{1+2} V_d^{\,-} = 80mV \Rightarrow V_d^{\,-} = 240mV$.

Το ρεύμα μέσα από μία κατάσταση είναι: $i_{\uparrow\downarrow} = \frac{q\gamma}{\hbar} = \frac{1{,}6\times10^{-19}\cdot 5\times10^{-4}}{6{,}6\times10^{-16}} = 120n\mathrm{A}$.

Μέχρι τα 0,16Volt το παράθυρο των ηλεκτροχημικών δυναμικών είναι γεμάτο με καταστάσεις του καναλιού οπότε:

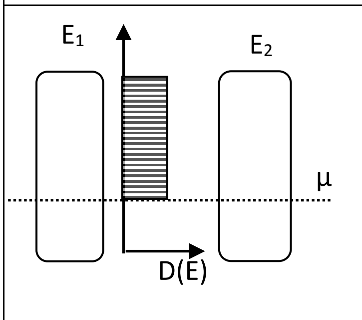
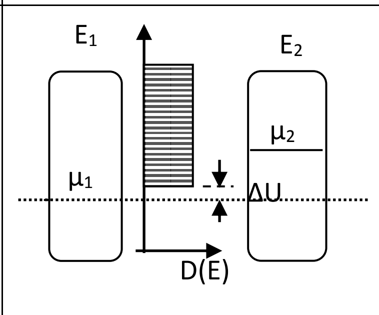
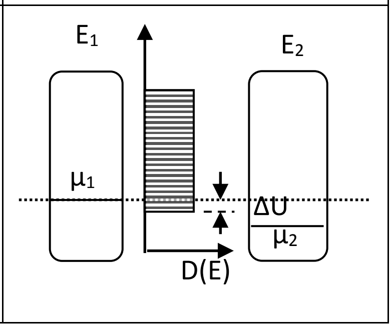




Πρόβλημα 5

Δίνεται η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης, στους 300^0K, της διάταξης που φαίνεται στο σχήμα. Τα ηλεκτρόδια χρυσού και τα νανοσωματίδια έχουν εναποτεθεί επάνω σε μονωτικό υπόστρωμα. Τα νανοσωματίδια Ag έχουν διάμετρο της τάξης των 10nm και οι μεταξύ τους αποστάσεις ποικίλουν από μερικά nm έως 15nm περίπου. Όταν εφαρμόζεται τάση στα ηλεκτρόδια τα ηλεκτρόνια περνάνε από το ένα νανοσωματίδιο στο πλησιέστερο μέσω φαινομένου σήραγγας. Η αύξηση της θερμοκρασίας υποβοηθά τα ηλεκτρόνια να πηδήσουν από το ένα νανοσωματίδιο στο άλλο. Θεωρείστε τα νανοσωματίδια σαν ένα αγωγό και υπολογίστε το πηλίκο $\frac{C_1}{C_2}$ όπου C_1 και C_2 είναι οι χωρητικότητες του αγωγού νανοσωματιδίων με τις δύο επαφές.

Λύση: Θεωρούμε ότι το δυναμικό του μικρού αγωγού είναι το ίδιο σε όλο το μήκος του. Η αριστερή επαφή είναι συνδεμένη με τη γείωση οπότε το δυναμικό της είναι μηδέν ενώ στην δεξιά επαφή εφαρμόζεται δυναμικό V. Στην περίπτωση αυτή, το δυναμικό του μικρού αγωγού υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση $V_{ch} = \frac{1}{\frac{C_1}{C_2}+1}V = aV$. Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης είναι γραμμική για αρνητικές και θετικές τάσεις και παρουσιάζει ένα σπάσιμο κοντά στην αρχή των αξόνων. Το γεγονός ότι το σπάσιμο βρίσκεται στην αρχή των αξόνων δείχνει ότι, σε κατάσταση ισορροπίας (V=0), το κάτω όριο της ζώνης αγωγιμότητας του αγωγού νανοσωματιδίων είναι ευθυγραμμισμένο με το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των ηλεκτροδίων. Αφού η χαρακτηριστική αποτελείται από δύο γραμμικά μέρη μπορεί κανείς να πει ότι η πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων στον αγωγό θα είναι σταθερή.

$V = 0$	$V < 0$	$V > 0$
		

Ας υποτεθεί ότι στο δεξί ηλεκτρόδιο εφαρμόζεται μια αρνητική τάση V_-. Στην περίπτωση αυτή οι καταστάσεις του καναλιού θα ανέβουν προς τα πάνω κατά aqV_-. Πράγμα που σημαίνει ότι μέσα στο παράθυρο των ηλεκτροχημικών δυναμικών θα υπάρχουν $(1-a)DqV_-$ καταστάσεις του καναλιού. Το ρεύμα θα είναι $I = i_{\uparrow\downarrow} \times (1-a)DqV_-$. Το ρεύμα είναι ανάλογο με την τάση οπότε μπορεί να υπολογιστεί η αγωγιμότητα διαιρώντας το ρεύμα με την τάση $G_- = \frac{I}{V_-} = i_{\uparrow\downarrow} \times (1-a)Dq$.

