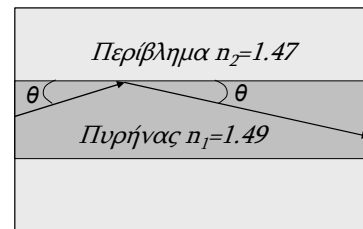


Φωτονικά Υλικά

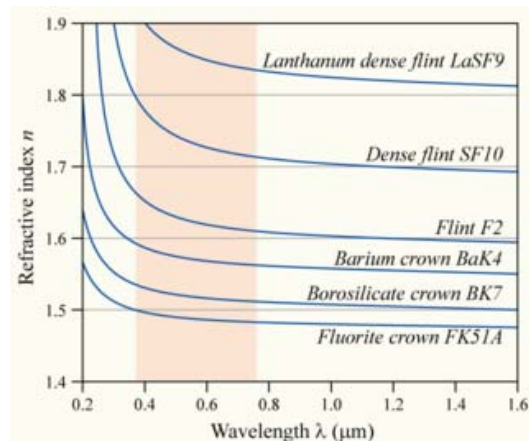
Ερωτήσεις και Ασκήσεις

1. Με ποιά σχέση συνδέεται το μήκος κύματος με την γωνιακή συχνότητα για ένα επίπεδο κύμα στο κενό; Με ποιά σχέση συνδέεται το μήκος κύματος με το κυματοδιάνυσμα; Πως αλλάζουν αυτές οι δύο σχέσεις μέσα σε υλικό με δείκτη διάθλασης n ; Να εξηγηθεί η κάθε ποσότητα στις παραπάνω σχέσεις.
2. Να διατυπώσετε τον νόμο της ανάκλασης και τον νόμο του Snell.
3. Σε ποιά αρχή βασίζεται η λειτουργία των οπτικών ινών; Εάν n_{core} και n_{cladd} είναι οι δείκτες διάθλασης του πυρήνα και του περιβλήματος αντίστοιχα, ποιά είναι η αναγκαία σχέση μεταξύ τους και γιατί;
4. Περιγράψτε τι συμβαίνει στην ολική ανάκλαση και τι στην ανάκλαση Brewster. Ποιά συνθήκη πρέπει να ικανοποιείται στην κάθε περίπτωση; Ονοματίστε απο μια εφαρμογή τους.

5. Εάν ο δείκτης διάθλαση του πυρήνα μιας οπτικής ίνας είναι 1.49, και του περιβλήματος είναι 1.47, ποιά είναι η μέγιστη γωνία πρόσπτωσης θ , απο τον πυρήνα στο περίβλημα, ώστε το φως να παραμένει παγιδευμένο στον πυρήνα;



6. Πως ορίζεται και ποιές είναι οι ακριβείς συνθήκες για μια 'αντι-ανακλαστική' επίστρωση; Σε τι εφαρμογές χρειάζεται;
7. Έστω δύο πλάκες Al_2O_3 και SiO_2 , οι οποίες στο μήκος κύματος 500nm έχουν δείκτες διάθλασης 1.8 και 1.5 αντίστοιχα, και τις οποίες θέλουμε να ενώσουμε. Ποιό υλικό, απο το διπλανό διάγραμμα, και σε τι πάχος πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως αντι-ανακλαστική επίστρωση ανάμεσά τους ώστε επίπεδα κύματα μήκους κύματος 500nm να έχουν μηδενική ανάκλαση απο το ένα υλικό στο άλλο;

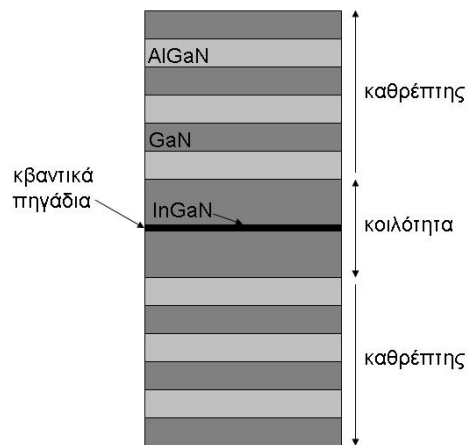


8. Ένας μηχανικός αναπτύσει λεπτό υμένιο νιτριδίου του πυριτίου (Si_3N_4) πάνω σε πυρίτιο (Si) και χρησιμοποιεί laser μήκους κύματος 500nm για μέτρηση ανακλαστικότητας. Σ' αυτό το μήκος κύματος τα δύο αυτά υλικά έχουν δείκτες διάθλασης 2 και 4 αντίστοιχα. Παρατηρεί ότι κάθε 7 λεπτά της ώρας η

