

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : Οπτικοί αισθητήρες-Εφαρμογές στα πλοία

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Οικονόμου Γεώργιος

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΚΑΤΕΡΙΝΑ ΤΟΛΙΟΥ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2015

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : Οπτικοί αισθητήρες-Εφαρμογές στα πλοία

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Οικονόμου Γεώργιος
ΑΜ : 4663**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ : 24/6/2015

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Η καθηγήτρια Κατερίνα Τόλιου

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας μου είναι η μελέτη και η ανάλυση των οπτικών αισθητήρων καθώς και οι εφαρμογές τους στα πλοία. Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 1 είναι η εισαγωγή, στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι οπτικές ίνες. Στο κεφάλαιο 3, περιγράφονται οι οπτικοί αισθητήρες. Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι οπτικοί αισθητήρες Fiber Bragg Gratings και στο κεφάλαιο 5 αναφέρονται οι εφαρμογές των οπτικών ινών και αισθητήρων στα πλοία. Στο σύνολο όλων των κεφαλαίων περιγράφονται οι οπτικοί αισθητήρες, από τι αποτελούνται, τι ιδιότητες έχουν ποιός είναι ο σκοπός τους και ορισμένες χρήσεις τους.

Abstract

The purpose of my dissertation is the study and analysis of optical sensors and their applications on ships. The dissertation consists of four chapters. Chapter 1 is the introduction, in Chapter 2 is described in details the optical fiber and in Chapter 3 is described the optical sensors. Furthermore, in Chapter 4 is analyzed the optical Fiber Bragg Gratings sensors and in Chapter 5 is mentioned the applications of fiber optic sensors on ships. At all these chapters is described, from which materials the optical sensors are made of, which are their qualities and their purposes, as well as, is also mentioned some of their applications.

Πρόλογος

Συχνά, σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, όπως η βιοϊατρική, η μετεωρολογία, ή η γεωλογία, εμφανίζεται η ανάγκη να ανακαλύψουμε την παρουσία και τη σύσταση αερίων, υγρών και στερεών ουσιών στο εσωτερικό ενός ζωντανού οργανισμού, σε μεγάλα βάθη μέσα στη γη ή σε άλλα δυσπρόσιτα μέρη. Είναι φανερό ότι αυτή η ανίχνευση και αναγνώριση ουσιών είναι δυσχερής κυρίως μέχρι να προσεγγίσουμε το σημείο όπου βρίσκονται αυτές. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου θέλουμε να ανιχνεύσουμε τι υπάρχει σε μεγάλο βάθος μέσα στη γη ή κάτω από τη θάλασσα, αν κάπου υπάρχει αποθηκευμένο νερό, πετρέλαιο. Στις περιπτώσεις αυτές θα ήταν χρήσιμη μία συσκευή που να μπορεί να προωθηθεί σε μεγάλο βάθος και να μας φέρνει στην επιφάνεια της γης όπου βρισκόμαστε σωστές πληροφορίες για το τι υπάρχει από κάτω μας. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εμφανές ότι οι οπτικές ίνες και οι αισθητήρες τους οποίους μπορούμε να αναπτύξουμε με αυτές αποτελούν την ιδανική λύση για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις. Σημαντική είναι η ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων που να συσχετίζουν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των οπτικών ινών με τις οπτικές ιδιότητες του μέσου που τις περιβάλλει. Τέτοιες μέθοδοι είναι πιθανό να επιτρέψουν τη δημιουργία συσκευών – αισθητήρων ικανών να αναγνωρίσουν και να ταυτοποιήσουν το περιβάλλον τους.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θέλω να ευχαριστήσω την κυρία Τόλιου Κατερίνα, όπου με βοήθησε στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή οπτικών ινών στα πλοία. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες σε άλλες επιστημονικές εφαρμογές, όπως η οπτική και η τηλεπικοινωνίες. Τα τελευταία όμως χρόνια, έχει αρχίσει να γίνεται χρήση των οπτικών ινών και σε περιοχές της μηχανικής όπως πλοία, αεροπλάνα, γέφυρες, κτίρια κ.τ.λ. Οι οπτικές ίνες έγιναν πιο δημοφιλείς λόγω των αισθητήρων οπτικών ινών και των πολλών εφαρμογών που έχουν. Στα πλοία οι οπτικές ίνες δεν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα, αλλά σε συστήματα παρακολούθησης των κατασκευών. Τα συγκεκριμένα συστήματα χρησιμοποιούνται παράλληλα με τις γνωστές μεθόδους επιθεώρησης (inspection) και δίνουν πληροφορίες για την συνολικότερη εικόνα του πλοίου. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται περιγραφή των οπτικών ινών και του τρόπου λειτουργίας τους. Εξετάζονται τα διάφορα είδη οπτικών ινών και στην συνέχεια γίνεται περιγραφή των οπτικών αισθητήρων και των διαφορών που έχουν σε σχέση με τους άλλους αισθητήρες. Στο κεφάλαιο 3 συνεχίζεται η περιγραφή των οπτικών αισθητήρων και παρουσιάζεται ο περισσότερο χρησιμοποιημένος αισθητήρας οπτικών ινών, το Fiber Bragg Grating (FBG). Περιγράφεται αναλυτικά η δομή του και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί και μετράει την παραμόρφωση και την θερμοκρασία. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στις μεθόδους επιθεώρησης και υπόλοιπα συστήματα του πλοίου.

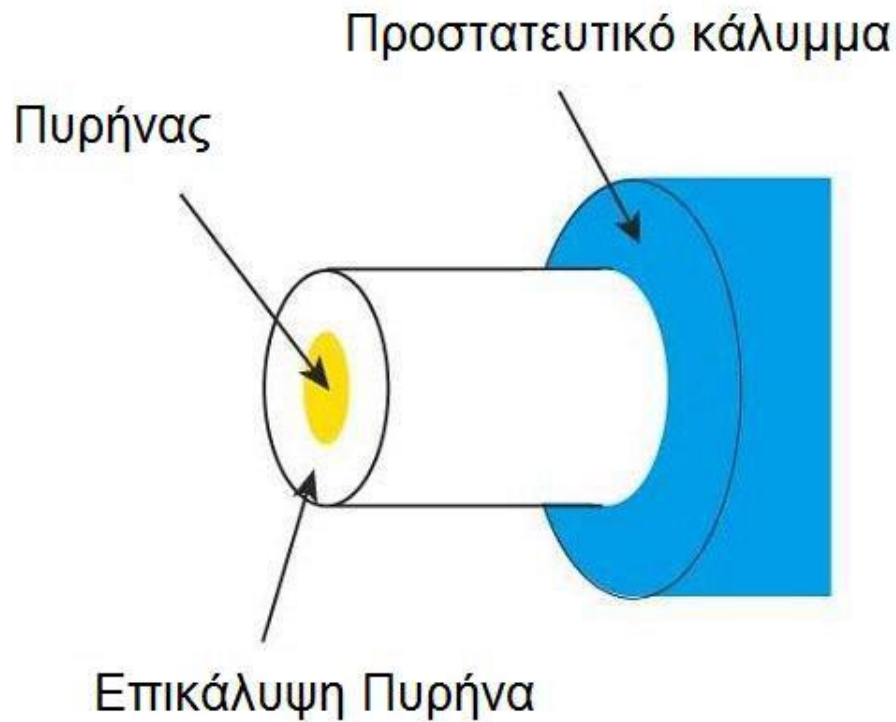
Κεφάλαιο 2 : Οπτικές ίνες και οπτικοί αισθητήρες

2.1 Γενικά για τις οπτικές ίνες

Η βασική αρχή της διάδοσης του φωτός που υπάρχει στις οπτικές ίνες οφείλεται στους **Daniel Collodon** και **Jaques Babinet** στην δεκαετία του 1840. Μέσα στην επόμενη δεκαετία ο ιρλανδός εφευρέτης **John Tyndal** έκανε δημόσιες επιδείξεις σε σιντριβάνια. Πρακτικές εφαρμογές όπως ο εσωτερικός φωτισμός στην οδοντιατρική άρχισαν να εμφανίζονται στις αρχές το 20^{ου} αιώνα. Οι μοντέρνες οπτικές ίνες στις οποίες η ίνα γυαλιού περιβάλλεται από μια διαφανή επικάλυψη (cladding) με πιο ικανοποιητικό δείκτη διάθλασης, εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1950. Οι οπτικές ίνες άρχισαν να χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες στα τέλη του 1970, οπότε και είχε μειωθεί επαρκώς η εξασθένηση του σήματος. Από τότε έγινε μεγάλη πρόοδος για να βελτιωθούν οι ιδιότητες της ίνας που έχουν να κάνουν με την εξασθένηση του σήματος και τον σκεδασμό του φωτός επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο τα σήματα να ταξιδεύουν μεγαλύτερες αποστάσεις και να μεταφέρουν περισσότερες πληροφορίες, καθώς και με το κόστος παράγωγης των οπτικών ινών . Το 1952 ο φυσικός **Narinder Singh Kapany**, βασισμένος στην εργασία του **Tyndal**, έκανε πειράματα που οδήγησαν στην ανακάλυψη της οπτικής ίνας. Αργότερα άλλες ανακαλύψεις έστρεψαν το ενδιαφέρον τους σε ίνες για την μετάδοση εικόνας με κυρίαρχη εφαρμογή το ιατρικό γαστροσκόπιο. Μια ποικιλία από άλλες εφαρμογές εικόνας ακλούθησαν αργότερα.

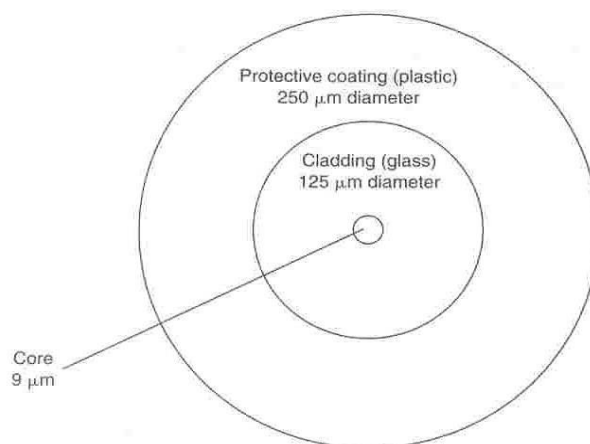
2.2 Δομή

Η βασική κατασκευή μιας οπτικής ίνας είναι αρκετά απλή (βλ. εικόνα 2.1). Ο πυρήνας της ίνας ο οποίος οδηγεί το φως είναι από υλικό το οποίο έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από την επικάλυψη του. Η διαφορά στον δείκτη διάθλασης προκαλεί την ολική εσωτερική ανάκλαση και με αυτόν τον τρόπο το φως οδηγείται μέσω του πυρήνα.



Εικόνα 2.1: Βασική κατασκευή μιας οπτικής ίνας

Τα μεγέθη του πυρήνα και της επικάλυψης έχουν μεγάλο εύρος ανάλογα με τον τύπο της ίνας. Τα σύνορα μεταξύ τους μπορεί να είναι διαχωρισμένα ή να μεταβάλλονται προοδευτικά και ο δείκτης διάθλασης να αλλάζει απότομα (**step – index**) ή σταδιακά (**graded – index**). Μερικές ίνες υψηλής απόδοσης έχουν πολλαπλά στρώματα στα σύνορα πυρήνα – επικάλυψης.



Εικόνα 2.2: Τυπική διάμετρος της επικάλυψης για συνήθης ίνες τηλεπικοινωνιών

Η τυπική διάμετρος της επικάλυψης για συνήθης ίνες τηλεπικοινωνιών είναι 125 μm. Ένα πλαστικό κάλυμμα (protective coating) αυξάνει την διάμετρο περίπου 250 μm διευκολύνοντας το χειρισμό και προστατεύοντας την επιφάνεια του γυαλιού από γρατζουνιές και άλλες μηχανικές ζημιές (βλ. εικόνα 2.2).

