

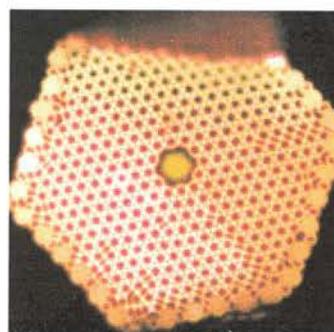
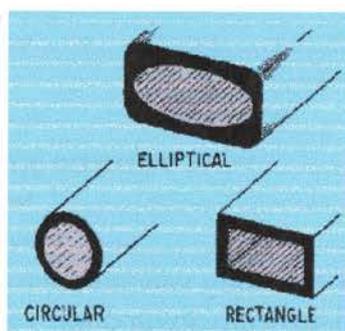
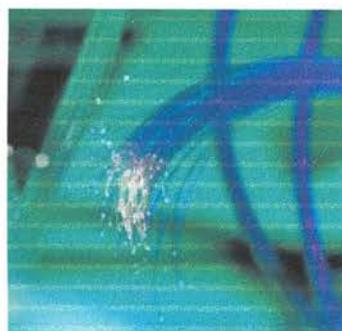


ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Τ.Ε.Ι. ΗΠΕΙΡΟΥ - ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Τεχνολογία Οπτικών Ινών, Επίπεδων Κυματοδηγών
&
Φωτονικών Κρυστάλλων



Πτυχιακή εργασία
σπουδάστριας: Θανοπούλου Μαρία

Εισηγητής : Λάμπρου Κων/νος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή	3
1.1 Ιστορική άποψη.....	3
1.1.1 Ανάγκη για επικοινωνίες οπτικών ινών.....	4
1.1.2 Πέντε γενιές οπτικών ινών.....	5
1.2 Οι οπτικές ίνες ως ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι.....	7
1.3 Οπτικές ίνες.....	8
1.3.1 Εφαρμογές Οπτικών Ινών.....	10
1.3.2 Πως λειτουργούν οι οπτικές ίνες.....	11
1.3.3 Πλεονεκτήματα.....	12
1.3.4 Μειονεκτήματα.....	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κατηγορίες οπτικών ινών	15
2.1 Τύποι οπτικών καλωδίων.....	15
2.2 Τύποι οπτικών ινών.....	17
2.3 Περιγραφή γεωμετρικής οπτικής.....	20
2.3.1 Πολύτροπες οπτικές ίνες.....	20
2.3.2 Μονότροπες οπτικές ίνες.....	22
2.4 Καλώδια οπτικών ινών.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχεδίαση - Τρόποι κατασκευής οπτικών ινών	25
3.1 Καλώδια οπτικών ινών.....	25
3.2 Κατασκευή οπτικών ινών.....	25
3.2.1 Ανάπτυξη πολυσυνισταμένων γυαλιών-Τεχνικής υγρής φάσης.....	26
3.2.2 Ανάπτυξη γυαλιών πλούσιο σε πυρίτιο-Τεχνικής φάσης εξατμίσεις.....	27
3.3 Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών.....	28
3.4 Κατασκευή καλωδίου οπτικών ινών.....	29
3.5 Σύνδεση οπτικών ινών.....	32
3.6 Αξιολόγηση των οπτικών ινών.....	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Χαρακτηριστικά οπτικών ινών	37
4.1 Εξασθένιση.....	37
4.2 Διασπορά.....	40
4.2.1 Πολύτροπη διασπορά.....	40
4.2.2 Χρωματική διασπορά.....	41
4.2.3 Διασπορά υλικού.....	42
4.2.4 Διασπορά κυματοδηγού.....	43
4.2.5 Κατανεμημένη διασπορά (Διασπορά στο profile).....	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Επίπεδοι κυματοδηγοί	44
5.1 Ακτίνες μέσα σε οπτικές ίνες.....	45
5.2 Ρυθμοί σε οπτικούς Κυματοδηγούς.....	47

5.2.1 Πρισματικός ζεύκτης.....	49
5.2.2 Ζεύκτης φράγματος.....	51
5.2.3 Ρυθμοί σε κυκλικούς κυματοδηγούς.....	52
5.2.4 Κυματοδηγός μοναδικού ρυθμού.....	53
5.3 Ίνες βαθμιαίου δείκτη.....	53
5.4 Κατασκευή επίπεδων κυματοδηγών	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
Σύγχρονοι τύποι κυματοδηγών.....	56
6.1 Φωτονικοί κρύσταλλοι	56
6.2 Βασικά στοιχεία των φωτονικών ενεργειακών κενών	57
6.3 Φωτονικοί κρύσταλλοι στις οπτικές επικοινωνίες.....	60
6.4 Τρισδιάστατοι φωτονικοί μεταλλικοί κρύσταλλοι με πλεγματοδομή.....	62
6.5 Φωτονικοί οπτικοί κρύσταλλοι.....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σύστημα επικοινωνίας μεταδίδει πληροφορίες από μια θέση σε μια άλλη, που απέχει απόσταση μερικών χιλιομέτρων ή χιλιάδων χιλιομέτρων.

Η πληροφορία συχνά μεταφέρεται από ένα ηλεκτρομαγνητικό φέρον κύμα, του οποίου η συχνότητα μπορεί να κυμαίνεται από μερικά MHz μέχρι αρκετές εκατοντάδες THz. Τα συστήματα οπτικών επικοινωνιών χρησιμοποιούν υψηλές συχνότητες φέροντος στην περιοχή του ορατού ή εγγύς υπέρυθρου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτά μερικές φορές ονομάζονται και συστήματα οπτικών κυμάτων για να τα διακρίνουν από τα μικροκυματικά συστήματα, στα οποία η συχνότητα του φέροντος είναι τυπικά πέντε τάξεις μεγέθους μικρότερη.

Τα συστήματα επικοινωνίας οπτικών ινών είναι συστήματα οπτικών κυμάτων που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες για μετάδοση της πληροφορίας. Τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί ευρύτατα από το 1980 και έχουν φέρει επανάσταση στην τεχνολογία των επικοινωνιών. Πράγματι, η τεχνολογία των οπτικών σημάτων, μαζί με την Μικροηλεκτρονική, πιστεύεται ότι είναι οι μεγαλύτεροι παράγοντες στην άφιξη της “εποχής της πληροφορίας”.

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΠΟΨΗ

Η χρησιμοποίηση του φωτός για σκοπούς επικοινωνίας χρονολογείται από την αρχαιότητα, αν ερμηνεύσουμε τις οπτικές επικοινωνίες με την ευρεία έννοια. Οι περισσότεροι πολιτισμοί χρησιμοποίησαν σήματα φωτιάς και καπνού για να μεταβιβάσουν μία πληροφορία. Βασικά, η ίδια ιδέα χρησιμοποιήθηκε μέχρι το τέλος του 18^{ου} αιώνα με σήματα από λάμπες, σήματα με σημαίες και άλλες συσκευές σηματοδότησης. Στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου οι καπετάνιοι των πλοίων χρησιμοποιούσαν ειδικούς ισχυρούς φακούς τους οποίους αναβόσβηναν, σύμφωνα με τον κώδικα Μορς, επικοινωνώντας άμεσα μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκε εν μέρει και στην ξηρά, παρόλο που οι πρώτες συσκευές ενσύρματης επικοινωνίας είχαν κάνει την εμφάνισή τους την εποχή εκείνη.

Από τα παραπάνω έχουμε τρία κοινά στοιχεία: το πρώτο είναι ο αποστολέας του φωτεινού σήματος, το δεύτερο ήταν το μέσο μετάδοσης, δηλαδή ο αέρας και το τρίτο ήταν ο παραλήπτης που το αποκωδικοποιούσε και το μετέτρεπε σε κατανοητή μορφή. Φυσικά οι προαναφερθείσες μέθοδοι είχαν ως σημαντικότερο μειονέκτημα το πρόβλημα

της ορατότητας. Το φως μιας φωτιάς ή ενός τεχνητού μέσου δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς δεν μπορούσε κανείς να το ξεχωρίσει από το πολύ ισχυρότερο ηλιακό φως. Ακόμη και τη νύχτα όμως, διάφορες συνθήκες όπως η αυξημένη υγρασία ή η ομίχλη, μπορούσαν να καταστήσουν ανέφικτη την παρατήρηση του φωτεινού σήματος σε μεγάλη απόσταση.

Σήμερα η φωτεινή ενέργεια εξακολουθεί να διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στις τηλεπικοινωνίες και κατ' επέκταση στην καθημερινή μας ζωή. Αν στα προηγούμενα χρόνια το φως μεταδιδόταν μέσω της ατμόσφαιρας, σήμερα αυτό έδωσε τη θέση του στο γυαλί και σε ειδικό ανακλαστικό υλικό που το περιβάλλει. Κάπως έτσι έχουν σχηματιστεί οι οπτικές ίνες, οι οποίες είναι σε θέση να μεταφέρουν πληροφορίες σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων, αποτελώντας έτσι αναπόσπαστο κομμάτι των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών.

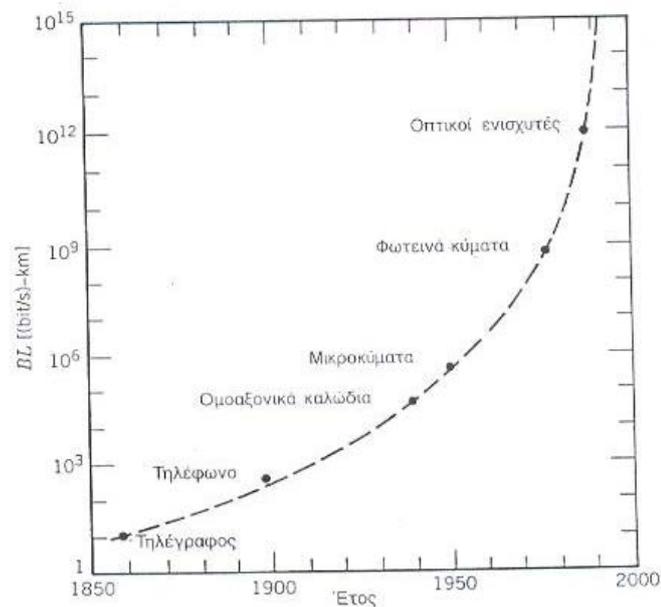
1.1.1 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Με την έλευση του τηλεγράφου στη δεκαετία του 1830, το φως αντικαταστάθηκε από ηλεκτρισμό και άρχισε η εποχή των ηλεκτρικών επικοινωνιών. Η χρησιμοποίηση ενδιάμεσων σταθμών αναμετάδοσης επέτρεψε επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων. Πράγματι, το πρώτο επιτυχημένο τηλεγραφικό υπερατλαντικό καλώδιο μπήκε σε λειτουργία το 1966 και είναι αρκετά ενδιαφέρον, ότι ο τηλεγράφος χρησιμοποίησε ουσιαστικά ένα ψηφιακό σχήμα μέσω δύο ηλεκτρικών παλμών διαφορετικής διάρκειας. Η εφεύρεση του τηλεφώνου το 1876 έφερε μία μεγάλη αλλαγή, αφού ηλεκτρικά σήματα μεταδίδονταν με αναλογικό τρόπο μέσω ενός μεταβαλλόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Τα συστήματα επικοινωνίας με αναλογικές τεχνικές κυριάρχησαν περίπου ένα αιώνα.

Η ανάπτυξη παγκόσμιων τηλεφωνικών δικτύων κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα οδήγησε σε πολλές εφαρμογές σχεδίασης ηλεκτρικών συστημάτων επικοινωνίας. Τα ζεύγη συρμάτων αντικαταστάθηκαν από ομοαξονικά καλώδια και αυξήθηκε σημαντικά η χωρητικότητα του συστήματος. Το εύρος ζώνης τέτοιων συστημάτων περιορίζεται από τις απώλειες των καλωδίων και αυτός ο περιορισμός οδήγησε στην ανάπτυξη μικροκυματικών συστημάτων επικοινωνίας, στα οποία χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρομαγνητικό φέρον κύμα.

Η εφεύρεση του laser και η επίδειξη του το 1960 εστιάσθηκε στο να βρεθούν τρόποι για τη χρησιμοποίηση του φωτός στις οπτικές επικοινωνίες. Το 1966 προτάθηκε, ότι οι οπτικές ίνες θα μπορούσαν να είναι η καλύτερη επιλογή, καθώς αυτές μπορούσαν

να κυματοδηγήσουν το φως με ένα τρόπο παρόμοιο με εκείνο της κυματοδηγήσης των ηλεκτρονίων σε χάλκινα σύρματα. Το κύριο πρόβλημα ήταν οι μεγάλες απώλειες των οπτικών ινών. Η ταυτόχρονη ύπαρξη μίας συμπαγούς οπτικής πηγής και μιας οπτικής ίνας χαμηλών απωλειών οδήγησαν σε παγκόσμια προσπάθεια για την ανάπτυξη συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες. Ένα προσόν αξιολόγησης που συχνά χρησιμοποιείται για τηλεπικοινωνιακά συστήματα είναι το γινόμενο ρυθμού των bit επί την απόσταση, BL , όπου B είναι ο ρυθμός μετάδοσης των bit και L είναι η απόσταση του επαναλήπτη. Το σχήμα 1.1 μας δείχνει πως έχει αυξηθεί το γινόμενο BL μέσω τεχνολογικών εξελίξεων του τελευταίου αιώνα και ειδικά το τελευταίο ήμισυ του αιώνα.

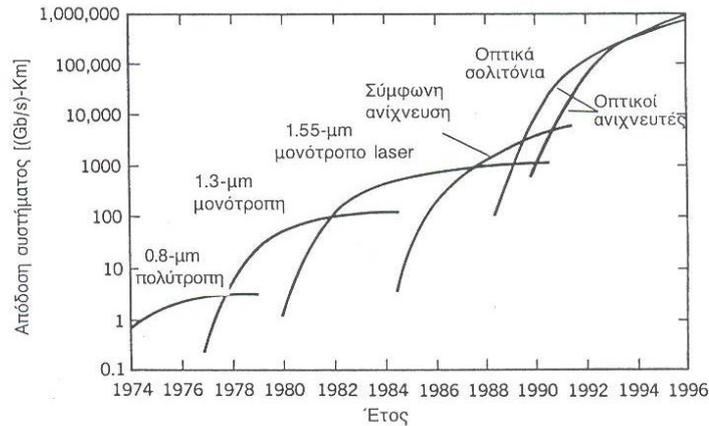


Σχήμα 1.1 Αύξηση του γινομένου ταχύτητας μετάδοσης bit επί απόστασης μεταξύ επαναληπτών κατά τη διάρκεια της περιόδου 1850-2000. Η εμφάνιση μιας νέας τεχνολογίας σημειώνεται με ένα μαύρο κύκλο.

1.1.2 ΠΕΝΤΕ ΓΕΝΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η εμπορική ανάπτυξη των οπτικών συστημάτων επικοινωνίας ακολούθησε την έρευνα. Μετά από πολλές δοκιμές, η πρώτη-γενιά οπτικών συστημάτων που λειτουργούσε κοντά στα 0.8 μm έγινε εμπορικά διαθέσιμη το 1980. Κατά τη διάρκεια του 1970, η απόσταση μεταξύ επαναληπτών μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά για την λειτουργία των οπτικών συστημάτων σε μήκη κύματος στην περιοχή του 1.3 μm , όπου οι απώλειες των οπτικών ινών ήταν κάτω από 1db/km. Επιπλέον, οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν ελάχιστη διασπορά σε αυτήν την περιοχή μήκους κύματος. Αυτό το γεγονός οδήγησε σε μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη laser.

Η δεύτερη-γενιά συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες εμφανίστηκε πριν το 1980, αλλά ο ρυθμός μετάδοσης των συστημάτων αυτών περιορίστηκε κάτω από 100 Mb/s λόγω διασποράς σε πολύτροπες οπτικές ίνες. Αυτός ο περιορισμός ξεπεράστηκε με τη χρήση μονότροπων οπτικών ινών.



Σχήμα 1.2 Εξέλιξη στην τεχνολογία των επικοινωνιών με φως την περίοδο 1974-1996. οι διάφορες καμπύλες δείχνουν αύξηση στο γινόμενο ρυθμού των bits επί απόσταση, BL, για πέντε γενιές συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες.

Η εισαγωγή των οπτικών συστημάτων τρίτης-γενεάς, που λειτουργούσαν στα 1.55 μm καθυστέρησε σημαντικά, από μεγάλες διασπορές της ίνας κοντά στα 1.55 μm. Στη συνέχεια λειτουργήσε στα 2.5 Gb/s και εμφανίστηκε στο εμπόριο το 1990. Τέτοια συστήματα είναι ικανά να λειτουργούν σε ρυθμούς bit μέχρι 10 Gb/s. Η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας οπτικές ίνες με ολίσθηση στη διασπορά μαζί με laser διάμηκους τρόπου μετάδοσης. Ένα μειονέκτημα των συστημάτων αυτής της γενιάς στα 1.55 μm είναι ότι το σήμα αναγεννάται περιοδικά με τη χρήση ηλεκτρονικών επαναληπτών που απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις τυπικά περίπου 60 έως 80 km. Η απόσταση μεταξύ επαναληπτών μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας ομόδουνη ή ετερόδουνη τεχνική φώρασης, αφού η χρήση της βελτιώνει την ευαισθησία του δείκτη. Τέτοια συστήματα αναφέρονται σαν σύμφωνα συστήματα οπτικών επικοινωνιών. Τα δυναμικά τους πλεονεκτήματα αποδείχτηκαν σε πολλά πειράματα συστημάτων. Όμως, η εμπορική εισαγωγή αυτών των συστημάτων είχε καθυστερήσει λόγω της εμφάνισης των ενισχυτών οπτικών ινών το 1989.

Η τέταρτη-γενιά οπτικών συστημάτων χρησιμοποιεί την οπτική ενίσχυση για αύξηση της απόστασης μεταξύ επαναληπτών και πολυπλεξία με διαίρεση του μήκους κύματος για αύξηση του ρυθμού μετάδοσης bit. Σε τέτοια συστήματα, οι απώλειες οπτικών ινών αντισταθμίζονται περιοδικά με τη χρήση ενισχυτών οπτικών ινών με

εμπλουτισμό με έρβιο, οι οποίοι τοποθετούνται σε αποστάσεις 60-100km. Τέτοιοι ενισχυτές αναπτύχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1980 και διατέθηκαν στο εμπόριο το 1990. Αυτή η απόδοση έδειξε ότι ένα υποθαλάσσιο σύστημα μετάδοσης, εξ' ολοκλήρου οπτικό και με ενισχυτές πάνω σε ένα οπτικό υποθαλάσσιο σύστημα μετάδοσης μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για διηπειρωτικές επικοινωνίες.

Η Πέμπτη-γενιά συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες ασχολούνται με την εύρεση μιας λύσης στο πρόβλημα της διασποράς των οπτικών ινών. Οι οπτικοί ενισχυτές λύνουν το πρόβλημα των απωλειών, αλλά ταυτόχρονα κάνουν το πρόβλημα της διασποράς χειρότερο, αφού τα φαινόμενα διασποράς συσσωρεύονται λόγω πολλαπλών σταδίων ενίσχυσης. Παρόλο που η τεχνολογία της επικοινωνίας με οπτικές ίνες καλύπτει μόνο δύο δεκαετίες, έχει εξελιχθεί ραγδαία και έχει φθάσει σε ένα συγκεκριμένο στάδιο ωρίμανσης.

1.2 ΟΙ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΩΣ ΕΝΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΚΑΝΑΛΙ

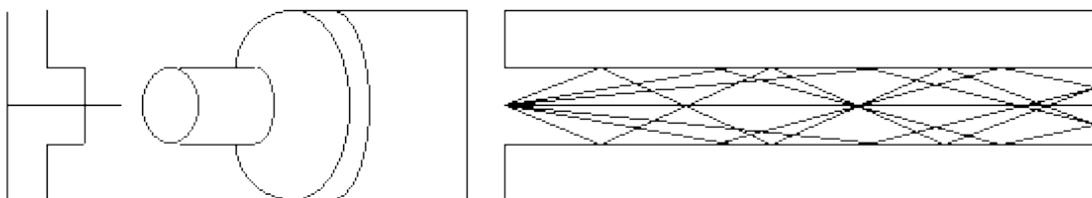
Ο ρόλος του τηλεπικοινωνιακού καναλιού είναι να μεταφέρει το οπτικό σήμα από τον παλμό στο δέκτη χωρίς να το παραμορφώνει. Τα περισσότερα συστήματα οπτικών κυμάτων χρησιμοποιούν οπτικές ίνες σαν τηλεπικοινωνιακό κανάλι επειδή οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταδώσουν το φως με σχετικά μικρές απώλειες ισχύος. Οι απώλειες οπτικής ίνας είναι φυσικά ένα σπουδαίο θέμα για τη σχεδίαση, επειδή αυτές καθορίζουν και την απόσταση μεταξύ επαναληπτών για ένα σύστημα επικοινωνίας μεγάλης απόστασης με οπτικές ίνες. Ένα άλλο σπουδαίο θέμα στη σχεδίαση είναι η διασπορά στις οπτικές ίνες, που οδηγεί στο άπλωμα των οπτικών παλμών μέσα στην οπτική ίνα. Αν οι οπτικοί παλμοί εξαπλωθούν σημαντικά έξω από την περίοδο του bit που αντιπροσωπεύουν, το εκπεμπόμενο σήμα είναι αρκετά υποβαθμισμένο. Τελικά, είναι αδύνατο να ξαναπάρουμε το αρχικό σήμα με μεγάλη ακρίβεια. Το πρόβλημα είναι περισσότερο έντονο στην περίπτωση των πολύτροπων οπτικών ινών, αφού οι παλμοί απλώνουν γρήγορα λόγω διαφορετικών ταχυτήτων, που σχετίζονται με τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης μέσα στην οπτική ίνα. Αυτός είναι και ο λόγος που στα περισσότερα τηλεπικοινωνιακά συστήματα οπτικών ινών χρησιμοποιούμε μονότροπες ίνες. Επίσης ένα δεύτερο είδος διασποράς, η διασπορά του υλικού, οδηγεί και αυτή στο άπλωμα των παλμών. Αυτή η διασπορά είναι αρκετά μικρή για να γίνει αποδεκτή στις περισσότερες εφαρμογές και μπορεί να μειωθεί περισσότερο ελέγχοντας το φασματικό εύρος της οπτικής πηγής.

1.3 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Όπως είναι γνωστό, τα καλώδια κατασκευάζονται από χαλκό ή κράματά του. Όμως ο χαλκός παράγεται σε λίγες μόνο χώρες του κόσμου. Έτσι οι υπόλοιπες χώρες είναι εξαρτημένες από αυτές που τον παράγουν. Οι ερευνητές ωθήθηκαν στο να προτείνουν πιο συμφέρουσες εναλλακτικές λύσεις παρακινούμενοι και από την προσπάθεια απεξάρτησης από τις χώρες παραγωγής χαλκού και από την προσπάθεια αποτροπής υποκλοπών στις τηλεπικοινωνίες καθώς και μεταφοράς μεγαλύτερου “όγκο” πληροφοριών. Έτσι οδηγήθηκαν στην κατασκευή οπτικών ινών.

Οπτική ίνα είναι ένα σύγχρονο και ασύρματο μέσο μετάδοσης μηνυμάτων που μεταφέρει πληροφορίες με αρκετά γρήγορους ρυθμούς, παρέχοντας εξυπηρέτηση στην επικοινωνία των απομακρυσμένων περιοχών σε μεγάλες αποστάσεις

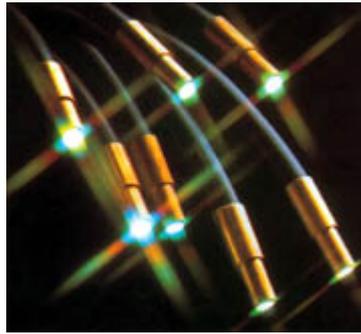
Η οπτική ίνα έχει τη μορφή μιας λεπτής κλωστής κατασκευασμένης από silica (πυριτική ένωση) και είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε ο δείκτης διάθλασης (refractive index) του εσωτερικού τμήματος (core - πυρήνας) να είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από αυτόν του εξωτερικού τμήματος (cladding - περιβλήμα). Όταν το φως σχηματίζει γωνία που έχει τιμή μικρότερη από την τιμή μιας κρίσιμης γωνίας (critical angle) κατά την πρόσπτωσης του στην εσωτερική επιφάνεια του περιβλήματος, τότε το φως υφίσταται ολική ανάκλαση σχήμα 1.3. Είναι δυνατόν όμως, αν η οπτική ίνα καμφθεί απότομα, η γωνία πρόσπτωσης να γίνει μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας με συνέπεια ένα μέρος του φωτός να κατευθυνθεί προς το περιβλήμα (δηλαδή να μην έχουμε ολική ανάκλαση), που οδηγεί σε απώλεια ισχύος.