ανακλαστικότητα σχεδόν μηδενίζεται. Ποιός είναι ο ρυθμός ανάπτυξης (σε nm/sec) του νιτριδίου του πυριτίου;

9. Πως φτιάχνουμε έναν καθρέπτη Bragg; Τι είναι το φωτονικό χάσμα ζώνης και γιατί δημιουργείται; Σε τι εφαρμογές χρησιμοποιούνται τέτοιοι καθρέπτες;
10. Ποιά η διαφορά στην απόκριση μεταξύ ενός διηλεκτρικού καθρέπτη και ενός κοινού μεταλλικού καθρέπτη; Βάσει αυτής της διαφοράς, σε τι εφαρμογές επιλέγουμε διηλεκτρικό καθρέπτη και σε τι μεταλλικό;
11. Ποιά είναι η συνθήκη για την δημιουργία ενός διηλεκτρικού καθρέπτη του ενός τετάρτου κύματος; Εάν οι δείκτες διάθλασης δύο υλικών είναι 3.3 και 3.5 αντιστοίχα, σε ποιά πάχη θα πρέπει να είναι τα δύο υλικά ώστε η μέγιστη ανάκλαση να εμφανιστεί σε μήκος κύματος 600nm;

12. Θέλουμε να φτιάξουμε ένα laser κάθετης-κοιλότητας επιφανειακής-εκπομπής (VCSEL), με το σύστημα του InGaN/GaN/AlGaN, για εκπομπή σε μήκος κύματος $\lambda = 450nm$. Οι δείκτες είναι για το GaN $n=2.5$, ενώ για το $Al_{0.24}Ga_{0.76}N$ είναι $n=2.4$. Θα φτιάξουμε μια κοιλότητα από GaN, μέσα στην οποία θα είναι τα κβαντικά πηγάδια $In_{0.18}Ga_{0.82}N$ με ενεργειακό χάσμα 2.66eV. Η κοιλότητα θα περιστοιχίζεται από διηλεκτρικούς καθρέπτες GaN/ $Al_{0.24}Ga_{0.76}N$. α) ποια είναι τα κατάλληλα πάχη των GaN και $Al_{0.24}Ga_{0.76}N$, ώστε η συχνότητα εκπομπής να συμπίπτει με το κέντρο του πρώτου χάσματος; β) ποιό πρέπει να είναι το πάχος της κοιλότητας GaN, ώστε η συχνότητα της κατάστασης κοιλότητας να συμπίπτει με την συχνότητα εκπομπής;



13. Ποιές είναι οι ενέργειες των 2 πρώτων επίπεδων της ζώνης αγωγιμότητας και της ζώνης σθένους σε ένα κβαντικό πηγάδι πάχους L ; Δίνεται ότι σε απειρόβαθο μονοδιάστατο πηγάδι τα ενεργειακά επίπεδα $E = (n\pi\hbar)^2 / (2mL^2)$.
14. Ποιές είναι οι ενέργειες για τα 3 πρώτα επίπεδα της ζώνης αγωγιμότητας και της ζώνης σθένους σε ένα κβαντικό σύρμα που βρίσκεται κατά μήκος του z άξονα και έχει ακμές L_x και $L_y=2L_x$; Δίνεται ότι σε απειρόβαθο μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού τα ενεργειακά επίπεδα $E = (n\pi\hbar)^2 / (2mL^2)$.
15. Ποιές είναι οι 4 πρώτες ενεργειακές στάθμες της ζώνης αγωγιμότητας και της ζώνης σθένους σε μια κβαντική τελεία κυβικού σχήματος ακμής L ; Δίνεται ότι σε απειρόβαθο μονοδιάστατο πηγάδι δυναμικού τα ενεργειακά επίπεδα $E = (n\pi\hbar)^2 / (2mL^2)$.

16. Έστω κβαντικά πηγάδια $\text{In}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ με ενεργειακό χάσμα 2.66eV , μέσα σε GaN (το GaN έχει μεγαλύτερο ενεργειακό χάσμα). Ποιό θα πρέπει να είναι το πάχος των κβαντικών πηγαδιών ώστε η συχνότητα εκπομπής να είναι στα 450nm ; Δίνεται ότι οι ενεργές μάζες ηλεκτρονίου και οπής είναι $m_e^* = 0.2m_e$ και $m_h^* = -0.8m_e$ αντίστοιχα, και η ενέργεια $\hbar^2 \pi^2 / (2L^2 m_e) = 0.37655\text{eV}$ όταν το πάχος του πηγαδιού είναι $L=1\text{nm}$.
17. Αποδείξτε ποιά είναι και σχεδιάστε την εξάρτηση με την ενέργεια της πυκνότητας καταστάσεων σε έναν ημιαγωγό στην ζώνη αγωγιμότητας.
18. Αποδείξτε ποιά είναι και σχεδιάστε την εξάρτηση με την ενέργεια της πυκνότητας καταστάσεων σε ένα κβαντικό πηγάδι.
19. Αποδείξτε ποιά είναι και σχεδιάστε την εξάρτηση της πυκνότητας καταστάσεων στο κβαντικό σύρμα σαν συνάρτηση της ενέργειας.
20. Αποδείξτε ποιά είναι και σχεδιάστε την εξάρτηση με την ενέργεια της πυκνότητας καταστάσεων σε μια κβαντική τελεία.
21. Ποιά είναι ποιοτικά η σχέση διασποράς (συναρτησιακή σχέση της συχνότητας ω με τον κυματάριθμο k) για φωτόνια σε υλικό με δείκτη διάθλασης n και για ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας ενός ημιαγωγού;
22. Περιγράψτε τις τρεις δυνατές αλληλεπιδράσεις του φωτός με έναν ημιαγωγό.
23. Ποιά η διαφορά των ημιαγωγών ευθέως χάσματος από τους ημιαγωγούς μη-ευθέως χάσματος; Γιατί οι ημιαγωγοί ευθέως χάσματος είναι καλύτεροι από τους ημιαγωγούς μη-ευθέως χάσματος όσον αναφορά οπτοηλεκτρονικές εφαρμογές;
24. Τι περιγράφει η διηλεκτρική συνάρτηση ενός υλικού; Περιγράψτε τις βασικές θεωρήσεις του μοντέλου Lorentz για την οπτική απόκριση των υλικών.
25. Πως ορίζεται και ποιά η έκφραση του συντελεστή απορρόφησης σε ένα υλικό; Πως σχετίζεται με την διηλεκτρική συνάρτηση;
26. Το μοντέλο Drude-Lorentz για την οπτική απόκριση υλικών είναι στην γενική του μορφή:
$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{4\pi e^2 N_1}{m^*} \frac{1}{\omega^2 + i\omega/\tau} + \frac{4\pi e^2 N_2}{m^*} \sum_m \frac{f_m}{\omega_m^2 - \omega^2 - i\omega\gamma_m}$$
. Ποιά η φυσική σημασία του δεύτερου όρου και ποιά του τρίτου;
27. Το μοντέλο Drude-Lorentz για την οπτική απόκριση υλικών είναι στην γενική του μορφή:
$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{4\pi e^2 N_1}{m^*} \frac{1}{\omega^2 + i\omega/\tau} + \frac{4\pi e^2 N_2}{m^*} \sum_m \frac{f_m}{\omega_m^2 - \omega^2 - i\omega\gamma_m}$$
. Περιγράψτε την φυσική σημασία των όρων N_1 , N_2 , m^* , τ , ω_m , γ_m , f_m .

28. Ένα απλό μοντέλο για την διηλεκτρική συνάρτηση ενός μετάλλου είναι το λεγόμενο μοντέλο του Drude: $\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\omega/\tau}$, όπου $\omega_p^2 = 4\pi n e^2 / m_e$ είναι η συχνότητα πλάσματος. Τι περιγράφει ο τ ; Τι σημαίνει εάν θέσουμε $\tau = \infty$; Τί τιμές θα πάρει τότε η διηλεκτρική συνάρτηση για $\omega < \omega_p$, για $\omega > \omega_p$ και για $\omega = \omega_p$; Για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, τι θα συμβεί και γιατί, σε ένα επίπεδο κύμα που προσπίπτει κάθετα στην μεταλλική επιφάνεια;
29. Τι είναι το πλασμόνιο και τι το πλασμόνιο επιφανείας; Υπό ποιές συνθήκες και σε ποιά συχνότητα εμφανίζονται το καθένα;
30. Ποιά είναι η αναγκαία συνθήκη όσο αναφορά τις διηλεκτρικές συναρτήσεις για την ύπαρξη πλασμονίων επιφανείας πάνω στην διεπιφάνεια μετάλλου-διηλεκτρικού; Εάν η διηλεκτρική συνάρτηση του μετάλλου είναι $\epsilon(\omega) = 1 - \omega_p^2 / \omega^2$ με $\omega_p = 6 \times 10^{15} \text{ rad/sec}$ και η επιφάνεια του μετάλλου είναι σε επαφή με γυαλί με δείκτη διάθλασης $n = 1.5$, σε ποιά γωνιακή συχνότητα θα παρατηρηθεί το πλασμόνιο επιφανείας;