2.3 Υλικά κατασκευής

Η περισσότερες ίνες κατασκευάζονται από πολύ καθαρό γυαλί με παρά πολύ μικρά ποσοστά ατελειών για να μην μεταβάλλεται ο δείκτης διάθλασης. Από χημικής άποψης οι καθαρότερες οπτικές ίνες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες και αποτελούνται από καθαρό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Άλλοι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται στην ιατρική καθώς και στον φωτισμό κατασκευάζονται από λιγότερο καθαρό γυαλί. Όπως όλα τα γυαλιά, έτσι και εκείνα από τα οποία κατασκευάζονται οι ίνες έχουν δείκτη διάθλασης περίπου 1.5. Συνήθως η διαφορά διάθλασης ανάμεσα στον πυρήνα και την επικάλυψη είναι περίπου 1%. Μερικές ίνες κατασκευάζονται από πλαστικό το οποίο όμως δεν είναι τόσο καθαρό όσο το γυαλί, αλλά είναι πιο εύκαμπτο και ευκολότερο στον χειρισμό. Οι πλαστικές οπτικές ίνες είναι συνήθως step – index multimode ίνες με διάμετρο πυρήνα 1mm ή μεγαλύτερο. Αυτού του τύπου οι ίνες έχουν συνήθως μεγαλύτερη μείωση των ιδιοτήτων σε σχέση με τις ίνες γυαλιού. Δηλαδή το πλάτος του σήματος μειώνεται πιο γρήγορα κατά μήκος της ίνας. Συνήθως το πλαστικό χρησιμοποιείται ως εξωτερικό κάλυμμα για προστασία.

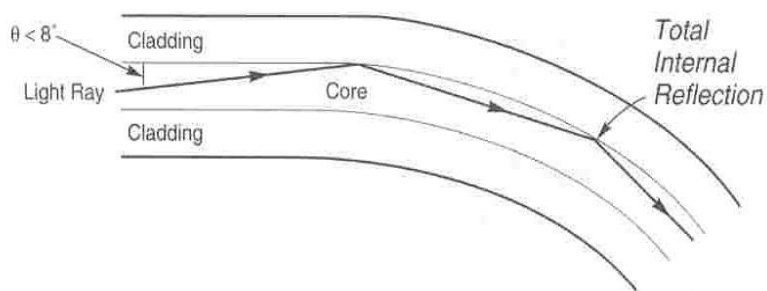
Οι οπτικές ίνες ειδικών εφαρμογών μπορούν και κατασκευάζονται και από άλλα υλικά. Για παράδειγμα, οι ενώσεις του φθορίου είναι διαφανείς σε μήκη κύματος μεγαλύτερου του υπερύθρου, επομένως χρησιμοποιούνται σε υπέρυθρες εφαρμογές. Αυτές οι ίνες μπορούν να καλούνται ίνες γυαλιού γιατί οι ενώσεις αυτές είναι υαλώδους μορφής ή μη κρυσταλλικές, αλλά τυπικά προσδιορίζονται από το υλικό που είναι κατασκευασμένες.

2.4 Ιδιότητες

Μηχανικά οι ίνες έχουν μεγάλη αντοχή αλλά είναι ταυτόχρονα και εύκαμπτες. Οι λεπτές είναι πιο εύκαμπτες από εκείνες με μεγαλύτερη διάμετρο. Σε αντίθεση με τα καλώδια οι ίνες επανέρχονται στην αρχική κατάσταση τους (ευθεία) αφότου σταματήσουν να κάμπτονται. Οι ίνες από γυαλί είναι εξαιρετικά δυνατές αλλά μπορούν να αστοχήσουν εάν επιφανειακές ρωγμές διαδοθούν μέσω της ίνας. Τα πλαστικά καλύμματα προστατεύουν από αυτό το πρόβλημα.

2.5 Βασικές αρχές λειτουργίας

Ο τρόπος λειτουργίας των ινών περιγράφεται με βασικές αρχές της οπτικής και της αλληλεπίδρασης του φωτός με την ύλη. Το φως μπορεί να έχει την μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος ή φωτονίων (κβαντικής ηλεκτρομαγνητικής ενεργείας). Αυτή είναι η γνωστή διττή φύση του φωτός (κύματος/σωματιδίων). Η πιο απλή άποψη είναι να θεωρήσουμε το φως ως ακτίνες που ταξιδεύουν σε ευθείες γραμμές ανάμεσα ή διάμεσου οπτικών στοιχείων, τα οποία μπορούν να ανακλούν ή διαθλούν τις ακτίνες στις επιφάνειες τους.



Εικόνα 2.3: Απεικόνιση του φωτός στον πυρήνα για την γωνία πρόσπτωσης

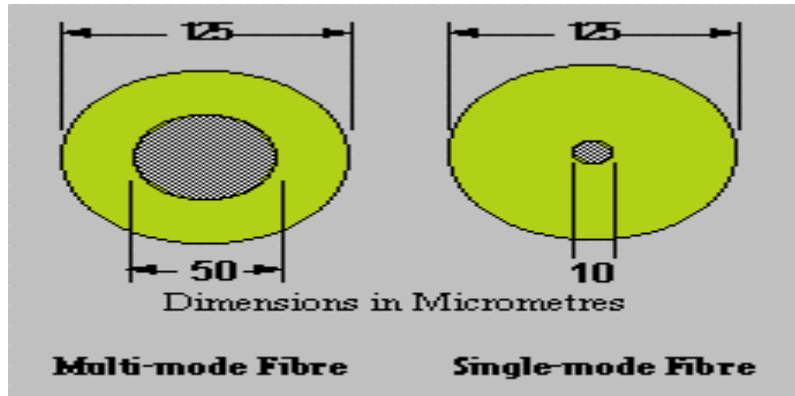
Δυο βασικά στοιχεία σε μια οπτική ίνα είναι ο πυρήνας και η επικάλυψη. Ο πυρήνας είναι το εσωτερικό κομμάτι της ίνας το οποίο οδηγεί το φως. Η επικάλυψη περιβάλλει τον πυρήνα εντελώς. Ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος από εκείνων της επικάλυψης και έτσι το φως στον πυρήνα, όταν χτυπάει το σύνορο με την

επικάλυψη με συγκεκριμένη γωνία, περιορίζεται στον πυρήνα μέσω ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Η διαφορά στον δείκτη διάθλασης δεν χρειάζεται να είναι μεγάλη. Πρακτικά είναι μόλις 1%. Αυτό επιτρέπει την διάδοση του φωτός στις ίνες. Για λόγο των δεικτών διάθλασης 0.99, η κριτική γωνία πρόσπτωσης είναι $\theta_c = 82^\circ$. Για αυτό το λόγο το φως περιορίζεται στον πυρήνα εάν η γωνία πρόσπτωσης είναι 8° ή λιγότερο σε σχέση με την επιφάνεια (βλ. εικόνα 2.3).

2.6 Καταστάσεις της ίνας

Οι οπτικές ίνες οδηγούν τα κύματα σε ορισμένες καταστάσεις οι οποίες περιγράφουν την κατανομή της ενέργειας του φωτός κατά μήκος του οδηγού. Η ακριβής μορφή εξαρτάται από το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου φωτός και την αλλαγή του δείκτη διάθλασης που διαμορφώνει των πυρήνα ο οποίος μπορεί να είναι πιο πολύπλοκος από τον άλλο πυρήνα που περιγράφηκε προηγουμένως. Στην πραγματικότητα η αλλαγές αυτές στον δείκτη διάθλασης δημιουργούν οριακές συνθήκες, οι οποίες καθορίζουν το πώς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν μέσω του οδηγού όπως οι τοίχοι ενός τούνελ επηρεάζουν την ήχο.

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά είναι ο αριθμός των καταστάσεων που μπορεί να υποστηρίξει η οπτική ίνα. Ίνες με μικρούς πυρήνες μπορούν να μεταδίδουν το φως μόνο με μια κατάσταση (single-mode). Μπορεί να είναι πολύ δύσκολο το φως να εισέρθει στην ίνα, αλλά μόλις μπει, συμπεριφέρεται ομοιόμορφα. Είναι ευκολότερο το φως να εισέρθει σε ίνες με μεγαλύτερους πυρήνες όπου μπορούν να υποστηρίξουν πολλές καταστάσεις (multi-mode), αλλά δεν συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις καταστάσεις, καθιστώντας την μετάδοση του φωτός πιο περιπλοκή (βλ. εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Μεγέθη πυρήνα οπτικής ίνας

Δυο πολλοί σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες της ίνας είναι η δομή του πυρήνα επικάλυψης και η σύνθεση του γυαλιού. Το μέγεθος του πυρήνα και της επικάλυψης και η φύση της επιφάνειας μεταξύ τους, καθορίζουν τις ιδιότητες της ίνας και πως μεταδίδεται το φως σε διαφορετικά μήκη κύματος. Οι απλοί τύποι που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι οι : **step-index, graded-index**.

Στην πρώτη περίπτωση, ο δείκτης διάθλασης αλλάζει απότομα στο σύνορο ανάμεσα στον πυρήνα με τον υψηλό δείκτη διάθλασης και την επικάλυψη του χαμηλού δείκτη διάθλασης. Στην δεύτερη περίπτωση, η αλλαγή αυτή είναι σταδιακή και υπάρχουν πολλά στρώματα, (αλλάζουν οι ιδιότητες της ίνας).

Οι μορφές (modes) είναι σταθερά πρότυπα τα οποία μπορούν να ταξιδέψουν μέσα σε έναν οδηγό κύματος (waveguide).

2.7 Ίνες πολλών καταστάσεων (multi-mode fibers)

Ένα με μεγάλη διάμετρο πυρήνα, μεγαλύτερη από 10 μm μπορεί να αναλυθεί με την θεωρία της γεωμετρικής οπτικής. Σε μια τέτοια ίνα που ο δείκτης διάθλασης αλλάζει απότομα (step-index), οι ακτίνες του φωτός οδηγούνται κατά μήκος της ίνας βάση της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Οι ακτίνες που συναντούν το σύνορο πυρήνα επικάλυψης σε μεγάλη γωνία μετρούμενη σχετικά με μια γραμμή παράλληλη στο σύνορο, μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία για το όριο, ανακλούνται εντελώς. Η κρίσιμη γωνία η μικρότερη δυνατή για την ολική εσωτερική ανάκλαση καθορίζεται

από την διάφορα του δείκτη διάθλασης ανάμεσα στον πυρήνα και την επικάλυψη. Οι ακτίνες που συναντούν το όριο με μικρή γωνία εκτρέπονται από τον πυρήνα, αλλάζουν κατεύθυνση και κατευθύνονται στην επικάλυψη.

Έτσι δεν μεταδίδεται το φως και οι πληροφορίες κατά μήκος της ίνας. Η κρίσιμη γωνία καθορίζει την επιτρεπόμενη γωνία της ίνας, που συχνά καλείται «αριθμητικό άνοιγμα» (numerical aperture). Ένα υψηλό αριθμητικό άνοιγμα επιτρέπει στο φως να διαδίδεται κατά μήκος της ίνας κοντά στον άξονα και σε διαφορές γωνίες, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την αποτελεσματική ένωση του φωτός στην ίνα. Όμως με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται το ποσό της σκέδασης, καθώς ακτίνες σε διαφορετικές γωνίες έχουν διαφορετικές διαδρομές και χρειάζονται διαφορετικό χρόνο για να διασχίσουν την ίνα. Ένα μικρό αριθμητικό άνοιγμα μπορεί να είναι επιθυμητό.

