



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ

**ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**«Οπτικές Ίνες Για Χρήση Σε Μετρήσεις Και Επιτήρηση Φυσικών Και
Χημικών Μεθόδων»**

Διπλωματική Εργασία

της

Σκρίνου Μιχαέλας-Ραλλούς

Επιβλέπων: Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου

Καθηγητής ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Οπτικές Ίνες για χρήση σε μετρήσεις και επιτήρηση φυσικών και
χημικών μεθόδων**

Διπλωματική Εργασία

της

Σκρίνου Μιχαέλας-Ραλλούς

Επιβλέπων: Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου

Καθηγητής ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 18/10/2024

.....
Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Εμμανουήλ Χουρδάκης
Επίκουρος Καθηγητής

.....
Γεώργιος Παναγόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, 18 Οκτωβρίου 2024

.....
Σκρίνου Μιχαέλα-Ραλλού

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Σκρίνου Μιχαέλας-Ραλλούς, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη χρήση οπτικών ινών ως εργαλείων για την ακριβή και αποτελεσματική μέτρηση φυσικών και χημικών παραμέτρων σε διάφορες εφαρμογές. Επικεντρώνεται σε διάφορες τεχνικές μέτρησης, όπως ο φθορισμός και η απορρόφηση, και αναλύει πώς οι οπτικές ίνες συμβάλλουν στην εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών.

Η εργασία επεξηγεί τα βασικά φαινόμενα του φθορισμού και της απορρόφησης, περιγράφοντας πώς τα μόρια ή τα άτομα απορροφούν ενέργεια από το φως και την εκπέμπουν με τη μορφή φωτονίων, δημιουργώντας φθορισμό. Εξετάζεται επίσης η φυσική αρχή της απορρόφησης φωτός, αναφερόμενη στον Νόμο Beer-Lambert, ο οποίος συνδέει την απορρόφηση με τη συγκέντρωση και το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται διάφορες διατάξεις που χρησιμοποιούν φως για την πρόκληση φθορισμού και απορρόφησης, όπως τα λείζερ και τα LED, ενώ οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση φωτός σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες. Αναλύεται ο μηχανισμός λειτουργίας των λείζερ, καθώς και η δομή και η λειτουργία των οπτικών ινών, οι οποίες βασίζονται στην αρχή της πλήρους εσωτερικής ανάκλασης του φωτός.

Επιπλέον, εστιάζει στις συσκευές που μετρούν φθορισμό και απορρόφηση, όπως οι φασματογράφοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ανάλυση υλικών. Οι φασματογράφοι απορρόφησης μετρούν την απορρόφηση του φωτός από ένα δείγμα, ενώ οι φασματογράφοι φθορισμού καταγράφουν το φως που εκπέμπεται από ένα δείγμα μετά από διέγερση. Ένα σημαντικό κεφάλαιο επικεντρώνεται στις εφαρμογές της τεχνολογίας οπτικών ινών για τη μέτρηση βιολογικών παραμέτρων σε βρώσιμα προϊόντα, όπως το λάδι, το κρασί και το μέλι, καθώς και σε βιομηχανικά προϊόντα, όπως το τσιμέντο και τα πολυμερή. Για το λάδι, οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της ποιότητας μέσω της μέτρησης της οξύτητας και της περιεκτικότητας σε λιπαρά οξέα. Στο κρασί, οι τεχνικές αυτές βοηθούν στην παρακολούθηση της ζύμωσης, ενώ στο μέλι προσφέρουν γρήγορη ανίχνευση νοθείας και ανάλυση θρεπτικών στοιχείων. Εν κατακλείδι, οι οπτικές ίνες αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για τη μη καταστροφική,

γρήγορη και ακριβή μέτρηση φυσικών και χημικών παραμέτρων. Οι δυνατότητές τους για χρήση σε διάφορους τομείς, από την παραγωγή βρώσιμων προϊόντων έως τη βιομηχανική ανάλυση υλικών καθιστούν τις οπτικές ίνες ένα απαραίτητο εργαλείο στη σύγχρονη βιομηχανία και έρευνα.

Λέξεις Κλειδιά: Οπτικές Ίνες, Φθορισμός, Απορρόφηση, Βιομηχανική Ανάλυση, Φυσικές και Χημικές Μέθοδοι

Abstract

This dissertation examines the use of optical fibers as tools for the accurate and efficient measurement of physical and chemical parameters in various applications. It focuses on various measurement techniques, such as fluorescence and absorption, and analyzes how optical fibers contribute to the advancement of these technologies.

The work explains the basic phenomena of fluorescence and absorption, describing how molecules or atoms absorb energy from light and emit it in the form of photons, creating fluorescence. It also examines the physical principle of light absorption, referring to Beer-Lambert's Law, which connects absorption with concentration and the length of the radiation path. Furthermore, various setups that use light to induce fluorescence and absorption are presented, such as lasers and LEDs, while optical fibers are used for light transmission over long distances with minimal losses. The mechanism of laser operation is analyzed, as well as the structure and function of optical fibers, which rely on the principle of total internal reflection of light.

Additionally, the dissertation focuses on devices that measure fluorescence and absorption, such as spectrometers, which are used for material analysis. Absorption spectrometers measure the absorption of light by a sample, while fluorescence spectrometers record the light emitted from a sample after excitation. A significant chapter concentrates on the applications of optical fiber technology in measuring biological parameters in edible products, such as oil, wine, and honey, as well as in industrial products, such as cement and polymers. For oil, optical fibers are used to detect quality by measuring acidity and fatty acid content. In wine, these techniques help monitor fermentation, while in honey, they offer rapid detection of adulteration and analysis of nutritional elements.

In conclusion, optical fibers are a powerful tool for non-destructive, fast, and accurate measurement of physical and chemical parameters. Their potential for use in various fields, from food production to industrial material analysis, makes optical fibers an essential tool in modern industry and research.

Keywords: Optical Fibers, Fluorescence, Absorption, Industrial Analysis, Physical and Chemical Methods

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Πρώτα και πάνω απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ευάγγελο Χριστοφόρου, για την αμέριστη υποστήριξη, την πολύτιμη καθοδήγηση και τις ουσιαστικές συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Η υπομονή και η αφοσίωσή του υπήρξαν καθοριστικοί παράγοντες για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συνεχή ενθάρρυνση και στήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Η υποστήριξή τους υπήρξε πολύτιμη σε κάθε βήμα της πορείας μου.

Κλείνοντας, κρατώ τα λόγια του Αριστοτέλη: «*Η αριστεία δεν είναι μία πράξη, αλλά μία συνήθεια.*» Η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας είναι απλώς ένα ακόμη βήμα προς την επίτευξη της αριστείας.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Με εκτίμηση,
Μιχαέλα-Ραλλού Σκρίνου

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες.....	10
Λίστα Εικόνων	13
Κεφάλαιο 1^ο.....	14
«Φθορισμός και Απορρόφηση».....	14
1.1 Βασικές Αρχές και Έννοιες.....	15
1.1.1 Βασικές Αρχές και Έννοια Φθορισμού	15
1.1.2 Έννοια Απορρόφησης και Βασικές Αρχές.....	16
1.2 Το Φυσικό Φαινόμενο	19
Κεφάλαιο 2^ο.....	22
«Διατάξεις που Προκαλούν Φθορισμό και Απορρόφηση»	22
2.1 Laser	23
2.1.1 Σύνθεση του Laser.....	23
2.1.2 Μηχανισμός Λειτουργίας.....	24
2.1.3 Χαρακτηριστικά Φωτός Laser	24
2.1.4 Εφαρμογές Laser	24
2.2 Led	25
2.2.1 Ορισμός	26
2.2.2 Αρχή Λειτουργίας του LED	26
2.2.3 Δομή του LED	26
2.2.4 Φαινόμενα Απορρόφησης και Φθορισμού στο LED	27
2.2.5 Πλεονεκτήματα και Χαρακτηριστικά των LED ως Διατάξεις.....	27
2.3 Οπτικές Ίνες	28
2.3.1 Ορισμός	28
2.3.2 Ιστορική Αναδρομή	28
2.3.3 Χαρακτηριστικά	30
2.3.3.1 Δομή και Λειτουργία Οπτικών Ινών	30
2.3.3.2 Τύποι Οπτικών Ινών.....	32

2.3.4 Βασικές Αρχές Λειτουργίας	35
2.3.5 Φθορισμός στις Οπτικές Ίνες.....	35
2.3.6 Απορρόφηση στις Οπτικές Ίνες	36
2.3.7 Τρόποι Σύνδεσης και Εκπομπής-Διέγερσης.....	36
2.3.8 Κόστη Οπτικών Ινών.....	36
Κεφάλαιο 3^ο	38
«Διατάξεις Που Μετρούν Φθορισμό Και Απορρόφηση».....	38
3.1 Οπτικοί και Υπέρυθροι	41
3.1.1 Οπτική Φασματοσκοπία UV-Vis	41
3.1.2 Φασματοσκοπία Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (IR)	42
3.1.3 Διαφορές ανάμεσα σε Οπτική και Υπέρυθρη Φασματοσκοπία	43
3.1.4 Εφαρμογές των Τεχνικών	43
3.2 Φασματογράφοι	44
3.2.4 Φασματόμετρα ραδιοκυμάτων (NMR)	46
3.2.5 Φασματογράφοι ακτίνων Χ (XRF).....	46
3.2.6 Φασματογράφοι RAMAN	47
3.3 Φασματόμετρα.....	48
Κεφάλαιο 4^ο	52
«Ενδεικτικές Εφαρμογές σε μέτρηση Βιολογικών Παραμέτρων Βρώσιμων και Βιομηχανικών Προϊόντων»	52
4.1 Λάδι	53
4.2 Κρασί	54
4.3 Μέλι.....	54
4.4 Γάλα	55
4.5. Τσιμέντο	57
4.6 Πλαστικά.....	58
4.7 Γυαλί	59
4.8 Χαρτί.....	60
Συμπεράσματα	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Απεικόνιση Φυσικού Φαινομένου Φθορισμού. Δημιουργήθηκε με το DALL-E	20
Εικόνα 2: Απεικόνιση Φυσικού Φαινομένου Απορρόφησης. Δημιουργήθηκε με το DALL-E	21
Εικόνα 3: Απεικόνιση Laser. Ανακτήθηκε από: https://www.wickedlasers.com/image/cache/data/Saber-600x450.jpeg [6]	23
Εικόνα 4: Απεικόνιση Led. Ανακτήθηκε από: https://lastminuteengineers.com/wp-content/uploads/basic/LED-Construction.png [8]	25
Εικόνα 5: Απεικόνιση Οπτικής Ίνας. Ανακτήθηκε από: https://www.hcn.gr/images/usrlImage/17-12-2021-10-29-61bc4a86469fa.jpg [9]	28
Εικόνα 6: Δομή Οπτικής Ίνας. Ανακτήθηκε από: https://www.trpmart.com/public/images/media/2020/10/HqN8l08809.jpg [14]	30
Εικόνα 7: Δομή Οπτικής Ίνας και Διάδοση. Ανακτήθηκε από: https://diaforesplhrofories.weebly.com/uploads/2/6/0/7/26079260/1610925.jpg [15]	31
Εικόνα 8: Κατηγορίες οπτικών ινών, Μονότροπη Ίνα (Single-mode) και Πολύτροπη Ίνα (Multimode). Ανακτήθηκε από: https://media.licdn.com/dms/image/v2/D5622AQFdckxFjVu2Gg/feedshare-shrink_800/feedshare-shrink_800/0/1719455915672?e=1730332800&v=beta&t=m2HqG5-7scFaac0N8Vswzd28l6qtm2HW4XDv4NBzJ_Y [18]	33
Εικόνα 9: Φασματογράφος Εκπομπής και Φασματογράφος Απορρόφησης και οι διαφορές τους. Δημιουργήθηκε από το DALL-E	45
Εικόνα 10: Φασματογράφος XRF Hitachi. Ανακτήθηκε από: https://qcontrol.gr/wp-content/uploads/2019/02/fasmatografos-XRF-Strata920-HITACHI.jpg [23]	47
Εικόνα 11: Photomultiplier Tubes - PMTs Hamamatsu. Ανακτήθηκε από: https://hep.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/static/hpe/community/hep/images/RICH_photomultiplier_tube_keyvisual.jpg [24]	48
Εικόνα 12: Photodiodes Hamamatsu. Ανακτήθηκε από: https://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/k_thumbnail_si_photodiode.jpeg [25]	49
Εικόνα 13: EMCCD (Electron Multiplying CCD) Hamamatsu. Ανακτήθηκε από: https://camera.hamamatsu.com/eu/en/learn/technical_information/sensor_technologies/_jcr_content/root/container/container_copy/media_module_878354617/image.coreimg.jpeg/1686552668611/s-lsc-prd-ccd-xx.jpeg [26]	50
Εικόνα 14: Αισθητήρες Hamamatsu. Ανακτήθηκε από: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/images/03_SSD/03_11_new_Product_key_visual/k_top_ccd_cmos_nmos_image_sensor.jpg [27]	50
Εικόνα 15: Σύστημα Μέτρησης Φωταύγειας Hamamatsu. Ανακτήθηκε από: https://www.bjraylight.com/uploads/image/20231130/1701311400.png	51

Κεφάλαιο 1^ο

«Φθορισμός και Απορρόφηση»

1.1 Βασικές Αρχές και Έννοιες

1.1.1 Βασικές Αρχές και Έννοια Φθορισμού

Ο φθορισμός είναι η εκπομπή φωτός ή άλλης ακτινοβολίας με συγκεκριμένο μήκος κύματος που ακολουθείται από εκπομπή μεγαλύτερης ακτινοβολίας [1]. Μετά την απορρόφηση ενός φωτονίου και την ενεργοποίηση του συστήματος σε μια διεγερμένη κατάσταση, το σύστημα μπορεί να αποβάλει αυτή την επιπλέον ενέργεια μέσω της εκπομπής φωτός. Στην περίπτωση του φθορισμού:

- Το διεγερμένο άτομο ή μόριο παραμένει στη διεγερμένη κατάσταση για μικρό χρονικό διάστημα (συνήθως νανοδευτερόλεπτα).
- Στη συνέχεια, επιστρέφει στην αρχική (θεμελιώδη) ενεργειακή κατάσταση, εκπέμποντας ένα φωτόνιο χαμηλότερης ενέργειας από αυτό που απορρόφησε (δηλαδή, με μεγαλύτερο μήκος κύματος).
- Η εκπομπή αυτού του φωτονίου είναι αυτό που ονομάζεται φθορισμός.

Οι θεμελιώδεις αρχές του φθορισμού είναι:

- **Απορρόφηση Ενέργειας (Excitation)**

Τα άτομα ή τα μόρια ενός φθορίζοντος υλικού απορροφούν ενέργεια με τη μορφή φωτονίων από μια πηγή φωτός υψηλής ενέργειας, όπως υπεριώδεις ή ορατό φως. Αυτή η ενέργεια περιέχει και ανυψώνει ηλεκτρόνιο σε μια διεγερμένη κατάσταση.

- **Διεγερμένη Κατάσταση (Διεγερμένη Κατάσταση)**

Το ηλεκτρόνιο, αφού περιέχει ενέργεια, περνά σε μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη. Ωστόσο, αυτή η κατάσταση δεν είναι σταθερή, και το ηλεκτρόνιο θέλει να επιστρέψει στην αρχική της κατάσταση.

- **Απώλεια Ενέργειας (Χαλάρωση)**

Κατά τη διάρκεια της παραμονής στη διεγερμένη κατάσταση, το μόριο χάνει μέρος της ενέργειας του μέσω θερμότητας ή άλλων διεργασιών, οι οποίες δεν έχουν εκπομπή φωτός.

- **Εκπομπή Φωτός (Fluorescence Emission)**

Όταν το ηλεκτρόνιο επιστρέφει στην αρχική της κατάσταση, εκπέμπει ένα φωτόνιο χαμηλότερης ενέργειας (μεγαλύτερο μήκος κύματος) από αυτό που περιέχει αρχικά. Αυτό το εκπεμπόμενο φως είναι ο φθορισμός.

- **Φάσμα Απορρόφησης Και Εκπομπής**

Τα υλικά που φθορίζουν έχουν συγκεκριμένα φάσματα απορρόφησης και εκπομπής. Το φάσμα απορρόφησης αφορά το κύμα που το υλικό μπορεί να περιοριστεί, ενώ το φάσμα απορρόφησης αφορά το κύμα που μπορεί να εκπέμπεται [2].

- **Μετατόπιση Στόουκς**

Η μετατόπιση Stokes αναφέρεται στη διαφορά ανάμεσα στο μήκος κύματος του φωτός που περιέχει και του φωτός που εκπέμπεται. Συνήθως το φως που εκπέμπεται έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος (και επομένως χαμηλότερη ενέργεια) από το εσωτερικό φως.

