

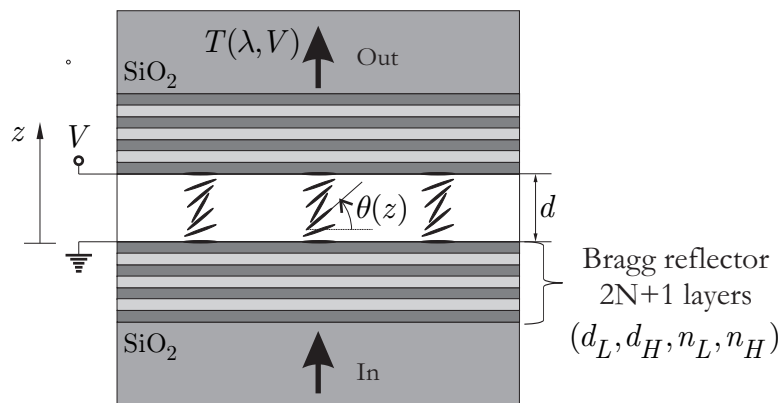
ΦΩΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Προαιρετικά Θέματα 1^{ου} Κεφαλαίου

ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

1.1 Στο σχήμα 1.1 φαίνεται ένα συντονιζόμενο οπτικό φίλτρο υγρών κρυστάλλων τύπου Fabry-Perot (FP-LC filter). Φίλτρα αυτής της τεχνολογίας είναι εμπορικά διαθέσιμα και πολύ διαδεδομένα. Οι δύο ανακλαστήρες είναι τύπου Bragg $2N + 1 = 9$ στρωμάτων με εναλλαγή στρωμάτων $\lambda / 4$ στο κεντρικό μήκος κύματος $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$, υψηλού και χαμηλού δείκτη $n_H = 2.32$ και $n_L = 1.45$, αντίστοιχα, τοποθετημένοι πάνω σε πλάκες γυαλιού με δείκτη διάθλασης $n_{\text{SiO}_2} = 1.5$. Μεταξύ των ανακλαστήρων βρίσκεται ένα στρώμα υγρού κρυστάλλου (Liquid Crystal, LC), πάχους d , στο οποίο μπορεί να εφαρμοσθεί μία τάση V , η οποία οδηγεί σε αναπροσανατολισμό των μορίων του LC και τελικά μεταβάλλει το δείκτη διάθλασης που αντιλαμβάνεται το οπτικό κύμα. Ο υγρός κρύσταλλος είναι ανισοτροπικό υλικό και χαρακτηρίζεται από τον τακτικό δείκτη διάθλασης $n_o = 1.5$ και τον έκτακτο $n_e = 1.7$. Όταν τα μόρια του είναι προσανατολισμένα στη γωνία θ (όπως στο σχήμα 1.1), τότε το φως που προσπίπτει κάθετα και είναι πολωμένο στο επίπεδο του σχήματος (επίπεδο των μορίων) αντιλαμβάνεται τον ενεργό δείκτη διάθλασης¹

$$n_{\text{eff}} = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \theta + n_e^2 \sin^2 \theta}}.$$



Σχήμα 1.1 Συντονιζόμενο φίλτρο Fabry-Perot υγρών κρυστάλλων. Ο συντονισμός γίνεται μέσω της τάσης V που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια που σημειώνονται. Τα τελευταία δεν επηρεάζουν την οπτική απόκριση καθώς είναι διάφανα και απειροστά μικρού πάχους.

A. Καταρχήν θεωρήστε ότι ο υγρός κρύσταλλος μπορεί να αναπαρασταθεί προσεγγιστικά ως ομογενές στρώμα αποδίδοντας του το μέσο δείκτη διάθλασης $n_{\text{av}} = (n_o + n_e) / 2$.

(i) Υπολογίστε και απεικονίστε (σε dB) στο φασματικό εύρος $[1000, 2000 \text{ nm}]$ το συντελεστή ανάκλασης μόνο της δομής Bragg 9-στρωμάτων κοιτώντας από την πλευρά του υγρού κρυστάλλου (εσωτερικό του συντονιστή).