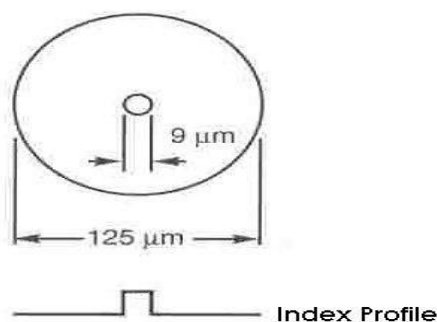
Στις ίνες που γίνεται σταδιακά η αλλαγή του δείκτη διάθλασης (graded-index), ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα μειώνεται προοδευτικά ανάμεσα στον άξονα και στην επικάλυψη. Αυτό οδηγεί τις δέσμες φωτός να κάμπτονται ομαλά καθώς πλησιάζουν την επικάλυψη, παρά να ανακλώνται απότομα από το σύνορο πυρήνα - επικάλυψης. Η προσκίπτουσα περίπτωση μειώνει τον σκεδασμό που υπάρχει στις step-index ίνες, επειδή οι ακτίνες με μεγάλες γωνίες πέρανε μέσα από την περιφέρεια όπου έχει μικρό δείκτη διάθλασης παρά μέσα από το κέντρο του πυρήνα που έχει μεγάλο δείκτη διάθλασης. Το προφίλ του δείκτη διάθλασης είναι έτσι κατάλληλα επιλεγμένο ώστε να ελαχιστοποιεί την διάφορα στην ταχύτητα της αξονικής διάδοσης στην ίνα. Το ιδανικό προφίλ πλησιάζει την παραβολική συνάρτηση του δείκτη με την απόσταση από τον άξονα.

2.8 Ίνες μιας κατάστασης (single-mode fibers)

Ίνες με διάμετρο πυρήνα μικρότερη από δέκα φορές το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου φωτός δεν μπορούν να αναλυθούν με την θεωρία της γεωμετρικής οπτικής. Αντιθέτως πρέπει να αναλυθούν ως ηλεκτρομαγνητική δομή βάση της λύσης των απλοποιημένων εξισώσεων του **Maxwell** για το ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Επειδή η ίνα δρα ως ένας οπτικός οδηγός κύματος, υποστηρίζει μια ή περισσότερες εγκάρσιες κατάστασης με τις οποίες το φως μπορεί να διαδοθεί στην ίνα. Η ίνα που

επιτρέπει μια κατάσταση λέγεται single-mode. Η συμπεριφορά των ινών με μεγαλύτερες διαμέτρους multi-mode μπορεί επίσης να ερμηνευτεί με την εξίσωση κύματος, η οποία δείχνει ότι αυτές επίσης μπορούν να υποστηρίξουν παραπάνω από μια κατάσταση διάδοσης. Τα αποτελέσματα από αυτήν την μοντελοποίηση της multimode ίνας συμφωνούν με τις προβλέψεις από την γεωμετρική οπτική εάν ο πυρήνας της ίνας είναι αρκετά μεγάλος για να υποστηρίξει παραπάνω από μερικές καταστάσεις.

Η ανάλυση βάσει του οδηγού μήκους κύματος (waveguide analysis) δείχνει ότι η ενεργεία του φωτός στην ίνα δεν είναι εντελώς περιορισμένη στον πυρήνα. Αντιθέτως ειδικά σε single mode ίνες, ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας ταξιδεύει στην επικάλυψη ως διαφεύγων κύμα. Ο πιο κοινός single-mode τύπος ίνας, έχει διάμετρο πυρήνα 8μm έως 10μm και είναι σχεδιασμένος για χρήση στα υπέρυθρα μήκη κύματος (βλ. εικόνα 2.5). Είναι αξιοσημείωτο ότι η δομή της καταστάσης εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε αυτή η ίνα να υποστηρίζει ένα μικρό αριθμό επιπλέον καταστάσεων στο ορατό μήκος κύματος. Ίνες multi-mode, ως σύγκριση, κατασκευάζονται με πυρήνες διαμετρών από 50 μικρά έως εκατοντάδες μικρά.

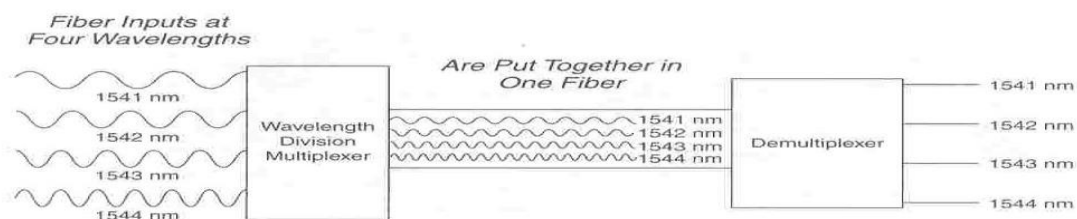


Σχήμα 2.5 Τύπος ίνας single mode

Είτε πρόκειται για single-mode ή multi-mode, η οπτική ίνα μπορεί να χρησιμεύει ως αισθητήρας. Όμως οι single-mode ίνες με μικρότερο πυρήνα είναι πολύ πιο ευαίσθητες, πράγμα που είναι επιθυμητό σε παραμόρφωση. Για μετρήσεις μηχανικών παραμορφώσεων, πρέπει αφενός οι αισθητήρες να είναι κοντά στο σημείο που θα σημειωθεί η ζημιά έτσι ώστε να είναι αξιόπιστες οι μετρήσεις, και αφετέρου πρέπει να έχουν αρκετή ανάλυση (resolution) εάν η ζημιά είναι μακριά.

2.9 Πολυπλεξία (Multiplexing)

Η πολυπλεξία είναι ο συνδυασμός πολλών σημάτων χαμηλής ταχύτητας έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ενοποιημένο, υψηλότερης ταχύτητας σήμα, το οποίο μπορεί να μεταδοθεί πιο οικονομικά. Η πολυπλεξία είναι μια γενική διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές μορφές επικοινωνίας. Υπάρχουν πολύ διαφορετικοί τύποι πολυπλεξίας, μερικοί από τους οποίους είναι : **Πολυπλεξία διαμοίρασης συχνότητας (Frequency-division multiplexing)**. Είναι η μετάδοση σημάτων σε φορείς με διαφορετικές συχνότητες. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι ραδιοτηλεοπτικοί σταθμοί. Κάθε σταθμός εκπέμπει το σήμα στην δική του συχνότητα και συνεπώς ο αέρας μεταδίδει τα σήματα όλων των σταθμών στην περιοχή. Ο κάθε δέκτης όμως, μπορεί να επιλέξει πιο σήμα θέλει, από όλα όσα υπάρχουν εκείνη την χρονική στιγμή. **Πολυπλεξία διαμοίρασης μήκους κύματος (Wavelength-division multiplexing)**. Οπτικά μοιάζει με την πολυπλεξία διαμοίρασης συχνότητας. Διαφορετικά σήματα τροποποιούν τους φορείς σε διαφορετικά οπτικά μήκη κύματος (η συχνότητες στην οπτική περιοχή αντιστοίχως). Κάθε μήκος κύματος είναι ένα οπτικό κανάλι. Ειδικά όργανα συλλέγουν το φως και το κατευθύνουν σε άλλη οπτική ίνα, η οποία μεταδίδει το φως. Στο άλλο άκρο όργανα υποδαυλίσεις (demultiplexing) διαχωρίζουν τα μήκη κύματος κατευθύνοντας το κάθε οπτικό κανάλι στο δικό του δεκτή για να ξαναδημιουργηθεί το αρχικό σήμα όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.6.

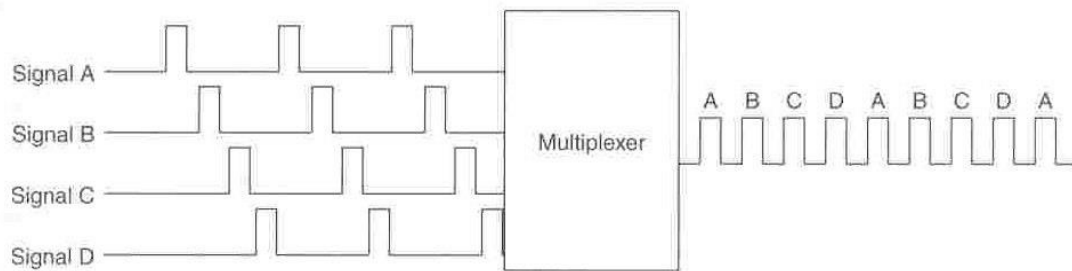


Εικόνα 2.6: Όργανα υποδαυλίσεως

Και οι δυο τεχνικές είναι παρόμοιες, εκτός του ότι η κάθε μια λειτουργεί σε διαφορετικά μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Και οι δυο πολλαπλασιάζουν την ικανότητα μετάδοσης με τον αριθμό ψηφιακών η αναλογικών καναλιών που

μεταφέρουν. Ο αριθμός των δυνατών καναλιών περιορίζεται από το μέσο μετάδοσης, την απόσταση των καναλιών, και τα στάνταρ που εφαρμόζονται.

Πολυπλεξία διαμοίρασης χρόνου (Time-division multiplexing). Είναι μια διαφορετική διαδικασία, η οποία περιορίζεται μόνο σε ψηφιακά σήματα. Συνδυάζει ροές από διαφορετικά σήματα για να παράγει ένα με μεγαλύτερη ταχύτητα δεδομένων (βλ. εικόνα 2.7)



Εικόνα 2.7: Συνδυασμός ροών διαφόρων σημάτων

Κεφάλαιο 3^ο: Οπτικοί αισθητήρες

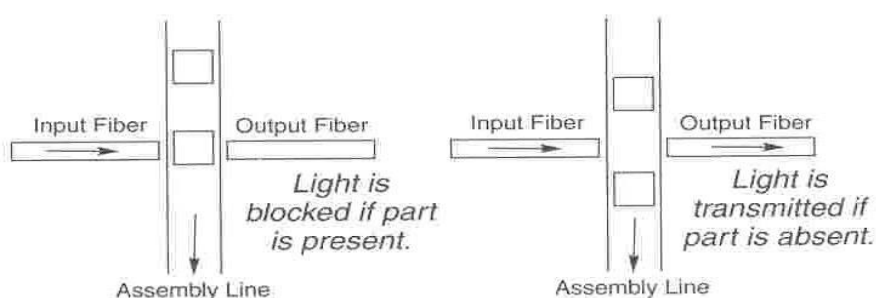
3.1 Γενικά για τους οπτικούς αισθητήρες

Ο τίτλος οπτικοί αισθητήρες (optic sensors) καλύπτει ένα ευρύ φάσμα από συσκευές που δουλεύουν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Η πιο απλή εφαρμογή χρησιμοποιεί οπτικές ίνες με το να ανιχνεύει αλλαγές στο φως οπου εξέρχεται από την ίνα. Η ίνα μπορεί να συλλέξει το φως από ένα δεδομένο σημείο για να διαπιστωθεί εάν ένα αντικείμενο είναι παρόν ή όχι. Η ίνα επίσης μπορεί να συλλέξει το φως από ένα άλλο είδος οπτικού αισθητήρα, ο οποίος αποκρίνεται στο περιβάλλον του με τέτοιο τρόπο που να αλλάζει το φως που φτάνει στην ίνα. Για παράδειγμα ένα πρίσμα σε μια δεξαμενή υγρού μπορεί να αρχίσει να ανακλά φως πίσω σε έναν αισθητήρα εάν η στάθμη του υγρού πέσει κάτω από την ανακλώμενη επιφάνεια του πρίσματος, εκτιθωντάς το στον αέρα έτσι ώστε να συμβεί ολική εσωτερική ανάκλαση.

Άλλοι αισθητήρες ινών ανιχνεύουν αλλαγές στο φως που παίρνει μέσω μιας ίνας και επηρεάζονται από αλλαγές του εξωτερικού κόσμου, όπως θερμοκρασία ή πίεση. Μπορούν να σχεδιαστούν ειδικές ίνες ή ειδικές κατασκευές στις ίνες που να αποκρίνονται πιο έντονα σε εξωτερικές διεγέρσεις. Μπορούν επίσης μέσω οπτικών φαινομένων όπως η συμβολή να ανιχνεύουν μικρά αποτελέσματα τα οποία συσσωρεύονται σε μεγάλα μήκη της ίνας. Με αυτούς τους τρόπους οπτικοί αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν αλλαγές σε ιδιότητες όπως θερμοκρασία, πίεση και περιστροφή. Οι ανιχνευτές οπτικών ινών συλλέγουν φως από απομακρυσμένα σημεία, συχνά κάνοντας δειγματοληψία στο φως που οδηγήθηκε εκεί μέσω των ινών. Υπάρχουν δυο μεγάλες οικογένειες οι οποίες εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες ως αισθητήρες. Οι πιο απλές λειτουργούν εξετάζοντας αν το φως είναι παρών η απών στο σημείο που ενδιαφέρει. Οι υπόλοιπες συλλέγουν το φως από απομακρυσμένους οπτικούς αισθητήρες, φέρνοντας το πίσω σε ένα μέρος για να αναλυθεί.

3.2 Απλοί ανιχνευτές

Στο σχήμα 2.8 δείχνει έναν απλό οπτικό ανιχνευτή που ελέγχει αν είναι παρόντα τα τεμάχια, σε μια γραμμή παράγωγης. Μια ίνα μεταφέρει το φως από μια εξωτερική πηγή και μια δεύτερη συλλέγει το φως από την πρώτη για όσο καιρό δεν παρεμβάλλεται κάτι ανάμεσα τους. Όταν ένα τεμάχιο περνά ανάμεσα, εμποδίζει το φως. Με αυτόν τον τρόπο η διακοπή του φωτός δείχνει ότι ένα τεμάχιο είναι στην γραμμή παράγωγης, ενώ όταν υπάρχει φως στην ίνα σημαίνει ότι δεν υπάρχει τεμάχιο στην γραμμή παράγωγης.



Εικόνα 3.1: Απλός οπτικός ανιχνευτής

Αυτή η ιδέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους και δεν είναι καινούργια. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στους υπολογιστές στις διάτρητες κάρτες πριν εμφανιστούν τα μαγνητικά μέσα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο ανιχνευτής πίσω από την κάρτα αισθανόταν άμεσα το μεταδιδόμενο φως χωρίς την ύπαρξη ίνας που συλλέγει το φως. Η κάρτα πέρναγε μέσα από μια σειρά ινών σε συγκεκριμένη ταχύτητα και οι ανιχνευτές παρακολουθούσαν την εκπομπή φωτός ως συνάρτηση του χρόνου. Όταν μια οπή πέρναγε στο τέλος της ίνας, φως έφτανε στον ανιχνευτή. Όταν δεν υπήρχε οπή, η κάρτα δεν εμποδίζε το φως. Η τεχνική ήταν απλή και αποτελεσματική.

Σύγχρονες εκδοχές περιλαμβάνουν μέτρηση του μεγέθους διαφόρων κομματιών, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι πληρούν συγκεκριμένες ανοχές. Μια σειρά από ίνες μπορεί να τοποθετηθεί παράλληλα με την γραμμή παραγωγής με τέτοιο τρόπο που ορισμένα κομμάτια που περνάνε να εμποδίζουν το φως σε μερικές ίνες. Τα κομμάτια περνάνε τον έλεγχο εάν όλες οι ίνες πάνω από το ανώτατο ύψος λαμβάνουν φως. Κομμάτια

που είναι πολύ μικρά η πολύ ψηλά απορρίπτονται όταν το φως φτάνει σε ίνες που υποτίθεται ότι είναι σκοτεινές ή όταν δεν φτάνει σε ίνες που θα έπρεπε να φωτίζονται.

3.3 Οπτικοί αισθητήρες σε απόσταση

Οι οπτικοί ανιχνευτές μπορούν επίσης να συλλέγουν φως από άλλους τύπους οπτικών αισθητήρων. Σε αυτήν την περίπτωση οι ίνες λειτουργούν ως καλώδια κολλημένα σε έναν ηλεκτρονικό αισθητήρα. Ο οπτικός αισθητήρας (ο οποίος δεν είναι οπτική ίνα) αποκρίνεται με τέτοιο τρόπο στο περιβάλλον, αλλάζοντας το φως που φτάνει στον ανιχνευτή. Η ίνα μεταφέρει το φως στον ανιχνευτή ο οποίος αισθάνεται την αλλαγή.

3.4 Μηχανισμοί οπτικών αισθητήρων

Οι εξωτερικές επιδράσεις μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την μετάδοση σε μια ίνα με ποικίλους τρόπους, που έχουν σχέση με τον τύπο της ίνας και πως αυτή είναι τοποθετημένη. Για την δημιουργία οπτικών αισθητήρων χρησιμοποιούνται ίνες που αποκρίνονται εύκολα, σε αντίθεση με τις ίνες τηλεπικοινωνιών που φτιάχνονται για να είναι αποκομμένες από το περιβάλλον.

3.5 Η φιλοσοφία των αισθητήρων

Ένας αισθητήρας μετατρέπει ένα φυσικό φαινόμενο που θέλουμε να παρατηρήσουμε σε μια μετρήσιμη μορφή. Για παράδειγμα το κοινό θερμόμετρο που είναι γεμάτο με υδράργυρο. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία το υγρό διαστέλλεται. Το θερμόμετρο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε για συγκεκριμένη διαστολή του υγρού να προσεγγίζεται και η συγκεκριμένη θερμοκρασία. Οι οπτικές ίνες λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και μετρούν ιδιότητες όπως η θερμοκρασία, με το να παρατηρούν το φως να μεταδίδεται μέσω του αισθητήρα. Προσπαθούν με αλλά λόγια να κάνουν την ιδιότητα, που θέλουν να μετρήσουν, να αλλοιώσει το φως με κάποιο τρόπο.

Οι πιο απλοί λειτουργούν με τους εξής τρόπους :

Άμεσα αλλιώνοντας την ένταση (intensity)

Επηρεάζοντας την κατάσταση πόλωσης (state of polarization) του φωτός

Μετατοπίζοντας την φάση (phase shift) του μεταδιδόμενου φωτός

3.6 Άμεση αλλοίωση της έντασης

Οι αισθητήρες που μετρούν άμεσα την ένταση του φωτός είναι απλοί σε σύλληψη. Ο πιο απλός από όλους είναι ο αισθητήρας ρωγμών που έχει τοποθετηθεί μέσα σε σύνθετο υλικό. Για όσον καιρό το υλικό είναι άθικτο, η ίνα μεταδίδει το φως χωρίς εμπόδια. Μια ρωγή προκαλεί κάμψη στην ίνα μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ένταση του φωτός ή σταματώντας εντελώς το φως, ανάλογα με το ποσό μεγάλη είναι η ρωγή. Ένας άλλος τρόπος είναι το βέλος κάμψης που υφίσταται η ίνα εάν δεχτεί φορτίο. Είναι σχετικά εύκολο να κατασκευαστούν και δεν απαιτούν πολύπλοκο εξοπλισμό και επεξεργασία σήματος, οι αισθητήρες αυτοί δίνουν μόνο περιορισμένες πληροφορίες. Γενικά είναι ευαίσθητοι σε διακυμάνσεις του φωτός, ή απώλειες φωτός που προέρχονται από αλλοίωση της ίνας. Επίσης, υποφέρουν από έλλειψη σαφούς περιοχής ανίχνευσης, παρά τα προαναφερθέντα προβλήματα, εάν ένας μεγάλος αριθμός από αισθητήρες χρησιμοποιηθεί από το δίκτυο για ανίχνευση ζημίας, θα μπορούσε να είναι χρήσιμος εξαιτίας του χαμηλού κόστους στην κατασκευή και λειτουργία του δικτύου.

3.7 Μέτρηση κατασκευής πόλωσης

Ένας άλλος τρόπος είναι να επηρεαστεί η κατάσταση πόλωσης του φωτός μέσα στην ίνα. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές αυτής της μεθόδου. Ένα παράδειγμα είναι η μέτρηση των μαγνητικών πεδίων, χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που ονομάζεται περιστροφή Faraday και η όποια περιστρέφει το επίπεδο του πολωμένου φωτός κατά

μια γωνία ανάλογη με την δύναμη του μαγνητικού πεδίου. Εάν σταλεί κάθετα πολωμένο φως μέσω μιας ευαίσθητης ίνας, μπορεί να μετρηθεί το μαγνητικό πεδίο μέσω της μέτρησης της γωνίας. Πρακτικά δεν μετριέται άμεσα η γωνία της πόλωσης. Μετράται η αλλαγή στην ένταση του μεταδιδόμενου φωτός από έναν άλλο πολωτή. Εάν ο δεύτερος πολωτής είναι και αυτός κάθετος η μείωση της έντασης του μεταδιδόμενου φωτός αντιστοιχεί στην γωνία περιστροφής. Έτσι μετατρέπεται η αλλαγή της πόλωσης σε αλλαγή στην ένταση που είναι πολύ πιο εύκολο να μετρηθεί. Άλλοι αισθητήρες παράγουν αποτελέσματα τα οποία επηρεάζουν το φως διαφορετικών πολώσεων με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα η πίεση μπορεί να αλλάξει το δείκτη διάθλασης για κάθετα πολωμένο φως διαφορετικά για οριζόντια πολωμένο φως. Αυτό οδηγεί σε μια αλλαγή φάσης στις εντάσεις του φωτός διαφορετικών πολώσεων, οι οποίες απαιτούν ένα άλλο είδος μέτρησης.

3.8 Αισθητήρες φάσης ή παρεμβολής

Υπάρχουν αισθητήρες που μπορούν να αλλοιώσουν τη φάση του φωτός για να προκαλέσουν έτσι φαινόμενα παρεμβολής και να αλλάζουν την ένταση του φωτός. Για να καταλάβουμε πως λειτουργούν θα περιγραφεί το παράδειγμα με τον αισθητήρα πίεσης, ο οποίος αλλάζει τη φάση πολωμένου φωτός. Αλλάζοντας κατά διαφορετικά ποσά τους δείκτες διάθλασης των διαφορετικών καταστάσεων πόλωσης, ο αισθητήρας καθυστερεί την μια κατάσταση πόλωσης σε σχέση με την άλλη. Για να μετρηθεί αυτό πρέπει να χωριστούν οι δυο καταστάσεις στο άκρο εξόδου, να περιστραφεί η μια κατά 90° να εξισωθούν τα μήκη διαδρομής και να ενωθούν μαζί. Εάν οι δυο καταστάσεις είναι σε φάση τότε η έξοδος είναι υψηλή, εάν όμως είναι περιστρεμμένη κατά 180° , τότε η έξοδος είναι χαμηλή. Οι αισθητήρες παρεμβολής είναι πολύ ευαίσθητη σε μικρές αλλαγές, αλλά εμφανίζουν και κάποιους περιορισμούς. Ένας από αυτούς πρέπει να είναι σε δέσμη έτσι ώστε να συμβαίνει παρεμβολή. Για αυτό το λόγο χρειάζονται πηγές φωτός όπως το laser. Επιπλέον, υπάρχει μια έμφυτη διαφορούμενη έννοια, διότι μια καθυστέρηση 360° παράγει το ίδιο αποτέλεσμα με μια μη καθυστέρηση των 720° .

Για να γίνει η μετατόπιση της φάσης σε αλλαγή στην ένταση πρέπει να συγκριθούν 2 σήματα. Στην περίπτωση του αισθητήρα πόλωσης αυτά τα σήματα είναι δυο καταστάσεις πόλωσης οι οποίες επηρεάζονται διαφορετικά από αλλαγές στο δείκτη διάθλασης που προκύπτουν από την επιβολή πίεσης.

3.9 Αισθητήρες παρεμβολής (interferometric) Fabry-Perot

Οι αισθητήρες συμβολής Fabry-Perot ανιχνεύουν μετατόπιση στην φάση μέσω κοιλοτήτων αντήχησης παρά μέσω σύγκρισης της μετατόπισης της φάσης του φωτός που παίρνει από δυο διαφορετικές διευθύνσεις. Το στοιχείο που κάνει την ανίχνευση είναι μια τομή της ίνας η οποία έχει ανακλαστικές στρώσεις σε κάθε άκρη. Το φως περνά μέσα από ένα ανακλαστικό στρώμα και ανακλάται μετά από κάποια απόσταση από έναν ολικό ανακλαστή όπως έναν καθρέπτη. Αυτοί οι δυο καθρέπτες αποτελούν το συμβολόμετρο Fabry-Perot το οποίο έχει μια σειρά από αντήχησης σε συγκεκριμένα μήκη κύματος τα οποία καθορίζονται από το μήκος της κοιλότητας και τον δείκτη διάθλασης.

Από την φυσική γνωρίζουμε ότι σε κάθε σημείο αντήχησης η απόσταση του ταξιδιού επιστροφής πρέπει να ισούται με έναν ακέραιο αριθμό μηκών κύματος σε υλικό, με τον δείκτη διάθλασης να περιλαμβάνεται για να υπολογιστεί η διάφορα μεταξύ του μήκους κύματος στο κενό “ λ ” και στο “ λ/n ”.

$$N \lambda_n = 2 L n$$

Εάν το μήκος κύματος παραμένει σταθερό και η κοιλότητα είναι μεγάλη σε σχέση με το μήκος κύματος, η ένταση του ανακλώμενου φωτός αλλάζει με διακυμάνσεις το μήκος ή στο δείκτη διάθλασης. Σε αισθητήρες θερμοκρασίας η αλλαγή στο δείκτη διάθλασης είναι περίπου είκοσι φορές μεγαλύτερη από την αλλαγή στο μήκος και για αυτό το λόγο κυριαρχεί στην μετατόπιση της φάσης. Η ίδια προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της πίεσης και της θερμοκρασίας.

3.10 Γυροσκόπιο οπτικών ινών

Το γυροσκόπιο οπτικών ινών είναι πιθανόν ο πιο επιτυχημένος οπτικός αισθητήρας οπτικών ινών μέχρι τώρα. Βασίζεται σε οπτικές διαδικασίες για να μετρήσει περιστροφή γύρω από τον άξονα ενός δακτυλιδιού από οπτικές ίνες. Η ανίχνευση της περιστροφής είναι πολύ σημαντική, ειδικά για τα αεροσκάφη τα οποία χρησιμοποιούσαν μέχρι τώρα μηχανικά γυροσκόπια. Τα γυροσκόπια που λειτουργούν με οπτικές ίνες προσφέρουν ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων, τα οποία περιλαμβάνουν μη κινούμενα μέρη, μεγαλύτερη αξιοπιστία και χωρίς την ανάγκη για προθέρμανση για να ξεκινήσει το γυροσκόπιο.

Τα γυροσκόπια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρη αδρανειακού συστήματος πλοήγησης (**inertial navigation system**) το οποίο παρακολουθεί την τροχιά του οχήματος. Τρία διαφορετικά γυροσκόπια παρακολουθούν την γωνιακή κατεύθυνση σε τρεις καθέτους άξονες. Για τον προσδιορισμό της θέσης πρέπει να καταγράφεται και ο χρόνος, έτσι ώστε να είναι γνωστό ποτέ το όχημα έκανε μια συγκεκριμένη στροφή. Τα σύγχρονα γυροσκόπια μπορούν να κρατάνε τη διεύθυνση με ακριβιά μιας μοίρας ανά ώρα.

3.11 Δίκτυα αισθητήρων οπτικών ινών

Για να εκτιμηθούν τα αποτελέσματα της ζημιάς σε μια μεγάλη κατασκευή, θα πρέπει να καθοριστεί η κατάσταση τάσης ή παραμόρφωσης. Αυτό επομένως σημαίνει ότι πρέπει να σημειωθούν πολλαπλές μετρήσεις παραμόρφωσης, πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί με δίκτυα αισθητήρων οπτικών ινών. Μια πολλή απλή εφαρμογή θα ήταν σε σύνθετα υλικά να τοποθετηθούν σειρές από ίνες που θα μετρούν την αλλοίωση της έντασης, σε διαφορετικές στρώσεις του σύνθετου. Με επαρκείς σειρές από τέτοιες ίνες σε σύνθετες κατασκευές με τέτοιο πάχος, θα μπορούσε να γίνει εκτίμηση της θέσης θραύσης και της σοβαρότητας της ζημιάς όταν συμβεί θραύση των οπτικών ινών.

3.12 Quasi-Distributed δίκτυο αισθητήρων

Ένα δίκτυο οπτικών αισθητήρων με μεγάλο αποτέλεσμα προέρχεται είτε από ένα μη πλήρως κατανεμημένο (quasi-distributed) δίκτυο, είτε ένα πλήρως κατανεμημένο (fully-distributed) δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί μια μόνο πηγή φωτός. Το πρώτο βασίζεται σε σειρές αισθητήρων οι οποίοι τοποθετούνται σε μια ίνα με τις τεχνικές Optical time-domain reflectometry (OTDR) πολυπλεξίας διαμοίρασης μήκους κύματος ή coherence division multiplexing (CDM). Η τεχνική OTDR χρησιμοποιεί ένα παλμό φωτός ο οποίος εκπέμπεται από το ένα άκρο του αισθητήρα και ανακλάται πίσω στο ίδιο άκρο της ίνας από τοποθεσίες κατά μήκος της ίνας σε μια ανακλαστική διάταξη. Τότε ο χρόνος ταξιδιού της επιστροφής χρησιμοποιείται για να καθορίσει την τάση. Εάν ο αριθμός αυτών των τοποθεσιών είναι γνωστός από πριν, το σύστημα γίνεται πιο αποτελεσματικό και η σειρά αισθητήρων λέγεται : μη πλήρως κατανεμημένος οπτικός αισθητήρας. Σε αυτόν τον τύπο δικτύου αισθητήρων , οι ανακλαστήρες μπορούν να δημιουργηθούν, με διαφορές μήκους διαδρομής ή με FBG με γνωστό μήκος κύματος ανάκλασης. Επίσης οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν είτε σειριακά είτε παράλληλα ή και με συνδυασμό και με των δυο.

Η σειριακή τοπολογία σε μια ανακλαστική διάταξη φαίνεται απλούστερη όταν την εφαρμόζεις, μπορεί όμως να εμφανιστούν προβλήματα σχετιζόμενα με την ισχύ, εάν οι αισθητήρες βρίσκονται μακριά από την πηγή φωτός. Το κυριότερο πρόβλημα στην σειριακή τοπολογία είναι ότι, ένας οποιοσδήποτε αισθητήρας καταστραφεί τότε διακόπτεται όλο το δίκτυο. Επιπλέον, μπορεί μόνο ένας περιορισμένος αριθμός αισθητήρων να τοποθετηθεί στο δίκτυο λόγω του περιορισμένου εύρους σε μήκη κύματος ή του περιορισμένου εύρους παραμόρφωσης.

3.13 Fully distributed δίκτυο οπτικών αισθητήρων

Εάν οι προαναφερθείσες τοποθεσίες ανίχνευσης αντιστοιχούν σε οπουδήποτε σημείο της ίνας, τότε το δίκτυο καλείται πλήρως κατανεμημένος οπτικός αισθητήρας. Αυτά τα σημεία ανάκλασης είναι ατέλειες στα σύνορα του πυρήνα με την επικάλυψη. Όταν

ένα εξωτερικό φορτίο προκαλεί αλλαγές στο ανακλώμενο σήμα, οι μηχανικές παραμορφώσεις μπορούν να προσδιοριστούν με τις τεχνικές πολυπλεξίας που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αυτό το δίκτυο, ενώ διατηρεί τα πλεονεκτήματα των αυτόνομων αισθητήρων, μπορεί να έχει μια χωρική κατανομή των μηχανικών τάσεων κατά μήκος των αισθητήρων. Οι μόνοι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται μέχρι στιγμής είναι οι πολαρομετρικοί αισθητήρες. Το ιδανικό αποτέλεσμα της χρήσης των δικτύων είναι οι επαρκείς πληροφορίες δεδομένων έτσι ώστε να γίνει δυνατή η χωρική κατανομή των παραμορφώσεων παράλληλα με την χρήση αριθμητικών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά πρέπει να είναι πιο απλά από μεγάλης κλίμακας αριθμητικά μοντέλα.

Κεφάλαιο 4^ο: Οπτικοί αισθητήρες Fiber Bragg Grating

4.1 Γενικά για τους Fiber grating αισθητήρες

Οι οπτικές ίνες είναι ομοιόμορφες σε όλο το μήκος τους. Ένα τμήμα σε ένα σημείο της ίνας θα μοιάζει με οποιοδήποτε άλλο, αγνοώντας μικροσκοπικές ατέλειες. Μπορεί όμως ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας να μεταβάλλεται περιοδικά κατά μήκος της ίνας σε ορισμένα σημεία. Αυτές οι ίνες καλούνται **fiber gratings** διότι οι διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης σκεδάζουν το διερχόμενο φως από την ίνα, ένα φαινόμενο παρόμοιο με αυτό που συμβαίνει καθώς σκεδάζεται αφού κτυπήσει σε οπτικές συσκευές που έχουν χαραγμένα αυλάκια. Και οι δυο διαδικασίες εξαρτώνται από το μήκος κύματος του φωτός. Τα χαραγμένα αυλάκια είναι σειρές από παράλληλες γραμμές ή αυλάκια σε ανακλώμενες επιφάνειες. Οι γραμμές ανακλούν ή σκεδάζουν τα κύματα φωτός και με αυτόν τον τρόπο προβάλλει το «ουράνιο τόξο» των χρωμάτων. Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει εάν ανακλαστεί το φως από ένα δίσκο CD, όπου τα μικροσκοπικά κομμάτια σε παράλληλες κυκλικές γραμμές δρουν ως ευθείες σε ένα diffraction grating (χαραγμένα αυλάκια).

Σε ένα fiber grating οι «γραμμές» δεν είναι αυλάκια χαραγμένα σε μια επιφάνεια. Αντιθέτως είναι περιοχές με ομοιόμορφα κατανεμημένη απόσταση στην ίνα όπου ο δείκτης διάθλασης έχει αυξηθεί σε σχέση με εκείνο που έχει ο πυρήνας στην υπόλοιπη ίνα. Αυτές οι μεταβολές σκεδάζουν την ίνα σύμφωνα με το φαινόμενο Bragg. Η σκέδαση Bragg δεν είναι ακριβώς το ίδιο φαινόμενο με τον σκεδασμό από ένα diffraction grating. Αντιθέτως ένα Bragg grating επιλεκτικά ανακλά ένα στενό φάσμα μηκών κύματος. Κάθε φορά που το φως ανακλά σε μια περιοχή με υψηλότερο δείκτη διάθλασης ένα κομμάτι σκεδάζεται προς τα πίσω. Εάν το μήκος κύματος ταιριάζει με την απόσταση της ζώνης υψηλού δείκτη στην ίνα, τα σκεδαζόμενα κύματα από κάθε ζώνη συμβάλουν και παράγουν συνολικά μια έντονη ανάκλαση. Οι περιοχές με υψηλό δείκτη διάθλασης επίσης σκεδάζουν το φως σε αλλά μήκη κύματος αλλά τα σκεδαζόμενα κύματα διαφέρουν στην φάση και έτσι ακυρώνονται μεταξύ τους.

4.2 Κατασκευή των Fiber Gratings

Η ευαισθησία της ίνας που έχει στο φως είναι ένα σημαντικό φαινόμενο το οποίο αφορά την εγγραφή των Bragg gratings στον πυρήνα της ίνας. Η πρώτη παράγωγη των Bragg gratings έγινε το 1978 στο καναδικό κέντρο τηλεπικοινωνιών από τον **Hill**. Αρχικά τα gratings κατασκευάζονταν χρησιμοποιώντας ένα ορατό laser που διαδιδόταν κατά μήκος του πυρήνα της ίνας. Όμως έπρεπε να περάσουν αλλά 11 χρόνια για να δημοσιεύσει από τον **G.Meltz** το 1989, μια κορυφαία εργασία για την παράγωγη τους στον πυρήνα της ίνας μέσω της πλευράς της (fabrication through its side) ανακαλύπτοντας μια καινοτομία στους **FBG** αισθητήρες. Αυτή η τεχνική πλευρικής εγγραφής δημιουργεί ένα Bragg grating άμεσα στον πυρήνα της ίνας, χρησιμοποιώντας ένα ολογραφικό συμβολόμετρο το οποίο φωτίζεται από μια πηγή υπεριώδους φωτός (UV source). Από τότε πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχτεί για να αυξήσουν τον δείκτη διάθλασης μέσω της βελτίωσης της μεθόδου έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία και την φωτοευαισθησία του πυρήνα της ίνας. Οι εγκάρσιες ολογραφικές μέθοδοι είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, διότι μπορούν να κατασκευάσουν τα κατάλληλα διαμορφωμένα gratings και μπορούν να παράγουν εύκολα FBG αισθητήρες με το επιθυμητό φάσμα απόκρισης και σε οποιαδήποτε θέση της ίνας. Το 1993 προτάθηκε μια προχωρημένη τεχνική παράγωγης FBG, η οποία έκανε χρήση μιας οπτικής μάσκας φάσης (optical phase mask) για να δημιουργήσει άκρες/όρια συμβολής (interference fringes). Παρόμοιες τεχνικές για την παρασκευή FBG χρησιμοποιούνται σήμερα στους πιο πολλούς αισθητήρες.