Σχήμα 1.3 Αναπαράσταση ολικής ανάκλασης

Το υλικό από το οποίο έχουν κατασκευαστεί επιτρέπει τη μετάδοση φωτός στο εσωτερικό τους, ενώ συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες κατά χιλιάδες σε δέσμες, που σχηματίζουν τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Επίσης μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές σχεδόν απώλειες, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης πλησιάζει

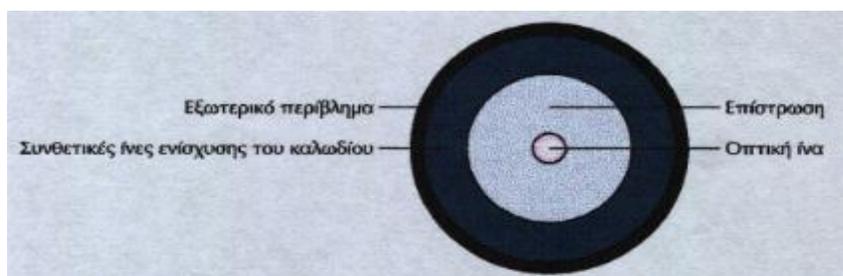
αυτή με την οποία διαδίδεται το φως.



Σχήμα 1.4 Μορφή μιας οπτικής ίνας

Η δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι τέτοια, ώστε να αποτρέπει τις εξωτερικές φθορές, αλλά και την απώλεια σήματος, που θα προέκυπτε κατά τη διαρροή της φωτεινής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του. Αν κόψουμε στη μέση ένα οπτικό καλώδιο, θα συναντήσουμε, από το κέντρο προς το εξωτερικό του, τα εξής τμήματα:

- Πυρήνας: το τμήμα εκείνο της ίνας μέσα στο οποίο διαδίδονται τα οπτικά σήματα και το οποίο πάντοτε χαρακτηρίζονται ως περιοχή υψηλού δείκτη διάθλασης. Ο πυρήνας είναι στο κέντρο της ίνας και περιορίζεται από το περίβλημα.
- Εσωτερική επένδυση: είναι το υλικό που αντανακλά εσωτερικά το φως, εκμηδενίζοντας παράλληλα το ποσοστό διαφυγής του στο εξωτερικό του καλωδίου.
- Εξωτερική επένδυση: ανθεκτικό υλικό, που αποτελείται από καουτσούκ για μικρά καλώδια οικιακής χρήσης, ή από ατσάλι για μεγαλύτερα, που χρησιμοποιούν οι εταιρείες σε εξωτερικό περιβάλλον. Προστατεύει το καλώδιο από ζημιές που θα προέκυπταν από τους διάφορους εξωτερικούς παράγοντες.



Σχήμα 1.5 Δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών

1.3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι οπτικές ίνες έχουν πάρα πολλές εφαρμογές. Οπτικές ίνες μεγάλης διαμέτρου και μικρής καθαρότητας (συνήθως πλαστικές) χρησιμοποιούνται στην κατασκευή φωτεινών επιγραφών, στην διακόσμηση και στο φωτισμό των πισίνων. Έτσι αποτρέπεται ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Δέσμη οπτικών ινών (με μια μόνο λάμπα) φωτίζει πολλές προθήκες καταστημάτων ή πολλούς πίνακες ζωγραφικής στις γκαλερί, ώστε να εξοικονομούμε ηλεκτρική ενέργεια. Με την βοήθεια των οπτικών ινών μπορούμε να παρατηρήσουμε αντικείμενα απρόσιτα σε άμεση παρατήρηση. Έτσι κατασκευάστηκε το ενδοσκόπιο, όργανο που χρησιμοποιείται στην Ιατρική, για να κάνει ορατές ορισμένες εσωτερικές περιοχές του σώματός μας. Παρόμοια συστήματα χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς για να εντοπίσουν βλάβες στο εσωτερικό των μηχανών.

Το βασικό χαρακτηριστικό των οπτικών ινών είναι η ταυτόχρονη μεταφορά του φωτός από μία μόνο φωτεινή πηγή σε πολλά σημεία. Θα μπορούσαν να συγκριθούν με τα ηλεκτροφόρα καλώδια, αλλά με μία σημαντική διαφορά: δεν μεταφέρουν ρεύμα και ούτε βέβαια θερμότητα, ενώ παράλληλα φιλτράρουν τις υπεριώδεις (U.V.) και μέρος των υπέρυθρων (I.R.) ακτίνων -τουλάχιστον οι γυάλινες οπτικές ίνες, γιατί κυκλοφορούν και χαμηλότερης ποιότητας συνθετικές οπτικές ίνες. Έτσι, οι οπτικές ίνες καθίστανται θαυμάσια λύση για το φωτισμό σημείων.

Ακόμη χρησιμοποιούνται κυρίως από μεγάλους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς και κυρίως σε υποθαλάσσιες επικοινωνίες για σύνδεση ηπείρων με μεγάλες αποστάσεις προσφέροντας καλύτερου επιπέδου επικοινωνία από αυτή των γραμμών ομοαξονικών καλωδίων, των επίγειων και δορυφορικών μικροκυματικών ζεύξεων. Η χωρητικότητα των υποθαλάσσιων οπτικών ινών ξεπερνά τα 30000 κυκλώματα φωνής. Τα πιο γνωστά είναι:

- Το καλωδιακό σύστημα SEA-ME-WE3 που συνδέει (South East Asia-Middle East-West Europe)
- Το καλωδιακό σύστημα BSFOCS που συνδέει (Μαύρη Θάλασσα- Βουλγαρία- Ουκρανία- Ρωσία) και
- Το καλωδιακό σύστημα ADRIA-1 που συνδέει (Κέρκυρα- Αλβανία- και Κροατία).

Η πιο σημαντική εφαρμογή των οπτικών ινών αφορά τις ψηφιακές (digital) τηλεπικοινωνίες όπου η χρήση τους έφερε την επανάσταση στο χώρο αυτό:

- Με την βοήθεια μιας ίνας μπορούμε να μεταφέρουμε ταυτόχρονα και χωρίς παρεμβολές χιλιάδες τηλεφωνήματα, δεκάδες εκπομπές τηλεοπτικών καναλιών και μεγάλο αριθμό δεδομένων υπολογιστών.
- Οι διαστάσεις των καλωδίων των οπτικών ινών και το βάρος τους είναι πολύ μικρότερα από τα αντίστοιχα του χαλκού. Λόγου χάρη, ένα καλώδιο οπτικών ινών μπορεί να αντικαταστήσει χάλκινο καλώδιο δεκαπλάσιας, περίπου, διαμέτρου και τριανταπλάσιου, περίπου, βάρους.
- Κατά τη μεταφορά των πληροφοριών δεν έχουμε παράσιτα.
- Είναι πολύ δύσκολη η υποκλοπή (τοποθέτηση 'κοριών') ή η συνακρόαση.
- Δεν χρειάζεται γείωση.
- Μπορούν να παραχθούν από κάθε χώρα με συνέπεια την απεξάρτησή της από χώρες που παράγουν χαλκό. Έτσι επιτυγχάνεται και τεχνολογική διάχυση.

1.3.2 ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΟΙ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Κατά την επινόηση των καλωδίων οπτικών ινών, οι κατασκευαστές τους είχαν έναν σημαντικό στόχο: να μην υπάρχει διαρροή φωτός στο εξωτερικό ενός καλωδίου, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια ισχύος και πολλά ακόμη προβλήματα. Για τον λόγο αυτό έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος ώστε όλη η φωτεινή ενέργεια να παραμένει στο εσωτερικό του καλωδίου και να φτάνει δίχως εξασθένιση στον προορισμό της. Η αρχή λειτουργίας ενός οπτικού καλωδίου είναι η ολική εσωτερική αντανάκλαση και βασίζεται στο γεγονός ότι όταν το φως αντανακλάται εξολοκλήρου σε έναν κλειστό εσωτερικό χώρο, μπορεί να ταξιδεύσει σε μεγάλες αποστάσεις, χωρίς να μειώνει την ένταση του.

Ως εκ τούτου, σε ένα οπτικό καλώδιο, η δεσμίδα των οπτικών ινών περικλείεται σε ειδικό υλικό που αντανακλά εσωτερικά όλο το φως, εξασφαλίζοντας έτσι δύο πράγματα:

- 1) Την ολική εσωτερική αντανάκλαση, που θα επιτρέψει στην πληροφορία να φθάσει αναλλοίωτη σε μεγάλες αποστάσεις.
- 2) Την αποφυγή διαρροής φωτός στο εξωτερικό του καλωδίου.

Για το λόγο αυτό, το φως διοχετεύεται στο εσωτερικό της οπτικής ίνας υπό συγκεκριμένη γωνία, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη αντανάκλαση που θα αποτρέψει την διαρροή φωτεινής ενέργειας. Μέχρι να φθάσει στον προορισμό της, η φωτεινή δέσμη συνήθως πραγματοποιεί χιλιάδες ή και εκατομμύρια αντανακλάσεις στο εσωτερικό της οπτικής ίνας.

Πάντως οι απώλειες ισχύος της φωτεινής ενέργειας είναι σε κάθε περίπτωση αναπόφευκτες, ακόμη και κατά την ολική εσωτερική αντανάκλαση του φωτός και παρατηρούνται κυρίως κατά τη μετάδοση των δεδομένων σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Αυτό οφείλεται σε μικρές ατέλειες του μέσου μεταφοράς, που δεν είναι άλλο από το γυαλί. Η καθαρότητα του τελευταίου δεν φθάνει ποτέ το 100%, με αποτέλεσμα η ισχύς του φωτός να εξασθενεί, λόγω απορρόφησής του. Ανάλογα με το πάχος του καλωδίου, οι απώλειες μπορούν να φθάσουν ακόμη και το 20% ανά χιλιόμετρο, ωστόσο με κάποια σύγχρονα καλώδια, έχουν μειωθεί στο 5-10%.

1.3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η υψηλή διείσδυση της τεχνολογίας των οπτικών ινών στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες δεν είναι τυχαία, αλλά αντίθετα οφείλεται στον μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων της, τα οποία συνοψίζονται στα εξής:

- 1) Χαμηλό κόστος. Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά, σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί αρχικά τους παρόχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παρόχων, επομένως οφείλει και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.
- 2) Υψηλό bandwidth, το οποίο ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps, που με την σειρά τους προσφέρουν αστραπιαία διαμεταγωγή δεδομένων και αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω πρωτοκόλλου IP.
- 3) Μικρή εξασθένιση του σήματος, χάρη στην υψηλή ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης. Ακόμη και αν υπάρξει εξασθένιση σήματος, αυτό ενισχύεται πολύ εύκολα μέσω των κατάλληλων ενισχυτών.
- 4) Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
- 5) Αμιγώς ψηφιακό σήμα, που εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και

αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Στον κόσμο της ψηφιακής πληροφορίας, τα δεδομένα αναπαριστούνται από τους αριθμούς 0 και 1, οι οποίοι ονομάζονται bits. Το 0 ισοδυναμεί με την κατάσταση «κλειστό» και το 1 με την κατάσταση «ανοιχτό». Μια ακολουθία 8 bits σχηματίζουν 1 ψηφιακή λέξη που λέγεται byte ή octet. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τους φωτεινούς παλμούς με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέρονται τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων.

- 6) Υψηλή διαθεσιμότητα, που οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημίας.
- 7) Μικρές διαστάσεις και βάρος, καθώς ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι, απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών.
- 8) Οι οπτικές ίνες έναντι των συρμάτων χαλκού παρέχουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης ενώ ταυτόχρονα υποφέρουν από μικρές απώλειες κατά τη μετάδοση (transmission loss). Για παράδειγμα, οι απώλειες κατά τη μετάδοση όταν χρησιμοποιείται αξονικό καλώδιο με την ελάχιστη εξασθένιση σήματος (propagation attenuation) είναι γύρω στα 3.5 db/km στα 2.5 MHz, ενώ οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν απώλειες της τάξης των 0.2 db/km στο 1 GHz. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων τους είναι δυνατόν να αυξήσουμε τις αποστάσεις μεταξύ των αναμεταδοτών (repeater spacing) σε εκατοντάδες χιλιομέτρων για ταχύτητες δεκάδων Gbps.
- 9) Οι οπτικές ίνες είναι ανεπηρέαστες από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, ενώ αναφέρεται ότι η δυνατότητά τους για μετάδοση πληροφορίας αυξάνεται σημαντικά με τη χρήση της τεχνικής πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM - Wavelength Division Multiplexing), χωρίς καθόλου παρεμβολές.

Ένα οπτικό καλώδιο περιλαμβάνει συνήθως δεκάδες ή και εκατοντάδες οπτικές ίνες, ενωμένες μεταξύ τους σε μορφή δέσμης.

1.3.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

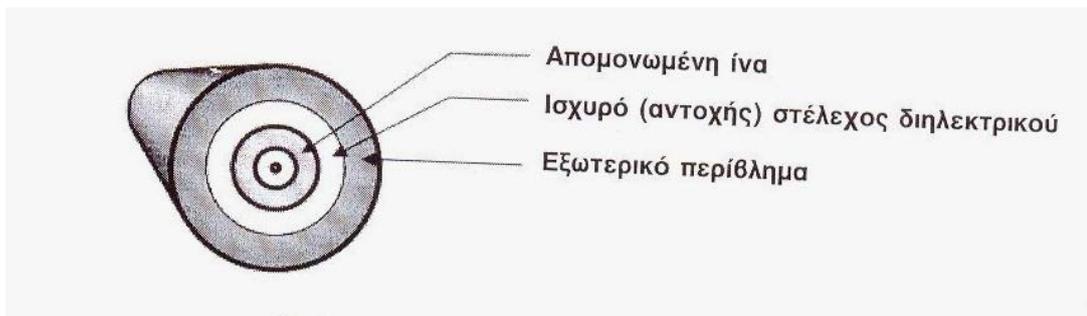
- 1) Δυσκολία στη σύνδεση με συνέπεια την ανάγκη ύπαρξης επιδέξιων εγκαταστάσεων.
- 2) Δυσκολία διασύνδεσης πολλών χρηστών πάνω σε ένα καλώδιο.
- 3) Ακριβό για μικρές αποστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

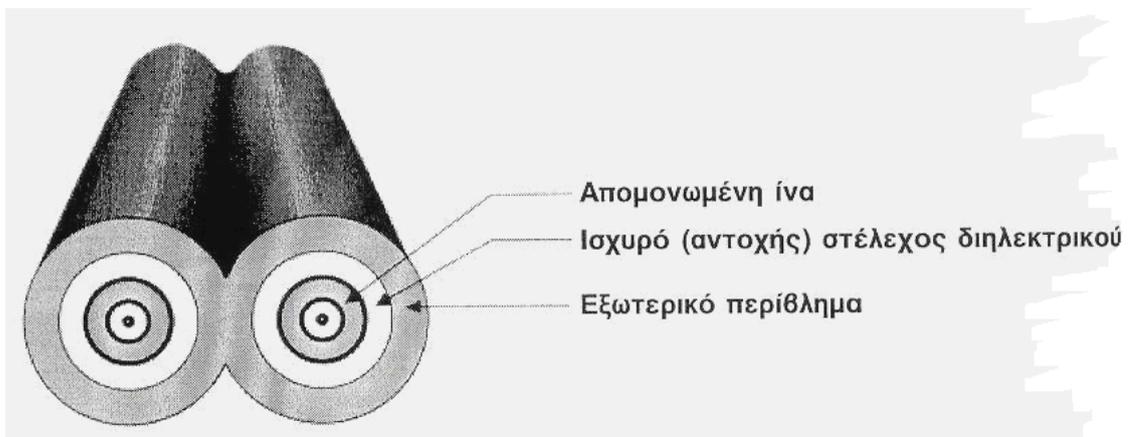
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

2.1 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Το απλό καλώδιο που απεικονίζεται στο σχήμα 2.1 είναι στρογγυλό με μία απλή ίνα στο κέντρο. Διπλά καλώδια είναι καλώδια με δύο ίνες, αυτές είναι σε σχήμα κυκλικό ή σφιχτοδεμένα καρδιοειδώς εμφανισιακά και μοιάζει σαν ηλεκτρικό καλώδιο. Ένα τέτοιο απεικονίζεται στο σχήμα 2.2



Σχήμα 2.1 Κατασκευή μονόδρομου καλωδίου

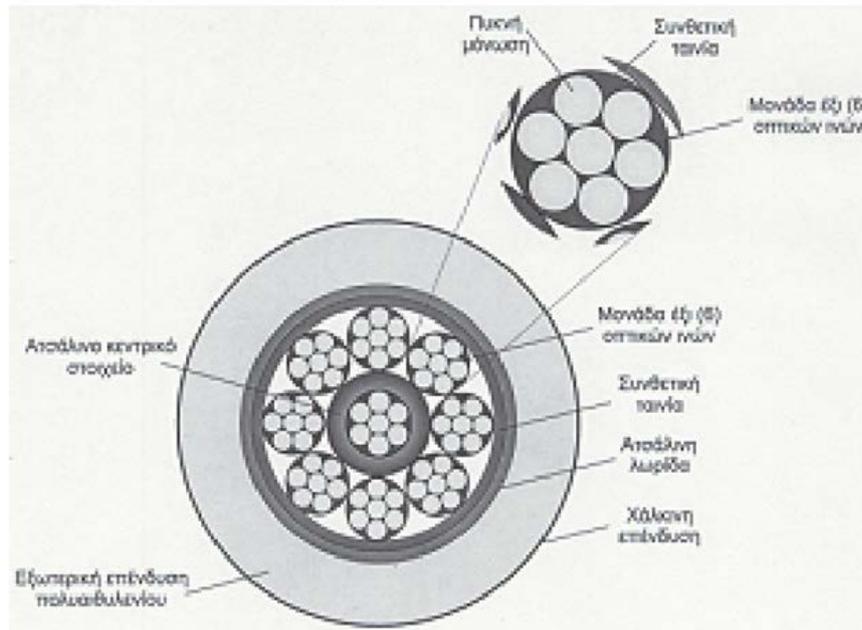


Σχήμα 2.2 Κατασκευή σφιχτοδεμένου καρδιοειδώς αμφίδρομου καλωδίου

Τα περισσότερα πολύπλοκα καλώδια χρησιμοποιούνται σε διάφορες κατηγορίες περιλαμβάνοντας τα καλώδια διακλάδωσης, τα σύνθετα, και τα υβριδικά. Τα καλώδια διακλάδωσης, επίσης καλούνται και καλώδια πυλών γιατί οι ίνες τους είναι πακεταρισμένες μέσα στο καλώδιο σαν μία μονότροπη ίνα ή υποκαλώδια πολλών οπτικών ινών. Αυτό επιτρέπει οι ξεχωριστές ίνες να μπορούν να προσπελαστούν χωρίς την ανάγκη ειδικού μπαλώματος για να τερματίσουν τις πολλές ίνες. Το σχήμα 2.3 δείχνει μία κάθετη τομή ενός τυπικού καλωδίου διακλάδωσης.

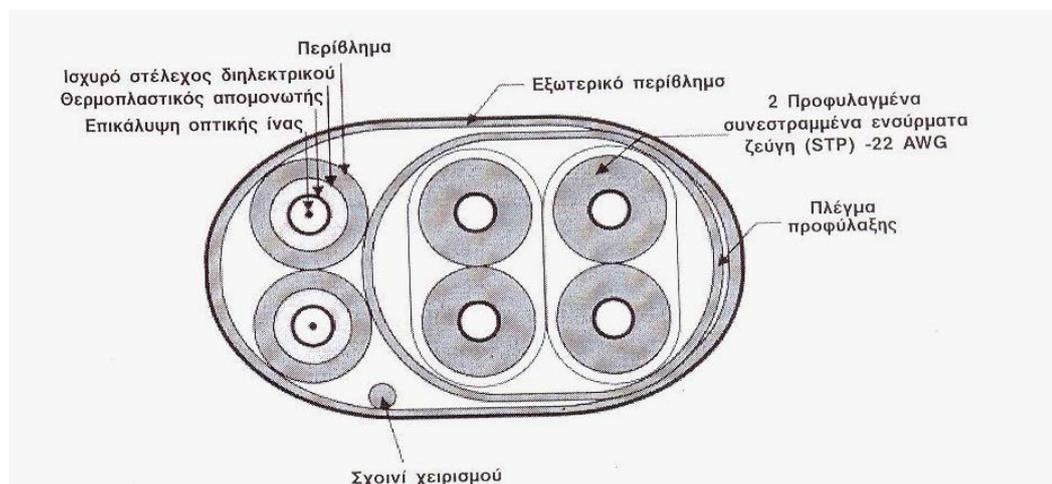
Υπάρχουν μερικές διαφορές στη παραγωγή των καλωδίων σύμφωνα ακριβή προσδιορισμό των σύνθετων και των υβριδικών καλωδίων. Για χάρη αυτής της

αναφοράς τα σύνθετα καλώδια θα οριστούν σαν ανάμεικτα καλώδια μονότροπης και πολύτροπης ίνας. Η έκφραση υβριδικά καλώδια θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει ένα καλώδιο το οποίο ενσωματώνει πολλαπλές οπτικές ίνες με επιχαλωμένα καλώδια.



Σχήμα 2.3 Τομή κατασκευής καλωδίου πολλαπλών ινών

Και τα σύνθετα καλώδια και τα υβριδικά καλώδια έχουν το πλεονέκτημα του χρόνου και του χαμηλού κόστους. Πολλαπλά καλώδια τα οποία είναι ξεχωριστά θα πάρουν πολύ χρόνο να εγκατασταθούν. Όμως αυτά τα καλώδια κατασκευάζονται για μια ειδική εφαρμογή όπως για την σύγκλιση των βίντεο, ραδιοφώνων, και τη μεταφορά δεδομένων. Τα υβριδικά καλώδια μπορούν να μεταφέρουν ηλεκτρικά σήματα και χρησιμοποιούνται σε ευρείας ζώνης δίκτυα. Το σχήμα 2.4 δείχνει ένα τυπικό υβριδικό καλώδιο.

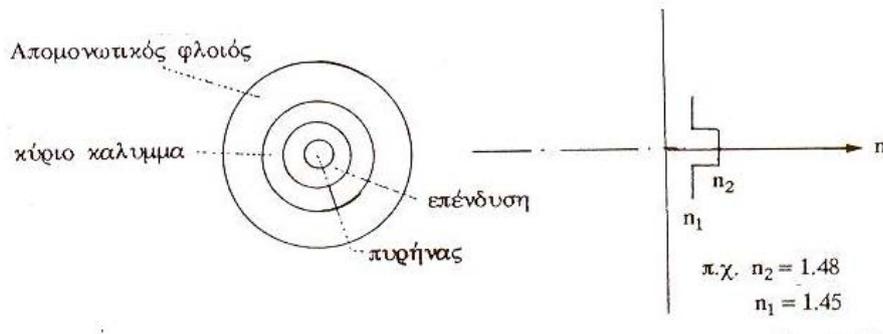


Σχήμα 2.4 Κατασκευή υβριδικού καλωδίου

2.2 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

α) πολυρυθμικές ίνες με ομοιόμορφο δείκτη διάθλασης του πυρήνα

Κατασκευάζονται είτε από πολυσυνιστάμενα ή πλούσια σε πυρίτιο γυαλιά. Στο σχήμα 2.5 δίνουμε τη διατομή της ίνας του τύπου αυτού όπου επίσης φαίνεται και η κατανομή του δείκτη διάθλασης. Οι συνήθεις διαστάσεις των διαφόρων στρωμάτων είναι:



Σχήμα 2.5 Γεωμετρία πολυρυθμικής ίνας με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης

Διάμετρος πυρήνα:	50-400 μm
Διάμετρος επένδυσης:	125-500 μm
Διάμετρος απομονωτικού φλοιού:	250-1000 μm
Αριθμητικό άνοιγμα:	0.16-0.5

Οι προδιαγραφές των ινών αυτών κυμαίνονται στα παρακάτω περιθώρια:

Εξασθένηση:

50dB/Km (για πολυσυνιστάμενα γυαλιά)

5dB/Km(για πλούσια σε πυρίτιο γυαλιά).

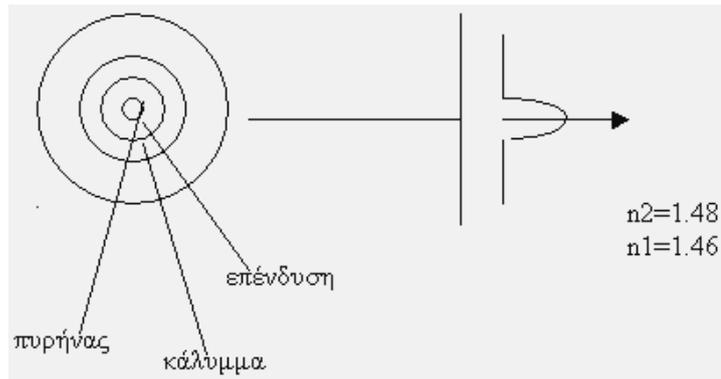
Εύρος ζώνης:

6-25MHz/Km

Οι ίνες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ζεύξης μικρών αποστάσεων και περιορισμένου εύρους ζώνης και έχουν σχετικά χαμηλό κόστος.