- **Χρόνος Ζωής Φθορισμού**

Ο χρόνος ζωής φθορισμού είναι το διάστημα στο οποίο το μόριο παραμένει στη κατάσταση διέγερσης πριν επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση και εκπέμψει φως. Είναι χαρακτηριστικός για κάθε φθορίζον υλικό. Ο φθορισμός είναι χρήσιμος γιατί είναι ευαίσθητος σε αλλαγές στο περιβάλλον του φθορίζοντος υλικού, επιτρέποντας την παρακολούθηση βιολογικών διεργασιών, την ανάλυση υλικών και πολλές άλλες εφαρμογές.

1.1.2 Έννοια Απορρόφησης και Βασικές Αρχές

Η **απορρόφηση** είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα υλικό απορροφά ενέργεια από την ακτινοβολία, συνήθως υπό μορφή φωτονίων (φωτεινής ενέργειας) [3]. Οι θεμελιώδεις αρχές απορρόφησης σχετίζονται με το πώς τα άτομα και τα μόρια του υλικού αλληλεπιδρούν με την ακτινοβολία και οδηγούν στην απορρόφηση αυτής της ενέργειας. Πιο αναλυτικά:

- Ένα φωτόνιο με συγκεκριμένη ενέργεια (συχνότητα ή μήκος κύματος) αλληλεπιδρά με ένα άτομο ή μόριο.
- Αν η ενέργεια του φωτονίου ταιριάζει με τη διαφορά ενέργειας μεταξύ δύο κβαντικών επιπέδων του συστήματος (δηλαδή, μιας θεμελιώδους και μιας διεγερμένης κατάστασης), το φωτόνιο απορροφάται και το άτομο ή μόριο μεταβαίνει από τη θεμελιώδη στην διεγερμένη κατάσταση.

Η απορρόφηση ενέργειας από το φωτόνιο προκαλεί αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος.

Ας δούμε τις θεμελιώδεις αρχές:

- **Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας Με Ύλη**

Όταν η ακτινοβολία (φως ή άλλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) προσπίπτει σε ένα υλικό, μέρος της μπορεί να απορροφηθεί από τα άτομα ή τα μόρια του υλικού. Αυτή η αλληλεπίδραση προκαλεί μια μετάβαση από μια χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση σε μια υψηλότερη.

- **Κβαντική μετάβαση:**

Η απορρόφηση της ενέργειας γίνεται με συγκεκριμένα κβάντα ενέργειας (φωτόνια) τα οποία αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα μήκη κύματος ή συχνότητες της ακτινοβολίας. Τα φωτόνια μπορούν να προκαλέσουν μεταβάσεις ηλεκτρονίων από χαμηλότερες σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες, αν η ενέργεια του φωτονίου είναι ίση με τη διαφορά μεταξύ των ενεργειακών επιπέδων [28].

- **Νόμος του Beer-Lambert:**

Η απορρόφηση ακτινοβολίας από ένα υλικό περιγράφεται μαθηματικά από τον νόμο του Beer-Lambert, ο οποίος δίνει την εξάρτηση της απορρόφησης από τη συγκέντρωση του υλικού που απορροφάται και το μήκος της διαδρομής που διανύει η ακτινοβολία μέσω του υλικού.

- Ο νόμος διατυπώνεται ως:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

όπου:

- ο A είναι η απορρόφηση (χωρίς μονάδες),
- ο ε είναι ο συντελεστής απορρόφησης (εξαρτάται από το υλικό και το μήκος κύματος),
- ο c είναι η συγκέντρωση του διαλύματος,
- ο l είναι το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας.

- **Σύγκριση Φάσματος Απορρόφησης**

Κάθε υλικό έχει χαρακτηριστικό **φάσμα απορρόφησης**, δηλαδή ένα συγκεκριμένο σύνολο από μήκη κύματος που μπορεί να απορροφήσει. Αυτό οφείλεται στη δομή των ενεργειακών επιπέδων των ατόμων και των μορίων του υλικού. Τα φάσματα απορρόφησης είναι χρήσιμα για τον εντοπισμό και την ανάλυση ουσιών.

- **Φαινόμενα Απορρόφησης Σε Διαφορετικά Υλικά**

Ατομική απορρόφηση: Σε άτομα, η απορρόφηση προκαλείται κυρίως από μεταβάσεις ηλεκτρονίων

μεταξύ καθορισμένων ενεργειακών επιπέδων. Αυτή η απορρόφηση συμβαίνει σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στις διαφορές ενέργειας των επιπέδων αυτών.

Μοριακή απορρόφηση: Στα μόρια, η απορρόφηση ενέργειας μπορεί να προκαλέσει μεταβάσεις όχι μόνο ηλεκτρονίων, αλλά και περιστροφικών και ταλαντωτικών επιπέδων. Έτσι, τα μόρια απορροφούν σε ένα ευρύτερο φάσμα συγκριτικά με τα άτομα.

- **Διαδρομή Ενέργειας Μετά Την Απορρόφηση**

Μετά την απορρόφηση, το μόριο ή το άτομο βρίσκεται σε μια διεγερμένη κατάσταση. Αυτή η ενέργεια μπορεί να χαθεί μέσω:

- ο **Εκπομπής φωτός** (φθορισμός ή φωσφορισμός),
- ο **Μεταφοράς θερμότητας** στο περιβάλλον,
- ο **Χημικών αντιδράσεων** που εκμεταλλεύονται τη νέα ενεργειακή κατάσταση.

- **Συχνότητα απορρόφησης και ενέργεια φωτονίου:**

Η ενέργεια ενός φωτονίου καθορίζεται από τη συχνότητά του σύμφωνα με τη σχέση:

$$E = h \cdot \nu$$

όπου:

- ο E είναι η ενέργεια του φωτονίου,
- ο h είναι η σταθερά του Planck,
- ο ν είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας.

Η απορρόφηση είναι ένα θεμελιώδες φαινόμενο που εξηγεί πώς οι ουσίες αλληλεπιδρούν με το φως και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, και έχει εφαρμογές σε τεχνικές όπως η φασματοσκοπία, η φωτοσύνθεση και οι διάφορες αναλύσεις υλικών. [4]

Κύριες διαφορές μεταξύ Απορρόφησης και Φθορισμού:

- **Απορρόφηση:** Το μόριο απορροφά φως και μεταβαίνει από χαμηλότερη σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση.
- **Φθορισμός:** Μετά την απορρόφηση, το μόριο επιστρέφει στη θεμελιώδη κατάσταση μέσω εκπομπής φωτός (συνήθως με χαμηλότερη ενέργεια από αυτήν που απορροφήθηκε).

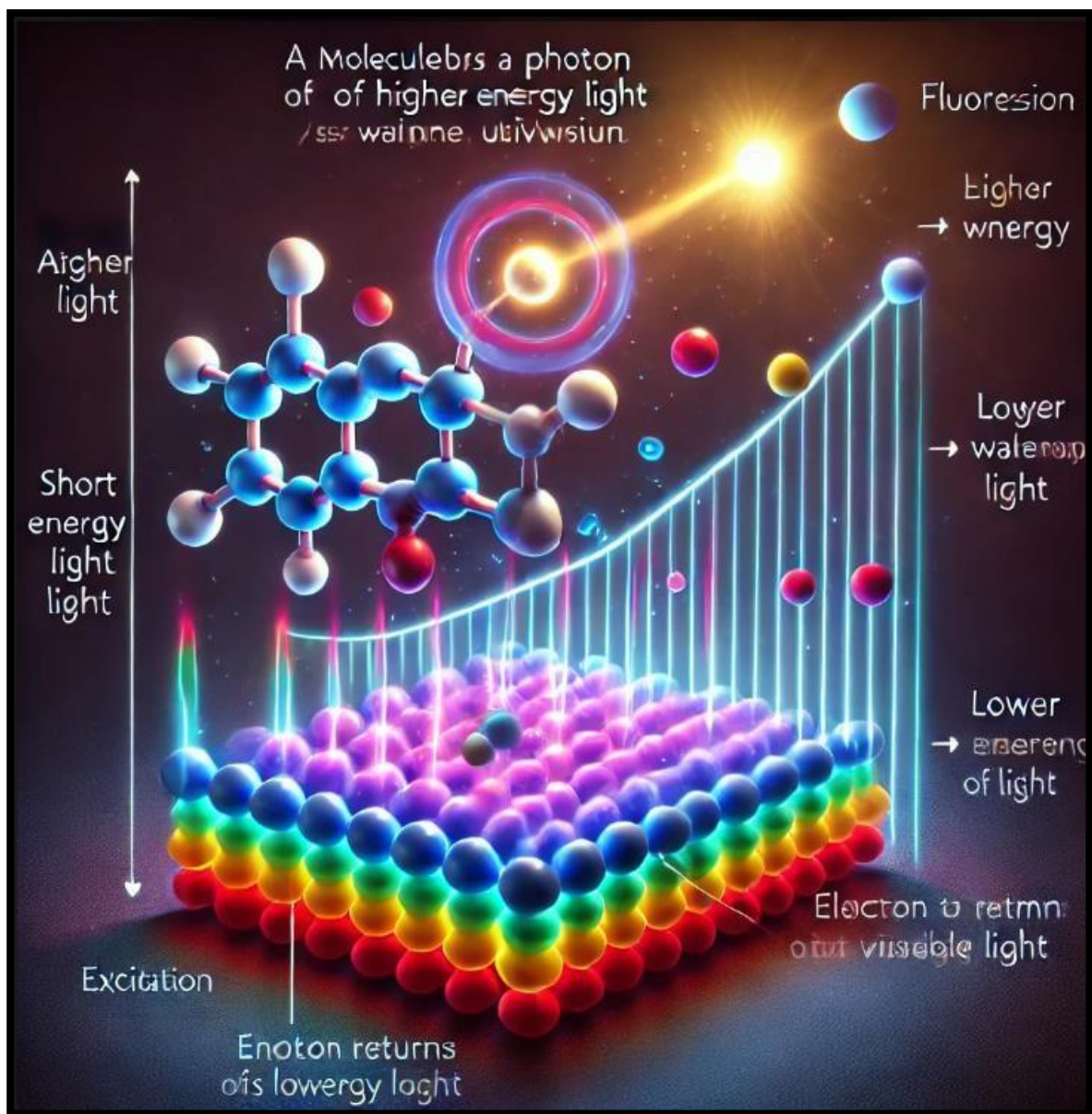
Εφαρμογές:

- **Φασματοσκοπία φθορισμού:** Χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση χημικών και βιολογικών δειγμάτων, λόγω της υψηλής ευαισθησίας και της ακρίβειάς της. [4]
- **Φθορίζουσες ουσίες:** Χρησιμοποιούνται σε βιολογικά πειράματα για την επισήμανση και παρακολούθηση βιομορίων, καθώς και σε καθημερινές εφαρμογές όπως οι φωσφορίζουσες μπογιές και λαμπτήρες.

1.2 Το Φυσικό Φαινόμενο

Το φυσικό φαινόμενο του **φθορισμού** περιλαμβάνει την απορρόφηση ενέργειας από ένα υλικό, συνήθως μέσω φωτονίων, και την εκπομπή αυτής της ενέργειας ως φως με χαμηλότερη ενέργεια (μεγαλύτερο μήκος κύματος). Πρόκειται για μια διαδικασία όπου τα ηλεκτρόνια ενός μορίου ή ατόμου, αφού διεγερθούν σε μια υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση, επιστρέφουν σε μια χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη, εκπέμποντας το επιπλέον φως όπως φαίνεται και στην εικόνα 1¹. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει σε μικρό χρονικό διάστημα και χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές όπως η φθορίζουσα μικροσκοπία, ο βιοϊατρικός τομέας και η ανίχνευση χημικών ουσιών [3]. Ο φθορισμός είναι διαφορετικός από τον φωσφορισμό, ο οποίος μπορεί να διαρκεί πολύ περισσότερο χρόνο, ακόμα και μετά τη διακοπή της ακτινοβολήσης. Παρακάτω παρουσιάζεται μια οπτική απεικόνιση του φαινομένου του φθορισμού, που δείχνει πώς ένα μόριο απορροφά ένα φωτόνιο υψηλής ενέργειας, και στη συνέχεια εκπέμπει ένα φωτόνιο χαμηλότερης ενέργειας μετά τη μετάβαση σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη.

¹ Δημιουργήθηκε από το DALL-E, βάσει λεκτικής περιγραφής του φυσικού φαινομένου. Τα δεδομένα και η τελική επεξεργασία πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας.

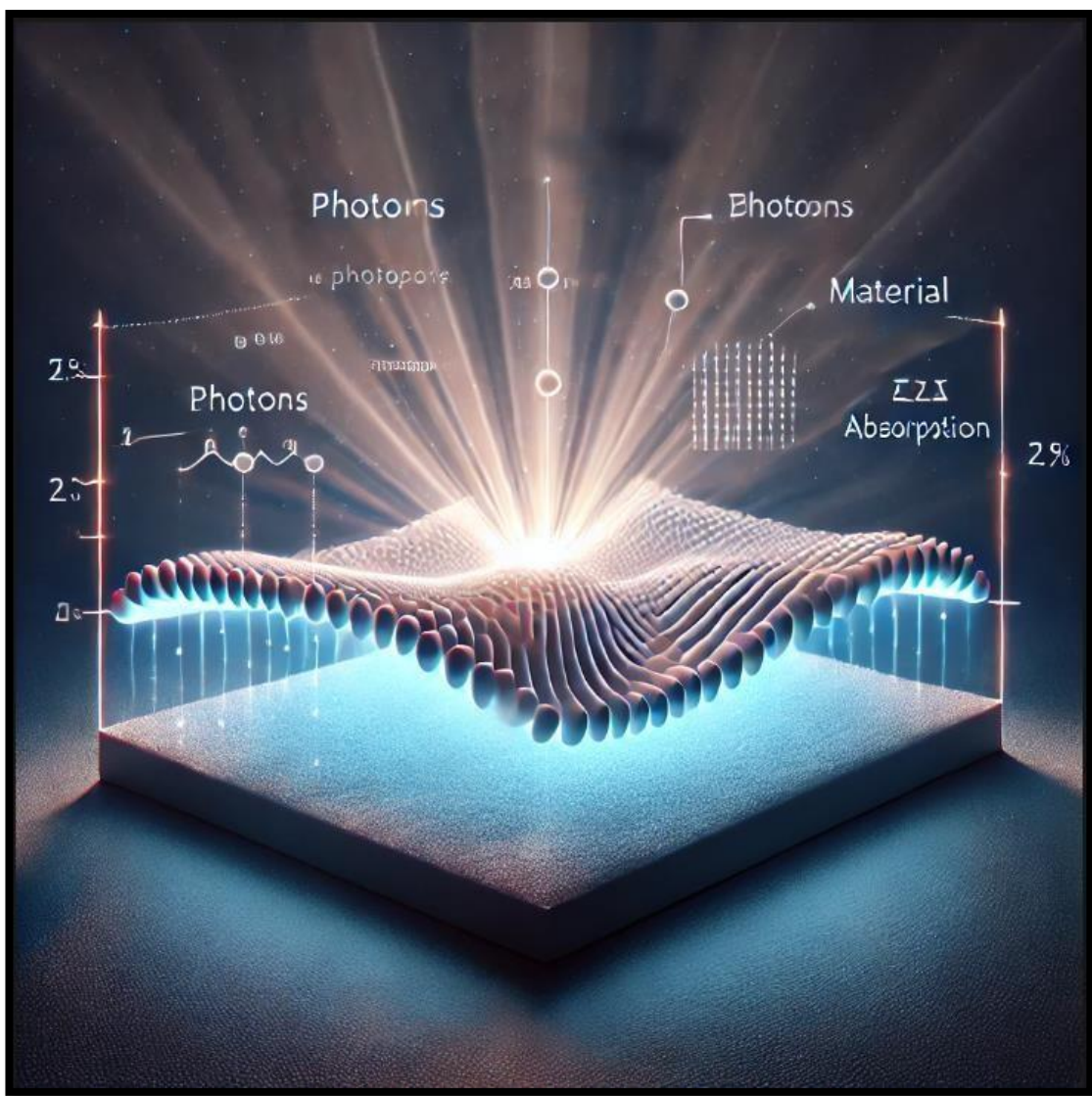


Εικόνα 1: Απεικόνιση Φυσικού Φαινομένου Φθορισμού. Δημιουργήθηκε με το DALL-E.

Το φυσικό φαινόμενο της **απορρόφησης** αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία η ύλη απορροφά ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (όπως φως). Όταν ένα φως ή άλλη μορφή ακτινοβολίας προσπίπτει σε ένα υλικό, τα άτομα ή τα μόρια του υλικού μπορούν να απορροφήσουν την ενέργεια των φωτονίων.

Αυτή η απορρόφηση ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την προώθηση των ηλεκτρονίων του υλικού από χαμηλότερες σε υψηλότερες ενεργειακές καταστάσεις όπως φαίνεται στην εικόνα 2².