Το υπεριώδες φως δημιουργεί fiber gratings με το σπάσιμο των ατομικών δεσμών στο γυαλί του πυρήνα. Η σύνθεση του γυαλιού προσαρμόζεται έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει το αποτέλεσμα. Συνήθως για την παρασκευή ένα υπεριώδες laser φωτίζει την ίνα μέσω μιας λεπτής επίπεδης πλακάς γυαλιού με κατάλληλη διάταξη παράλληλων κοιλοτήτων στο κάτω μέρος του. Η επιφάνεια αυτή καλείται μάσκα φάσης. Η περιοχές με υψηλή και χαμηλή ένταση εναλλάσσονται. Στις περιοχές με υψηλή ένταση το υπεριώδες φως σπάει τους δεσμούς στο γυαλί, αλλάζοντας το δείκτη διάθλασης και σχηματίζει ένα grating. Λόγω της γεωμετρίας οι γραμμές του grating στην ίνα μειώνονται στο μισό, καθώς εκτίνονται πιο μακριά από τις

παράλληλες γραμμές της μάσκας φάσης, εάν τα διαστήματα στη μάσκα φάσης είναι Λ η απόσταση των grating της ίνας είναι $\Lambda/2$.

Το μήκος κύματος του laser δεν επηρεάζει τα διαστήματα των γραμμών αλλά επηρεάζει τη δύναμη του grating. Το μέγεθος της αλλαγής στο δείκτη διάθλασης εξαρτάται από την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, τη σύνθεση του γυαλιού και οπουδήποτε επεξεργασία πριν την διαδικασία.

4.3 Διαδικασία παραγωγής

Αρχικά η κατασκευή των φωτοευαίσθητων οπτικών ινών και η εγγραφή των Bragg Grating γινόταν ξεχωριστά. Σήμερα οι γραμμές παράγωγης δημιουργούν την ίνα και το grating σε ένα στάδιο, αυτός ο τρόπος μειώνει το κόστος και το χρόνο και επιτρέπει επίσης, τη μαζική παράγωγή των Bragg Gratings. Η μαζική παράγωγή διευκολύνει ιδιαίτερα τις κατασκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως και 3000 Bragg Gratings σε μια μόνο ίνα.

4.4 Ανάκλαση και μετάδοση στα Fiber gratings

Το μήκος κύματος είναι αυτό που επηρεάζει το φως καθώς ταξιδεύει μέσα στην ίνα. Κάθε γραμμή ανακλά ένα μικρό κομμάτι του φωτός σε όλα τα μήκη κύματος. Εάν το μήκος κύματος στο γυαλί είναι ακριβώς διπλάσιο της απόστασης των γραμμών που είναι χαραγμένες στη ίνα, τότε όλο το σκεπαζόμενο φως είναι σε φάση με αποτέλεσμα τα κύματα του φωτός να συμβάλουν όλα μαζί. Αυτό το συγκεκριμένο μήκος κύματος ανακλάται. Όσο πιο πολλές γραμμές, όσο πιο ομοιόμορφα κατανεμημένη η απόσταση και όσο πιο έντονα χαραγμένες στην ίνα τόσο πιο έντονη και η ανάκλαση.

Το ανακλώμενο μήκος κύματος είναι διπλάσιο της απόστασης των γραμμών που είναι χαραγμένες στη ίνα, διότι το κύμα του φωτός πρέπει να περάσει στην περιοχή ανάμεσα τους 2 φορές, την πρώτη μέσα στο grating και την άλλη καθώς ανακλάται

προς τα πίσω. Είναι επίσης γνωστό ότι το μήκος κύματος που έχει σημασία είναι εκείνο μέσα στο γυαλί, το οποίο είναι μικρότερο από εκείνο στον αέρα. Αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης διάθλασης εισέρχεται στην εξίσωση εάν θέλουμε τα αποτελέσματα σε μήκη κύματος στον αέρα.

4.5 Σύνθετα και με κλήση Gratings

Τα fiber gratings μπορούν επίσης, να φτιαχτούν σε περιοχές όπου δεν απέχουν ή δεν είναι κάθετα κατά μήκος της ίνας.

Τύποι FBGs

1. Uniform positive only-index change
2. Gaussian apodized
3. Raised-cosine apodized
4. Chirped
5. Discrete phase shift
6. Superstructure

4.6 Chirped Bragg gratings

Η μορφή των gratings μπορεί να τροποποιηθεί για να προστεθούν αλλά χαρακτηριστικά, όπως η γραμμική αλλοίωση της περιόδου για να αυξηθεί το εύρος του ανακλώμενου φάσματος. Το chirp έχει την ικανότητα να αυξάνει την σκέδαση, δηλαδή διαφορετικά μήκη κύματος ανακλώμενα από το grating υπόκεινται σε διαφορετικές καθυστερήσεις.

4.7 Βασικές αρχές ανίχνευσης και λειτουργίας των FBG

Στο πεδίο των αισθητήρων από οπτικές ίνες οι αισθητήρες FBG είναι από τα πιο εντυπωσιακά επιτεύγματα των τελευταίων χρονών. Έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους άλλους αισθητήρες οπτικών ινών, κυρίως λόγο των ιδιοτήτων τους για τοποθέτηση πολλών αισθητήρων σε μια οπτική ίνα, και εύκολης παρακολούθησης τους λόγω του μοναδικού μήκους κύματος κάθε grating. Επίσης τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι κωδικοποιημένα στη μορφή μήκους κύματος, η όποια είναι μια απολυτή παράμετρος και δεν υφίσταται αλλοιώσεις από την διαδρομή του φωτός. Για αυτό το λόγο το σήμα εξόδου είναι ανεπηρέαστο από την ένταση της πηγής και τις απώλειες στις ενώσεις των ινών με τους συζευκτές (coupler). Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι οι FBG αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση πολλαπλών ιδιοτήτων όπως παραμόρφωση, πίεση, θερμοκρασία, ταλάντωση, μαγνητικά πεδία και επιτάχυνση.

Όπως αναφέρθηκε το FBG είναι μια κατασκευή η όποια είναι γραμμένη σε ένα τμήμα της ίνας μιας κατάστασης και στην όποια είναι σχηματισμένη μια περιοδική αλλοίωση του δείκτη διάθλασης του πυρήνα που προήλθε από έκθεση του σε υπεριώδη ακτινοβολία στα 197nm ή 248nm. Όταν το φως σε μια ίνα περνά από ένα FBG, πολλαπλής ανάκλασης Fresnel συμβαίνουν κατά μήκος του grating λόγω των αλλαγών στον δείκτη διάθλασης.

4.8 Τεχνικές τοποθέτησης πολλών FBG σε μια ίνα (πολυπλεξία)

Ένα από τα κυρία πλεονεκτήματα των FBG αισθητήρων είναι η ικανότητα τους να τοποθετούνται παραπάνω του ενός, σε μια και μόνο ίνα. Στις περισσότερες εφαρμογές οι αισθητήρες πρέπει να τοποθετηθούν μαζί έτσι ώστε να μπορούν να παρθούν μετρήσεις σε κατανεμημένες περιοχές και να μπορέσουν να ανταγωνιστούν τους συμβατικούς αισθητήρες. Μια μεγάλη σειρά από αισθητήρες μπορεί να χρησιμοποιεί μόνο μια πηγή και η επεξεργασία του σήματος να γίνεται βάσει μιας σειράς από της ακόλουθες τεχνικές : πολυπλεξία διαμοίρασης χρόνου, πολυπλεξία διαμοίρασης χώρου, πολυπλεξία διαμοίρασης συχνότητας και πολυπλεξία

διαμοίρασης μήκους κύματος. Οι τεχνικές πολυπλεξίας που είναι κατάλληλες για συμβατικούς αισθητήρες οπτικών ινών, μπορούν να εφαρμοστούν και σε αισθητήρες FBG.

4.9 Πλεονεκτήματα αισθητήρων FBG σε σχέση με τους συμβατικούς

Ικανότητα τοποθέτησης πολλών αισθητήρων σε μια ίνα, μικρό βάρος και μέγεθος, δεν υπόκεινται σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εύφλεκτο περιβάλλον, γρήγορη απόκριση, ευκολία τοποθετήσεις σε σύνθετα υλικά και δεν έχουν πρόβλημα διάβρωσης.

4.10 Μειονεκτήματα αισθητήρων FBG σε σχέση με τους συμβατικούς

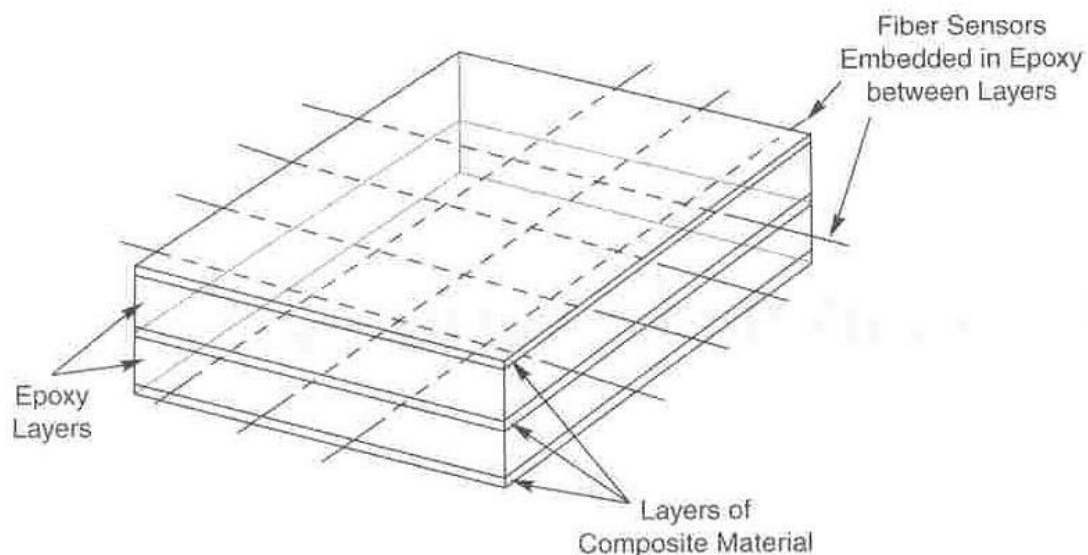
Η μετρούμενη παραμόρφωση μπορεί να είναι τρισδιάστατης φύσης, έχει μεγάλη ευαισθησία σε θερμοκρασιακές παρεμβολές και η αποτελεσματικότητα της εξαρτάται από το μέγεθος της ανάλυσης του μήκους κύματος.

Η τεχνολογία των FBG έχει δεχτεί πολύ μεγάλη ανάπτυξη από την πρώτη τους εμφάνιση το 1989, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι αισθητήρες έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους άλλους οπτικούς και λεκτικούς.

Κεφάλαιο 5ο: Ενσωμάτωση αισθητήρων οπτικών ινών στα πλοία

5.1 Γενική χρήση

Οι αισθητήρες οπτικών ινών μπορούν να χρησιμοποιηθούν τοποθετώντας τους σε σύνθετα υλικά ή σε υλικά όπως οπλισμένο σκυρόδεμα για να φτιάξουν αυτό που ονομάζουμε έξυπνες κατασκευές (smart structures) ή έξυπνα περιβλήματα (smart skins). Ο στόχος είναι να παραχθεί ένα κατασκευαστικό στοιχείο το οποίο να παρακολουθεί την εσωτερική κατάσταση της κατασκευής (βλ. εικόνα 5.1). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον δίνεται στο να πιστοποιηθεί ότι τα στοιχεία πληρούν όλα τα κριτήρια της μελέτης και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις. Οι αισθητήρες βέβαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε όλη την διάρκεια ζωής του υλικού. Οι αισθητήρες οπτικών ινών αναλύονται σχολαστικά στα παραπάνω κεφάλαια.



Εικόνα 5.1: Εσωτερική κατάσταση της κατασκευής

Ακόμα μια χρήση των ενσωματωμένων αισθητήρων οπτικών ινών είναι να παρακολουθούν την διαδικασία της παρασκευής σκλήρυνσης (curing) του σύνθετου υλικού. Οι αισθητήρες παρακολουθούν τη θερμοκρασία για να εξασφαλίζει ότι οι συνθήκες σκλήρυνσης πληρούν όλες της κατασκευαστικές απαιτήσεις και προϋποθέσεις. Επιπλέον μπορούν να παρακολουθούν τις παραμορφώσεις έτσι ώστε να εξασφαλίζουν ότι οι τάσεις κυμαίνονται σε χαμηλές τιμές και δε δημιουργούνται σημεία συγκέντρωσης τάσεων. Η ανίχνευση οπτικών ινών που έχουν υποστεί θραύση δηλαδή ότι υπάρχουν σοβαρά προβλήματα με τοπικές ανωμαλίες στο υλικό. Κατά την διάρκεια της χρήσης του υλικού οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν δεδομένα για τη τάση όταν αυτό φορτίζεται, οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται και για την μελέτη των ιδιοτήτων της κατασκευής.

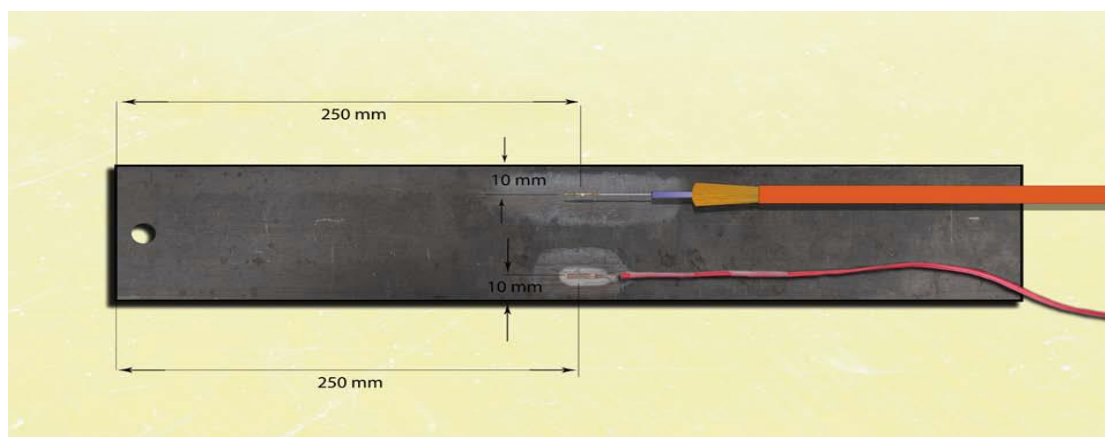
Εφόσον η κατασκευή με τις ενσωματωμένες οπτικές ίνες είναι σε λειτουργία, οι μηχανικοί μπορούν να χρησιμοποιούν τους αισθητήρες για περιοδικούς ελέγχους της απόδοσης και της κατασκευαστικής ακμαιότητας (structural integrity). Εφαρμογές που ήδη χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες επιτυχώς είναι γέφυρες και φράγματα.

Η υπέρτατη χρησιμοποίηση των αισθητήρων οπτικών ινών θα μπορούσε να είναι ένα σύστημα το οποίο θα μπορούσε να ελέγχει την κατασκευή σε πραγματικό χρόνο (real time control system) και θα μπορεί να βελτιστοποιήσει την απόδοση της κατασκευής. Για παράδειγμα σε πολλές κατασκευές που είναι που δεν είναι πλήρως γνωστά τα όρια απόδοσης των υλικών της κατασκευής, γίνεται συντηρητική χρήση έτσι ώστε να είναι πάντα ασφαλής η κατασκευή. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο θα μπορούσε να δώσει ενδείξεις για το πόσο τα στοιχεία της κατασκευής αντέχουν στα αναπτυσσόμενα φόρτια.

5.2 Σχεδιασμός και τοποθέτηση αισθητήρων

Ο σχεδιασμός για τις θέσεις που θα τοποθετούνταν ο αισθητήρας οπτικής ίνας (OF-1) και το ηλεκτρικό επιμηκυνσιόμετρο (SG-1). Αποφασίστηκε αυτά να μπου σε τέτοια θέση, ούτως ώστε να μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση των μετρήσεων τους και να αξιολογηθεί έτσι η αξιοπιστία των μετρήσεων της οπτικής ίνας σε σχέση με το

ηλεκτρικό επιμηκυνσιόμετρο, που θεωρείται αξιόπιστη μετρητική διάταξη, λόγω της ευρείας χρήσης του στο εργαστήριο. Έτσι λοιπόν, οι δυο αισθητήρες τοποθετήθηκαν στο μέσο του μήκους του δοκιμίου, σε ίση απόσταση από τα άκρα του πλάτους του και σε εύλογη απόσταση μεταξύ τους όπως φαίνεται στο (βλ. εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Οι θέσεις τοποθέτησης των αισθητήρων OF-1 και SG-1.

Στην πορεία, έγινε διερεύνηση του τρόπου τοποθέτησης των αισθητήρων οπτικών ινών πάνω σε μια επιφάνεια. Τα βήματα που έπρεπε να ακολουθηθούν σύμφωνα με τον κατασκευαστή, είναι τα εξής. **Προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας.** Η τεχνική προετοιμασίας είναι ίδια με αυτή που ακολουθείται για τα συμβατικά ηλεκτρικά επιμηκυνσιόμετρα. Αρχικά λειαίνεται το σημείο τοποθέτησης και έπειτα καθαρίζεται η επιφάνεια για να αφαιρεθούν τυχόν οργανικά ή χημικά υπολείμματα, σκόνη, λάδι κ.α. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ισοπροπυλικής αλκοόλης ή κάποιου εξουδετερωτή (neutralizer). Κρατώντας με τα προηγούμενα υλικά την επιφάνεια υγρή, στην συνέχεια πρέπει να τριφτεί με την άκρη ενός βαμβακερού υφάσματος η επιφάνεια (όχι με κινήσεις μπρός πίσω καθώς αυτό θα μπορούσε να αφήσει υπολείμματα στην καθαρή επιφάνεια) μέχρι να αφαιρεθεί όλο το υγρό. Δεν πρέπει το υγρό να αφεθεί να εξατμιστεί, διότι αυτό μπορεί να δημιουργήσει μια ανεπιθύμητη επιφάνεια φιλμ μεταξύ της κόλλας και της επιφάνειας του μετάλλου.

Διαδικασία κόλλησης της ίνας. Α) Με ένα μολύβι χαράσσονται δυο σημεία (Α), στην διεύθυνση που θα κολληθεί η ίνα σε απόσταση 50 – 60 mm μεταξύ τους.

Β) Με δυο κομμάτια μονωτικής ταινίας δημιουργείται ένα κανάλι μέσα στο οποίο θα τοποθετηθεί η οπτική ίνα. Το πλάτος αυτού του καναλιού πρέπει είναι περίπου 2 mm.

Γ) Τοποθετείται στη συνέχεια ο αισθητήρας μέσα στο κανάλι που δημιουργήθηκε από την ταινία και σταθεροποιείται εκεί με άλλη ταινία, που κολλιέται σε απόσταση 25 mm από την αισθητήριο κεφαλή. Η αισθητήριος κεφαλή πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένη πλήρως με τον άξονα της ίνας.

Δ) Στο σημείο αυτό, για να συγκρατηθεί πλήρως η ίνα, τοποθετείται μια σταγόνα εποξικής κόλλας (δύο συστατικών, ταχείας πήξεως), 3 mm μακριά από την αισθητήριο κεφαλή. Για να είναι σίγουρο ότι η κόλλα δεν θα ρεύσει προς την κεφαλή, προτείνεται αυτή να πήξει λίγο πριν την τοποθέτηση της.

Ε) Μόλις σκληρυνθεί η πρώτη σταγόνα, προετοιμάζεται μεγαλύτερη ποσότητα κόλλας (με αργή ανάμειξη των δύο συστατικών για να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων) για να τοποθετηθεί πάνω σε όλη την αισθητήριο κεφαλή. Η τοποθέτηση γίνεται με γραμμικές κινήσεις, παράλληλα στην κατεύθυνση του αισθητήρα.

ΣΤ) Αμέσως τοποθετείται από πάνω μια μονωτική ταινία στην περιοχή του μήκους αναφοράς του αισθητήρα (gage length), για να βρίσκεται σε καλύτερη επαφή με το δοκίμιο. Δεν χρειάζεται να ασκηθεί μεγάλη πίεση πάνω στον αισθητήρα κατά την τοποθέτηση της (η μονωτική ταινία αφαιρείται μετά την στερεοποίηση της κόλλας). Ακολουθούνται έπειτα οι προτεινόμενοι χρόνοι του κατασκευαστή για την σκλήρυνση της κόλλας.

Ζ) Μετά τη σκλήρυνση της κόλλας, τοποθετείται και άλλη στα σημεία της οπτικής ίνας που είναι «γυμνά» μέχρι την μπλε επικάλυψη. Έπειτα τοποθετείται και άλλη μονωτική ταινία για την συγκράτηση του καλωδίου της οπτικής ίνας πάνω στο δοκίμιο.

Η) Τέλος, μπορεί να τοποθετηθεί προληπτικά κάποια προστατευτική ταινία για μόνωση όλης της περιοχής του αισθητήρα από το νερό, ασκώντας λίγη πίεση στα άκρα της ταινίας και όχι στην περιοχή πάνω από τον αισθητήρα.

Επιπροσθέτως, για μια επιτυχημένη συγκόλληση ενός αισθητήρα πρέπει να τηρούνται τα παρακάτω:

1. Η αισθητήριος κεφαλή (gage micro-capillary) πρέπει να εφάπτεται πολύ καλά με το δοκίμιο.

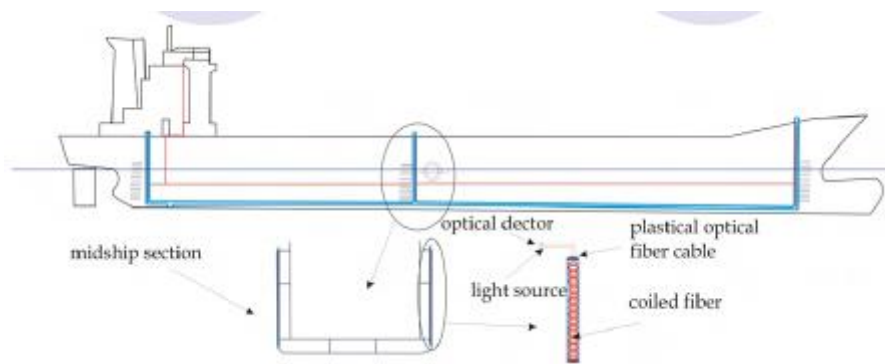
2. Η αισθητήριος κεφαλή είναι κατασκευασμένη από γυαλί και δεν προστατεύεται από κάποια επικάλυψη. Ως εκ τούτου η διαδικασία της κόλλησης πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Οποιαδήποτε γρατζουνιά ή χτύπημα μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και τη διάρκεια ζωής του αισθητήρα.

3. Η αισθητήριος κεφαλή της οπτικής ίνας δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με τα χέρια. Πρέπει να είναι καθαρή από λιπαρές ουσίες, σκόνη κ.α. Αν χρειαστεί καθάρισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος φυσητήρας στεγνού αέρα.