β) πολυρυθμικές ίνες με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης

Μπορούν να κατασκευαστούν είτε από πολυσυνιστάμενα είτε από πλούσια σε πυρίτιο γυαλιά. Συνήθως όμως κατασκευάζονται από υλικά που έχουν μεγαλύτερη καθαρότητα από τις πολυρυθμικές ίνες με ομοιόμορφο πυρήνα και για το λόγω αυτό παρουσιάζουν καλύτερα χαρακτηριστικά. Στο σχήμα 2.6 δείχνουμε μία χαρακτηριστική διατομή πολυρυθμικής οπτικής ίνας με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης.



Σχήμα 2.6 Χαρακτηριστική διατομή πολυρυθμικής οπτικής ίνας με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης

Συνήθεις διαστάσεις των ινών αυτών είναι:

Διάμετρος πυρήνα:	30-60 μm
Διάμετρος επένδυσης:	100-150 μm
Διάμετρος απομονωτικού φλοιού:	250-1000 μm
Αριθμητικό άνοιγμα:	0.2-0.3

Για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς τείνει να τυποποιηθούν οι διαστάσεις:

Διάμετρος πυρήνα:	50 μm
Διάμετρος επένδυσης:	125 μm

Οι προδιαγραφές των ινών είναι:

Εξασθένηση:

2-10dB/Km

Εύρος:

150MHz/km μέχρι 2GHz/Km.

Εφαρμογές:

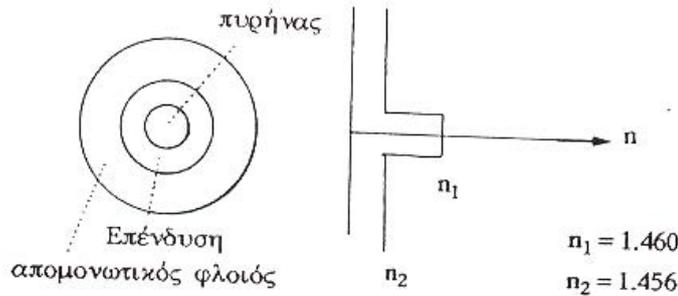
Για μετάδοση οπτικών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις και με αρκετά μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων.

γ) Μονορυθμικές ίνες

Μονορυθμικές ίνες μπορούν να κατασκευαστούν είτε με ομοιόμορφο πυρήνα είτε με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης. Επειδή όμως η σημασία της βαθμιαίας κατανομής του πυρήνα χάνει την σημασία που έχει στις πολυρυθμικές ίνες συνήθως οι μονορυθμικές ίνες κατασκευάζονται με ομοιόμορφο πυρήνα. Οι μονορυθμικές ίνες χρησιμοποιούνται σε ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων και ευρείας ζώνης.

Χαρακτηριστικές διαστάσεις των μονορυθμικών ινών είναι:

Διάμετρος πυρήνα:	3-10 μm .
Διάμετρος επένδυσης:	50-125 μm .
Διάμετρος απομονωτικού φλοιού:	250-1000 μm .
Αριθμητικό άνοιγμα:	0.08-0.15



Σχήμα 2.7 Μονορυθμική ίνα

Οι προδιαγραφές των μονορυθμικών ινών κυμαίνονται ανάλογα με τον κατασκευαστή. Χαρακτηριστικές τιμές είναι:

Εξασθένηση:	2-5dB/Km για $\lambda=0.85\mu\text{m}$. 0.6dB/Km για $\lambda=1.30\mu\text{m}$ 0.25dB/Km για $\lambda=1.55\mu\text{m}$
Διασπορά:	2.5psec/(nm.km) για $\lambda=1.55\mu\text{m}$.

δ) οπτικές ίνες με πλαστική επένδυση

Είναι πολυρυθμικές ίνες που έχουν πυρήνα ομοιόμορφο ή βαθμιαίο δείκτη διάθλασης. Η επένδυση τους κατασκευάζεται από πλαστικό ο δε πυρήνας από γυαλί πλούσιο σε πυρίτιο. Οι ίνες αυτές παρουσιάζουν μικρότερες απώλειες ακτινοβολίας και για το λόγω αυτό προτιμούνται σε ορισμένες εφαρμογές.

Χαρακτηριστικές διαστάσεις των ινών με πλαστική επένδυση είναι:

Διάμετρος πυρήνα:	(ομοιόμορφος δείκτης διάθλασης) 100-500 μm
Διάμετρος πυρήνα:	(βαθμιαίος δείκτης διάθλασης) 50-100 μm .
Διάμετρος επένδυσης :	(ομοιόμορφος δείκτης διάθλασης) 300-800 μm .
Διάμετρος απομονωτικού φλοιού:	(ομοιόμορφος δείκτης διάθλασης) 125-150 μm .

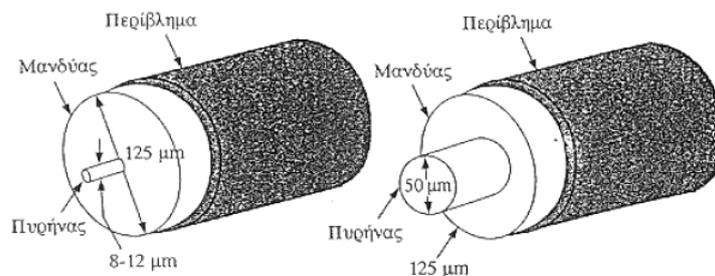
Οι προδιαγραφές των ινών αυτών είναι:

- Εξασθένιση: (ομοιόμορφος δείκτης διάθλασης) 5-50dB/Km.
 (βαθμιαίος δείκτης διάθλασης) 4-15dB/km.
- Εύρος ζώνης: (ομοιόμορφος δείκτης διάθλασης) 5-25dB/km.
 (βαθμιαίος δείκτης διάθλασης) 200-400MHz/Km.

Οι οπτικές ίνες του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται για ζεύξεις μικρής ταχύτητας και σε μικρές αποστάσεις.

2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ

Η οπτική ίνα αποτελείται από έναν κυλινδρικό πυρήνα από γυαλί πυριτίου, ο οποίος περιβάλλεται από περίβλημα με δείκτη διάθλασης μικρότερο από εκείνο του πυρήνα. Οι οπτικές ίνες διαφοροποιούνται, κατ' αρχήν, από τον τρόπο μετάδοσης του σήματος και η πρώτη βασική διάκριση είναι:



Σχήμα 2.11 Δομή μονότροπης και πολύτροπης ίνας

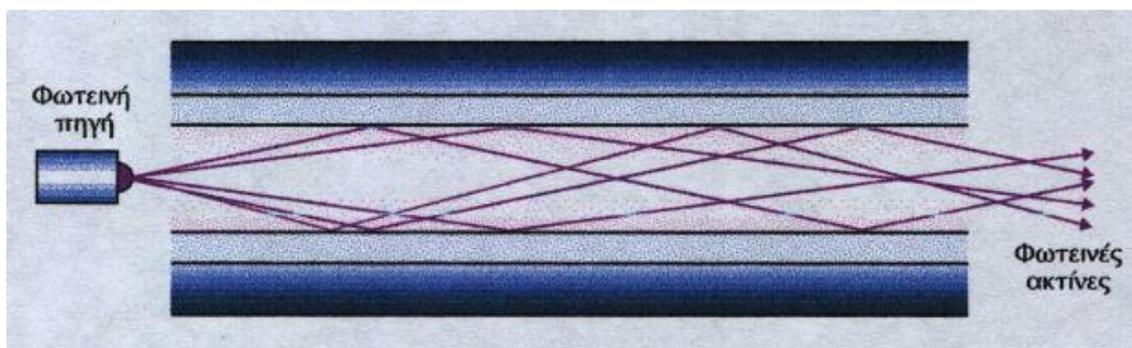
2.3.1 ΠΟΛΥΤΡΟΠΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Η πολύτροπη ίνα ήταν ο πρώτος τύπος που εμπορευματοποιήθηκε. Ο πυρήνας της είναι πολύ μεγάλος από αυτόν της μονότροπης ίνας, επιτρέποντας εκατοντάδες ακτίνες φωτός να μετακινούνται μέσα στην ίνα ταυτόχρονα. Ο τρόπος αναφοράς των μεγεθών για τις οπτικές ίνες είναι να αναφέρουμε πρώτα τη διάμετρο του πυρήνα και στη συνέχεια τη διάμετρο της επίστρωσης. Οι μετρήσεις των παραπάνω μεγεθών γίνονται σε μικρόμετρα. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες έχουν τυπικά μεγέθη 50μm/125μm. Ο συνηθέστερος τύπος, ο οποίος κυκλοφορεί, είναι ο 62,5/125. Η ολική διάμετρος της οπτικής ίνας συμπεριλαμβανομένων των ενισχυτικών συνθετικών ινών και του εξωτερικού περιβλήματος φτάνει τα 900μm. Η αρχή μετάδοσης σε πολύτροπη οπτική ίνα είναι ότι οι διάφορες ακτίνες του οπτικού σήματος ανάλογα με την είσοδο τους στην οπτική ίνα ταξιδεύουν ανακλώμενες υπό διαφορετικές γωνίες, όπως φαίνεται στα σχήματα 2.12,2.13. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης ονομάζεται πολύτροπος, επειδή έχουμε

πολλούς δρόμους μετάδοσης, που αντιστοιχούν στις διαφορετικές γωνίες εισόδου των ακτινών στην ίνα.

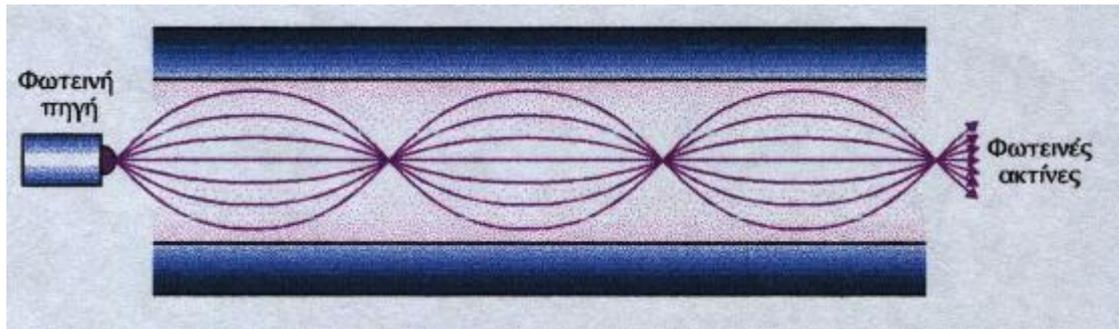
Εξαιτίας της απότομης αλλαγής δείκτη διάθλασης στην επιφάνεια επαφής πυρήνα-περιβλήματος, οι ίνες αυτές ονομάζονται ίνες βηματικού δείκτη. Σ' ένα άλλο είδος ίνας, που είναι γνωστή σαν ίνα διαβαθμισμένου δείκτη, ο δείκτης διάθλασης μειώνεται σταδιακά στο εσωτερικό του πυρήνα.

Στις ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης υπάρχουν τρεις περιπτώσεις. Ένας τρόπος είναι η διάδοση στο κέντρο του πυρήνα. Ένας δεύτερος τρόπος διάδοσης είναι ο σχηματισμός μιας απότομης γωνίας και η αναπήδηση εμπρός και πίσω με ολική εσωτερική ανάκλαση. Στον τρίτο τρόπο υπερβαίνεται η κρίσιμη γωνία και διαθλάται στο περίβλημα και χάνεται καθώς φεύγει στο καλώδιο. Έτσι, μπορεί να διαπιστωθεί ότι με τον δεύτερο τρόπο διάδοσης έχουμε μετάδοση σε μεγαλύτερη απόσταση από ότι στον πρώτο τρόπο προκαλώντας έτσι τους δύο 'τρόπους' να φθάσουν σε δύο διαφορετικούς χρόνους. Αυτό δημιουργεί μια ανομοιότητα μεταξύ των χρόνων άφιξης των διάφορων ακτινών φωτός το οποίο είναι γνωστό σαν διασπορά, και το αποτέλεσμα είναι ένα πολύπλοκο σήμα στο άκρο λήψης. Παρόλα αυτά, η υψηλή διασπορά είναι αναπόφευκτο χαρακτηριστικό των πολύτροπων ινών του βηματικού δείκτη διάθλασης.



Σχήμα 2.12 Οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης

Για να αντισταθμίσουμε την διασπορά που συμβαίνει στις πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη, δημιουργήθηκαν ίνες διαβαθμισμένου δείκτη. Οι διαβαθμισμένοι δείκτες αναφέρονται στο γεγονός ότι ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα σταδιακά ελαττώνεται πολύ περισσότερο από αυτόν του κέντρου του πυρήνα. Η αυξημένη διάθλαση στο κέντρο του πυρήνα επιβραδύνει την ταχύτητα κάποιων ακτινών φωτός, επιτρέποντας σε όλες τις ακτίνες φωτός να φθάσουν στο άκρο λήψης περίπου στον ίδιο χρόνο, ελαττώνοντας τη διασπορά.



Σχήμα 2.13 Οπτική ίνα διαβαθμισμένου δείκτη

Στο σχήμα 2.12 ο δεύτερος τρόπος θα μεταδίδεται για μεγαλύτερη απόσταση, αλλά αφού σπαταλήσει τον περισσότερο χρόνο σε μια εξωτερική περιοχή του πυρήνα, όπου ο δείκτης διάθλασης είναι μικρότερος, μεταδίδεται γρηγορότερα. Ο πρώτος τρόπος που μεταδίδεται ευθεία στο κέντρο της ίνας ταξιδεύει την μικρότερη απόσταση, αλλά αφού ο δείκτης διάθλασης είναι εδώ μεγαλύτερος, μεταδίδεται πιο αργά. Μια σύγχρονη πολύτροπη ίνα διαβαθμισμένου δείκτη σχεδιάζεται έτσι ώστε όλοι οι τρόποι διάδοσης να μεταδίδονται με την ίδια την ταχύτητα. Αυτό επιτυγχάνεται σχεδιάζοντας τον πυρήνα της ίνας έτσι ώστε να έχει ένα σχήμα παραβολικού δείκτη διάθλασης.

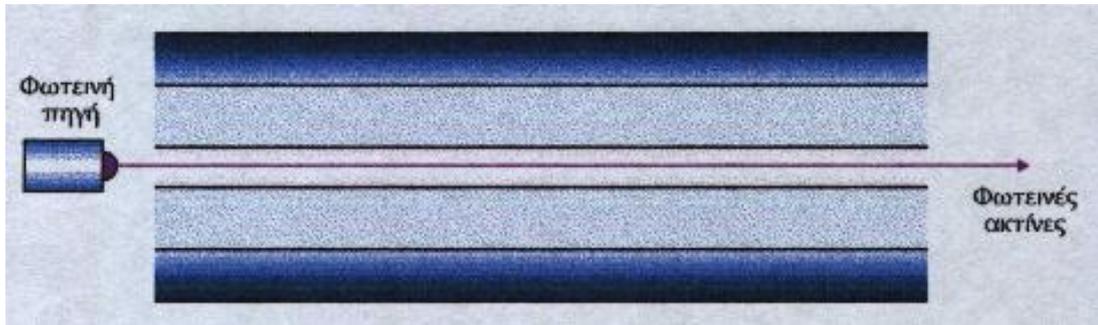
2.3.2 ΜΟΝΟΤΡΟΠΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Η μονότροπη ίνα, από την άλλη μεριά, έχει ένα πολύ μικρότερο πυρήνα. Ενώ θα φαινόταν ότι ο μεγαλύτερος πυρήνας θα επέτρεπε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης ή μεγαλύτερη ικανότητα μεταβίβασης πληροφοριών, αυτό δεν συμβαίνει. Οι μονότροπες ίνες είναι καλύτερες στο να συγκρατούν την πιστότητα κάθε παλμού φωτός για μεγαλύτερες αποστάσεις και παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά που προκαλείται από πολλαπλές ακτίνες η 'τρόπους'. Έτσι, περισσότερες πληροφορίες μεταδίδονται ανά μονάδα χρόνου. Η μονότροπη ίνα παρουσιάζει χαμηλότερη εξασθένιση από την πολύτροπη.

Η μονότροπη ίνα παρουσιάζει ένα μειονέκτημα: ο μικρότερης διαμέτρου πυρήνας κάνει την σύζευξη του φωτός στον πυρήνα πιο δύσκολη. Οι ανοχές για τους μονότροπους συνδετήρες είναι περισσότερο απαιτητικές.

Στις μονότροπες οπτικές ίνες η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Η πορεία των ακτινών σε μια τέτοια οπτική ίνα φαίνεται στο σχήμα 2.14. Η

κεντρική ίνα στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5μm έως 10μm με συνηθέστερη τιμή τα 8,3μm.



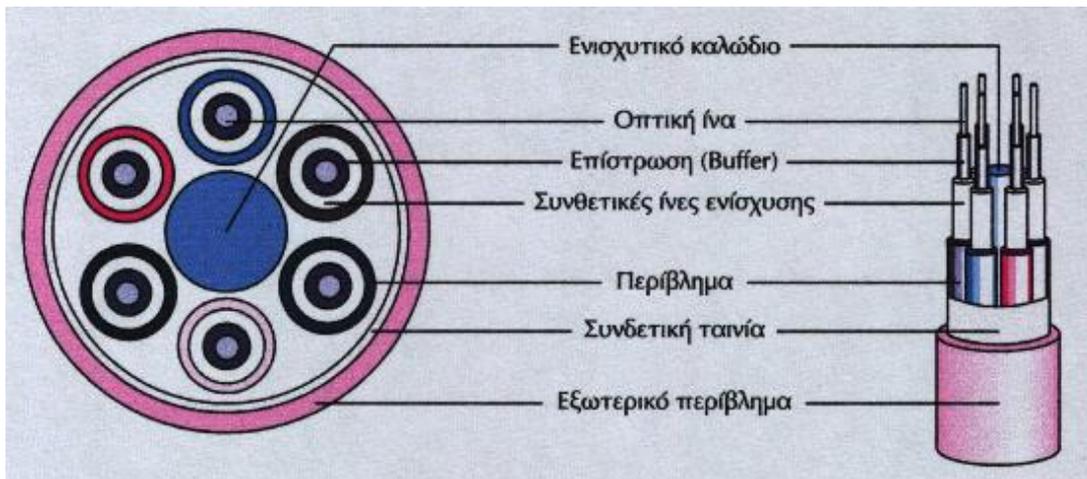
Σχήμα 2.14 Μονότροπη οπτική ίνα

Οι μονότροπες οπτικές ίνες, σε αντίθεση με τις πολύτροπες δεν διαχέουν τη δέσμη φωτός αλλά απαιτούν συγκέντρωση φωτός μεγάλης έντασης σε πυρήνα μικρής διαμέτρου, γεγονός που απαιτεί τη χρήση Laser. Η διάμετρος δηλαδή του πυρήνα να είναι στο επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου οπτικού σήματος.

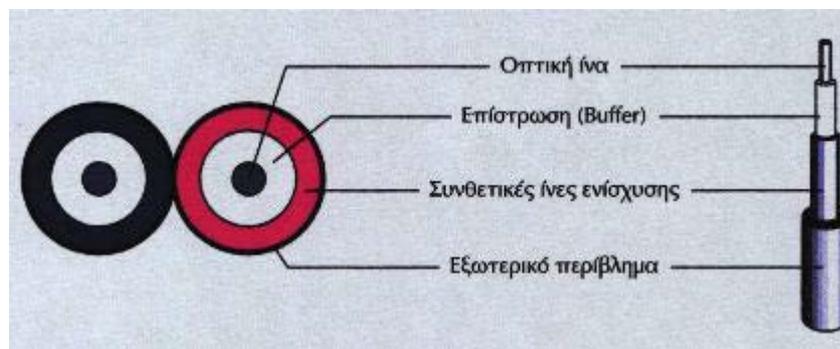
2.4 ΚΑΛΩΔΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι οπτικές ίνες κατατάσσονται σε κατηγορίες βάσει του τύπου του καλώδιου από το οποίο είναι κατασκευασμένες. Ο συνηθής αριθμός οπτικών ινών που περιέχεται μέσα στις οπτικές ίνες είναι 1 έως 36. Υπάρχουν ακόμη δυο τύποι οπτικών ινών αυτές που τα καλώδιά τους είναι με ζυγό αριθμό και χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία full duplex κυκλωμάτων και οι οπτικές ίνες τύπου Loose Buffer.

Στην πρώτη περίπτωση, υπάρχει σε κάθε οπτική ίνα και εξωτερικά από την επιστρώση, συνθετικές ίνες και εξωτερικό μονωτικό περίβλημα. Μέσα στο καλώδιο υπάρχουν τέτοιες ίνες, όπου η κάθε ίνα αποτελεί και ένα ξεχωριστό καλώδιο. Μέσα στο καλώδιο περιέχονται εκτός από καλώδια οπτικών ινών και καλώδια, τα οποία χρησιμεύουν για ενίσχυση και στρογγυλοποίηση του όλου σχήματος. Όλα αυτά τα καλώδια, περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Tight Buffer. Στο σχήμα 2.8 εμφανίζεται ανάλογη κατασκευή καλωδίου οπτικών ινών. Παρόμοιας κατασκευής είναι τα εύκαμπτα καλώδια, που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση με τον ενεργό εξοπλισμό (Optical Patch Cords). Αυτά αποτελούνται από δυο καλώδια ενωμένα στο εξωτερικό τους, το κάθε ένα από τα οποία περιέχει οπτική ίνα από πλαστικό. Στο σχήμα 2.9 εμφανίζεται ένα οπτικό καλώδιο σύνδεσης.

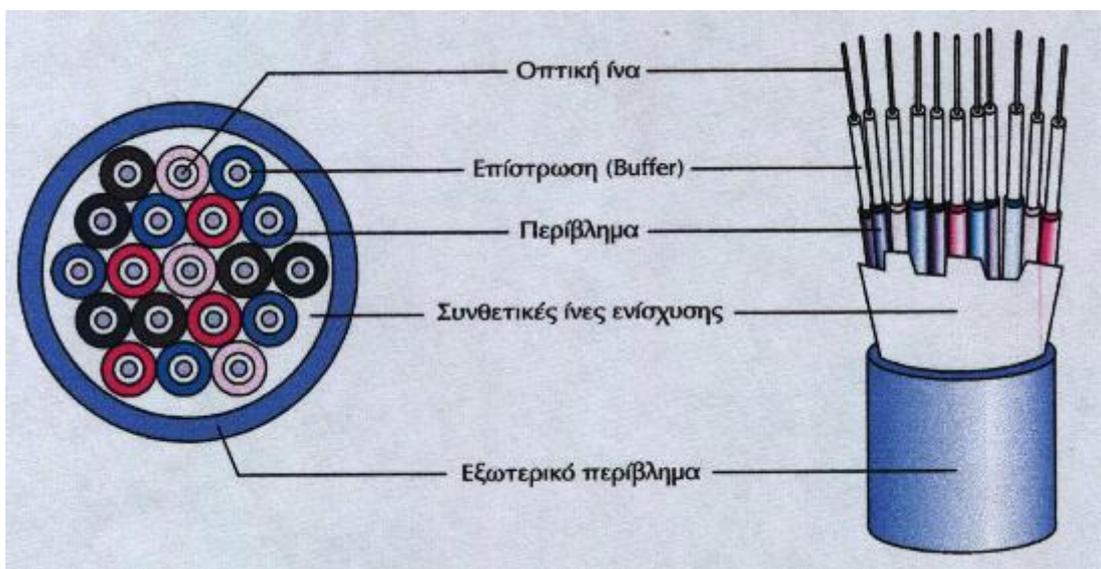


Σχήμα 2.8 Καλώδιο οπτικών ινών (Tight Buffer)



Σχήμα 2.9 Οπτικό Patch cord

Στην δεύτερη περίπτωση, έχουμε τις οπτικές ίνες με την επίστρωση τους να είναι τοποθετημένες ελεύθερα μέσα στο καλώδιο και περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα, αφού πρώτα τοποθετηθεί μέσα στο καλώδιο επίστρωση από συνθετικές ίνες για την ανθεκτικότητα του καλωδίου. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Loose Buffer. Στο σχήμα 2.10 εμφανίζεται ανάλογη κατασκευή καλωδίου οπτικών ινών.



Σχήμα 2.10 Καλώδιο οπτικών ινών (Loose Buffer)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΣΧΕΔΙΑΣΗ - ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**3.1 ΚΑΛΩΔΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**

Στη σχεδίαση οπτικών καλωδίων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω σημεία:

α) προστασία της ίνας

Ο κύριος σκοπός των προστατευτικών στρωμάτων είναι η διατήρηση της οπτικής ίνας σε καλή κατάσταση είτε στη διάρκεια της εγκατάστασης είτε στη διάρκεια της λειτουργίας της.