¹ Η σχέση που παρατίθεται έχει προκύψει από το πρόβλημα της διάδοσης επίπεδου κύματος μέσα σε ανισοτροπικό μονοαξονικό υλικό και η ίδια η απόδειξη της δεν θα μας απασχολήσει.

(ii) Υπολογίστε και απεικονίστε (σε dB) στο παραπάνω φασματικό εύρος το συντελεστή μετάδοσης $T(\lambda)$ κάνοντας χρήση των κλειστών εξισώσεων της ενότητας 1.1.1 [εξ. (1.13)], αντιστοιχώντας σωστά τα διάφορα μεγέθη². Το πάχος του υγρού κρυστάλλου είναι $d = 2\lambda_0 / n_{av}$.

(iii) Επιβεβαιώστε την ορθότητα των αποτελεσμάτων του (ii) αναλύοντας τη συνολική πολυστρωματική δομή (Bragg+LC+Bragg), όπως στην ενότητα 1.2.1, απεικονίζοντας τους συντελεστές μετάδοσης (σε dB) σε κοινό διάγραμμα. Η συμφωνία πρέπει να είναι τέλεια [επιλέξτε συνεχή γραμμή για τον υπολογισμό του (ii) και markers για τον υπολογισμό του τρέχοντος ερωτήματος].

B. Θα θεωρήσουμε ακολούθως την πιο ρεαλιστική περίπτωση στην οποία το στρώμα του υγρού κρυστάλλου είναι ανομοιογενές. Ο προσανατολισμός του υγρού κρυστάλλου κατά το πάχος του στρώματος δίνεται από τη σχέση

$$\theta(z) = \theta_{\max} \sin\left(\frac{\pi z}{d}\right),$$

με τη μέγιστη γωνία θ_{\max} που λαμβάνεται στο μέσο του στρώματος να εξαρτάται από την επιβαλλόμενη τάση V . Η σχέση $\theta_{\max} - V$ δίνεται προσεγγιστικά από τα 3 ζεύγη τιμών:

$$(V, \theta_{\max}) \rightarrow (1.5 \text{ V}, 30^\circ), (3.0 \text{ V}, 50^\circ), (4.5 \text{ V}, 70^\circ).$$

Το πάχος του στρώματος είναι $d = 1.9 \mu\text{m}$.

(iv) Προσομοιώστε το συνεχές στρώμα του υγρού κρυστάλλου με έναν ικανοποιητικό αριθμό τεχνητών λεπτών υπο-στρωμάτων, σε καθένα από τα οποία θα αποδώσετε τον κατάλληλο ενεργό δείκτη διάθλασης³. Ακολουθώντας, αναλύστε τη συνολική δομή (Bragg+LC+Bragg) και απεικονίστε το συντελεστή μετάδοσης (σε dB) στο φασματικό εύρος [1450,1700 nm] για τις τρεις παραπάνω τάσεις (σε ένα διάγραμμα).

(v) Βρείτε για τις τρεις περιπτώσεις του ερωτήματος (iv) τα μήκη κύματος συντονισμού και το εύρος ζώνης 3 και 10 dB, μετρούμενο σε nm.

(vi) Εκτιμήστε τις τάσεις για τις οποίες το φίλτρο συντονίζει στα 1530 και 1560 nm.

(vii) Προτείνετε τις κατάλληλες αλλαγές στους ανακλαστήρες Bragg για να μειωθεί το εύρος ζώνης 3-dB κάτω από το 1 nm.

² Σημειώνεται ότι οι εξισώσεις της ενότητας 1.1.1 έχουν προκύψει με την αντίθετη σύμβαση αρμονικής μεταβολή σε σχέση με την ανάλυση πολυστρωματικών δομών της ενότητας 1.2.1.

³ Ο ικανοποιητικός αριθμός στρωμάτων εξασφαλίζει τη σύγκλιση των αποτελεσμάτων, δηλαδή θα πρέπει η φασματική απόκριση που θα απεικονίσετε να μην μεταβάλλεται με περαιτέρω αύξηση των τεχνητών αυτών στρωμάτων.