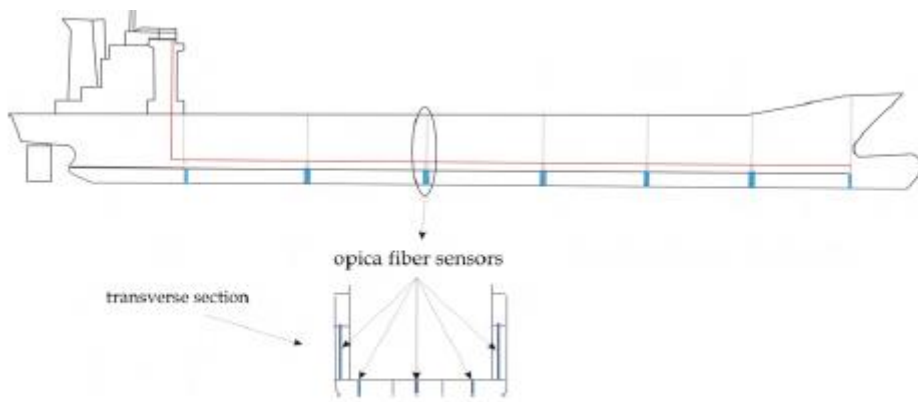
Γνωρίζοντας τα βήματα για την τοποθέτηση του αισθητήρα, ξεκίνησαν οι διεργασίες για την κατασκευή της διάταξης. Στην αρχή λειάνθηκαν τα σημεία που θα τοποθετούνταν ο αισθητήρας της οπτικής ίνας και το ηλεκτρικό επιμηκυνσιόμετρο και έπειτα χαράχτηκε μια γραμμή στην μέση του δοκίμιου για να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για την τοποθέτηση τους. Έπειτα το δοκίμιο τοποθετήθηκε σε ένα στερεοσκόπιο για να βρεθεί η ακριβής θέση του διακένου (cavity length) και άρα το μέσο του οπτικού αισθητήρα, καθώς δεν ήταν ορατό με γυμνό μάτι. Μόλις αυτό εντοπίστηκε, τοποθετήθηκε ακριβώς πάνω από την χαραγμένη γραμμή και συγκρατήθηκε στην θέση αυτή με μονωτική ταινία για να μην μετακινηθεί. Στη συνέχεια η ίνα μεταφέρθηκε στο εργαστήριο για να ξεκινήσει η διαδικασία κόλλησης του αισθητήρα. Ακολουθήθηκαν για την κόλληση του όλα τα στάδια όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω, με τη διαφορά ότι τα βήματα Δ έως Ζ πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα. Τοποθετήθηκε δηλαδή εποξική κόλλα ταχείας πήξεως σε όλη την οπτική ίνα που βρίσκεται εξωτερικά της μπλε επικάλυψης συμπεριλαμβανομένης και της αισθητήριας κεφαλής και συγκρατήθηκε με μονωτική ταινία στην περιοχή του αισθητήρα. Ακολούθως, εγκαταστάθηκε και το ηλεκτρικό επιμηκυνσιόμετρο στην προσχεδιασμένη θέση δίπλα από τον αισθητήρα της οπτικής ίνας, ολοκληρώνοντας έτσι την τοποθέτηση των αισθητήρων.

5.3 Χρήση αισθητήρων οπτικών ινών στα πλοία

Οι αισθητήρες οπτικών ινών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση διαφόρων επιπέδων υγρών, όπως τα νερά του ballast ή τα χρησιμοποιούμενα νερά του πλοίου.

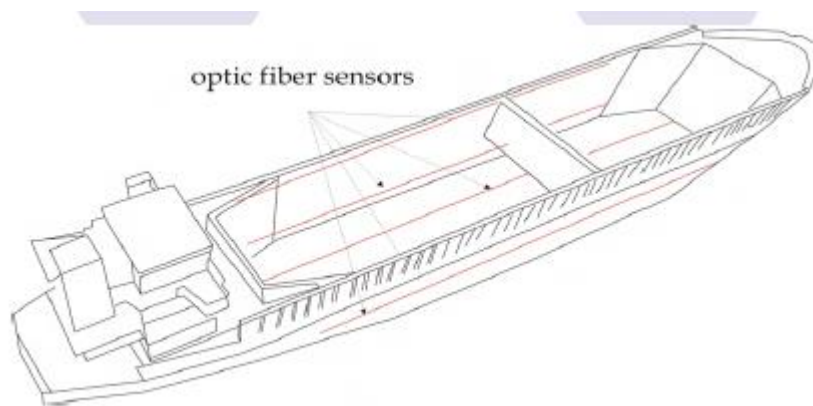


Εικόνα 5.3: Αισθητήρες οπτικών ινών για τη μέτρηση υγρών



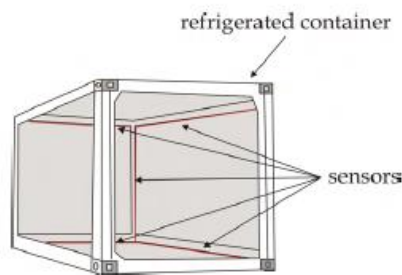
Εικόνα 5.4: Αισθητήρες οπτικών ινών για τη μέτρηση υγρών

Επίσης αισθητήρες οπτικών ινών χρησιμοποιούνται στο σύστημα παρακολούθησης της κατάστασης του κελύφους του πλοίου.



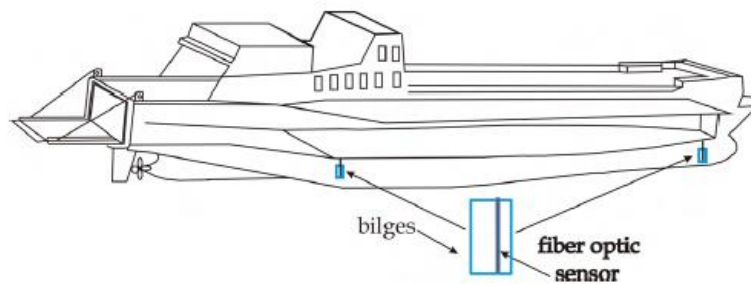
Εικόνα 5.5: Οπτικοί αισθητήρες στο σύστημα παρακολούθησης

Μια ακόμη χρήση των αισθητήρων οπτικών ινών, είναι η παρακολούθηση του περιεχομένου σε ένα ψυγείο.



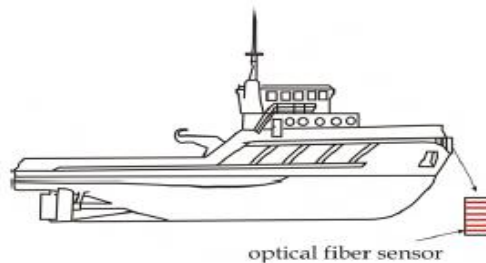
Εικόνα 5.6: Αισθητήρες οπτικών ινών σε ψυγεία

Μια ακόμη χρήση των αισθητήρων οπτικών ινών είναι η βελτίωση της ασφάλειας ενός πλοίου Ro-Ro, ανιχνεύοντας τη διαρροή νερού στο κατάστρωμα από το μη αεροστεγές διάτοιχο του πλοίου.



Εικόνα 5.7: Βελτίωση ασφαλείας σε πλοίο Ro-Ro

Οι αισθητήρες οπτικών ινών μπορούν να συλλέξουν πληροφορίες κατά τη κίνηση του πλοίου προς τα πίσω και να σταλθούν ασύρματα στη γέφυρα πλοήγησης.



Εικόνα 5.8: Αισθητήρες οπτικών ινών για το maneuvering

Επίλογος-Συμπεράσματα

Στα παραπάνω κεφάλαια είδαμε και αναλύσαμε τους οπτικούς αισθητήρες και τις οπτικές ίνες οι οποίες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, με διάμετρο μικρότερη των 8μm όπου από μέσα τους, μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα, υπό μορφή φωτός. Συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες σε δέσμες, που σχηματίζουν τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Ορισμένα πλεονεκτήματα των ινών είναι τα ακόλουθα : το χαμηλό κόστος πρώτης ύλης(γυαλί), είναι πολύ πιο λεπτές και ελαφριές από τα χάλκινα καλώδια, μπορούν να μεταφέρουν παράλληλα τεράστιο όγκο δεδομένων σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια, μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια, τα δεδομένα που ταξιδεύουν μέσα σε αυτές είναι λιγότερο ευάλωτα σε παρεμβολές, τα δεδομένα μεταδίδονται ψηφιακά άρα έχουμε γρηγορότερη κωδικοποίηση-αποκωδικοποίηση των δεδομένων και έχουν σχεδόν καθόλου απώλειες δεδομένων. Ορισμένα μειονεκτήματα τους είναι : είναι πιο δύσκολη η εγκατάστασή τους, είναι πολύ εύθραυστες, δεν είναι αρκετά ευλύγιστες και θα πρέπει η εγκατάστασή τους να γίνεται με ελαφριά κλίση γιατί διαφορετικά θα υπάρχει απώλεια δεδομένων. Οι ιδιότητές τους επεκτείνονται για την κατασκευή αισθητήρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση διαφόρων μεγεθών, στη στεριά αλλά και στη θάλασσα, σε διάφορα μέρη του πλοίου.

Βιβλιογραφία

1. www.wikipedia.gr
2. www.google.gr
3. www.googlescollar.gr
4. www.citytec.gr
5. www.cablel.gr
6. Applications of Optical Fiber on Ships.pdf

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract	3
Πρόλογος.....	4
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	5
1.1 Γενικά.....	5
Κεφάλαιο 2 : Οπτικές ίνες και οπτικοί αισθητήρες	6
2.1 Γενικά για τις οπτικές ίνες.....	6
2.2 Δομή.....	6
2.3 Υλικά κατασκευής.....	8
2.4 Ιδιότητες	9
2.5 Βασικές αρχές λειτουργίας.....	9
2.6 Καταστάσεις της ίνας	10
2.7 Ίνες πολλών καταστάσεων (multi-mode fibers).....	11
2.8 Ίνες μιας κατάστασης (single-mode fibers).....	12
2.9 Πολυπλεξία (Multiplexing)	14
Κεφάλαιο 3 ^ο : Οπτικοί αισθητήρες	16
3.1 Γενικά για τους οπτικούς αισθητήρες	16
3.2 Απλοί ανιχνευτές.....	17
3.3 Οπτικοί αισθητήρες σε απόσταση	18
3.4 Μηχανισμοί οπτικών αισθητήρων.....	18
3.5 Η φιλοσοφία των αισθητήρων.....	18
3.6 Άμεση αλλοίωση της έντασης.....	19
3.7 Μέτρηση κατασκευής πόλωσης	19
3.8 Αισθητήρες φάσης ή παρεμβολής.....	20
3.9 Αισθητήρες παρεμβολής (interferometric) Fabry-Perot.....	21

3.10 Γυροσκόπιο οπτικών ινών	22
3.11 Δίκτυα αισθητήρων οπτικών ινών	22
3.12 Quasi-Distributed δίκτυο αισθητήρων	23
3.13 Fully distributed δίκτυο οπτικών αισθητήρων	23
Κεφάλαιο 4 ^ο : Οπτικοί αισθητήρες Fiber Bragg Grating	25
4.1 Γενικά για τους Fiber grating αισθητήρες	25
4.2 Κατασκευή των Fiber Gratings	26
4.3 Διαδικασία παραγωγής	27
4.4 Ανάκλαση και μετάδοση στα Fiber gratings	27
4.5 Σύνθετα και με κλήση Gratings	28
4.6 Chirped Bragg gratings	28
4.7 Βασικές αρχές ανίχνευσης και λειτουργίας των FBG	29
4.8 Τεχνικές τοποθέτησης πολλών FBG σε μια ίνα (πολυπλεξία)	29
4.9 Πλεονεκτήματα αισθητήρων FBG σε σχέση με τους συμβατικούς	30
4.10 Μειονεκτήματα αισθητήρων FBG σε σχέση με τους συμβατικούς	30
Κεφάλαιο 5 ^ο : Ενσωμάτωση αισθητήρων οπτικών ινών στα πλοία	31
5.1 Γενική χρήση	31
5.2 Σχεδιασμός και τοποθέτηση αισθητήρων	32
5.3 Χρήση αισθητήρων οπτικών ινών στα πλοία	35
Επίλογος-Συμπεράσματα	38
Βιβλιογραφία	39
Περιεχόμενα	40