β) σταθερότητα των χαρακτηριστικών μετάδοσης της ίνας

Τα οπτικά καλώδια πρέπει να διατηρούν τις ιδιότητες μετάδοσης σημάτων που έχουν πριν τοποθετούν σ' αυτά τα προστατευτικά στρώματα.

γ) αντοχή του καλωδίου

Τα οπτικά καλώδια πρέπει να έχουν παρόμοιες ιδιότητες όσον αφορά την αντοχή στις εξωτερικές επιδράσεις. Οι μηχανικές ιδιότητες αναφέρονται στη μηχανική τάση, συμπίεση, κάμψη, πίεση, δόνηση και ροπή.

δ) αναγνώριση και σύνδεση ινών

Σε περίπτωση οπτικών καλωδίων που περιέχουν πολλαπλές ίνες είναι ανάγκη να διαχωρίζονται εύκολα οι οπτικές ίνες μεταξύ τους. Η σύνδεση ινών μεταξύ τους για αύξηση του μήκους της ζεύξης αποτελεί ένα σημαντικό τεχνολογικό πρόβλημα.

3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται ως αγωγοί φωτός και αποτελούνται από διάφορα μέρη. Ο εσωτερικός κυλινδρικός κεντρικός πυρήνας κατασκευάζεται από γυαλί πυριτίου ή από πλαστικό υλικό, με υψηλό δείκτη διάθλασης. Ο πυρήνας αυτός περιβάλλεται από μανδύα που αποτελείται από στρώμα γυαλιού πυριτίου ή πλαστικού υλικού με χαμηλό δείκτη διάθλασης. Το σύνολο προστατεύεται από πλαστικό στρώμα που αποτελείται από πολυαμίδια ή νήματα αραμιδίου. Η πρώτη επιστροφή χρησιμοποιείται ως μόνιμη προστασία για το ανακλαστικό εσωτερικό τμήμα μετάδοσης. Διαχωρίζει τις ίνες μεταξύ τους ώστε να μη συζευγνύονται μεταξύ τους και παρέχει το

μέσο διόδου με τη χρήση συστημάτων οπτικών ινών. Οι επενδυμένες με στρώμα οπτικές ίνες έχουν εξαιρετική ευκαμψία και ως οπτικά στοιχεία επιτρέπουν τη μετάδοση φωτός κατά μήκος των εύκαμπτων αξόνων τους. Μπορούν να δεχτούν έναν ευρύτερο κώνο φωτός από άλλα οπτικά συστήματα. Με περιορισμένη διάμετρο ενεργούν ως διηλεκτρικοί αγωγοί μετάδοσης κυμάτων που η διακίνηση τους συνδυάζεται με τα φωτεινά κύματα. Οι αγωγοί από απλές οπτικές ίνες προκειμένου να αποτελέσουν καλώδια απλής οπτικής ίνας περιβάλλονται από PVC και φτάνουν να έχουν τελική διάμετρο γύρω στα 2.8 χιλ. ή και περισσότερο. Το βάρος της μονότροπης οπτικής ίνας από 0.7 χιλγ./χιλιόμετρο χωρίς την πλαστική προστασία, φτάνει τα 7 χιλγ./χιλιόμετρο με την πλαστική επένδυση. Συνήθως τα καλώδια οπτικών ινών ενσωματώνονται σε ομάδες 1-2 ή 3-8 ή 9-12 οπτικών ινών ή και σε ομάδες με περισσότερες οπτικές ίνες και φέρουν μεταλλικές ή μη μεταλλικές προστατευτικές επικαλύψεις. Τα καλώδια για εξωτερική χρήση είναι σύνθετα και πολλές φορές συνδυάζονται με αγωγούς ηλεκτρικής παροχής, υπόγειους, υποβρύχιους ή εναέριους, με αγωγούς ηλεκτρικής προστασίας ή έχουν ειδική κατασκευή υψηλής αντοχής και άλλων κατασκευαστικών στοιχείων για ιατρικούς ή άλλους σκοπούς.

Η διαδικασία κατασκευής οπτικών ινών αποτελείται από τρία κύρια στάδια:

- α) την προετοιμασία του παρασκευάσματος που αποτελεί την πρώτη ύλη για την κατασκευή της οπτικής ίνας.
- β) την έλξη της ίνας.
- γ) την κάλυψη της ίνας με προστατευτικό περίβλημα.

Δυο τύποι γυαλιών έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για την κατασκευή οπτικών ινών: Τα πολυσυνιστάμενα γυαλιά και τα γυαλιά που είναι πλούσια σε διοξείδιο του πυριτίου. Για τους δυο αυτούς τύπους γυαλιών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι κατασκευής παρασκευασμάτων.

3.2.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΛΥΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΓΥΑΛΙΩΝ-ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΓΡΗΣ ΦΑΣΗΣ

Η επεξεργασία των πολυσυνισταμένων γυαλιών γίνεται σχετικώς εύκολα αφού έχουν σημείο τήξης στην περιοχή 800-1200°. Η τεχνολογία ανάπτυξης τους βασίζεται σε συμβατικές μεθόδους. Η σύνθεσή τους αποτελείται από ένα ή περισσότερα κύρια συστατικά γυαλιών με την πρόσμιξη μη-γυαλικών οξειδίων.

Για την έναρξη της κατασκευής πολυσυνισταμένων γυαλιών χρησιμοποιούνται είτε οξείδια απ' ευθείας ή μείγματα που διασπώνται σε οξείδια κατά τη διαδικασία της

θέρμανσης. Επειδή δεν υπάρχει μέθοδος καθορισμού των γυαλιών όταν αυτά έχουν λειώσει, οι πρώτες ύλες πρέπει να έχουν καθαρότητα σε υψηλό βαθμό. Η διαδικασία της θέρμανσης πρέπει να γίνει χωρίς την εισαγωγή ξένων ουσιών. Η προετοιμασία των πρώτων υλών για την έναρξη της διαδικασίας είναι αρκετά δύσκολη. Η παραμονή προσμείξεων μεταλλικών ιόντων επηρεάζει ουσιαστικά την εξασθένιση ανά μονάδα μήκους της ίνας που θα προκύψει στο τέλος διαδικασίας κατασκευής. Επιπρόσθετα η διαδικασία τήξης δεν πρέπει να δημιουργεί χημικές και οπτικές ανομοιογένειες. Η κύρια πηγή διαβρώσεως προέρχεται από το δοχείο μέσα στο οποίο γίνεται η τήξη του γυαλιού. Συνήθως εναέρια σωματίδια σκόνης παγιδεύονται μέσα στο γυαλί. Άρα η κατασκευή του κατάλληλου φούρνου είναι αρκετά κρίσιμη.

3.2.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΥΑΛΙΩΝ ΠΛΟΥΣΙΩΝ ΣΕ ΠΥΡΙΤΙΟ-ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΦΑΣΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Το αμιγές διοξείδιο του πυριτίου είναι το κύριο συστατικό των γυαλιών, έχει εξαιρετικές θερμικές και χημικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα διαθέτει πολύ υψηλό σημείο τήξης που δυσκολεύει την επεξεργασία με κλασικές μεθόδους.

Η ύπαρξη τεχνολογίας για την παραγωγή εξαιρετικά καθαρού διοξειδίου του πυριτίου επιτρέπει την κατασκευή υλικών με πολύ μικρή απόσβεση των οπτικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ο δείκτης διάθλασης των υλικών αυτών μπορεί να τροποποιείται με κατάλληλη προσθήκη προσμείξεων που ελάχιστα επηρεάζουν τις υπόλοιπες ιδιότητες των γυαλιών.

Οι πιο πετυχημένες μέθοδοι κατασκευής οπτικών ινών χρησιμοποιούν μεθόδους εναπόθεσης στη φάση εξάτμισης. Με την μέθοδο αυτή δεν εμφανίζονται τα προβλήματα διάβρωσης όπως στην περίπτωση της παρασκευής των πολυσυνισταμένων γυαλιών.

Η αρχή της τεχνικής εναπόθεσης σε φάση εξάτμισης βασίζεται στην ανάμιξη σε αεριώδη μορφή των ενώσεων πυριτίου ταυτόχρονα με τα αέρια πρόσμιξης και την εναπόθεση των παραγομένων οξειδίων με μία οξειδωτική αντίδραση. Η εναπόθεση γίνεται είτε σ' ένα υπόστρωμα ή στο εσωτερικό κενού σωλήνα όπου δημιουργούνται πολλαπλά στρώματα. Στην περίπτωση υποστρωμάτων δημιουργείται μία συμπαγής ράβδος. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες φάσεις για την κατασκευή οπτικών ινών και αυτές είναι:

- 1) Εξωτερική εναπόθεση με οξείδωση σε φάσεις εξάτμισης.
- 2) Αξονική εναπόθεση ατμών.
- 3) Τροποποιημένη μέθοδος χημικής εναπόθεσης ατμών.

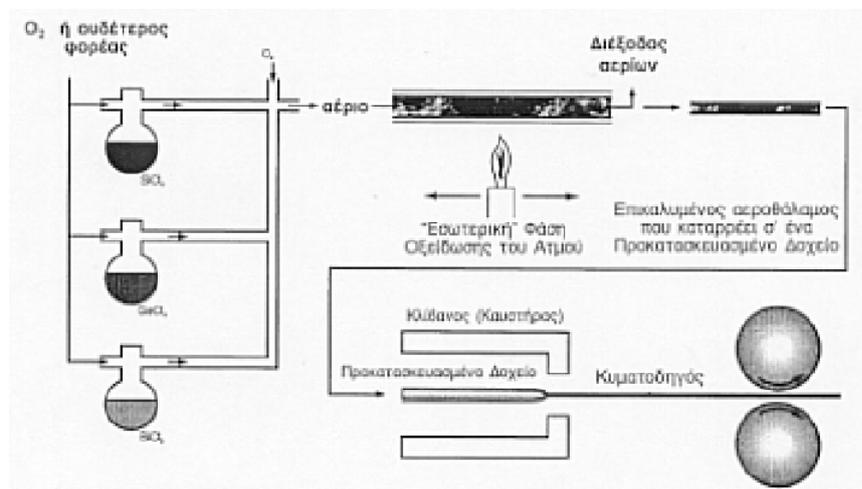
4) Χημική εναπόθεση ατμών με ενεργοποίηση πλάσματος.

3.3 Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Μπορεί μεν οι οπτικές ίνες να δημιουργούνται από γυαλί, θα πρέπει να τονιστεί όμως ότι το γυαλί αυτό δεν μπορεί να συγκριθεί, ως προς την καθαρότητα του, με το κοινό γυαλί που συναντάμε σε διάφορα αντικείμενα γύρω μας. Η φύση των δεδομένων που μεταδίδονται, καθώς και οι μεγάλες αποστάσεις που καλύπτουν τα καλώδια αυτά, απαιτούν το υλικό κατασκευής τους να είναι απολύτως διαφανές. Φυσικά αυτό δεν είναι εφικτό σε ποσοστό 100% και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ισχύς του φωτεινού σήματος μειώνεται σταδιακά.

Η δημιουργία μιας οπτικής ίνας πραγματοποιείται σε τρία βήματα, που είναι ο σχηματισμός ενός αρχικού υάλινου κύλινδρου, η τομή των ινών από τον κύλινδρο αυτό, καθώς και η δοκιμή για την αντοχή τους, αλλά και για την σωστή λειτουργία τους.

Στο πρώτο στάδιο, γίνονται όλες οι απαραίτητες χημικές διαδικασίες για τον σχηματισμό του καθαρού γυαλιού, ενώ ειδικός εξοπλισμός αναλαμβάνει να απομακρύνει από τον υάλινο κύλινδρο όλα τα ξένα σώματα, που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της οπτικής ίνας. Όπως αντιλαμβάνεται εύκολα κανείς, πρόκειται για το κυριότερο βήμα για τη δημιουργία των οπτικών ινών.

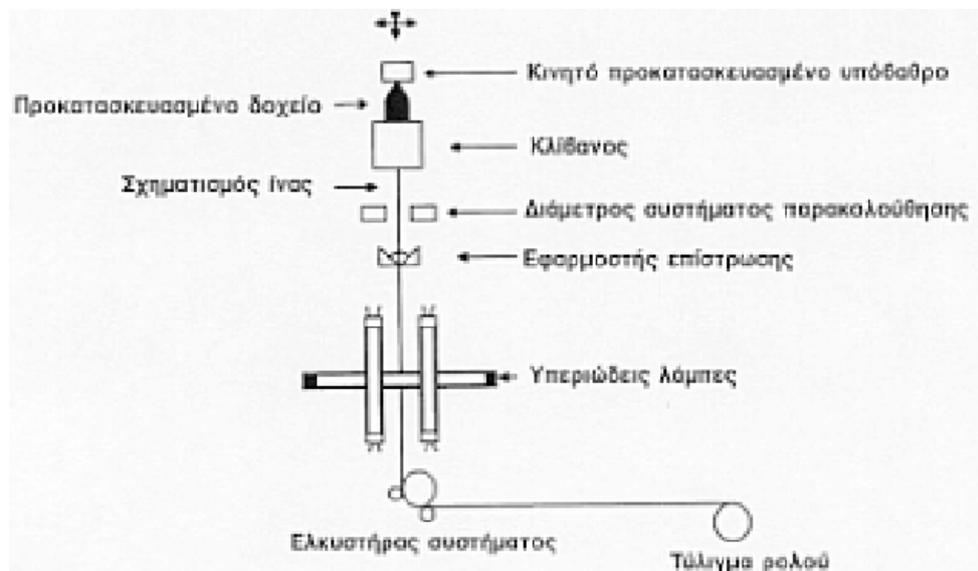


Σχήμα 3.1 Κατασκευή οπτικής ίνας

Αφού δημιουργηθεί ο αρχικός κύλινδρος, στη συνέχεια τοποθετείται σε μια συσκευή η οποία έχει το σχήμα πύργου και αναλαμβάνει τη δημιουργία των μικροσκοπικών ινών. Ο πύργος αυτός λιώνει το γυαλί σε θερμοκρασία περίπου 2.300 βαθμών Κελσίου και στη συνέχεια αυτό ρέει κατακόρυφα από μικρές οπές, οπότε και ψύχεται σταδιακά, ώστε να πάρει την τελική μορφή οπτικής ίνας. Ειδικοί μηχανισμοί

ελέγχουν τον σωστό της σχηματισμό, ενώ εξασφαλίζουν ότι η διάμετρός της δεν θα ξεπεράσει το φυσιολογικό όριο. Στο κάτω μέρος του πύργου, συναντάμε μια τροχαλία που αναλαμβάνει την περιέλιξη της οπτικής ίνας σε κυλίνδρους.

Στο τελικό στάδιο, η οπτική ίνα περνά από ένα σύνολο ελέγχων που εξασφαλίζουν ότι είναι σε θέση να διατεθεί προς χρήση, χωρίς να προξενηθούν τυχόν προβλήματα κατά τη χρήση της. Στα τεστ αυτά περιλαμβάνεται ο έλεγχος αντοχής κατά ενδεχόμενης θραύσης, το σωστό της σχήμα αλλά και η μέτρηση της διαφάνειας, καθώς από αυτή εξαρτάται η σωστή μετάδοση του φωτεινού σήματος. Καταγράφεται επίσης η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, η συμπεριφορά της οπτικής ίνας στα διάφορα μήκη κύματος (χρώματα) του φωτός που μεταδίδει, καθώς και οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος στις οποίες δύναται αυτή να λειτουργήσει σωστά.



Σχήμα 3.2 Μέθοδος ελκυσμού οπτικής ίνας

Όταν όλοι αυτοί οι έλεγχοι ολοκληρωθούν επιτυχώς, η οπτική ίνα πλέον διατίθεται στο εμπόριο για χρήση από τις εταιρείες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

3.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Εάν και η κατασκευή του καλωδίου είναι συνήθως μία ειδική εφαρμογή, υπάρχουν κοινά στοιχεία σε όλους τους τύπους καλωδίων των οπτικών ινών. Το πρώτο στοιχείο είναι η αποθηκευμένη ίνα, η οποία είναι κατασκευασμένη από ένα χαλαρό σωλήνα ή ένα σφικτό απομονωτή.

Ο χαλαρός σωλήνας είναι κατασκευασμένος για χαμηλότερη εξασθένηση αλλά εάν το καλώδιο βρίσκεται σε μεγάλη κλίση πέρα από τα όρια, τότε έχει σαν αποτέλεσμα

να σπάσει η ίνα. Στην κατασκευή χαλαρής δομής καλωδίου οι οπτικές ίνες εσωκλείονται μέσα σε πλαστικό μονωτή ο οποίος είναι γεμισμένος από μία ζελατίνα που εμποδίζει να διεισδύσει το νερό. Οι απομονωτές σωλήνες είναι γύρω τους πλεγμένοι από διηλεκτρικό ή ατσάλι το οποίο δεν επιτρέπει το στοιχείο να λυγίσει. Αυτό το είδος της κατασκευής χρησιμοποιείται για χρονοβόρες εφαρμογές και μόνιμες εγκαταστάσεις.

Μια βασική διαφορά μεταξύ του χαλαρού σωλήνα και του σφικτού απομονωτή καλωδίων είναι το πώς θα αντιδράσουν στις διακυμάνσεις των θερμοκρασιών. Επειδή η ίνα στον χαλαρό σωλήνα δεν είναι μηχανολογικά προσαρμοσμένη τείνει να λειτουργεί ευρέως στις ποικίλες θερμοκρασίες. Το αντίστροφο είναι πραγματικότητα στα περισσότερα καλώδια σφικτού απομονωτή. Το πρόβλημα με τον σφικτό απομονωτή είναι ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται μέσα στο καλώδιο έχουν συχνά υψηλό θερμικό συντελεστή διαστολής περισσότερο από αυτό που έχει το γυαλί που υπάρχει μέσα στην ίνα. Καθώς το καλώδιο ζεσταίνεται, η ίνα απλώνεται και όταν το καλώδιο κρυώνει, η ίνα συμπιέζεται. Αυτά τα απλώματα της ίνας προκαλούν την εξασθένησή της. Αυτό συνήθως αποκαλείται σαν υπερβολική καλωδιακή απώλεια, η οποία μπορεί να παραταθεί από μερικές εκατοντάδες dB ανά χιλιόμετρο ή και περισσότερο.

Το επίπεδο καλωδίου είναι μια παραλλαγή της κατασκευής χαλαρού σωλήνα. Είναι ένα σύμπλεγμα από επικαλυμμένες ίνες οι οποίες είναι παράλληλες μεταξύ τους και επικαλύπτονται από πλαστικό όπου έτσι σχηματίζουν ένα επίπεδο πολλαπλών ινών. Τυπικά από πέντε μέχρι δώδεκα ίνες εγκλείονται μέσα σε αυτό το επίπεδο πολλαπλών ινών με αυτό τον τρόπο. Αυτή η ομάδα ινών τοποθετείται μέσα σε ένα σωλήνα με καλωδιωμένο περίβλημα, και περικλείεται από ζελέ το οποίο είναι αντίστοιχο με το μοντέλο χαλαρού σωλήνα. Η απλή κατασκευή του επιπέδου καλωδίου παρέχει την δυνατότητα να ενωθούν όλες οι ίνες του καλωδίου ταυτόχρονα. Αυτή είναι μία πολύπλοκη εφαρμογή, αλλά εάν γίνει σωστά, τότε ο χρόνος που θα χρειαστεί να ενωθούν οι ίνες θα είναι παρά πολύ μικρός. Όμως η κακή μεταχείριση του επιπέδου καλωδίου κατά την διάρκεια της εγκατάστασης θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιά σε διάφορες οπτικές ίνες.

Το τελικό συστατικό του οπτικού καλωδίου είναι το κάλυμμα. Η επιλογή του υλικού καλύμματος απαιτεί την μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων, την εξασθένηση, την περιβαλλοντολογική πίεση, την ευφλεκτότητα. Μεταβολές στην σχεδίαση της εξωτερικής επένδυσης επιτρέπουν στην επένδυση να ενδασφαλισθεί στον πυρήνα του καλωδίου

γεμίζοντας τις εξωτερικές ρωγμές του πυρήνα. Σε μερικά καλώδια, τα ισχυρά μέλη ενισχύουν το περίβλημα, εμποδίζοντας την μετακίνηση του περιβλήματος δια μέσου του άξονα. Το πίνακας 3.1 δείχνει τα υλικά του περιβλήματος ενός κοινού καλωδίου.

ΥΛΙΚΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
Χλωριούχο πολυβινύλιο(PVC)	Κανονική μηχανική προστασία. Πολλές και διαφορετικές διαβαθμίσεις του PVC προσφέρουν επιβράδυνση φωτιάς και εξωτερική χρήση. Επίσης για εσωτερικές και γενικών σκοπών εφαρμογές.
Hypalon®	Μπορεί να αντέξει σε ακραίες περιβαλλοντολογικές συνθήκες, επιβράδυνση φωτιάς , ικανοποιητική θερμική σταθερότητα, αντίσταση στην οξείδωση, στο όζον και στην ακτινοβολία.
Πολυαιθυλένιο	Χρησιμοποιείται στα τηλεφωνικά καλώδια. Προβάλλει αντίσταση στα χημικά και στην υγρασία, χαμηλό κόστος. Το πολυαιθυλένιο είναι εύφλεκτο, άρα δεν χρησιμοποιείται στις ηλεκτρονικές εφαρμογές.
Θερμοπλαστικό Ελαστομερές(TPE)	Χαμηλό-κόστος εξαιρετικές μηχανικές και χημικές ιδιότητες.
Nylon	Χρησιμοποιείται σε απλούς αγωγούς για να βελτιώσει τις φυσικές ιδιότητες.
Kynar ®(Χλωριούχο Πολυβινυλιδένιο)	Προβάλλει αντίσταση στις αποξέσεις, στα κοψίματα, θερμικά σταθερό, αντιστέκεται στα περισσότερα χημικά, εκπομπή χαμηλού νέφους ίδιο-εξάλειψη. Χρησιμοποιείται σε καλώδια υψηλής επιβραδυντικής ικανότητας στην φωτιά που εκδηλώνεται στο χώρο.
Teflon ®FEP	Μηδενική εκπομπή καπνού, ακόμη και όταν εκτίθεται σε άμεση φλόγα. Κατάλληλο για θερμοκρασίες 200°C . χημικώς αδρανές. Χρησιμοποιείται σε καλώδια υψηλής επιβραδυντικής ικανότητας στην φωτιά που εκδηλώνεται στο χώρο.
Tefzel	Έχει πολλές από τις ιδιότητες του Teflonce χρησιμοποιείται στους 1500C ίδιο- εξαλείφεται.

Ακτινοβολούμενο Ενδο-Συζευγμένο Polyolefm (XLPE)	Χρησιμοποιείται στους 1500 C, μεγάλη αντίσταση σε περιβαλλοντολογικές πιέσεις, σπασίματα, κοψίματα, όζον, διαλυτικά, και συγκολλήσεις.
Θερμοπλαστικά με Μηδέν Αλογόνα	Η χαμηλή τους τοξικότητα τα κάνει κατάλληλα για χρήση σε οποιοδήποτε κλειστό περιβάλλον.

Πίνακας 3.1 Ιδιότητες των υλικών των περιβλημάτων καλωδίων.

3.5 ΣΥΝΔΕΣΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Στις συμβατικές γραμμές μεταφοράς, που χρησιμοποιούνται στις ραδιοσυχνότητες και τα μικροκύματα, και για τις οπτικές ίνες η σύνδεση δύο οπτικών ινών αποτελεί ένα σοβαρό τεχνολογικό πρόβλημα. Διακρίνουμε δύο ειδών συνδέσεις μεταξύ δύο οπτικών ινών:

- α) συνδέσεις μόνιμης ένωσης
- β) συνδέσεις με συνδετήρες οπτικών ινών

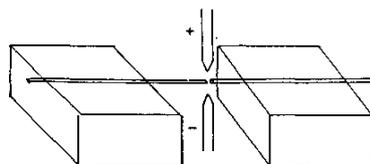
Για τον α) τύπο σύνδεσης έχουμε κατά κανόνα μια μόνιμη σύνδεση μεταξύ των ινών ενώ στη β) περίπτωση έχουμε συνδετήρες που μπορούν να «κουμπώσουν» και να «ξεκουμπώσουν».

- α) συνδέσεις μόνιμης ένωσης

Διακρίνουμε τις συνδέσεις του τύπου αυτού σε δύο κατηγορίες: συνδέσεις συγκόλλησης και μηχανικές συνδέσεις:

Συνδέσεις συγκόλλησης

Βασίζονται στη συγκόλληση δύο ινών με την τήξη των άκρων τους χρησιμοποιώντας βολταϊκό τόξο.