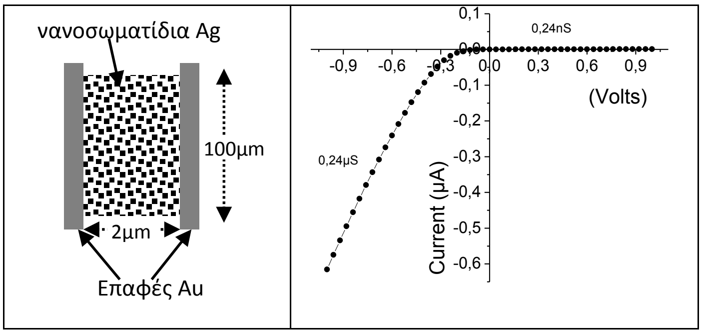
Όταν εφαρμόζεται θετική τάση V_+ στο δεξί ηλεκτρόδιο οι καταστάσεις της δεξιάς επαφής κατεβαίνουν κατά qV_+ ενώ οι καταστάσεις του καναλιού κατεβαίνουν προς τα κάτω κατά

aqV_+. Τώρα μέσα στο παράθυρο των ηλεκτροχημικών δυναμικών υπάρχουν $aqDV_+$ καταστάσεις του καναλιού πράγμα που σημαίνει ότι το ρεύμα θα είναι $I = i_{\uparrow\downarrow} \times aDqV_+$. Αφού η χαρακτηριστική είναι γραμμική (για τάσεις μεγαλύτερες από $V_+ > 0{,}5Volt$, το ρεύμα μπορεί να διαιρεθεί με τη τάση και να προσδιοριστεί η αγωγιμότητα, οπότε $G_+ = \frac{I}{V_+} = i_{\uparrow\downarrow} \times aDq$. Το αποτέλεσμα αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε το συντελεστή α διαιρώντας κατά μέλη τις δύο εκφράσεις της αγωγιμότητας οπότε $\frac{G_+}{G_-} = \frac{a}{1-a}$. Από τη γραφική παράσταση φαίνεται ότι $G_+ = 3{,}8\mu S$ και $G_- = 0{,}38\mu S$.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση $\frac{G_+}{G_-} = \frac{a}{1-a}$ υπολογίζεται ότι $a = 0{,}9$. Τέλος, αντικαθιστώντας στην εξίσωση $\frac{1}{\frac{C_1}{C_2}+1} = a$ που δίνει το α υπολογίζεται ότι $C_1 = 0{,}11C_2$.

Πρόβλημα 6

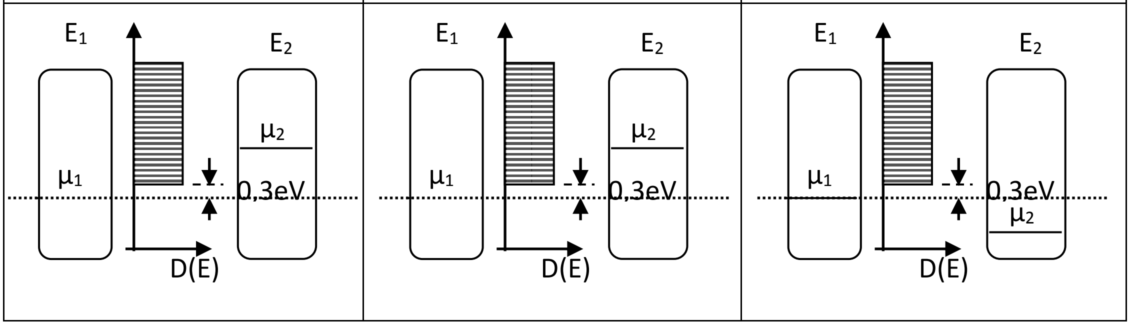
Δίνεται η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης, στους 300^0K, της διάταξης που φαίνεται στο σχήμα. Τα ηλεκτρόδια χρυσού και τα νανοσωματίδια έχουν εναποτεθεί επάνω σε μονωτικό



υπόστρωμα. Τα νανοσωματίδια Ag έχουν διάμετρο της τάξης των 10nm και οι μεταξύ τους αποστάσεις ποικίλουν από μερικά nm έως 15nm περίπου. Όταν εφαρμόζεται τάση στα ηλεκτρόδια τα ηλεκτρόνια περνάνε από το ένα νανοσωματίδιο στο πλησιέστερο μέσω φαινομένου σήραγγας. Η αύξηση της θερμοκρασίας υποβοηθά τα ηλεκτρόνια να πηδήσουν από το ένα νανοσωματίδιο στο άλλο. Θεωρείστε τα νανοσωματίδια σαν ένα αγωγό και υπολογίστε το πηλίκο $\frac{C_1}{C_2}$ όπου C_1 και C_2 είναι οι χωρητικότητες του αγωγού νανοσωματιδίων με τις δύο επαφές.