² Δημιουργήθηκε από το DALL-E, βάσει λεκτικής περιγραφής του φυσικού φαινομένου. Τα δεδομένα και η τελική



Εικόνα 2: Απεικόνιση Φυσικού Φαινομένου Απορρόφησης. Δημιουργήθηκε με το DALL-E

Το φαινόμενο είναι καθοριστικό για πολλές φυσικές και χημικές διεργασίες, όπως η φωτοσύνθεση, η φασματοσκοπία και η ανάλυση υλικών. Η απορρόφηση εξαρτάται από τη συχνότητα ή το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και από τη δομή του υλικού. Κάθε υλικό έχει ένα συγκεκριμένο φάσμα απορρόφησης που περιγράφει τα μήκη κύματος ή τις συχνότητες που μπορεί να απορροφήσει.

Κεφάλαιο 2^ο
«Διατάξεις που Προκαλούν
Φθορισμό και
Απορρόφηση»

2.1 Laser

Το Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) είναι μια διάταξη που παράγει συνεχή και ισχυρή δέσμη φωτός μέσω της ενίσχυσης της ακτινοβολίας με διεγερμένη εκπομπή. Τα lasers χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές τεχνολογίες και εφαρμογές, από ιατρική και τηλεπικοινωνίες μέχρι βιομηχανική επεξεργασία και ψυχαγωγία. [5] Παρακάτω γίνεται απεικόνιση του Laser [6]



Εικόνα 3: Απεικόνιση Laser. Ανακτήθηκε από: <https://www.wickedlasers.com/image/cache/data/Saber-600x450.jpeg> [6]

2.1.1 Σύνθεση του Laser

- **Ενεργό Μέσο:** Το ενεργό μέσο του λέιζερ είναι το υλικό που επιτυγχάνει την ενίσχυση του φωτός. Μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο. Το ενεργό μέσο απορροφά ενέργεια (είτε από ηλεκτρικό ρεύμα είτε από άλλη πηγή ακτινοβολίας) και μεταφέρει αυτήν την ενέργεια σε διεγερμένη κατάσταση.
- **Πηγή Ενέργειας:** Αυτή η πηγή παρέχει την ενέργεια που απαιτείται για να διεγείρει τα άτομα ή τα μόρια του ενεργού μέσου. Η πηγή ενέργειας μπορεί να είναι ηλεκτρική, χημική, ή άλλη *μορφή ακτινοβολίας (π.χ., φως). [7]
- **Καθρέπτες:** Υπάρχουν δύο καθρέπτες τοποθετημένοι στις άκρες του ενεργού μέσου. Ένας από αυτούς είναι πλήρως ανακλαστικός και ο άλλος είναι μερικώς ανακλαστικός. Οι καθρέπτες επιτρέπουν στο φως να ανακλάται και να ενισχύεται μέσα στο ενεργό μέσο.

- **Δέκτης (Εκπομπός):** Ο μερικώς ανακλαστικός καθρέπτης επιτρέπει σε μέρος του ενισχυμένου φωτός να διαφεύγει και να σχηματίζει τη δέσμη laser.

2.1.2 Μηχανισμός Λειτουργίας

Ο μηχανισμός λειτουργίας του laser βασίζεται σε δύο βασικές αρχές: **διεγερμένη εκπομπή** και **ενίσχυση μέσω ανατροφοδότησης**.

- **Διεγερμένη Εκπομπή:** Όταν τα άτομα ή μόρια του ενεργού μέσου ενθουσιάζονται από την πηγή ενέργειας, περνούν σε μια διεγερμένη κατάσταση (υψηλότερη ενεργειακή στάθμη). Όταν επιστρέφουν στη βασική τους κατάσταση, εκπέμπουν φωτόνια. Αν αυτά τα φωτόνια συγκρούονται με άλλα διεγερμένα άτομα ή μόρια, προκαλούν τη δημιουργία επιπλέον φωτονίων με την ίδια κατεύθυνση και φάση. Αυτό είναι η διεγερμένη εκπομπή.
- **Ενίσχυση μέσω Ανατροφοδότησης:** Το φως ανακλάται ανάμεσα στους δύο καθρέπτες, ενισχύοντας συνεχώς την ποσότητα του φωτός. Κάθε ανακλαστική διάβαση ενισχύει τη δέσμη φωτός μέσω της διεγερμένης εκπομπής. Ο τελικός αποτέλεσμα είναι η παραγωγή μιας ισχυρής, μονοχρωματικής, και συνεπούς δέσμης φωτός.

2.1.3 Χαρακτηριστικά Φωτός Laser

- **Μονο-χρωματικότητα:** Το φως laser έχει μια πολύ στενή ζώνη μήκους κύματος, πράγμα που σημαίνει ότι αποτελείται από φωτόνια με σχεδόν την ίδια ενέργεια. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το laser ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια σε μήκος κύματος, όπως η σπειροειδής αποτύπωση ή οι αναλυτικές μετρήσεις.
- **Συνοχή:** Το φως laser είναι κοχλαστικό, πράγμα που σημαίνει ότι τα φωτόνια κινούνται σε συγχρονισμό και έχουν την ίδια φάση. Αυτή η συνοχή επιτρέπει τη δημιουργία λεπτών διαγραμμάτων ή τη χρήση laser για τη δημιουργία πολύ λεπτών εστιακών σημείων.
- **Κατεύθυνση:** Το φως laser έχει πολύ στενή δέσμη, πράγμα που σημαίνει ότι δεν διαχέεται εύκολα και μπορεί να μεταδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστη απώλεια ισχύος [5]

2.1.4 Εφαρμογές Laser

- **Ιατρική:** Χρησιμοποιείται σε χειρουργικές επεμβάσεις, οδοντιατρική θεραπεία και θεραπεία δερματολογικών προβλημάτων.
- **Τηλεπικοινωνίες:** Η οπτική ίνα βασίζεται σε laser για τη μετάδοση δεδομένων με υψηλή

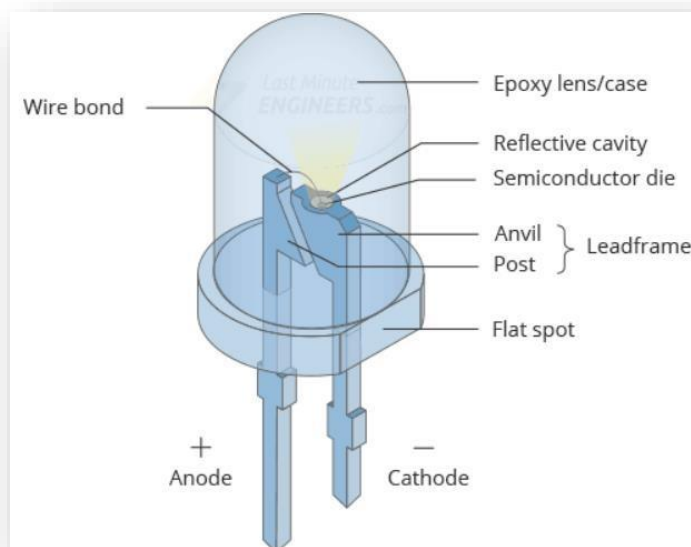
ταχύτητα και μακρινές αποστάσεις.

- **Βιομηχανία:** Χρησιμοποιείται για κοπή και συγκόλληση υλικών, καθώς και για ανάλυση και μέτρηση.
- **Ψυχαγωγία:** Χρησιμοποιείται σε φώτα σκηνών, lasers σόου και προβολείς. [5]

Συνοψίζοντας, το laser ως διάταξη είναι ένα εργαλείο που αξιοποιεί την απορρόφηση και τη διεγερμένη εκπομπή φωτός για να παράγει μια δέσμη φωτός με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αυτές οι μοναδικές ιδιότητες του laser το καθιστούν χρήσιμο σε μια πληθώρα εφαρμογών στην επιστήμη, τη βιομηχανία και την καθημερινή ζωή.

2.2 Led

Η ανάπτυξη των LED σηματοδότησε μια μεγάλη πρόοδο στον τομέα των φωτοηλεκτρικών διατάξεων. Επειδή συνδυάζουν αποδοτικότητα, αντοχή και μικρό μέγεθος, τα LED έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος των συστημάτων φωτισμού και επικοινωνίας, όπως και της σύγχρονης βιομηχανίας ηλεκτρονικών. Παρακάτω γίνεται απεικόνιση του LED. [8]



Εικόνα 4: Απεικόνιση Led. Ανακτήθηκε από: <https://lastminuteengineers.com/wp-content/uploads/basic/LED-Construction.png> [8]

Τα LED συνδέονται επίσης με τα συστήματα που επίσης μελετώνται (**οπτικές ίνες** και τα **laser**), διότι συχνά λειτουργούν σε παρόμοιες εφαρμογές, όπως η οπτική επικοινωνία, όπου οι διατάξεις πρέπει

να είναι ικανές να μετατρέψουν ηλεκτρικά σήματα σε φωτεινά σήματα για να μεταδοθούν μέσω οπτικών ινών.

2.2.1 Ορισμός

Το LED είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ημιαγωγών που εκπέμπει φως όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η λειτουργία του βασίζεται σε ημι-αγώγιμα υλικά και τις διαδικασίες της ηλεκτρονικής διέγερσης και της εκπομπής φωτός. Πρόκειται για μια πολύ αποδοτική και ευέλικτη πηγή φωτός, που χρησιμοποιείται ευρέως σε πλήθος εφαρμογών, όπως ο φωτισμός, οι οθόνες και οι ενδείξεις.

2.2.2 Αρχή Λειτουργίας του LED

Η εκπομπή φωτός από ένα LED προκαλείται από την ανασύνθεση ηλεκτρονίων και οπών στα ημι-αγώγιμα υλικά του, με τα ακόλουθα βήματα:

1. **Διέγερση ηλεκτρονίων:** Όταν εφαρμοστεί τάση σε ένα LED, ηλεκτρόνια από την περιοχή του αρνητικού τύπου (n-type) κινούνται προς την περιοχή του θετικού τύπου (p-type) και οπές από την περιοχή του θετικού τύπου κινούνται προς την περιοχή του αρνητικού τύπου.
2. **Ανασύνθεση ηλεκτρονίων και οπών:** Στην περιοχή σύνδεσης των δύο περιοχών (την περιοχή p-n), τα ηλεκτρόνια ανασυντίθενται με τις οπές και κατά τη διαδικασία αυτή εκπέμπεται ενέργεια με τη μορφή φωτονίων, δηλαδή φως.
3. **Μήκος κύματος (χρώμα):** Το χρώμα (δηλαδή το μήκος κύματος) του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται από το ενεργειακό κενό (band gap) του ημιαγωγού. Η επιλογή διαφορετικών υλικών ημιαγωγών οδηγεί σε διαφορετικά χρώματα LED, από υπέρυθρο έως μπλε και υπεριώδες.

2.2.3 Δομή του LED

Η δομή ενός τυπικού LED περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- **Υλικά ημιαγωγών:** Τα LED κατασκευάζονται από υλικά όπως το γάλλιο (Ga), το άζωτο (N), το αρσενικό (As) και το φώσφορο (P). Η χρήση αυτών των υλικών επιτρέπει τον έλεγχο του ενεργειακού κενού και, κατ' επέκταση, του χρώματος του εκπεμπόμενου φωτός.
- **Ενεργή περιοχή:** Η περιοχή όπου τα ηλεκτρόνια και οι οπές ανασυντίθενται και εκπέμπουν φωτόνια.

- **Φωτοεκπέμπουσα επιφάνεια:** Μία επιφάνεια από την οποία διαφεύγει το φως στο περιβάλλον.
- **Υλικά περιβλήματος:** Τα LED είναι συνήθως περιβεβλημένα με διαφανές ή ημιδιαφανές υλικό για την προστασία του ημιαγωγού και την εστίαση του φωτός.

2.2.4 Φαινόμενα Απορρόφησης και Φθορισμού στο LED

Αν και τα LED δεν προκαλούν τυπικό **φθορισμό**, εμπλέκονται σε διαδικασίες απορρόφησης και εκπομπής φωτός, οι οποίες σχετίζονται με την **απορρόφηση** ενέργειας από το ηλεκτρικό πεδίο και την εκπομπή φωτός μέσω της ανασύνθεσης των ηλεκτρονίων.

- **Απορρόφηση ενέργειας:** Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών στο εσωτερικό του ημιαγωγού, όπου η ενέργεια απορροφάται από το ημι-αγώγιμο υλικό για να προκαλέσει την ανασύνθεση.
- **Εκπομπή φωτός (αντί φθορισμού):** Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό φθορισμό, όπου η ενέργεια φωτός απορροφάται και εκπέμπεται με καθυστέρηση, στο LED η εκπομπή φωτός είναι άμεση από την ανασύνθεση ηλεκτρονίων και οπών.

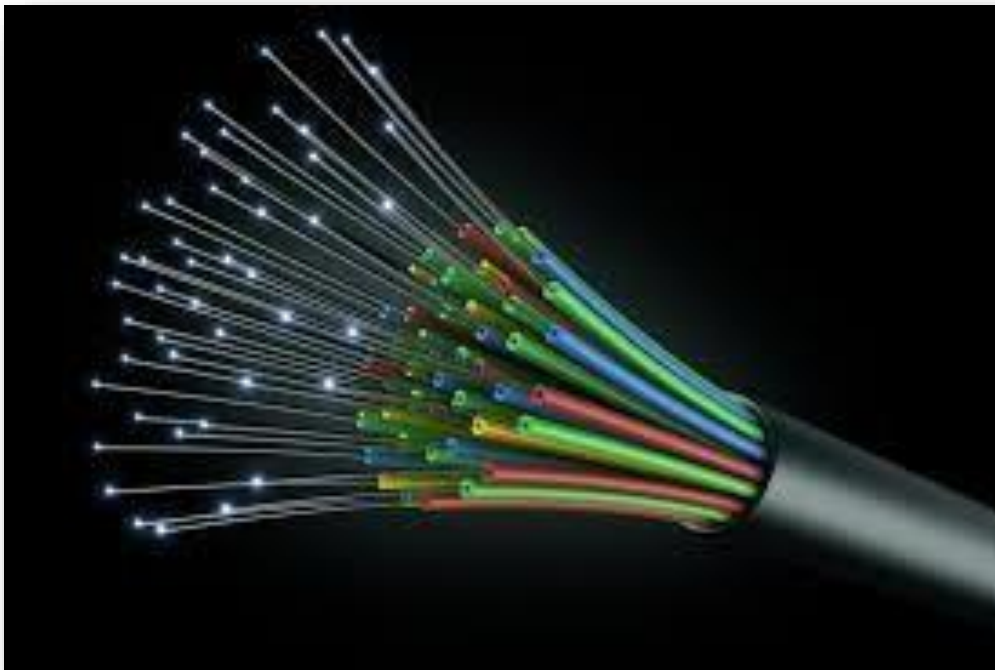
2.2.5 Πλεονεκτήματα και Χαρακτηριστικά των LED ως Διατάξεις

1. **Υψηλή απόδοση:** Τα LED είναι εξαιρετικά αποδοτικά όσον αφορά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε φως. Σε αντίθεση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης, όπου μεγάλο μέρος της ενέργειας χάνεται σε θερμότητα, τα LED παράγουν περισσότερο φως για την ίδια ποσότητα ενέργειας.
2. **Μικρό μέγεθος και ανθεκτικότητα:** Οι LED διατάξεις είναι μικρές σε μέγεθος, κάτι που επιτρέπει την ευρεία χρήση τους σε εφαρμογές όπως οι οθόνες, οι δείκτες και ο φωτισμός σε μικρές συσκευές.
3. **Μακρά διάρκεια ζωής:** Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα των LED είναι η μακροχρόνια αντοχή τους. Έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με άλλες μορφές φωτισμού.
4. **Ευέλικτη χρήση σε πολλαπλές εφαρμογές:** Λόγω του μικρού μεγέθους, της ανθεκτικότητας και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, τα LED βρίσκουν χρήση σε πολλούς τομείς, από το φωτισμό δρόμων και κτιρίων, μέχρι τις οθόνες κινητών τηλεφώνων και τους δείκτες συσκευών.

2.3 Οπτικές Ίνες

2.3.1 Ορισμός

Η «δουλειά» μιας οπτικής ίνας είναι να πραγματοποιεί την μεταφορά φωτός ανά το μήκος της. Ο όρος «ίνα» αφορά το πάχος της, είναι τόσο λεπτή που η διάμετρός της συγκρίνεται με την διάμετρο της τρίχας του ανθρώπου. Ο όρος «οπτική» έχει δοθεί καθώς μέσα της περνά το φως. Οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες συνήθως από γυαλί ή από πλαστικό συγκεκριμένης κατηγορίας με σκοπό το φως να περνά μέσα τους και να τα διαπερνά η ακτινοβολία. [27]. Παρακάτω γίνεται απεικόνιση μιας οπτικής ίνας [9]



Εικόνα 5: Απεικόνιση Οπτικής Ίνας. Ανακτήθηκε από: <https://www.hcn.gr/images/usrlmage/17-12-2021-10-29-61bc4a86469fa.jpg> [9]

2.3.2 Ιστορική Αναδρομή

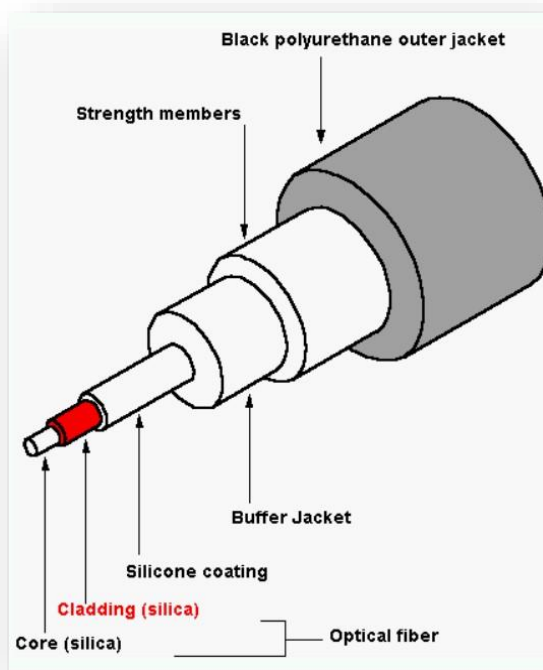
Οι οπτικές είναι ανήκουν στις πρόσφατες τεχνολογικές ανακαλύψεις καθώς αρχικός σταθμός ήταν το 1837 όπου ο Samuel Morse έκανε παρουσίαση του ηλεκτρικού τηλέγραφου και εφηύρε τον

δυναμικό κώδικα μεταβλητού μήκους κάνοντας αναπαράσταση με μια σειρά από τελείες και παύλες, το αγγλικό αλφάβητο. Κάπως έτσι δημιουργείται το πρώτο δίκτυο επικοινωνίας. Το έτος 1858 έγινε εγκατάσταση του καλωδίου επικοινωνίας ανάμεσα στις Η.Π.Α και στην Αγγλία. Αυτό το καλώδιο ήταν σε λειτουργία για 4 εβδομάδες και ήδη είχε αποτελέσει κοσμοϊστορικό γεγονός. Η αντικατάσταση του καλωδίου αυτού έγινε 8 χρόνια μετά και η επικοινωνία αντικαταστάθηκε με επιτυχία. Το 1870 παρουσιάστηκε το πρώτο τηλέφωνο από τον Graham Bell [10]. Επτά χρόνια αργότερα, ο Bell ιδρύει την πρώτη τηλεπικοινωνιακή εταιρία την Bell Telephone Company. Τα αρχικά συστήματα τηλεφωνίας είχαν δυνατότητα μεταφοράς του ήχου για μερικά χιλιάδες μίλια. Το 1906 γίνεται ανακάλυψη της τριόδου λυχνίας κενού που χρησιμοποιήθηκε σαν ενισχυτής και βοήθησε την αλματώδη αύξηση των αποστάσεων διάδοσης του ήχου στα συστήματα τηλεφώνου. Πραγματοποιήθηκε και υπερατλαντική σύνδεση τηλεφώνου που ολοκληρώθηκε το 1953 εξαιτίας των δύο παγκοσμίων πολέμων. [10]

Συγχρόνως, με την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων ιδρύεται και η επιστήμη της διάδοσης του φωτός διαμέσου υλικών. Το 1940 οι Κόλαντον και Μπαμπινέ εφευρίσκουν πως το φως μπορεί να οδηγηθεί με την βοήθεια της διάθλασης που είναι και η βασική αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας. Μόλις το 1952 ο Καπάνι ανακαλύπτει την οπτική ίνα. Λίγα χρόνια αργότερα, ανακαλύπτεται η γυάλινη οπτική ίνα η οποία είναι περιτυλιγμένη από ένα διάφανο περίβλημα με σκοπό τη βέλτιστη διάθλαση. Αυτή η οπτική ίνα είναι η συνηθέστερη και υπάρχει ως και σήμερα. Το έτος 1966 οι επιστήμονες συμπεραίνουν πως οι οπτικές ίνες γυαλιού είναι οι κατάλληλοι κυματοδηγοί φωτεινής ακτινοβολίας. [11] Έπειτα από 4 έτη πραγματοποιείται η πρώτη εμπορεύσιμη οπτική ίνα. Το 1973 παράγεται η αρχική οπτική ίνα που μοιάζει σε αυτές του σήμερα, που αποτελείται από τον πυρήνα, τον μανδύα και το περίβλημα. Το 1976 στο Σικάγο χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε τηλεφωνικό δίκτυο και από το 1980 αρχίζει να χρησιμοποιείται ευρέως σε τηλεφωνικά δίκτυα μεγαλύτερων αποστάσεων. Τελικά, το έτος 1996 εμπορεύονται οι φωτονιακές κρυστάλλινες ίνες, η τελευταία μεγάλη εξέλιξη στις οπτικές ίνες. [12]

2.3.3 Χαρακτηριστικά

Η οπτική ίνα χαρακτηρίζεται από κάποια ζωτικής σημασίας τεχνικά ζητήματα που αφορούν την λειτουργία της. Τα πιο σημαντικά είναι η δομή της οπτικής ίνας, οι διαφορετικοί τύποι οπτικών ινών, η αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας και οι απώλειες σήματος που εμφανίζουν.



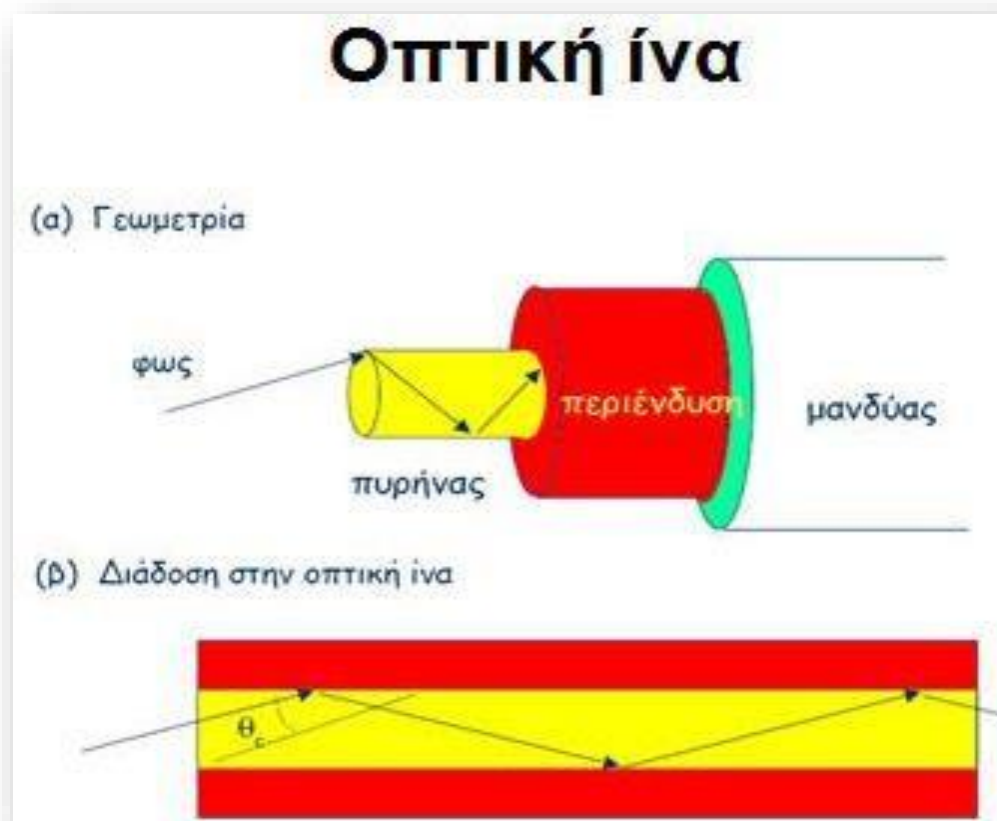
Εικόνα 6: Δομή Οπτικής Ίνας. Ανακτήθηκε από <https://www.trpmart.com/public/images/media/2020/10/HqN8l08809.jpg> [14]

2.3.3.1 Δομή και Λειτουργία Οπτικών Ινών

Ο στόχος είναι να παρουσιαστεί ο τρόπος λειτουργίας της οπτικής ίνας, ξεκινώντας από την εσωτερική της δομή και καταλήγοντας στον τρόπο που καθοδηγείται και προστατεύεται το φως.

Μια οπτική ίνα είναι πολύ εύκαμπτη, έχει μικρό πάχος, και κατασκευάζονται από γυαλί ή πλαστικό. Συχνότερα συναντώνται γυάλινες οπτικές ίνες. Το υλικό κατασκευής τους είναι διηλεκτρικό υλικό. Οι πιο απλές είναι οι μονότροπες οπτικές ίνες οι οποίες είναι κυλινδρικές και αποτελούνται από 3 ομόκεντρους κυλίνδρους. Ο τέταρτος κύλινδρος χρησιμοποιείται εξωτερικά και προστατεύει την οπτική ίνα. Αυτός ονομάζεται περίβλημα (jacket) και δεν παίζει κάποιο ρόλο στην λειτουργία της ίνας. [13]. Ακολουθεί ανάλυση της δομής των οπτικών ινών [14]

Ο πυρήνας (core) βρίσκεται στον πρώτο, εσωτερικό κύλινδρο της οπτικής ίνας [15]. Είναι γυάλινος, έχει υψηλό δείκτη διάθλασης και είναι υψηλής καθαρότητας. Ο μανδύας (cladding) δημιουργείται από τον δεύτερο κύλινδρο που καλύπτει τον πυρήνα. Ο μανδύας επίσης κατασκευάζεται από γυαλί υψηλής καθαρότητας. [16] Πιο σπάνια, αυτά τα δύο μέρη κατασκευάζονται από πολυμερή καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερες απώλειες και κατά αυτόν τον τρόπο είναι ικανά μόνο για μικρές αποστάσεις. Ο τελευταίος κύλινδρος που βρίσκεται εξωτερικά και πριν το περίβλημα καλύπτεται από τον απομονωτή (buffer) πλαστικού υλικού. Οι οπτικές ίνες έχουν εξωτερική διάμετρο 4 δέκατα του χιλιοστού. [17]



Εικόνα 7: Δομή Οπτικής Ίνας και Διάδοση. Ανακτήθηκε από:
<https://diaforesplhrofories.weebly.com/uploads/2/6/0/7/26079260/1610925.jpg>
[15]

2.3.3.2 Τύποι Οπτικών Ινών

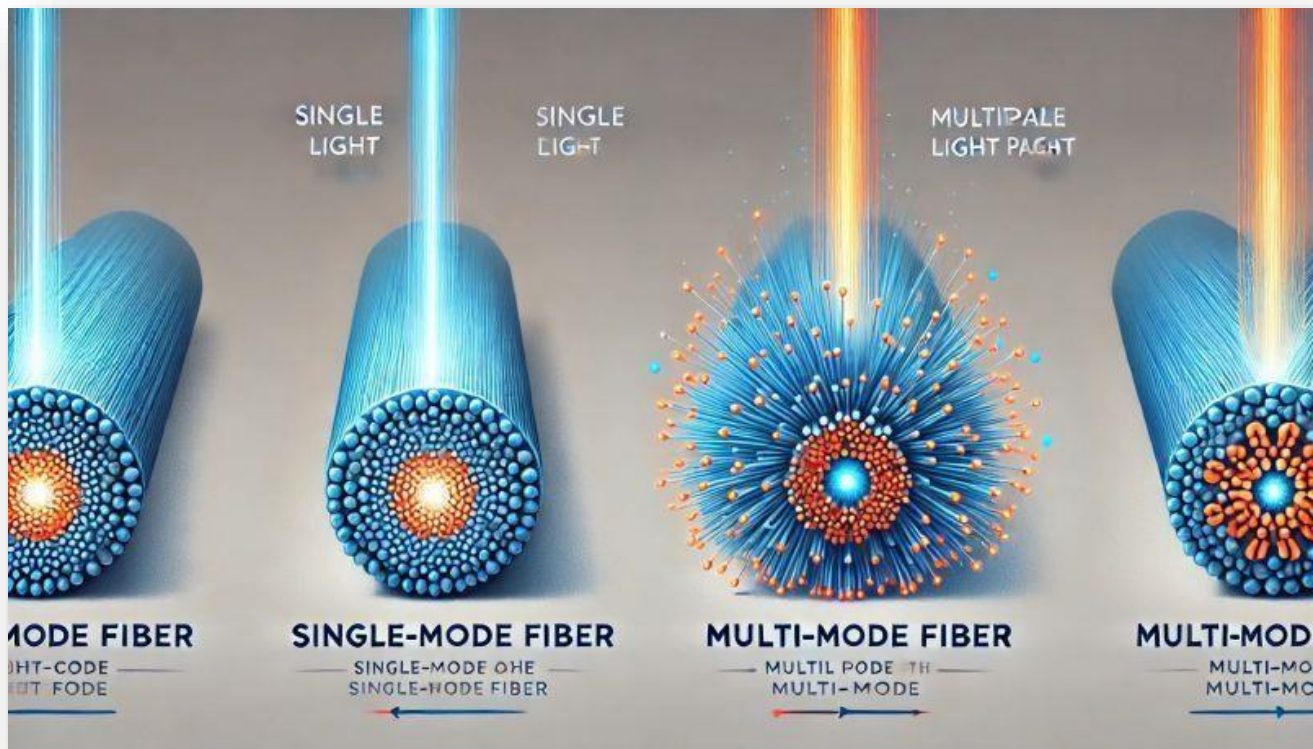
Η μεγάλη κατηγορία των οπτικών ινών δύναται να διαιρεθεί σε διάφορες υποκατηγορίες. Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται με βάση τον τρόπο μετάδοσης του φωτός σε αυτές ή με βάση το υλικό κατασκευής τους.

- **Τρόπος Μετάδοσης Φωτός**

Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε **μονότροπες** και **πολύτροπες** με βάση τον τρόπο που μεταδίδεται το φως. [18] Οι πρώτες μπορούν να υποστηρίξουν μόνο ένα τρόπο κατά τον οποίο μεταδίδεται το φως ενώ οι πολύτροπες μπορούν να υποστηρίξουν πολλούς τρόπους που μεταδίδεται το φως. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες διαιρούνται σε 2 υποκατηγορίες, τις βηματικού δείκτη μεταβολής και τις βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.

Οι μονότροπες οπτικές ίνες δεν επιτρέπουν το φως να μεταδίδεται με συνεχόμενες ανακλάσεις στην διεπιφάνεια πυρήνα και μανδύα αλλά κρατά ευθεία πορεία σε μήκος του πυρήνα. Με σκοπό την επιτυχία μετάδοσης του φωτός, οι μονότροπες ίνες έχουν μικρότερες από 10μm διαμέτρους πυρήνα. Η μονότροπη οπτική ίνα του εμπορίου αυτή τη στιγμή έχει διάμετρο 9μm και συνδυάζεται με πηγές laser εξαιτίας της μικρής διαμέτρου. [19]

Οι πιο απλές ίνες είναι οι πολύτροπες βηματικού δείκτη μετάδοσης. Στις οπτικές πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη το φως έχει τη δυνατότητα μετάδοσης με αρκετούς τρόπους. Βασικός τρόπος μετάδοσης ονομάζεται η πιο μικρή διαδρομή που πραγματοποιείται με την κίνηση του φωτός στο κέντρο της οπτικής ίνας, δίχως ανάκλαση. Οι ακτίνες φωτός που περισσεύουν οδηγούνται ανακλώμενες στην διεπιφάνεια πυρήνα- μανδύα. Η ακτίνα η οποία έχει την πιο μικρή γωνία ολικής ανάκλασης έχει και την πιο μεγάλη διαδρομή. Όλες οι άλλες ακτίνες έχουν διαδρομές διάφορων μηκών μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ακτίνες φωτός να καταλήγουν στην έξοδο της οπτικής ίνας σε διαφορετικό χρόνο και να προκαλείται αλλοίωση του σήματος στον δέκτη που ονομάζεται διασπορά του τρόπου μετάδοσης. Όσο πιο μεγάλη είναι η διασπορά τόσο συρρικνώνεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης της οπτικής ίνας. Οι διάμετροι κυμαίνονται από 100 έως και 970μm. Πιθανών να είναι γυάλινες, έχοντας γυάλινο πυρήνα και πλαστικό μανδύα ή πλαστικές.



Εικόνα 8: Κατηγορίες οπτικών ινών, Μονότροπη Ίνα (Single-mode) και Πολύτροπη Ίνα (Multimode). Ανακτήθηκε από: https://media.lidn.com/dms/image/v2/D5622AQFdckxjVu2Gq/feedshare-shrink_800/feedshare-shrink_800/0/1719455915672?e=1730332800&v=beta&t=m2HqG5-7scFaac0N8Vswzd28I6qtm2HW4XDv4NBzj_Y [18]

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης εμφανίζονται πλέον και σε απλές εφαρμογές χάρη στην μεγάλη διασπορά τους. Για την μεταφορά δεδομένων έχουν πάρει τη θέση του οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης. [19] Οι οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης είναι η εξέλιξη των πολύτροπων ινών που στοχεύουν στην μείωση της διασποράς. Βλέποντας τα πράγματα από την κατασκευαστική τους μεριά ο πυρήνας αποτελείται από στρώσεις οι οποίες διαφέρουν στην πυκνότητα και στον δείκτη διάθλασης.

Αυτή η αλλαγή στον πυρήνα συνεπάγεται την διάθλαση κάθε στρώσης και όχι μόνο στην διεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ακτίνες του φωτός να σχηματίζουν καμπυλωτές διαδρομές χάρη στις συνεχόμενες διαθλάσεις. Αυτό δεν περιορίζει το μήκος της διαδρομής ώστε οι ακτίνες να φτάνουν με μικρότερη διασπορά στο τέλος της διαδρομής. Εξαιτίας

αυτού, οι στρώσεις του πυρήνα έχουν διαφορετική πυκνότητα. [13] Όσο πλησιάζουμε το κέντρο του πυρήνα τόσο αυξάνεται η πυκνότητα ενώ όσο πλησιάζουμε στον μανδύα μικραίνει η πυκνότητα. Σήμερα, οι κλιμακωτές ίνες δείκτη έχουν σχεδόν εξαφανιστεί εντελώς και είναι η μοναδική μορφή ινών που χρησιμοποιείται σε πολλαπλούς τρόπους λειτουργίας. Στην αγορά διατίθενται ίνες τυπικού μεγέθους με διαβαθμισμένο δείκτη που έχουν διάμετρο πυρήνα 50μm, 62,5μm και 85μm. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές αποστάσεις σε οπτικές επικοινωνίες, σε τοπικά δίκτυα και σε δομημένα δίκτυα. [20]

- **Ανάλογα με το υλικό κατασκευής**

Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται από δύο κατηγορίες υλικών, από γυαλί και από πλαστικό. Προκύπτουν λοιπόν τρεις κατηγορίες οπτικών ινών αναλόγως του υλικού κατασκευής τους. Είναι οι γυάλινες οπτικές ίνες, οι πλαστικές οπτικές ίνες και οι οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα.

- 1) Οι οπτικές ίνες που είναι κατασκευασμένες από γυαλί έχουν τόσο το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό τμήμα από γυαλί. Το γυαλί που χρησιμοποιείται είναι ένα συνθετικό γυαλί, που αποτελείται από πυρίτιο, που ονομάζεται οξείδιο του πυριτίου, εξαιρετικής ποιότητας. Το οξείδιο του πυριτίου είναι τυπικά ντοπαρισμένο με ακαθαρσίες όπως φώσφορο ή γερμάνιο στην πυρήνα για να αυξηθεί η διάθεσή του ή το φθόριο και το βόριο στον μανδύα για να μειωθεί η διάθεσή του. Η πλειονότητα των οπτικών ινών που πωλούνται στις τηλεπικοινωνίες είναι κατασκευασμένες από γυαλί.
- 2) Οι πλαστικές οπτικές ίνες έχουν τόσο την πυρήνα όσο και το περίβλημα που αποτελείται από πλαστικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό κόστος αλλά και σημαντική μείωση της απόδοσης, καθώς έχουν μικρότερη ζώνη, υψηλή ελάχιστη απώλεια και είναι ευαίσθητη στη θερμοκρασία. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε σενάρια χαμηλής ζήτησης, όπως εσωτερικές επικοινωνίες και τοπικά δίκτυα.
- 3) Πριν από την εμφάνιση των πλαστικών οπτικών ινών, εισήχθησαν οπτικές ίνες με γυαλί και πλαστική επένδυση με στόχο τη μείωση του κόστους που σχετίζεται με τις οπτικές ίνες. Ενώ η ενσωμάτωση πιο προσιτού πλαστικού στο εξωτερικό στρώμα περιόρισε κάπως την

απόδοση, αυτές οι ίνες αποδείχθηκαν τέλειες για εφαρμογές με χαμηλή ζήτηση. Ωστόσο, η εισαγωγή ακόμη φθηνότερων πλαστικών πυρήνων και επενδεδυμένων οπτικών ινών αντικατέστησε τελικά τις ποικιλίες γυάλινου πυρήνα και πλαστικής επένδυσης. Σήμερα, τα τελευταία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως οι ενδοσκοπήσεις. [20]

2.3.4 Βασικές Αρχές Λειτουργίας

Η λειτουργία της οπτικής ίνας είναι πολύ απλή. Το φως απλώς διαδίδεται μέσα από το γυαλί του πυρήνα. Ο μανδύας αντάλλαξε τις ακτίνες του οπίσθιου φωτός στην πυρήνα, έτσι, στην πραγματικότητα, το να μην τους αφήνει να φύγουν από την πυρήνα, τους επιτρέπει μόνο να συνεχίσουν την πορεία τους μέσα στην πυρήνα. Ο μονωτήρας παρέχει προστασία και αυξάνει την αντοχή του υλικού πυρήνα της ίνας - του γυαλιού - δεν είναι λειτουργικά απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί, αλλά δίνει πρόσθετη αντοχή και περιορίζει τις απώλειές του. Στην πραγματικότητα, η πλήρης εσωτερική ανάκλαση περιγράφει τη λειτουργία της οπτικής ίνας. [13] Για να συμβεί το αποτέλεσμα της συνολικής εσωτερικής ανάκλασης υπάρχει μια κρίσιμη γωνία, η μικρότερη γωνία θ_c που προκύπτει από τον νόμο του Snell για την οποία εμφανίζεται η ολική ανάκλαση. [17]

2.3.5 Φθορισμός στις Οπτικές Ίνες

Στις οπτικές ίνες, ο φθορισμός μπορεί να προκύψει όταν το φως που μεταφέρεται διεγείρει συγκεκριμένα υλικά φθορισμού που ενσωματώνονται στην ίνα. Τα υλικά αυτά απορροφούν φωτόνια και εκπέμπουν φως σε διαφορετικά μήκη κύματος, διατηρώντας την ενέργεια του σήματος σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

- **Εφαρμογές του φθορισμού στις οπτικές ίνες:** Χρησιμοποιείται στην ιατρική απεικόνιση και στους ανιχνευτές ρύπανσης, όπου το φως που περνάει από την ίνα μπορεί να ενεργοποιήσει υλικά φθορισμού που βρίσκονται κοντά στο αισθητήριο σημείο. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει την ανίχνευση ουσιών σε περιβάλλοντα με χαμηλό φωτισμό.

2.3.6 Απορρόφηση στις Οπτικές Ίνες

Η απορρόφηση φωτός στις οπτικές ίνες είναι ένα σημαντικό φαινόμενο που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση της μεταφοράς σήματος. Κατά τη μεταφορά φωτός μέσω της ίνας, ορισμένα μήκη κύματος απορροφώνται από τα υλικά της ίνας, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ένταση του μεταφερόμενου φωτός και να προκαλέσει απώλεια σήματος.

- **Μηχανισμός απορρόφησης:** Η απορρόφηση εξαρτάται από τη χημική σύνθεση των υλικών της ίνας και συχνά συνδέεται με προσμίξεις και ατέλειες στο γυαλί ή το πλαστικό. Σε ειδικές εφαρμογές, τα χαρακτηριστικά απορρόφησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο ή την ενίσχυση του σήματος, όπως στην ενίσχυση οπτικών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις.

2.3.7 Τρόποι Σύνδεσης και Εκπομπής-Διέγερσης

Συγκόλληση (Fusion Splicing): Η πιο αξιόπιστη μέθοδος σύνδεσης οπτικών ινών, όπου οι ίνες συγχωνεύονται μεταξύ τους με τη χρήση θερμότητας. Προσφέρει χαμηλές απώλειες σήματος, αλλά είναι πιο χρονοβόρα και απαιτεί ειδικό εξοπλισμό.

Συνδετήρες (Connectors): Οι οπτικές ίνες μπορούν να συνδεθούν με τη χρήση συνδετήρων, οι οποίοι παρέχουν αποσπώμενες συνδέσεις. Αυτή η μέθοδος είναι ευκολότερη και πιο οικονομική, αλλά οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες σήματος σε σχέση με τη συγκόλληση. [10]

Εκπομπή και Διέγερση στις Οπτικές Ίνες

Διέγερση με Laser: Τα lasers χρησιμοποιούνται συχνά για τη διέγερση των οπτικών ινών, καθώς παράγουν συγκεντρωμένες και μονοχρωματικές δέσμες φωτός. Η ακρίβεια των laser επιτρέπει τη μείωση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης (Μπακαλάκος, 2017).

Διέγερση με LED: Το LED (δίοδος εκπομπής φωτός) χρησιμοποιείται επίσης ως πηγή φωτός στις οπτικές ίνες. Παράγει ευρύτερο φάσμα φωτός σε σύγκριση με το laser και είναι πιο οικονομικό, αλλά έχει μεγαλύτερες απώλειες και είναι κατάλληλο για μικρότερες αποστάσεις.

2.3.8 Κόστη Οπτικών Ινών

Κόστος Υλικών: Το κόστος των οπτικών ινών εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Οι μονότροπες ίνες είναι πιο ακριβές λόγω της υψηλής ποιότητας των υλικών, ενώ οι πολύτροπες ίνες είναι πιο οικονομικές αλλά έχουν υψηλότερες απώλειες σήματος.

Κόστος Εγκατάστασης: Η εγκατάσταση των οπτικών ινών περιλαμβάνει την αγορά εξοπλισμού σύνδεσης και μέτρησης, καθώς και την εργασία. Η συγκόλληση είναι πιο δαπανηρή από τη χρήση συνδετήρων, αλλά παρέχει καλύτερη απόδοση μακροπρόθεσμα.

Κόστος Συντήρησης: Οι οπτικές ίνες έχουν χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, αλλά η επισκευή ή η αντικατάστασή τους μπορεί να είναι δαπανηρή, ειδικά αν έχουν τοποθετηθεί σε δυσπρόσιτα μέρη. [10]

Κεφάλαιο 3^ο

«Διατάξεις Που Μετρούν Φθορισμό Και Απορρόφηση»

Στην αξιολόγηση των ιδιοτήτων του υλικού, οι συσκευές μέτρησης φθορισμού και απορρόφησης είναι το κλειδί για την απόκτηση των σωστών ουσιαστικών αποτελεσμάτων λόγω των ευρειών εφαρμογών αυτών των μετρήσεων σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους όπως η χημεία, η φυσική ή η βιολογία.

1. Φασματοφωτόμετρα Απορρόφησης

Αυτά τα όργανα καθορίζουν την ποσότητα φωτός που απορροφάται από ένα δείγμα καθώς το φως περνά μέσα από αυτό. Στο πιο απλό του επίπεδο, αυτό κάνουν όλα τα φασματοφωτόμετρα. Ο νόμος Beer-Lambert δηλώνει ότι η απορρόφηση του φωτός είναι ανάλογη με το μήκος της διαδρομής του φωτός μέσω της απορροφητικής ουσίας και επίσης με τη συγκέντρωση της απορροφητικής ουσίας. Βασικά μέρη:

- Πηγή φωτός: Παρέχει μήκος κύματος (π.χ. ορατό ή υπεριώδες φως).
- Μονόχρωμη: Επιλέγει το μήκος κύματος φωτός που θα διέρχεται από το δείγμα.
- Δείγμα: Γενικά τοποθετείται σε γυάλινο φιαλίδιο.
- Ανιχνευτής: Μετρά την ένταση του φωτός που έχει περάσει από το δείγμα και το συγκρίνει με το αρχικό φως.

Λειτουργία:

Το φως περνάει μέσα από το δείγμα και η ποσότητα του φωτός που απορροφάται εξαρτάται από τη χημική σύσταση και τη συγκέντρωση του δείγματος. Η μετρούμενη απορρόφηση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης ουσιών στο δείγμα.

2. Φασματοφωτόμετρα Φθορισμού

Ο φθορισμός αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία ένα υλικό εκπέμπει φως μετά την απορρόφηση φωτονίων. Το εκπεμπόμενο φως έχει μήκος σε σύγκριση με το μεγαλύτερο φως. Τα όργανα που έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρηση του φθορισμού αυτό το φαινόμενο για να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

Βασικά συστατικά:

- Πηγή διέγερσης: Παράγει φως για να διεγείρει τα δείγματα του (συνήθως UV ή ορατό φως).
- Δείγμα: Απορροφά ενέργεια και εκπέμπει ξανά φως σε μεγαλύτερο μήκος κύματος.
 - Ανιχνευτής: Τοποθετημένος σε γωνία 90° από την πηγή φωτός, αναγνωρίζει το εκπεμπόμενο φως ενώ εμποδίζει τη μέτρηση του φωτός διέγερσης.
- Μονόχρωμη: Επιλέγει το συγκεκριμένο μήκος κύματος του φωτός φθορισμού που θα μετρηθεί.

Λειτουργία:

Τα φωτόνια από την πηγή διέγερσης απορροφώνται από τα δείγματα του, τα οποία στη συνέχεια εκπέμπουν ξανά το φως σε μειωμένο επίπεδο ενέργειας. Η ένταση του φθορισμού συλλέγεται από τον ανιχνευτή και αυτά τα δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση των δομών των μορίων, των περιβαλλοντικών τους συνθηκών ή της συγκέντρωσής τους.

3. Χρήσεις

- Ανάλυση ουσιών: Για την ποσοτική αξιολόγηση των διαλυμάτων, χρησιμοποιείται φασματοφωτομετρία απορρόφησης, ενώ η φασματοφωτομετρία φθορισμού προσφέρει υψηλή ευαισθησία, καθιστώντας την ιδανική για την ανίχνευση ουσιών.
- Ιατρικές και βιοχημικές εφαρμογές: Τα βιολογικά δείγματα, συμπεριλαμβανομένων των πρωτεϊνών, του DNA και διαφόρων βιομορίων, αναλύονται χρησιμοποιώντας συσκευές φθορισμού.
- Φαρμακευτικά: Στην ανάπτυξη και ανάλυση φαρμάκων, η απορρόφηση και ο φθορισμός χρησιμεύουν για την αξιολόγηση της σταθερότητας και της συγκέντρωσης.

4. Παραλλαγές μεταξύ φθορισμού και απορρόφησης

- Ευαισθησία: Η ανίχνευση ουσιών σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις γίνεται εφικτή από τον φθορισμό, ο οποίος είναι σημαντικά πιο ευαίσθητος.
- Φυσική διαδικασία: Στην περίπτωση απορρόφησης, η ενέργεια λαμβάνεται από το δείγμα

χωρίς άμεση εκπομπή, ενώ ο φθορισμός περιλαμβάνει την απελευθέρωση φωτός μετά την απορρόφηση ενέργειας.

Οι διατάξεις αυτές είναι πολύ ισχυρά εργαλεία για τη μελέτη διαφόρων χημικών και βιολογικών συστημάτων, προσφέροντας ακριβείς μετρήσεις και αναλύσεις σε πολλούς τομείς της επιστήμης.

3.1 Οπτικοί και Υπέρυθροι

Οι συσκευές γνωστές ως οπτικά και υπέρυθρα φασματοφωτόμετρα μετρούν την απορρόφηση ή την εκπομπή φωτός από υλικά σε διάφορα μήκη κύματος. Αυτά τα όργανα βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή σε τομείς όπως η χημεία, η βιολογία και άλλοι επιστημονικοί κλάδοι για την ανάλυση της δομής, της σύνθεσης και των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών. Παρακάτω, περιγράφονται λεπτομερώς οι κύριες διακρίσεις και η λειτουργία αυτών των δύο τύπων φασματοσκοπίας. [21]

3.1.1 Οπτική Φασματοσκοπία UV-Vis

- Η οπτική φασματοσκοπία περιλαμβάνει τη μέτρηση της απορρόφησης ή εκπομπής φωτός εντός του εύρους υπεριώδους (UV) (200-400 nm) και του ορατού φάσματος (400-700 nm). Αυτές οι μέθοδοι διερευνούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ μορίων ή ιόντων και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε αυτές τις συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Φάσμα: Περιλαμβάνει το υπεριώδες (UV) και το ορατό φως (UV-Vis).
- Χρήσεις: Σημαντικό για την αξιολόγηση των συγκεντρώσεων ουσίας, την εξέταση χημικών ενώσεων και τον προσδιορισμό του χρώματος.
- Διατάξεις:
 - ο Πηγή φωτός: Συνήθως λάμπες υδραργύρου ή ξένου για UV και λάμπες βολφραμίου για το ορατό.
 - ο Δείγμα: Τοποθετείται σε κυψελίδες από χαλαζία ή γυαλί, ανάλογα με το μήκος κύματος.

- ο Μονόχρωμος: Επιλέγει το συγκεκριμένο μήκος κύματος για να μελετηθεί.
- ο Ανιχνευτής: Καταγράφει την ένταση του φωτός που διαπερνά ή εκπέμπεται από το δείγμα.

Λειτουργία:

Το φως διασχίζει το δείγμα και ο όγκος του φωτός που απορροφάται προέρχεται από την ηλεκτρονική σύνθεση των μορίων του δείγματος. Οι αλλαγές στην απορρόφηση υποδηλώνουν την παρουσία συγκεκριμένων ουσιών και τις συγκεντρώσεις τους. Οι υπεριώδεις και ορατές περιοχές του φάσματος είναι σημαντικές επειδή αντιστοιχούν στην ηλεκτρονική διέγερση των μορίων.

3.1.2 Φασματοσκοπία Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (IR)

Η υπέρυθρη φασματοσκοπία μετρά την αλληλεπίδραση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (750 nm έως 1 mm) με τα μόρια. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μελέτη δονήσεων και περιστροφών στα μόρια, επιτρέποντας τον προσδιορισμό λειτουργικών ομάδων και μοριακών δεσμών. [22]

Βασικά σημεία:

- Φάσμα: Περιλαμβάνει τη μεσαία υπέρυθρη (IR) περιοχή, μεταξύ 2.5 μm και 25 μm , η οποία είναι σημαντική για τη μελέτη δονήσεων μοριακών δεσμών.
- Εφαρμογές: Χρησιμοποιείται για την ανάλυση οργανικών και ανόργανων ενώσεων, την ταυτοποίηση λειτουργικών ομάδων και τον προσδιορισμό της σύστασης υλικών.
- Διατάξεις:
 - ο Πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας: Συνήθως χρησιμοποιούνται λάμπες Nernst ή Globar, που παράγουν υπέρυθρη ακτινοβολία.
 - ο Δείγμα: Μπορεί να είναι σε στερεή, υγρή ή αέρια μορφή, και συνήθως τοποθετείται σε ειδικές κυψελίδες από άλατα όπως το NaCl, τα οποία δεν απορροφούν υπέρυθρη ακτινοβολία.
 - ο Μονόχρωμος: Επιλέγει συγκεκριμένο μήκος κύματος υπέρυθρης ακτινοβολίας.
 - ο Ανιχνευτής: Καταγράφει την υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται από το δείγμα.

Λειτουργία:

Τα μόρια περιέχουν συγκεκριμένες ζώνες απορρόφησης υπέρυθρων που αντιστοιχούν στους

κραδασμούς των δεσμών τους. Αυτές οι απορροφήσεις είναι εμφανείς ως κορυφές στο υπέρυθρο φάσμα και σχετίζονται με συγκεκριμένους τύπους δεσμών (π.χ. C=O, O-H, N-H). Μελετώντας το υπέρυθρο φάσμα, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις λειτουργικές ομάδες και να προσδιορίσουμε τη χημική σύσταση του δείγματος.

3.1.3 Διαφορές ανάμεσα σε Οπτική και Υπέρυθρη Φασματοσκοπία

- Μήκη κύματος: Η οπτική φασματοσκοπία μελετά κυρίως ηλεκτρονικές διεγέρσεις στο UV και το ορατό φάσμα, ενώ η υπέρυθρη επικεντρώνεται στις δονήσεις και τις περιστροφές των μορίων.
- Πληροφορία: Η οπτική φασματοσκοπία παρέχει πληροφορίες για τη συγκέντρωση και τη χημική συμπεριφορά των ουσιών, ενώ η υπέρυθρη φασματοσκοπία προσφέρει λεπτομερή ανάλυση των χημικών δεσμών και των λειτουργικών ομάδων. [21]
- Εφαρμογές: Η οπτική φασματοσκοπία είναι πιο συνηθισμένη σε ποσοτικές αναλύσεις διαλυμάτων, ενώ η υπέρυθρη χρησιμοποιείται κυρίως για την ταυτοποίηση δομικών χαρακτηριστικών και ενώσεων.

3.1.4 Εφαρμογές των Τεχνικών

- Φαρμακευτική: Η υπέρυθρη φασματοσκοπία χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση των φαρμακευτικών ουσιών και των ακαθαρσιών τους, ενώ η UV-Vis φασματοσκοπία μετρά τις συγκεντρώσεις των ενεργών συστατικών.
- Βιολογία: Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για τη μελέτη πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων και άλλων βιομορίων.
- Χημεία Υλικών: Η υπέρυθρη φασματοσκοπία χρησιμοποιείται για την ανάλυση πολυμερών, καυσίμων και άλλων σύνθετων υλικών.

3.2 Φασματογράφοι

Τα φασματοσκόπια είναι επιστημονικά όργανα που εξετάζουν το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικά επαγόμενης ακτινοβολίας. Στη φασματοσκοπία, το φως ή άλλες μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλληλεπιδρούν με ουσίες και η φασματοσκοπία αναλύει την προκύπτουσα ακτινοβολία. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της απορρόφησης, της εκπομπής ή της σκέδασης της ακτινοβολίας από τα δείγματα, καθώς και για τη χημική τους σύνθεση, τις φυσικές ιδιότητες και τις δομές τους. [21]

3.2.1. Φασματογράφοι Απορρόφησης

Αυτές οι συσκευές συνάγουν την ποσότητα φωτός που απορροφάται από ένα δείγμα καθώς μια δέσμη φωτός το διασχίζει. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα μήκη κύματος επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των ουσιών και την ηλεκτρονική ή μοριακή τους σύνθεση.

- Φασματογράφοι UV-Vis: Αξιολογούν την απορρόφηση των περιοχών υπεριώδους (UV) και ορατών (Vis) του φάσματος. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκτίμηση της συγκέντρωσης των διαλυμάτων και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των χημικών ενώσεων.
- Φασματογράφοι απορρόφησης υπέρυθρων (IR): Αυτά τα όργανα μετρούν τον βαθμό απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας, που σχετίζεται με τους κραδασμούς και τις περιστροφές των μοριακών δεσμών. Η υπέρυθρη φασματοσκοπία είναι ευεργετική για την αναγνώριση λειτουργικών συστατικών και τη μελέτη χημικών αλληλεπιδράσεων.

3.2.2. Φασματογράφοι Εκπομπής

Αυτοί οι φασματογράφοι μετρούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα δείγμα όταν διεγείρεται από μια πηγή ενέργειας (π.χ., θερμότητα, ηλεκτρικό ρεύμα, ή ακτινοβολία). ³Χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των στοιχείων που αποτελούν ένα υλικό και την ταυτοποίηση του χημικού τους τύπου.

- Φασματογράφοι Φωταύγειας: Μετρούν την εκπομπή φωτός από ένα δείγμα όταν διεγείρεται, π.χ. φθορισμό ή φωσφορισμό.
- Ατομικοί Εκπομπής (ICP-AES): Αυτές οι διατάξεις μετρούν την εκπομπή φωτός από τα άτομα ενός δείγματος που έχουν διεγερθεί μέσω πλάσματος επαγωγικού συζεύγματος (ICP). Η

³ Η εικόνα 9 δημιουργήθηκε από το DALL-E, βάσει λεκτικής περιγραφής των φασματογράφων. Τα δεδομένα και η τελική επεξεργασία πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας.

τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση μεταλλικών στοιχείων σε δείγματα.



Εικόνα 9: Φασματογράφος Εκπομπής και Φασματογράφος Απορρόφησης και οι διαφορές τους. Δημιουργήθηκε από το DALL-E

3.2.3 Φασματογράφοι Μάζας

Ο φασματογράφος μάζας (Mass Spectrometer, MS) δεν μετρά το φάσμα της ακτινοβολίας, αλλά διαχωρίζει τα μόρια ενός δείγματος ανάλογα με τη μάζα και το φορτίο τους. Είναι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για τον προσδιορισμό της σύστασης των ενώσεων και των μοριακών δομών τους.

- Τεχνική λειτουργίας: Το δείγμα ιονίζεται, και τα ιόντα επιταχύνονται και διαχωρίζονται με βάση τη μάζα τους σε έναν αναλυτή μάζας. Στη συνέχεια ανιχνεύονται, και δημιουργείται ένα φάσμα μάζας που αποκαλύπτει τις μάζες των συστατικών ιόντων.

3.2.4 Φασματόμετρα ραδιοκυμάτων (NMR)

Η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) προέρχεται από την αλληλεπίδραση πυρηνικών κέντρων με ραδιοκύματα υπό την επίδραση ενός μαγνητικού πεδίου. Είναι χρήσιμο για την ανάλυση οργανικών ενώσεων και παρέχει συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση των μορίων και το περιβαλλοντικό πλαίσιο των ατόμων σε αυτά τα μόρια.

- Λειτουργία: Όταν ένα δείγμα τοποθετείται σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο και εκτίθεται σε ραδιοκύματα, οι πυρήνες των ατόμων του θα συντονίζονται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα που σχετίζεται με τη χημική του σύσταση. Το λαμβανόμενο σήμα μετατρέπεται σε ένα φάσμα που οπτικοποιεί τη σύνθεση του μορίου.

3.2.5 Φασματογράφοι ακτίνων Χ (XRF)

Η ανάλυση φθορισμού ακτίνων Χ (XRF) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης ενός δείγματος [23]. Όταν οι ακτίνες Χ αλληλεπιδρούν με ένα δείγμα, τα άτομα στο δείγμα ακτινοβολούν με μια συγκεκριμένη ενέργεια, η οποία σχετίζεται με τη σύνθεση του δείγματος.

Εφαρμογές: Χρησιμοποιείται ευρέως στη γεωλογία, τη μεταλλουργία, την ανάλυση υλικών και τη χημική βιομηχανία για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση στοιχείων.



Εικόνα 10: Φασματογράφος XRF Hitachi. Ανακτήθηκε από:
<https://gcontrol.gr/wp-content/uploads/2019/02/fasmatografos-XRF-Strata920-HITACHI.jpg> [23]

3.2.6 Φασματογράφοι RAMAN

Η φασματοσκοπία Raman μετρά τη σκέδαση του φωτός από τα μόρια του δείγματος. Όταν το φως αλληλεπιδρά με ένα μόριο, η ενέργεια του φωτός μπορεί να αλλάξει λόγω δονητικών ή περιστροφικών αλλαγών στα μόρια. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση χημικών ενώσεων και την ανάλυση μοριακών δομών.

- Λειτουργία: Η αλλαγή στην ενέργεια του φωτός κατά τη σκέδαση καταγράφεται ως φάσμα Raman, που είναι χαρακτηριστικό για κάθε μόριο.

Εφαρμογές των Φασματογράφων

Οι φασματογράφοι είναι θεμελιώδεις για πολλές επιστημονικές και βιομηχανικές εφαρμογές:

- Χημεία και Βιολογία: Χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση και την ανάλυση χημικών ενώσεων, βιομορίων, και φαρμάκων.
- Φαρμακευτική Βιομηχανία: Για τον έλεγχο ποιότητας των φαρμάκων και την ανάλυση της καθαρότητας και της σύστασής τους.
- Περιβαλλοντική Ανάλυση: Ανιχνεύουν και ποσοτικοποιούν τοξικές ουσίες, μέταλλα και

οργανικές ενώσεις σε δείγματα νερού, αέρα και εδάφους.

- Υλικά και Μεταλλουργία: Χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της σύστασης κραμάτων, ορυκτών και άλλων υλικών.

Οι φασματογράφοι αποτελούν κεντρικά εργαλεία σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα για την κατανόηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υλικών.

3.3 Φασματόμετρα

Παρουσιάζεται μια ιαπωνική εταιρεία που ειδικεύεται στην ανάπτυξη και παραγωγή οπτοηλεκτρονικών συσκευών και τεχνολογιών. Ιδρύθηκε το 1953 και έχει κερδίσει παγκόσμια φήμη για τις καινοτόμες λύσεις της σε τομείς όπως η επιστημονική έρευνα, η ιατρική απεικόνιση, η βιομηχανία και οι τηλεπικοινωνίες.

1. Φωτοπολλαπλασιαστές (Photomultiplier Tubes - PMTs):

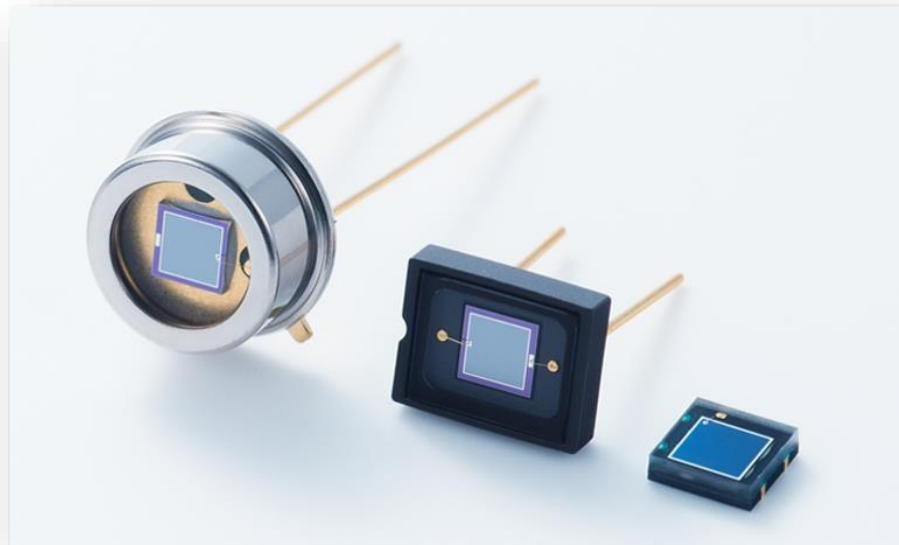
- ο Οι φωτοπολλαπλασιαστές είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πολύ ασθενών σημάτων φωτός [24]. Έχουν εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία και ταχύτητα απόκρισης, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπως η φασματοσκοπία, η αστρονομία και η πυρηνική φυσική.
- ο Χρησιμοποιούνται επίσης σε ιατρικές συσκευές, όπως οι τομογράφοι εκπομπής ποζιτρονίων (PET).



Εικόνα 11: Photomultiplier Tubes - PMTs Hamamatsu. Ανακτήθηκε από: https://hep.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/static/hep/community/hep/images/RICH_photomultiplier_tube_keyvisual.jpg [24]

2. Φωτοδιόδοι (Photodiodes):

- Οι φωτοδιόδοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση φωτός και την άμεση μετατροπή του σε ηλεκτρικό σήμα [25]. Είναι ευρέως διαδεδομένες σε συστήματα ανίχνευσης υπεριώδους (UV), ορατού και υπέρυθρου (IR) φωτός.
- Βρίσκουν εφαρμογές σε αναλύσεις και διατάξεις μέτρησης, όπως οι φασματογράφοι και τα όργανα παρακολούθησης περιβάλλοντος.



Εικόνα 12: Photodiodes. Ανακτήθηκε από:

https://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/k_thumbnail_si_photodiode.jpeg [25]

3. Κάμερες για Επιστημονική Χρήση:

- Εξαιρετικά ευαίσθητες κάμερες για εφαρμογές όπως η βιοϊατρική απεικόνιση, η αστροφυσική, η φασματοσκοπία και η βιοφωταύγεια. Οι κάμερες αυτές χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως CCD (Charged Coupled Devices) και CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), που επιτρέπουν την καταγραφή υψηλής ποιότητας εικόνων σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού.
- Κάμερες EMCCD [26] (Electron Multiplying CCD) της Hamamatsu είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στη βιολογία για την καταγραφή βιολογικών δειγμάτων που εκπέμπουν φθορισμό ή βιοφωταύγεια.



Εικόνα 13: EMCCD (Electron Multiplying CCD). Ανακτήθηκε από: https://camera.hamamatsu.com/eu/en/learn/technical_information/sensor_technologies/jcr_content/root/container/container_copy/media_module_878354617/image.coreimg.jpeg/1686552668611/s-lsc-prd-ccd-xx.jpeg [26]

4. Υπέρυθρες Αισθητήρες και Ανιχνευτές:

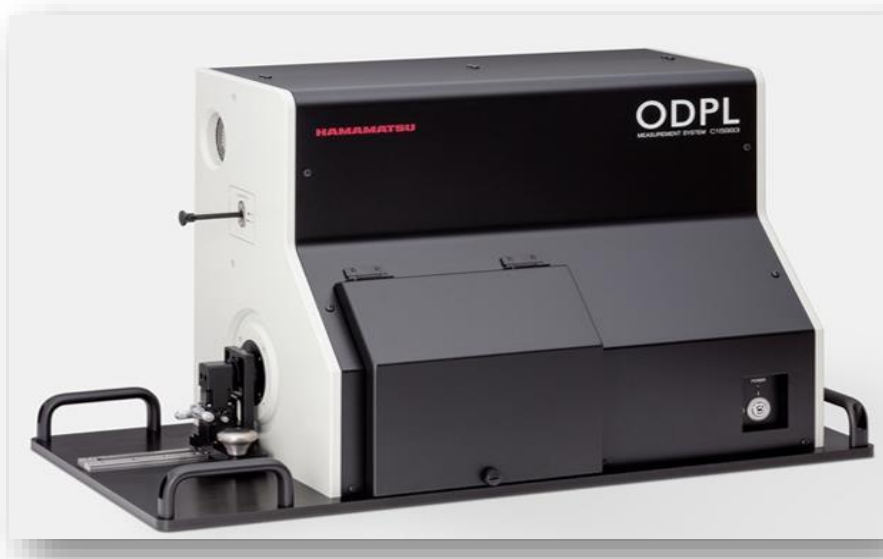
- Οι υπέρυθροι ανιχνευτές της Hamamatsu χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ακτινοβολίας στο φάσμα του υπέρυθρου φωτός, καλύπτοντας εφαρμογές που κυμαίνονται από τις τηλεπικοινωνίες μέχρι την ανάλυση υλικών και την περιβαλλοντική παρακολούθηση. [27]



Εικόνα 14: Αισθητήρες. Ανακτήθηκε από: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/images/03_SSD/03_11_new_Product_key_visual/k_top_ccd_cmos_nmos_image_sensor.jpg [27]

5. Συσκευές Ανάγνωσης Χημειοφωταύγειας και Φωταύγειας:

- Αυτές οι συσκευές είναι σχεδιασμένες για την ανίχνευση και την ανάλυση βιολογικών δειγμάτων που εκπέμπουν φωταύγεια. Η τεχνολογία αυτή είναι κρίσιμη για τη μοριακή βιολογία, τη φαρμακευτική έρευνα και την ανάπτυξη διαγνωστικών εργαλείων.



Εικόνα 15: Σύστημα Μέτρησης Φωταύγειας. Ανακτήθηκε από:
<https://www.bjraylight.com/uploads/image/20231130/1701311400.png>

Εφαρμογές και Κλάδοι

- **Ιατρική και Βιολογία:** Παρέχονται προϊόντα που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση καρκίνου, στην ανίχνευση DNA, στη μελέτη κυτταρικών λειτουργιών και στη μικροσκοπία φθορισμού.
- **Αστρονομία:** Συσκευές όπως οι φωτοπολλαπλασιαστές, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πολύ ασθενών σημάτων φωτός από μακρινά αστρονομικά σώματα.
- **Φασματοσκοπία:** Οι φωτοδιόδοι και οι ανιχνευτές είναι κρίσιμοι για τη μέτρηση φασμάτων ακτινοβολίας από διάφορες πηγές, επιτρέποντας την ακριβή ανάλυση υλικών και τη χημική ανάλυση. [7]

Κεφάλαιο 4^ο
«Ενδεικτικές Εφαρμογές σε
μέτρηση Βιολογικών
Παραμέτρων Βρώσιμων και
Βιομηχανικών Προϊόντων»

Οι οπτικές ίνες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μέτρηση βιολογικών παραμέτρων βρώσιμων και βιομηχανικών προϊόντων, καθώς επιτρέπουν τη μη καταστροφική, ταχεία και υψηλής ακρίβειας ανάλυση. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως στη γεωργία, την παραγωγή τροφίμων και ποτών, λόγω της ικανότητάς τους να προσφέρουν γρήγορη και ακριβή ανάλυση των παραμέτρων των προϊόντων. Οι αισθητήρες οπτικών ινών χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η σύνθεση των αερίων, το pH, αλλά και η ανάλυση των χημικών συστατικών, όπως λιπαρά οξέα, σάκχαρα, πρωτεΐνες, και πολυφαινόλες.

4.1 Λάδι

1. Λάδι

Η μέτρηση και ανάλυση του ελαιόλαδου και άλλων φυτικών ελαίων μέσω οπτικών ινών προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την ποιότητά τους, καθώς και για τη χημική τους σύσταση. Οι πιο συνηθισμένοι παράμετροι που μετριοούνται είναι η οξύτητα, η περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα, και οι φαινολικές ενώσεις.

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες:

- Φασματοσκοπία υπερύθρου (IR): Μια σημαντική τεχνική που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με οπτικές ίνες είναι η φασματοσκοπία υπέρυθρων, η οποία βοηθά στην ανάλυση των χημικών χαρακτηριστικών του λαδιού. Μπορεί να εντοπίσει την οξύτητα και τη σύνθεση των λιπαρών οξέων, καθώς και να ανιχνεύσει νοθεία (Pereira , 2016).
- Φασματοσκοπία κοντά στο υπέρυθρο (NIR): Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και μέτρηση του περιεχομένου σε νερό και λιπαρά οξέα στο λάδι, βοηθώντας στην εκτίμηση της ποιότητας και της γνησιότητας του προϊόντος.

Εφαρμογές:

- Έλεγχος της ποιότητας του ελαιόλαδου κατά τη διάρκεια της παραγωγής και της αποθήκευσης.
- Ανίχνευση νοθείας, δηλαδή την προσθήκη άλλων φθηνότερων ελαίων στο ελαιόλαδο.
- Αξιολόγηση της φρεσκάδας και της διάρκειας ζωής του προϊόντος.

4.2 Κρασί

Οι οπτικές ίνες μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για τη διαδικασία παραγωγής και ωρίμανσης του κρασιού, επιτρέποντας τον έλεγχο των βιολογικών και χημικών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του προϊόντος. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα σε αλκοόλ, την οξύτητα, το pH, τις πολυφαινόλες, τα σάκχαρα και τα αρώματα.

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες:

- Οπτική φασματοσκοπία UV-Vis: Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση του χρώματος και της περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες, οι οποίες συνεισφέρουν στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες και το άρωμα του κρασιού.
- Αισθητήρες φθορισμού: Οι αισθητήρες φθορισμού που συνδέονται με οπτικές ίνες μπορούν να μετρήσουν την παρουσία φαινολικών ενώσεων και αρωματικών συστατικών που καθορίζουν την ποιότητα του κρασιού.

Εφαρμογές:

- Έλεγχος της ωρίμανσης και της γήρανσης του κρασιού.
- Παρακολούθηση των μεταβολών κατά τη ζύμωση, όπως η περιεκτικότητα σε σάκχαρα και αλκοόλ.
- Αξιολόγηση του τελικού προϊόντος, εστιάζοντας στη γεύση, το άρωμα και τη χημική του σύσταση.

4.3 Μέλι

Η ανάλυση του μελιού είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της ποιότητας και της γνησιότητας του προϊόντος. Το μέλι είναι ένα φυσικό προϊόν που περιέχει ζάχαρα, νερό, πρωτεΐνες, ένζυμα, και ανόργανα άλατα, και η παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της ποιότητας του.

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες:

- Φασματοσκοπία NIR: Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της υγρασίας και της περιεκτικότητας σε ζάχαρα, καθώς και για την ανίχνευση της νοθείας.
- Φασματοσκοπία Raman: Αυτή η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί για τη μέτρηση των υδατανθράκων, των αμινοξέων και των ανόργανων συστατικών του μελιού.

Εφαρμογές:

- Ανίχνευση της νοθείας του μελιού μέσω της προσθήκης γλυκαντικών ή σιροπιού.
- Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε υγρασία για να εκτιμηθεί η σταθερότητα και η ανθεκτικότητα του μελιού στην αποθήκευση.
- Έλεγχος της φρεσκάδας του μελιού και των φυσικών του χαρακτηριστικών όπως τα σάκχαρα και τα ένζυμα.

Η χρήση της τεχνολογίας οπτικών ινών σε προϊόντα όπως το κρασί, το μέλι και το λάδι έχει οδηγήσει σε επανάσταση στη μέτρηση των βιολογικών ιδιοτήτων αυτών των προϊόντων. Οι αισθητήρες οπτικών ινών έχουν ταχύτερο χρόνο απόκρισης και πιο ακριβή μέτρηση από άλλες μεθόδους, αλλά εξακολουθούν να μην είναι διαισθητικοί και μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου παραγωγής.

Αυτές οι τεχνολογίες εξακολουθούν να αναπτύσσονται, γεγονός που οδηγεί σε αυξανόμενο βαθμό χημικών και φυσικών πληροφοριών σχετικά με αναλώσιμα και βιομηχανικά προϊόντα.

4.4 Γάλα

Η ανάλυση του γάλακτος με οπτικές ίνες είναι σημαντική για τη διασφάλιση της ποιότητάς του, της γνησιότητας και της θρεπτικής του αξίας. Ο έλεγχος των φυσικών και χημικών παραμέτρων του γάλακτος είναι κρίσιμος τόσο για την παραγωγή όσο και για τη μεταποίηση και διανομή του. Το γάλα είναι ένα βασικό διατροφικό προϊόν, και η ποιότητά του εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως η περιεκτικότητα σε λιπαρά, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες (κυρίως λακτόζη), νερό και ανόργανα άλατα. Η παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της θρεπτικής του αξίας και της ασφάλειας του προϊόντος προς τον καταναλωτή.

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες:

- Φασματοσκοπία κοντά στο υπέρυθρο (NIR): Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της σύστασης του γάλακτος, συμπεριλαμβανομένων των λιπών, των πρωτεϊνών, της λακτόζης και του νερού. Είναι μια μη καταστροφική μέθοδος που παρέχει ταχεία και ακριβή δεδομένα για τη σύνθεση του γάλακτος.

- Φασματοσκοπία Raman: Μπορεί να ανιχνεύσει τη σύνθεση και τις μοριακές αλληλεπιδράσεις στο γάλα, καθώς και να εντοπίσει νοθεία ή αλλαγές στη χημική σύσταση λόγω μεταποίησης ή αποθήκευσης.

Εφαρμογές:

- Ανίχνευση λιπαρών και πρωτεϊνών: Η φασματοσκοπία NIR επιτρέπει την ακριβή μέτρηση των βασικών θρεπτικών συστατικών του γάλακτος, όπως τα λιπαρά και οι πρωτεΐνες, που είναι σημαντικά για την ποιοτική του αξιολόγηση. Η περιεκτικότητα σε λιπαρά είναι καθοριστική για τη διαβάθμιση του γάλακτος (πλήρες, μερικώς αποβουτυρωμένο ή άπαχο).
- Έλεγχος νοθείας: Οι οπτικοί αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν τη νοθεία στο γάλα, όπως την προσθήκη νερού ή άλλων ουσιών που μειώνουν την ποιότητα του προϊόντος. Με τη φασματοσκοπία Raman, μπορεί επίσης να αναγνωριστεί η παρουσία άλλων προσθέτων που αλλοιώνουν τη σύνθεση του γάλακτος. [29]
- Αξιολόγηση φρεσκάδας: Οι τεχνικές οπτικών ινών μπορούν να αξιολογήσουν τη φρεσκάδα του γάλακτος μέσω της ανίχνευσης των χημικών αλλαγών που προκύπτουν από την οξείδωση των λιπαρών ή την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Αυτές οι μέθοδοι βοηθούν στην παρακολούθηση της ποιότητας του γάλακτος κατά την αποθήκευση και τη διανομή.
- Παρακολούθηση της παστερίωσης: Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία της παστερίωσης, η οποία είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση της ασφάλειας του γάλακτος και τη διατήρηση της ποιότητάς του. Η σωστή παρακολούθηση της θερμοκρασίας βοηθά στη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών και την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών.

Οι οπτικές ίνες έχουν τη δυνατότητα να έχουν μεγάλη σημασία στον έλεγχο της ποιότητας και στην επαλήθευση της γνησιότητας του γάλακτος παρέχοντας γρήγορες, ακριβείς και μη καταστροφικές μεθόδους μέτρησης. Οι μέθοδοι φασματοσκοπίας όπως το NIR και το Raman είναι χρήσιμες για την έρευνα της σύνθεσης του γάλακτος, της ασφάλειας και της φρεσκάδας του. Αυτό είναι απαραίτητο για την παραγωγή ποιοτικών γαλακτοκομικών προϊόντων που διασφαλίζουν την ικανοποίηση των καταναλωτών.

4.5. Τσιμέντο

Το τσιμέντο αποτελεί ένα από τα βασικότερα δομικά υλικά παγκοσμίως, και η ποιότητά του επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια και την αντοχή των κατασκευών. Η παραγωγή και η χρήση τσιμέντου απαιτούν συνεχή παρακολούθηση πολλών φυσικών και χημικών παραμέτρων, και οι οπτικές ίνες μπορούν να βοηθήσουν στην ακριβή καταγραφή αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες:

- Αισθητήρες θερμοκρασίας: Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία σκλήρυνσης του τσιμέντου, ιδιαίτερα στη φάση της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Η θερμοκρασία είναι κρίσιμη παράμετρος για την επίτευξη σωστής σκλήρυνσης και αντοχής του υλικού.
- Φασματοσκοπία υπέρυθρου (IR): Η φασματοσκοπία υπέρυθρου μπορεί να ανιχνεύσει χημικές αλλαγές στα συστατικά του τσιμέντου και να αξιολογήσει την ποιότητα του προϊόντος. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των εκπομπών αερίων που παράγονται κατά τη διαδικασία καύσης και την παρακολούθηση της θερμοκρασίας στους κλιβάνους τσιμέντου.

Εφαρμογές:

- Έλεγχος σκλήρυνσης: Οι οπτικές ίνες μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στο μίγμα τσιμέντου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας κατά τη διαδικασία σκλήρυνσης, παρέχοντας πληροφορίες για το αν το υλικό έχει επιτύχει την επιθυμητή αντοχή.
- Προβλεπτική συντήρηση: Οι οπτικοί αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τις συνθήκες σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, βοηθώντας στην έγκαιρη αναγνώριση βλαβών στους εξοπλισμούς παραγωγής ή στις εγκαταστάσεις σκλήρυνσης του υλικού.
- Περιβαλλοντική παρακολούθηση: Η μέτρηση εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων από τη βιομηχανία τσιμέντου είναι απαραίτητη για την τήρηση περιβαλλοντικών κανονισμών. Οι αισθητήρες οπτικών ινών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ποσότητας και της σύνθεσης των αερίων που εκπέμπονται από τους κλιβάνους.

4.6 Πλαστικά

Τα πολυμερή αποτελούν τη βάση για την κατασκευή πλαστικών προϊόντων και χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, από τη συσκευασία και τα αυτοκίνητα μέχρι την ηλεκτρονική και την ιατρική. Η ποιότητα των πολυμερών πρέπει να ελέγχεται σε όλα τα στάδια παραγωγής, και οι οπτικές ίνες μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό προβλημάτων και στη βελτίωση των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας.

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες:

- Φασματοσκοπία Raman: Χρησιμοποιείται για την ανάλυση των μοριακών δομών των πολυμερών και την ανίχνευση αλλαγών στις χημικές τους ιδιότητες κατά τη διάρκεια της παραγωγής ή της επεξεργασίας. Επιτρέπει τον έλεγχο της πολυμεριστικής διαδικασίας και της σύνθεσης των τελικών προϊόντων.
- Φασματοσκοπία κοντά στο υπέρυθρο (NIR): Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση των φυσικών παραμέτρων, όπως η υγρασία και το ιξώδες κατά τη διάρκεια της παραγωγής πολυμερών, καθώς και για την ανίχνευση ατελειών στα τελικά προϊόντα.

Εφαρμογές:

- Έλεγχος ποιότητας: Οι αισθητήρες οπτικών ινών βοηθούν στον έλεγχο της ποιότητας των πολυμερών σε κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Για παράδειγμα, ανιχνεύουν ατέλειες στη δομή, όπως ασυνέχειες στην πολυμεριστική αλυσίδα ή ακαθαρσίες, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργικότητα του προϊόντος.
- Διασφάλιση της σύνθεσης: Μέσω της φασματοσκοπίας Raman, μπορεί να προσδιοριστεί η ακριβής χημική σύνθεση των πολυμερών και να εξασφαλιστεί η σωστή αναλογία μονομερών και καταλυτών κατά τη διάρκεια της παραγωγής.
- Ανακύκλωση και επεξεργασία αποβλήτων: Οι οπτικοί αισθητήρες μπορούν να βοηθήσουν στην αναγνώριση διαφορετικών τύπων πολυμερών κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη διαλογή και επεξεργασία των πλαστικών αποβλήτων.

Οι οπτικές ίνες αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για τη μέτρηση και την επιτήρηση φυσικών και χημικών παραμέτρων σε βιομηχανικά προϊόντα της το τσιμέντο και τα πολυμερή. Στην παραγωγή τσιμέντου, οι αισθητήρες οπτικών ινών βοηθούν στην παρακολούθηση της σκλήρυνσης και της

θερμοκρασίας, ενώ στα πολυμερή συνεισφέρουν στον έλεγχο ποιότητας και στη διασφάλιση της χημικής σύστασης. Και της δύο περιπτώσεις, οι οπτικές ίνες παρέχουν μια ακριβή, μη καταστροφική μέθοδο παρακολούθησης της παραγωγής, βελτιώνοντας την ποιότητα του τελικού προϊόντος και αυξάνοντας την αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας.

4.7 Γυαλί

Το γυαλί αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά υλικά στη βιομηχανία, με εφαρμογές σε τομείς όπως η αρχιτεκτονική, η αυτοκινητοβιομηχανία, οι οπτικές εφαρμογές, και η συσκευασία. Η παραγωγή γυαλιού απαιτεί ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας, της σύστασης των πρώτων υλών και της καθαρότητας του προϊόντος. [30]

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες:

- Αισθητήρες θερμοκρασίας με οπτικές ίνες: Κατά τη διαδικασία της τήξης του γυαλιού, η θερμοκρασία πρέπει να παρακολουθείται με ακρίβεια. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας που βασίζονται σε οπτικές ίνες είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί σε υψηλές θερμοκρασίες και μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα σημεία του κλιβάνου για την παρακολούθηση της θερμότητας σε πραγματικό χρόνο.
- Φασματοσκοπία Raman και φασματοσκοπία υπέρυθρου (IR): Αυτές οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της σύνθεσης του γυαλιού και τη διασφάλιση ότι η χημική του σύσταση είναι σωστή. Επίσης, μπορούν να ανιχνεύσουν τυχόν ακαθαρσίες ή ατέλειες στην επιφάνεια του γυαλιού.

Εφαρμογές:

- Έλεγχος τήξης και σχηματισμού: Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία τήξης και ψύξης του γυαλιού, εξασφαλίζοντας ότι το υλικό έχει ομοιογενή σύσταση και δεν υπάρχουν εσωτερικές ατέλειες.
- Αξιολόγηση καθαρότητας και αντοχής: Η φασματοσκοπία μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία ανεπιθύμητων ακαθαρσιών ή σωματιδίων στο γυαλί, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή και τη διαφάνεια του τελικού προϊόντος.
- Ανίχνευση ατελειών: Οι οπτικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εντοπίσουν μικροσκοπικές ρωγμές ή άλλες ατέλειες που ενδέχεται να επηρεάσουν την ανθεκτικότητα

του γυαλιού, ειδικά σε κρίσιμες εφαρμογές όπως τα παράθυρα αεροσκαφών ή οι οθόνες ηλεκτρονικών συσκευών.

4.8 Χαρτί

Το χαρτί είναι ένα ακόμα σημαντικό βιομηχανικό προϊόν με ευρεία χρήση σε πολλούς τομείς, όπως η εκτύπωση, η συσκευασία και η παραγωγή χαρτιού υγιεινής. Η ποιότητα του χαρτιού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η υγρασία, η αντοχή και η ομοιογένεια των ινών του.

Τεχνικές με Οπτικές Ίνες

- Αισθητήρες υγρασίας: Η περιεκτικότητα σε υγρασία του χαρτιού είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για την ποιότητά του. Οι αισθητήρες οπτικών ινών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της υγρασίας κατά τη διάρκεια της παραγωγής, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή ισορροπία μεταξύ υγρασίας και ξηρότητας. [30]
- Φασματοσκοπία υπέρυθρου (IR) και φασματοσκοπία κοντά στο υπέρυθρο (NIR): Αυτές οι τεχνικές είναι χρήσιμες για την ανάλυση της σύνθεσης του χαρτιού, περιλαμβάνοντας τη μέτρηση των ινών και των προσθέτων, καθώς και για τον έλεγχο της αντοχής και της ομοιομορφίας του χαρτιού.

Εφαρμογές

- Έλεγχος υγρασίας: Οι αισθητήρες οπτικών ινών βοηθούν στον έλεγχο της υγρασίας κατά την παραγωγή χαρτιού, εξασφαλίζοντας ότι το τελικό προϊόν θα έχει την κατάλληλη υφή και αντοχή για τις επιθυμητές χρήσεις του. Η ακριβής ρύθμιση της υγρασίας είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για χαρτί που προορίζεται για εκτύπωση ή συσκευασία.
- Έλεγχος ποιότητας: Μέσω της φασματοσκοπίας, οι οπτικές ίνες μπορούν να ανιχνεύσουν την παρουσία ακαθαρσιών ή την ανομοιογένεια στις ίνες του χαρτιού, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη συνοχή και την ανθεκτικότητα του τελικού προϊόντος.
- Αξιολόγηση ανθεκτικότητας: Οι οπτικοί αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν την ανθεκτικότητα του χαρτιού στις μηχανικές δυνάμεις, εξασφαλίζοντας ότι πληροί τα πρότυπα για τη χρήση του σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η συσκευασία.

Οι οπτικές ίνες προσφέρουν τεράστιες δυνατότητες στη βιομηχανική παραγωγή προϊόντων όπως το

γυαλί και το χαρτί, επιτρέποντας την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η σύνθεση. Με την εφαρμογή αισθητήρων οπτικών ινών και φασματοσκοπίας, βιομηχανίες όπως αυτές μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη ποιότητα προϊόντων, να μειώσουν τα απορρίμματα και να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία παραγωγής τους. [30]

Συμπεράσματα

Οι οπτικές ίνες αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ακριβή, γρήγορη και μη καταστροφική ανάλυση δεδομένων σε πολλαπλούς τομείς της επιστήμης και της βιομηχανίας. Ας αναλύσουμε τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής σε 4 θεματικούς άξονες.

1. Αξιοπιστία και αποδοτικότητα των οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες ξεχωρίζουν για την ικανότητά τους να μεταδίδουν φως σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες, χάρη στην αρχή της πλήρους εσωτερικής ανάκλασης. Αυτό τις καθιστά εξαιρετικά αξιόπιστες για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ευκρίνεια και αμεσότητα στη μετάδοση δεδομένων. Η δομή τους, αποτελούμενη από τον πυρήνα, τον μανδύα και το περίβλημα, διασφαλίζει την αποδοτικότητα και τη μακροχρόνια αντοχή τους σε συνθήκες βιομηχανικής και επιστημονικής χρήσης.

2. Εφαρμογές Σε Βιομηχανικά Και Βιολογικά Προϊόντα

Η χρήση οπτικών ινών για τη μέτρηση παραμέτρων σε προϊόντα όπως το λάδι, το κρασί και το μέλι αποδεικνύεται εξαιρετικά χρήσιμη. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις της οξύτητας του λαδιού και η ανίχνευση νοθείας στο μέλι ενισχύουν την ποιότητα των προϊόντων και την προστασία του καταναλωτή. Αντίστοιχα, στη βιομηχανία, η παρακολούθηση υλικών όπως το τσιμέντο και τα πολυμερή μέσω οπτικών ινών προσφέρει γρήγορες και ακριβείς αναλύσεις, που βελτιώνουν τις διαδικασίες παραγωγής.

3. Τεχνολογικές Καινοτομίες Σε Φθορισμό Και Απορρόφηση

Η εργασία αναλύει εκτενώς τον φθορισμό και την απορρόφηση ως φυσικά φαινόμενα, περιγράφοντας τις αρχές τους και τον τρόπο με τον οποίο αξιοποιούνται για μετρήσεις. Ειδικά στον τομέα των φασματογράφων, οι διαφορές μεταξύ απορρόφησης και φθορισμού αξιοποιούνται για την ακριβή ανάλυση χημικών και βιολογικών δειγμάτων. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν τη μελέτη ουσιών σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις, με τον φθορισμό να ξεχωρίζει για την υψηλή του ευαισθησία.

4. Συμβολή Στις Σύγχρονες Επιστημονικές Και Βιομηχανικές Εφαρμογές

Οι τεχνολογίες που περιγράφονται στην εργασία αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο για την εξέλιξη των μετρητικών συστημάτων. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται όχι μόνο για επικοινωνιακές εφαρμογές,

αλλά και για βιομηχανικές και βιολογικές μετρήσεις. Αυτός ο συνδυασμός κάνει τις οπτικές ίνες αναπόσπαστο μέρος των σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών, τόσο στη βιομηχανία όσο και στη βιοϊατρική ανάλυση.

Εν κατακλείδι, οι οπτικές ίνες και οι τεχνικές φθορισμού και απορρόφησης που αναλύονται στην εργασία προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην ανάλυση και την παρακολούθηση παραμέτρων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η ευελιξία, η ακρίβεια και η μη καταστροφική φύση τους τις καθιστούν ιδανικές για χρήση στη βιομηχανία και την έρευνα, συμβάλλοντας στην πρόοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κωνσταντίνος Σκαλτσούνης, Φυσικοχημεία: Αρχές και Εφαρμογές,, 2020.
- [2] Ε. Νίκας, Οπτικές Ίνες: Τεχνολογίες και Μέθοδοι Μη Καταστροφικών Μετρήσεων., Εκδόσεις Σταμούλη., 2019.
- [3] Ν. Παπαδόπουλος, Χημεία: Φυσικοχημικές Ιδιότητες των Υλικών,, Εκδόσεις Ζήτη., 2018.
- [4] J. R. Lakowicz, Principles of Fluorescence Spectroscopy (4th ed.), Springer., 2017.
- [5] D. L. & D. A. A. Andrews, An Introduction to Laser Spectroscopy (2nd ed.), Springer., 2018.
- [6] «LED.png’,» 23 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://lastminuteengineers.com/wp-content/uploads/basic/LED-Construction.png>.
- [7] G. W. Ewing, Instrumental Methods of Chemical Analysis., McGraw-Hill Education., 2019.
- [8] «Laser.png’,» 15 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.wickedlasers.com/image/cache/data/Saber-600x450.jpeg>.
- [9] «OptikesInes.png’,» 20 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.trpmart.com/public/images/media/2020/10/HqN8l08809.jpg>.
- [10] Α. Πολίτης Χ., «Οπτικές Ίνες», Παρουσίαση, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας., 2017.
- [11] Α. Η., «Συστήματα Μετάδοσης & Δίκτυα Οπτικών Ινών: Ενότητα 1», Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος Συστήματα Μετάδοσης Οπτικών Ινών, Photonics Communications Research Laboratory,, Αθήνα.: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,, 2015.
- [12] Α. Δ. Αβραμόπουλος Η., «Οπτικά δίκτυα επικοινωνιών», Παρουσίαση στα πλαίσια του μαθήματος “Οπτικά δίκτυα επικοινωνιών”, Εργαστήριο Φωτονικών Επικοινωνιών, Αθήνα.: Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,, 2017.
- [13] V. S. E. W. Bass M., «Fiber Optics Handbook», USA: McGraw – Hill, 2002.
- [14] «OptikesInes3.png’,» 20 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hcn.gr/images/usrImage/17-12-2021-10-29-61bc4a86469fa.jpg> .
- [15] «OptikesInes2.png’,» 23 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://diaforesplhrofories.weebly.com/uploads/2/6/0/7/26079260/1610925.jpg> .
- [16] H. Reddy, «Optical Fibers-Principles and Applications», Journal of Basic and Applied Engineering Research, Τόμ. %1 από %2 Vol1-6, 2014, pp. pp86-89..
- [17] E. X., «Εισαγωγή Στις Οπτικές Επικοινωνίες», Εκδόσεις ΤΕΙ Σεργίων., teiserron.gr/index.php?action=dlattach;topic=8699.0;attach=5380, 2011.
- [18] «ModeFiber.png’,» 24 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://media.licdn.com/dms/image/v2/D5622AQFdckxJVu2Gg/feadshare-shrink_800/feedshare-shrink_800/0/1719455915672?e=1730332800&v=beta&t=m2HqG5-7scFaac0N8Vs.
- [19] Φιλίππου Δ., «FTTH: Fiber To The Home ή Fear To The Haul», Άρθρο δημοσιευμένο στο περιοδικό Communication Solutions, Αθήνα., 2009.
- [20] Σ. Παναγογιαννόπουλος, «Ανάλυση Τεχνολογίας Οπτικών Ινών και Δικτύων Οπτικών Ινών», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2008.
- [21] J. R. Lakowicz, Fluorescence Spectroscopy: Principles, Methods, and Applications., 2019.
- [22] J. R. Lakowicz, Principles of Fluorescence Spectroscopy,, Springer., 2006.
- [23] «Fasmatografos.png’,» 20 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://qcontrol.gr/wp-content/uploads/2019/02/fasmatografos-XRF-Strata920-HITACHI.jpg>.
- [24] «photonics.png’,» 20 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://hep.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/static/hpe/community/hep/images/RICH_photomultiplier_tube_keyvisual.jpg .
- [25] «Camera-Hamamatsu.png’,» 20 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://camera.hamamatsu.com/eu/en/learn/technical_information/sensor_technologies/_jcr_content/root/container/container_copy/media_module_878354617/.
- [26] «Aisthitires-Hamamatsu.png’,» 20 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/images/03_SSD/03_11_new_Product_key_visual/k_top_ccd_cmos_nmos_image_sensor.jpg.
- [27] «Fotaugaia.png’,» 20 Σεπτέμβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bjraylight.com/uploads/image/20231130/170131140.0.png>.
- [29] K. T. V. & S. T. Grattan, Optical Fiber Sensor Technology (2nd ed.), Springer., 2015.
- [30] Ν. Μπούρας, Αισθητήρες Οπτικών Ινών και Εφαρμογές σε Βιομηχανία και Έρευνα., Εκδόσεις Σοφία., 2020.
- [32] «Fluorescence in Biotechnology and Bioanalysis.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6412887/>.
- [33] J. M. Hollas, Modern Spectroscopy (5th ed.), Wiley., 017.
- [34] Romain Quidant, «ACS Photonics», 2024.
- [35] Johnson M., «Optical fibers, cables and systems», ITU-T Handbook. , 2009.
- [36] S. J. & N. D. Lee, Fiber Optic Sensing and Imaging (1st ed.), CRC Press., 2019.
- [37] Optical Fiber Communication Systems..
- [38] L. Pereira, Advances in Optical Fiber Technology: Fundamental Optical Phenomena and Applications., InTech., 2016.
- [39] Principles of Fluorescence Spectroscopy..
- [40] M. Schäferling, Luminescence Techniques in Chemical and Biochemical Analysis., Wiley-VCH., 2016.
- [41] L. R. K. J. J. & D. J. W. Snyder, Introduction to Modern Liquid Chromatography (3rd ed.), Wiley., 2016.
- [42] Spectroscopy Methods for Analysis of Complex Samples..
- [43] B. & B.-S. M. N. Valeur, Molecular Fluorescence: Principles and Applications, Wiley-VCH., 2012.
- [44] X. & L. W. Zhou, Optical Fiber Communications Systems: Theory and Practice with MATLAB and Simulink Models, Wiley., 2018.
- [45] Η. Αβραμόπουλος, Οπτικές Ίνες και Εφαρμογές Τους., Εκδόσεις Τζιόλα., 2017.

- [46] Γ. Μπακαλάκος, Εφαρμογές Λέιζερ και Φασματοσκοπίας στις Βιομηχανικές Διατάξεις, Εκδόσεις Σταμούλη, 2017.
- [47] Παναγιώτης Νίκας, Οπτική και Εφαρμογές, Εκδόσεις Τζιόλα, 2019.
- [48] Α. Παναγογιαννόπουλος, Φασματοσκοπία: Από τις Βασικές Αρχές στις Εφαρμογές στην Ανάλυση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2018.
- [49] Κ. Παπαδόπουλος, Φασματοσκοπία Φθορισμού και Εφαρμογές στην Ανάλυση Υλικών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2018.
- [50] Ι. Πολίτης, Οπτικές Ίνες και Σύγχρονες Εφαρμογές Τους, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2017.
- [51] Ε. Σκαλτσούνης, Φασματοσκοπικές Τεχνικές στην Χημική Ανάλυση, Εκδόσεις Παπαζήση, 020.
- [52] Α. Φιλίππου, Φασματοσκοπία και Οπτικές Διατάξεις: Θεωρία και Πρακτικές Εφαρμογές, Εκδόσεις Γκιούρδας, 2016.
- [53] Β. Χριστοδούλου, Οπτικές Ίνες: Θεωρία και Εφαρμογές στην Τεχνολογία και τη Βιομηχανία, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2015.
- [54] «ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ,» 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.chem.uoa.gr/>.
- [55] «Condensed Matter Physics Publications 2022,» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.physics.uoc.gr/en/node/3436>.