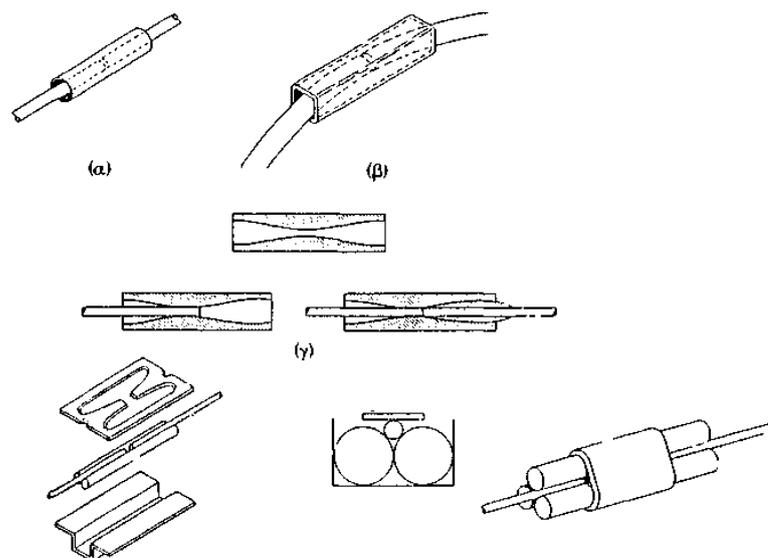
Σχήμα 3.3 Συγκόλληση με βολταϊκό τόξο

Η διάταξη που χρησιμοποιείται για το σκοπό φαίνεται στο σχήμα 3.3 Οι δύο ίνες που τα τερματικά τους επίπεδα έχουν λειανθεί κατάλληλα, τοποθετούνται στα δύο έδρανα

έτσι που να συμπίπτουν οι άξονές τους. Με την χρησιμοποίηση μηχανισμού μικρομετακίνησης οι δύο ίνες τοποθετούνται σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια με τα οποία αρχίζει το βολταϊκό τόξο.

Μηχανικές συνδέσεις

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μηχανικές μέθοδοι για τη σύνδεση οπτικών ινών. Στο σχήμα 3.4 δείχνουμε διάφορους τύπους μηχανικών συνδέσεων για οπτικά καλώδια που περιέχουν μία οπτική ίνα. Στη σύνδεση τύπου (α) χρησιμοποιείται κενός σωλήνας που η διάμετρος του μόλις επιτρέπει την είσοδο της οπτικής ίνας. Οι οπτικές ίνες τοποθετούνται μέσα στο σωλήνα και η σύνδεση σταθεροποιείται με εποξική ρητίνη που εξασφαλίζει προσαρμογή για το δείκτη διάθλασης. Ένας άλλος τρόπος σύνδεσης με κενό σωλήνα είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα 3.4 (β) όπου χρησιμοποιείται ένας υπερμεγεθυμένος τετραγωνικής διατομής σωλήνας. Στην περίπτωση αυτή οι ίνες τοποθετούνται ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές και κάμπτονται στο ίδιο επίπεδο οπότε έχουμε συνάντηση των δύο τερματικών επιπέδων. Η σύνδεση πάλι χρησιμοποιείται με εποξική ρητίνη. Μία εναλλακτική μέθοδος μηχανικής σύνδεσης είναι η χρησιμοποίηση κενών σωλήνων από γυαλί Pyrex που έχει χαμηλότερο σημείο τήξης από το γυαλί της οπτικής ίνας. Τοποθετώντας πάλι την οπτική ίνα μέσα στον κενό σωλήνα και θερμαίνοντας το γυαλί Pyrex δημιουργείται μία σύνδεση όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4 (γ).



Σχήμα 3.4 Διάφοροι μέθοδοι μηχανικής σύνδεσης οπτικών ινών

Σε άλλες συνηθισμένες μεθόδους μηχανικής σύνδεσης χρησιμοποιούνται συστήματα μηχανικών στηρίξεων όπως, παρουσιάζονται στο σχήμα 3.4. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 3.4δ όπου οι δύο ίνες που επιθυμείται η σύνδεση τοποθετούνται μέσα σ' ένα κανάλι. Για την προσαρμογή του δείκτη διάθλασης χρησιμοποιείται πάλι εποξική ρητίνη.

β) συνδετήρες οπτικών ινών

Η κατασκευή συνδετήρων που μπορούν να αποσυνδέονται είναι πολύ πιο δύσκολη από τις μόνιμες συνδέσεις. Αυτό διότι οι αυστηρές προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται στις οπτικές συνδέσεις πρέπει επίσης να ικανοποιούνται και στην περίπτωση των συνδετήρων που έχουν την ιδιότητα να συνδέονται και να αποσυνδέονται πολλές φορές. Η σχεδίαση και η κατασκευή των οπτικών συνδετήρων πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται σε ότι αφορά την ευθυγράμμιση των οπτικών ινών που επιθυμείται η σύνδεση. Επιπρόσθετα ο οπτικός συνδετήρας πρέπει να παρέχει ικανοποιητική προστασία στο άκρο της οπτικής ίνας και να συνδέεται εύκολα στις ίνες. Η μηχανική σταθερότητα και αντοχή του συνδετήρα επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Έκτος από τη σύνδεση ινών μεταξύ τους στην πράξη παρουσιάζεται το πρόβλημα της σύνδεσης της οπτικής ίνας με πηγές LED ή LASER και του φωτοφωρατή.

3.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Με την έναρξη της ευρείας χρησιμοποίησης των οπτικών ινών για μετάδοση σημάτων προέκυψε η ανάγκη καθορισμού τυποποιημένων διαδικασιών μέτρησης των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οπτικών ινών.

α) μέτρησης της εξασθένησης σε οπτικές ίνες

Η μέθοδος μέτρησης της εξασθένησης βασίζεται στη σύγκριση της εξασθένησης σε δύο ίνες. Σαν πηγή χρησιμοποιείται συμβατική πηγή φωτός με θερμαινόμενο νήμα. Το φως διαμορφώνεται κατά πλάτος μηχανικά μ' ένα περιστρεφόμενο μηχανικό διαμορφωτή.

β) μέτρηση της διασποράς σε οπτικές ίνες

Για την μέτρηση της διασποράς στις οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι που βασίζονται στην απόκριση στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Εξετάζουμε

τις δύο μεθόδους ξεχωριστά:

Μέτρηση στο πεδίο του χρόνου

Η πηγή Laser διαμορφώνεται απο ένα ταχύ διαμορφωτή. Η διάρκεια των εκπεμπομένων παλμών είναι 100-400 ps. Το παλμικό οπτικό σήμα διαιρείται σε δύο δέσμες. Η μια δέσμη ανιχνεύεται από ένα φωτοφωρατή χιονοστιβάδας. Το σήμα αυτό χρησιμοποιείται σαν αναφορά σ' ένα παλμογράφο δειγματοληψίας. Ο δεύτερος κλάδος της δέσμης οδηγείται στην ίνα και αφού ταξιδέψει σ' όλο το μήκος αυτής ανιχνεύεται από ένα φωτοφωρατή χιονοστιβάδας. Το σήμα της φώρασης παρατηρείται από τον παλμογράφο δειγματοληψίας.

Μέτρηση στο πεδίο των συχνοτήτων

Η οπτική ίνα διεγείρεται από μία πηγή LASER που διαμορφώνεται κατά πλάτος. Η διαμόρφωση είναι ημιτονική με συχνότητα που μεταβάλλεται με τον χρόνο.

γ) μέτρηση των ανακλάσεων στο πεδίο του χρόνου

Βασίζεται στην αρχή ραντάρ, δηλαδή την εκπομπή οπτικών παλμών στην οπτική ίνα και στην συνέχεια στην παρατήρηση στον άξονα του χρόνου των ανακλώμενων σημάτων από την οπτική ίνα. Η έξοδος από ένα παλμικό LASER εισάγεται στην οπτική ίνα μέσα από ένα διαιρέτη ισχύος. Το σήμα που διαδίδεται στην οπτική ίνα υφίσταται ανακλάσεις στα σημεία ασυνέχειας.

δ) μετρήσεις του δείκτη διάθλασης σε οπτικές ίνες

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι μέτρησης:

Μέθοδοι συμβολομετρίας

Χρησιμοποιούνται συμβολομετρικά μικροσκόπια με την βοήθεια των οποίων μπορούμε να μετρήσουμε τον αριθμό των κροσσών που έχουν μετατοπιστεί στο κέντρο της ίνας.

Μέθοδοι παρατήρησης του εγγύς πεδίου

Χρησιμοποιείται μια διάταξη ώστε η οπτική ίνα να φωτίζεται από μια συμβατική πηγή ακτινοβολίας για να διεγερθούν όλοι οι ρυθμοί με το ίδιο ποσοστό ισχύος.

Μέθοδοι σκέδασης της ακτινοβολίας

Στην μέθοδο αυτή η ίνα φωτίζεται κάθετα στον άξονα της από μια σύμφωνη πηγή

ακτινοβολίας. Καταγράφοντας την ένταση της συσκευαζόμενης ισχύος είναι δυνατόν να μετρηθεί η κατανομή του δείκτη διάθλασης.

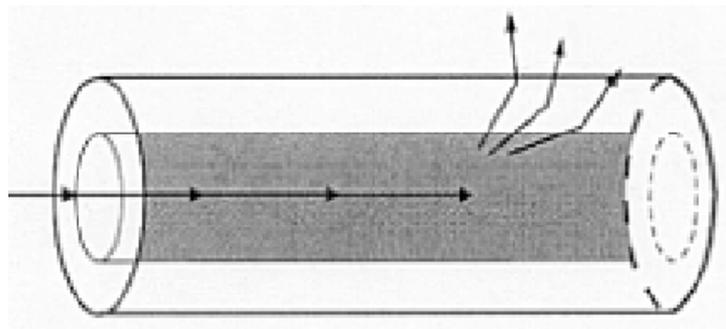
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

4.1 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ

Οι απώλειες εξασθένησης είναι μια λογαριθμική σχέση μεταξύ της εξερχόμενης οπτικής ισχύος και της εισερχόμενης οπτικής ισχύος σε ένα σύστημα οπτικής ίνας. Είναι ένα μέτρο της αποδυναμωσης της έντασης του σήματος, ή απώλεια της ισχύος του φωτός που συμβαίνει καθώς οι παλμοί του φωτός διαδίδονται κατά μήκος της ίνας.

Η εξασθένηση στην οπτική ίνα προκαλείται από πολλούς εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Δύο εσωτερικοί παράγοντες είναι η σκέδαση και η απορρόφηση. Ο πιο κοινός τρόπος σκέδασης, ή σκέδαση Rayleigh, προκαλείται από μικροσκοπικές ανομοιομορφίες στην οπτική ίνα. Αυτές οι ανομοιομορφίες προκαλούν τις ακτίνες φωτός να διασκορπιστούν κατά ένα μέρος, καθώς μεταδίδονται μέσα στην ίνα, με αποτέλεσμα κάποια ενέργεια φωτός να χάνεται. Η σκέδαση κατά Rayleigh αντιπροσωπεύει τον ισχυρότερο μηχανισμό εξασθένησης στις πιο σύγχρονες οπτικές ίνες, περίπου το 90% της ολικής εξασθένησης μπορεί να αποδοθεί σε αυτόν. Σημαντικό είναι όταν το μέγεθος της σύνθεσης του γυαλιού είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος του μήκους κύματος φωτός με το οποίο διαδίδεται στο γυαλί. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος, τόσο λιγότερο επηρεάζεται σε σύγκριση με το μικρότερο μήκος κύματος. Ο συντελεστής εξασθένησης ελαττώνεται καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται. Η σκέδαση κατά Rayleigh αυξάνεται πολύ σε μικρά μήκη κύματος. (Η σκέδαση Rayleigh προκαλεί το μπλε χρώμα του ουρανού. Μόνο τα χαμηλού μήκους κύματος μπλε χρώματα διασκορπίζονται σημαντικά από τα μόρια του αέρα).



Σχήμα 4.1 Σκέδαση

Η απορρόφηση, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2, μπορεί να προκληθεί από τη μοριακή δομή του υλικού από προσμίξεις στην ίνα, όπως μεταλλικά ιόντα και ιόντα OH^- (νερό) και ατομικά σφάλματα όπως ανεπιθύμητα οξειδωμένα μέταλλα στη σύνθεση

του γυαλιού. Αυτές οι ακαθαρσίες απορροφούν την οπτική ενέργεια και την καταναλώνουν σε ένα μικρό ποσό θερμότητας. Καθώς αυτή η ενέργεια καταναλώνεται, το φως γίνεται πιο αχνό. Στα μήκη κύματος 1,25 και 1,39 μm συμβαίνουν οπτικές απώλειες εξαιτίας της παρουσίας ιόντων OH^- στην ίνα. Πάνω από 1,7 μm μήκος κύματος, το γυαλί αρχίζει να απορροφά ενέργεια φωτός εξαιτίας του μοριακού συντονισμού του μορίου SiO_2 .

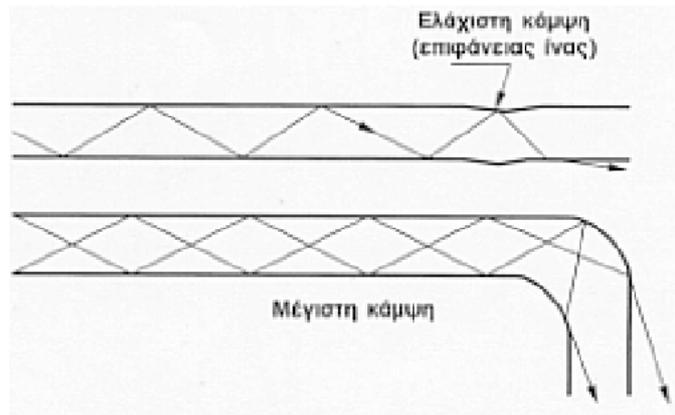
Εξωτερικοί παράγοντες εξασθένησης, περιλαμβάνουν παραγόμενες τάσεις καλωδίων, περιβαντολλογικές επιδράσεις και φυσικές κάμψεις της ίνας. Οι φυσικές κάμψεις μιας ίνας χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: στις μικροκάμψεις και στις μακροκάμψεις σχήμα 4.3. Η μικροκάμψη είναι το αποτέλεσμα των μικροσκοπικών ατελειών στη γεωμετρία της ίνας. Αυτές οι ατέλειες μπορεί να είναι περιστροφικές ασυμμετρίες, αλλαγές στη διάμετρο του πυρήνα, ισχυρά εμπόδια του πυρήνα και του περιβλήματος αποτέλεσμα της κατασκευής, πίεση ή στροφή.



Σχήμα 4.2 Απορρόφηση

Οι μακροκάμψεις αφορούν τις κυρτότητες της ίνας με διαμέτρους της τάξης των cm. Η απώλεια της οπτικής ισχύος είναι το αποτέλεσμα μιας μικρότερης -από-ολική ανάκλαση στο όριο πυρήνα- περιβλήματος. Στις μονότροπες ίνες, ο βασικός (διάδοσης) τρόπος μετατρέπεται μερικώς σε ένα ατελή (μερικό) τρόπο διάδοσης εξαιτίας των κάμψεων της ίνας. Εξαιτίας της αύξησης στο πεδίο διαμέτρου με το μήκος κύματος σε μια δεδομένη μονότροπη ίνα, οι απώλειες μακροκάμψεων θα είναι μεγαλύτερες σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Η απώλεια κάμψης είναι συνήθως αμελητέα αν η ακτίνα της κάμψης είναι μεγαλύτερη από 10 cm.

Το πόσο εξασθένησης που προκαλείται από μια οπτική ίνα καθορίζεται από το μήκος της και το μήκος κύματος φωτός που ταξιδεύει μέσα στην ίνα.

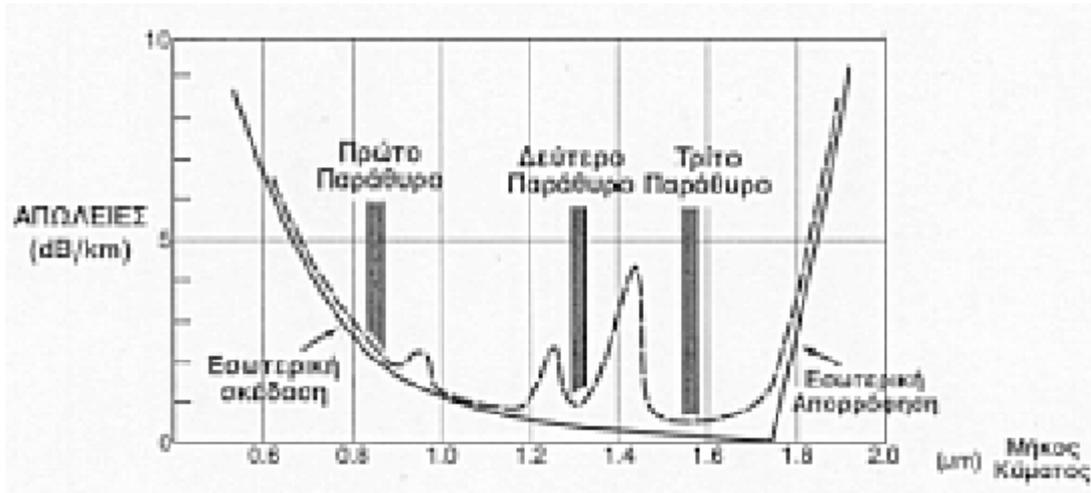


Σχήμα 4.3 Κάμψη

Υπάρχουν επίσης και πολλοί δευτερεύοντες παράγοντες που συνεισφέρουν. Το σχήμα 4.4 δείχνει την απώλεια ανά μονάδα μήκους μιας τυπικής σύγχρονης ίνας. Το σχήμα καλύπτει μήκη κύματος 0.5μm -1.9μm. Σαν σημείο αναφοράς, το ανθρώπινο μάτι βλέπει φως εύρους 0,4 μm (μπλε)- 0.7 μm (κόκκινο). Οι περισσότερες σύγχρονες μεταδόσεις οπτικής ίνας γίνονται σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από το κόκκινο, στη υπέρυθρη περιοχή. Υπάρχουν τρεις σημαντικές περιοχές μηκών κύματος οπτικών ιών 850nm, 1300nm και 1550 nm. Αυτά τα συγκεκριμένα μήκη κύματος επιλέχθηκαν γιατί η απώλεια της ίνας είναι χαμηλότερη σ' αυτά τα μήκη κύματος. Υπάρχουν τρεις μηχανισμοί, οι οποίοι επηρεάζουν τις απώλειες μιας ίνας σε δεδομένο μήκος κύματος. Σε μικρότερα μήκη κύματος η σκέδαση κατά Rayleigh είναι σημαντική και αυξάνεται.

Σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, η απορρόφηση κυριαρχεί καθώς τα μόρια του γυαλιού αρχίζουν να συντονίζονται. Στο μεταξύ σημαντική είναι και η απορρόφηση από προσμίξεις. Η γραμμή στο σχήμα 4.4. Δείχνει περίπου τη θέση της απορρόφησης που προκαλείται από τα ιόντα OH^- . Αυτή είναι συνήθως η πιο βλαβερή πρόσμιξη στην ίνα. Όταν αυτοί οι τρεις μηχανισμοί απώλειες θεωρηθούν μαζί, υπάρχουν μόνο λίγες διακυμάνσεις. Το σχήμα δείχνει ότι στην πραγματικότητα υπάρχουν τέσσερις διακυμάνσεις. Η περιοχή 1060 nm είναι ένα χαμηλό σημείο το οποίο έχει αναπηδήσει και δεν ξανάγινε σημαντικό αν και μερικές εταιρίες όπως, η ΙΤΤ, μπόρεσαν και παρήγαγαν ζεύξεις οπτικών ιών στις αρχές του 1980 που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτή την περιοχή. Η περιοχή 850nm, που ονομάζεται πρώτο παράθυρο, ήταν η πρώτη που εκμεταλλεύτηκε ευρέως εξαιτίας της LED και της ανιχνευτικής τεχνολογίας που ήταν διαθέσιμη εκείνη την εποχή. Η περιοχή 1300nm, το δεύτερο παράθυρο, είναι πολύ δημοφιλής σήμερα εξαιτίας των δραματικά χαμηλών απωλειών, και της χαμηλότερης διασποράς σ' αυτό το μήκος κύματος. Η περιοχή 1550nm, το τρίτο παράθυρο,

χρησιμοποιείται γενικά μόνο σε περιπτώσεις όπου η χρήση των επαναληπτών μπορεί να απαιτείται αλλιώς ή σε συνδυασμό με άλλα μήκη κύματος όπως σε ένα σύστημα πολυπλεξίας με διαίρεση του μήκους κύματος. Ένας καλός κανόνας είναι ότι η απόδοση και το κόστος αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος κύματος. Ένα τέταρτο μήκος κύματος 780nm, χρησιμοποιείται επίσης. Χαμηλού κόστους "CD" lasers σ' αυτό το μήκος κύματος κατασκευάζονται σε μεγάλες ποσότητες πράγμα που τους κάνει πολύ οικονομικούς.



Σχήμα 4.4 Οπτική Απώλεια σε συνάρτηση με το μήκος κύματος

4.2 ΔΙΑΣΠΟΡΑ

Διασπορά είναι ο τεχνικός όρος για τη διεύρυνση των παλμών φωτός, καθώς ταξιδεύουν μέσα στην οπτική ίνα. Η διασπορά περιορίζει το εύρος ζώνης στην οπτική ίνα, ελαττώνοντας την ποσότητα των πληροφοριών που μπορεί να μεταφέρει η ίνα. Οι πιο σημαντικοί τύποι διασποράς είναι η διασπορά του τρόπου και η χρωματική διασπορά, που περιλαμβάνει διασπορά υλικού, διασπορά κυματοδηγού, κατανεμημένη διασπορά.

4.2.1 ΠΟΛΥΤΡΟΠΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ

Η διασπορά του τρόπου περιγράφει τη διεύρυνση του παλμού στις πολύτροπες ίνες που προκαλείται από τους διάφορους τρόπους μετάδοσης, με διαφορετικές ταχύτητες μέσα στην ίνα. Αυτός ο τύπος διασποράς ονομάζεται μερικές φορές διασπορά στον τρόπο επειδή είναι χαρακτηριστικό μόνο μιας πολύτροπης ίνας. Η πολύτροπη διασπορά μπορεί να ελαττωθεί με τρεις τρόπους:

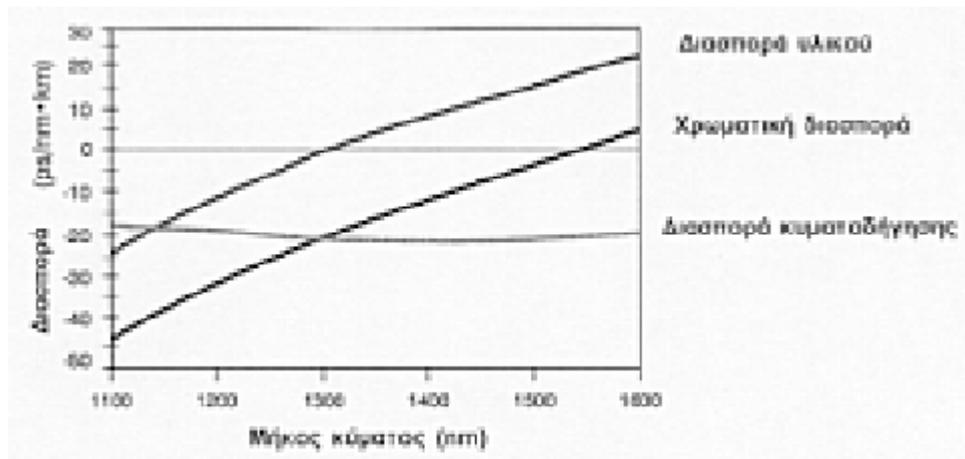
- 1) Χρησιμοποιώντας ίνα μικρότερης διαμέτρου πυρήνα ώστε να ελαττωθούν οι τρόποι μετάδοσης μέσα από την ίνα.

- 2) Χρησιμοποιώντας ένα διαβαθμισμένου δείκτη. Ίνες διαβαθμισμένου δείκτη χρησιμοποιούν διαφορετικούς δείκτες διάθλασης στην ίνα ώστε όλοι οι τρόποι να φτάνουν στο τέλος της μαζί.
- 3) Χρησιμοποιώντας μονότροπη ίνα. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες αυτή η επιλογή εξαλείφει την πολύτροπη διασπορά.

Για να τεκμηριώσουμε την τρίτη περίπτωση, η μονότροπη ίνα μεταδίδει ένα απλό τρόπο σε μήκος κύματος μεγαλύτερο από το μήκος της αποκοπής. Για μια τυπική μονότροπη ίνα 1300nm (διαμέτρου πυρήνα 9μm), το μήκος κύματος αποκοπής είναι μεταξύ 1150nm και 1200nm. Σε μήκη κύματος μικρότερα από το κατώφλι, η μονότροπη διάδοσης ίνα γίνεται διπλού τρόπου, μετά τριπλού τρόπου κ.τ.λ.. Όλο και περισσότερο, η μονότροπη ίνα των 9μm χρησιμοποιείται σε μικρού μήκους κύματος laser στα 780-850nm. Σ' αυτά τα μήκη κύματος, ίνα με πυρήνα 9μm είναι διπλού τρόπου διάδοσης. Υπάρχει μια ειδικού μεγέθους μονότροπη ίνα με διάμετρο πυρήνα 5μm, αλλά χρησιμοποιείται σπάνια εξαιτίας του κόστους της και της δυσκολίας σύζευξης με πηγή φως σε τέτοιου μικρού μεγέθους πυρήνα. Το συμπέρασμα είναι ότι η πολύτροπη διασπορά είναι άλλος ένας παράγοντας σε συστήματα μικρού μήκους κύματος που απαιτεί απλή μονότροπη ίνα με διάμετρο πυρήνα 9μm. Όταν παρουσιάζεται πολύτροπη διασπορά, κυριαρχεί σε τέτοιο σημείο, που οι άλλοι τύποι διασποράς μπορούν τυπικά να αγνοηθούν.

