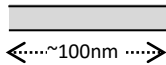
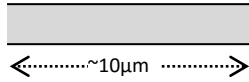
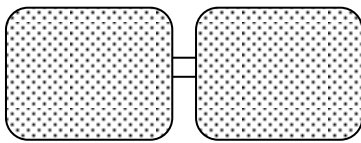


1. Απεικονίστε την διαδρομή του ηλεκτρονίου στην αγωγή με σκέδαση και στην βαλλιστική αγωγή. Υπολογίστε τι μήκος πρέπει να έχει ένας αγωγός GaAs ώστε η αγωγή να γίνεται βαλλιστικά Δίνεται: η ευκινησία $2,5 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{Vsec}$ και η ενεργός μάζα των ηλεκτρονίων $m^* = 0,067m_e$.



2. Ένας αγωγός είναι τόσο μικρός που περιέχει μία μόνο κατάσταση. Στα άκρα του έχουν δημιουργηθεί δύο μεγάλες μεταλλικές επαφές. Σχεδιάστε το διάγραμμα της ενέργειας των ηλεκτρονίων.



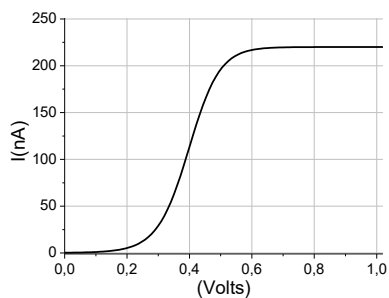
3. Στην διάταξη εφαρμόζεται τάση 1Volt ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Σχεδιάστε το διάγραμμα της ενέργειας των ηλεκτρονίων. Σχεδιάστε την κατάσταση του μικρού αγωγού να απέχει 100meV από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των επαφών.

4. Δίνεται ότι τα ηλεκτρόνια μπαίνουν και βγαίνουν από τον μικρό αγωγό με ρυθμό $\frac{\gamma}{\hbar} = 2 \times 10^5 \text{ ηλεκ/sec}$. Τι μονάδες έχει η ποσότητα γ ; Πόσο χρόνο θέλει ένα ηλεκτρόνιο για να μπει στον μικρό αγωγό; Πόσο για να βγει; Πόσο χρόνο χρειάζεται

ένα ηλεκτρόνιο της αριστερής επαφής για να φτάσει στη δεξιά; Υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει τον μικρό αγωγό.

5. Εάν η κατάσταση του μικρού αγωγού να απέχει 100meV από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό σχεδιάστε την χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης στους 0^oK και στους 300^oK . Πάρτε υπόψη σας ότι η μέγιστη αγωγιμότητα μέσα από μία κατάσταση είναι $\frac{q^2}{\hbar}$.

6. Δίνεται η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης στους 300^oK για την περίπτωση της

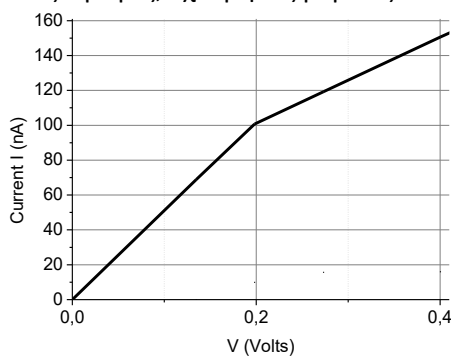


αγωγιμότητας μέσα από μία κατάσταση. Να υπολογιστεί: α) Πόσα meV απέχει, κατά προσέγγιση, η κατάσταση από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό. β) Ο συντελεστής διαφυγής γ και ο ρυθμός με τον οποίο μπαίνουν τα ηλεκτρόνια στο κανάλι γ) Η αγωγιμότητα της κατάστασης στους 300^oK . δ) Η αγωγιμότητα όταν η θερμοκρασία είναι 0^oKelvin.

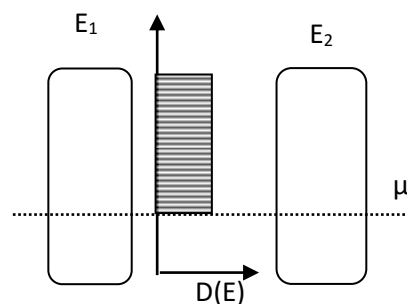
7. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης στους 0°K και 30°K για την αγωγή μέσα από μία κατάσταση η οποία βρίσκεται 90meV πάνω από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των δύο επαφών. $\gamma=1\text{meV}$
8. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης στους 0°K και 300°K για την αγωγή μέσα από μία κατάσταση η οποία βρίσκεται 10meV πάνω από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό των δύο επαφών. $\gamma=2\text{meV}$
9. Θα υποθέσουμε ότι οι τιμές του συντελεστή διαφυγής προς τις δυο επαφές δεν είναι ίσες. Έστω ότι είναι γ_1 για την αριστερή και γ_2 για την δεξιά. Να δείξετε ότι ο ισοδύναμος συντελεστής διαφυγής είναι ίσος με $\gamma_{1,2} = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2}$.

10. Να σχεδιάσετε την χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης όταν ο αγωγός μεταξύ των δύο επαφών περιέχει πολλές καταστάσεις με σταθερή πυκνότητα 1000 καταστάσεις/eV. Δίνεται ότι το κάτω όριο της ζώνης αγωγιμότητας βρίσκεται 100 meV πιο χαμηλά από το κοινό ηλεκτροχημικό δυναμικό.

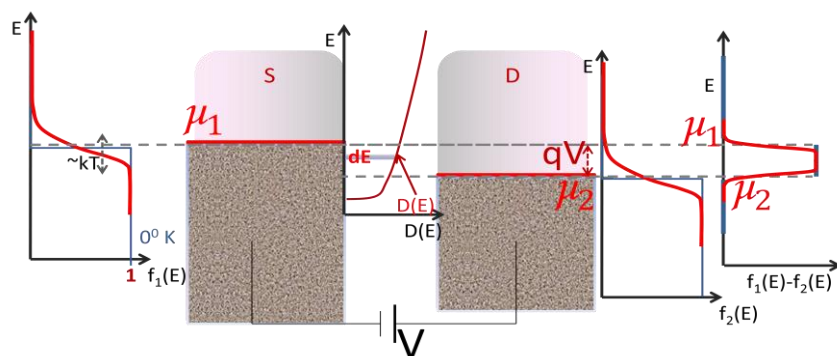
11. Ένας αγωγός, έχει μήκος μερικές δεκάδες νανόμετρα. Θεωρώντας ότι η αγωγή των ηλεκτρονίων γίνεται βαλλιστικά και η πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων είναι σταθερή 10^4 /eV, να σχεδιαστεί το ενεργειακό διάγραμμα και να υπολογιστεί η αγωγιμότητα. Να εξηγηθεί γιατί το ρεύμα δεν φτάνει σε κορεσμό για μεγάλες τάσεις.



12. Η πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων σε ένα μικρό αγωγό είναι σταθερή ίση με 1500 καταστάσεις/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 $\gamma=1$ meV, $\hbar = 6,6 \times 10^{-16}$ eV – sec. Να σχεδιάσετε την χαρακτηριστική ρεύματος τάσης από $-0,5$ Volt έως $+0,5$ Volt.

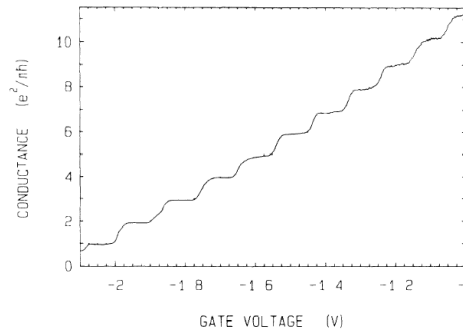
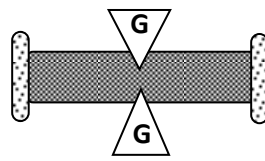


13. Θα προσδιορίσουμε μια γενική έκφραση για το ρεύμα μέσα από έναν μικρό αγωγό. Θα πούμε ότι η πυκνότητα των ενεργειακών καταστάσεων στο κανάλι $D(E)$ δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συναρτήσει της ενέργειας.



14. Μετρήσεις αγωγιμότητας σε μια διάταξη της μορφής του διπλανού σχήματος έδωσαν την χαρακτηριστική αγωγιμότητας-τάσης πύλης που δίνεται παρακάτω. Ο

αγωγός (GaAs) είναι δύο διαστάσεων, δηλαδή είναι σαν μια ταινία όπως φαίνεται στο σχήμα με αμεληταίο πάχος.



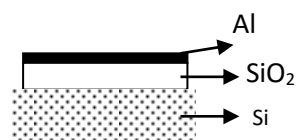
Εφαρμόζοντας μια τάση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια της πύλης μπορούμε να απογυμνώσουμε από φορείς το συγκεκριμένο τμήμα του αγωγού από ελεύθερους φορείς. Με τον τρόπο αυτό ο αγωγός θα συμπεριφέρεται σαν να παρουσιάζει ένα στένεμα ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια της πύλης και έτσι η αντίσταση του αγωγού θα είναι περίπου ίση με την αντίσταση της περιοχής που βρίσκεται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια της πύλης. Να εξηγηθεί η εξάρτηση της αγωγιμότητας από την τάση της πύλης.

15. Συνδέουμε το αριστερό ηλεκτρόδιο στην γείωση. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρόδιο βρίσκεται σταθερά σε δυναμικό μηδέν. Συνδέουμε τις δύο επαφές με μια μπαταρία 1Volt, το χαμηλό δυναμικό στην αριστερή επαφή, τότε το δυναμικό στη δεξιά επαφή θα είναι 1Volt. Ποιο είναι το δυναμικό στο κανάλι;

16. Η αριστερή επαφή (S) είναι συνδεδεμένη στη γη. Το δυναμικό της θα είναι σταθερά μηδέν, ενώ το δυναμικό του καναλιού θα καθορίζεται από το δυναμικό στην δεξιά επαφή και το λόγο των χωρητικότητων C_s και C_d . 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 1κατάσταση/meV. Δίνεται ότι: $\frac{C_s}{C_d} = 3$ και ότι $U_0 = 150meV$. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης μέχρι τάση $V=1Volt$.

17. Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης ενός καλού transistor. Ποιός παράγοντας εξασφαλίζει τον κορεσμό για μεγάλες τάσεις;

18. Το ηλεκτρόδιο Al έχει διαστάσεις $100 \times 100nm$, το πάχος του οξειδίου είναι $t_{ox}=L/50$, $\epsilon_{SiO_2}=3,9$. Να υπολογιστεί η χωρητικότητα. Εάν το SiO_2 αντικατασταθεί από HfO_2 ποιο πρέπει να είναι το πάχος t_{HfO_2} ; Δίνεται ότι $\epsilon_{HfO_2}=15,6$



19. Η ολική δυναμική ενέργεια του καναλιού είναι $U = U_{ext} + U_0(N - N_{ισορ})$, όπου U_0 η ενέργεια φόρτισης με ένα ηλεκτρόνιο.

20. Να υπολογιστεί το πλήθος των ηλεκτρονίων στο κανάλι όταν εφαρμόζεται τάση στις επαφές S και D του transistor ($\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$)

21. Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης προκύπτει από την λύση των παρακάτω εξισώσεων:

$$\gamma_1 = \gamma_2$$

$$I = \frac{q}{\hbar} \int \frac{\gamma}{2} dE \cdot D(E) [f_1(E) - f_2(E)]$$

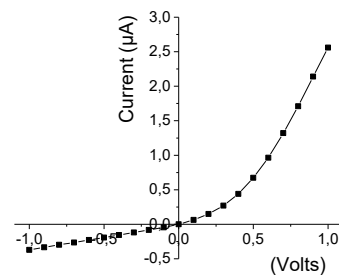
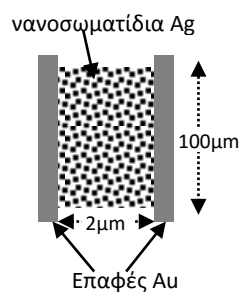
$$U = U_{ext} + U_0(N - N_{ισορ})$$

$$N = \int dE \cdot D(E) \cdot \frac{f_1(E) + f_2(E)}{2}$$

22. 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 αντίστοιχα. 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 ευθυγραμμισμένο 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. Εξηγήστε την απάντησή σας. β) Να υπολογιστεί το ρεύμα για τάσεις 0,1 και -0,1Volt.

23. Δίνεται η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης, στους 300°K, 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.

$$\begin{aligned} \hbar &= 6,58 \times 10^{-16} eV - sec & \hbar &= 1,05 \times 10^{-34} Joule - sec \\ h &= 4,14 \times 10^{-15} eV - sec & h &= 6,63 \times 10^{-34} Joule - sec \\ q_e &= 1,6 \times 10^{-19} Cb, & m_e &= 9,1 \times 10^{-31} kgr, & \epsilon_0 &= 8,85 \times 10^{-12} F/m \\ k_B &= 8,62 \times 10^{-5} eV/Kelvin & k_B &= 1,38 \times 10^{-23} Joule/Kelvin \\ (k_B T)_{300 Kelvin} &= 25 meV \end{aligned}$$