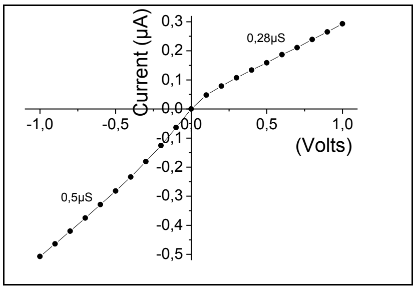
Λύση: Θεωρούμε ότι το δυναμικό του μικρού αγωγού είναι το ίδιο σε όλο το μήκος του. Η αριστερή επαφή είναι συνδεμένη με τη γείωση οπότε το δυναμικό της είναι μηδέν ενώ στην δεξιά επαφή εφαρμόζεται δυναμικό V. Στην περίπτωση αυτή, το δυναμικό του μικρού αγωγού υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση $V_{ch} = \dfrac{1}{\dfrac{C_1}{C_2}+1}V = aV$. Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης είναι γραμμική για αρνητικές και θετικές τάσεις. Αφού η χαρακτηριστική αποτελείται από δύο γραμμικά μέρη μπορεί κανείς να πει ότι η πυκνότητα ενεργειακών καταστάσων στον αγωγό θα είναι σταθερή. Η χαρακτηριστική ρεύματος τάσης παρουσιάζει κορεσμό για θετικές τάσεις. Το γεγονός ότι ο κορεσμός αρχίζει στα -0.3V δείχνει ότι το κάτω όριο της ζώνης αγωγιμότητας του αγωγού νανοσωματιδίων Ag είναι περίπου 0.3eV πιο πάνω από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των ηλεκτροδίων χρυσού.

$V=0$	$V<0$	$V>0$



Διαιρώντας κατά μέλη τις δύο εκφράσεις της αγωγιμότητας οπότε $\dfrac{G_+}{G_-} = \dfrac{a}{1-a}$ υπολογίζεται ο συντελεστής α. Από τη γραφική παράσταση προκύπτει ότι $G_+ = 0{,}24nS$ και $G_- = 0{,}24\mu S$. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση $\dfrac{G_+}{G_-} = \dfrac{a}{1-a}$ υπολογίζεται ότι $a = 0{,}001$. Τέλος, αντικαθιστώντας στην εξίσωση $\dfrac{1}{\dfrac{C_1}{C_2}+1} = a$ που δίνει το α υπολογίζεται ότι $C_1 = 1000C_2$. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι οι ενεργειακές καταστάσεις του καναλιού παραμένουν σχεδόν ακίνητες. Αυτό συμβαίνει επειδή η χωρητικότητα τις αριστερής επαφής είναι περίπου 1000 φορές μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα του καναλιού με τη δεξιά επαφή οπότε το κανάλι ακολουθεί το δυναμικό της αριστερής επαφής και παραμένει ακίνητο. Αυτό δικαιώνει την επιλογή να τοποθετηθούν οι ενεργειακές καταστάσεις του καναλιού 0.3eV πάνω από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό αδιαφορώντας για την ενδεχόμενη μετατόπιση των ενεργειακών καταστάσεων του καναλιού μιας και αυτές πρακτικά δε μετατοπίζονται.

Πρόβλημα 7



Δίνεται η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης, στους 300^0K για ένα νανοαγωγό. Υπολογίστε το πηλίκο $\frac{C_1}{C_2}$ όπου C_1 και C_2 είναι οι χωρητικότητες του αγωγού με τις δύο επαφές.

Λύση: Διαιρώντας κατά μέλη τις δύο εκφράσεις της αγωγιμότητας προκύπτει $\frac{G_+}{G_-} = \frac{a}{1-a}$ απ όπου υπολογίζεται ο συντελεστής α. Από τη γραφική παράσταση φαίνεται ότι $G_+ = 0{,}28\mu S$ και $G_- = 0{,}50\mu S$. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση $\frac{G_+}{G_-} = \frac{a}{1-a}$ υπολογίζεται ότι $a = 0{,}36$. Τέλος, αντικαθιστώντας στην εξίσωση $\frac{1}{\frac{C_1}{C_2}+1} = a$ που δίνει το α υπολογίζεται ότι $C_1 = 2{,}78C_2$.