4.2.2 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ

Η χρωματική διασπορά αντιπροσωπεύει το γεγονός ότι διαφορετικά χρώματα ή μήκη κύματος διάδοσης, μεταδίδονται σε διαφορετικές ταχύτητες ακόμα και στον ίδιο τρόπο. Η χρωματική διασπορά είναι αποτέλεσμα της υλικής διασποράς, κυματοδηγούμενης διασποράς και κατανεμημένης διασποράς. Στο σχήμα 4.5 παρακάτω φαίνεται η χρωματική διασπορά μαζί με τις άλλες συνιστώσες της, κυματοδηγούμενης διασποράς και διασπορά υλικού. Σε αυτό το παράδειγμα, η χρωματική διασπορά μηδενίζεται σε ένα μήκος κύματος κοντά στα 1550nm. Αυτό είναι χαρακτηριστικό ίνας μετατοπισμένης διασποράς. Η κοινή μονότροπη ίνα ή πολύτροπη έχει διασπορά 0 σε μήκος κύματος 1300nm. Σ' αυτό το μήκος κύματος, η κυματοδηγούμενη διασπορά είναι μικρή. Στην πράξη πρέπει να παρθούν ειδικά μέτρα ώστε να αυξηθεί η κυματοδηγούμενη διασπορά ώστε να αλλάξει το μήκος κύματος της μηδενικής διασποράς στα 1550nm.



Σχήμα 4.5 Χρωματική διασπορά

Αν μπορέσει να λειτουργήσει μια ίνα σε μήκος κύματος μηδενικής διασποράς με πηγή μονοχρωματικού φωτός, το εύρος ζώνης της ίνας θα είναι πολύ μεγάλο.

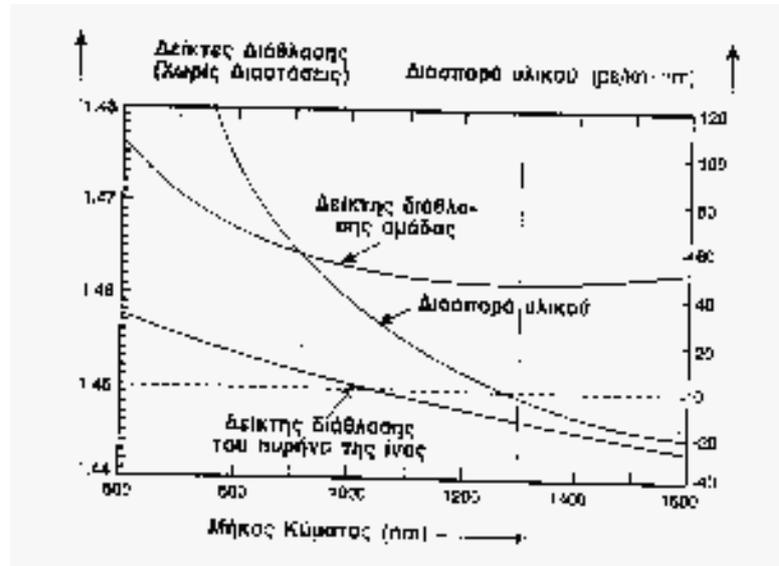
4.2.3 ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΥΛΙΚΟΥ

Διαφορετικά μήκη κύματος μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες σε μια ίνα, ακόμα με τον ίδιο τρόπο. Κάθε μήκος κύματος μεταδίδεται με διαφορετική ταχύτητα μέσα σ' ένα υλικό. Η διασπορά που προκαλείται από αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διασπορά υλικού. Δυο παράγοντες καθορίζουν το ποσοστό της διασποράς υλικού που θα συμβεί:

- 1) Το εύρος των μηκών κύματος φωτός που θα διοχετευτούν στην ίνα: μια πηγή εκπέμπει πολλά μήκη κύματος παρά ένα μήκος κύματος. Αυτό είναι το φασματικό εύρος της πηγής. Τα LED's έχουν πολύ μεγαλύτερο φασματικό εύρος (περίπου 35-170 nm) από τα laser (0,1-5 nm).
- 2) Το κεντρικό μήκος κύματος λειτουργίας της πηγής: περίπου 850 nm, τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (κόκκινα) μεταδίδονται ταχύτερα απ' ό,τι τα χαμηλά μήκη κύματος (μπλε). Παρόλα αυτά, στα 1550 nm η κατάσταση αντιστρέφεται και τα χαμηλότερα μπλε μήκη κύματος μεταδίδονται γρηγορότερα από τα μεγαλύτερα κόκκινα. Το σημείο όπου τα μήκη κύματος μεταδίδονται με την ίδια ταχύτητα είναι στα 1300 nm, το μήκος κύματος της μηδενικής διασποράς.

Η διασπορά υλικού επηρεάζεται αρκετά από τις μονότροπες ίνες. Στις πολύτροπες ίνες, η πολύτροπη διασπορά αντικαθιστά την διασπορά υλικού όσο αφορά το αποτέλεσμα που έχει στο σύστημα. Το σχήμα 4.6 δείχνει το δείκτη διάθλασης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος για ίνα καθαρού Si πυρήνα. Ο δείκτης διάθλασης της ομάδας, που ονομάζεται group index, η ταχύτητα του φωτός στο κενό διαιρούμενη με

την ταχύτητα ομάδας του τρόπου διάδοσης. Αυτή η ταχύτητα μετάδοσης είναι αντιστροφή του ρυθμού αλλαγής της σταθερής φάσης σε σχέση με την γωνιακή συχνότητα. Η σχέση αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με την σύνθεση του πυρήνα της ίνας.



Σχήμα 4.6 Διασπορά υλικού

4.2.4 ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΥ

Όπως και στη διασπορά υλικού, η διασπορά κυματοδηγού είναι σημαντικότερη για τις μονότροπες ίνες από ότι για τις πολύτροπες. Αυτή συμβαίνει επειδή η οπτική ενέργεια μεταδίδεται στον πυρήνα και στο περίβλημα με μικρής διαφοράς ταχύτητας. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα των διαφορετικών δεικτών διάθλασης στον πυρήνα και στο περίβλημα. Οι πρακτικές μονότροπες ίνες σχεδιάζονται ώστε η διασπορά υλικού και η κυματοδηγούμενη να αλληλοαναιρούνται στο μήκος κύματος που θέλουμε.

4.2.5 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ (ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΣΤΟ PROFILE)

Οι δείκτες διάθλασης του πυρήνα και του περιβλήματος επηρεάζουν την ταχύτητα ομάδας σε μια ίνα. Αυτές οι διαφορές συνήθως διατυπώνονται με τον κατανομημένο δείκτη διάθλασης. Αυτή είναι μια περιγραφή της τιμής του δείκτη διάθλασης σε συνάρτηση της απόστασης από τον οπτικό και σε όλη την διάμετρο της οπτικής ίνας. Η κατανομημένη διασπορά προκαλείται από διαφορετικού μήκος κύματος εξαρτήσεις των δεικτών διάθλασης του πυρήνα και του περιβλήματος. Αυτές οι διαφορές προκαλούνται από τα διαφορετικά υλικά. Αυτή η παράμετρος είναι πιο σημαντική στις πολύτροπες ίνες επειδή η κατανομή μπορεί να βελτιστοποιηθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΙ

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ήδη από πολλούς για τη μετάδοση δεσμών φωτός μεταξύ δύο σημείων που συνδέονται μέσω ενός όχι απαραίτητα ευθύγραμμου δρόμου μικρού μήκους, όπως π.χ. από ένα πέταγμα σ' έναν ανιχνευτή. Αν οι οπτικές ίνες μιας δέσμης έχουν προσανατολιστεί προσεκτικά μεταξύ τους, η δέσμη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση μιας εικόνας.

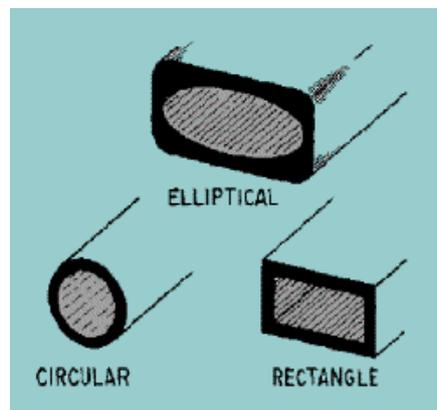
Έχει ακόμα μεγαλύτερη σημασία το ότι οι χαμηλών απωλειών επίπεδοι κυματοδηγοί, που αναπτύχθηκαν πρόσφατα, είναι πολύτιμοι στις οπτικές επικοινωνίες και σ' άλλα συναφή πεδία. Οι κυματοδηγοί είναι μεταλλικοί σωλήνες διατομής συνήθως ορθογωνικής αλλά και σε μερικές περιπτώσεις ελλειπτικής ή κυκλικής και χρησιμοποιούνται ευρέως στις μικροκυματικές εφαρμογές λόγω της ιδιότητάς τους να επιτρέπουν τη μετάδοση ισχύος με τιμές που κυμαίνονται από μερικά mW μέχρι δεκάδες KW. Τα τοιχώματα των κυματοδηγών είναι πολύ υψηλής αγωγιμότητας με συνέπεια την εμφάνιση πολύ χαμηλών θερμικών απωλειών κατά τη μετάδοση της μικροκυματικής ισχύος. Σε αρκετές εφαρμογές, το εσωτερικό του κυματοδηγού καταλαμβάνεται από κατάλληλο διηλεκτρικό υλικό πολύ χαμηλής αγωγιμότητας με στόχο τη βελτίωση των χαρακτηριστικών διάδοσης του κυματοδηγού χωρίς να προσauxάνονται σημαντικά οι απώλειες μετάδοσης. Η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση του εσωτερικού του κυματοδηγού επιβάλλει τον περιορισμό του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του κυματοδηγού με αποτέλεσμα την αποφυγή παρεμβολών από εξωτερικές πηγές και ακτινοβολίας στον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης οι επίπεδοι κυματοδηγοί καταλαμβάνουν μικρό όγκο, είναι εύκαμπτοι, σχετικά χωρίς απώλειες και δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Σε μικροκυματικές συχνότητες (3-300GHz) οι γραμμές μεταφορές είναι μη αποτελεσματικές, παρουσιάζοντας υψηλές απώλειες λόγω του επιδερμικού φαινομένου και των απωλειών διηλεκτρικού. Για το λόγο αυτό για τη μεταφορά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε μεγάλη σχετικά απόσταση, σε υψηλές συχνότητες, χρησιμοποιούμε κυματοδηγούς οι οποίοι παρουσιάζουν χαμηλές απώλειες. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν μεγαλύτερη διατομή από την οποία μπορεί να περάσουν οι ρευματικές κατανομές, έχοντας έτσι μικρότερες ωμικές απώλειες και έχει σαν διηλεκτρικό τον αέρα, ο οποίος παρουσιάζει πολύ μικρότερες απώλειες διηλεκτρικού.

Η κατασκευή τους γίνεται από χαλκό, αλουμίνιο, ή κάποιο κράμα που έχει καλή αγωγιμότητα. Στις πολύ μεγάλες συχνότητες μπορεί να είναι επαργυρωμένοι ή επιχρυσωμένοι. Το βασικό μειονέκτημα τους η δυσκολία εγκατάστασης και ο όγκος τους. Υπάρχουν επίσης και εύκαμπτοι κυματοδηγοί, με κάποιο περιορισμένο βέβαια βαθμό ευκαμψίας

Υπάρχουν διάφορα είδη κυματοδηγών, ανάλογα με το σχήμα τους:

- 1) Κυκλικός κυματοδηγός
- 2) Ελλειπτικός κυματοδηγός
- 3) Ορθογώνιος κυματοδηγός

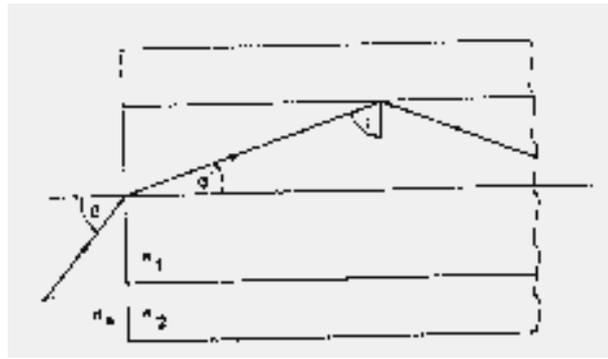


Σχήμα 5.1 Είδη κυματοδηγών

Συνήθως, ορθογωνικοί κυματοδηγοί χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικροκυματικών συχνοτήτων, όπως οι δορυφορικές επικοινωνίες και οι εφαρμογές ραδιοεντοπισμού, για τη μεταφορά της μικροκυματικής ισχύος από την γεννήτρια στην κεραία εκπομπής ή από την κεραία λήψης στο σύστημα επεξεργασίας του δέκτη.

5.1 ΑΚΤΙΝΕΣ ΜΕΣΑ ΣΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Ένας κυματοδηγός οπτικής ίνας κατασκευάζεται από ένα γυάλινο πυρήνα που περιβάλλεται από ένα περίβλημα μικρότερου δείκτη διάθλασης. Ο πυρήνας της ίνας που φαίνεται στο σχήμα 5.2 έχει ομοιόμορφο δείκτη διάθλασης n_1 . Ο δείκτης διάθλασης αλλάζει απότομα σε n_2 στην οριακή επιφάνεια πυρήνα-περιβλήματος. Αν $n_2 < n_1$ η ίνα είναι ικανή να παγιδεύει μια φωτεινή δέσμη στον πυρήνα της λόγω ολικής εσωτερικής ανάκλασης.



Σχήμα 5.2 Οπτικός κυματοδηγός

Για μεγάλη απόδοση συλλογής ακτίνων, ο κυματοδηγός πρέπει να φωτίζεται από μια φωτεινή πηγή της οποίας το αριθμητικό άνοιγμα δεν είναι μεγαλύτερο από το αριθμητικό άνοιγμα του κυματοδηγού. Ο κυματοδηγός θα προσκολλάται σε μια φωτοδίοδος εκπομπής (LED) ή σ' άλλο στοιχείο με κόλλα της οποίας ο δείκτης διάθλασης είναι πολύ κοντά σ' εκείνον του πυρήνα.

Εξ αιτίας του περιορισμένου εύρους γωνιών που θα επιτρέπουν διάδοση κατά μήκος της ίνας, η ζεύξη μιας πηγής με ένα κυματοδηγό είναι προβληματική. Για παράδειγμα, στις οπτικές επικοινωνίες οι φωτοδιόδους εκπομπής είναι από τις πιο χρήσιμες πηγές. Οι πηγές αυτές ακτινοβολούν σε ένα πλήρες ημισφαίριο. Κατά συνέπεια ο κυματοδηγός μπορεί να δεχτεί μόνο ένα μικρό κλάσμα της φωτεινής ισχύος που εκπέμπεται από τη δίοδο. Άρα, αν ο πυρήνας έχει τουλάχιστον την ίδια διάμετρο με τη δίοδο, η αποδοτικότητα της σύνδεσης μεταξύ του κυματοδηγού και της διόδου είναι ίση (είναι μικρότερη αν η δίοδος έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τον πυρήνα).

Σε ένα πραγματικό κυματοδηγό, περισσότερη ισχύς μεταφέρεται από ακτίνες στον άξονα παρά από ακτίνες με κλίση παραπλήσια της κρίσιμης γωνίας επειδή οι τελευταίες υφίστανται μεγαλύτερη απώλεια. Επί πλέον σε κυματοδηγό πολύ μεγάλου μήκους υπάρχει σημαντική σκέδαση κατά συνέπεια, ισχύς εναλλάσσεται από ακτίνες μεγάλης κλίσης σε αξονικές ακτίνες και αντιστρόφως. Και οι δύο αυτοί παράγοντες μειώνουν τη μεταβολή του χρόνου διάβασης και καταλήγουν να κάνουν το εύρος ζώνης κάπως μεγαλύτερο από την πρόβλεψή μας.

Στην πράξη, οι επίπεδοι κυματοδηγοί διαφέρουν σημαντικά από τις συμβατικές οπτικές ίνες. Η διαπερατότητα της καλύτερης συμβατικής οπτικής ίνας είναι της τάξεως (-40dB) για ένα μήκος 1km, εξ αιτίας απωλειών που οφείλονται σε ρωγμές και σκέδαση. Οι επίπεδοι κυματοδηγοί από πυριτική ύαλο υψηλής καθαρότητας, εμφανίζουν διαπερατότητες κατά 50% υψηλότερες (-3dB) για τμήμα 1km. Επιπλέον, οι επίπεδοι

κυματοδηγοί κατασκευάζονται με πολύ παχύ περίβλημα, εν μέρει για να περιορισθούν οι παρεμβολές ή «συνακροάσεις» μεταξύ γειτονικών κυματοδηγών.

Όταν η διάμετρος του πυρήνα ενός κυματοδηγού είναι μικρότερη από 10 ή 20 μm η γεωμετρική οπτική δεν είναι αρκετά ακριβής για την περιγραφή της διάδοσης μέσα στον κυματοδηγό αυτό, και πρέπει να χρησιμοποιηθεί και η κυματική οπτική. Ειδικότερα, οι κυματοδηγοί με πυρήνα διαμέτρου μόνο μερικών μm , που ονομάζονται κυματοδηγοί μοναδικού ρυθμού, μπορούν να μεταδώσουν μόνο μια πολύ απλή δέσμη, γνωστή ως μοναδικός ρυθμός ακτινοβολίας. Οι κυματοδηγοί μοναδικού ρυθμού δεν επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις του χρόνου διάβασης που περιγράφηκαν πάρα πάνω και μπορούν κατ' αρχήν να μεταδώσουν εύρη ζώνης ηλεκτρικών σημάτων ως 10⁶ MHz για διαδρομή 1km. Εύρος ζώνης αυτής της τάξεως αντιστοιχεί σε πολύ μεγάλη χωρητικότητα μετάδοσης πληροφορίας. Δυστυχώς οι κυματοδηγοί μοναδικού ρυθμού είναι πολύ μικρής διαμέτρου με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η μετάδοση αρκετής ισχύος ή η αποτελεσματική ζεύξη ισχύος μέσα στον κυματοδηγό. Εν τούτοις τα laser ημιαγωγού θερμοκρασίας δωματίου και οι αποδοτικές τεχνικές ζεύξης που έχουν αναπτυχθεί, έχουν κάνει τους κυματοδηγούς μοναδικού ρυθμού ελκυστικούς σε εφαρμογές υποθαλάσσιας μετάδοσης ή μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις.

Οι κυματοδηγοί βαθμιαίου δείκτη επίσης παρουσιάζουν μικρή διακύμανση του χρόνου διάβασης. Οι κυματοδηγοί αυτοί έχουν δείκτη διάθλασης που ελαττώνεται βαθμιαία με την απόσταση από τον άξονα της ίνας. Εξαιτίας της μεταβολής αυτής του δείκτη διάθλασης, οι ακτίνες που έχουν κλίση ως προς τον άξονα διαδίδονται κατά μέσο όρο σε μέσο με δείκτη διάθλασης μικρότερου από το δείκτη διάθλασης κατά μήκος του άξονα. Αν γίνει σωστή ρύθμιση της κατανομής του δείκτη διάθλασης κατά μήκος της διαμέτρου του κυματοδηγού, ο κυματοδηγός θα έχει ελάχιστη διακύμανση χρόνου διάβασης, άρα θα είναι εφικτή η μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων πολύ μεγάλου εύρους ζώνης. Οι κυματοδηγοί βαθμιαίου δείκτη δίνουν μια λύση στο πρόβλημα της ζεύξης ισχύος μέσα σε ένα κυματοδηγό μοναδικού ρυθμού και έτσι επί πλέον σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα μεταφοράς πληροφορίας, αν συγκριθούν με τις ίνες ομοιόμορφου πυρήνα.

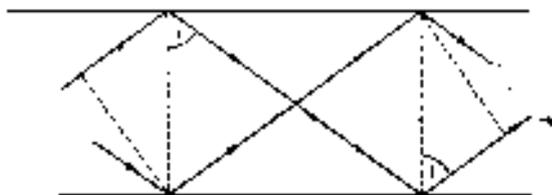
5.2 ΡΥΘΜΟΙ ΣΕ ΟΠΤΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΥΣ

Ένα επίπεδο κύμα μπορεί να περιγραφεί σαν μια οικογένεια ακτινών κάθετων στο μέτωπο του κύματος. Ας θεωρήσουμε μια τέτοια οικογένεια ακτινών να προσπίπτει

στην τερματική όψη εισόδου ενός επίπεδου κυματοδηγού. Αν η γωνία πρόσπτωσης στην όψη εισόδου είναι μικρότερη από τη υποδοχή της ίνας, η οικογένεια των ακτινών (ή ισοδύναμα, το επίπεδο κύμα) θα είναι δέσμια, άρα θα διαδοθεί κατά μήκος του κυματοδηγού. Οι ακτίνες θα ακολουθήσουν διαδρομή zig-zag, ανακλώμενες εναλλάξ στις επιφάνειες του κυματοδηγού. Δεν θα υπάρχει γενικά καθορισμένη σχέση φάσεων μεταξύ των ανακλώμενων ακτινών. Σε μερικές θέσεις κατά μήκος του άξονα ίσως υπάρχει ενισχυτική συμβολή, και σε άλλες θέσεις, αναιρετική συμβολή. Γενικά λοιπόν, η ένταση θα εξαρτάται από τη θέση κατά μήκος τους άξονα.

Εν τούτοις, μερικές από τις οικογένειες αυτές των ακτινών διαδίδονται κατά έναν πολύ ειδικό τρόπο: ακτίνες συμβάλλουν ενισχυτικά με τις γειτονικές τους παράλληλες ακτίνες και η ένταση στον κυματοδηγό δεν εξαρτάται από τη θέση.

Μπορούμε να δούμε τη σημασία των ειδικών αυτών οικογενειών ακτινών, παρατηρώντας την εικόνα 5.3. Η εικόνα είναι μια αξονική τομή ενός επίπεδου κυματοδηγού που εκτείνεται στο άπειρο κατά τη διεύθυνση που είναι κάθετη στη σελίδα. Οι δυο ακτίνες προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στα δυο μέσα υπό γωνία. Οι διακεκομμένες γραμμές που είναι κάθετες στις ακτίνες παριστάνουν κυματομέτωπα.



Εικόνα 5.3 Ακτίνες σε έναν οπτικό κυματοδηγό

Ζεύγη ακτινών με ίδια κλίση ως προς τον άξονα όπως εκείνες που φαίνονται στην εικόνα 5.3 αντιστοιχούν σε ρυθμούς κυματοδηγού αν πληρείται η συνθήκη για ενισχυτική συμβολή. Αν ένας μόνο ρυθμός έχει διεγερθεί με κατάλληλη εκλογή της γωνίας πρόσπτωσης του ηλεκτρικού πεδίου μέσα στον κυματοδηγό παραμένει χωρίς παραμόρφωση κατά τη διάδοση της ακτινοβολίας κατά μήκος του κυματοδηγού.

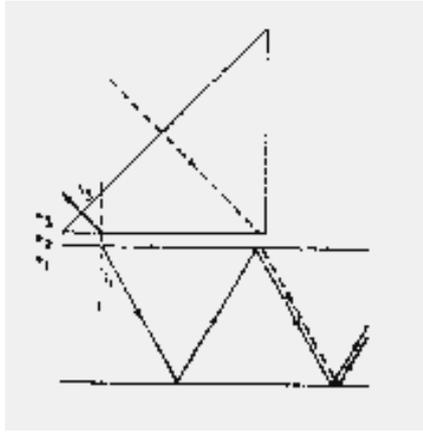
Αν χρησιμοποιήσουμε όρους της κυματικής οπτικής, κάθε ρυθμός κυματοδηγού αντιστοιχεί σε ενισχυτική συμβολή κάθετη στον άξονα του κυματοδηγού. Ο ρυθμός του κυματοδηγού ισοδυναμεί με ένα στάσιμο κύμα κάθετο στον άξονα και ένα οδεύον κύμα κατά μήκος του άξονα. Έτσι η κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου κάθετα στον άξονα είναι το αποτέλεσμα συμβολής δύο επιπέδων κυμάτων.

Σ' ένα επίπεδο κυματοδηγό, οι ρυθμοί αντιστοιχούν σε ζεύξη ακτίνων που έχουν την ίδια κλίση με τον άξονα. Σε ένα κυκλικό κυματοδηγό τα ζεύγη αυτά των ακτινών πρέπει να αντικατασταθούν από πολύπλοκους κώνους ακτινών. Η φυσική ερμηνεία των ρυθμών ως στάσιμων κυμάτων είναι παρόμοια σε κυκλική συμμετρία, αλλά είναι πιο δύσκολη η απεικόνισή τους. Επιπλέον, υπάρχουν στάσιμα κύματα στην αζιμουθιακή διεύθυνση. Κατά συνέπεια δύο αριθμοί είναι απαραίτητοι για την περιγραφή ενός ρυθμού σε ένα κυματοδηγό, όπως ακριβώς δύο αριθμοί θα ήταν απαραίτητοι στον επίπεδο κυματοδηγό, αν και οι δύο εγκάρσιες διευθύνσεις ήταν πεπερασμένες.

5.2.1 ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΟΣ ΖΕΥΚΤΗΣ

Οι επίπεδοι κυματοδηγοί ή κυματοδηγοί με ορθογώνιες διατομές αποτίθενται συνήθως σε ένα διηλεκτρικό υπόστρωμα όπως π.χ. σε γυαλί, ημιαγωγό ή ηλεκτροοπτικό κρύσταλλο. Ο κυματοδηγός που έχει μεγάλο δείκτη διάθλασης τοποθετείται μεταξύ του υποστρώματος και του αέρα. Πολλές φορές θέλουμε να εισάγουμε το φως μέσα στον ημιαγωγό μέσω της διαχωριστικής του επιφάνεια με τον αέρα και όχι μέσω του άκρου του κυματοδηγού. Η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει λιγότερες δυσκολίες ευθυγράμμισης και δεν απαιτεί ειδική προετοιμασία του άκρου του κυματοδηγού.

Ένας τρόπος ζεύξης του φωτός στον κυματοδηγό από την επάνω του επιφάνεια, είναι ο πρισματικός ζεύκτης που φαίνεται στο σχήμα 5.4 Το πρίσμα έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από τον κυματοδηγό και δεν βρίσκεται σε απόλυτη επαφή του κυματοδηγού. Αν η επαφή ήταν τέλεια, το φως θα υφίσταται διάθλαση μέσα στον κυματοδηγό και ανάκλαση στην κάτω διαχωριστική του επιφάνεια, με αποτέλεσμα την τελική του έξοδο από τον κυματοδηγό. Αν πετύχουμε εντούτοις ασθενή ζεύξη πρίσματος και κυματοδηγού μπορούμε να οδηγήσουμε ένα σημαντικό μέρος της προσπίπτουσας δέσμης στον κυματοδηγό. Η ασθενής ζεύξη επιτυγχάνεται αν το διάκενο μεταξύ πρίσματος και κυματοδηγού είναι ένα μήκος περίπου και όταν έχουμε μετάδοση ισχύος μέσα στον κυματοδηγό, πράγμα που είναι αποτέλεσμα της διείσδυσης του διαλανθάνοντος κύματος στο δεύτερο μέσο.



Σχήμα 5.4 Πρισματικός ζεύκτης

Η δέση μέσα στο πρίσμα πρέπει να έχει πεπερασμένο πλάτος. Θα έχουμε αποτελεσματική ζεύξη ισχύος μέσα στον κυματοδηγό μόνο αν η διεύθυνση της ακτίνας που διαθλάται μέσα στον κυματοδηγό αντιστοιχεί σε ένα ρυθμό του.

Αν η γωνία i_3 επιλεγεί έτσι, ώστε η τιμή του να αντιστοιχεί σε ένα ρυθμό του κυματοδηγού, φως συζευγμένο στον κυματοδηγό από την αριστερή πλευρά της εικόνας θα διαδίδεται κατά μήκος του κυματοδηγού και θα είναι ακριβώς σε φάση με το φως που συζευγνύεται στο πρίσμα παρακάτω. Με άλλα λόγια, θα έχουμε ενισχυτική συμβολή. Μπορούμε να επιτύχουμε αύξηση της ισχύος μέσα στον κυματοδηγό αυξάνοντας το μήκος της ζεύξης. Αν δεν πληρείται η συνθήκη για τη γωνία i_3 , δεν θα έχουμε ενισχυτική συμβολή και το φως θα πηγαινοέρχεται από το πρίσμα στον κυματοδηγό και αντίστροφα με αποτέλεσμα να καταλήγει τελικά μέσα στον κυματοδηγό ένα μικρό σχετικά ποσοστό της αρχικής ισχύος.

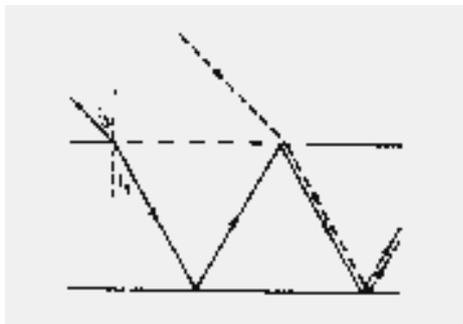
Αν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μέσα στον κυματοδηγό γίνει αρκετά μεγάλη, φως θα επιστρέφει από τον κυματοδηγό πίσω στο πρίσμα. Για να προληφθεί το φαινόμενο αυτό, αλλά και για να επιτευχθεί ιδανική ζεύξη, η δέση μέσα στο πρίσμα αποκόπτεται απότομα στην άκρη του πρίσματος. Ο πραγματικός συντελεστής ζεύξης βρίσκεται πειραματικά με ρύθμιση της πίεσης μεταξύ του πρίσματος και του κυματοδηγού, ώσπου να επιτευχθεί η μέγιστη ζεύξη.

Η αποδοτικότητα της ζεύξης δεν μπορεί ποτέ να υπερβεί το 50%. Στην πραγματικότητα μπορεί να φθάσει περίπου το 80%. Αυτό συμβαίνει επειδή το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στον κυματοδηγό δεν είναι σταθερό, αλλά είναι μικρότερο στην επιφάνεια του κυματοδηγού και μεγαλύτερο στο κέντρο του. Η ζεύξη από το πρίσμα στον κυματοδηγό μπορεί να συνεχιστεί μέχρις ότου το διαλανθάνον κύμα που αντιστοιχεί

στο κύμα μέσα στον κυματοδηγό γίνεται αρκετά μεγάλο. Αυτό θα συμβεί μόνο εφόσον παγιδευθεί μέσα στον κυματοδηγό ένα σημαντικό κλάσμα της προσπίπτουσας ισχύος.

5.2.2 ΖΕΥΚΤΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Φως μπορεί να συζευχθεί μέσα σε ένα επίπεδο κυματοδηγό με τη βοήθεια ενός ζεύκτη φράγματος. Μια τέτοια κατασκευή φαίνεται στην εικόνα 5.5. Η λειτουργία του μοιάζει με τη λειτουργία του πρισματικού ζεύκτη. Ένα φράγμα, που είναι συνήθως φράγμα φάσεως, χαράσσεται χημικά στην επιφάνεια του κυματοδηγού. Ο δείκτης διάθλασης του κυματοδηγού είναι n_1 και το υλικό πάνω από τον κυματοδηγό είναι συνήθως αέρας.



Εικόνα 5.5 Ζεύκτης φράγματος

Το φως μπορεί να συζευχθεί και έξω από τον κυματοδηγό, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους πρισματικούς ζεύκτες, άρα το μήκος του φράγματος πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά. Η αποδοτικότητα της ζεύξης δεν ρυθμίζεται εδώ τόσο εύκολα όσο στους ζεύκτες πρίσματος.

Το φράγμα μπορεί να είναι και ένα υπερηχητικό κύμα που έχει διεγερθεί στην επιφάνεια του υποστρώματος. Το κύμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ζεύξη φωτός από τον κυματοδηγό, καθώς επίσης και προς αυτόν. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση του φωτός που παραμένει μέσα στον κυματοδηγό. Όταν εφαρμόζεται ένας παλμός υπερηχητικού κύματος, η ισχύς του φωτός μέσα στον κυματοδηγό ελαττώνεται ανάλογα. Με τον τρόπο αυτό, σε ένα επίπεδο κυματοδηγό είναι δυνατό να διαμορφώσουμε μια δέσμη για τηλεπικοινωνιακούς ή άλλους σκοπούς.

Ένας πρισματικός ζεύκτης ή ένας ζεύκτης φράγματος χρησιμοποιείται, γενικά, για να διεγείρει ένα μόνο ρυθμό του κυματοδηγού κάθε φορά. Αν η ευθυγράμμιση δεν είναι τέλεια, δεν θα επιτευχθεί ενισχυτική συμβολή και η ισχύς θα συζευχθεί μέσα στον κυματοδηγό με πολύ μικρή απόδοση. Εντούτοις, δεν πρέπει να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι ένας κυματοδηγός θα μεταδώσει το φως μόνο αν το φως διεγείρει ένα

ρυθμό, ούτε ότι φως που εισέρχεται από το ένα άκρο του κυματοδηγού υπό λάθος γωνία θα απορριφθεί από τον κυματοδηγό. Δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο, στη γενική περίπτωση, παρά μόνο αν χρησιμοποιούνται πρισματικοί ζεύκτες ή ζεύκτες φράγματος. Πράγματι, αν μια δέσμη εισέλθει από το ένα άκρο ενός πολυρυθμικού κυματοδηγού υπό αυθαίρετη γωνία μικρότερη από τη γωνία υποδοχής, το φως δεν θα απορριφθεί από τον κυματοδηγό, αλλά θα διαδοθεί σαν επαλληλία πολλών ρυθμών. Αυτό συμβαίνει γιατί, λόγω περίθλασης στις ακμές του κυματοδηγού, το αρχικά επίπεδο προσπίπτον κύμα θα διασπαρεί σε ένα εύρος γωνιών, επιτρέποντας έτσι διέγερση σε περισσότερους από ένα ρυθμούς.

5.2.3 ΡΥΘΜΟΙ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΥΣ

Ένας ρυθμός σε ένα κυματοδηγό που έχει σχήμα πλάκας αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος ακτινών που διαδίδεται σε συμφωνία κατά μήκος του κυματοδηγού. Οι ρυθμοί ενός ορθογωνίου κυματοδηγού είναι παρόμοιοι με τους ρυθμούς ενός κυματοδηγού που έχει σχήμα πλάκας. Τώρα απλώς μιλάμε για δυο συνιστώσες της σταθεράς διάδοσης, μια στο επίπεδο που είναι παράλληλο προς τις οριζόντιες όψεις του κυματοδηγού και μια στο επίπεδο που είναι παράλληλο προς τις κάθετες όψεις του. Άρα οι ρυθμοί ενός ορθογώνιου κυματοδηγού μοιάζουν πολύ με γινόμενα ρυθμών κυματοδηγού σε σχήμα πλάκας που αντιστοιχούν στο ύψος και το πλάτος του ορθογώνιου κυματοδηγού.

Οι ρυθμοί ενός κυκλικού κυματοδηγού ή μιας οπτικής ίνας είναι αρκετά πιο πολύπλοκοι. Κάθε ρυθμός αντιστοιχεί σε ένα πολύπλοκο κώνο από ακτίνες. Όταν ο κώνος είναι ομοαξονικός με τον κυματοδηγό, οι ρυθμοί μοιάζουν αρκετά με τους ρυθμούς ενός κυματοδηγού σε σχήμα πλάκας.

Δυστυχώς οι περισσότεροι κώνοι δεν είναι ομοαξονικοί με τον κυματοδηγό. Παρόμοια οι περισσότερες ακτίνες δεν διασταυρώνονται ποτέ με τον άξονα του κυματοδηγού. Τις ακτίνες αυτές ονομάζουμε ασύμπτωτες ακτίνες για να τις διακρίνουμε από τις “μεσημβρινές” ακτίνες που διασταυρώνονται με τον άξονα της ίνας. Οι ασύμπτωτες ακτίνες περιελίσσονται γύρω από τον άξονα του κυματοδηγού, χωρίς ποτέ να τον τέμνουν. Ορισμένες ασύμπτωτες ακτίνες είναι συνδεδεμένες με την ίδια ίνα, άλλες όμως είναι χαλαρά συνδεδεμένες και οι τελευταίες ονομάζονται διαρρέουσες ακτίνες. Οι διαρρέουσες ακτίνες αποδεικνύονται πολύ σημαντικές για ορισμένες μετρήσεις.

5.2.4 ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ ΜΟΝΑΔΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

Αν ο ρυθμός είναι χαμηλότερης τάξης τότε μπορεί να διαδοθεί κατά μήκος ενός κυματοδηγού σε σχήμα πλάκας ή κατά μήκος ενός κυματοδηγού με τετραγωνική διατομή. Στην περίπτωση αυτή, λέμε ότι αποκόπτονται οι ρυθμοί υψηλότερης τάξης. Μια ίνα ή ένας κυματοδηγός που μπορεί να λειτουργήσει μόνο στο ρυθμό χαμηλότερης τάξης είναι γνωστός ως ένας κυματοδηγός μοναδικού ρυθμού ή ως ένας μονορρυθμικός κυματοδηγός. Ένας κυματοδηγός μοναδικού ρυθμού μπορεί να κατασκευασθεί μειώνοντας αρκετά είτε το πλάτος είτε το αριθμητικό άνοιγμα.

Ένας κυκλικός κυματοδηγός μπορεί παρόμοια να εξαναγκασθεί να λειτουργεί στο ρυθμό της χαμηλότερης τάξης, με κατάλληλη προσαρμογή της ακτίνας του πυρήνα ή του αριθμητικού ανοίγματος.

Μια ίνα μοναδικού ρυθμού διαδίδει τελικά ένα και μόνο μοναδικό κώνο αποτελούμενο από “μεσημβρινές” ακτίνες που έχουν την ίδια κλίση ως προς τον άξονα της ίνας. Όλες οι ακτίνες διανύουν την ίδια απόσταση, με συνέπεια να μην υπάρχει η πολυρρυθμική παραμόρφωση. Οι ίνες μοναδικού ρυθμού μπορούν να μεταδώσουν πολύ μεγάλα εύρη ζώνης ηλεκτρικών σημάτων. Αυτά τα εύρη ζώνης περιορίζονται κατ’ αρχήν μόνο από τη διασπορά του διοξειδίου του πυριτίου, δηλαδή του υλικού από το οποίο κατασκευάζονται οι οπτικές ίνες.

5.3 ΊΝΕΣ ΒΑΘΜΙΑΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ

Μια ίνα βαθμιαίου δείκτη είναι ένας οπτικός κυματοδηγός του οποίου ο δείκτης διάθλασης ελαττώνεται με την απόσταση από τον άξονα της ίνας. Σε μια τέτοια ίνα οι ακτίνες ακολουθούν καμπύλες τροχιάς. Το μήκος διαδρομής μιας ακτίνας που τέμνει τον άξονα υπό σχετικά μεγάλη κλίση είναι μεγαλύτερο από το μήκος διαδρομής της αξονικής ακτίνας. Εν τούτοις σε ένα τμήμα της διαδρομής υφίσταται μικρότερο δείκτη διάθλασης και συνεπώς μεγαλύτερη ταχύτητα. Έτσι, ο χρόνος διέλευσης μέσα από την ίνα είναι ο ίδιος για τις δύο ακτίνες. Οι ίνες κατασκευάζονται με τον τρόπο αυτό για να προληφθεί το φαινόμενο της πολυρρυθμικής παραμόρφωσης. Οι ίνες με ομοιόμορφο πυρήνα ονομάζονται ίνες κλιμακωτού δείκτη, για να τις διακρίνουμε από τις ίνες βαθμιαίου δείκτη.

5.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΩΝ

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οπτικών επιπέδων κυματοδηγών μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες α) σ' αυτές που χρησιμοποιούν εναπόθεση υλικού στρώματος πάνω σ' ένα υπόστρωμα και β) σ' αυτές που βασίζονται στη δημιουργία υψηλού δείκτη διάθλασης στο υπόστρωμα με τη χρήση μίας χημικής ή φυσικής αντίδρασης. Στην πρώτη περίπτωση ο επίπεδος κυματοδηγός που παράγεται παρουσιάζει ασυνέχεια του δείκτη διάθλασης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση εμφανίζεται μία βαθμιαία αλλαγή του δείκτη διάθλασης.

Κατασκευαστικές μέθοδοι του τύπου α) είναι: η πολυμεροποίηση με πλάσμα, η δημιουργία λεπτών διαφανειών από υγρό με περιστροφή και η εκτόξευση σωματιών προς το υπόστρωμα. Στη β) κατηγορία κατατάσσονται οι μέθοδοι βομβαρδισμού με πρωτόνια, η ενσωμάτωση ιόντων και η μετανάστευση ιόντων.

Για την κατασκευή ενός οπτικού κυκλώματος λεπτής διαφάνειας αρχικά απαιτείται η κατασκευή κατάλληλου υποστρώματος. Συνήθως χρησιμοποιούνται πλάκες γυαλιού που πρέπει να μην έχουν εσωτερικές ανομοιογένειες. Αρχικά, η επιφάνεια των υποστρωμάτων γυαλίζεται με μηχανική τριβή και στη συνέχεια με χημικές μεθόδους. Μετά απ' τη διαδικασία αυτή η επιφάνεια του υποστρώματος καθαρίζεται με απιονισμένο νερό και αλκοόλη. Στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια από τις παρακάτω μεθόδους για την κατασκευή των οπτικών κυκλωμάτων.

α) Εκτόξευση με σωματίδια των υποστρωμάτων

Το υπόστρωμα τοποθετείται απέναντι απ' το υλικό που εκπέμπει άτομα. Η εκτόξευση των ατόμων γίνεται με βομβαρδισμό του υλικού με θετικά ιόντα. Όταν τα προσπίπτοντα ιόντα έχουν αρκετή ενέργεια αυτή μεταφέρεται στα άτομα του στόχου οπότε αυτά εκτοξεύονται προς τα άνω. Μερικά απ' αυτά φθάνουν με μεγάλη ενέργεια στην επιφάνεια του υποστρώματος και εισέρχονται στην κρυσταλλική δομή αυτού. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα διαφάνειας που αποτελεί τον οπτικό κυματοδηγό. Η μέθοδος αυτή παράγει αρκετά ικανοποιητικούς επίπεδους κυματοδηγούς αλλά έχει το μειονέκτημα ότι η διαδικασία παραγωγής είναι πολύ αργή.

β) Πολυμεροποίηση με πλάσμα

Όταν στο χώρο μίας ηλεκτρικής εκκένωσης που περιέχει οργανική ένωση χαμηλού μοριακού βάρους παρουσιάζεται πολυμεροποίηση, ταυτόχρονα στα

τοιχώματα του θαλάμου όπου γίνεται η εκκένωση δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα. Το πάχος του στρώματος είναι από 0.2μm μέχρι 3-4μm.

γ) Παραγωγή λεπτών διαφανειών με περιστροφή και εμβύθιση

Διάφοροι τύποι μπορούν να τοποθετηθούν σε γυάλινα υποστρώματα για την κατασκευή οπτικών κυματοδηγών. Έχουν χρησιμοποιηθεί τρεις μέθοδοι:

- 1) Τα γυάλινα πλακίδια καλύπτονται με το υλικό και στη συνέχεια περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους για να αφαιρεθεί το επιπλέον υλικό.
- 2) Το πλακίδιο βυθίζεται στο υλικό και αφαιρείται αργά απ' αυτό.
- 3) Το πλακίδιο καλύπτεται με υλικό και στρέφεται κατακόρυφα για να απομακρυνθεί το υλικό που περισσεύει. Οι μέθοδοι αυτές έχουν το πλεονέκτημα ότι δίνουν την ευχέρεια εύκολης και γρήγορης κατασκευής κυματοδηγών.

δ) Μετανάστευση ιόντων

Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια θερμής γυάλινης πλάκας αφαιρεί θετικά ιόντα και τα στέλνει στο αρνητικό ηλεκτρόδιο.

ε) Βομβαρδισμός με πρωτόνια και ενσωμάτωση ιόντων

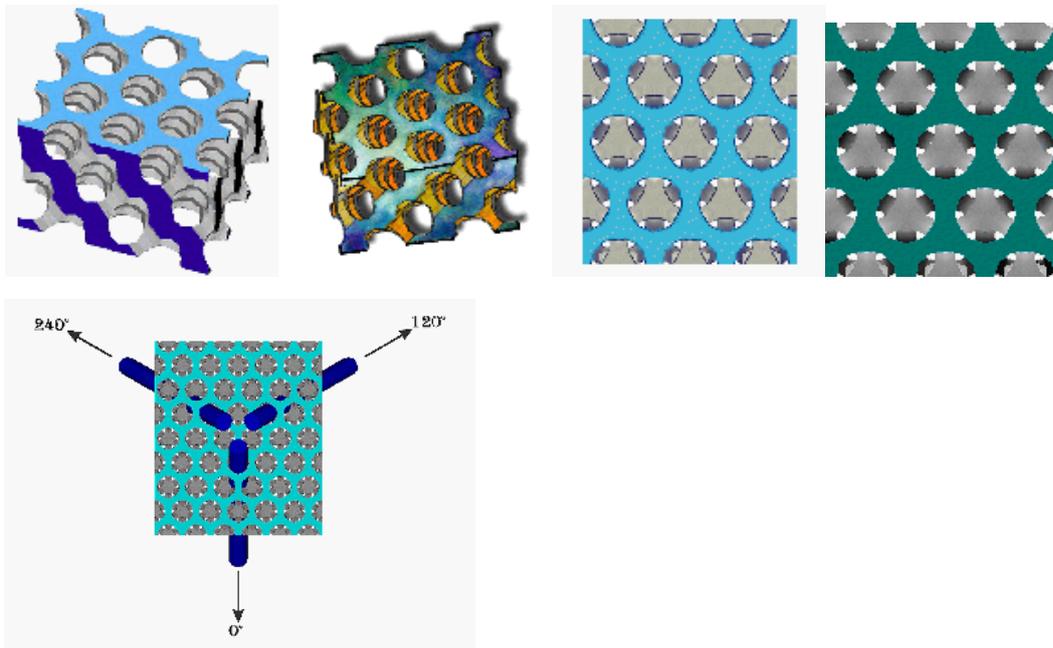
Είναι γνωστό ότι όταν ένα στερεό βομβαρδιστεί με βαριά ιόντα, αυτά μπορούν να ενσωματωθούν στο στερεό σώμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΩΝ**6.1 Φωτονικοί κρύσταλλοι**

Οι φωτονικοί κρύσταλλοι είναι τεχνητές δομές που διαθέτουν ενεργειακά απαγορευμένα χάσματα για το φως, αντίστοιχα με τα ενεργειακά χάσματα των ημιαγωγών για τις ηλεκτρονικές καταστάσεις. Υπόσχονται ν' ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για μεγαλύτερη ταχύτητα στους υπολογιστές και στις οπτικές επικοινωνίες. Είναι ένας συνδυασμός ορισμένων υλικών με κατάλληλη γεωμετρία που μπορεί να οδηγήσει σε ιδιότητες τις οποίες δεν είχε κανένα από τα συνιστώσα υλικά. Τέτοιοι συνδυασμοί είναι και τα φωτονικά υλικά, καθώς και τα λεγόμενα αριστερόστροφα ή υλικά αρνητικού δείκτη διάθλασης. Οι μοναδικές ιδιότητες των φωτονικών υλικών και η ικανότητά τους στη χειραγώγηση του φωτός πηγάζουν από την ιδιότητά τους να ανακλούν πλήρως το φως ορισμένων συχνοτήτων. Η κατασκευή τους μπορεί να είναι από σχετικά απλή έως πολύ δύσκολη, ανάλογα με τη συχνότητα του φωτός το οποίο προορίζεται να διαχειριστεί το υλικό αυτό. Ένα φωτονικό υλικό μπορεί να φτιαχτεί ανοίγοντας, π.χ., κατάλληλες οπές, περιοδικά, σε μια πλάκα πυριτίου.

Σημαντικές παράμετροι εδώ είναι η διάσταση των οπών και η απόστασή τους, σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός που δέχεται το υλικό. Στο επίπεδο των τηλεπικοινωνιών, που είναι και ο σημαντικότερος τομέας εφαρμογών των υλικών αυτών, χρειάζονται δομές με χαρακτηριστική διάταξη της τάξης του χιλιοστού του χιλιοστού του μέτρου (το λεγόμενο "μικρό"). Για τη διαχείριση του ορατού φωτός χρειάζονται ακόμη μικρότερης κλίμακας δομές.

Τα φωτονικά υλικά ή φωτονικοί κρύσταλλοι λόγω της φωτονικής δομής τους, ξεκίνησαν ως ερευνητικό πεδίο τη δεκαετία του '80 και ήδη έχουν μπει στη φάση των εφαρμογών. Ενώ είναι κυρίως τεχνητά υλικά, δεν απουσιάζουν τελείως από τη φύση. Οι πολύτιμοι λίθοι ή τα φτερά της πεταλούδας σχήμα 6.1 διαθέτουν τέτοια περιοδική δομή, γι' αυτό και έχουν αυτά τα υπέροχα ιριδίζοντα χρώματα. Με άλλα λόγια, τα χρώματά τους είναι αποτέλεσμα της μικροδομής τους και όχι κάποιας χρωστικής ουσίας.



Σχήμα 6.1 Πολύτιμοι λίθοι ή φτερά πεταλούδας

Κάποιες από τις εφαρμογές των φωτονικών υλικών που μπορούν να πραγματοποιηθούν σήμερα είναι:

- 1) Στη δημιουργία κατάλληλων κεραιών ή προστατευτικών φίλτρων για τα κινητά τηλέφωνα, ώστε η ακτινοβολία να κατευθύνεται μακριά από το κεφάλι του τηλεφωνούντος.
- 2) Στη δημιουργία αποδοτικότερων λέιζερ και άλλων πηγών εκπομπής ή λήψης ακτινοβολίας (π.χ. βελτιστοποιημένα ηλιόθερμα).
- 3) Στην κατασκευή αισθητήρων για την ανίχνευση επικίνδυνων αερίων.
- 4) Στην αστρονομία, με την κατασκευή οπτικών φίλτρων για την αναγνώριση ουράνιων σωμάτων.

6.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΝΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΕΝΩΝ

Ο ευκολότερος τρόπος για να αντιληφθούμε την συμπεριφορά του φωτός σε ένα φωτονικό κρύσταλλο είναι να τον συγκρίνουμε με ένα ημιαγωγό όσον αφορά την κίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών.

Σε ένα κρύσταλλο πυριτίου, για παράδειγμα, τα άτομα είναι διατεταγμένα σε μία κρυσταλλική δομή, και τα ηλεκτρόνια που κινούνται μέσα σε αυτή τη δομή αντιλαμβάνονται ένα περιοδικό δυναμικό όταν αλληλεπιδρούν με τους πυρήνες του πυριτίου, μέσω των δυνάμεων Coulomb. Αυτή η αλληλεπίδραση έχει σαν αποτέλεσμα

την διαμόρφωση επιτρεπτών και μη επιτρεπτών ενεργειακών καταστάσεων. Στους καθαρούς και τέλειους κρυστάλλους, δεν θα βρεθούν ηλεκτρόνια σε μία ενεργειακή ζώνη η οποία καλείται απαγορευμένο ενεργειακό κενό ή απλά ενεργειακό κενό. Παρόλα αυτά είναι διαφορετική η κατάσταση στα πραγματικά υλικά, όπου τα ηλεκτρόνια μπορεί να έχουν μία ενέργεια εντός της ζώνης του ενεργειακού κενού όταν:

- η περιοδικότητα της δομής έχει σπάσει από έλλειψη ενός ατόμου πυριτίου,
- ένα μη καθαρό άτομο καταλαμβάνει την θέση ενός ατόμου πυριτίου,
- το υλικό περιέχει ακαθαρσίες στο διάκενο (επιπλέον άτομα τοποθετημένα εκτός των θέσεων της δομής).

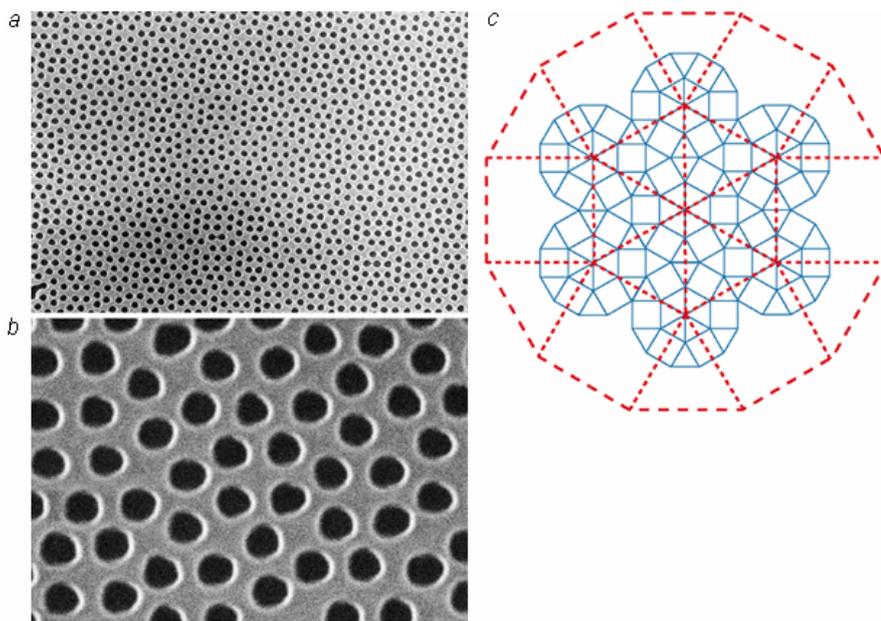
Τώρα θεωρούμε ότι φωτόνια κινούνται μέσω ενός τμήματος διάφανου διηλεκτρικού υλικού το οποίο περιέχει έναν αριθμό από μικρούς πόρους αέρα διατεταγμένους με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Τα φωτόνια θα κινούνται μέσα από τις περιοχές υψηλού δείκτη διάθλασης που είναι το διηλεκτρικό, οι οποίες διακόπτονται από περιοχές με χαμηλό δείκτη διάθλασης, που είναι οι τρύπες με τον αέρα. Αν υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στο δείκτη διάθλασης μεταξύ των δύο περιοχών, τότε το φως θα περάσει κυρίως είτε στο διηλεκτρικό υλικό είτε στις τρύπες αέρα. Ο περιορισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό επιτρεπόμενων ενεργειακών περιοχών, διαχωρισμένων από απαγορευμένη περιοχή τις αποκαλούμενες ζώνες φωτονικού κενού. Επειδή το μήκος κύματος των φωτονίων είναι αντιστρόφως ανάλογα με την ενέργεια τους, το διατεταγμένο διηλεκτρικό υλικό θα εμποδίζει τη διάδοση του φωτός με μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο φωτονικό χάσμα ζωνών, ενώ θα επιτρέπει στα άλλα κύματα να περνά ελεύθερα.

Είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε ενεργειακά επίπεδα στη ζώνη του φωτονικού κενού αλλάζοντας το μέγεθος μερικών από τις τρύπες αέρα του υλικού. Αυτό είναι το φωτονικό ισοδύναμο για να διασπάσουμε την τέλεια περιοδικότητα της κρυσταλλικής δομής του πυριτίου. Σε αυτή την περίπτωση, η διάμετρος των οπών αέρα είναι μία κρίσιμη παράμετρος, μαζί με την αντίθεση του δείκτη διάθλασης του υλικού.

Η κατασκευή του εύρους των φωτονικών κενών μπορεί επίσης να δημιουργηθεί από μία διάταξη υλικού υψηλού δείκτη διάθλασης το οποίο εμπεριέχεται σε ένα μέσον με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης. Ένα φυσικό παράδειγμα τέτοιου υλικού είναι το ορυκτό οπάλιο (opal). Όμως, η αντίθεση του δείκτη διάθλασης στο οπάλιο είναι μάλλον μικρή, με αποτέλεσμα σε ένα μάλλον μικρό φωτονικό κενό ζώνης.

Η δυνατότητα ύπαρξης φωτονικών κρυστάλλων αναγνωρίστηκε πρώτα από τον Eli Yablonovitch το 1987. Το 1991 ο Yablonovitch και οι συνεργάτες του παρήγαγαν τον πρώτο φωτονικό κρύσταλλο ανοίγοντας μηχανικά τρύπες διαμέτρου ενός χιλιοστού σ' ένα κομμάτι υλικού με δείκτη διάθλασης 3,6. Η δομή αυτή εμπόδιζε τα μικροκύματα να διαδοθούν εντός αυτής προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Άλλες δομές που ενεργειακά φωτονικά χάσματα στην περιοχή των μικροκυμάτων και των ραδιοσυχνοτήτων, χρησιμοποιούνται σήμερα για να κάνουμε κεραιές που κατευθύνουν την ακτινοβολία μακριά από τα κεφάλια των χρηστών κινητών τηλεφώνων.

Παρόλη την επιτυχία, απαιτήθηκε πάνω από μία δεκαετία για να κατασκευαστούν βιομηχανικά φωτονικοί κρύσταλλοι οι οποίοι δουλεύουν πλησίον της υπέρυθρης (780-3000 nm) και της ορατής (450-750 nm) περιοχής του φάσματος. Η βασική πρόκληση ήταν να βρεθούν κατάλληλα υλικά και τεχνικές επεξεργασίας για να κατασκευαστούν βιομηχανικά δομές οι οποίες είναι περίπου χιλιοστά του μεγέθους των κρυστάλλων μικροκυμάτων.



Σχήμα 6.2 Φωτονικοί κρύσταλλοι

Μία χοντρική εκτίμηση της απόστασης μεταξύ των οπών αέρα (μέγεθος της κρυσταλλικής δομής) δίνεται από το μήκος κύματος του φωτός αν διαιρεθεί από τον δείκτη διάθλασης του διηλεκτρικού υλικού. Το πρόβλημα της δημιουργίας μικροκατασκευών είναι σύνθετο, διότι είναι πιο ευνοϊκό ένα φωτονικό δεσμικό κενό να διαμορφωθεί στα διηλεκτρικά με ένα υψηλό δείκτη διάθλασης, το οποίο μειώνει το μέγεθος της κρυσταλλικής δομής ακόμη περισσότερο.

Για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε φωτονικούς κρυστάλλους για οπτικές συσκευές, χρειαζόμαστε να χρησιμοποιήσουμε τελευταίας τεχνολογίας ημιαγωγούς και τεχνικές μικροκατασκευών με τα συνεπακόλουθα υψηλά κόστη παραγωγής και επένδυσης. Γι' αυτό τον λόγο η εξωμοίωση με τον υπολογιστή των αναμενόμενων δομών των φωτονικών κρυστάλλων είναι μία πολύ σημαντική περιοχή έρευνας, διότι μπορεί να περιορίσει πολυδάπανες κατασκευές και πιθανά λάθη κατασκευών.

6.3 ΦΩΤΟΝΙΚΟΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΙ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Τα φωτονικά κρύσταλλα υπόσχονται να μας δώσουν παρόμοιο έλεγχο πάνω στα φωτόνια και με ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία, διότι έχουμε μεγαλύτερο έλεγχο πάνω στις ιδιότητες των φωτονικών κρυστάλλων απ' ότι έχουμε πάνω στις ιδιότητες των ημιαγωγών. Δεδομένης της επίδρασης που έχουν τα υλικά των ημιαγωγών σε κάθε τμήμα της κοινωνίας μας, οι φωτονικοί κρύσταλλοι θα μπορούσαν να παίξουν ένα ακόμη μεγαλύτερο ρόλο στον 21ο αιώνα, ειδικότερα στην βιομηχανία της οπτικής επικοινωνίας.

Τα σημερινά επικοινωνιακά συστήματα, ηχητικά ή video σήματα κωδικοποιούνται σαν μία ροή ψηφιακών πακέτων δεδομένων. Αυτοί οι παλμοί τάσης εφαρμόζονται στους ημιαγωγούς LED (Light Emitting Diodes) ή σε ημιαγωγούς LASER, οι οποίοι τα μετατρέπουν σε βραχείς παλμούς φωτός οι οποίοι μετά στέλλονται μέσω ενός δικτύου οπτικών ινών. Πολλές διαφορετικές συζητήσεις ή σήματα video μπορούν να μεταφερθούν χρησιμοποιώντας ένα μοναδικού μήκους κύματος φωτός, με την ταυτόχρονη μετάδοση των πακέτων δεδομένων από διαφορετικές πηγές, μια τεχνική γνωστή σαν time-division multiplexing. Οι παλμοί οπτικών δεδομένων ταξινομούνται στο σημείο λήψης της οπτικής ίνας όπου μετατρέπονται από τους ανιχνευτές φωτός (photodetectors) σε συνεχή αναλογικά ηλεκτρικά σήματα τα οποία στην συνέχεια μεταφέρονται μέσω των χάλκινων καλωδίων.

Ένας απλός τρόπος για να αυξήσουμε τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν από μία απλή οπτική ίνα είναι να κάνουμε τους εισερχόμενους ηλεκτρικούς παλμούς όσο πιο βραχύς μπορούμε. Τα σημερινά οπτικά συστήματα έχουν επιτύχει ταχύτητες δεδομένων που ξεπερνούν τους 40 Gigabits per second. Αλλά για να αυξήσουμε αυτή την τιμή σημαντικά θα απαιτηθούν φτηνά, και έξυπνα LED τα οποία μπορούν να ανάβουν και να σβήνουν με πολύ υψηλές ταχύτητες.

Ένας άλλος τρόπος για να αυξήσουμε την χωρητικότητα της οπτικής ίνας είναι να προσθέσουμε νέα σήματα σε άλλα οπτικά μήκη κύματος, μία μέθοδος γνωστή σαν Dense wavelength division multiplexing (DWDM). Πάντως οι οπτικές ίνες είναι διάφανες για ένα μικρό εύρος μήκους κύματος, έτσι ώστε ο αριθμός των διαφορετικών επικοινωνιών που μπορούν να μεταδοθούν εξαρτάται από το εύρος της γραμμής των γειτονικών οπτικών καναλιών. Η κωδικοποίηση και ταξινόμηση χιλιάδες τέτοιων καναλιών, δημιουργεί ένα πρόβλημα, στην πλευρά της μετάδοσης ενός τέτοιου συστήματος. Κάθε κανάλι μήκος κύματος απαιτεί μία πολύ σταθερή πηγή φωτός η οποία εκπέμπει μόνο ένα πολύ στενό εύρος μήκους κύματος. Παρόλο που τα LED προσφέρουν υψηλές ταχύτητες διακοπής, εκπέμπουν φως σ' ένα ευρύ φάσμα από μήκη κύματος, ιδιότητα που τα κάνει λιγότερο κατάλληλα από τα LASERS για τα DWDM συστήματα.

Από την πλευρά του δέκτη, απαιτούνται φίλτρα και οπτικοί διακόπτες πολύ στενού εύρους ζώνης για να ξεχωρίζουν τα κανάλια και μετά να τα οδηγούν στους κατάλληλους προορισμούς. Λόγω του μεγάλου αριθμού των ανεξάρτητων τμημάτων σε ένα DWDM σύστημα, είναι λογικό να συνδιάσουμε όσο περισσότερα από αυτά είναι δυνατόν σε ένα ολοκληρωμένο οπτικό chip. Αυτό θα μείωνε και το κόστος της αναγκαίας χειρωνακτικής εργασίας που απαιτείται για να κτιστεί το σύστημα αυτό, όσο και τον αριθμό των πιθανών σημείων αποτυχίας.

Μία τέτοια ολοκλήρωση, εμφανίζει άλλα προβλήματα. Πρώτον απαιτείται να δημιουργήσουμε μικρών διαστάσεων οπτικές ενδοσυνδέσεις, λεπτούς επίπεδους οδηγούς κυμάτων που μπορούν να οδηγήσουν το φως σε απότομες γωνίες. Ενώ αυτό είναι εύκολο στα μικροσίπ, να γίνουν δηλαδή απότομα και αιχμηρά λυγίσματα ώστε να οδηγηθούν τα ηλεκτρόνια, είναι αδύνατον να οδηγήσουμε το φως με τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιώντας παραδοσιακούς γυάλινους κυματοδηγούς, λόγω πολύ μεγάλων απωλειών στα λυγίσματα.

Οι φωτονικοί κρύσταλλοι θα μπορούσαν να λύσουν πολλά από τα προβλήματα που σήμερα οριοθετούνται από την ταχύτητα και την χωρητικότητα των οπτικών δικτύων επικοινωνιών. Για παράδειγμα, αυτές οι κατασκευές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευάσουν νέα LED και Lasers που εκπέμπουν φως σε ένα πολύ στενό φάσμα μήκους κύματος μαζί με υψηλής επιλεκτικότητας οπτικά φίλτρα τα οποία θα μπορούσαν να ολοκληρωθούν σε ένα chip.

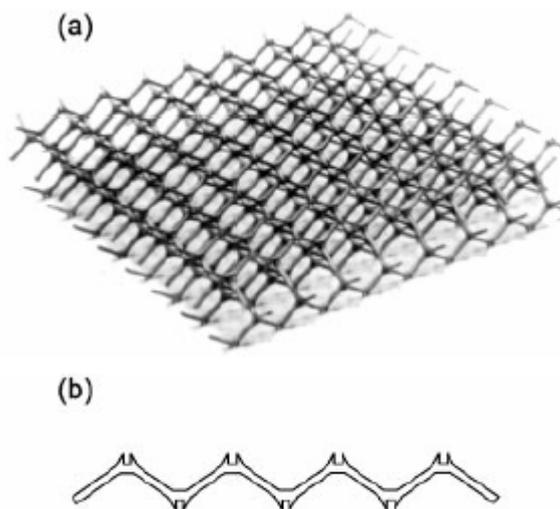
6.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΦΩΤΟΝΙΚΟΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΙ ΜΕ ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΟΙ ΔΟΜΗ

Τα LED παίζουν ένα βασικό ρόλο στα συστήματα οπτικών τηλεπικοινωνιών. Αυτά τα στοιχεία είναι φτιαγμένα από καλούμενα υλικά φωτοεκπομπής, τα οποία εκπέμπουν φωτόνια όταν διεγείρονται ηλεκτρικά ή οπτικά. Αυτά τα φωτόνια εκπέμπουν τυπικά σε πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις και έχουν επίσης ένα φάσμα από μήκη κύματος το οποίο δεν είναι ιδανικό για εφαρμογές τηλεπικοινωνιών. Μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα LED το οποίο εκπέμπει μόνο σε μία διεύθυνση τοποθετώντας έναν ανακλαστήρα πίσω από το επίπεδο εκπομπής. Παρ' όλα αυτά η αξιοπιστία μιας τέτοιας συσκευής οριοθετείται από την αξιοπιστία του ανακλαστήρα.

Η τρισδιάστατη πλεγματοειδή γεωμετρία του κρυστάλλου προκύπτει απ' ευθείας από την φυσική δυσδιάστατη εξαγωνική πλεγματοειδή γεωμετρία μεταφερόμενη στις τρεις διαστάσεις. Το ηλεκτρονικό υλικό ανάλογο της εξαγωνικής πλεγματοειδούς δομής είναι η δομή του γραφίτη στις δύο διαστάσεις ενώ η αντίστοιχη στις τρεις διαστάσεις είναι αυτή του διαμαντιού.

Μάλιστα η δομή του διαμαντιού έχει αποδειχθεί ότι έχει, για τους φωτονικούς κρυστάλλους, μια ασυνήθιστα στενή σχέση με τις εξισώσεις του Maxwell.

Στις δομές σαν του διαμαντιού τα άτομα είναι γεωμετρικά σημεία στο χώρο και οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που τα συνδέουν είναι σαν χάλκινα καλώδια μήκους 1cm.



Σχήμα 6.3a) Φωτογραφία φωτονικού κρυστάλλου με δομή διαμαντιού. Τα καλώδια παίζουν τον ρόλο των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων που συνδέουν άτομα μεταξύ τους.

Σχήμα 6.3b) Λεπτομερής άποψη των χάλκινων καλωδίων που ενώνονται για να σχηματίσουν δομή διαμαντιού.

Οι τρισδιάστατοι μεταλλικοί πλεγματοί φωτονικοί κρύσταλλοι εμφανίζουν διαφορές από τους διηλεκτρικούς φωτονικούς κρυστάλλους .

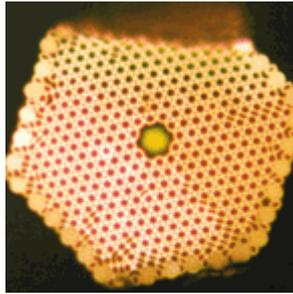
- 1) Η περιοδικότητα του πλέγματος προκαλεί φωτονικά απαγορευμένες περιοχές στους διηλεκτρικούς κρυστάλλους αλλά στους μεταλλικούς κρυστάλλους φωτονικά επιτρεπόμενες ζώνες.
- 2) Έχουν μια επιπλέον φωτονικά απαγορευμένη περιοχή από τους διηλεκτρικούς κρυστάλλους για συχνότητες.
- 3) Κάθετες δομές επιτρέπονται στους μεταλλικούς κρυστάλλους και γι' αυτό το λόγω τα εσωτερικά ηλεκτρομαγνητικά επίπεδα κύματα μπορούν να πολωθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους αντί για δύο.

6.5 ΦΩΤΟΝΙΚΟΙ ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΙ

Υλικά με τα φωτονικά χάσματα ζωνών θα μπορούσαν να επιταχύνουν το διαδίκτυο με τη βελτίωση της μετάδοσης μεγάλης απόστασης οπτικών σημάτων. Ένα μειονέκτημα με τις συμβατικές οπτικές ίνες είναι ότι τα διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός μπορούν να ταξιδέψουν μέσω του υλικού σε διαφορετικές ταχύτητες. Στις μεγάλες αποστάσεις, μπορούν να εμφανιστούν χρονικές καθυστερήσεις μεταξύ των σημάτων που κωδικοποιούνται στα διαφορετικά μήκη κύματος. Αυτά τα φαινόμενα - γνωστά ως διασπορά - είναι χειρότερα εάν ο πυρήνας είναι πολύ μεγάλος, δεδομένου ότι το φως μπορεί να ακολουθήσει διαφορετικές πορείες (modes) μέσω της ίνας. Ένας παλμός του φωτός που ταξιδεύει μέσω μιας τέτοιας ίνας διευρύνεται, με συνέπεια περιορισμού του ποσού των δεδομένων που μπορούν να αποσταλούν.

Αυτά τα προβλήματα θα μπορούσαν να λυθούν από μια ασυνήθιστη "ίνα holey" που αναπτύχθηκε από τον Philip Russell και Jonathan Knight στο πανεπιστήμιο του Bath. Η ίνα έχει ένα κανονικό δικτυωτό πλέγμα των οπών αέρα που τρέχουν κατά μήκος της και διαβιβάζει ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος χωρίς να υφίσταται διασπορά. Κατασκευάζεται με τη συσκευασία μιας σειράς κοίλων τριχοειδών σωλήνων γυαλιού γύρω από έναν στερεό πυρήνα γυαλιού που τρέχει δια μέσου του κέντρου. Αυτή η δομή έπειτα θερμαίνεται και τεντώνεται για να δημιουργήσει μια μακριά ίνα που είναι μόνο μερικά μικρά στη διάμετρο. Η ίνα έχει την ασυνήθιστη ιδιότητα ότι διαβιβάζει έναν μοναδικό ρυθμό (single mode) φωτός, ακόμα κι αν η διάμετρος του πυρήνα είναι πολύ μεγάλη.

Η ομάδα του Bath έχει δημιουργήσει μια ακόμα πιο ασυνήθιστη ίνα με την αφαίρεση του κεντρικού στερεού πυρήνα γυαλιού για να διαμορφώσει μια μακριά κοιλότητα αέρα σχήμα 6.4. Σε αυτήν την περίπτωση, το φως καθοδηγείται πραγματικά κατά μήκος του πυρήνα αέρος από ένα χαμηλής διάθλασης οδηγό υπό την επίδραση του φαινομένου του περιορισμού. Δεδομένου ότι το φως δεν καθοδηγείται πραγματικά από το υλικό του γυαλιού, τα πολύ υψηλής ισχύος σήματα λέιζερ θα μπορούσαν ενδεχομένως να διαβιβαστούν κατά μήκος της ίνας χωρίς την καταστροφή του.



Σχήμα 6.4 Ίνα με την αφαίρεση του κεντρικού στερεού πυρήνα γυαλιού

Τέλος οι φωτονικοί κρύσταλλοι είναι μια τεχνολογία η οποία αναμένεται να βοηθήσει σε πάρα πολλούς τομείς και ιδιαίτερα στις τηλεπικοινωνίες τις οποίες θα κάνει πιο γρήγορες και αποτελεσματικές. Ακόμα θα προστατεύσει τους ομιλούντες μέσω κινητού τηλεφώνου απομακρύνοντας την ακτινοβολία από τα κεφάλι τους.

Εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες ορισμένων υλικών που αν συνδιαστούν κατάλληλα μεταξύ τους θα μπορέσουν να διευθύνουν το φως προς την κατεύθυνση που θέλουμε πράγμα που βοηθά πολύ σε διάφορους τεχνολογικούς τομείς για να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- David R.Goff. Ένας πρακτικός οδηγός Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ Θεσσαλονίκη
- Govind P.Agrawal. Συστήματα επικοινωνιών με οπτικές Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ Θεσσαλονίκη
- Ν. Κ. Ουζουνόγλου. Τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών. Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ
- Αλέξανδρος Αλεξανδρής. Οπτικές ίνες Εκδόσεις ΙΩΝ
- Χ. Καψάλης και Π. Κωστής. Κεραίες ασύρματης ζεύξης Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- Fiber Optic News
- Fiber Optics International
- Google
- Η Φυσική στο Δίκτυο
- Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών