



**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

**ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ Α.Μ. : 40550
ΜΙΧΑΗΛΙΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Α.Μ. : 39524**

Επιβλέπων Καθηγητής : ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

**ΑΘΗΝΑ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2016**

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η
του, με αριθμό μητρώου φοιτη-
τής/τρια του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν ανα-
λάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρα-
κάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγρα-
φέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο πε-
ριεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή με-
ταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν
λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγ-
γραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την
ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του
έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συ-
νέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του
αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθη-
γητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημε-
ρολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα
προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Παναγιώτη Γιαννακόπουλο κυρίως για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε αλλά και για τη βοήθειά του ως τώρα.

Ακόμη θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας που ήταν πάντα δίπλα μας και μας στήριζαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Περίληψη

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η Οπτοηλεκτρονική. Οπτοηλεκτρονική είναι ο κλάδος της φυσικής και της ηλεκτρονικής που ασχολείται με τις διατάξεις της στερεάς κατάστασης αλλά και με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο τμήμα του φάσματος. Η Οπτοηλεκτρονική μελετά δηλαδή τις διατάξεις που αλληλεπιδρούν με το φως.

Αρχικά θα αναληθεί η Οπτική, οι Ημιαγωγοί και η Θεωρία Διόδων. Στη συνέχεια θα αναπτυχθούν τα Led και τα Laser και τέλος θα παρουσιαστούν κάποιες σύγχρονες εφαρμογές της Οπτοηλεκτρονικής, όπως είναι οι Οπτικές Μνήμες και οι Οπτικές Ίνες.

Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι να αναλυθεί όσο γίνεται καλύτερα το αντικείμενο της Οπτοηλεκτρονικής, τα τμήματά της και οι εφαρμογές της.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

1.1 ΟΠΤΙΚΗ.....	15
Εισαγωγή.....	15
1.2 Φάσματα οπτικής ακτινοβολίας.....	18
1.3 Γεωμετρική Οπτική.....	19
Εισαγωγή.....	19
Φύση του φωτός.....	20
Το φως ως κύμα.....	20
Εκπομπή φωτός.....	21
Ταχύτητα του φωτός και δείκτης διάθλασης.....	22
Ανάκλαση του φωτός.....	22
1.4 Διάθλαση του φωτός.....	26
Οπτικές ίνες.....	27
1.5 Πρίσμα.....	29
Γωνία εκτροπής του πρίσματος.....	30
Γωνία ελάχιστης εκτροπής.....	30
Λεπτό Πρίσμα.....	30
1.6 Διασκεδασμός.....	30
1.7 Φακοί.....	31
Χαρακτηριστικά λεπτών φακών.....	31
Συγκλίνων φακός.....	31
Αποκλίνων φακός.....	31
Απεικόνιση συγκλίνοντα και αποκλίνοντα φακού.....	31
Φακοί σε σειρά.....	32
Σφάλματα φακών.....	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

2.1 Εισαγωγή.....	34
2.2 Ενδογενείς ημιαγωγοί.....	35
2.3 Εξωγενείς ημιαγωγοί.....	35
2.4 Ημιαγωγοί τύπου n.....	36
2.5 Ημιαγωγοί τύπου p.....	37
2.6 Ημιαγωγικές ενώσεις.....	37
2.7 Ημιαγωγικές διατάξεις.....	37
2.8 Δίοδος επαφής p-n.....	38
2.9 Πόλωση διόδου.....	39
Ορθή πόλωση.....	39
Ανάστροφη πόλωση.....	39
2.10 Δίοδος Zener.....	40
2.11 Δίοδος επαφής.....	41
2.12 Δίοδος Σύραγγας.....	41
2.13 Ολοκληρωμένα κυκλώματα.....	41
2.14 Θερμίστορ.....	42
2.15 Βαρίστορ.....	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΘΕΩΡΙΑ ΔΙΟΔΩΝ

3.1 Δίοδοι ημιαγωγών.....	44
3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	46
3.3 Ανιχνευτές φωτός.....	47
Παράμετροι φωτοανιχνευτών.....	48
3.4 Φωτοδίοδοι.....	49
3.5 Πως λειτουργεί μια δίοδος.....	49
3.6 Φωτοδίοδοι p-n.....	49
3.7 Μειονεκτήματα φωτοδίοδων P-N.....	50
3.8 Φωτοδίοδοι PIN.....	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - LED

4.1 Εισαγωγή.....	53
4.2 Τεχνολογία LED.....	54
4.3 Ιστορικά στοιχεία.....	55
4.4 Ανακάλυψη των LED.....	56
4.5 Χρήση.....	56
4.6 Αρχή λειτουργίας.....	57
4.7 Μήκη κύματος και υλικά LED.....	59
Μήκος κύματος.....	59
Υλικά.....	63
4.8 Βασικά είδη LED.....	64
Ημισφαιρικό LED 5 mm μολύβδινου πλαισίου.....	64
LED επιφανειακής στήριξης (SMD).....	66
LED υψηλής ισχύος.....	67
4.9 Μίξη χρωμάτων και προβλήματα.....	68
4.10 Εξελιγμένες δομές LED.....	72
LED Ετεροδομής.....	72
LED Εκπομπής Άκρου.....	74
LED Εκπομπής Επιφάνειας.....	75
4.11 Τρέχουσες εξελίξεις τεχνολογίας.....	76
4.12 Παράγοντες που επηρεάζουν την αξιοπιστία και χρόνο ζωής των LED.....	78
Χημικά - Περιβάλλον.....	78
Υγρασία.....	78
Φως.....	79
Μηχανική επίδραση.....	79
Κατανάλωση ισχύος.....	79
Θερμοκρασία.....	80

4.13 Ο ρόλος της θερμότητας στα LED.....	80
Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση φωτεινότητας.....	81
Επίδραση θερμοκρασίας στο χρώμα.....	81
Επίδραση θερμοκρασίας στο χρόνο ζωής.....	82
4.14 Αντιμετώπιση θερμότητας.....	82
4.15 LED χρώματος μπλε.....	83
4.16 Λευκά LED.....	84
Τρόποι κατασκευής λευκού χρώματος LED μεγάλης έντασης.....	84
4.17 QLED.....	87
Πλεονεκτήματα QLED.....	88
4.18 Θέματα αξιοπιστίας των LED.....	88
4.19 Πλεονεκτήματα χρήσης LED.....	90
4.20 Μειονεκτήματα χρήσης LED.....	91
Υψηλή αρχική τιμή.....	91
Εξάρτηση από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.....	91
Έχουν ευαισθησία στην αλλαγή τάσης.....	91
Ποιότητα φωτός.....	91
Περιοχική πηγή φωτός.....	92
Ηλεκτρική πολικότητα.....	92
Αποδοτικότητα.....	92
Επιπτώσεις στα έντομα.....	92
Το μπλε LED είναι επικίνδυνο.....	92
4.21 Οι κίνδυνοι για την υγεία από τον φωτισμό LED.....	93
4.22 Ειδικά φίλτρα - γυαλιά οράσεως.....	95
4.23 Εφαρμογές LED.....	97
Πηγές φωτισμού για συστήματα τεχνητής όρασης.....	97
Επίπεδες τηλεοράσεις LED.....	98
4.24 Προβλέψεις για το μέλλον.....	99
4.25 Επίλογος.....	101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - LASER

5.1 Εισαγωγή.....	102
5.2 Δράση του LASER - Γενικές Αρχές.....	103
5.3 Εκπομπή και απορρόφηση ακτινοβολίας.....	104
Αυθόρμητη και εξαναγκασμένη εκπομπή.....	104
5.4 Αντιστροφή πληθυσμού.....	105
5.5 Οπτικός ταλαντωτής.....	107
5.6 Συνθήκες δράσης των LASER.....	109
5.7 Η δομή των LASER.....	112
5.8 Οι βασικότεροι τύποι των LASER.....	114
RUBY LASER - LASER ΡΟΥΒΙΝΙΟΥ.....	114
GAS LASER - LASER ΑΕΡΙΟΥ.....	115
LASER Ηλίου-Νέου (LASER He-Ne).....	117
LASER ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ - DIODE LASER.....	118
5.9 Μονοχρωματικότητα δέσμης LASER ημιαγωγών.....	120
5.10 Δομικοί τύποι των LASER ημιαγωγών.....	121
5.11 Υλικά διοδικών LASER.....	122
5.12 Ο ρόλος της θερμοκρασίας στα διοδικά LASER.....	122
5.13 Πλεονεκτήματα διοδικών LASER.....	123
ΑΡΙΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗ.....	124
ΚΑΛΥΨΗ ΤΕΡΑΣΤΙΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	124
ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	124
ΜΙΚΡΟ ΚΟΣΤΟΣ.....	125
ΕΚΠΟΜΠΗ ΕΝΤΟΝΟΥ ΦΩΤΟΣ.....	125
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ - ΕΝΙΑΙΑ ΔΟΜΗ.....	125
ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....	126
ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	126
5.14 Μειονεκτήματα διοδικών LASER.....	127
5.15 Κατασκευαστική παρουσίαση διοδικών LASER.....	128
5.16 Φάσμα εκπομπής διοδικών LASER.....	129
5.17 Ομοιότητες και διαφορές των διοδικών LASER με τις φωτοπηγές LED.....	131
5.18 LASER γενικών εφαρμογών.....	135
LASER Νεοδυμίου - YAG LASER.....	135

Ιοντικά LASER - LASER Άργου.....	135
Μοριακά LASER - CO2 LASER.....	136
LASER Υγρών χρωστικών - Dye LASER.....	136
5.19 Εφαρμογές των ακτινών LASER.....	138
Βιομηχανικές εφαρμογές.....	139
Φωτοχημικές, βιολογικές και ιατρικές εφαρμογές.....	139
Φωτογραφία και ολογραφία.....	140
Μετρήσεις με LASER.....	141
Στρατιωτική τεχνολογία.....	141
Οπτικές τηλεπικοινωνίες.....	142
Θερμοπυρηνική σύντηξη.....	143
5.20 Ιδιότητες των ακτινών LASER.....	144
Μονοχρωματικότητα της ακτινοβολίας τους.....	144
Κατευθυντικότητα της δέσμης.....	144
Λαμπρότητα δέσμης.....	145
Σύμφωνη ακτινοβολία.....	145
Η πόλωση της δέσμης LASER.....	145
Εστιαστικότητα.....	146
Συνεκτικότητα φάσης.....	146
Διαμορφωσιμότητα.....	147
5.21 Επίλογος.....	147

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

6.1 Εισαγωγή.....	148
6.2 Ιστορική αναδρομή.....	148
6.3 Λειτουργία Οπτικών ινών.....	149
6.4 Δομή δικτύου οπτικών ινών.....	151
6.5 Δημιουργία καλωδίου οπτικών ινών.....	152
6.6 Πλεονεκτήματα.....	153
6.7 Μειονεκτήματα.....	155
6.8 Κατασκευή Οπτικών ινών.....	155
6.9 Εφαρμογές Οπτικών ινών.....	157

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΝΗΜΕΣ

7.1 Εισαγωγή στα HDSS.....	159
7.2 Η εξέλιξη της αποθήκευσης των υπολογιστών.....	162
7.3 Η Ολογραφία.....	164

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	166
--------------------------	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

1.1 ΟΠΤΙΚΗ

Εισαγωγή

Οπτοηλεκτρονική είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης του φωτός με την ύλη στην αέρια, την υγρή και τη στερεά μορφή της. Το φως προσφέρει τη δυνατότητα για ταχύτερη και μεγαλύτερη σε όγκο μεταφορά πληροφορίας σε σχέση με τα συμβατικά ηλεκτρικά σήματα. Αυτό οδήγησε τελευταία στην ανάπτυξη της οπτοηλεκτρονικής και κυρίως στην ανάπτυξη διατάξεων στερεάς μορφής για τη δημιουργία, ανίχνευση και μεταφορά των οπτικών σημάτων.

Κάποιο σύστημα τηλεπικοινωνίας που χρησιμοποιεί οπτικά σήματα για την κωδικοποίηση και τη μεταφορά πληροφορίας αποτελείται από διάφορες συνιστώσες.

- Τον δείκτη που μετατρέπει τα οπτικά σήματα σε ηλεκτρικά (φωτοανιχνευτές).
- Τον κυματοδηγό για τη μεταφορά του οπτικού σήματος (οπτική ίνα).
- Τον εκπομπό που μετατρέπει τα ηλεκτρικά σε οπτικά σήματα (φωτοδίοδοι, LED, δίοδοι LASER).
- Τον ενισχυτή οπτικού σήματος για την ενίσχυση και αναμετάδοσή του (επαναλήπτης).

Οπτική είναι ο κλάδος της Φυσικής που μελετά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή ορατού φωτός ενώ περιγράφει και τα φαινόμενα που διέπουν την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ίδια σε όλο το φάσμα της, από τα ραδιοκύματα μέχρι την περιοχή της οπτικής και πέρα από αυτή μέχρι την ακτινοβολία γ και την κοσμική ακτινοβολία. Το πεδίο που περιγράφει τα κύματα είναι ένας συνδυασμός του μαγνητικού και του ηλεκτρικού πεδίου όπου το ένα είναι κάθετο στο άλλο. Γι' αυτό το λόγο η ακτινοβολία λέγεται ηλεκτρομαγνητική.

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι συνεχές. Δεν υπάρχουν κενά μεταξύ των ειδών ακτινοβολίας. Ολόκληρο το φάσμα χωρίζεται ενεργειακά σε οκτώ περιοχές, των οποίων τα όρια δεν καθορίζονται ακριβώς. Το μήκος κύματος λ και η συχνότητα f συνδέονται με τη σχέση $c=\lambda \cdot f$.

c = συχνότητα δλδ. $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

Όταν αυξάνουμε το μήκος κύματος, το ορατό φάσμα παρουσιάζεται ως εξής:

Ιώδες - 450 nm

Κυανό - 480 nm

Πράσινο - 520 nm

Κίτρινο - 580 nm

Πορτοκαλί - 600 nm

Κόκκινο - 640 nm

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ώστε να διεγερθούν τα άτομα ενός υλικού και να εκπέμψουν ακτινοβολία.

A. Με θέρμανση: Για παράδειγμα, αν πακτωθεί το ένα άκρο μιας ράβδου από σίδηρο και θερμανθεί με ισχυρή πηγή το άλλο άκρο, καθώς η θερμοκρασία του μετάλλου αυξάνεται, το χρώμα του άκρου που θερμαίνεται, σταδιακά μεταβαίνει προς το ερυθρό, ύστερα στο κίτρινο και τέλος σε θερμοκρασίες τήξεως του μετάλλου(λευκό) όπου εκπέμπει σε όλο το ορατό φάσμα.

Κάποιες θερμές πηγές είναι: ο Ήλιος, οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και το βολταϊκό τόξο.

B. Με ηλεκτρική εκκένωση σε αέριο: Στο εσωτερικό ενός αεροστεγούς γυάλινου σωλήνα είναι πακτωμένα μεταλλικά ηλεκτρόδια. Εκεί εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού έτσι ώστε να έχουμε ηλεκτρική εκκένωση και τα άτομα αερίου να διεγείρονται σε ακτινοβολία. Όταν η θερμοκρασία των ηλεκτροδίων είναι χαμηλή η εκκένωση ονομάζεται αίγλης. Όταν είναι υψηλή ονομάζεται τόξου.

Κάποιες ψυχρές πηγές είναι: Ο λαμπτήρας αίγλης, λαμπτήρες σε σχήμα σωλήνων με αέριο Νέον και Ήλιον, σωλήνες Geissler, λυχνίες υδραργύρου και λαμπτήρες αναλαμπής.

Τα οπτικά φαινόμενα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Γεωμετρική Οπτική
- Φυσική Οπτική
- Κβαντική Οπτική

Στην Γεωμετρική Οπτική εντάσσονται τα εξής φαινόμενα:

- Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός
- Πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός
- Διάθλαση του φωτός

Στην Φυσική Οπτική:

- Περίθλαση κυμάτων
- Συμβολή κυμάτων
- Πόλωση του φωτός
- Διπλή διάθλαση του φωτός

Στην Κβαντική Οπτική:

- Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο
- Φαινόμενο Compton
- Ατομική διέγερση

1.2 Φάσματα οπτικής ακτινοβολίας

Τα φάσματα, ως προς τον τρόπο που διαχειριζόμαστε την ακτινοβολία πριν αναλυθεί από το φασματοσκόπιο, χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες.

Είναι τα φάσματα εκπομπής και τα φάσματα απορρόφησης.

Φάσματα εκπομπής είναι αυτά που παίρνουμε όταν αναλύουμε αμέσως στη ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα όταν διεγείρεται ώστε να ακτινοβολήσει.

Τα φάσματα απορρόφησης τα χρησιμοποιούμε όταν αναλύουμε την ακτινοβολία που περνά μέσα από ένα σώμα και όταν η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από πηγή εκπομπής λευκού φωτός.

Αν δούμε τη φασματική εικόνα, το φάσμα εκπομπής είναι το έγχρωμο μέρος, δηλαδή το σύνολο των φωτεινών περιοχών, ενώ το φάσμα απορρόφησης είναι το σκοτεινό μέρος, δηλαδή όλες οι σκοτεινές περιοχές από όλο το λευκό φάσμα της ακτινοβολίας. Έτσι οι περιοχές του φάσματος που είναι σκοτεινές απορροφήθηκαν από το υλικό μέσα από το οποίο πέρασε η ακτινοβολία.

Τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης χωρίζονται σε δυο επιμέρους κατηγορίες. Στα συνεχή και τα γραμμικά.

Όταν αναλύσουμε την ακτινοβολία που εκπέμπουν διάφορα στερεά και υγρά σώματα (δηλαδή βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες) έχουμε συνεχή φάσματα εκπομπής. Τα συνεχή φάσματα δεν διαφέρουν μεταξύ τους και η πληροφορία που μεταφέρουν στον παρατηρητή δεν έχει κάποια αξία. Η μόνη πληροφορία που παρέχει ένα τέτοιο φάσμα είναι η θερμοκρασιακή κατάσταση του υλικού.

Όταν αναλύουμε την ακτινοβολία που εκπέμπουν αέρια και ατμοί ουσιών έχουμε γραμμικά φάσματα. Ορισμένες από τις ουσίες που στις συνήθεις θερμοκρασίες είναι στερεές είναι μέταλλα, ατμοί. Η λυχνία ατμών υδραργύρου παρέχει γραμμικό φάσμα εκπομπής σε γραμμές που είναι διαπερατές. Η λυχνία αερίου ηλίου παρέχει γραμμικό φάσμα που οι γραμμές του βρίσκονται στα μήκη κύματος ερυθρό, ερυθρό, κίτρινο, πράσινο, πράσινο, κυανό, ιώδες. Τα γραμμικά φάσματα σε αντίθεση από τα συνεχή χρησιμοποιούνται συχνότερα στη μελέτη των υλικών.

Όταν έχουμε λευκή ακτινοβολία που περνά μέσα από έγχρωμα και διαφανή στερεά και υγρά έχουμε συνεχή φάσματα απορρόφησης. Υπάρχει ένα συνεχές λευκό φως από το οποίο απουσιάζει ένα μέρος μετά την περιοχή που παρατηρείται το χρώμα μακροσκοπικά. Το φάσμα δεν είναι χαρακτηριστικό του υλικού.

Όταν η λευκή ακτινοβολία περνά μέσα από αέρια και ατμούς παίρνουμε γραμμικά φάσματα απορρόφησης. Τότε παρατηρείται το πλήρες φάσμα του λευκού φωτός από το οποίο

λείπουν ορισμένα μήκη κύματος που παρουσιάζονται σαν σκοτεινές γραμμές. Παρατηρώντας το φάσμα απορρόφησης του αερίου ηλίου θα δούμε ότι θα ήταν μελανές οι γραμμές που αντιστοιχούν στα μήκη κύματος. Το σύνολο αυτών των γραμμών αποτελεί το γραμμικό φάσμα απορρόφησης του αερίου ηλίου. Στην περίπτωση των γραμμικών φασμάτων εκπομπής, το γραμμικό φάσμα απορρόφησης χρησιμοποιείται στη μελέτη των υλικών.

Συχνά γίνεται αναφορά σε φάσματα ταινιών εκπομπής ή απορρόφησης. Η εικόνα που παρατηρούμε είναι όπως των γραμμικών φασμάτων. Τέτοια φάσματα παρατηρούνται όταν τα υλικά που έχουμε είναι υγρά ή αέρια. Υπάρχει η θεωρία των φασμάτων στην οποία ισχύει ο νόμος του Kirchhoff, σύμφωνα με τον οποίο τα γραμμικά φάσματα εκπομπής και απορρόφησης του ίδιου υλικού είναι συμπληρωματικά. Εκεί που το γραμμικό φάσμα εκπομπής ενός υλικού παρουσιάζει έγχρωμες γραμμές, το ίδιο υλικό θα παρουσιάζει τις σκοτεινές.

1.3 Γεωμετρική Οπτική

Εισαγωγή

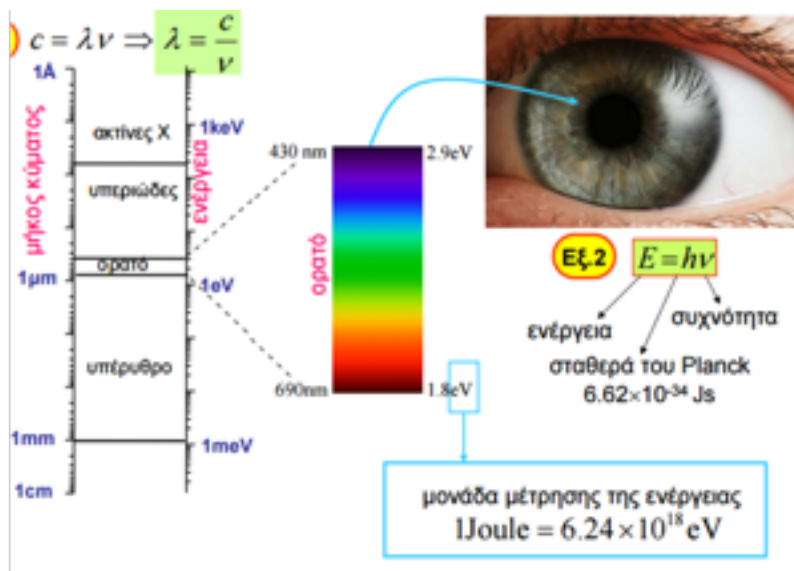
Η Γεωμετρική Οπτική είναι ένας ιδιαίτερος κλάδος της Οπτικής. Αντικείμενο έρευνας και μελέτης του κλάδου αυτού είναι η περιγραφή και ανάλυση των οπτικών φαινομένων με γεωμετρική προσέγγιση.

Φύση του φωτός

Ο Huygens είπε: " Το φως είναι κύμα ", Netwon είπε: " Το φως είναι δέσμη σωματιδίων ". Ύστερα ο J. C. Maxwell προέβλεψε τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και υπολόγισε την ταχύτητά τους. Ο H. Hertz παρήγαγε και ανίχνευσε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (UHF). Ο T. Young επιβεβαίωσε την κυματική φύση του φωτός και ο M. Planck επιβεβαίωσε τη σωματιδιακή φύση του φωτός. Και τέλος ο A. Einstein εξήγησε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

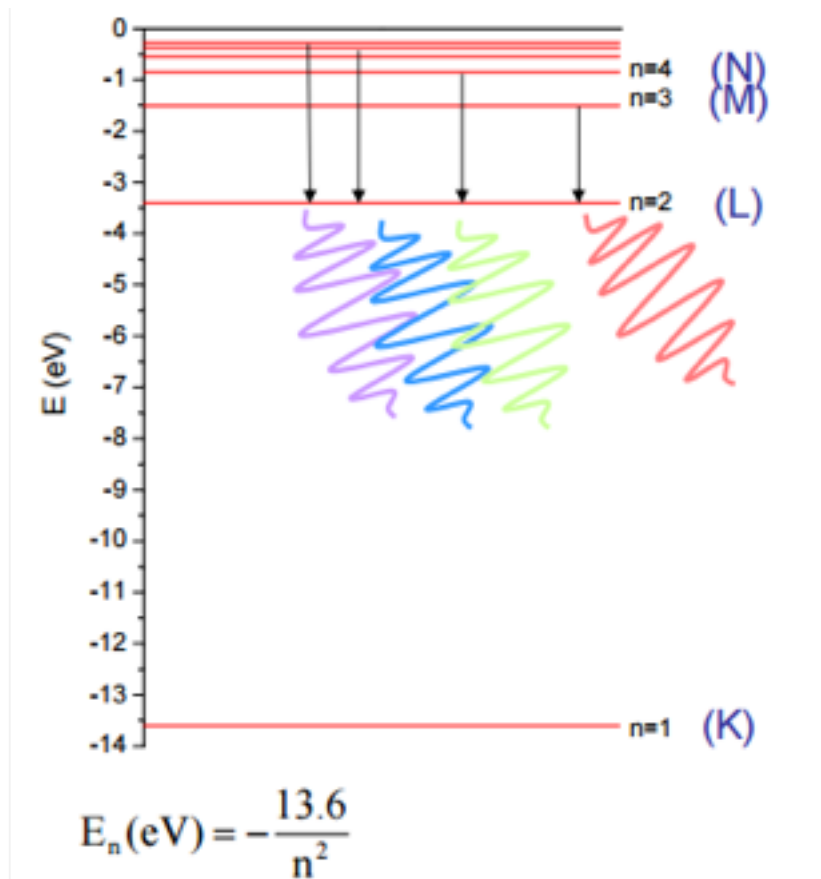
Το φως ως κύμα

Πολωμένο φως: Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται με καθορισμένο τρόπο. Ενώ στο γραμμικά πολωμένο φως το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται σε ένα επίπεδο.



Εκπομπή φωτός

Τα άτομα εκπέμπουν φως όταν αποδιεγείρονται και τα ηλεκτρόνια μεταπίπτουν από κατάσταση υψηλότερης ενέργειας σε χαμηλότερη.



Τα άτομα σε μια λυχνία αερίου διεγείρονται με θέρμανση, ηλεκτρική εκκένωση και απορρόφηση φωτονίων. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ διέγερσης και αποδιέγερσης είναι πολύ μικρός.

Στη Γεωμετρική Οπτική οι διαστάσεις των εμποδίων είναι μεγάλες σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός. Η ενέργεια του φωτός μεταδίδεται κατά μήκος των οπτικών ακτίνων. Οι οπτικές ακτίνες είναι κάθετες στα μέτωπα κύματος και το μέτωπο κύματος είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων ίσης φάσης.

Ταχύτητα του φωτός και δείκτης διάθλασης

Η θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής είναι $u = \lambda \cdot \nu$

u = ταχύτητα (εξαρτάται από το μέσο)

λ = μήκος κύματος (εξαρτάται από το μέσο)

ν = συχνότητα (είναι χαρακτηριστικό της πηγής)

Ο δείκτης διάθλασης είναι: $n = u_1 / u_2$

Ο απόλυτος δείκτης διάθλασης είναι: $n = c / v$, όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό και v η ταχύτητα του φωτός στο μέσο.

Σχέση δείκτη διάθλασης με τους απόλυτους δείκτες διάθλασης:

$$n = U_1 / U_2 = ((c/n_1) / (c/n_2)) = n_2 / n_1$$

Σχέση δείκτη διάθλασης με τα μήκη κύματος:

$$n = U_1 / U_2 = \lambda_1 \nu / \lambda_2 \nu = \lambda_1 / \lambda_2$$

Ανάκλαση του φωτός

Το φως διαδίδεται σε άλλη διεύθυνση όταν προσπίπτει σε ανακλαστική επιφάνεια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκλαση. Το κάτοπτρο είναι ένα αντικείμενο με λεία επιφάνεια από υλικό που ανακλά ισχυρά το φως.

Οι νόμοι της ανάκλασης:

Η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη και η κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης είναι συνεπίπεδες και βρίσκονται πάνω στο επίπεδο πρόσπτωσης.

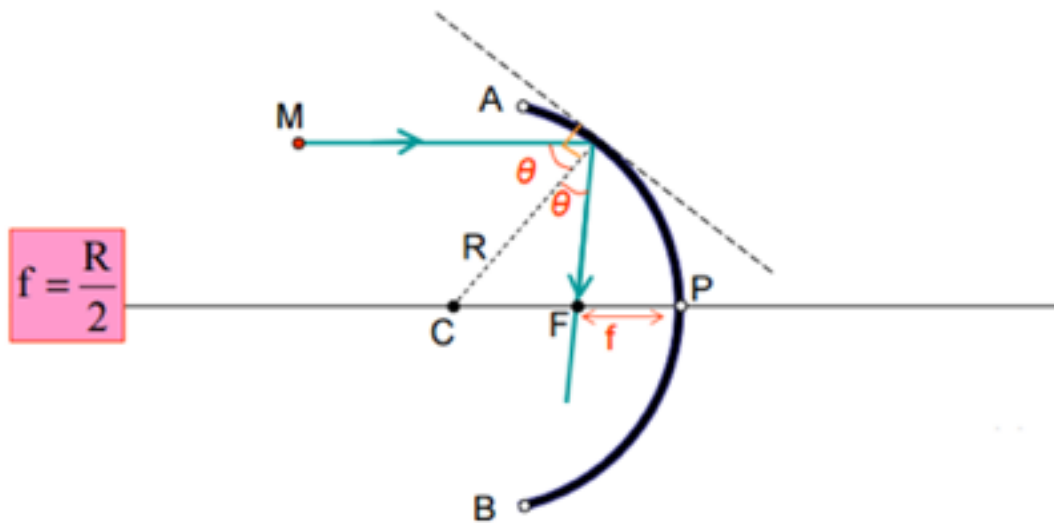
Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης: $\theta_1 = \theta_2$

Την πιο σημαντική εφαρμογή της ανακλάσεως του φωτός την έχουμε στα κάτοπτρα. Κάτοπτρο είναι κάθε λεία επιφάνεια που προκαλεί ανάκλαση του φωτός. Υπάρχει το επίπεδο και το σφαιρικό, όπου το σφαιρικό χωρίζεται σε κοίλο και κυρτό.

Ανάκλαση σε επίπεδο κάτοπτρο:

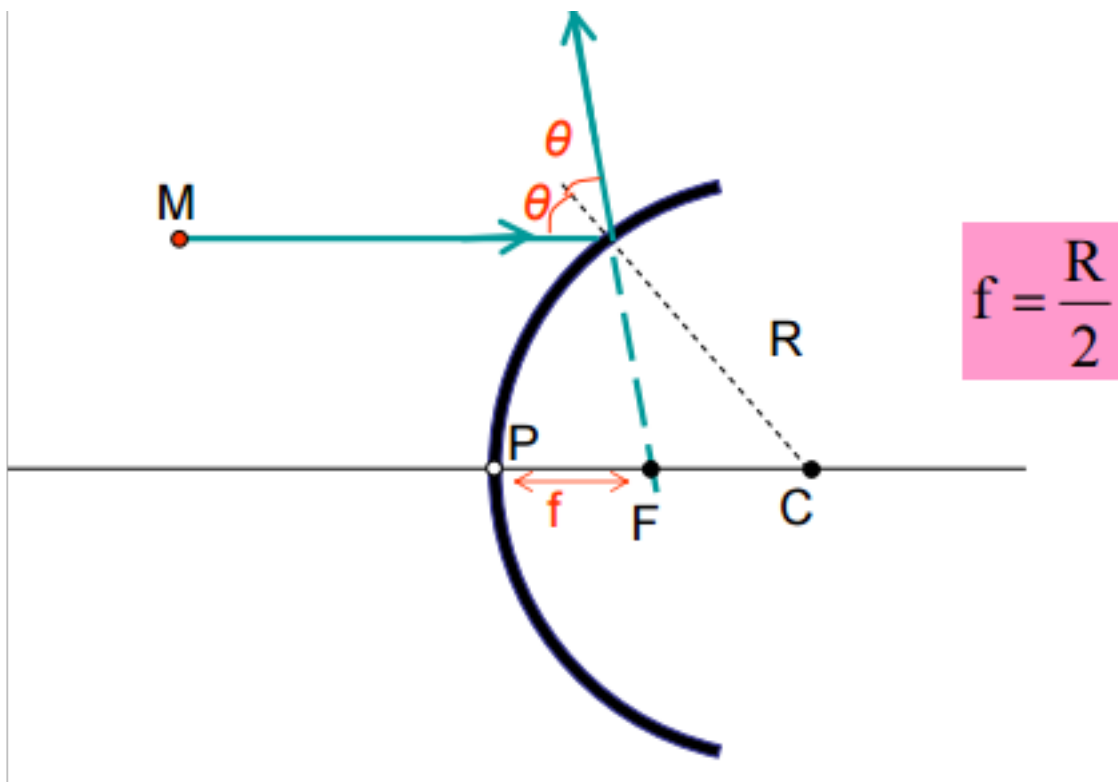
Στο επίπεδο κάτοπτρο το είδωλο που δημιουργείται είναι φανταστικό, οι διαστάσεις του είναι ίδιες με το αντικείμενο, είναι κατοπτρικά ανεστραμμένο και απέχει το ίδιο με το αντικείμενο από το κάτοπτρο. Η ευθεία που ενώνει ένα σημείο του αντικειμένου με το αντίστοιχο του ειδώλου είναι κάθετη στο κάτοπτρο.

Ανάκλαση σε σφαιρικό και κοίλο κάτοπτρο:



- C= κέντρο καμπυλότητας
- P= πόλος του κατόπτρου
- CP= κύριος άξονας
- R= ακτίνα καμπυλότητας
- AB= άνοιγμα του κατόπτρου
- FP= εστιακή απόσταση

Ανάκλαση σε σφαιρικό και κυρτό κάτοπτρο:



C= κέντρο καμπυλότητας

P= πόλος του κατόπτρου

CP= κύριος άξονας

R= ακτίνα καμπυλότητας

AB= άνοιγμα του κατόπτρου

FP= εστιακή απόσταση

Μερικές χρήσεις των σφαιρικών κατόπτρων είναι:

- Το κοίλο κάτοπτρο σε φακό ή σε προβολέα αυτοκινήτου δημιουργεί παράλληλη δέσμη.
- Το κυρτό κάτοπτρο αυτοκινήτου παρέχει ευρυγώνια θέα του δρόμου.
- Το κυρτό κάτοπτρο χρησιμοποιείται για αντικλεπτική χρήση σε καταστήματα.
- Το κοίλο κάτοπτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συλλέξει ηλιακή ενέργεια.
- Το κοίλο κάτοπτρο δρα μεγενθυντικά όταν το πρόσωπό μας είναι μεταξύ κατόπτρου και εστίας.

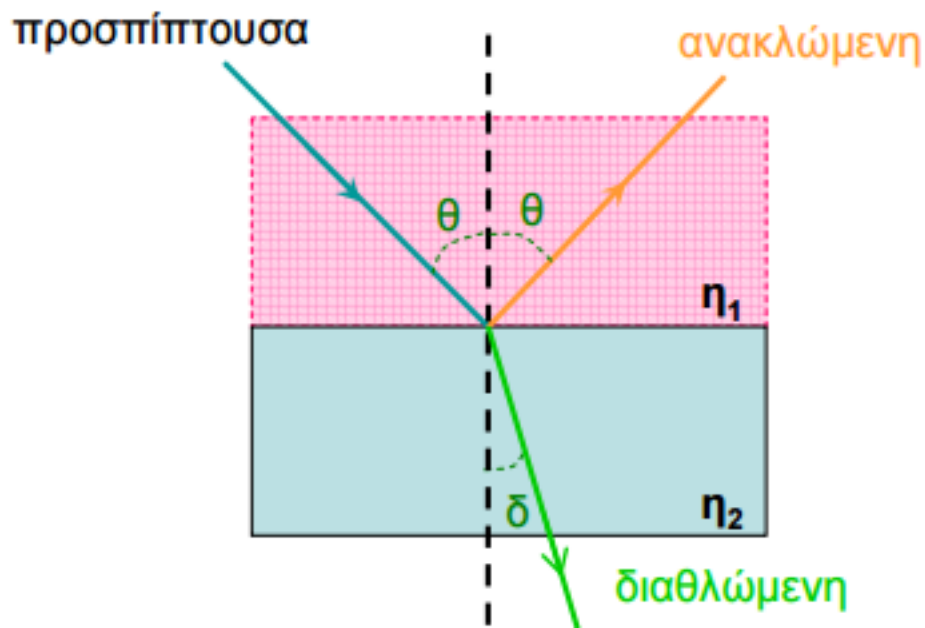
1.4 Διάθλαση του φωτός

Οι νόμοι της διάθλασης είναι:

Η προσπίπτουσα, η διαθλώμενη και η κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης είναι συνεπίπεδες.

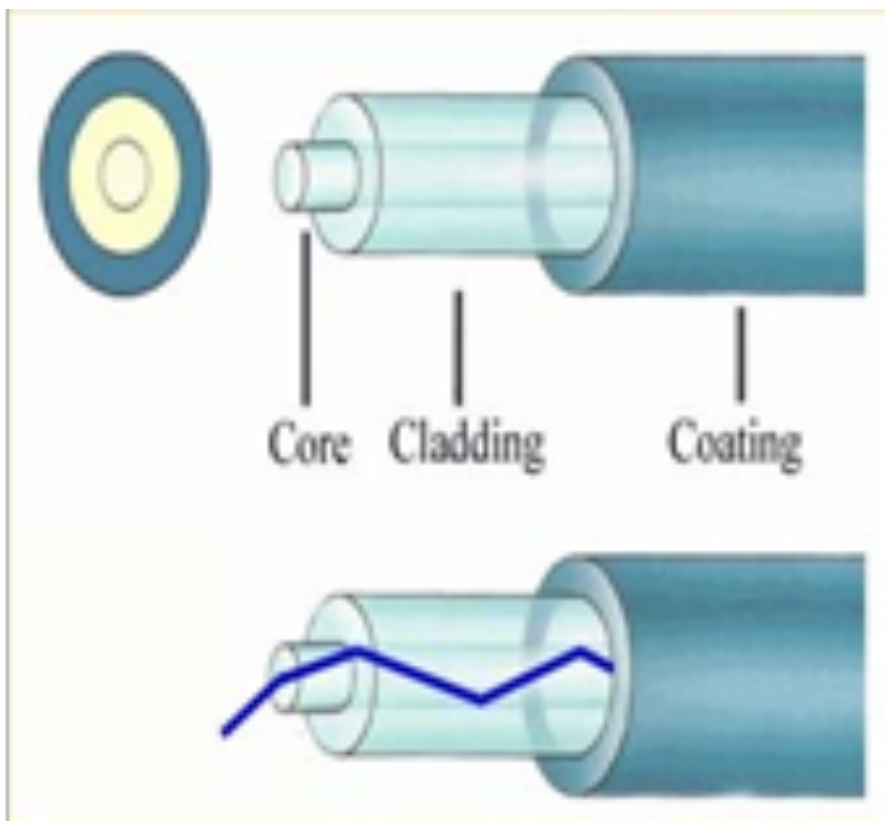
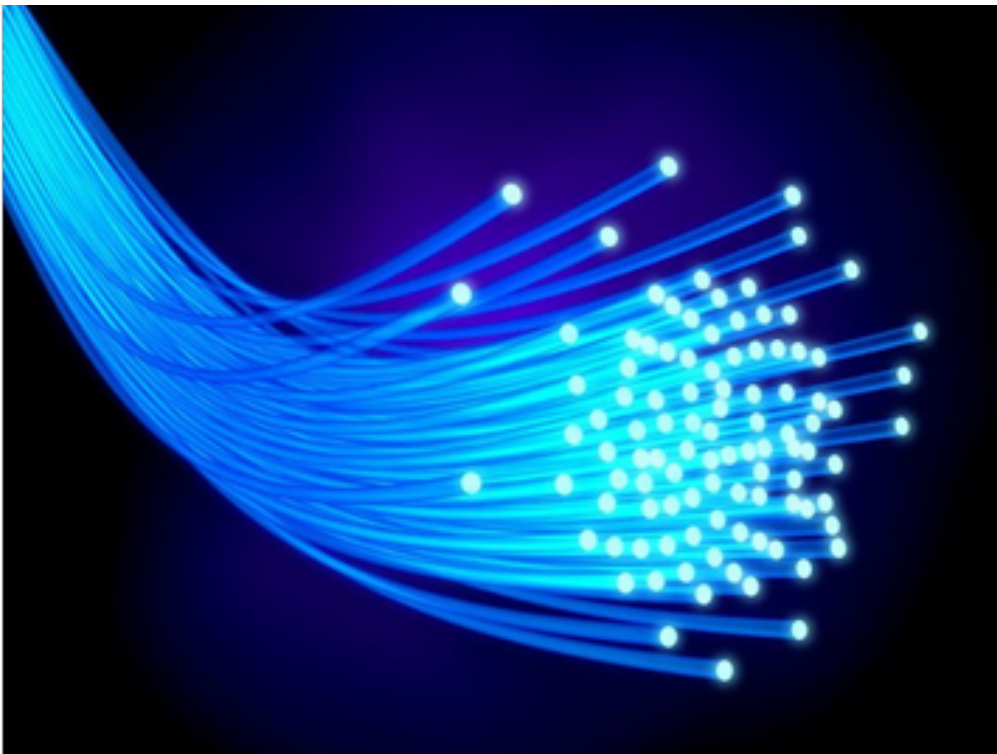
Η γωνία διάθλασης εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και τους δείκτες διάθλασης των

δύο μέσων σύμφωνα με το νόμο του Snell: $n_1 \sin\theta = n_2 \sin\delta$



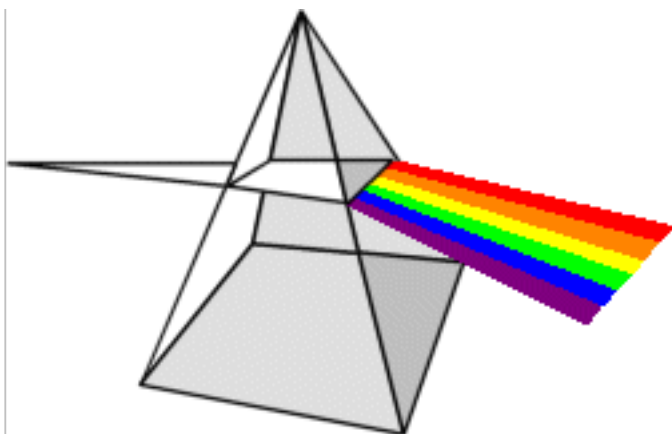
Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες για τη μεταφορά των σημάτων και στα ενδοσκόπια (βλέπε ιατρική). Επίσης κάποιες δεσμίδες οπτικών ινών χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά εικόνας από το εσωτερικό του σώματος.



1.5 Πρίσμα

Το πρίσμα είναι δυο επίπεδα που χωρίζουν ένα διαφανές μέσο όπως για παράδειγμα το γυαλί από το περιβάλλον του δηλαδή τον αέρα.



Γωνία εκτροπής του πρίσματος

$$\varepsilon = (\theta_1 - \delta_1) + (\theta_2 - \delta_2)$$

$$\Delta' B \Gamma = \delta_1 + \delta_2$$

$$\varepsilon = \theta_1 - \delta_1 + \theta_2 - \delta_2 \quad \varepsilon = \theta_1 + \theta_2 - A$$

$\varepsilon =$ γωνία εκτροπής

$\theta_1 =$ γωνία πρόσπτωσης

$\theta_2 =$ γωνία ανάδυσης

Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και από τη γωνία ανάδυσης η οποία και αυτή εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης.

Γωνία ελάχιστης εκτροπής

$$A = \delta_1 + \delta_2$$

$$\varepsilon = \theta_1 + \theta_2 - A$$

$$\varepsilon_m = 2\theta - A \Rightarrow \theta = (\varepsilon_m + A)/2 \Rightarrow A = 2\delta$$

1.6 Διασκεδασμός

Ο διασκεδασμός (διασπορά) αναφέρεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από τη συχνότητα ή από το μήκος κύματος των κυμάτων που διαδίδονται σ' αυτό.

Ο τύπος του Cauchy είναι: $n(\lambda) = A + B/\lambda^2$

1.7 Φακοί

Φακός καλείται ένα διαφανές σώμα που περιορίζεται σε δυο διαθλαστικές επιφάνειες ώστε να αποτελεί οπτικό σύστημα που βασίζεται στο φαινόμενο της διάθλασης.

Υπάρχουν οι συγκλίνοντες και οι αποκλίνοντες φακοί. Οι συγκλίνοντες έχουν μεγαλύτερο πάχος στο κέντρο απ' ότι στα άκρα σε αντίθεση με τους αποκλίνοντες που είναι πιο λεπτοί στο κέντρο απ' ότι στα άκρα.

Χαρακτηριστικά λεπτών φακών

Το πάχος του λεπτού φακού θεωρείται πολύ μικρό εν συγκρίσει με τις αποστάσεις των αντικειμένων και των ειδώλων από το φακό. Το εστιακό επίπεδο είναι κάθετο στον κύριο άξονα που περιέχει την κύρια εστία. Η εστιακή απόσταση είναι η απόσταση της κύριας εστίας από το κέντρο.

Συγκλίνων φακός

Η εστιακή απόσταση είναι μια παράλληλη δέσμη που διέρχεται από τον συγκλίνοντα φακό και συγκλίνει στην εστία του φακού.

Αποκλίνων φακός

Η εστιακή απόσταση είναι μια παράλληλη δέσμη που διέρχεται από τον αποκλίνοντα φακό και αποκλίνει έτσι ώστε οι διαθλώμενες ακτίνες να φαίνονται ότι προέρχονται από την εστία του φακού.

Απεικόνιση συγκλίνοντα και αποκλίνοντα φακού.

Συγκλίνων:

- Είναι η ακτίνα που διέρχεται από την κύρια εστία του φακού
- Είναι η ακτίνα που διαδίδεται παράλληλα στον κύριο άξονα και όταν διαθλασθεί από το φακό διέρχεται από την κύρια εστία του.
- Είναι η ακτίνα που διαδίδεται πάνω στον κύριο άξονα και δεν εκτρέπεται.
- Είναι η ακτίνα που διέρχεται από το κέντρο του φακού και δεν εκτρέπεται.

Αποκλίνων:

- Είναι η ακτίνα που διαδίδεται πάνω από τον κύριο άξονα και δεν εκτρέπεται.
- Είναι η ακτίνα που διέρχεται από το κέντρο του φακού και δεν εκτρέπεται.
- Είναι η ακτίνα που διέρχεται από το φακό έτσι ώστε η προέκτασή της να διέρχεται από την κύρια εστία.
- Είναι η ακτίνα που διαδίδεται παράλληλα στον κύριο άξονα και όταν διαθλασθεί από το φακό φαίνεται ότι προέρχεται από την κύρια εστία του.

Φακοί σε σειρά

Η ισχύς ενός συστήματος λεπτών φακών που βρίσκονται σε επαφή ισούται με το άθροισμα των ισχύων των φακών του συστήματος.

Σφάλματα φακών

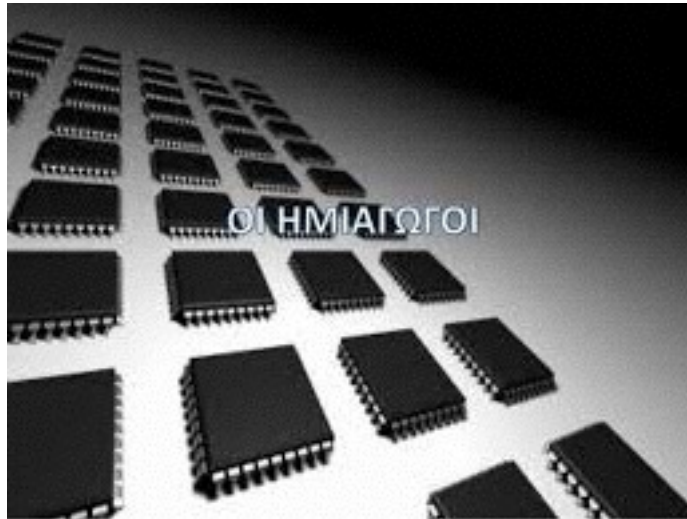
Για τους φακούς ισχύουν δυο συνθήκες η πρώτη εντωπίζεται στο ότι το φως είναι μονοχρωματικό και η άλλη στο ότι ο φακός έχει μικρό άνοιγμα και το αντικείμενο βρίσκεται κοντά στον άξονα.

Η πρώτη συνθήκη εξασφαλίζει τη σταθερότητα του δείκτη διάθλασης n και από την άλλη, η δεύτερη συνθήκη εξασφαλίζει μικρές κλίσεις των ακτίνων και μικρές γωνίες εισόδου. Στην περίπτωση που παραβιαστεί η πρώτη συνθήκη οδηγούμαστε στα χρωματικά σφάλματα και αν παραβιαστεί η δεύτερη, αυτομάτως οδηγούμαστε στα μονοχρωματικά σφάλματα των φακών.

Τα χρωματικά σφάλματα οφείλονται στις ιδιότητες διασποράς των οπτικών υλικών. Όταν το φως που διέρχεται από έναν φακό είναι μονοχρωματικό αυτός παρουσιάζει κάποια σφάλματα. Αυτό γίνεται επειδή δεν ικανοποιούνται οι συνθήκες μικρού ανοίγματος και παραλληλίας των ακτίνων προς τον άξονα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

2.1 Εισαγωγή



Οι αγωγοί έχουν κάποιες τιμές αντίστασης μεταξύ ενός αγωγού και ενός μονωτή. Ένα χαρακτηριστικό τους είναι η επίδραση μικρών προσμίξεων στην ειδική αντίσταση. Οι δεσμοί ανάμεσα στα άτομα του ημιαγωγού στοιχείου είναι ομοιοπολικοί. Ένας ημιαγωγός αποτελείται από τη ζώνη σθένους και τη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτές οι δυο χωρίζονται με το ενεργειακό χάσμα. Ένα ηλεκτρόνιο απορροφά ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα και μεταπηδά στη ζώνη αγωγιμότητας αφήνοντας κενή τη ζώνη σθένους δημιουργώντας οπή. Ο ημιαγωγός αποτελείται από δυο είδη φορέων, τα ηλεκτρόνια και τις οπές.

2.2 Ενδογενείς ημιαγωγοί

Είναι οι αγωγοί οι οποίοι δεν έχουν καμία πρόσμιξη. Είναι δηλαδή ημιαγωγοί κρύσταλλοι υψηλής καθαρότητας στοιχείων όπως είναι το πυρίτιο (Si), το γερμάνιο (Ge) κτλ. Η αγωγιμότητά τους εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία τήνει στο μηδέν και σε ακόμη πιο χαμηλές θερμοκρασίες η ζώνη αγωγιμότητας είναι άδεια και η ζώνη σθένους έχει καλυφθεί. Τα υλικά παίζουν το ρόλο των μονωτών.

2.3 Εξωγενείς ημιαγωγοί

Εξωγενείς είναι οι ημιαγωγοί των οποίων η αγωγιμότητα οφείλεται στην ύπαρξη ξένων ατόμων στο κρυσταλλικό τους πλέγμα που ίσως προέρχονται από ατέλειες του ίδιου του κρυσταλλικού πλέγματος ή από την ύπαρξη κάποιων προσμίξεων. Οι προσμίξεις αυτές είναι δυο ειδών. Το ένα είδος αποτελείται από χημικά στοιχεία που τα άτομά τους έχουν πέντε ηλεκτρόνια σθένους και το άλλο είδος αποτελείται από στοιχεία με τρία εξωτερικά ηλεκτρόνια.

Τα άτομα της πρώτης κατηγορίας ονομάζονται δότες γιατί δίνουν στον ημιαγωγό ένα από τα πέντε εξωτερικά τους ηλεκτρόνια.

Τα άτομα της δεύτερης κατηγορίας ονομάζονται αποδέκτες επειδή δέχονται ένα ηλεκτρόνιο από το πλέγμα του ημιαγωγού.

Οι δότες και οι αποδέκτες έχουν πλέγμα με διαστάσεις παραπλήσιες με το πλέγμα του ενδογενούς ημιαγωγού.

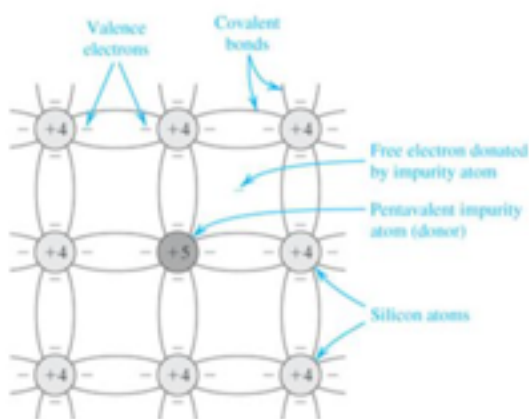
2.4 Ημιαγωγοί τύπου n

Οι ενεργειακές στάθμες των ηλεκτρονίων του δότη βρίσκονται στην απαγορευμένη περιοχή και πολύ κοντά στη ζώνη αγωγιμότητας του ημιαγωγού. Η συγκέντρωση των δοτών είναι μικρή σε σχέση με την συγκέντρωση των ατόμων του ημιαγωγού και επηρεάζει μόνο τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του. Σε έναν ημιαγωγό τύπου n τα ηλεκτρόνια που είναι φορείς πλειονότητας ελάχιστα βοηθούν στην αγωγιμότητα και αποτελούν τους φορείς μειονότητας.

Ημιαγωγός τύπου n

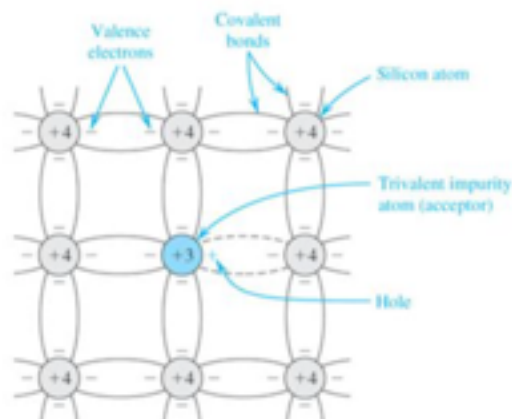
Ημιαγωγός τύπου p

$$pn = n_i^2$$



$$n_n \approx N_D$$

$$p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$



$$p_p \approx N_A$$

$$n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

2.5 Ημιαγωγοί τύπου p

Οι ενεργειακές στάθμες των ηλεκτρονίων του αποδέκτη βρίσκονται πολύ κοντά στη ζώνη σθένους του ημιαγωγού που νοθεύουμε. Ορισμένα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από τη ζώνη σθένους του ημιαγωγού στις στάθμες ηλεκτρονίων του αποδέκτη και έτσι δημιουργούνται κάποιες οπές στη ζώνη σθένους. Η συγκέντρωση των αποδεκτών είναι μικρή σε σχέση με τη συγκέντρωση των ατόμων του ημιαγωγού και επηρεάζονται μόνο τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του. Σε ημιαγωγό τύπου p οι οπές είναι φορείς πλειονότητας ενώ τα ηλεκτρόνια βοηθούν ελάχιστα στην αγωγιμότητα και έτσι αποτελούν τους φορείς μειονότητας.

2.6 Ημιαγωγικές ενώσεις

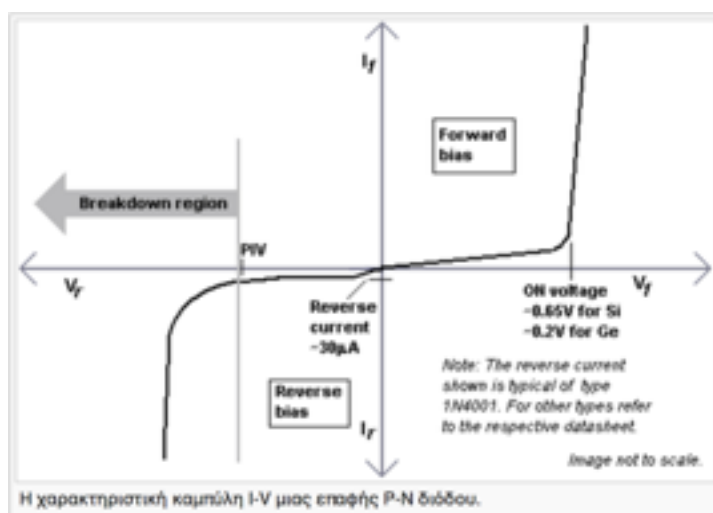
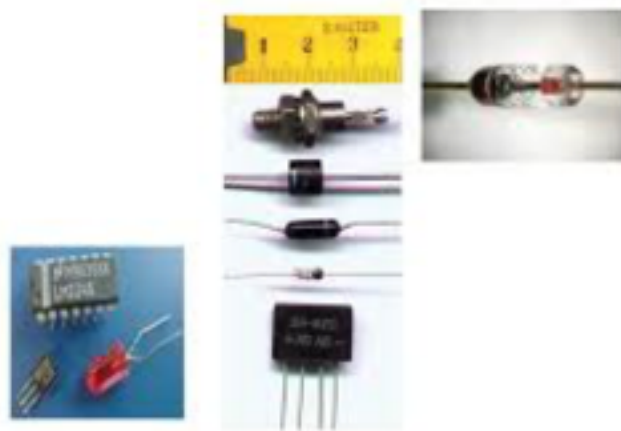
Είναι ενώσεις δυαδικές που δημιουργούνται από τα στοιχεία της τρίτης και της πέμπτης ομάδας του περιοδικού συστήματος όπως GaAs, GaP κτλ. Η δομή τους είναι ίδια με του αδάμαντα με τη διαφορά ότι η βάση αποτελείται από δυο άτομα και οι δεσμοί είναι ομοιοπολικοί.

2.7 Ημιαγωγικές διατάξεις

Οι ημιαγωγοί είναι τα θεμέλια της μικροηλεκτρονικής και νανοηλεκτρονικής. Χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές και οπτοηλεκτρονικές διατάξεις σαν δίοδοι τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κυκλώματα και σαν ηλεκτρολογικά υλικά. Η αγωγιμότητα του υλικού ελέγχεται με τη συγκέντρωση των προσμίξεων που μπορεί να μεταβάλλεται σε μια μεγάλη περιοχή τιμών και να αλλάζει στις διάφορες περιοχές πάνω στη διάταξη. Σ' όλα αυτά βασίζονται οι ημιαγωγικές διατάξεις.

2.8 Δίοδος επαφής p-n

Στην επιφάνεια επαφής ενός ημιαγωγού p με έναν ημιαγωγό n δημιουργείται επαφή p-n ή ένωση p-n. Το ηλεκτρονικό εξάρτημα που προκύπτει από την ένωση ενός ημιαγωγού p με έναν ημιαγωγό n είναι η δίοδος p-n ή κρυσταλλοδίοδος. Η κρυσταλλοδίοδος δημιουργείται όταν με διάφορες μεθόδους επεμβαίνουμε στα άκρα ημιαγωγίμου μονοκρυστάλλου, για να αποφύγουμε κάποιες δυσάρεστες συνέπειες από την ένωση δυο διαφορετικών ημιαγωγών που υπάρχουν στα όρια των κόκκων.



2.9 Πόλωση διόδου

Υπάρχουν δυο είδη πόλωσης διόδου, η ορθή και η ανάστροφη πόλωση.

Ορθή πόλωση έχουμε όταν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής συνδέεται με το τμήμα p της διόδου. Ανάστροφη πόλωση έχουμε όταν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής συνδέεται με το τμήμα n της εισόδου.

Ορθή πόλωση

Στην ορθή πόλωση παρατηρείται κίνηση των φορέων σε κάθε τμήμα της διόδου προς την επαφή p-n. Όταν αυξάνεται η εξωτερική τάση το μήκος της ζώνης απογύμνωσης μειώνεται μέχρι να μηδενιστεί και έτσι ξεκινά η ροή του ρεύματος στο κύκλωμα. Η ορθά πολωμένη διόδος p-n λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης.

Ανάστροφη πόλωση

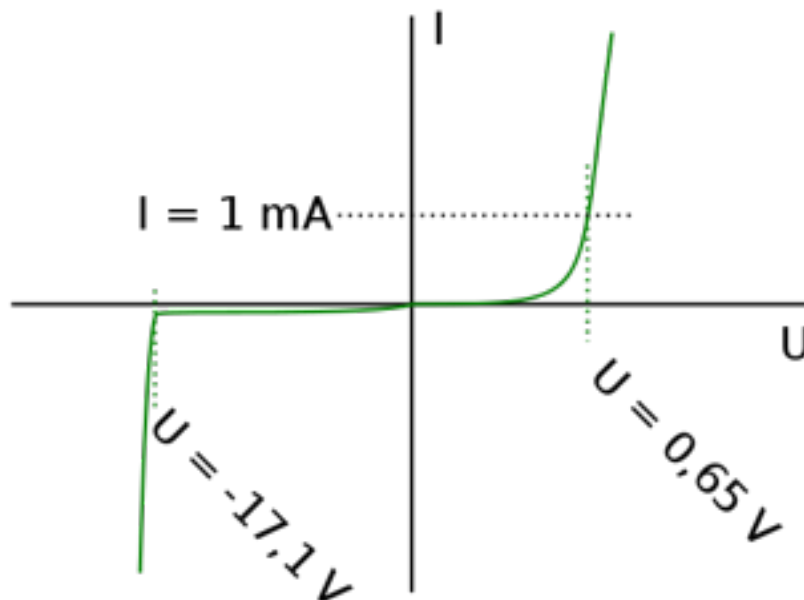
Σε κάθε τμήμα της διόδου σημειώνεται κίνηση των οπών και των ηλεκτρονίων. Όταν αυξάνεται η εξωτερική τάση, το μήκος της ζώνης απογύμνωσης αυξάνεται συνεχώς και η διόδος διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα που ονομάζεται ανάστροφο και παραμένει συνέχεια σταθερό. Η ανάστροφα πολωμένη διόδος p-n αντιμετωπίζεται στο κύκλωμα ως ανοικτός διακόπτης ή ως πολύ μεγάλη αντίσταση. Άρα είναι μη ιδανική.

2.10 Δίοδος Zener

Η δίοδος Zener είναι μια δίοδος ανάστροφα πολωμένη που λειτουργεί στην περιοχή της διάσπασης χωρίς να καταστρέφεται και με σταθερή τάση. Μπορεί να διατηρεί την τάση στα άκρα της σταθερή ανεξάρτητα από την σταθερή τροφοδοσία.



Η χαρακτηριστική καμπύλη της δίοδου Zener.



2.11 Δίοδος επαφής

Η δίοδος επαφής κατασκευάζεται από κρύσταλλο Si που είναι μονοκρύσταλλο , με προσμίξεις In. Η χωρητικότητα επαφής είναι 10pF. Είναι τόσο μεγάλη που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων πάνω από 100KHz.

2.12 Δίοδος Σύραγγας

Οι δίοδοι σύραγγας ονομάζονται έτσι από το φαινόμενο της σύραγγας που παρουσιάζουν. Σύμφωνα με αυτό τα ηλεκτρόνια και οι οπές νικούν το δυναμικό φραγμού χωρίς να έχουν την ενέργεια που απαιτείται. Το ημιαγωγικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι συνήθως το γερμάνιο και το πυρίτιο αλλά και άλλα υλικά που εμφανίζουν μικρές τιμές ενεργούς μάζας και διηλεκτρικής σταθεράς. Οι δίοδοι σύραγγας χρησιμοποιούνται σε ενισχυτές χαμηλού θορύβου, σε ταλαντωτές και σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων.

2.13 Ολοκληρωμένα κυκλώματα

Τα ψηφιακά κυκλώματα κατασκευάζονται με τη χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (ICs). Κάθε IC είναι ένας μικρός κρύσταλλος ημιαγωγού πυριτίου που λέγεται chip. Το chip περιλαμβάνει τα ηλεκτρικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται με το chip ώστε να σχηματίζουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα διαφέρουν από τα συμβατικά στο ότι τα στοιχεία τους δεν μπορούν να αποσυνδεθούν από το κύκλωμα. Η σύνδεση του ολοκληρωμένου με το υπόλοιπο εξωτερικό κύκλωμα γίνεται μόνο με ακροδέκτες.

Τα πλεονεκτήματα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι:

- Έχουν πολύ μικρό μέγεθος.
- Έχουν χαμηλή τιμή κόστους μαζικής παραγωγής.
- Έχουν μικρή κατανάλωση ισχύος.
- Έχουν υψηλή ταχύτητα και αξιοπιστία λειτουργίας.
- Έχουν μείωση εξωτερικών καλωδιακών συνδέσεων.

2.14 Θερμίστορ

Τα θερμίστορ βοηθούν να εκμεταλλευτούμε την εξάρτηση της ειδικής αντίστασης των ημιαγωγών από τη θερμοκρασία. Είναι εξαρτήματα που κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά.

Τα θερμίστορ διακρίνονται σε:

NTC (negative temperature coefficient) με θερμικό συντελεστή αντίστασης αρνητικό και σε PTC (positive temperature coefficient) με θερμικό συντελεστή αντίστασης θετικό.

Η θερμοκρασία των NTC δεν ξεπερνά τους 350°C. Τα NTC χρησιμοποιούνται για την προστασία διαφόρων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Τα PTC έχουν αντίσταση που εξαρτάται από την μεταβολή της θερμοκρασία.

2.15 Βαρίστορ

Τα βαρίστορ είναι μονωτικά σε παρουσία ηλεκτρικού πεδίου χαμηλής έντασης. Οι χαρακτηριστικές του ρεύματος τάσης είναι μη γραμμικές. Η αντίσταση εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζεται στο στοιχείο. Το κάθε βαρίστορ χαρακτηρίζεται από μια μέγιστη τάση λειτουργίας. Η τάση αυτή είναι από 8V έως 1300V. Τα βαρίστορ χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση της τάσης ή για την προστασία των συσκευών από υπέρταση. Το κατασκευαστικό υλικό τους είναι από ανθρακοπυρίτιο καθώς και τα οξειδία Zn, Ti.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΘΕΩΡΙΑ ΔΙΟΔΩΝ

3.1 Δίοδοι ημιαγωγών

Η δίοδος είναι ένα στοιχείο που περιορίζει την κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας. Στην ουσία, η δίοδος επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από τη μια κατεύθυνση, αλλά μπλοκάρει την κίνηση από την αντίθετη κατεύθυνση. Τα κυκλώματα που απαιτούν ροή προς μία μόνο κατεύθυνση περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διόδους στη σχεδίαση του κυκλώματος. Οι περισσότεροι διόδοι είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών. Υπάρχουν δυο τύποι ημιαγωγών υλικών: Οι εσωτερικοί και οι εξωτερικοί. Στους εσωτερικούς οι ημιαγωγιμες ιδιότητες του υλικού συμβαίνουν φυσικά ενώ στους εξωτερικούς οι ιδιότητες κατασκευάζονται από εμάς, έτσι ώστε το υλικό να συμπεριφέρεται έτσι όπως εμείς θέλουμε. Όλοι οι ημιαγωγοί στα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα είναι κυρίως εξωτερικοί.

Οι περισσότερες σύγχρονες διόδοι στηρίζονται στον ημιαγωγό p-n επαφών. Σε μια p-n δίοδο, συμβατικό ρεύμα μπορεί να ρέει από την άνοδο στην κάθοδος όμως δεν μπορεί να ρέει κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Ένας άλλος τύπος διόδου ημιαγωγών, η δίοδος Schottky σχηματίζεται από την επαφή μεταξύ ενός μετάλλου και ενός ημιαγωγού παρά από μια επαφή p-n.

Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης ή I-V μιας διόδου ημιαγωγού αποδίδεται στη συμπεριφορά της περιοχής κατάρρευσης η οποία υπάρχει στην επαφή p-n μεταξύ των διαφορετικών ημιαγωγών. Όταν δημιουργήθηκε η επαφή p-n, ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας της νοθευμένης -N περιοχής διαχέονται στη νοθευμένη -P περιοχή όπου υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από οπές με τις οποίες τα ηλεκτρόνια ανασυνδυάζονται. Όταν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο συνδυάζεται με μια οπή, η οπή εξαφανίζεται και το ηλεκτρόνιο σταματά να είναι ελεύθερο. Έτσι δυο φορείς αγωγιμότητας εξαφανίστηκαν. Η περιοχή γύρω από την επαφή p-n ελλατώνεται από φορείς αγωγιμότητας και επομένως λειτουργεί ως μονωτής.

Το πλάτος κατάρρευσης όμως, δεν μπορεί να μεγαλώσει απεριόριστα. Για κάθε ζεύγος ηλεκτρόνιο-οπής που ανασυνδυάζονται, ένα θετικά φορτισμένο ιόν αφήνεται πίσω στη νοθευμένη - N περιοχή και ένα αρνητικά φορτισμένο ιόν αφήνεται στη νοθευμένη - P περιοχή.

Όπως προχωρούν οι ανασυνδυασμοί και περισσότερα ιόντα δημιουργούνται, δημιουργείται ένα αυξανόμενο ηλεκτρικό πεδίο στη ζώνη κατάρρευσης το οποίο επιδρά στην επιβράδυνση και τελικά στη διακοπή των ανασυνδυασμών. Σε αυτό το σημείο υπάρχει μια ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού στη ζώνη κατάρρευσης.

Αν μια εξωτερική τάση εφαρμοστεί στη δίοδο με την ίδια πολικότητα με την ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού, η ζώνη κατάρρευσης συνεχίζει να λειτουργεί ως μονωτής εμποδίζοντας τη διέλευση σημαντικής ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάστροφη πόλωση.

Αντίθετα, αν η πολικότητα της εξωτερικής τάσης είναι αντίθετη με την ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού, θα συνεχίσουν οι ανασυνδυασμοί με αποτέλεσμα να έχουμε διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της επαφής p-n. Για τις διόδους από το πυρίτιο, η εσωτερική τάση είναι περίπου ίση με 0.6V.

Άρα, αν ένα εξωτερικό ρεύμα περάσει από τη δίοδο, θα δημιουργηθεί στη δίοδο μια τάση περίπου 0.6V έτσι ώστε η νοθευμένη P περιοχή να είναι θετική σε σχέση με τη νοθευμένη N περιοχή και η δίοδος χαρακτηρίζεται ως ανοιχτή αφού έχει ορθή πόλωση.

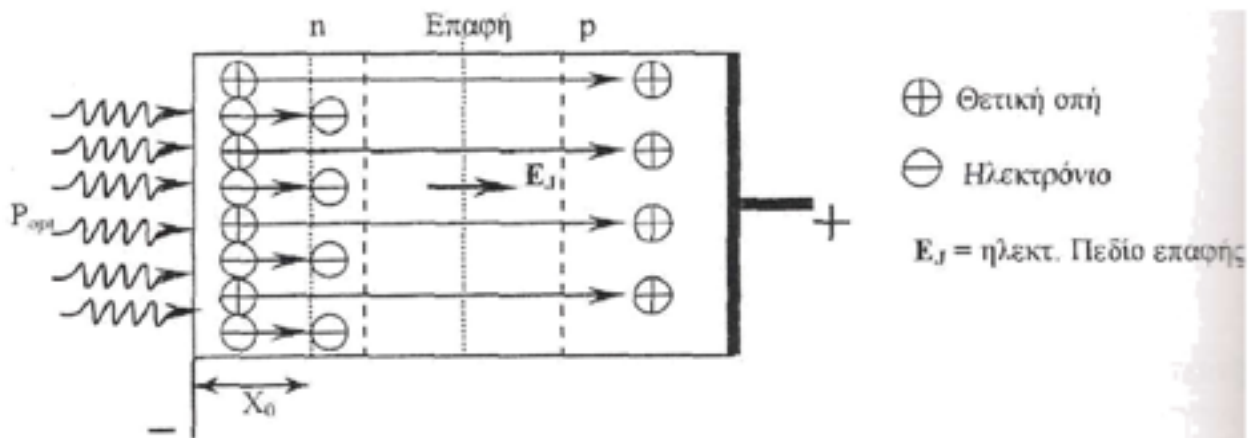
Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V της διόδου μπορεί να προσεγγιστεί από δυο περιοχές λειτουργίας. Αν η τάση ανάμεσα στα δυο άκρα είναι κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή, η ζώνη κατάρρευσης έχει σημαντικό πλάτος και η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ανοικτό κύκλωμα. Όσο αυξάνεται η τάση σε κάποιο σημείο η δίοδος θα γίνει αγώγιμη και θα επιτρέψει τη διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος και μπορεί να θεωρηθεί ως μια σύνδεση με μηδανική αντίσταση.

Σε μια κανονική δίοδο από πυρίτιο η πτώση τάσης σε μια αγώγιμη δίοδο είναι περίπου 0.6 με 0.7 volts. Η τιμή αυτή είναι διαφορετική για άλλους τύπους διόδων- για τις διόδους Schottky μπορεί να είναι 0.2 V και για τις διόδους εκομπής φωτός(LEDs) μπορεί να είναι 1.4V ή μεγαλύτερη. Σχετικά με το διάγραμμα της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V, στην περιοχή ανάστροφης πόλωσης για μια κανονική ανορθωτική δίοδο P-N, το ρεύμα μέσω της συσκευής είναι πολύ μικρό για όλες τις ανάστροφες τάσεις μέχρι ένα σημείο που ονομάζεται κορυφή ανάστροφης τάσης.

Μετά από αυτό το σημείο, συμβαίνει μια διαδικασία που ονομάζεται ανάστροφη κατάρρευση η οποία είναι καταστροφική για τη συσκευή με ταυτόχρονη μεγάλη αύξηση στο ηλεκτρικό ρεύμα.

3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

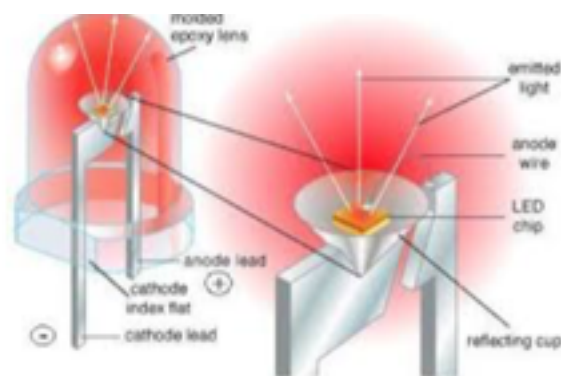
Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η ακτινοβολία δημιουργείται μια περίσσεια από ζώνη φορέων δηλαδή ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί καθώς κυκλοφοούν από στερεό μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτρονικού πεδίου.



Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου Ω και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δυο τμημάτων της διόδου. Η διάταξη αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δυο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου.

Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μιας ομοένωσης, το ενσωματωμένο ηλεκτρονικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων.

3.3 Ανιχνευτές φωτός



Οι ανιχνευτές φωτός ανήκουν στα οπτοηλεκτρικά εξαρτήματα. Μετατρέπουν τους ηλεκτρικούς παλμούς σε παλμούς φωτός. Επιτρέπουν στο οπτικό σήμα να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρικούς παλμούς που λαμβάνονται από τον ακροδέκτη των δεδομένων των οπτικών ινών και οπτικών και ακουστικών συνδέσεων.

Ο πιο συνηθισμένος ανιχνευτής είναι η φωτοδίοδος ημιαγωγού που παράγει ρεύμα σαν απόκριση στο φως που προσπίπτει. Σε μια δίοδο εκπομπής φωτός η ενέργεια που εκπέμπεται κατά την επανασύνδεση ηλεκτρονίων και οπών είναι με τη μορφή φωτός. Στις φωτοδιόδους συμβαίνει το αντίθετο. Το φως που πέφτει στη φωτοδίοδο δημιουργεί ένα ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα.

Τα απορροφημένα φωτόνια διεγείρουν τα ηλεκτρόνια με σκοπό τη δημιουργία ενός ζεύγους ηλεκτρονίου-οπής. Για κάθε ζεύγος που δημιουργείται, ένα ηλεκτρόνιο τίθεται σε κυκλοφορία σαν ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα. Όπως στους πομπούς φωτός η λειτουργία των ανιχνευτών βασίζεται στην αρχή επαφής p-n. Όταν ένα φωτόνιο προσπίπτει στη δίοδο δίνει σε ένα ηλεκτρόνιο μέσα στη ζώνη σθένους αρκετή ενέργεια για να μεταβεί στη ζώνη αγωγιμότητας δημιουργώντας έτσι ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια οπή. Αν η δημιουργία αυτών των φορέων συμβεί σε περιοχή αραίωσης, οι ηλεκτρονικές δυνάμεις ελαττώνονται και το ρεύμα παύει να υπάρχει. Ενώ οι δίοδοι p-n είναι ακατάλληλοι ανιχνευτές για συστήματα οπτικών ινών, οι φωτοδιόδους PIN είναι σχεδιασμένοι να αντισταθμίζουν τα μειονεκτήματα των p-n.

Παράμετροι φωτοανιχνευτών

Σημαντικοί παράμετροι των φωτοανιχνευτών είναι:

- Η ισοδύναμη ισχύς θορύβου.
- Ικανότητα ανίχνευσης.
- Μήκος κύματος αποκοπής.
- Μέγιστο ρεύμα.
- Μέγιστη ανάστροφη τάση.
- Ευαισθησία ακτινοβολίας.
- Πεδίο ακτινοβολίας.
- Χωρητικότητα επαφής.

3.4 Φωτοδίοδοι

Η λειτουργία των φωτοδίοδων βασίζεται στη δημιουργία ζευγαριών-ηλεκτρονίων-οπών από φωτόνια που προσπίπτουν σε μια επαφή pn. Όταν μια δίοδος είναι ορθά πολωμένη τότε λειτουργεί σαν απλή δίοδος και η μεταβολή του φωτισμού ελάχιστα μεταβάλλει τη λειτουργία της. Όταν όμως είναι ανάστροφα πολωμένη η δίοδος διαρρέεται από ρεύμα που αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του φωτισμού που δέχεται η δίοδος.

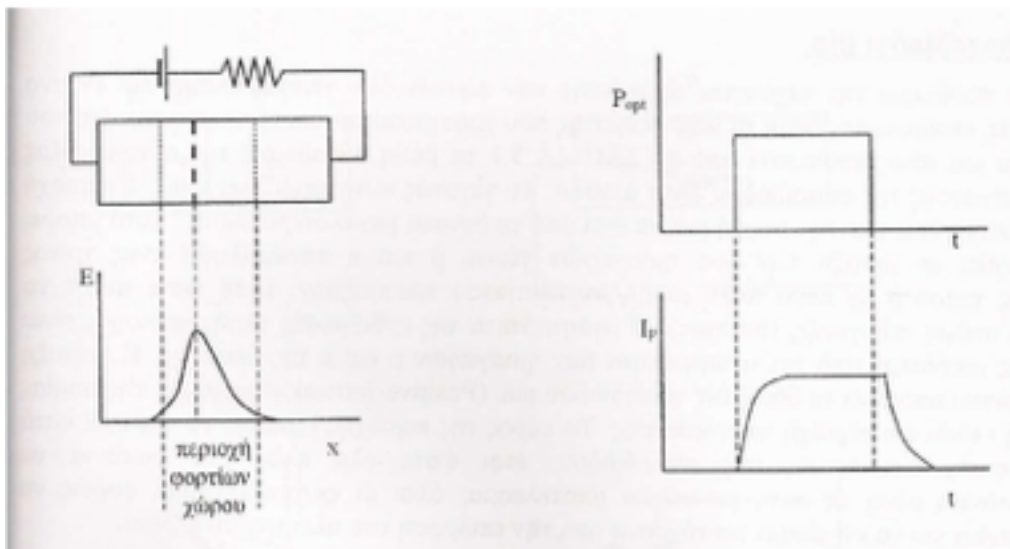
3.5 Πως λειτουργεί μια δίοδος

Μια φωτοδίοδος χρησιμοποιείται ως ανιχνευτής φωτός και λειτουργεί ανάστροφα πολωμένη. Επίσης η δίοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ηλιακό κύτταρο, χρησιμοποιώντας ορθή πόλωση για να παράγει ηλεκτρική ισχύ. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι η απόκριση, το ρεύμα σε κατάσταση σκότους και το εύρος ζώνης. Η απόκριση είναι το ρεύμα που χωρίζεται από το φως από την προσπίπτουσα οπτική ισχύ.

3.6 Φωτοδίοδοι p-n

Οι φωτοδίοδοι είναι φωτοευαίσθητοι δίοδοι ημιαγωγών(επαφές p-n) των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Οι δίοδοι αυτοί όταν δεν φωτίζονται συμπεριφέρονται ως κανονικοί δίοδοι, ενώ όταν φωτίζονται αλλάζουν την ηλεκτρική τους συμπεριφορά εξαιτίας του Εσωτερικού Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου που αναπτύσσεται μέσα σε αυτές. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εκδηλωθεί είτε σαν φωτοβολταϊκό ή σαν φωτοαγωγιμότητα. Άρα οι φωτοδίοδοι μπορούν να λειτουργήσουν σαν φωτοβολταϊκά στοιχεία αλλά

και σαν φωτοαγωγίμα υλικά. Στην πρώτη περίπτωση η φωτοδίοδος συμπεριφέρεται σαν γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.



3.7 Μειονεκτήματα φωτοδίοδων P-N

Οι φωτοδίοδοι p-n παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα.

Έχουν μεγάλη ευαισθησία, παρουσιάζουν θόρυβο και συνήθως δεν αποκρίνονται ικανοποιητικά στις γρήγορες μεταβολές της φωτεινής ροής και έτσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οπτικές επικοινωνίες για τη μεταφορά μεγάλης συχνότητας σημάτων. Από αυτά τα μειονεκτήματα το τρίτο είναι και το πιο σημαντικό.

Πιο συγκεκριμένα:

Φαίνεται μια ανάστροφα πολωμένη φωτοδίοδος p-n καθώς και η κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου μέσα στην περιοχή απογύμνωσης. Το εύρος της περιοχής αυτής εξαρτάται από τη σύγκριση των ατόμων πρόσμιξης στους ημιαγωγούς που βρίσκονται εκατέρωθεν της επαφής p-n. Όσο πιο μικρή είναι η συγκέντρωση συτή τόσο πιο μεγάλο είναι το εύρος της περιοχής απογύμνωσης.

Έτσι η φωτοδίοδος αποτελείται από έναν ημιαγωγό τύπου n με πολύ μικρή συγκέντρωση ελεύθερων ηλεκτρονίων. Αν σε αυτή τη διάταξη πέσει οπτική ακτινοβολία τα φωτόνια θα εισέλθουν στον ημιαγωγό τύπου p και κάτω από αυτά θα διεισδύσουν στην περιοχή απογύμνωσης και θα δημιουργήσουν ηλεκτρόνια και θετικές οπές.

Στην περιοχή απογύμνωσης τα ηλεκτρόνια και οι θετικές οπές θα διαχωριστούν αμέσως και θα κινηθούν αντίθετα εξαιτίας της ύπαρξης ηλεκτρικού πεδίου ενώ οι φωτοφορείς που δημιουργούνται στην περιοχή p θα διαχυθούν προς την περιοχή απογύμνωσης όπου και θα εισέλθουν. Η διαδικασία της διάχυσης είναι πολύ πιο αργή σε σχέση με την κίνηση των ηλεκτρικών φορέων μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο και έτσι θα υπάρξει καθυστέρηση για τον πλήρη διαχωρισμό των φωτοηλεκτρικών φορέων στη φωτοδίοδο.

Αρα οι φωτοδιόδοι p-n έχουν μικρή ταχύτητα απόκρισης στις μεταβολές της οπτικής ισχύος. Για την αύξηση της ταχύτητας απόκρισης της φωτοδίοδου πρέπει η απορρόφηση των φωτονίων να γίνεται μέσα στην περιοχή απογύμνωσης. Μια βελτίωση της ιδιότητας αυτής δημιουργείται ελαττώνοντας τη συγκέντρωση των ατόμων πρόσμιξης στον ημιαγωγό p.

Μια τυπική φωτοδίοδος p-n έχει εύρος περιοχής απογύμνωσης περίπου 3μm. Η επίδοσή της εξαρτάται τόσο από το μήκος κύματος της οπτικής ακτινοβολίας όσο και από το υλικό διάταξης.

3.8 Φωτοδιόδοι PIN

Η φωτοδιόδος PIN αποτελείται από τρία στρώματα. Ένα τύπου p ένα τύπου n και μεταξύ τους περιβάλλεται ένα φωτοευαίσθητο στρώμα χαμηλής νόθευσης. Σε αυτό το στρώμα πραγματοποιείται η μετατροπή της οπτικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Η φωτοδιόδος πολώνεται ανάστροφα με τυπική τιμή τάση 5V. Όταν πέσει το φως πάνω στη φωτοδιόδο τότε κάθε φωτόνιο απορροφάται και δημιουργείται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής. Κάτω από την επίδραση της ανάστροφης πόλωσης τα αντίθετα ηλεκτρικά φορτία ηλεκτρονίου και οπής κινούνται σε αντίθετες διευθύνσεις και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα.

Το μήκος κύματος λειτουργίας μιας φωτοδιόδου εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του. Το Si είναι κατάλληλο για τα μικρά μήκη κύματος (0,8 - 0,9μm), το Ge για το πρώτο παράθυρο των οπτικών ινών (1,3μm) και το InGaAs (Ινδίο-Γάλλιο-Αρσενικό) για το δεύτερο παράθυρο των οπτικών ινών (1,55μm).

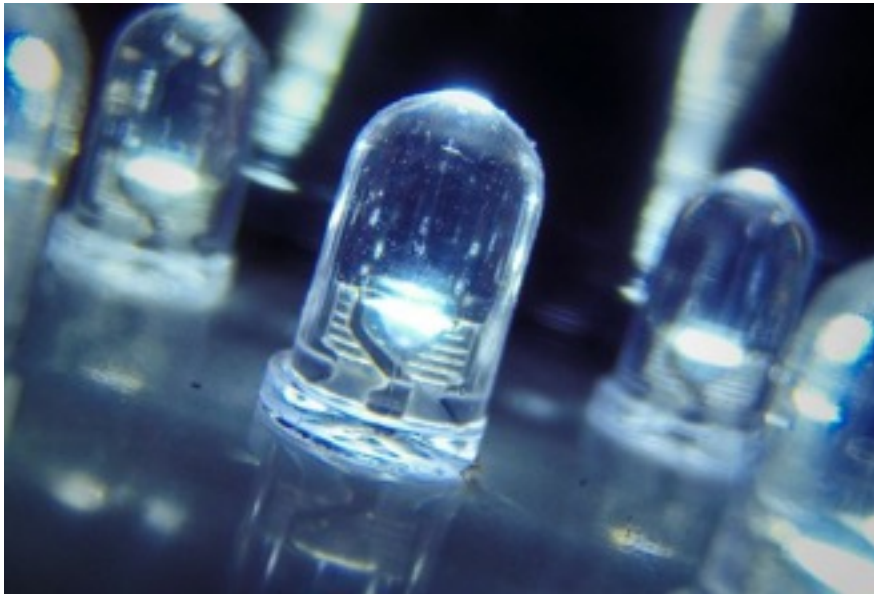
Η σημαντικότερη παράμετρος μιας φωτοδιόδου είναι η αποκρισιμότητα R που συσχετίζει το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα I με την προσπίπτουσα στη φωτοδιόδο οπτική ισχύ P όπως δείχνει ο τύπος $R=I/P$ του εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι τυπικές τιμές αποκρισιμότητας είναι 0,75 με 0,9A/W.

Σημαντική ιδιότητα επίσης μιας φωτοδιόδου PIN είναι το μεγάλο εύρος φωτεινής ισχύος που μπορεί να ανιχνεύσει. Η φωτοδιόδος μπορεί να ανιχνεύσει φωτεινή ισχύ στην περιοχή από μερικά nWatts μέχρι μερικές δεκάδες mWatts. Σε όλη αυτή την περιοχή η φωτοδιόδος παράγει ρεύμα ανάλογο ($I=R \cdot P$) της προσπίπτουσας φωτεινής ισχύος.

Επειδή το ρεύμα εισόδου μιας PIN είναι ασθενές χρειάζεται ενίσχυσης πριν διοχετευθεί στις υπόλοιπες βαθμίδες του ηλεκτρονικού δέκτη. Η ενίσχυση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενισχυτή με τρανζίστορ FET και έτσι έχουμε το συνδυασμό PIN με τρανζίστορ FET ο οποίος ονομάζεται φωτοδέκτης PIN-FET.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - LED

4.1 Εισαγωγή



Η δημιουργία οπτικού σήματος στην οπτική περιοχή είναι απαραίτητη για μια πλειάδα ενεργών και αθητικών λειτουργιών επεξεργασίας. Τα οπτικά σήματα χρησιμοποιούνται για επικοινωνία όπου οι οπτικές ίνες ως μέσο μεταφοράς επικοινωνίας, αντικαθιστούν τα μεταλλικά καλώδια. Τα οπτικά σήματα είναι απαραίτητα για τις οθόνες ώστε να προβάλλουν πληροφορίες. Οι οπτικές μνήμες με την σειρά τους απαιτούνται για συστήματα μνήμης που βασίζονται σε οπτική ανάγνωση. Για μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών επικοινωνίας και απεικόνισης είναι αναγκαίες σύμφωνες και ασύμφωνες συσκευές εκπομπής φωτός. Επίσης στις μέρες μας γίνονται μελέτες για συσκευές εκπομπής φωτός στις περιπτώσεις που οι εφαρμογές απαιτούν ενεργούς ρόλους λήψης αποφάσεων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προτείνονται λογικές συσκευές και διακόπτες οι οποίοι χρησιμοποιούν συσκευές εκπομπής φωτός.

Ισώς η απλούστερη συσκευή οπτοηλεκτρονικής είναι η δίοδος εκπομπής φωτός ή αλλιώς δίοδος LED η οποία εφαρμόζεται ως οθόνη αλλά και ως γεννήτρια οπτικού σήματος για οπτικές επικοινωνίες. Σε σύγκριση με την δίοδο LASER (που θα αναλύσουμε στο επόμενο

κεφάλαιο), η κατασκευή της διόδου LED είναι σημαντικά πιο απλή καθώς δεν απαιτείται καμία ειδική οπτική κοιλότητα ώστε να λειτουργήσει. Οι δύο αυτές συσκευές αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο για την ανάπτυξη και εξέλιξη των οπτοηλεκτρονικών συστημάτων πληροφοριών.

4.2 Τεχνολογία LED

Η καινοτόμος τεχνολογία LED αποτελεί την πιο προηγμένη τεχνολογία φωτός. Η λέξη LED προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Light Emitting Diode, που στα ελληνικά σημαίνουν Δίοδος Εκπομπής Φωτός, γνωστή και ως φωτοδίοδος. Πρόκειται για ημιαγωγό δίοδο, που όταν δέχεται ηλεκτρικό ρεύμα ορθής πόλωσης εκπέμπει φως στενού και διακεκομμένου φάσματος.

Η φωτεινότητα των LED μετράται σε lumens και η αποτελεσματικότητα φωτισμού (efficacy) είναι ο λόγος της φωτεινής ενέργειας που παράγεται (Lumens) προς την ενέργεια που καταναλώνει (watt).

Τα LED έγιναν αρχικά γνωστά στο ευρύ κοινό λόγω της χρήσης τους σε ηλεκτρικές συσκευές όπως ραδιόφωνα, τηλεοράσεις, στερεοφωνικά, υπολογιστές, τηλέφωνα κ.α. στη φωτεινή ένδειξη λειτουργίας της συσκευής.

Με το πέρασμα των χρόνων σημειώθηκε αξιοθαύμαστη τεχνολογική αναβάθμιση στη λειτουργία τους και πλέον, χάρη στα πολλά πλεονεκτήματά τους στην προστασία του περιβάλλοντος, στην εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας και στις υψηλές προδιαγραφές ποιότητας φωτός, τα LED φώτα εκτοπίζουν τους συμβατικούς λαμπτήρες και έχουν πια κυρίαρχο ρόλο σε κάθε εφαρμογή φωτισμού. Σε αντίθεση με τα φώτα LED, οι συμβατικοί λαμπτήρες πυρακτώσεως θεωρούνται πλέον ξεπερασμένης τεχνολογίας και ζημιογόνοι σε πολλούς τομείς, καθώς καταναλώνουν μεγαλύτερη ενέργεια, έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής, εκπέμπουν μεγάλη θερμότητα σε σύγκριση με το φως που αποδίδουν και επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Η αντικατάσταση των λαμπτήρων παλαιού τύπου με LED εξασφαλίζει σημαντικά οφέλη σε όλους, ιδιώτες και επαγγελματίες καθώς και δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς: οικίες, επιχειρήσεις, εμπορικά καταστήματα, εστιατόρια, ξενοδοχεία, πολυκαταστήματα, εμπορικά κέντρα, εξωτερικός φωτισμός κτιρίων, δημόσια κτίρια, οργανισμοί,

υπηρεσίες, κλινικές, νοσοκομεία, κέντρα υγείας, σχολεία, πανεπιστήμια, βιομηχανίες, γήπεδα, πάρκα, δρόμοι, πλατείες, φωτισμός ασφάλειας, χώροι υψηλής επικινδυνότητας, φανάρια, πινακίδες σήμανσης, μεταφορικά μέσα, διαφημιστικές πινακίδες, χώροι με ευαίσθητα εκθέματα, χώροι με είδη και προϊόντα ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία ή τη θερμότητα.

4.3 Ιστορικά στοιχεία

Ήταν ο Henri Round από την εταιρεία Marconi Labs ο πρώτος που ανακάλυψε ότι μέσα από τις διόδους ημιαγωγών μπορεί να παραχθεί φως . Αυτό συνέβη στις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Ο Oleg Vladimirovich Losev με καταγωγή από τη Ρωσία ήταν ο δημιουργός του πρώτου LED το 1920, όμως η έρευνά του αγνοήθηκε παρότι είχε δημοσιευθεί σε πλήθος επιστημονικών περιοδικών.

Το 1955 υπήρξε αναφορά από τον Rubin Braunstein του Radio Corporation of America στην υπέρυθρη εκπομπή απ' το γάλλιο arsenide (GaAs) και άλλων κραμάτων ημιαγωγών.

Το 1961 δύο ερευνητές της Texas Instruments και πιο συγκεκριμένα ο Bob Biard και ο Garry Bittman διαπίστωσαν ότι όταν εφαρμοζόταν ηλεκτρικό ρεύμα στο γάλλιο arsenide αυτό εξέπεμπε υπέρυθρη ακτινοβολία. Λίγο αργότερα, οι δύο αυτοί ερευνητές πήραν το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την υπέρυθρη δίοδο εκπομπής φωτός.

Το 1962 το Πανεπιστήμιο του Illinois στο Urbana – Champaign ανέπτυξε το πρώτο πρακτικό ορατό φάσμα LED και ο Nick Holonyak από την General Electric Company θεωρείται ως ο πατέρας της Διόδου Εκπομπής φωτός.

Το 1972 επινοήθηκε το πρώτο κίτρινο LED και το λαμπρότερο κατά 10 φορές κόκκινο και κόκκινο - πορτοκαλί.

Το πρώτο υψηλής φωτεινότητας μπλε LED αποδείχτηκε από τον Shushi Nakamura της ιαπωνικής Nichia Corporation με χρήση του In Gon. Το 2006 του απονεμήθηκε το βραβείο Τεχνολογίας Millenium για την εφεύρεσή του.

Ο Alberto Barbieri στο Cardiff University Laboratory (GB) κατά το 1995 έκανε έρευνα για την αξιοπιστία αλλά και την αποτελεσματικότητα του υψηλού φωτεινότητας LED αποδεικνύοντας μεγάλο αποτέλεσμα με τη χρήση μιας διάφανης επαφής με την κατασκευή της να υλοποιείται από ίδιο οξειδίου του κασσίτερου (ito) (AlGoInP / GaAs) LED.

Το μπλε LED υψηλής απόδοσης μας οδήγησε στην ύπαρξη του λευκού LED, το οποίο ήταν βασισμένο σε μια επίστρωση φωσφόρου από μίγμα κίτρινου και μπλε φωτός ώστε να παραχθεί το λευκό φως

4.4 Ανακάλυψη των LED

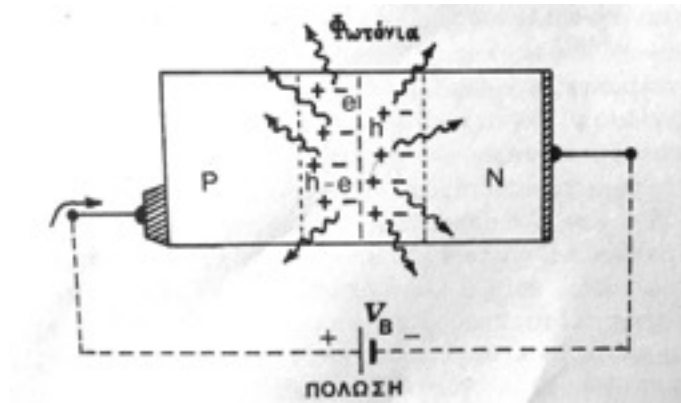
Το 1907 έγινε από τον βρετανό ερευνητή J. Round η πρώτη γνωστή αναφορά για την δίοδο εκπομπής φωτός που εκπέμπει σε στερεά κατάσταση χωρίς όμως να γίνει χρήση αυτής της ανακάλυψης για αρκετά χρόνια. Το 1962 ο Nick Holonyak εφηύρε το πρώτο LED. Βγήκε στο εμπόριο κοντά στο 1970 και το χρώμα του ήταν κόκκινο.

4.5 Χρήση

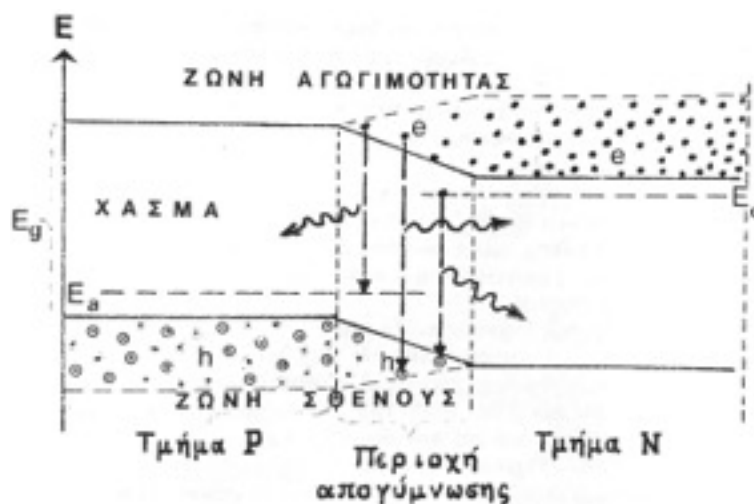
Συνήθως χρησιμοποιούνταν ως υποκατάστατα των δεικτών πυράκτωσης και στα στοιχεία Seven Segment (επτά τμημάτων), αρχικά σε εξοπλισμό εργαστηρίων για εργαστηριακές και ηλεκτρονικές δοκιμές. Στη συνέχεια και με την πάροδο των χρόνων χρησιμοποιήθηκαν σε ηλεκτρονικές συσκευές όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, τηλέφωνα, αριθμομηχανές, ξυπνητήρια και ρολόγια. Η φωτεινότητα των κόκκινων LED και πρώτων σε ανακάλυψη, δεν ήταν τόσο ισχυρή για να φωτίζουν έναν χώρο. Με την πάροδο των χρόνων κι άλλα χρώματα έγιναν διαθέσιμα στην αγορά και έκαναν την εμφάνισή τους σε ακόμα περισσότερες συσκευές και εξοπλισμό. Έτσι όσο η τεχνολογία των υλικών LED αναπτύχθηκε, το φως που εξέπεμπαν αυξήθηκε με αποτέλεσμα να θεωρούνται επαρκώς φωτεινά για να χρησιμοποιηθούν στο φωτισμό χώρων. Με την αύξηση στην καθημερινή ζωή των εφαρμογών LED ήταν αναγκαία η απαλλαγή από τη θερμότητα που εξέπεμπαν για να παραμείνουν αξιόπιστα τα πακέτα που είχαν γίνει πιο περίπλοκα και να είναι κατάλληλα στη διάχυση της θερμότητας.

4.6 Αρχή λειτουργίας

Αν μία εκπέμπουσα φως διόδος πολωθεί με τάση ορθής πόλωσης V_B τότε θα διαρρέεται απο ρεύμα ορθής φοράς I .

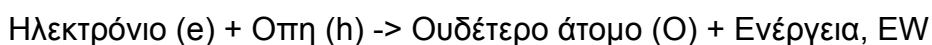


Σχήμα: Σχηματική δομή και πόλωσης διόδου LED.



Σχήμα: Διάγραμμα των ενεργειακών στάθμων διόδου LED.

Στην περιοχή απογύμνωσης της διόδου οι φορείς πλειονότητας έχουν εξουδετερωθεί. Υπάρχουν μόνο ηλεκτρόνια και οπές από την ζώνη αγωγιμότητας και την ζώνη σθένους αντίστοιχα. Λόγω της ροής του ρεύματος γίνονται ομαδικές ανασυνδέσεις ανάμεσα στις οπές και τα ηλεκτρόνια κατά το παρακάτω:



Η ενέργεια EW όπου αποδεσμεύεται σε όλες τις ανασυνδέσεις, συμβολίζει την ενέργεια αποδιέγερσης η οποία απελευθερώνεται όταν το ηλεκτρόνιο πέσει από την στάθμη που έχει στην ζώνη αγωγιμότητας ή στην ζώνη δότη E_d μέχρι την στάθμη της αντίστοιχης οπής στη ζώνη σθένους ή στην στάθμη αποδέκτη E_a . Μπορούμε προσεγγιστικά να πούμε ότι η ενέργεια ανασυνδέσεως EW, θα είναι περίπου ίση προς την ενέργεια χάσματος E_g . Για λίγες μόνο περιπτώσεις των ανασυνδέσεων που προαναφέρθηκαν, η ενέργεια ανασυνδέσεως θα λειτουργεί σαν ενέργεια θερμικής κίνησης με αποτέλεσμα να έχουμε υπερθέρμανση της διόδου. Το φαινόμενο αυτό καλείται θερμική αποδιέγερση. Από την άλλη, για τις περισσότερες περιπτώσεις ανασυνδέσεως η ενέργεια EW θα εκδηλώνεται με την μορφή φωτονίων, ένα για κάθε ανασυνδέση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ακτινοβολική αποδιέγερση. Τα φωτόνια που θα φτάσουν στην εξωτερική επιφάνεια της διόδου, θα δημιουργήσουν εξωτερική εκπομπή ακτινοβολίας. Η εξωτερική αυτή εκπομπή ακτινοβολίας είναι το χαρακτηριστικό των διόδων LED.

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν ακόμα και μία συμβατική δίοδος θα μπορούσε να λειτουργήσει ως δίοδος φωτοεκπομπής. Όμως για να επιτευχθεί σωστή λειτουργία LED και να υπάρξει ισχυρή φωτοεκπομπή είναι απαραίτητη η τήρηση κάποιων, πολύ βασικών, προϋποθέσεων μέσω των οποίων γίνεται διαχωρισμός των διόδων LED από τις συμβατικές ρη διόδους.

Πιο συγκεκριμένα:

- Απαιτείται κατάλληλο υλικό το οποίο να επιτρέπει αρκετά μεγάλο ποσοστό ακτινοβολικών ανασυνδέσεων και να είναι αρκετά διαφανές στα φωτόνια που θα παραχθούν με σκοπό, μία μεγάλη ομάδα από αυτά να βγεί στο εξωτερικό περιβάλλον.
- Είναι απαραίτητο η περιοχή απογύμνωσης να έχει το σωστό πάχος και τις κατάλληλες διαστάσεις. Ταυτόχρονα η δίοδος πρέπει να είναι ειδικά διαμορφωμένη και να διαθέτει το κατάλληλο γεωμετρικό σχήμα. Αυτό θα βοηθήσει στην διατήρη και στην έξοδο των φωτονίων ενώ παράλληλα θα βοηθήσει στην όσο το δυνατόν παρεμπόδιση των ανακλάσεων που λαμβάνουν χώρο στην εξωτερική επιφάνεια.

4.7 Μήκη κύματος και υλικά LED

Μήκος κύματος

Το μήκος κύματος ή αλλιώς το χρώμα στο οποίο θα εκπέμπει στην πλειοψηφία του το φως μίας LED δίοδου είναι άμεσα συνδεδεμένο με το εύρος του ενεργειακού της χάσματος, δηλαδή από το υλικό που χρησιμοποιείται.

Στην περίπτωση των διόδων LED, το φάσμα της ακτινοβολίας τους είναι ιδιαίτερος μικρό. Η διεύρυνση του φάσματος αυτού μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση φωσφόρων, οι οποίοι διεγείρονται από την ακτινοβολία του LED. Άρα, το πραγματικό χρώμα ενός LED καθορίζεται από το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται και αυτό προσδιορίζεται από την πραγματική ένωση ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται στον σχηματισμό της επαφής p-n. Κατά συνέπεια, το χρώμα που είναι κατασκευασμένο το περίβλημα ενός LED δεν σημαίνει πως είναι και το χρώμα που εκπέμπει το LED. αν και αυτό είναι ελαφρά χρωματισμένο τόσο για την ενίσχυση της φωτεινής εξόδου όσο και για να δείχνει το χρώμα του όταν δεν φωτίζεται.

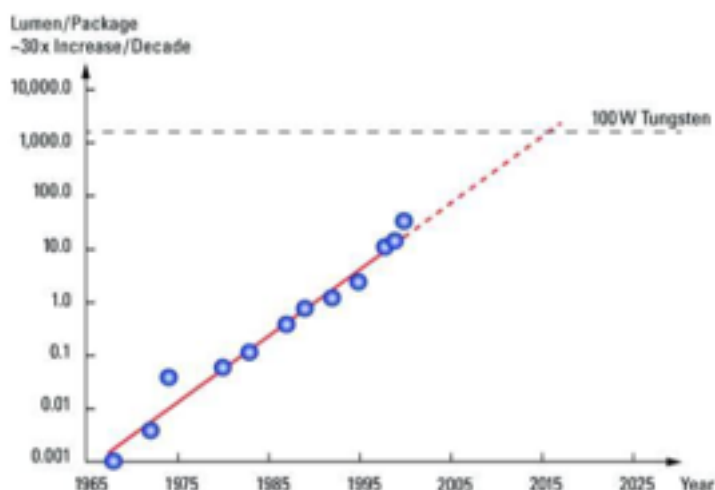
Το υλικό που χρησιμοποιούνταν αρχικά για την κατασκευή των LED ήταν το GaP (φωσφορούχο γάλλιο). Με την τεχνολογία GaP ήταν δυνατή η δημιουργία μηκών κύματος από κόκκινο σε κιτρινωπό πράσινο. Όμως ένα μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής ήταν η ελάχιστη διάρκεια ζωής των LED σε μεγάλες θερμοκρασίες κάτι για το οποίο το GaP δεν χρησιμοποιείται πλέον στην δημιουργία των LED. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το Al-GaAs (αλουμίνιο αρσενικούχο γάλλιο) με σκοπό για να δημιουργήσει ένα φάσμα χρωμάτων από πράσινο σε κόκκινο. Ωστόσο, τα LED που κατασκευάζονται με αυτό το υλικό έχουν πολύ χαμηλή απόδοση καθώς και διάρκεια ζωής με συνέπεια η χρήση αυτού του υλικού για την κατασκευή LED στις μέρες μας, να είναι μηδαμινή.

Τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα ήρθε να εξαλείψει το AlInGaP (Αλουμίνιο ινδίο φωσφορούχο γάλλιο). Το υλικό αυτό είναι ιδανικό για να αντοχή σε μεγάλες θερμοκρασίες και ρεύματα.

Το AlInGaP χρησιμοποιείται για την παραγωγή υψηλής φωτεινότητας πορτοκαλί και κόκκινου χρώματος LED.

Στις αρχές της δεκαετίας του 90, οι επιστήμονες ανέπτυξαν το InGaN (νιτρίδιο γαλλίου ινδίου) ώστε να χρησιμοποιηθεί σε LED. Το InGaN χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την κατασκευή των μπλε LED. Ωστόσο είναι ικανό να παράγει ένα μεγάλο φάσμα του πρα-ΐσινου και του μπλε χρώματος συμπεριλαμβανομένης και της υπεριώδους ακτινοβολίας. Αναμφίβολα, κυρίαρχο ρόλο στην τεχνολογία LED καταλαμβάνει το LED χρώματος μπλε. Το χρώμα αυτό, είναι χρώμα μικρού μήκους κύματος και συνεπώς υψηλής ενέργειας. Το μπλε είναι χρώμα που έχει θέση στο τέλος του ορατού φάσματος, για τον λόγο αυτό είναι και εύκολη η μετάπτωση του σε πράσινο, κίτρινο και κόκκινο φως χρησιμοποιώντας παθητικά φωσφορίζοντα και φθορίζοντα υλικά. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ακόμα πως τα μπλε LED χρησιμοποιούνται μαζί με φώσφορο για να την δημιουργία λευκών LED.

Είναι φανερό απο το την παρακάτω εικόνα πως ο νόμος του Haitz, που αναπτύχθηκε στην αρχή για το κόκκινο LED, συνεχίζει και για τα λευκά LED.



Σχήμα: Ο νόμος του Haitz.

Ο Roland Haitz προέβλεψε την αύξηση της έντασης του φωτός για τα φώτα LED καθώς και την εξέλιξη του κόστους παραγωγής τους που θα έχει πτωτική πορεία. Ο Ronald Haitz υποστήριξε πως η ένταση του φωτός από ένα συσκευασμένο LED θα πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή από 20 που ίσως φτάσει το 30 ανά δεκαετία και πως το κόστος παραγωγής θα μειωθεί κατά ένα συντελεστή 10 ανά δεκαετία. Όπως είναι πια φανερό η πρόβλεψη του ήταν πέρα για πέρα ορθή με βάση τα αποτελέσματα των τελευταίων ετών.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο πίνακας που αναφέρει τα χρώματα ακτινοβολίας των LED σε σχέση με τις προσμίξεις της επαφής p-n, το μήκος κύματος του κάθε χρώματος και την τάση τροφοδοσίας (V_F) που χρειάζεται κάθε LED με σταθερό ρεύμα.

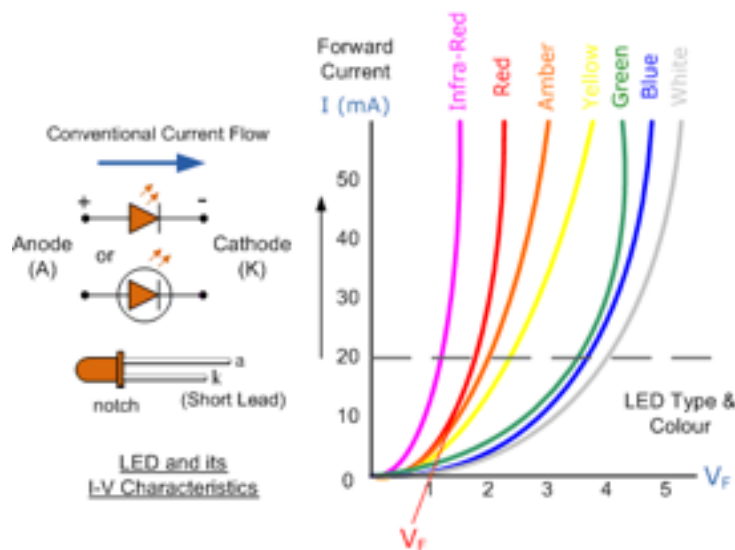
Typical LED Characteristics			
Semiconductor Material	Wavelength	Colour	V_F @ 20mA
GaAs	850-940nm	Infra-Red	1.2v
GaAsP	630-660nm	Red	1.8v
GaAsP	605-620nm	Amber	2.0v
GaAsP:N	585-595nm	Yellow	2.2v
AlGaP	550-570nm	Green	3.5v
SiC	430-505nm	Blue	3.6v
GaInN	450nm	White	4.0v

Σχήμα: Χρώματα ακτινοβολίας LED βάση των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Οι δίοδοι LED είναι συνυφασμένες με το ρεύμα λειτουργίας τους καθώς και την τάση ορθής πόλωσης V_F . Όπως δηλαδή συμβαίνει και στις απλές διόδους επαφής p-n. Η διαφορά τους έγκειται στο σημείο αγωγιμότητας τους η οποία επηρεάζεται ανάλογα με τους ημιαγωγούς που χρησιμοποιούνται καθώς και ανάλογα με το χρώμα της ακτινοβολίας τους. Στα κόκκινα LED είναι περίπου 1.2V και LED χρώματος μπλε είναι σχεδόν 3.6V.

Η πτώση τάσης εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τον κατασκευαστή εξαιτίας των διαφορετικών υλικών προσμίξεως και τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται. Παράλληλα μία ενδεχόμενη πτώση τάσης στα άκρα μίας διόδου LED σε μια συγκεκριμένη τιμή ρεύματος, παραδείγματος χάριν για 20mA όπου αναγράφεται και στον παραπάνω πίνακα, εξαρτάται και από το σημείο αγωγιμότητάς του V_F .

Οι χαρακτηριστικές του καμπύλες ρεύματος - τάσης ορθής πόλωσης για κάθε χρώμα φωτός φαίνονται στο διάγραμμα του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα: Χαρακτηριστικές I-V ανάλογα με το χρώμα ακτινοβολίας μίας διόδου LED.

Υλικά

Η επιλογή του υλικού στην κατασκευή των LED περιορίζεται από μια σειρά απαιτήσεων που καλύπτονται από μόνο έναν περιορισμένο αριθμό ημιαγωγών. Αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

1. Ο διαζωνικός ημιαγωγός πρέπει να αντιστοιχεί στην επιθυμητή ενέργεια φωτονίων.
2. Ένας μηχανισμός επανασυνδυασμού με συνέπεια την αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας πρέπει να υπάρξει.
3. Πρέπει να είναι δυνατό να ναρκωθεί το υλικό των p και n σε μια υψηλή πυκνότητα.
4. Η προκύπτουσα p - n σύνδεση πρέπει να έχει άριστες υλικές δυνατότητες έτσι ώστε στην περίπτωση που ισχύει ο όρος (3) να υπάρχει αποτελεσματική τρέχουσα εισαγωγή. Έτσι συνήθως βλέπουμε ότι η κατασκευή των διόδων LED προκύπτει από ενιαία κρύσταλλα.

Η συνιθισμένη δίοδος LED είναι όπως είπαμε και παραπάνω μια p - n επαφή που όταν πολώνεται ορθά εγχέει ηλεκτρόνια και οπές στις πλευρές p και n . Το φορτίο μειονότητας που εγχέεται συνδέεται ξανά στην περιοχή απογείμνωσης ή στην ουδέτερη περιοχή με το φορτίο πλειονότητας. Σε υλικά έμμεσου χάσματος η εκπομπή φωτός είναι αρκετά μικρή και για τον λόγο αυτό το μεγαλύτερο μέρος των διαδρομών επανασύνδεσης δεν εκπέμπουν ακτινοβολία αλλά θερμότητα. Σε αντίθεση με τα υλικά έμμεσου χάσματος, στους ημιαγωγούς άμεσης ζώνης μέσω της επανασύνδεσης οδηγούμαστε σε εκπομπή φωτός καθώς η ακτινοβολία αυτή την φορά επανασύνδεση επικρατεί σε υλικά υψηλής ποιότητας.

Οι συσκευές εκπομπής φωτός είναι μια κατηγορία συσκευών που χάρη σε αυτές έχει δημιουργηθεί μία μεγάλη ώθηση στη βιομηχανία των ημιαγωγών. Για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των LED, τα υποστρώματα που επιτρέπουν το εκπεμπόμενο μήκος κύματος να περάσει από μέσα τους είναι φτιαγμένα από μια αντανακλαστική στρώση που μέσω αυτής το φως πάει παντού. Απαραίτητη προϋπόθεση ώστε το φως που παράγεται να μην αντανακλάται μερικώς πίσω στον ημιαγωγό, καθώς τότε θα έχουμε περισσότερη θερμότητα και συνεπώς μείωση της απόδοσης, είναι ο δείκτης διάθλασης του υλικού συσκευασίας να ταιριάζει με τον δείκτη των ημιαγωγών. Αυτό μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση που το LED συνδέεται σε ένα υπόστρωμα με διαφορετικό δείκτη διάθλασης όπως για παρά-

δειγμα στον αέρα. Ως επί το πλείστον το LED είναι συνδεδεμένο σε κάποιο μέσο που έχει μικρότερο δείκτη.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που οδηγεί στην αναποτελεσματικότητα των LED είναι η ανάκλαση λόγω της τεράστιας διαφοράς του δείκτη διάθλασης καθώς δεν είναι λίγες οι φορές που έχουμε αντανάκλαση αφού το μεγαλύτερο κομμάτι του φωτός που εκπέμπεται γυρνάει πίσω στο LED. Χρησιμοποιώντας ένα πακέτο που το σχήμα του μοιάζει σαν μισή σφαίρα, έχοντας τη δίοδο στο κέντρο με σκοπό οι ακτίνες να πέφτουν κάθετα στην επιφάνεια επιτυγχάνουμε σημαντική μείωση της ανάκλασης.

Άλλες λύσεις στο πρόβλημα για τη μείωση της ανάκλασης είναι ο σχεδιασμός του LED έτσι ώστε να απορροφά το φως που έχει ανακλαστεί και να το εκπέμπει ξανά. Αυτό γίνεται με την ανάκλαση φωτονίων.

4.8 Βασικά είδη LED

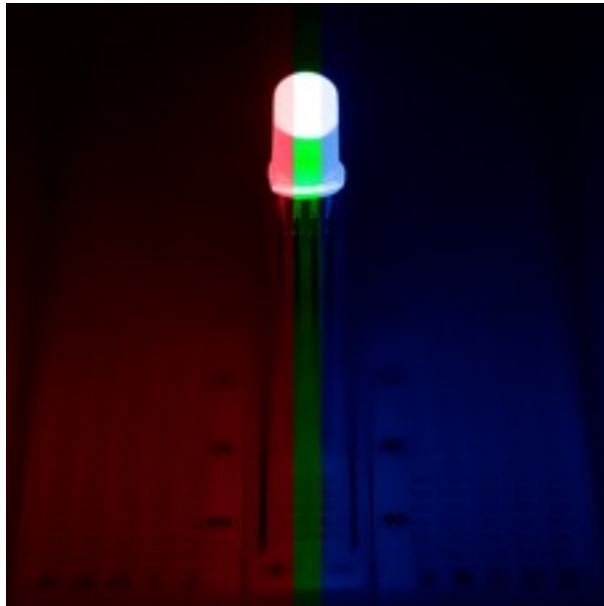
Ημισφαιρικό LED 5 mm μολύβδινου πλαισίου

Το LED αυτό, χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στις ηλεκτρονικές συσκευές σαν λυχνία. Το περίβλημα της επαφής p-n των LED αυτής της κατηγορίας διαθέτει εποξειδικές ρητίνες. Στο εσωτερικό του έχουν φακούς κυλινδρικής και ορθογώνιας γεωμετρίας. Η μήτρα βρίσκεται σε ένα κωνικό κύπελλο ανακλαστήρα που ενσωματώνεται στη μολύβδινη καθόδου. Η άνοδος συνδέεται με την μήτρα μέσω ενός σύρματος συγκόλλησης. Το εξερχόμενο φως του LED αντανακλάται από το κύπελλο μέσα στο εποξικό σώμα.

λόγω της απλής κατασκευής του και του γεγονότος ότι το εποξικό περίβλημα λειτουργεί σαν φακός έχουμε μειωμένο κόστος παραγωγής. Ένα μειονέκτημα του ημισφαιρικού LED 5 mm είναι αναμφίβολα η θερμότητα που δημιουργείται στο chip. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται μέσω της οπής της καθόδου και της κόλλησης γεγονός που σημαίνει ότι δυσκολεύεται στο να απεγκλωβιστεί από τη συσκευασία. Εξαιτίας του εγκλοβισμού αυτού της θερμότητας έχουμε μείωση της απόδοσης της ενέργειας του LED.

Τα εποξικά υλικά που χρησιμοποιούνται αλλοιώνονται κάτω από δυνατό μπλε φως με συνέπεια την μείωση της διάρκειας ζωής των μπλε και λευκών LED. Τα LED αυτής της κατηγορίας είναι αδύνατο να λειτουργήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τέλος περιέχουν μήτρα από 0,25 έως 0,3 mm και η διάμετρος του φακού υπολογίζεται από 2 έως 10 mm. Είναι διαθέσιμα σε διαμέτρημα των 3, 4 και 5 mm ενώ, έχουν ρεύμα λειτουργίας 20 με 50 mA.



Σχήμα: Ημισφαιρικό LED 5 mm

LED επιφανειακής στήριξης (SMD)

Στην συνέχεια έχουμε τα LED επιφανειακής στήριξης. Τα LED αυτά εκπέμπουν ίδια απόδοση φωτός και χειρίζονται όμοια ρεύματα με τα LED 5 χιλιοστών. Όμως, έχουν ένα σοβαρό πλεονέκτημα. Αυτό είναι ότι μπορούν να εφαρμόσουν σε PCB με σάνταρ εξοπλισμό αυτόματης τοποθέτησης και συγκόλλησης.

Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τον οπίσθιο φωτισμό των οργάνων των αυτοκινήτων, των ηλεκτρολογίων, των κινητών τηλεφώνων και τέλος ως ενδεικτικές λυχνίες σε υπολογιστές.



Σχήμα: SMD LED

LED υψηλής ισχύος

Τα LED υψηλής ισχύος κατασκευάζονται πάνω σε αλουμινένια ή χάλκινη ψύκτρα απαγωγής θερμότητας ενώ έχει την δυνατότητα να συγκολληθεί σε τυπωμένο κύκλωμα με σκοπό την πιο αποτελεσματική απαγωγή της θερμότητας. Η μήτρα μπαίνει σε ένα στρώμα σιλικόνης σχεδιασμένο για την απορρόφιση της εσωτερικής ανάκλασης των εκπεμπόμενων κυματικών μετώπων.

Ένα χρυσό σύρμα συνδέει την μολύβδινη κάθοδο με τη μήτρα. Η μήτρα βρίσκεται σε ένα chip πυριτίου για την προστασία από ηλεκτροστατικές εκκενώσεις.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα LED υψηλής ισχύος:

- Λόγω της ψύκτρας μπορεί να χειρίζεται μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με τα LED 5 χιλιοστών.
- Ο φακός δεν είναι ευαίσθητος στο μπλε φως εξαιτίας του πλαστικού της κατασκευής του. Αποτέλεσμα είναι η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους.
- Ο σχεδιασμός και το μέγεθος της ψύκτρας είναι ιδιαίτερος σημαντικά στοιχεία.
- Όταν οδηγούνται από υψηλά ρεύματα ορθής πόλωσης, ας πούμε 1000mA, παράγουν πάνω από 300 lm φωτεινότητας.



4.9 Μίξη χρωμάτων και προβλήματα

Λόγω της ικανότητας τους στην δημιουργία ενός μεγάλου φάσματος χρωμάτων αλλάζοντας την έξοδο των διαφορετικών χρωμάτων και την μίξη του χρωματιστού φωτός που παράχθηκε, με βάση έναν λαμπτήρα, οι δίοδοι εκπομπής φωτός χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σε εφαρμογές φωτισμού.

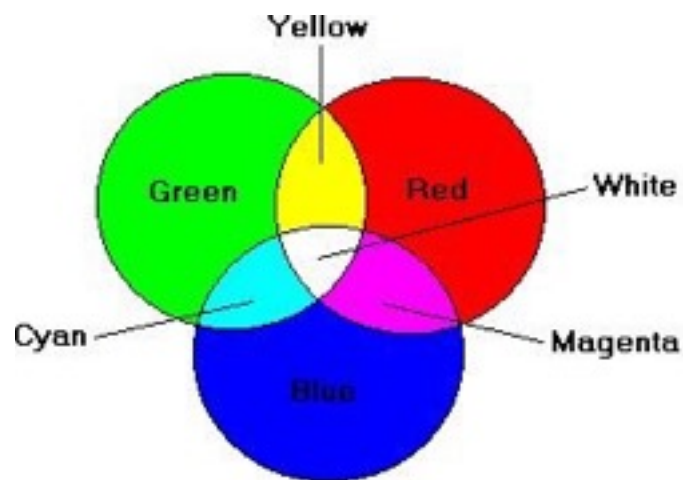
Κατά την αρχή της προσθετικής ανάμιξης χρωμάτων, το παραγόμενο φως από ένα κόκκινο, πράσινο και μπλε LED μπορούν να αναμιχθούν μαζί ώστε να δημιουργήσουν μια γκάμα μεγάλου εύρους χρωμάτων μεταβάλλοντας την ένταση του φωτός από κάθε ένα από αυτά.

Πριν την ανακάλυψη των LED οι αλλαγές στο χρώμα γίνονταν χρησιμοποιώντας μηχανικά φίλτρα ή με την χρησιμοποίηση λαμπτήρων φθορισμού τριών χρωμάτων. Τα χρώματα αυτά ήταν το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε.

Σήμερα αποτελούν την βασική επιλογή για εφαρμογές φωτισμού που είναι απαραίτητη η αλλαγή χρώματος. Οι λόγοι είναι οι εξής:

- Το εκπεμπόμενο φως των LED είναι με διαφορά περισσότερο κορεσμένο εν συγκρίσει με το χρωματικό φως διαφορετικών τύπων λαμπτήρων.
- Για χρήσεις DIMMER (Τα DIMMERS είναι ηλεκτρονικοί μηχανισμοί με τους οποίους μπορούμε να ρυθμίζουμε την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται σε ωμικά και επαγωγικά φορτία όπως είναι οι λυχνίες φωτισμού νήματος πυράκτωσης, οι αντιστάσεις θέρμανσης, μερικοί μετασχηματιστές και μερικοί ηλεκτροκινητήρες), τα LED είναι ικανά να ρυθμιστούν πλήρως δίχως να παρατηρηθεί κάποια αλλαγή στο χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός, πράγμα που δεν συμβαίνει με τους συμβατικούς λαμπτήρες.

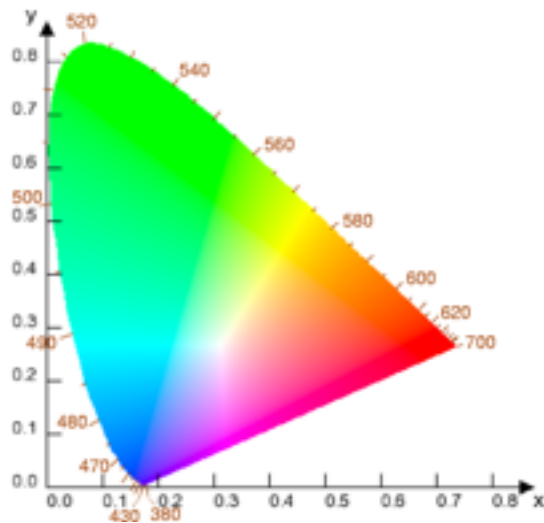
- Κατά την ενεργοποίηση των LED παρέχεται το 100% του φωτός τους αμέσως. Κατά συνέπεια το επιθυμητό χρώμα δίνεται ακριβώς την ώρα της ενεργοποίησης, πράγμα που δεν συμβαίνει με μία μεγάλη γκάμα συμβατικών λαμπτήρων εκκένωσης.
- Το φάσμα του εκπεμπόμενου φωτός κάποιων LED είναι εύκολο να προσαρμοστεί.
- Το σύστημα RGB μπορεί ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή λευκού φωτός, μεγαλώνοντας έτσι το φάσμα των εφαρμογών.



Σχήμα: Μίξη χρωμάτων συστήματος RGB

Τα LED διαθέτουν δύο βασικούς τύπους συστήματος ανάμιξης του χρωμάτος. Τα συστήματα αυτά είναι τα εξής: το RGB σύστημα (κόκκινο, πράσινο, μπλε) και το AWB σύστημα (πορτοκαλί, λευκό, μπλε). Όπως αναφέραμε και παραπάνω το φως από ένα κόκκινο, πράσινο και μπλε LED μπορούν να αναμιχθεί για την δημιουργία μίας πλειάδας χρωμάτων μέσα στα οποία συμπεριλαμβάνεται και το λευκό. Ο αριθμός των πιθανών χρωμάτων που μπορούν να παραχθούν προσδιορίζεται με γραφική παράσταση των σημείων των χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και μπλε LEDs στο διάγραμμα CIE (Το σύστημα CIE χαρακτηρίζει τα χρώματα με φωτεινότητα παραμέτρου Y και δύο χρωματικές συντεταγμένες x και y που καθορίζουν το σημείο στο διάγραμμα χρωματικότητας). Η περιοχή του τριγώνου που σχηματίζεται φανερώνει τα διάφορα χρώματα που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν.

Στην περίπτωση του συστήματος ανάμειξης χρωμάτων RGB (Red Green Blue), το έγχρωμο φως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα αρκετά μεγάλο φάσμα εφαρμογών.



Σχήμα: Χρωματικό διάγραμμα CIE.

Το σύστημα ανάμειξης χρωμάτων AWB (Automatic White Balance) χρησιμοποιείται με σκοπό την λήψη διάφορων αποχρώσεων του λευκού φωτός. Πιο συγκεκριμένα, χάρη σε αυτό το σύστημα μπορούμε να μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία χρώματος του φωτός που λαμβάνεται. Η αύξηση της θερμοκρασίας χρώματος επιτυγχάνεται με την αύξηση του ρεύματος μέσω του μπλε LED και η χαμηλότερη θερμοκρασία χρώματος επιτυγχάνεται αντίστοιχα, με την αύξηση της εξόδου φωτός του πορτοκαλί LED.

Στην περίπτωση χρώματος μέσω μίξης AWB (Automatic White Balance) το αποτέλεσμα μπορεί να είναι αρκετά λεπτό, κάτι απολύτως επιθυμητό από τους σχεδιαστές ώστε να τροποποιήσουν τη διάθεση και την αντίληψη του χρώματος των υλικών.

Ωστόσο, όταν ένα αντικείμενο φωτίζεται από μια πηγή RGB LED, έχουμε δύο διαφορετικά οπτικά αποτελέσματα εξαιτίας κάποιων περιορισμών τεχνολογικής φύσεως. Το παραπάνω φαινόμενο εντοπίζεται συνήθως όταν έχουμε να κάνουμε με LED Spot RGB που η χρήση τους κατά μείζονα λόγο περιορίζεται για φωτισμό έμφασης (accent lighting).

Πιο συγκεκριμένα:

- Στην περίπτωση που το φωτειζόμενο αντικείμενο, τοποθετηθεί πολύ κοντά στην πηγή φωτός RGB, τότε πάνω στο αντικείμενο μπορεί να παρατηρηθεί ένα έγχρωμο αποτύπωμα της ίδιας φωτεινής πηγής.
- Ανησυχητικές έγχρωμες σκιές μπορεί μερικές φορές να παρατηρηθούν πίσω από το αντικείμενο.

Οι επιδράσεις αυτές είναι ανεπιθύμητες. Ο σωστός σχεδιασμός ενός φωτιστικού μπορεί να ελαχιστοποιήσει αυτά τα οπτικά αποτελέσματα με ανάμιξη του φωτός εντός του φωτιστικού. Η κατανομή φωτός που θέλουμε μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση ενός φακού ή ακόμα με την χρήση ενός κατευθυντήρα.

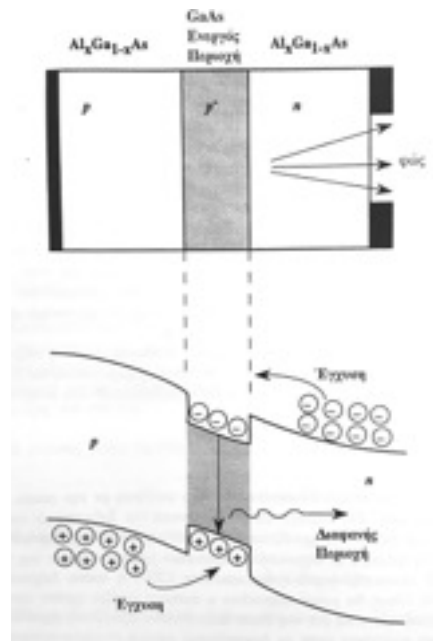
4.10 Εξελιγμένες δομές LED

Μολονότι η δυσκολία για βελτίωση της φασματικής καθαρότητας και της χρονικής απόκρισης χωρίς να γίνει χρήση των διόδων LASER είναι μεγάλη, έχουν πραγματοποιηθεί πολλά βήματα βελτίωσης και εξέλιξης της LED τεχνολογίας.

LED Ετεροδομής

Η κατασκευή μίας συμβατικής LED από ένα απλό ημιαγωγό επιφέρει αρκετά προβλήματα που είναι υπεύθυνα για την μείωση της απόδοσης της συσκευής. Αναφορικά, ένα πρόβλημα είναι ότι σε μια δίοδο LED κατασκευασμένη από ένα απλό ημιαγωγό, το πλήθος των φωτονίων που εκπέμπονται είναι απαραίτητο να βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια για να αποτραπεί η απορρόφιση των εκπεμπόμενων φωτονίων. Ακόμα, όσο πλησιάζουμε στην επιφάνεια η ποιότητα του ημιαγωγού υστερεί λόγω των ατελειών που εμφανίζονται. Τούτο, δημιουργεί πολλές μη-ακτινοβόλες επανασυνδέσεις. Παράλληλα, ένα ακόμα πρόβλημα είναι ο μεγάλος ενεργός όγκος, μέσα από τον οποίο εξέρχονται τα φωτόνια. Αυτό συμβαίνει λόγω της έκχυσης των ηλεκτρονίων από την n πλευρά σε αυτή της p , κάτι που καθιστά αρκετά πιθανή την διάχυση αυτών σε μεγάλες αποστάσεις πριν συνδεθούν ξανά με οπές.

Σε αντίθεση με την LED ομοιοδομής, στην ετεροδομή LED παρατηρείται εξάλειψη των προβλημάτων που αναφέρθηκαν καθώς εγγχεί φορτίο από υλικό μεγαλύτερου ενεργειακού φάσματος σε περιοχή στενού φάσματος. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε μια σχηματική απόδοση μίας διόδου LED.



Σχήμα: Σχηματική αναπαράσταση LED ετεροδομής

Οπές και ηλεκτρόνια εγχέονται από τις περιοχές p και n περιοχές μεγάλου ενεργειακού χάσματος κάτω από την ενεργό περιοχή. Τα εκπεμπόμενα φωτόνια δεν απορροφώνται στην άνω περιοχή αφού έχουμε λιγότερη ενέργεια φωτονίων από το ενεργειακό χάσμα των περιοχών p και n.

Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι δίοδοι LED ετεροδομών είναι ως επί το πλείστον το GaAs/AlGaAs που αναπτύσσεται σε GaAs και το InGaAs/InGaAsP που με την σειρά του αναπτύσσεται σε υποστρώματα InP, ενώ η ενεργός περιοχή είναι στα 0.1 - 0.2 μm .

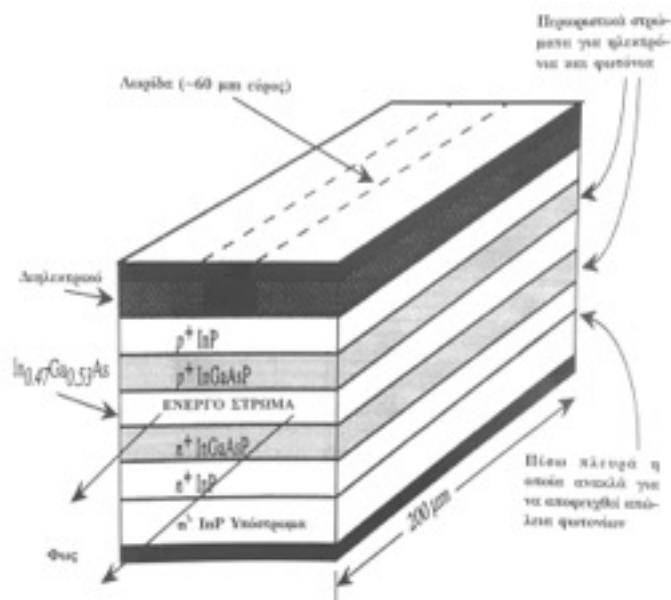
LED Εκπομπής Άκρου

Άκρος σημαντικός παράγοντας στην οπτική επικοινωνία είναι η απόδοση με την οποία το εκπεμπόμενο φως μιας διόδου LED ενώνεται σε μία οπτική ίνα. Η τεχνολογία ετεροδομών χρειάζεται για την κατασκευή LED εκπομπής άκρου (Edge Emitting LED).

Η συσκευή της Edge Emitting LED παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες με την δίοδο LASER με την διαφορά ότι στην δεύτερη δίνεται μεγάλη λεπτομέρεια και προσοχή ώστε να παραχθεί οπτική κοιλότητα για την διαφύλαξη της οπτικής ανατροφοδότησης.

Κυρίαρχο ρόλο στην τεχνολογία των διόδων LED εκπομπής άκρου έχουν αναμφίβολα τα στρώματα μανδύα εξαιρετικά μεγάλου ενεργειακού χάσματος. Σκοπός τους είναι ο περιορισμός στο ενεργό στρώμα των ηλεκτρονίων και των οπών αλλά και ο εξαναγκασμός των φωτονίων που εκπέμπονται να κατευθύνονται κατά μήκος του άξονα της διόδου LED και να βγαίνουν από το άκρο της συσκευής.

Λόγω της καλύτερης ευθυγράμμισης της διόδου LED εκπομπής άκρου, παρατηρείται μεγάλη βελτίωση της απόδοσης στην ένωση με μία οπτική ίνα.



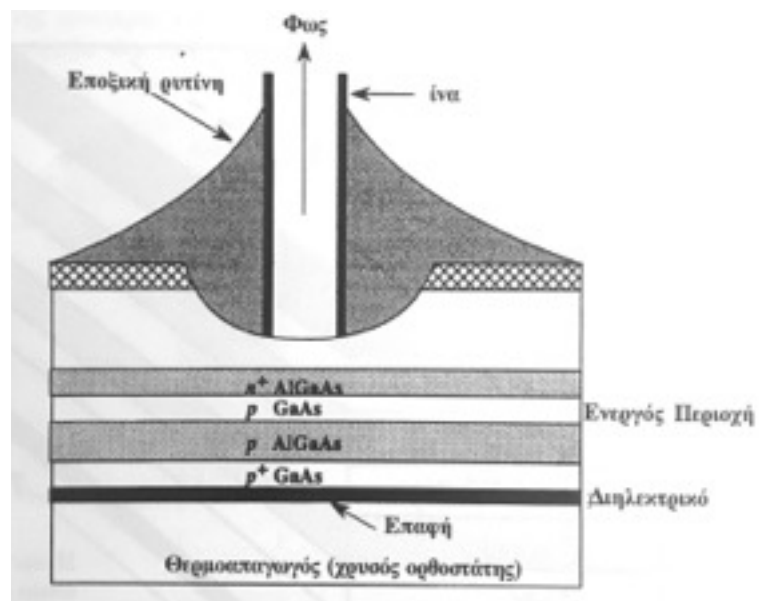
Σχήμα: Σχηματική παρουσίαση διόδου LED εκπομπής άκρου.

LED Εκπομπής Επιφάνειας

Το 1970 ο Burrus και ο Dawson πραγματοποίησαν για πρώτη φορά, αναμφίβολα μία ακόμα σημαντική κατηγορία διόδων LED, την LED εκπομπής επιφάνειας (Surface Emitting LED). Η λογική της είναι ότι μία οπτική ίνα ενώνεται στο άκρο της LED με απόξεση της LED και προσαρμόζει την ίνα με εποξική ρυτίνη.

Στην ουσία η ίδια η LED είναι μία LED ετεροδομής που έχει μία λεπτή ενεργό περιοχή χαμηλού εμεργειακού φάσματος περιβαλλόμενη από περιοχές ιδιαίτερας μεγάλου ενεργειακού χάσματος.

Τα εκπεμπόμενα φωτόνια ενώνονται κατευθείαν στην οπτική ίνα. Σε διάφορα τμήματα της LED τοποθετείται ένας μικροφακός. Ο μικροφακός αυτός αναλαμβάνει τον ρόλο της βελτίωσης στην απόδοση ένωσης.



Σχήμα: Σχηματική παρουσίαση διόδου LED εκπομπής επιφάνειας.

4.11 Τρέχουσες εξελίξεις τεχνολογίας

Η TOSHIBA συνέβαλε κατά πολύ σε σχέση με τη φωτεινότητα των LED καθώς δημιούργησε LED φτιαγμένα από τους ημιαγωγούς InGaALP καθώς με τη χρήση MOCVD ήταν δυνατή η παραγωγή 90% περισσότερου φωτός. Ταυτόχρονα με τη χρήση ενός στρώματος παρεμπόδισης στη δομή των LED αυξήθηκε η απόδοση των συσκευών.

Τη δεκαετία του 1990 η ανάπτυξη των LED είχε ως βάση τη σήμανση του ελέγχου κυκλοφορίας, τις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων, στις οποίες εμφανίζονταν βασικές πληροφορίες, ειδήσεις αλλά και διαφημιστικά προϊόντα. Τέλος σε εφαρμογές αυτοκινήτων.

Μετά το πέρασμα πολλών ετών ήρθαν στην αγορά τα ορατά LED. Τα μπλε LED εξαιτίας της αρκετά αυξημένης ενέργειας του φωτονίου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 2.5eV σε συνδυασμό με τη μειωμένη ευαισθησία των ματιών, ήταν δύσκολο να παραχθούν.

Η δυσκολία αυτή συνίστατο στο γεγονός πως η τεχνολογία που χρειαζόταν για τη δημιουργία τους, απέιχε κατά πολύ από την τεχνολογία των πρότυπων LED.

Καθώς έχουμε ορισμένη τάση στο chip, τα ηλεκτρόνια είναι εύκολο να κινούνται προς μια κατεύθυνση μόνο κατά μήκος της σύνδεσης στην περιοχή των P και N. Στη μεριά των p βρίσκονται περισσότερα φορτία που είναι θετικά φορτισμένα παρά αρνητικά. Αντίθετα, στη μεριά των n τα ηλεκτρόνια είναι περισσότερα από τα ηλεκτρικά θετικά φορτία.

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται μια τάση, με αποτέλεσμα να έχουμε ροή ηλεκτρονίων, αυτά, στην περιοχή n έχουν τόση ενέργεια όση χρειάζεται ώστε να τα κάνει να κινηθούν κατά μήκος της σύνδεσης στην περιοχή p.

Ξέρουμε πως όταν το ηλεκτρόνιο φτάνει πολύ κοντά σε ένα θετικό φορτίο στην περιοχή p, έχουμε ένωση των δύο φορτίων. Όταν επιτυγχάνεται μια ένωση ηλεκτρονίου με θετικό φορτίο τότε η ενέργεια που παράγουν είναι ηλεκτρομαγνητική.

Στην περίπτωση ένωσης ενός θετικού κι ενός αρνητικού φορτίου εκπέμπεται μια ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με τη μορφή φωτονίου σε συχνότητα σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατασκευής του υλικού από το οποίο αποτελείται ο ημιαγωγός.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι συνυφασμένη προς την τάση που χρειάζονται τα ηλεκτρόνια για να κινηθούν κατά μήκος της σύνδεσης Pn

Σύμφωνα με τον τύπο $E = q \cdot V$ Joules, η ενέργεια του φωτός που εκπέμπεται από το LED έχει να κάνει με το ηλεκτρικό φορτίο ενός ηλεκτρονίου και την τάση που χρειάζεται το LED ώστε να ανάψει.

Η συχνότητα του φωτός που εκπέμπεται συσχετίζεται με το μήκος κύματος του φωτός με αυτόν τον τρόπο:

Μέσω της σχέσης $c = \lambda \cdot f$ το μήκος κύματος του φωτός συσχετίζεται με τη συχνότητα του φωτός, όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός, λ είναι το μήκος κύματος του φωτός.

4.12 Παράγοντες που επηρεάζουν την αξιοπιστία και χρόνο ζωής των LED

Η διάρκεια λειτουργίας των LED μπορεί να υπερβεί εύκολα τις 50.000 ώρες. Τα LED παρουσιάζουν αστοχίες εξαιρετικά σπάνια σε σχέση με άλλες πηγές φωτός. Κατά την περίοδο λειτουργίας τους μειώνεται σταδιακά η φωτεινή ροή τους. Στην ουσία, τα LED δε χρειάζονται καμιά συντήρηση. Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάζουν την απόδοση ενός μεμονωμένου LED, που περιγράφουμε πιο κάτω, μπορούν ταυτόχρονα να επηρεάσουν και όλη τη μονάδα LED.

Χημικά - Περιβάλλον

Η καταπόνηση των LED που προκαλείται από χημικές επιδράσεις μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία της εφαρμογής. Έτσι, κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού LED πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Πιο κάτω παρατίθενται στοιχεία που επιδρούν αρνητικά στη διάρκεια ζωής των LED.

- Διαβρωτική ατμόσφαιρα
- Χημική βιομηχανία
- Πισίνες με μεσαία περιεκτικότητα χλωρίου
- Κλίμα περιοχών κοντά σε θάλασσα με μεσαία περιεκτικότητα αλάτων

Υγρασία

Το LED αυτό καθαυτό είναι αρκετά ανθεκτικό και διαθέτει προστασία από κραδασμούς. Έτσι, λοιπόν αν γίνει σωστή χρήση του, η υγρασία δε θα αποτελεί πρόβλημα καθώς το LED θα μένει ανεπηρέαστο, όμως θα δημιουργηθεί πρόβλημα στα διάφορα μεταλλικά μέρη, στις συνδέσεις και τα ηλεκτρονικά στοιχεία που βρίσκονται στο εσωτερικό της μονάδας LED που είναι ευαίσθητα και μπορούν να διαβρωθούν δημιουργώντας έτσι αστοχία. Η σωστή επιλογή υλικών για τη μονάδα LED αποτρέπει τη διάβρωση.

Φως

Ο σχεδιασμός του περιβλήματος των LED έχει κυρίαρχο ρόλο στη διαδικασία γήρανσης του συγκεκριμένου στοιχείου, η οποία επηρεάζεται από το φως που εκπέμπεται από το τσιπ. Στο σχεδιασμό πολλών περιβλημάτων, η γήρανση του ενσωματωμένου ανακλαστήρα είναι μεγάλη τις πρώτες ώρες λειτουργίας εξαιτίας της μεγάλης έντασης και της φωτεινότητας που εκπέμπει το τσιπ.

Μηχανική επίδραση

Είναι πιθανό κατά την κατασκευή, τη συναρμολόγηση και τη διαχείριση των LED ακόμα και την ώρα χρήσης ορισμένων υλικών που αναπτύσσουν μηχανικές δυνάμεις κατά τη διάρκεια μεγάλων μεταβολών της θερμοκρασίας. Η έκθεση ενός LED σε δυνάμεις αυτού του τύπου μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή του.

Κατανάλωση ισχύος

Το LED μπορεί να λειτουργήσει σε ένα συγκεκριμένο εύρος ρεύματος. Όσο χαμηλότερο είναι το ρεύμα μέσα σε αυτό το εύρος, τόσο λιγότερη ενέργεια απελευθερώνεται, άρα, είναι χαμηλότερη και η θερμοκρασία που εκπέμπεται, το οποίο έχει αλληλεπίδραση στο χρόνο ζωής του.

Θερμοκρασία

Η παραγωγή φωτός προκαλεί αυτομάτως και παραγωγή θερμότητας, επηρεάζοντας έτσι τον κύκλο ζωής και τη φωτεινότητα των LED. Αυτό ισχύει για ολόκληρες τις μονάδες LED. Γι' αυτό είναι αναγκαίο να γίνεται απαγωγή της θερμότητας με τους κατάλληλους τρόπους. Γενικά, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ζωής του LED και ταυτόχρονα η αποδοτικότητα και η φωτεινότητά του διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στον ρόλο της θερμότητας παρακάτω που παίζει ίσως τον κυριότερο ρόλο στην αξιοπιστία και τον χρόνο ζωής των LED.

4.13 Ο ρόλος της θερμότητας στα LED

Όταν ένα ηλεκτρόνιο συναντά μια οπή και πέφτει σε ένα χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, η εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία λόγω αυτής της διαδικασίας δεν είναι αποκλειστικά και μόνο φως. Είναι γνωστό από την τεχνολογία των LED ότι μόνο το 15% της ενέργειας εισόδου μετατρέπεται σε φως και το υπόλοιπο καταλήγει να μετατρέπεται σε θερμότητα. Η μετατροπή της ενέργειας σε θερμότητα και φως λαμβάνει χώρα στην επαφή p-n. Όταν η ιδιαίτερως μεγάλη θερμότητα μίας λυχνίας δεν μεταφερθεί προς τα έξω θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στην ίδια την επαφή.

Η απόδοση του LED κυμαίνεται σε μία θερμοκρασία επαφής των 25 °C. Μια ενδεχόμενη αύξηση στη θερμοκρασία επαφής έχει δυσμενή επίδραση στη διάρκεια ζωής και την απόδοση του ενώ δεν αποκλείεται και μια πιθανή να καταστροφή του LED. Για τον λόγο αυτό, το κύριο μέλημα κάθε κατασκευαστή LED είναι να διατηρηθεί η θερμοκρασία επαφής μέσω απαγωγής της θερμότητάς της προς το περιβάλλον.

Εξετάζοντας την διάχυση της θερμότητας που παράγεται σε ένα LED, θα δούμε πρώτα τις αρνητικές επιπτώσεις της θερμότητας στην αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής των LED.

Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση φωτεινότητας

Η απόδοση ενός LED μετριέται σε θερμοκρασία επαφής 25 °C. Όμως τα LED λειτουργούν σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία επαφής (T_j) της τάξης των 60 °C με 80 °C. Αυτό σημαίνει ότι υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η έξοδος φωτεινής ροής του LED θα είναι πάντα χαμηλότερη από την ονομαστική του αξία.

Τα LED υλικού InGaN (Μπλε, Πράσινο, Κυανό, Λευκό) αντιμετωπίζουν καλύτερα το πρόβλημα αυτό, με την μείωση της φωτεινής απόδοσης να φτάνει το 5 με 20%, ενώ μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες επαφής των 60 έως 80 °C. Αντιθέτως τα LED υλικού AlInGaP (Κόκκινο, Πορτοκαλί) είναι εμφανώς πιο ευαίσθητα στις αλλαγές της θερμοκρασίας επαφής (T_j). Ενδεικτικά μπορούμε να πούμε ότι σε θερμοκρασίες λειτουργίας από 60 έως 80 °C, ένα κόκκινο LED παράγει 25% λιγότερο φως και ένα πορτοκαλί LED παράγει 45% λιγότερο φως.

Επίδραση θερμοκρασίας στο χρώμα

Το μήκος κύματος των LED μετατοπίζεται με βάση την μεταβολή της θερμοκρασίας επαφής (T_j). Η μετατόπιση του μήκους κύματος δεν είναι εμφανή στο ανθρώπινο μάτι, εξαίρεση βέβαια αποτελεί η περίπτωση του πορτοκαλί LED.

Στο πορτοκαλί LED, η ολίσθηση της βασικής συνιστώσας του μήκους κύματος ανά τη μεταβολή του βαθμού της θερμοκρασίας επαφής είναι η διπλάσια από εκείνης του InGaN LED (μπλε, πράσινο και κυανό), ενώ είναι και τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή του κόκκινου LED. Το πρόβλημα αυτό βέβαια δεν αφορά άλλα χρωματιστά LED, όμως σε κάποιες εφαρμογές όπου η τήρηση των προτύπων είναι απαραίτητη πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη προσοχή ώστε να μην υπάρχει περίπτωση ολίσθησης. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε με μία σωστή θερμική διαχείριση.

Επίδραση θερμοκρασίας στο χρόνο ζωής

Ο χρόνος ζωής των LED υπολογίζεται γύρω στις 25.000 με 100.000 ώρες λειτουργίας. Ωστόσο οι ρυθμίσεις στη θερμότητα μπορεί να μεγαλώσουν ή να μικρύνουν τον συγκεκριμένο χρόνο. Συσκευές στερεάς κατάστασης, όπως είναι τα LED, θα υποστούν λιγότερη φθορά εάν λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες επαφής. Η χρόνος ζωής ενός LED είναι ο χρόνος στον οποίο το LED εκπέμπει το λιγότερο το 70% του αρχικού φωτός εξόδου του.

Όσο αναπτύσσονται τα LED μεγάλης ισχύος, οι επαφές p-n τους είναι ικανές να αντέξουν σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τις συμβατικές διόδους. Η υψηλή θερμοκρασία επαφής p-n μπορεί να προκαλέσει πρόωρη μείωση της φωτεινής εξόδου. Για την ποσοτική ταξινόμηση της ωφέλιμης διάρκειας ζωής με τυποποιημένο τρόπο έχει προταθεί η χρησιμοποίηση των όρων L70 και L50, ο οποίος είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα LED να πέσει στο 70% και στο 50% της εξόδου του.

4.14 Αντιμετώπιση θερμότητας

Η θερμότητα που παράγεται δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στο χρόνο ζωής ενός LED. Θα μελετήσουμε τώρα κάποιους βασικούς τρόπους αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος.

Κύριο μέλημα είναι η απαγωγή της θερμότητας που παράγεται στην επαφή προς το περιβάλλον. Τα LED μεγάλης ισχύος έχουν μια ενσωματωμένη ψύκτρα με αποτέλεσμα την πολύ καλή τους θερμική σχεδίαση. Η ενσωματωμένη ψύκτρα απαγωγής θερμότητας στο εσωτερικό των LED μεταφέρει τη θερμότητα από τη επαφή προς την κάτω πλευρά του LED. Η κάτω πλευρά του LED τοποθετείται σε PCB. Παρά το γεγονός ότι τα συμβατικά ηλεκτρονικά PCB είναι γενικά κατασκευασμένα από πλαστικό, στις περισσότερες εφαρμογές LED, χρησιμοποιείται ο μεταλλικός πυρήνας PCB-MCPCB, καθώς τα μέταλλα είναι καλύτεροι αγωγοί της θερμότητας εν συγκρίσει με τα πλαστικά.

Ο πυρήνας αυτός είναι ένας συνδυασμός ενός λεπτού PCB σε ένα φύλλο αλουμινίου. Από τον MCPCB η θερμότητα πηγαίνει σε μία εξωτερική ψύκτρα. Αυτή η ψύκτρα μπορεί να είναι αναπόσπαστο τμήμα του προϊόντος ή ένα αποσπώμενο κομμάτι αλουμινίου. Η εξωτερική ψύκτρα θα μεταφέρει τελικά τη θερμότητα στο περιβάλλον μέσω της κίνησης του αέρα. Σημαντικό είναι ωστόσο να αναφέρουμε πως αν δεν υπήρχε αυτή, το LED θα καταστραφόταν σχεδόν αμέσως λόγω της υπερβολικά γρήγορης αύξησης της θερμοκρασίας στην επαφή.

4.15 LED χρώματος μπλε

Τα μπλε LED στηρίζονται στους ημιαγωγούς από GaN (νιτρίδιο γάλλιο) και InGaN (νιτρίδιο γάλλιο ίνδιο) ημιαγωγούς.

Το 1971 ο εφευρέτης των LED νιτρίδιου - γαλλίου Zak Pancone κατασκεύασε το πρώτο μπλε LED, ωστόσο ήταν σχεδόν ανίσχυρα για πρακτική χρήση. Μετά από πολλές έρευνες και σημαντικές ανακαλύψεις στους ημιαγωγούς από νιτρίδιο και γάλλιο, ξεκίνησε η εποχή των GaN οπτικοηλεκτρονικών συσκευών. Έτσι, τη δεκαετία του 1990 και πιο συγκεκριμένα προς το τέλος της, το μπλε LED είναι διαθέσιμο σε μια τεράστια κλίμακα.

Η ενεργή περιοχή των μπλε LED αποτελείται από κβαντικά φρεάτια InGaN που εισχωρούν μεταξύ των παχύτερων στρωμάτων GaN. Εάν μεταβάλλουμε την ποσότητα του GaN σε κβαντικά φρεάτια InGaN το φως που θα παραχθεί θα κυμαίνεται από ιώδες μέχρι σκούρο μπλε.

4.16 Λευκά LED

Τρόποι κατασκευής λευκού χρώματος LED μεγάλης έντασης

Ο πρώτος τρόπος για την κατασκευή LED λευκού χρώματος γίνεται κατασκευάζοντας αρχικά μεμονωμένα LED που εκπέμπουν κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα (RGB) και αναμειγνύοντας μετά όλα τα χρώματα που έχουν παραχθεί από το κάθε LED. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η εντύπωση του λευκού φωτός. Αυτό πολλές φορές ονομάζεται και πολύχρωμο – άσπρο LED.

Στην ουσία όμως αυτός ο τρόπος δε χρησιμοποιείται συχνά στη βιομηχανία καθώς ο μηχανισμός που χρειάζεται για να γίνει χρειάζεται ένα αρκετά απαιτητικό οπτοηλεκτρικό σχέδιο για να διασφαλίσει τη σωστή μίξη και τη διάχυση των διαφορετικών χρωμάτων.

Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται περισσότερο μια άλλη μέθοδος παραγωγής λευκού LED, στην οποία ένα επίστρωμα φωσφορίζουσων ουσιών προσκολλείται σε ένα μπλε LED φτιαγμένο από InGaN για να μας δώσει το αποτέλεσμα ενός λευκού LED. Για να αυξήσουμε το χρώμα που δίνει το LED αρκεί να εφαρμόσουμε στρώματα φωσφορίζουσων ουσιών των ευδιάκριτων χρωμάτων.

Έτσι το LED αυτό ονομάζεται βασισμένο σε φωσφορίζουσες ουσίες LED εξαιτίας της μεθόδου αυτής. Αυτή η μέθοδος μας δίνει χαμηλότερη κβαντική αποδοτικότητα και είναι η δημοφιλέστερη τεχνική στην παραγωγή υψηλής έντασης λευκού LED αλλά και υψηλής έντασης άλλων χρωματικών αποχρώσεων εξαιτίας της εύκολης υλικής επεξεργασίας.

Υπάρχει πλειάδα τύπων για LED πολύχρωμων – άσπρων αποχρώσεων, όπως διχρωματικό, τριχρωματικό και τετραχρωματικό άσπρο LED.

Σημαντικοί παράγοντες που έχουν καθοριστικό ρόλο είναι η σταθερότητα του χρώματος, η διαβάθμιση των αποχρώσεων του φωτός και η φωτεινή αποδοτικότητα.

Προχωράμε σε μια ενδεικτική ανάλυση αυτών των τριών παραγόντων για την καλύτερη κατανόησή τους.

- Σταθερότητα χρώματος

Στα τέλη του 1777, διαπιστώθηκε από τον George Palmer ότι το χρώμα ενός αντικειμένου που καταλαβαίνουμε είναι αλληλένδετο με την πηγή φωτισμού. Έτσι

ερεύνησε ότι το χρώμα του αντικειμένου γινόταν αντιληπτό με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με την ποικιλία πηγών φωτισμού.

- Διαβάθμιση διαφόρων αποχρώσεων φωτός

Εδώ συναντάμε μια αντίθεση σε σχέση με τη σταθερότητα χρώματος. Για παράδειγμα, το διχρωματικό άσπρο LED δίνει μεγαλύτερη φωτεινή απόδοση αλλά είναι δύσκολη η διαβάθμιση του χρώματος. Το τριχρωματικό άσπρο LED έχει καλή απόδοση φωτός και διαβάθμιση χρώματος. Το τετραχρωματικό άσπρο LED παράγει το καλύτερο φως αλλά κάκιστη απόδοση φωτεινότητας.

- Φωτεινή αποδοτικότητα

Η φωτεινή αποδοτικότητα είναι ένας όρος που εκφράζει τη φωτεινή ροή ανά ηλεκτρική μονάδα εισροής.

Η κατασκευή των υψηλών έντασης λευκών LED, που χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο μέρος της βιομηχανίας παραγωγής LED γίνεται ως εξής:

LED από φωσφορίζουσες ουσίες κατασκευάζονται ενσωματώνοντας InGaN μπλε LED μέσα σε μια κάψα μιας φωσφορίζουσας ουσίας LED που αυτό εντοπίζεται μέσα σε ένα εποξικό περίβλημα. Αν και μιλάμε για μια εύκολη κατασκευή, ένα μειονέκτημα είναι η απώλεια ποσοστού ενέργειας όταν τα φωτόνια μικρού μήκους κύματος γίνονται φωτόνια μεγάλου μήκους κύματος. Μειονέκτημα το οποίο δεν αποτελεί τροχοπέδη, γι'αυτό και η τεχνική αυτή προτιμάται από το μεγαλύτερο μέρος της βιομηχανίας λόγω του χαμηλού κόστους και της υψηλής απόδοσης.

Όλα τα χρώματα στο ορατό φάσμα μπορούν να δημιουργηθούν με τη μίξη διαφορετικού ποσού τριών αρχικών χρωμάτων και για το λόγο αυτό μπορούμε να επιτύχουμε ακριβή δυναμικό έλεγχο χρώματος. Για αυτό κάνουμε λόγο για μια νέα τεχνική παραγωγής φωτός διαφορετικών χρωμάτων. Σε αυτή την τεχνική όμως, υπάρχει το πρόβλημα της μη σταθερότητας του χρώματος καθώς όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται εκθετικά και η ένταση του φωτός που παράγεται από αυτού του τύπου τα LED.

Άλλη μια τεχνική παραγωγής λευκού LED είναι η κατασκευή του από μια επίστρωση LED το οποίο εκπέμπει φως κοντά στην υπεριώδη ακτίνα (NUV) από ένα μείγμα μεγάλης αποδοτικότητας μπλε και κόκκινων φωσφορίζουσών ουσιών που βασίζονται στο ευρώπιο και τον χαλκό που εκπέμπει πράσινο σε συνδυασμό με άργιλο σουφλιδίου

ψευδάργυρου. Ωστόσο, αυτή η τεχνική παράγει LED με σύντομη διάρκεια ζωής αφού το υπεριώδες φως υποβαθμίζει πολλά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των LED.

Άλλη μια μέθοδος για την παραγωγή LED λευκού χρώματος έχει ως αρχή το σελήνιο ψευδαργύρου (ZnSe) σε ένα υπόστρωμα που εκπέμπει σε συνδυασμό μπλε φως από την ενεργό περιοχή και κίτρινο από το υπόστρωμα.

Τελευταία, μια νέα μέθοδος βασίζεται στο μπλε LED με κβαντικά σημεία που παράγουν λευκό στο μπλε φως από το ίδιο το μπλε φως. Ως αποτέλεσμα αυτής της νέας μεθόδου είναι ένα λευκοκίτρινο φως (οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός).

Οργανική δίοδο εκπομπής φωτός έχουμε στην περίπτωση που το υλικό του στρώματος εκπομπής ενός LED αποτελείται από μια οργανική ένωση. Στην περίπτωση αυτή για να λειτουργήσει ως ημιαγωγός πρέπει το οργανικό υλικό εκπομπής να έχει συζυγείς p – δεσμούς. Το υλικό αυτό μπορεί να είναι ένα μικρό οργανικό μόριο μέσα μια κρυσταλλική φάση ή πολύμερες.

Σε σχέση με τα LED που αναφερθήκαμε παραπάνω, τα OLED είναι πιο ελαφριά και παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία.

Ορισμένες εφαρμογές των OLED έχουμε δει σε οθόνες φορητών ηλεκτρονικών συσκευών. Συνήθως όμως η διάρκεια ζωής τους είναι ελάχιστη και υπολογίζεται γύρω στις 1000 ώρες.

Τα OLED παράγουν μικρότερη απόδοση από τα κρυσταλλικά LED. Το OLED φτάνει περίπου στα 68 lm/w το 10% του μέγιστου 683 για το λευκό φως. Είναι φθηνότερο όμως στην κατασκευή του και μια μεγάλη στοίβα από αυτά μπορεί να τοποθετηθεί σε μια οθόνη με τη μέθοδο της εκτύπωσης με σκοπό να παραχθεί μια έγχρωμη οθόνη γραφικών.

4.17 QLED

Η επόμενη τεχνολογία μετά την OLED πρέπει να θεωρείται η QLED τεχνολογία. QLED ή QD LED σημαίνει κβαντικές τελείες διόδου εκπομπής φωτός. Αποτελούνται από νανοκρυστάλλους. Η δομή ενός QLED είναι παρόμοια με την τεχνολογία OLED. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι το φως που εκπέμπουν τα κέντρα είναι από νανοκρυστάλλους ή κβαντικές μονάδες σεληνιούχου κάδμιο.

Υπάρχουν δύο κύριες τεχνικές κατασκευής QLED, αυτή του διαχωρισμού φάσεων και η επαφή εκτύπωσης.

Γενικά τα QLED είναι μια αξιόπιστη λύση μεγάλης ενεργειακής απόδοσης για την οθόνη και τις εφαρμογές φωτισμού.

QLEDs δεν είναι μόνο το μέλλον της τεχνολογίας απεικόνισης, QLEDs είναι επίσης μια μελλοντική τεχνολογία φωτισμού.

Μια εταιρεία με την επωνυμία QD Vision, Inc είναι μια εταιρεία προϊόν νανοϋλικά παρέχουν μια νέα γενιά φωτισμού και απεικόνισης λύσεις που παρέχουν απaráμιλλη χρώμα, ενεργειακή αποδοτικότητα και την εξοικονόμηση κόστους. Το μόνο κβαντική τελεία εταιρεία επικεντρώνεται αποκλειστικά για το φωτισμό και οθόνες, πλατφόρμα προϊόν QD Vision της Quantum Light TM αξιοποιεί τα μοναδικά εκπομπής φωτός ιδιότητες μιας νέας κατηγορίας των νανοϋλικών που ονομάζεται κβαντικές κουκίδες.

πλατφόρμα προϊόν QD Vision της Quantum Light επιτρέπει κορυφαία απόδοση και την σημαντική μείωση του κόστους των συστημάτων χωρίς το κόστος / απόδοση συμβιβασμούς τυπικά από άλλα υλικά και τεχνολογίες φωτισμού. Η πλατφόρμα Quantum Light αξιοποιεί τα μοναδικά εκπομπής φωτός ιδιότητες των ημιαγωγίμων νανοκρυστάλλων να παραδώσει μια νέα πρόταση αξίας για τα προϊόντα LED-based, συμπεριλαμβανομένων εξαιρετική ποιότητα χρώματος, αποδοτικότητα υψηλής ισχύος, την κατασκευή ευελιξία και η ευελιξία σχεδιασμού.

Τα πρώτα προϊόντα που ενσωματώνουν την τεχνολογία Quantum Light TM είναι λαμπτήρες LED και λοιπός εξοπλισμός που προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας έως και 80%, την καλύτερη στην κατηγορία ποιότητα του χρώματος, και τη διάρκεια ζωής πάνω από 50.000 ώρες.

Πλεονεκτήματα QLED

- Καθαρό χρώμα. Παραδίδει 30-40% πλεονέκτημα απόδοσης φωτεινότητας σε σχέση με τις οργανικές διόδους εκπομπής φωτός (OLED) στο ίδιο σημείο.
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Έχουν τη δυνατότητα να είναι περισσότερο από δύο φορές πιο αποτελεσματικοί από τις OLED χωρίς να χάνουν την καθαρότητα του χρώματος.
- Χαμηλό κόστος παραγωγής.
- Πάρα πολύ λεπτό, διαφανές και ευέλικτο από την κατασκευή του.

Μια νέα τεχνική που αναπτύχθηκε από τον Michael Bowers, μεταπτυχιακό φοιτητή του Πανεπιστημίου Vanderbilt στο Nashville, περιλαμβάνει επίστρωση ενός μπλε LED με κβαντικές τελείες που εκπέμπουν ένα λευκό φως σε σχέση με το μπλε φως από τα LED. Από την τεχνική αυτή δημιουργείται ένα ζεστό, υπόλευκο φως ίδιο με αυτό που παράγεται από λαμπτήρες πυρακτώσεως. Τα Quantum dots είναι ημιαγώγιμοι νανοκρύσταλλοι που διαθέτουν μοναδικές οπτικές ιδιότητες. Το χρώμα των εκπομπών τους μπορεί να ρυθμιστεί από την ορατή περιοχή μέχρι το υπέρυθρο φάσμα, Τούτο επιτρέπει στους κβαντικούς LED να δημιουργήσουν σχεδόν οποιοδήποτε χρώμα στο διάγραμμα CIE. Αυτό παρέχει περισσότερες επιλογές χρωμάτων και καλύτερη χρωματική απόδοση λευκών LED.

4.18 Θέματα αξιοπιστίας των LED

Οι LED είναι άκρως σημαντικές συσκευές όσον αφορά τον τομέα της απεικόνισης και της επικοινωνίας. Για την σωστή λειτουργία της συσκευής είναι αναγκαίο η έξοδος του εκπεμπόμενου φως να διατηρείται αναλλοίωτη με το πέρασ του χρόνου.

Οι αποτυχίες των LED συσκευών κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία ονομάζεται “Νηπιακή Αποτυχία” (Infant Failure). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι συσκευές LED με σημαντική καταστροφή που οφείλεται στην επεξεργασία και αποτυγχάνουν στην διάρκεια της αρχικής περιόδου ή αλλιώς του ελέγχου λειτουργίας (Burn-in).

Ο έλεγχος λειτουργίας έχει να κάνει με την λειτουργία της συσκευής σε υψηλό επίπεδο ισχύος μέχρι και 100 ώρες λειτουργίας. Αυτές οι συσκευές που ανταπεξέρχονται στον έλεγχο λειτουργίας έχουν κατά κύριο λόγο και μεγάλο μέσο χρόνο για αποτυχία (MTTF, Mean Time To Failure). Για την αντιμετώπιση των νηπιακών αποτυχιών, νέες τεχνικές επεξεργασίας και κατασκευής περιλαμβάνουν ένα υπόστρωμα άριστης ποιότητας που είναι ικανό να μειώσει αυτο το πρόβλημα.

Ακόμα, ένας σημαντικός αριθμός συσκευών είναι πιθανό να αποτύχει λίγο μετά τον έλεγχο λειτουργίας λόγω των ακρότατων συνδυασμών των τυχαίων ατελειών που εμφανίζονται στις συσκευές. Αυτό ονομάζεται “Ακραία Αποτυχία” (Freak Failure).

Η πλειοψηφία των συσκευών επιβιώνουν τις πρώτες εκατοντάδες ώρες και συνεχίζουν ώστε να έχουν έναν μέσο χρόνο αποτυχίας έως και 10^6 ώρες για συσκευές από GaAs και μέχρι 10^9 ώρες για συσκευές από InP στα 1.3μm.

Ο μέσος χρόνος αποτυχίας διαφέρει ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Έτσι σε επικοινωνιακά συστήματα η οπτική ισχύς που ενώνεται με την ίνα είναι αυτή που καθορίζει την απόσταση της κάθε επανάληψης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο μέσος χρόνος αποτυχίας να ορίζεται σε σχέση με τον χρόνο που είναι αναγκαίος για την μείωση της οπτικής ισχύς σε ένα συγκεκριμένο κλάσμα της αρχικής τιμής.

Σε αντίθεση με τις διόδους LASER όπου εκεί η αποτυχία είναι καταστροφική, η αποτυχία στις διόδους LED είναι σταδιακή. Η έξοδος φωτός της διόδου LED είναι γραμμική με το ρεύμα, ο μηχανισμός αποτυχίας έχει να κάνει με αύξηση της μη ακτινοβόλας επανασύνδεσης λόγω ατελειών ποικίλων ειδών.

Η εγκυρότητα του ελέγχου και των δοκιμών των διόδων LED εξακολουθεί να είναι μία μεγάλη πρόκληση για τους επιστήμονες. Έρευνες γίνονται για την κατάργηση των συσκευών με ελάχιστο μέσο χρόνο αποτυχίας.

4.19 Πλεονεκτήματα χρήσης LED

- Τα LED ανάβουν αισθητά ταχύτερα από τους λαμπτήρες πυράκτωσης
- Εξαιτίας των ικανοτήτων του ανθρώπινου ματιού, ο παλμός των LED μπορεί να αλλάξει για χάρη της εξοικονόμησης ενέργειας.
- Σε αντίθεση με τους λαμπτήρες φθορισμού δεν περιέχουν υδράργυρο
- Σε αντίθεση με τους κοινούς λαμπτήρες πυράκτωσης που έχουν απώλεια ξαφνική (καίγονται), τα LED αρχίζουν να φθείρονται σταδιακά όσο μειώνεται η ένταση του φωτός τους.
- Τα LED είναι κατασκευασμένα μέσα σε θήκες με αποτέλεσμα την ιδιαίτερη μεγάλη προστασία τους.
- Βασικό πλεονέκτημά τους σε σύγκριση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης είναι η χαμηλότερη θερμότητα που εκπέμπουν.
- Τα LED δε χρειάζονται μεγάλη κατανάλωση ρεύματος σε αντίθεση με τους κοινούς λαμπτήρες.
- Δεν απαιτείται κανένα χρωματικό φίλτρο για να εκπέμπουν φως χρωματιστών αποχρώσεων, κάτι που συμβάλλει στη μείωση κόστους κατασκευής τους.
- Σε αντίθεση με άλλες πηγές φωτισμού που η χρήση εξωτερικών ανακλαστήρων κρίνεται απαραίτητη ώστε αφού συγκεντρώσουν το φως να το διοχετεύουν προς μια κατεύθυνση, το LED μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να επικεντρώνει το φως εκεί που χρειάζεται.
- Ένα επιπλέον σημαντικό πλεονέκτημα των LED απέναντι στις κοινές λάμπες είναι ιδιαιτέρως μεγάλη διάρκεια ζωής τους, ακόμα και όταν λειτουργούν στο μέγιστο φορτίο ενέργειάς τους. Αντιθέτως, οι λάμπες φθορίου έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής μόνο όταν λειτουργούν σε μικρότερη από την κανονική τάση.

- Επίσης, δεν καίγονται όταν υπάρχουν μεταπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Το δίκτυο ηλεκτροδότησης δε δίνει σταθερά 230v, έχει συν και πλην. Μπορεί λοιπόν να κάνει υπέρταση ή βύθιση και να πέσει κάτω από τα επιτρεπτά όρια ή το αντίστροφο, με αποτέλεσμα ευαίσθητες συσκευές, λάμπες φθορίου και λάμπες οικονομίας να καίγονται. Οι λάμπες τύπου LED μπορούν να λειτουργήσουν σε τάση από 8,5 ως 24 volt με μετασχηματιστή και από 110 ως 250 volt που σημαίνει ότι δεν καίγονται όταν υπάρχουν μεταπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

4.20 Μειονεκτήματα χρήσης LED

ΥΨΗΛΗ ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ:

Τα LED είναι σήμερα πιο ακριβά, αλλά μακροπρόθεσμα γίνονται πιο φθηνά, από την εξοικονόμηση ενέργειας.

ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ:

Η LED απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση του LED, που τελικά οδηγεί σε βλάβη της συσκευής.

ΕΧΟΥΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΑΣΗΣ:

Τα LEDs επιβάλλουν ένα ρεύμα ρυθμιζόμενο με τροφοδοτικό.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΣ:

Πιο ψυχρό είναι το λευκό LED από του λαμπτήρα πυρακτώσεως. Το χρώμα των αντικειμένων μπορεί να γίνεται αντιληπτό με διαφορετικό τρόπο κάτω από ψυχρό λευκό LED φωτισμό από ότι στο φως του ήλιου ή με τους λαμπτήρες πυράκτωσης.

ΠΕΡΙΟΧΙΚΗ ΠΗΓΗ ΦΩΤΟΣ:

Τα LEDs είναι δύσκολο να εφαρμόζονται για χρήσεις που χρειάζονται ένα σφαιρικό πεδίο φωτός, όπως γίνεται με τα λείζερ.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ:

Σε αντίθεση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης, που φωτίζουν ανεξάρτητα από την ηλεκτρική πολικότητα, τα LED θα ανάψουν μόνο με τη σωστή ηλεκτρική πολικότητα.

ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ:

Η φωτεινή απόδοση των LED μειώνεται όσο αυξάνεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Η θέρμανση αυξάνει, επίσης, με το υψηλότερο ρεύμα που θέτει σε κίνδυνο την διάρκεια ζωής των LED.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΝΤΟΜΑ:

Τα LED είναι πολύ πιο ελκυστικά για τα έντομα.

ΤΟ ΜΠΛΕ LED ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟ:

Υπάρχει μια ανησυχία ότι το μπλε LED και το λευκό LED υπερβαίνει τα ασφαλή όρια του λεγόμενου κινδύνου από το μπλε φως, όπως ορίζεται στις προδιαγραφές ασφάλειας των ματιών.

4.21 Οι κίνδυνοι για την υγεία από τον φωτισμό LED



Οι δίοδοι εκπομπής φωτός έχουν κάνει πιο εύκολη την καθημερινότητα μας πληρώνοντας της προϋποθέσεις για οικονομικό αλλά και φιλικό προς το περιβάλλον φωτισμό στα σπίτια μας και οθόνες με μεγαλύτερη ευκρίνεια και πιο ζωντανά χρώματα στις τηλεοράσεις, στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στα κινητά τηλέφωνα μας.

Ωστόσο, αυτές οι ανέσεις είναι πιθανό να κρύβουν απειλές για το ανθρώπινο μάτι. Ερευνητές ανακάλυψαν ότι εκπέμπουν υψηλής ενέργειας μπλε φως το οποίο είναι ικανό να κάνει μεγάλη ζημιά στον αμφιβληστροειδή του ματιού μας. Βέβαια, δεν είναι ακόμα γνωστό αν όλες οι φωτοδίοδοι εκπέμπουν το φως αυτό σε βλαπτικές ποσότητες και τονίζουν πως πρέπει να θεσπιστούν κάποιοι κανόνες ασφαλείας.

Μέχρι τότε οι ερευνητές, προτείνουν τη χρήση φίλτρων προστασίας, και την υιοθέτηση ορισμένων πιο συστών συνηθειών για την ανθρώπινη υγεία, καθώς όλοι μας, ανεξαρτήτως ηλικίας, ερχόμαστε σε επαφή πλέον όλο και περισσότερο στο λευκογαλάζιο φως της νέας τεχνολογίας.

Ο φωτισμός LED παρέχει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας, μεγαλύτερο χρόνο ζωής και είναι σαφώς φιλικότερος προς το περιβάλλον εν συγκρίσει με τους συμβατικούς λαμπτήρες. Ωστόσο, οι ερευνητές υποστηρίζουν πως η βλαβερή επίδραση στο ανθρώπινο μάτι, οφείλεται στο μπλε φως που είναι το βασικό συστατικό για να παραχθεί το λευκό φως. Το μπλε φως κινείται στα μικρά μήκη κύματος του φάσματος του ορατού φωτός (380-500 nm) και έχει υψηλή ενέργεια.

Οι συγκεκριμένες λάμπες, οι οποίες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τον φωτισμό των σπιτιών και των γραφείων μας. Ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται και στις οθόνες του κινητού τηλεφώνου, της τηλεόρασης, του tablet και του ηλεκτρονικού υπολογιστή μας. Όμως, μπορεί να προκαλέσουν μεγάλη ζημιά στην όραση μειώνοντας τη διάρκεια ζωής των φωτοϋποδοχέω. Μετά από έρευνες και αφού οι επιστήμονες εξέθεσαν κύτταρα από το μελάγχρουν επιθήλιο ανθρώπινου αμφιβληστροειδούς σε διάφορους τύπους LED (κόκκινου, πράσινου, μπλε και λευκού φωτός) ανά δωδεκάωρους κύκλους εναλλαγής φωτός - σκοταδιού.

Κατέλειξαν, μετά το πέρας τριών κύκλων φωτός - σκοταδιού στο συμπέρασμα ότι το μπλε, το πράσινο και το λευκό φως των LED μείωσαν σημαντικά τη βιωσιμότητα των φωτοϋποδοχέων (κατά 99%, 88% και 75% αντίστοιχα), οδηγώντας έτσι στην καταστροφή κυττάρων.

Η εκπομπή μπλε φωτός, ενδέχεται να προκαλεί βλάβες στον αμφιβληστροειδή και να επιταχύνει την εκφύλιση της ωχράς κηλίδος και άλλες εκφυλιστικές νόσους, όπως η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια, η νόσος Stargardt's ή η μελαγχρωστική αμφιβληστροειδοπάθεια.

Βάση των αποτελεσμάτων, οι βλαπτικές επιπτώσεις των LED δεν μας επηρεάζουν αποκλειστικά και μόνο την ώρα που κοιτάζουμε την οθόνη του υπολογιστή, της τηλεόρασης ή του κινητού μας ή σε αυτές που διαβάζουμε το βιβλίο μας κάτω από μια λάμπα τεχνολογίας LED. Υφίστανται ακόμα και όταν βρισκόμαστε σε έναν χώρο ο οποίος φωτίζεται από την τεχνολογία των LED.

Παρ' ότι, δεν κοιτάζουμε απευθείας την πηγή του φωτός στον χώρο, ακόμα και αυτή η ενέργεια προκαλεί τεράστια βλάβη. Βλάβη βέβαια προκαλεί αν έχει μεγάλη ενέργεια, κάτι που δεν ισχύει για όλες τις συσκευές όμως ισχύει σε ένα μεγάλο ποσοστό.

Μία λύση είναι, να θεσπιστούν, έτσι ώστε να τεθούν αποτελεσματικοί κανονισμοί ασφαλείας, τα επιβλαβή και τα ασφαλή όρια ακτινοβολίας που είναι σε θέση να δεχθεί το ανθρώπινο μάτι.

Τέλος, επικρατεί έντονος προβληματισμός στις τάξεις των ειδικών, καθώς βάση της ευρωπαϊκής νομοθεσίας οι λαμπτήρες νέας τεχνολογίας θα αντικαταστήσουν πλήρως τους συμβατικούς λαμπτήρες πυρακτώσεως στα επόμενα χρόνια. Και οι δύο διαδεδομένοι τύποι τους όμως, (LED και CFL) δείχνουν με τον έναν ή τον άλλον τρόπο προβληματικοί όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία.

4.22 Ειδικά φίλτρα - γυαλιά οράσεως



Τα ειδικά φίλτρα για γυαλιά οράσεως που προστατεύουν από τη βλαβερή ακτινοβολία του φωτός είναι σαφώς μία καλή λύση. Έχουν χρώμα χρυσαφί και μπορεί να τα χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε, είτε είναι μύωπας είτε πρεσβύωπας, είτε έχει αστιγματισμό ή υπερμετρωπία και κάνει και για τις νεαρές ηλικίες, γιατί οι νέοι είναι αυτοί που θα εκτεθούν για περισσότερα χρόνια στον φωτισμό των LED.

Το ανθρώπινο μάτι έχει και φυσικά φίλτρα τα οποία το προστατεύουν από τα βλαβερά τμήματα της ακτινοβολίας του φωτός, έτσι και τα φίλτρα στα γυαλιά, αλλά και τα άλλα

φίλτρα, λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο, μπλοκάροντας δηλαδή τη βλαβερή μπλε ακτινοβολία με σκοπό την εμπόδιση της να φθάσει στον αμφιβληστροειδή. Τα φίλτρα αυτά συνεργάζονται με τον αμφιβληστροειδή, επιβραδύνουν τη γήρανση του και επιμηκύνουν τον χρόνο ζωής του.

Η εφαρμογή αυτών των φίλτρων στους ίδιους τους λαμπτήρες LED, με την μορφή επίστρωσης στο εξωτερικό τμήμα του λαμπτήρα δίνει την ίδια προστασία και είναι αναμφίβολα η καλύτερη λύση. Η εφαρμογή των ειδικών φίλτρων θα προχωρήσει φυσικά στις οθόνες των κινητών τηλεφώνων και των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

4.23 Εφαρμογές LED

Ακολουθούν ορισμένες εφαρμογές των διόδων εκπομπής φωτός σε σχέση με τον φωτισμό.

Οι πηγές φωτός οι οποίες είναι κατασκευασμένες από LED είναι περισσότερο αποτελεσματικές καθώς το παραγόμενο φως είναι δυνατότερο από άλλες πηγές φωτός. Επίσης αξιοποιούν στο μέγιστο βαθμό τη χρήση τους καθώς μπορούν να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένη συχνότητα. Εφαρμογές των LED συναντάμε σε φανάρια, σε λάμπες φωτισμού, σε φωτισμό για εξωτερικούς χώρους, για αρχιτεκτονικό φωτισμό. Είναι πηγή φωτός για συστήματα τεχνικής όρασης. Χρησιμοποιούνται ως φώτα για ποδήλατα και μηχανάκια. Ακόμα χρησιμοποιούνται για φωτισμό σε οχήματα έκτακτης ανάγκης και για κρυφό φωτισμό σε τηλεοράσεις τύπου LED

Ακόμα βρίσκουμε εφαρμογές των LED σε ειδικούς δείκτες που υπάρχουν σε φανάρια και πινακίδες, στο φωτισμό των κουμπιών ανελκυστήρα, σε οθόνες που εμφανίζουν διάφορα μηνύματα όπως τον προορισμό των μέσων μεταφοράς, την ώρα άφιξης και αποχώρησης καθώς και πλήθος άλλων πληροφοριών.

Τα τελευταία χρόνια βλέπουμε την εξάπλωση των LED στο σύνολο των φώτων του αυτοκινήτου εξαιτίας του πιο δυνατού φωτός που εκπέμπουν σε σχέση με τα φώτα πυρακτώσεως αλλά και την πιο γρήγορη ανταπόκρισή τους, δηλαδή τον χρόνο που απαιτείται για να ανάψουν.

ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ

Η βασική ιδιότητα με την οποία μπορεί να αναγνωρισθεί ένα LED φως είναι ότι ανάβει κατευθείαν. Οι παλιοί λαμπτήρες που χρησιμοποιούσαν στην αυτοκινητοβιομηχανία είχαν το μειονέκτημα πως με την πάροδο των χρόνων έχαναν τη φωτεινότητά τους, κάτι που δεν υπάρχει με τη χρήση των LED και αυτός είναι άλλος ένας λόγος που τα LED έχουν πια κυρίαρχο ρόλο στην αυτοκινητοβιομηχανία.

LED εφαρμογές έχουμε στα αεροπλάνα καθώς και τα αεροδρόμια. Πιο συγκεκριμένα, τα φώτα προσγείωσης των αεροσκαφών, τα οποία είναι αναγκαία για την ομαλή λειτουργία της προσγείωσης και της απογείωσης. Τα LED είναι τοποθετημένα στη μύτη αλλά και τα φτερά του αεροσκάφους και όσο πλησιάζει τον αεροδιάδρομο τόσο αυξάνεται η φωτεινότητά τους. Ένα χαρακτηριστικό που παίζει μεγάλο ρόλο στην ασφάλεια. Ταυτόχρονα, ο πύργος ελέγχου του αεροδρομίου εύκολα αναγνωρίζει τα αεροπλάνα που το προσεγγίζουν με τη βοήθεια των φώτων προσγείωσης. Εξαιτίας της κατασκευής των φώτων LED που είναι φτιαγμένα για να αντέχουν στους κραδασμούς και γενικά σε ακραίες συνθήκες έχουμε αντικατάσταση των παραδοσιακών λαμπτήρων λόγω της μη αντοχής τους, καθώς σε κάθε προσγείωση του αεροπλάνου υπήρχε και απώλεια, κάτι που ήταν ζημιογόνο και αύξανε το κόστος συντήρησης του αεροπλάνου. Άλλο ένα χαρακτηριστικό που οδήγησε στην αντικατάσταση των παραδοσιακών λαμπτήρων με φώτα προσγείωσης LED είναι ότι τα τελευταία έχουν αρκετά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (πάνω από πενήντα χιλιάδες ώρες ζωής).

ΕΠΙΠΕΔΕΣ ΤΗΛΕΟΡΑΣΕΙΣ LED

Το 1977 ο James Mitchell ανέπτυξε την πρώτη τηλεόραση LED. Η πρότυπη κλιμακούμενη απεικόνιση ενεργοποιήθηκε από τα UV 50 LED και τα TTC κυκλώματα διευθυνσιοδότησης. Η οθόνη LED TV πήρε πολλά βραβεία από αρκετά πανεπιστήμια αλλά και από τη NASA. Η επίπεδη τηλεόραση LED ήταν κόκκινη μονοχρωματική. Υψηλής φωτεινότητας χρώματα εμφανίστηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1990 και ως αποτέλεσμα αυτής της εξέλιξης ήταν η δημιουργία τεράστιων οθονών βίντεο που χρησιμοποιήθηκαν για υπαίθριους πίνακες ανακοινώσεων και γήπεδα.

4.24 Προβλέψεις για το μέλλον

Το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής δημοσίευσε μια μελέτη, με τίτλο «Εξοικονόμηση Ενέργειας δυνατότητες του Solid-State Lighting». Η έκθεση αυτή εκτιμά πως η εξάπλωση του φωτισμού LED είναι ικανή να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας σχεδόν στο μισό έως το 2030. Για να πάρει σάρκα και οστά αυτή η μελέτη πρέπει πρώτα, να έχουν επιτευχθεί οι στόχοι απόδοσης και τιμών κόστους.

Με βάση την μελέτη αυτή, το συνολικό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας από την προβλεπόμενη ενσωμάτωση στην αγορά της τεχνολογίας LED την περίοδο 2010 - 2030 θα φτάσει τις 2700 TWh. Τουτέστιν, μιλάμε για μια εξοικονόμηση της τάξης των 250 δις δολαρίων με βάση τις σημερινές τιμές ενέργειας. Αυτό ισοδυναμεί με 1800 εκατομμύρια μετρικούς τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Το ποσό αυτό της ενέργειας έρχεται σε σύγκριση με τις 1800 TWh που είχε εκτιμηθεί στην έκθεση δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας το 2010.

Σύμφωνα με την μελέτη έως το 2020, οι λαμπτήρες LED θα έχουν εισχωρήσει στις εφαρμογές εμπορικού και εξωτερικού φωτισμού. Μέσα στο διάστημα 2020 - 2030, θα υπάρξει μεγαλύτερη εισροή στην οικιστική, βιομηχανική και εμπορική αγορά. Με βάση τις προβλέψεις αυτές, η τεχνολογία LED σε εφαρμογές γενικού φωτισμού θα έχει τη δυνατότητα να εκπροσωπεί το 36% των πωλήσεων στη γενική αγορά φωτισμού μέχρι το 2020 και το 74% των πωλήσεων μέχρι το 2030.

Εως το 2030, η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας από τη εισροή των LED στην αγορά θα φτάνει περίπου τις 297 TWh δηλαδή, ηλεκτρική ενέργεια ικανή για να τροφοδοτήσει 24 εκατομμύρια σπίτια. Σε σημερινές τιμές κόστους ενέργειας, η ενέργεια αυτή ισοδυναμεί με 30 δισεκατομμύρια δολάρια σε εξοικονόμηση πόρων το 2030.

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται στην ανάλυση είναι βασισμένο σε παραδοχές αποτελεσματικότητας, λιανικής τιμής και χρόνου λειτουργίας των λαμπτήρων, ως εξής:

- Μια μέση αποτελεσματικότητα των 37 lm/W για μια λάμπα LED και 70 lm/W για ένα φωτιστικό LED το 2010, θα έχει αυξηθεί σε 182 lm/W και 193 lm/W, το 2020 και 203 lm/W

W και για τους δύο τύπους του προϊόντος το 2030

- Οι τιμές για το 2030 βγήκαν με βάση την επικρατούσα τάση καθορισμού τιμών. Το μοντέλο υποθέτει ένας πωσ ένας λαμπτήρας LED, που στοίχιζε 55,16 \$/klm το 2010, το 2020 θα στοίχιζε 6,28 \$/klm και το 2030 το κόστος του θα είναι 3,34\$/klm. Στα φωτιστικά LED, η τιμή προβλέπεται να μειωθεί από τα 180,88 \$/klm το 2010, σε 23,69 \$/klm το 2020 και σε 12,73 \$/klm το 2030 αντίστοιχα.
- Η μελέτη αναφέρει πως οι ισχυρότερες LED και τα φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων έχουν διάρκεια ζωής 25.000 ώρες, ενώ τα φωτιστικά εξωτερικών χώρων έχουν διάρκεια ζωής 50.000 ώρες. Αυτή η διάρκεια ζωής περιμένουμε να αυξηθεί σε 50.000 ώρες για τους λαμπτήρες LED και τα φωτιστικά εσωτερικού χώρου και σε 75.000 για τα υπαίθρια φωτιστικά το 2020

Το μοντέλο του ρυθμού υιοθέτησης της τεχνολογίας LED έχει συμπεριλάβει το αρχικό κόστος των λαμπτήρων LED και των φωτιστικών σωμάτων ενώ παράλληλα έχει συμπεριλάβει και το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας, που αντιπροσωπεύουν από κοινού το κόστος κύκλου ζωής των λαμπτήρων LED.

Μέχρι το 2030, το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας είναι μεγαλύτερο στον εμπορικό τομέα, ακολουθούμενο από τον οικιακό τομέα, που συμβάλλουν κατά 37% και 34%, αντίστοιχα, στη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας. Οι εφαρμογές εξωτερικών χώρων συνθέτουν τον επόμενο μεγαλύτερο τομέα, κατά 25% ενώ ο βιομηχανικός τομέας συμβάλλει μόνο κατά το 4% του συνόλου.

Τα αποτελέσματα των προβλεπόμενων εξοικονομήσεων ενέργειας το 2030 φανερώνουν πως η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων φθορισμού σε εμπορικές εφαρμογές, των λαμπτήρων HID σε εξωτερικές εφαρμογές και των λαμπτήρων πυρακτώσεως σε οικιακές εφαρμογές, είναι η πιο σημαντική ευκαιρία για την εξοικονόμηση ενέργειας από την εφαρμογή της τεχνολογίας LED.

4.25 Επίλογος

Από τον Henri Round που ανακάλυψε ότι μέσα από τις διόδους ημιαγωγών μπορεί να παραχθεί φως γύρω στις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα, τα LED παίζουν τεράστιο ρόλο σε πολλούς τομείς της ζωής μας

Οι πρώτες λυχνίες LED εξέπεμπαν χαμηλής έντασης υπέρυθρο φως. Τα υπέρυθρα LED εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται συχνά ως στοιχεία μετάδοσης σε κυκλώματα τηλεχειρισμού, όπως εκείνα στα τηλεχειριστήρια για μια ευρεία ποικιλία ηλεκτρονικών εφαρμογών. Τα σύγχρονα LED είναι διαθέσιμα σε όλα τα ορατά, υπεριώδη, και υπέρυθρα μήκη κύματος κι έχουν πολύ υψηλή φωτεινότητα.

Ο φωτισμός LED έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με λαμπτήρες πυρακτώσεως, όπως χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, είναι μικρότερου μεγέθους, και μπορεί να γίνει ταχύτερη εναλλαγή φωτός.

Σήμερα έχει διάφορες εφαρμογές, όπως ο φωτισμός των αερομεταφορών, σε προβολείς αυτοκινήτων, σε διαφημιστικές ταμπέλες, σε γενικό φωτισμό, σε σήματα κυκλοφορίας, σε υπολογιστές, σε κινητά, σε τηλεοράσεις και σε κάμερες που αναβοσβήνουν. Ωστόσο, τα LED αν και είναι αρκετά ισχυρά για το φωτισμό του δωματίου εξακολουθούν να είναι σχετικά ακριβά.

Παρ' ότι έχουν μεγαλύτερο κόστος, η μεγάλη απόδοση και ο χρόνος ζωής το αντισταθμίζουν και με το παραπάνω ενώ παράλληλα δεν περιέχουν τοξικά συστατικά. Γι' αυτό και έχουν ανακηρυχθεί ομόφωνα η πιο φιλική πηγή φωτισμού για το περιβάλλον.

Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα, σε συνδυασμό με το μικρό μέγεθος και την ευελιξία τους, έχουν εκτινάξει στα ύψη τη χρήση των LED όχι μόνο στις οθόνες των ηλεκτρονικών συσκευών αλλά και στον φωτισμό των εξωτερικών και εσωτερικών χώρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - LASER

5.1 Εισαγωγή

Η δίοδος LED όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελεί μια εξαιρετική οπτική πηγή την οποία χρησιμοποιούμε σε πλειάδα εφαρμογών και σε συστήματα οπτικής επικοινωνίας και απεικόνισης. Παρ' όλα αυτά η δίοδος LED δεν είναι η καταλληλότερη επιλογή για εφαρμογές μεγάλων επιδώσεων. Η δίοδος LED διακρίνεται για την απλότητα της διαδικασίας κατασκευής της και για την ευκολία ενσωμάτωσης της σε ένα μεγάλο αριθμό κυκλωμάτων. Η συσκευή αυτή στην ουσία είναι μια απλή δίοδος p-n επαφής. Ταυτόχρονα, η δίοδος LED έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα πιο βασικά είναι το μεγάλο φάσμα του φωτός που εκπέμπεται και η μη ικανότητα τους να ξεπεράσουν εύρη ζώνης πάνω από το 1 GHz. Τους λόγους των μειονεκτημάτων - περιορισμών, τους συζητήσαμε παρά πάνω, στην ενότητα των δίοδων LED.

Από την άλλη, η δίοδος LASER μπορεί να παρακάμψει αυτούς τους περιορισμούς βασιζόμενη στις ιδιότητες της εξαναγκασμένης εκπομπής και των οπτικών κοιλοτήτων. Έτσι η ημιαγωγική δίοδος LASER παράγει μία γραμμή εκπομπής με σαφώς στενότερο εύρος γραμμής (εώς και δύο τάξεις μεγέθους) από αυτή της δίοδου LED. Πιο συγκεκριμένα, το εύρος ζώνης διαμόρφωσης της δίοδου LASER αγγίζει τα 50 GHz που όμως είναι ικανό να φτάσει και μεγαλύτερες τιμές.

Τέλος, λόγω της υψηλής χωρικής συμφωνίας στη δέσμη του LASER δεν παρατηρείται τόσο μεγάλη διασπορά όση παρατηρείται στις δέσμες άλλων πηγών φωτός, πράγμα που βοηθάει στην εστίαση με σκοπό να δώσει αρκετά μεγάλη πυκνότητα.

5.2 Δράση του LASER - Γενικές Αρχές

Η διαδικασία με την οποία ενεργοποιούνται οι τεχνητές φωτοπηγές οι οποίες παράγουν και εκπέμπουν οπτική ακτινοβολία (ορατή, υπέρυθρη ή υπεριώδη) ειδικού τύπου καλείται δράση LASER. Πρόκειται για μια ακτινοβολία που συγκεντρώνεται σε ένα σημείο, είναι περιορισμένη αυστηρά σε μία λεπτή δέσμη μικρής εγκάρσιας διατομής, αυστηρά μονοχρωματική και ελεγχόμενη ως προς την φωτεινότητα και τα άλλα κυματικά χαρακτηριστικά όπως η πόλωση, το μήκος κύματος και η συχνότητα, η φάση. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιδέχονται κάθε τύπου διαμόρφωση.

Η Αγγλική ονομασία LASER προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation που στα ελληνικά σημαίνουν "Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας". Πρώτος ο Albert Einstein το 1917 είχε κάνει λόγο για την ύπαρξη της εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας στην οποία στηρίζεται η λειτουργία του LASER.

Με τα χρόνια πραγματοποιήθηκαν αρκετές μελέτες, θεωρητικού και πειραματικού επιπέδου σε χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και στις ΗΠΑ μέχρι να καταλήξουμε τελικά στο 1960 όπου ο ένας Φυσικός από την Αμερική, ονόματι Theodore Maiman κατασκεύασε το πρώτο LASER.

Το πρώτο αυτό LASER ήταν κατασκευασμένο από μία ράβδο ρουβιδίου 5cm, τοποθετημένη στον άξονα ενός ελικοειδούς σωλήνα ηλεκτρικής εκκένωσης που είχε την δυνατότητα να εξάγει φωτεινή ακτινοβολία μεγάλης ισχύος με μήκος κύματος στην περιοχή του πρασίνου. Στα μέσα του 1960 έχουμε την δημιουργία του πρώτου Laser αερίου (HE-NE LASER) από τους Ali Javan, William Bennett και Donald Herriott .

Το 1961 άρχισαν να δημιουργούνται LASER στερεών και αέριων τύπων. Ταυτόχρονα την ίδια χρονολογία παρουσιάστηκε και το πρώτο LASER ημιαγωγών

Από το 1960 μέχρι και την εποχή που διανύουμε η εξέλιξη των LASER αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς. Έτσι σήμερα, αποτέλεσμα την ραγδαίας αυτής ανάπτυξης είναι ότι τα LASER αποτελούν αναπόσπαστο εργαλείο σε πολλούς τομείς.

5.3 Εκπομπή και απορρόφηση ακτινοβολίας

Αυθόρμητη και εξαναγκασμένη εκπομπή

Ξέρουμε πως η εκπομπή ακτινοβολίας απο κάποιο υλικό είναι η απελευθέρωση φωτονίων. Τα φωτόνια αυτά απελευθερώνονται εξαιτίας της ενεργειακής αποδιέγερσης ενός σωματιδίου κατά κύριο λόγο, ηλεκτρονίου, από μία μεγαλύτερη ενεργειακή στάθμη E_j σε μια χαμηλότερη E_i . Αν αναλογιστούμε τώρα την θεωρία της αρχής διατήρησης της ενέργειας, που αναφέρει ότι η ενέργεια ενός ελεύθερου φωτονίου $E_\varphi = h\nu$ ισούται με την διαφορά της ενέργειας των δύο θεωρούμενων στάθμων.

Έτσι έχουμε την σχέση,

$$E_\varphi = h\nu = E_j - E_i$$

Απο την άλλη, η απορρόφηση της ακτινοβολίας δεν είναι παρά μόνο η ενεργειακή διέγερση των ηλεκτρονίων από μια κατώτερη ενεργειακή στάθμη E_i σε μία μεγαλύτερη E_j εξαιτίας της απορρόφησης της ενέργειας που υφίσταται ένα φωτόνιο από ένα ηλεκτρόνιο.

Στην εκπομπή ακτινοβολίας έχουμε δύο αντίθετα μεταξύ τους τρόπους ανάπτυξης. Την αυθόρμητη και την εξαναγκασμένη εκπομπή.

Όταν ένα άτομο βρεθεί σε μια διεγερμένη ενεργειακή κατάσταση (δηλ. κάποιο από τα ηλεκτρόνιά του μεταβεί σε ανώτερη στάθμη) το άτομο αυτό έχει κάποια πιθανότητα να εκπέμψει ένα φωτόνιο και να μεταβεί σε χαμηλότερη κατάσταση. Η διεργασία αυτή καλείται αυθόρμητη αποδιέγερση. Τα φωτόνια που εκπέμπονται με αυθόρμητη αποδιέγερση έχουν τυχαίες διευθύνσεις. Συνήθως ένα άτομο παραμένει σε διεγερμένη κατάσταση περίπου 10^{-8} sec. Αν κατά τη διάρκεια παραμονής του ηλεκτρονίου στη διεγερμένη κατάσταση πέσει πάνω του ένα φωτόνιο ενέργειας ίσης με την ενεργειακή διαφορά διεγερμένης - θεμελιώδους, το φωτόνιο αυτό παρακινεί το άτομο να αποδιεγερθεί, εκπέμποντας ένα δεύτερο φωτόνιο, το οποίο έχει ίδια κατεύθυνση και φάση με το φωτόνιο που υποκίνησε την αποδιέγερση. Η διαδικασία αυτή λέγεται εξαναγκασμένη εκπομπή και είναι η βάση της λειτουργίας του LASER.

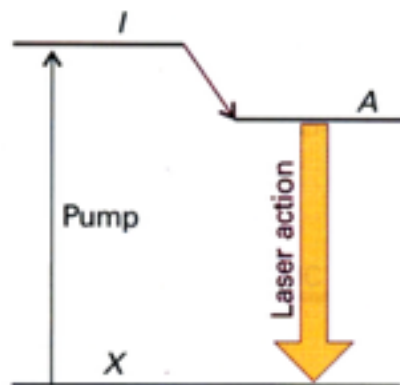
5.4 Αντιστροφή πληθυσμού

Βασική προϋπόθεση για τη δράση ενός LASER είναι η ύπαρξη μιας μετασταθούς διεγερμένης κατάστασης με μεγάλο χρόνο ζωής για να μπορεί να συμμετάσχει σε εξαναγκασμένη εκπομπή.

Επειδή σε θερμική ισορροπία ο πληθυσμός της χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης είναι μεγαλύτερος είναι βασικό προαπαιτούμενο να επιτευχθεί η αντιστροφή πληθυσμού.

Η αντιστροφή πληθυσμού δημιουργείται έμμεσα μέσω διέγερσης του μορίου από τη θεμελιώδη κατάσταση X σε μια ενδιάμεση κατάσταση I . Το διεγερμένο μόριο αποβάλλει μέρος της ενέργειας του (χωρίς ακτινοβολία) και πέφτει σε μια χαμηλότερη κατάσταση A .

Σε ένα LASER τριών επιπέδων, η μετάβαση που οδηγεί σε δράση LASER είναι η από A σε X .



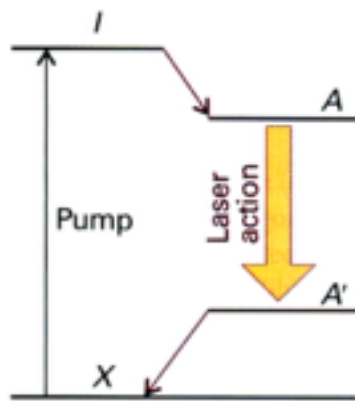
Σχήμα: Οι μεταβάσεις που παίρνουν μέρος σε ένας LASER τριών επιπέδων

Η μετάβαση από την κατάσταση X στην κατάσταση I προκαλείται από έναν ισχυρό παλμό φωτός, αυτή η διαδικασία καλείται άντληση. Συνήθως, ο αντλητικός παλμός επιτυγχάνεται με ηλεκτρική εκκένωση μέσα σε αέριο ξένο, ή με το φως που προέρχεται από κάποιο άλλο LASER.

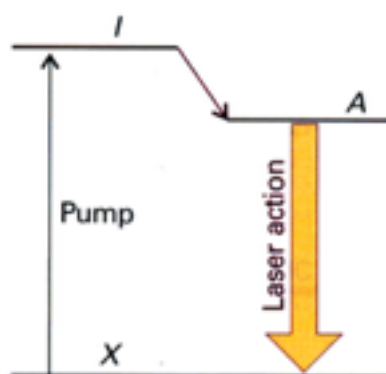
Η μετάβαση από την κατάσταση I στην κατάσταση A πρέπει να είναι ταχύτερη σε αντίθεση με την μετάβαση από την κατάσταση A στην κατάσταση X, που πρέπει να είναι αργή. Ένα μειονέκτημα του συστήματος τριών επιπέδων είναι η δυσκολία επίτευξης αντιστροφής πληθυσμών. Αυτό συμβαίνει γιατί πρέπει να αντληθεί ένας τεράστιος αριθμός μορίων της θεμελιώδους κατάστασης.

Παρ' όλα αυτά, η αντιστροφή πληθυσμών επιτυγχάνεται ευκολότερα σε ένα σύστημα τεσσάρων επιπέδων. Εκεί η μετάβαση LASER τερματίζεται σε μια κατάσταση A' διαφορετική από τη θεμελιώδη.

Πιο συγκεκριμένα, σε αρχικό σημείο η κατάσταση A' δεν διαθέτει καθόλου πληθυσμό. Για τον λόγο αυτό οποιοσδήποτε πληθυσμός στην κατάσταση A συνεπάγεται αντιστροφή πληθυσμού και δράση LASER.



Σχήμα: Οι μεταβάσεις που εμπλέκονται σε ένα LASER τεσσάρων επιπέδων



Σχήμα: Οι μεταβάσεις που εμπλέκονται σε ένα LASER τριών επιπέδων

5.5 Οπτικός ταλαντωτής

Το LASER δεν είναι ένας τυπικός και απλός οπτικός ταλαντωτής, αντιθέτως είναι ένας πλήρης οπτικός ταλαντωτής βασιζόμενος στις αναπροσαρμοσμένες αρχές λειτουργίας των ηλεκτρονικών ταλαντωτών για την οπτική περιοχή.

Γνωρίζουμε πως ένας σχετικά απλός ηλεκτρονικός ταλαντωτής διαθέτει έναν ηλεκτρονικό ενισχυτή, όπου βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα. Ο ενισχυτής αυτός διαθέτει ακόμα ένα σύστημα θετικής ανασύζευξης με σκοπό να πληρούνται τα κριτήρια Barkhausen, $\beta A v | > 1$ και $\varphi = 0$. (Τα κριτήρια Barkhausen προκύπτουν και από τη θεωρία αυτομάτου ελέγχου. Για να εμφανίζει συντηρούμενη ταλάντωση η έξοδος ενός συστήματος με συνάρτηση μεταφοράς 1ου βαθμού πρέπει οι πόλοι του συστήματος να έχουν θετικό πραγματικό μέρος, ίσο με ένα. Το σήμα εξόδου αυξάνει σε κάθε περίοδο αν το κέρδος ανοικτού βρόγχου είναι μεγαλύτερο από ένα έως ώτου να περιοριστεί από την καμπύλη φορτίου. Το κέρδος ανοικτού βρόγχου θέλουμε να είναι οριακά μεγαλύτερο της μονάδας για να μπορέσει το σύστημα να υπερνικήσει φαινόμενα όπως οι παρασιτικές χωρητικότητες και να κάνει ταλάντωση.)

Από την στιγμή που θα αρχίσει να λειτουργεί το κύκλωμα, ενισχύεται αυτόματα ένα σήμα ηλεκτρικού θορύβου και μετά από την ενίσχυση αυτή εμφανίζεται στην έξοδο. Έπειτα μέσω του συστήματος ανασύζευξης μεταφέρεται ξανά στην είσοδο από εκεί ενισχύεται πάλι και αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Παρόλο που η ενίσχυση του σήματος επαναλαμβάνεται, δεν δημιουργείται κάποιος ατέρμονος βρόχος καθώς όσο μεγαλώνει το πλάτος του ενισχυμένου σήματος του θορύβου η μεταβολή στάθμης ισχύος μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του ενισχυτή αρχίζει να μειώνεται εξαιτίας φαινομένων μη γραμμικότητας.

Μετά από αυτό ο ενισχυτής μπαίνει σε κόρο και στην έξοδο του κυκλώματος του ταλαντωτή έχουμε μια σταθεροποίηση σε ακριβής τιμή.

Στα Laser τώρα, έχουμε έναν οπτικό ενισχυτή ενισχυμένο με την βοήθεια οπτικής κοιλότητας συντονισμού και πιο συγκεκριμένα ενός αντηχείου Fabry - Perot και την θέση της κλασσικής ηλεκτρονικής ανασύζευξης την παίρνει η οπτική ανασύζευξη.

Το συμβολόμετρο Fabry - Perot σχεδιάστηκε το 1897 από τους C. Fabry and A. Perot και αποτελεί μια εξέλιξη του συμβολόμετρου Michelson.

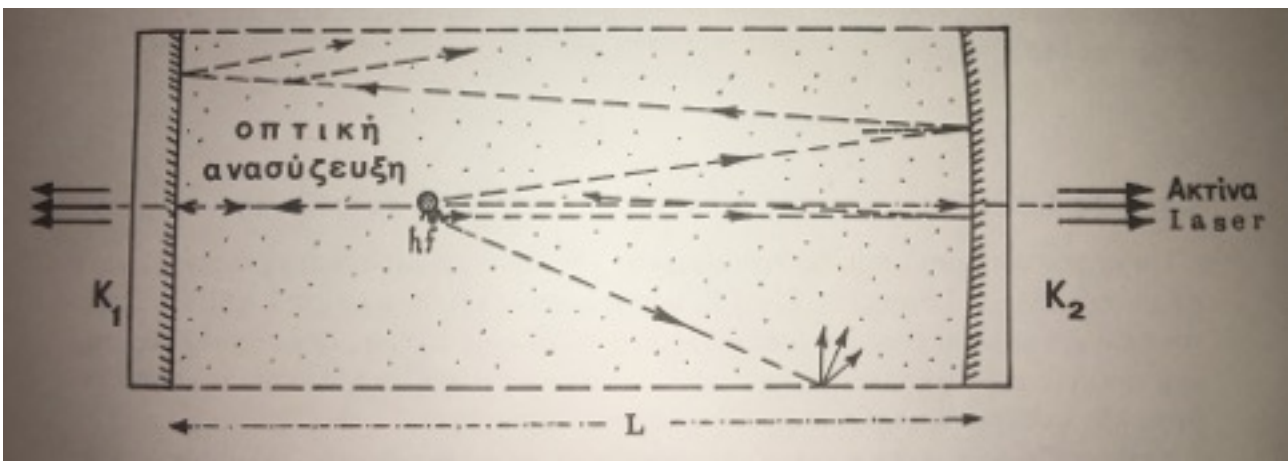
Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι το συμβολόμετρο Fabry - Perot κάνει χρήση του φαινομένου της συμβολής πολλαπλών ακτίνων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί δύο παράλληλα μεταξύ

τους οπτικά επίπεδα πλακίδια, που έχουν την ιδιότητα να ανακλούν μερικώς το φως στην εσωτερική τους πλευρά.

Κάθε φορά που μία δέσμη φωτός διαπερνά την επιφάνεια του πρώτου πλακιδίου, ένα τμήμα της διέλθει του συστήματος των δυο πλακιδίων και θα περάσει στην άλλη πλευρά, ενώ το υπόλοιπο θα ανακλαστεί στην εσωτερική επιφάνεια του δεύτερου πλακιδίου και θα γυρίσει προς τα πίσω, ξεκινώντας έτσι ένα κύκλο διαδοχικών ανακλάσεων στις εσωτερικές επιφάνειες των πλακιδίων.

Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η διάσπαση της αρχικής δέσμης σε πολλαπλές δέσμες που εξέρχονται από την άλλη πλευρά όπου και συμβάλλουν. Οι κροσσοί συμβολής που παρατηρούνται παρουσιάζουν ένα υψηλό επίπεδο καθαρότητας, πράγμα που καθιστά το συγκεκριμένο συμβολόμετρο σημαντικό εργαλείο στην οπτική φασματοσκοπία υψηλής ευκρίνειας.

Η παραγωγή των οπτικών ταλαντώσεων ακτινοβολίας LASER γίνεται από τον οπτικό θόρυβο που βρίσκεται στο ενεργό υλικό ενίσχυσης. Τα φωτόνια που κινούνται κατά μήκος του οπτικού άξονα του αντήχειου Fabry - Perot πολλαπλασιάζονται και αναπαράγονται ως φωτόνια εξαναγκασμένης εκπομπής με την προϋπόθεση όμως ότι θα πρέπει να έχουμε κατάσταση αντιστροφής πληθυσμού. Έτσι τα φωτόνια εξαναγκασμένης εκπομπής όντας αριθμητικά ενισχυμένα θα ανακλαστούν με την διαδικασία της οπτικής ανασύζευξης και θα επιστρέψουν και πάλι μέσα στο ενεργό υλικό. Η διαδικασία αυτή παγιώνεται στην τιμή όπου η οπτική ενίσχυση του ενεργού υλικού εξισορροπείται όποιες τυχόν απώλειες που έχουμε από την απορρόφηση. Οι απώλειες αυτές αναλογούν σε μια διάδοση του φωτός μέσα στην οπτική κοιλότητα.



Σχήμα. Οπτική κοιλότητα (αντήχειο Fabry - Perot) - Οπτική ανασύζευξη

5.6 Συνθήκες δράσης των LASER

Βασική προϋπόθεση για την παραγωγή σύμφωνης ακτινοβολίας είναι η τήρηση κάποιων βασικών όρων. Οι όροι αυτοί είναι οι εξής:

- Να υπάρχει το κατάλληλο μέσο ενίσχυσης.
- Να είναι οργανωμένη η συντονισμένη οπτική κοιλότητα (το οπτικό αντηχείου Fabry - Parot)
- Η διέγερση που θα εφαρμοστεί, να είναι ικανή ώστε να έχουμε αντιστροφή πληθυσμού ή αλλιώς κβαντική άντληση.

Όσο πληρούνται οι παραπάνω όροι δημιουργείται στο εσωτερικό του ενεργού υλικού μια φωτοδέσμη μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας, απόλυτα συγκεντρωτική, μέρος της οποίας εισχώρει και περνάει μέσα απο το κάτοπτρο και από εκεί απελευθερώνεται στο περιβάλλον ως δέσμη Laser.

Πιο αναλυτικά:

Το **ενεργό υλικό** είναι το υλικό που παρέχει τις στάθμες ενέργειάς του για μεταπτώσεις ηλεκτρονίων που οδηγούν σε δράση Laser. Το υλικό αυτό δρα σαν ένας ενισχυτής στην οπτική ακτινοβολία που περνάει δια μέσω αυτού.

Η ακτινοβολία αυτή εγκλωβίζεται στην λεγόμενη κοιλότητα συντονισμού ή οπτικό αντηχείο το οποίο αποτελείται από δύο καθρέπτες..

Το **οπτικό αντηχείου** αποτελείται από δυο επίπεδους καθρέφτες τοποθετημένους ο ένας απέναντι από τον άλλο σε απόσταση L. Σε πρώτη προσέγγιση οι τρόποι δόνησης του

αντηχείου μπορούν να θεωρηθούν ως οι γραμμικοί συνδυασμοί δυο επίπεδων κυμάτων που διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις ως προς τον άξονα της κοιλότητας. Οι ιδιοσυχνότητες της κοιλότητας τότε μπορούν να υπολογιστούν από την συνθήκη το μήκος κύματος της κοιλότητας L να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του ημιμήκους του μήκους κύματος λ , δηλαδή $L=n(\lambda/2)$.

Αυτό προκύπτει από την αναγκαία συνθήκη μηδενισμού των στάσιμων κυμάτων πάνω στην επιφάνεια των καθρεφτών. Οι ιδιοσυχνότητες περιγράφονται από τη σχέση:

$$v = n \cdot c / 2$$

Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργείται το φαινόμενο της ανάδρασης (feedback) στην παραγόμενη οπτική ακτινοβολία, έτσι ώστε το LASER να λειτουργεί σε μια αυτοσυντηρούμενη ταλάντωση.

Η **διέγερση** του ενεργού μέσου συχνά αναφέρεται και ως άντληση. Η διαδικασία της άντλησης είναι καθοριστικής σημασίας για την δημιουργία του φαινομένου LASER αφού μέσω αυτής παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια ώστε τα άτομα του ενεργού μέσου να διεγερθούν και να προκληθεί η επιθυμητή αντιστροφή πληθυσμού. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι παρουσιάζονται στο σημείο αυτό.

- Οπτική άντληση:

Η προσφερόμενη ενέργεια είναι υπό μορφή φωτονίων, τα οποία μπορεί να προέρχονται από λυχνίες ή από άλλο laser.

- Ηλεκτρική διέγερση αερίου:

Η ηλεκτρική διέγερση χρησιμοποιείται συνήθως στις περιπτώσεις που το ενεργό μέσο είναι αέριο. Σε αυτή την περίπτωση ο ρόλος των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι μείζονος σημασίας. Αρχικά εφαρμόζεται υψηλή τάση στα άκρα του ενεργού μέσου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να επιταχύνονται λόγω του υψηλού δυναμικού. Κατά την κίνηση τους αυτή συγκρούονται με άτομα του αερίου και τα διεγείρουν, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η αναστροφή πληθυσμών.

- Διέγερση μέσω κρούσεων:

Διεγείρεται το ένα είδος ατόμων και μετά αποδίδει την ενέργεια του στο άλλο μέσω κρούσεων.

- Χημική διέγερση:

Κατά τη διέγερση αυτή η απαραίτητη ενέργεια προσφέρεται από χημική αντίδραση μεταξύ των ατόμων του μορίου.

- Διέγερση με ηλεκτρικό ρεύμα:

Είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται στα LASER ημιαγωγών. Το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το ενεργό μέσο προκαλεί την επιθυμητή αντιστροφή πληθυσμών.

Ακολουθεί το διάγραμμα δομής ενός απλού Laser:



5.7 Η δομή των LASER

Η δίοδος LASER χρησιμοποιεί μία ορθά πολωμένη επαφή p-n τύπου για να αδειάζουν μέσα ηλεκτρόνια και οπές ώστε να δημιουργήσουν φως. Ο σχεδιασμός της δομής LASER δημιουργεί μια οπτική κοιλότητα σκοπός της οποίας είναι να καθοδηγήσει τα φωτόνια που δημιουργούνται. Η οπτική κοιλότητα είναι στην ουσία ένα κοίλωμα συντονισμού όπου μέσα στο οποίο ανακλούνται τα φωτόνια. Για τον λόγο αυτό όταν έχουμε εκπομπή φωτονίων το ποσοστό που επιτρέπεται να αφήσει την κοιλότητα είναι αρκετά μικρό, αποτέλεσμα αυτού είναι η πυκνότητα των φωτονίων αρχίζει να αυξάνεται μέσα στην κοιλότητα.

Στα LASER στερεάς κατάστασης χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός σημαντικών κοιλοτήτων. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιούνται, κοιλότητες για Laser καταμεμημένης ανατροφοδότησης με περιοδικά φράγματα, κοιλότητες Fabry - Perot, κοιλότητες για LASER εκπομπής επιφάνειας με ειδικά σχεδιασμένους ανακλαστήρες.

Στα ημιαγωγικά Lasers χρησιμοποιείται η κοιλότητα Fabry - Perot. Η κοιλότητα Fabry - Perot διαθέτει μια γυαλισμένη επιφάνεια κατόπτρου που μέσω αυτής διασφαλίζεται η παραγωγή τρόπων συντονισμού μέσα στην κοιλότητα.

Τα είδη συντονισμού αυτά είναι εκείνα για τα οποία τα μήκη κύματος του φωτονίου ικανοποιούν τη σχέση:

$$L = q\lambda/2$$

όπου,

L είναι το μήκος της κοιλότητας, q είναι ένας οποιοσδήποτε ακέραιος αριθμός και λ το μήκος του κύματος του φωτός στο υλικό.

Η παρακάτω σχέση μας δίνει το μήκος κύματος του ελεύθερου χώρου:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n_r}$$

όπου,

n_r είναι ο δείκτης διάθλασης της κοιλότητας.

Την απόσταση ανάμεσα στους στάσιμους τρόπους συντονισμού την παίρνουμε από την σχέση:

$$\Delta k = \frac{\pi}{L}$$

Η κοιλότητα Fabry - Perot διαθέτει σε δυο πλευρές αντανakλαστικές επιφάνειες. Οι υπόλοιπες επιφάνειες είναι τραχιές με σκοπό τα φωτόνια που εκπέμπονται από τις πλευρές αυτές να μην ανα-

κλώνται προς τα πίσω. Έτσι διασφαλίζουμε και ότι τα φωτόνια αυτά δεν θα αυξηθούν. Για τον λόγο αυτό στη διαδικασία εξαναγκασμένης εκπομπής μόνο οι τρόποι συντονισμού μπορούν να αυξηθούν και να πάρουν μέρος.

Τα LASER κατασκευάζονται σαν λωρίδα πλάτους 10 μm έως 50 μm. Η λωρίδα αυτή δημιουργείται με καθάρισμα επιφάνειας με ξύσιμο δηλαδή με απόξεση.

Το πως κατασκευάζεται δομικά ένα Laser βασίζεται όπως είδαμε και στο παραπάνω σχήμα σε κάποια τμήματα. Το πρώτο είναι η βασικότερη λειτουργική μονάδα που μετατρέπει σε οπτική ενέργεια της δέσμης LASER την ενέργειας άντλησης. Η λειτουργία αυτή καλείται μονάδα εκπομπής Laser (LASER Emitter). Ένα άλλο βασικό τμήμα αυτής της δομής είναι η εξωτερική πηγή τροφοδοσίας (Power Source). Η εξωτερική αυτή πηγή δίνει την ενέργεια άντλησης πάνω από το κατώφλιο δράσης LASER και αρχίζει τις περισσότερες φορές από την ενέργεια του ηλεκτρικού δικτύου.

Τα LASER εκτός από τα προαναφερθέντα βασικά τμήματα περιέχει και κάποια άλλα όπως είναι το σύστημα ψύξης για να ρυθμίζεται η θερμοκρασία βασικό κομμάτι για την επιτυχία της αναστροφής πληθυσμών αλλά και για την απομάκρυνση της θερμότητας που δημιουργείται από τις απώλειες μέσα στο Laser. Υπάρχει ακόμα ένα τμήμα διαμόρφωσης το οποίο είναι υπεύθυνο για την τροποποίηση και τον έλεγχο του ρυθμού λειτουργίας των LASER. Ταυτόχρονα κάποιες φορές είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση ενός εξωτερικού οπτικού συστήματος μέσω του οποίου ρυθμίζεται το προφίλ και το άνοιγμα της γωνίας της δέσμης του LASER. Τέλος, υπάρχει ένα τμήμα ελέγχου για την μέτρηση βασικών χαρακτηριστών της δέσμης του LASER, όπως είναι η συχνότητα και η οπτική ισχύς με σκοπό αυτά τα χαρακτηριστικά να παραμένουν σε κάποιες συγκεκριμένες τιμές.

5.8 Οι βασικότεροι τύποι των LASER

Στα Laser αυτά, το ενεργό υλικό είναι στερεό, με την μορφή πρόσμιξης, κυρίως ιόντων, μέσα σε κάποιο κρυσταλλικό υλικό. Λόγω των αλληλεπιδράσεων των ατόμων των προσμίξεων με το κρυσταλλικό πλέγμα, τα ενεργειακά τους επίπεδα διευρύνονται, όπως άλλωστε υποδηλώνεται από τις ευρείες ζώνες εκπομπής και απορρόφησης τις οποίες παρουσιάζουν τα σχετικά φάσματα τους. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι η άντληση τους να γίνεται με καλή απόδοση, τόσο από ειδικές λυχνίες ηλεκτρικής εκκένωσης, όσο και από άλλα LASER. Η ελικοειδής λυχνία χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο LASER που λειτούργησε ποτέ, το Ruby LASER, αλλά στη συνέχεια την θέση του πήραν λυχνίες οι οποίες ήταν τοποθετημένες σε παράλληλη διάταξη

Στα LASER στερεάς κατάστασης, η δυνατότητα μεταβολής του μήκους κύματος της εκπομπής τους είναι, γενικά περιορισμένη, αφού η δράση LASER δημιουργείται μεταξύ διακριτών και καλά καθορισμένων ενεργειακά επιπέδων. Η αλλαγή του υποδοχέα, έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή φασματική μετατόπιση της εκπομπής LASER. Ορισμένες φορές μπορεί το κάτω επίπεδο της μετάβασης LASER να είναι μία ζώνη. Συνεπώς είναι δυνατή η μεγάλη μεταβολή του μήκους κύματος του LASER.

Η λειτουργία των στερεάς κατάστασης περιγράφεται με τη βοήθεια των μοντέλων τεσσάρων επιπέδων. Οι θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των κρυστάλλων των LASER αυτής της κατάστασης καθορίζονται κυρίως από τον υποδοχέα. Ο υποδοχέας αυτός είναι υπεύθυνος για ομαλή λειτουργία κάποιων διαδικασιών. Περιληπτικά κάποιες από τις διαδικασίες του υποδοχέα είναι να θέτει ταυτόχρονα τα όρια της ισχύος εξόδου, της συχνότητας λειτουργίας και τα επίπεδα ισχύος της οπτικής άντλησης.

RUBY LASER - LASER ΡΟΥΒΙΝΙΟΥ

Το πρώτο ενεργό υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε ποτέ για την παραγωγή ακτινοβολίας LASER, ήταν ένας κρύσταλλος ρουβινίου (ruby), του γνωστού ημιπολύτιμου λίθου το 1960 από τον T. Maiman.

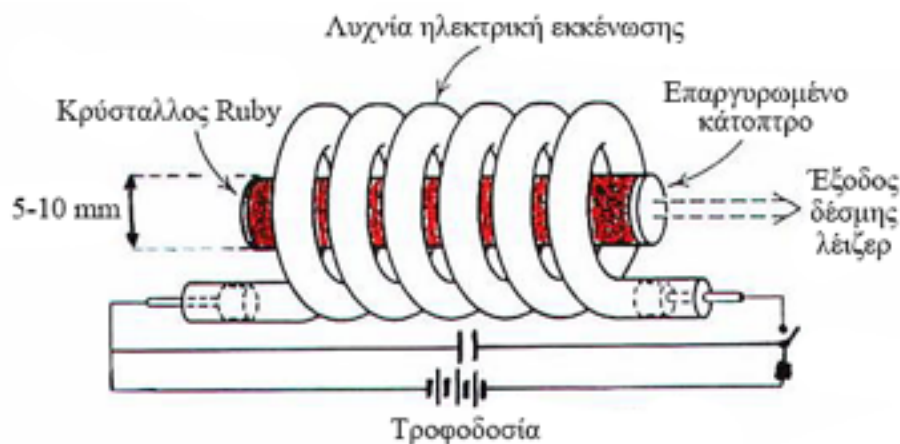
Το LASER αυτό εκπέμπει στο ερυθρό, στα 694.3 nm. Από χημική άποψη, το ρουβίνιο είναι ένα οξείδιο του αλουμινίου, το κορούνδιο, με περίπου 0.05% κ.β. πρόσμιξη

τριθενών ιόντων χρωμίου τα οποία του προσδίδουν και το χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα.

Το υπεύθυνο μέσο για τη δράση LASER είναι τα ιόντα χρωμίου τα οποία αντικαθιστούν μερικά άτομα Al στο πλέγμα του κρυστάλλου κορούνδιου. Στα ιόντα αυτά οφείλεται και το χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα των κρυστάλλων του ρουμπινιού.

Οι ράβδοι φτάνουν μέχρι τα 20 εκατοστά σε μήκος και 3 - 25 χιλιοστά σε διάμετρο. Το ρουμπίνιο αντιστέκεται στην οπτική φθορά στα πλαίσια φυσιολογικών επιπέδων ισχύος εάν η επιφάνειά του είναι καθαρή και άγει θερμότητα καλύτερα από το Nd - YAG ή από ένα γυάλινης κατασκευής LASER νεοδυμίου. Ωστόσο, διαθέτει ένα σύστημα τριών επιπέδων που περιορίζει σημαντικά την απόδοση. Επίσης υφίσταται αυτοαπορρόφηση σε περιοχές όπου δεν έχει γίνει άντληση.

Η κβαντική άντληση που εφαρμόζεται είναι οπτική που σημαίνει το ενεργό υλικό φωτίζεται και ερεθίζεται από την παραγόμενη ξαφνική εκπομπή λάμπης, μικρής διάρκειας συνήθως.



Σχήμα: Διάταξη άντλησης ενός Laser Ρουβινιού.

GAS LASER - LASER ΑΕΡΙΟΥ

Το 1961 οι Maiman TH και Javan A, κατασκεύασαν το πρώτο αέριο Laser ήταν He-Ne, εξέπεμπε στο κοντινό υπέρυθρο (1152 nm).

Τα αέρια LASER μπορούν να διεγείρονται συνήθως με ηλεκτρική εκκένωση που προκαλείται με εφαρμογή υψηλού δυναμικού στα ηλεκτρόδια στα άκρα του σωλήνα. Ηλεκτρόνια αποσπώνται από την κάθοδο, επιταχύνονται προς την άνοδο, συγκρούονται με τα μόρια του αερίου και τους μεταδίδουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας όπου και τα διεγείρουν.

Σε αντίθεση με τα LASER ρουβινίου, στα αερίου η οπτική άντληση ως μέθοδος διέγερσης καθίσταται εξαιρετικά δύσκολη. Για να απορροφηθεί ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας είναι αναγκαίο το φάσμα απορρόφησης του υλικού να είναι παρόμοιο με το φάσμα εκπομπής της πηγής. Οι περισσότερες πηγές φωτός έχουν μεγάλο φάσμα εκπομπής, σε αντίθεση με τα άτομα του αερίου που απορροφούν σε λεπτές γραμμές. Για τον λόγο αυτό η οπτική άντληση δεν επιλέγεται για τη διέγερση του ενεργού υλικού αέριων LASER. Εξαίρεση είναι η χρήση της δέσμης LASER CO₂ για την οπτική άντληση του ενεργού υλικού του μακρινού υπέρυθρου αερίου LASER.

Απο την άλλη πλευρά οι παραπάνω συνθήκες επιτρέπουν την πραγματοποίηση δέσμης LASER συνεχούς παροχής και με εξαιρετικά ευκρινή χαρακτηριστικά κύματος. Μια υποκατηγορία αυτών των LASER αερίου είναι τα ατομικά LASER με το πιο διαδεδομένο να είναι το laser Ηλίου - Νέου (HE - NE LASER). Άλλη υποκατηγορία είναι τα ιοντικά laser, με το LASER Άργου (Argon laser) να είναι το κυριότερο. Στην κατηγορία των LASER αερίων ανήκουν και τα ατομικά laser όπως το LASER CO₂, το LASER αζώτου και το LASER διηγεμένων διμερών. Αυτού του είδους τα LASER δεν χρησιμοποιούνται σπανίως.

Αρκετά μόρια με μικρό αριθμό ατόμων, έχουν χρησιμοποιηθεί ως ενεργά υλικά. Η πίεση του αερίου είναι συνήθως μικρή, της τάξης των μερικών mbar εξαιτίας του ότι τα LASER αυτά αντλούνται συνήθως με ηλεκτρική εκκένωση οι μεγάλες πιέσεις θα ήταν ένα μεγάλο αγκάθι για την εκκίνηση ενώ ταυτόχρονα θα δημιουργούσαν σημαντική διαπλάτυνση των μεταβάσεων, πράγμα ανεπιθύμητο. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και κάποια laser αερίων, όπου η πίεση του αερίου είναι αρκετά υψηλή.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτών των LASER είναι η ομοιογένεια του ενεργού υλικού, η καλή απόδοση ενώ η δέσμη που παράγεται είναι εξαιρετικής οπτικής ποιότητας. Στα μειονεκτήματα τους είναι ο όγκος του σωλήνα του LASER που είναι αρκετά μεγάλος και τα ογκώδη τροφοδοτικά για παραγωγή υψηλών ρευμάτων και τάσεων. Τα παραπάνω μειονεκτήματα δεν διευκολύνουν την χρήση τους σε εφαρμογές αν σκεφτεί κανείς ότι η σημερινή εποχή προστάζει μικρότερα σε όγκο LASER.

LASER Ηλίου-Νέου (LASER He-Ne)

Το LASER Ηλίου-Νέου ήταν το πιο διαδεδομένο Laser μέχρι ωςότου εμφανίστηκε το LASER διόδων. Το ενεργό υλικό είναι το νέον (Ne) και διαθέτει τέσσερα ενεργειακά επίπεδα. Δύο μετασταθερά ενεργειακά επίπεδα δρουν ως άνω επίπεδα, ενώ υπάρχουν άλλα δυο που δρουν ως κάτω επίπεδα.

Η παρουσία του αερίου He είναι ωφέλιμη για τους συγκεκριμένους λόγους.

Πιο συγκεκριμένα η απευθείας διέγερση του Ne είναι λιγότερο αποδοτική σε σχέση με το He το ενεργειακό επίπεδο του ηλίου είναι πολύ κοντά στο αντίστοιχο του νέου.

Επομένως από την ηλεκτρική εκκένωση τα αποσπώμενα ηλεκτρόνια συγκρούονται κυρίως με τα άτομα He τα οποία διεγείρονται και με συγκρούσεις διεγείρουν με τη σειρά τους τα άτομα του Ne.

Το μεγαλύτερο κομμάτι των εφαρμογών του LASER He-Ne βασίζονται στο ορατό κόκκινο που έχει και τη μεγαλύτερη ένταση.

Τα άτομα του Νέου μεταφέρουν την ενέργεια των ηλεκτρονίων της εκκένωσης την οποία έχουν πάρει μεταξύ των ηλεκτρικά πεδία της ανόδου και καθόδου και την μεταφέρουν στα άτομα Νέου (He) με σκοπό την διέγερση τους.

Τα LASER αυτού του είδους έχουν μεγάλη φασματική καθαρότητα. Παράλληλα η φωτεινή δέσμη που έχουμε στην έξοδο είναι άκρως συγκεντρωτική και κατευθυντική έχοντας άνοιγμα μικρότερο του 1 mrad. Έχουν άριστη συνεκτικότητα για αρκετό μήκος της φωτοδέσμης του. Ακόμα, διαθέτουν σταθερή και συνεχή φωτεινή ένταση εξόδου. Τέλος αν δεν χρειάζεται μεγάλη ισχύς, μπορεί να έχουν μικρές διαστάσεις.

Όμως, στα αρνητικά των LASER He-Ne είναι ότι δεν έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν μεγάλη ισχύς και ότι δεν είναι εύκολη η εσωτερική τους διαμόρφωση. Ένα τελευταίο μειονέκτημα των LASER Ηλίου-Νέου είναι και η ανάγκη τους για ένα πολύπλοκο σύστημα ηλεκτρικής διέγερσης αλλά τευτόχρονα και τροφοδοσίας.

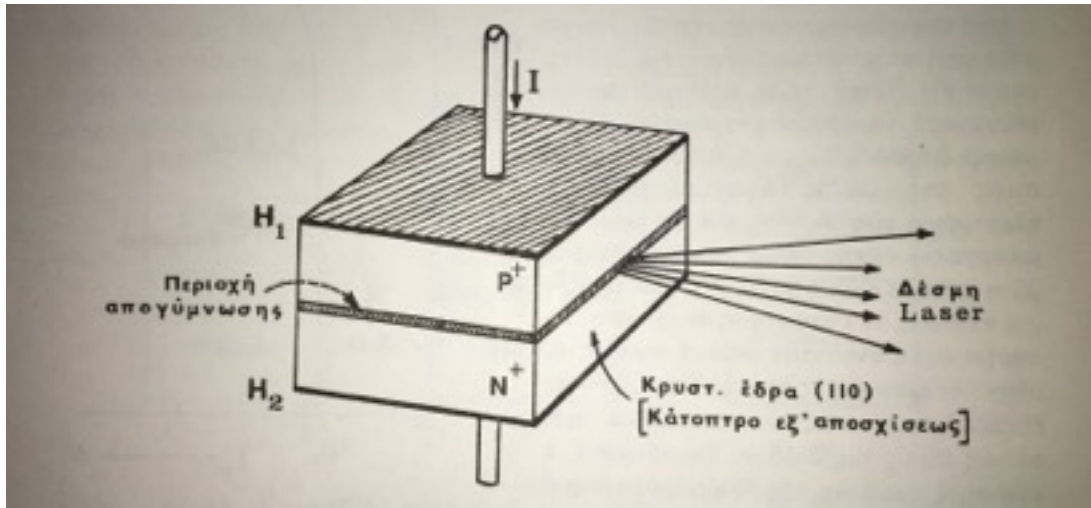
LASER ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ - DIODE LASER

Το ενεργό υλικό των LASER ημιαγωγών είναι η ενδιάμεση περιοχή απογύμνωσης μιας εκπέμπουσας φως δίοδου LED. Ταυτόχρονα μέσα στην περιοχή απογύμνωσης βρίσκεται μια σταθμη της ζώνης σθένους και μια στάθμη της ζώνης αγωγιμότητας.

Για την διατήρηση της αντιστροφής πληθυσμού που είναι αναγκαία για την δράση LASER κβαντική άντληση που απαιτείται είναι υποχρεωμένη να δημιουργεί υπερπληθυσμού ηλεκτρονίων στην ζώνη αγωγιμότητας. Η άντληση πραγματοποιείται με έγχυση μεγάλου ρεύματος θετικής φοράς στην δίοδο.

Η οπτική κοιλότητα βρίσκεται πάνω στην ίδια την δίοδο πάντα μορφοποιώντας κατάλληλα δύο αντικείμενα στη θέση της περιοχής απογύμνωσης.

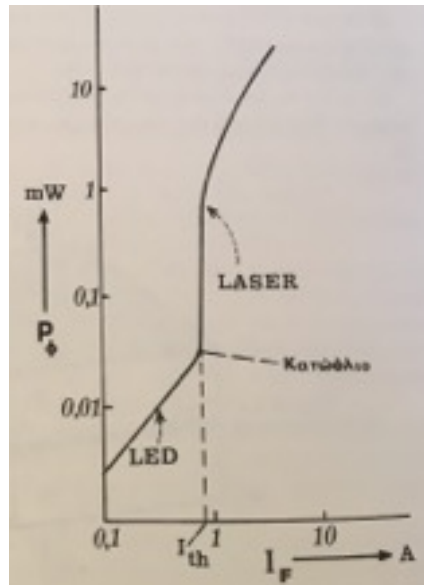
Με βάση τα παραπάνω και δίνοντας αρκετά μεγάλη ποσότητα ρεύματος, η επαφή p-n θα εκπέμψει δέσμη LASER από το άνοιγμα της περιοχής απογύμνωσης. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα: Κατασκευή ενός διοδικού Laser.

Στα laser ημιαγωγού η χρησιμοποίηση εξωτερικών κατόπτρων μπορεί να μειωθεί και την θέση τους να πάρουν τα κατοπτρικά τοιχώματα λόγω του ότι οι ημιαγωγοί έχουν αρκετά μεγάλο αριθμό δείκτη διάθλασης. Ο μεγάλος δείκτης διάθλασης είναι αυτός που βοηθάει σημαντικά στην μεγάλη ανακλαστικότητα της επιφάνειας που χωρίζει την περιοχή του υλικού και την περιοχή του αέρα ώστε αυτή να μπορεί να αγγίξει την κατάλληλη τιμή για τη δράση laser.

Η πραγματοποίηση της δράσης των διοδικών LASER γίνεται αντιληπτή όσο εξελίσσεται η λειτουργία μιας LED - LASER διόδου και αυξάνεται η ένταση του ρεύματος όρθης φοράς. Όσο η δίοδος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα - κάτω από 0,1 - τότε λειτουργεί σαν μια κανονική δίοδο LED. Στην περίπτωση αυτή απελευθερώνονται ασύμφωνα φωτόνια στο περιβάλλον με τη μορφή ακτινοβολίας εκπομπής φωτός αλλά χωρίς θέρμανση της επαφής p-n. Από την άλλη πλευρά όταν αυξηθεί το ρεύμα και ξεπεράσει ένα κατώφλιο ρεύματος I_{th} η περιοχή της ζώνης αγωγιμότητας γεμίζει με ηλεκτρόνια και έτσι δημιουργείται αναστροφή πληθυσμού σε σχέση με τις στάθμες της ζώνης σθένους. Στην περίπτωση που υπάρχει και η απαιτούμενη οπτική κοιλότητα τότε έχουμε έναρξη της δέσμης LASER η οποία βγαίνει από τις λειασμένες επιφάνειες της διόδου.



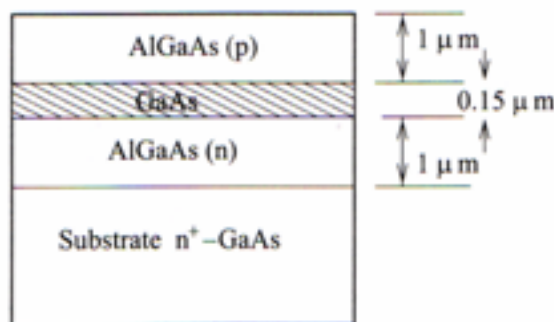
Σχήμα: Χαρακτηριστική γραμμικότητας της δράσης laser ημιαγωγού διόδου με αυξανόμενο ρεύμα I .

5.9 Μονοχρωματικότητα δέσμης LASER ημιαγωγών

Η πιο ενδιαφέρουσα ίσως ιδιότητα των Laser είναι η μονοχρωματικότητα της ακτινοβολίας τους. Αν και μια πηγή φωτός δεν μπορεί να δώσει απόλυτα μονοχρωματικό φως, τα Laser δίνουν την καλύτερη υπαρκτή προσέγγιση προς το ιδανικό μονοχρωματικό φως. Το οπτικό αντηχείο έχει μεγάλο συντελεστή ποιότητας Q στην περιοχή απογύμνωσης των διοδικών laser. Τα κύματα που θέτονται σε ισχύ όσο δρα το LASER συντονίζονται σε μία συχνότητα όπου το εύρος ζώνης είναι πιο στενό από ότι είναι στα LED. Η γραμμή φάσματος εκπομπής ενός διοδικού laser είναι περίπου 10Å. Γίνεται αντιληπτό πως μια τέτοιου είδους μονοχρωματικότητα είναι αδύναμη σε σχέση με άλλα LASER. Αυτό βέβαια μπορεί να αντιμετωπιστεί και η μονοχρωματικότητα να είναι σαφώς πιο βελτιωμένη αν χρησιμοποιήσουμε ειδικού τύπου κατασκευαστική δομή.

5.10 Δομικοί τύποι των LASER ημιαγωγών

Ένα μειονέκτημα που έχουμε στα ομοεπαφιακά laser είναι η μεγάλη τιμή κατωφλίου για δράση laser που έχουν. Εξαιτίας αυτού του μειονεκτήματος λοιπόν, γεννήθηκε η ανάγκη για την δημιουργία ειδικότερων τύπων διοδικών laser ή αλλιώς laser ημιαγωγών με ευκολότερα προσπελάσιμο κατώφλιο. Αυτά είναι τα ετερο-επαφιακά. Η έτερο-επαφή δημιουργείται μεταξύ 2 ημιαγωγών διαφορετικού υλικού άρα και διαφορετικών ενεργειακών χασμάτων. Μείωση του κατωφλίου μπορούμε να έχουμε και γεωμετρία λωρίδας. Σε αυτά τα laser το ρεύμα εγκλωβίζεται σε μια αρκετά στενή λωρίδα ενεργού υλικού.



Σχήμα: Laser έτερο – επαφής είναι αυτό που είναι κατασκευασμένο από GaAs και GaAlAs

Η ενεργός περιοχή είναι κατασκευασμένη από GaAs το οποίο είναι τοποθετημένο ανάμεσα σε 2 στρώματα από n και p τύπου ημιαγωγούς τύπου AlGaAs.

Το laser ημιαγωγού έτερο – επαφής έχει κάποια βασικά πλεονεκτήματα εν συγκρίση με αυτό της όμοιο-επαφής. Τα πλεονεκτήματα αυτά παραθέτονται πιο κάτω:

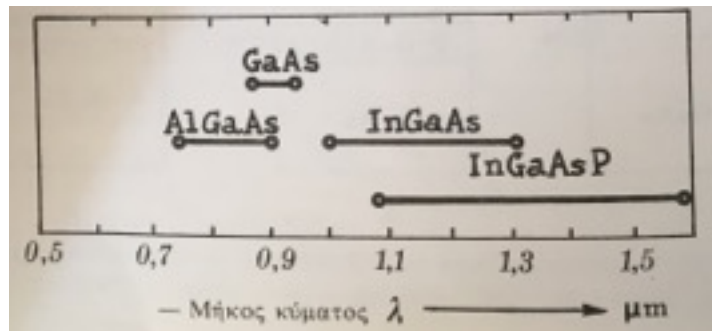
- Εγκλωβίζει τους φορείς σε μια περιοχή όπου η επανασύνδεση τους είναι πολύ πιθανή.
- Η ενεργός περιοχή έχει υψηλότερο δείκτη διάθλασης από τα στρώματα που την περιβάλλουν με αποτέλεσμα την παγίδευση της ακτινοβολίας μέσα στο ενεργό μέσο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης της εξαναγκασμένης εκπομπής.

- Λόγω της παραπάνω ιδιότητας οι απώλειες απορρόφησης της ακτινοβολίας στα στρώματα γύρω από την ενεργό περιοχή, περιορίζεται στο ελάχιστο.

5.11 Υλικά διοδικών LASER

Ανάλογα με την θέση του φάσματος της LED δίοδου που θα συντονίζει την οπτική κοιλότητα εξαρτάται και το μήκος κύματος στο οποίο θα εκπέμπει ένα διοδικό laser. Τα διοδικά laser βασίζονται κατα κύριο λόγο στα εξής υλικά: AlGaAs, GaAs, InGaAs και InGaAsP και αυτό κυρίως για λόγους οικονομοτεχνικούς.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι περιοχές του φάσματος που είναι καλυμμένες:



5.12 Ο ρόλος της θερμοκρασίας στα διοδικά LASER

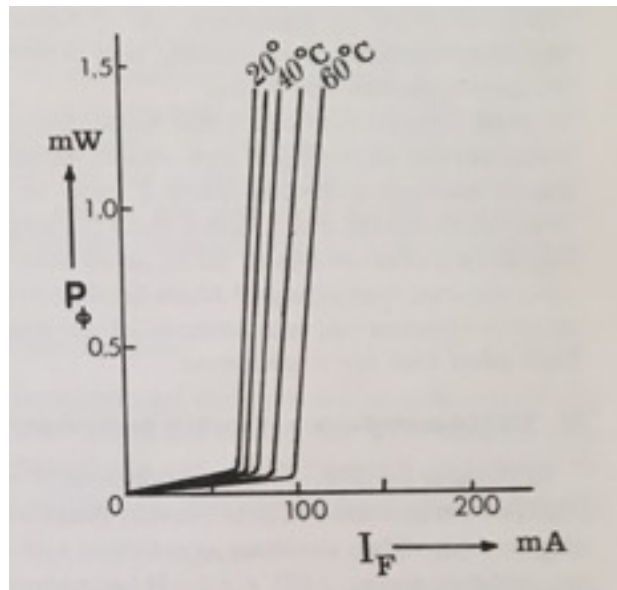
Η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει σημαντικά την απόδοση, την εκπέμπουσα φωσ ισχυ αλλά και το μήκος κύματος εκπομπής διοδικών LASER.

Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μετατοπίζεται αντίστοιχα και η χαρακτηριστική γραμμικότη- τας του LASER προς την μεριά μεγαλύτερων ρευμάτων και αυξάνεται το ρεύμα κατωφλίου.

Το ακριβές αποτέλεσμα αυτής της μετατόπισης είναι διαφορετικό για κάθε τύπο LASER.

Έχουμε αύξηση στο κατώφλιο δράσης του διαδικού LASER περι το 1% / °C για θερμο- κρασίες πάνω απο 22 °C. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του διοδικού LASER, έχουμε αύ- ξηση και του μήκους κύματος της κεντρικής γραμμής εκπομπής του. Ο μέσος ρυθμός της μεταβολής είναι γυρω στα 2,5 A / °C και ορισμένες φορές παρατηρούνται κάποιες απότο-

μες αυξήσεις. Αυτό οδηγεί στην αύξηση του μήκους κύματος όταν αυξάνεται του ρεύματος I_F .



Σχήμα: Χαρακτηριστική γραμμικότητας του LASER συναρτήσει της θερμοκρασίας

5.13 Πλεονεκτήματα διοδικών LASER

Στις μέρες μας τα διοδικά LASER καταλαμβάνουν πολύ χώρο στις οπτικοηλεκτρονικές εφαρμογές λόγω μιας πληθώρας πλεονεκτημάτων. Τα πλεονεκτήματα αυτά θέτουν τα διοδικά LASER σε θέση οδηγού συγκριτικά με άλλα είδη LASER αλλά και σε σχέση με άλλες φωτοπηγές όπως για παράδειγμα λαμπτήρες ή LED. Τα κυριότερα από αυτά τα πλεονεκτήματα αναφέρονται παρακάτω επιγραμματικά ενώ στην συνέχεια θα ακολουθήσει περιγραφή για το καθένα ξεχωριστά. Έτσι, τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

- Άριστη απόδοση

- Κάλυψη τεράστιου εύρους οπτικού φάσματος.
- Μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων διαμόρφωσης.
- Μικρό κόστος.
- Εκπομπή έντονου φωτός.
- Μικροσκοπικές διαστάσεις - Ενιαία δομή.
- Χαμηλή τάση για λειτουργία
- Ρυθμιζόμενο μήκος κύματος.

Πιο συγκεκριμένα:

ΑΡΙΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Η ενεργειακή απόδοση αυτού του τύπου LASER φτάνει έως και 20%. Αυτή η απόδοση είναι άκρως ικανοποιητική και σπάνια για ένα LASER αν αναλογιστεί κανείς ότι τα LASER αερίου έχουν αποδόσεις μικρότερες του 1% αλλά και τα LASER στερεού έχουν από 1 έως 3%.

ΚΑΛΥΨΗ ΤΕΡΑΣΤΙΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Εξαιτίας της μεγάλης ανάπτυξης της τεχνολογίας στις μέρες μας έχουμε αντίστοιχα και μεγάλο εύρος επιτυχημένων υλικών στην βιομηχανία κατασκευής των LASER. Έτσι ανάλογα με το υλικό, την δομή του και τις διαστάσεις τους κατασκευάζονται διοδικά LASER που είναι ικανά να καλύψουν μια πολύ μεγάλη περιοχή μήκων κύματος. Πιο συγκεκριμένα καλύπτουν από το ορατό των 0.63 μm έως το μέσο υπέρυθρο των 30 μm.

Ακόμα, διοδικά LASER μήκους κύματος εκπομπής 1,5 μm αναλαμβάνουν πια δράση στις τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις με οπτικές ίνες.

ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Σήμερα υπάρχουν διοδικά LASER που επιτρέπουν την διαμόρφωση από ηλεκτρικό σήμα με το εύρος ζώνης τους να φτάνει έως και τα 10 GHz. Παράλληλα LASER που χρησιμοποιούνται για καταχώρηση δεδομένων μπορούν να διαμορφωθούν μέσα σε μια ζώνη περίπου 2 GHz. Τόσο μεγάλα όρια μπορούμε να συναντήσουμε μόνο σε αυτού του τύπου τα LASER.

ΜΙΚΡΟ ΚΟΣΤΟΣ

Λόγω της συνεχόμενης αύξησης των βελτιώσεων που γίνονται και της μεγάλης πια παραγωγής, το κόστος των διοδικών LASER είναι αρκετά χαμηλότερο σε σχέση με άλλου τύπου LASER.

ΕΚΠΟΜΠΗ ΕΝΤΟΝΟΥ ΦΩΤΟΣ

Τα LASER αυτού του τύπου έχουν λαμπρότητα φωτοβολίας πολύ μεγαλύτερη από ότι οι συνηθισμένες φωτοπηγές. Δηλαδή, χαρακτηρίζονται από μία μεγάλη φωτεινή ισχύ ανά μονάδα εμβαδού και ανά μονάδα στερεάς γωνίας. Η λαμπρότητα της φωτοβολίας σε συνδιασμό με τη μονοχρωματικότητα και την φάση που θα είναι η φωτοδέσμη επιτρέπει την εστίαση της σε μια κηλίδα διαστάσεων 1 μ , με αρκετά πυκνή τοπική ισχύ. Τα μονής λωρίδας διοδικά LASER είναι ικανά να παράγουν φωτεινή ισχύ 30 mW σε συνεχή παροχή. Τα LASER πολλαπλής λωρίδας παράγουν ισχύ συνεχούς παροχής πάνω από 500 mW.

ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ - ΕΝΙΑΙΑ ΔΟΜΗ

Οι διαστάσεις του τσιπ πάνω στο οποίο βρίσκεται το διοδικό LASER έχει κατά κύριο λόγο διαστάσεις κάτω από 1 mm. Τα LASER αυτού του είδους έχουν μήκος όμοιο με αυτό των τρανζίστορ. Το μικρό τους μέγεθος είναι και το κυριότερο πλεονέκτημα τους σε σχέση με τα υπόλοιπα LASER. Παράλληλα, η ενιαία δομή των διοδικών LASER είναι αδύνατη για τα υπόλοιπα είδη. Όλα αυτά, καθιστούν τα διοδικά LASER ιδανικά για χρήσεις που απαιτούν συμπαγή μικροκυκλώματα.

ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Σε αντίθεση με άλλα LASER που χρειάζονται τροφοδοσία με μεγάλη τάση, υδρόψυξη ή και άλλα συστήματα με αποτέλεσμα να γίνεται πιο ογκώδη η μονάδα τροφοδοσίας, τα διοδικά, χρειάζονται για την λειτουργία τους μόνο μερικές δεκάδες mA, το πολύ 3 Volts τάσης και μια θερμική ψύκτρα.

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Το μήκος κύματος αυτών των LASER ρυθμίζεται σε μεγάλα όρια, αρκεί να αλλάξουμε τους παράγοντες που το επηρεάζουν. Οι παράγοντες αυτοί είναι το ρεύμα οδήγησης και κυρίως η θερμοκρασία.

5.14 Μειονεκτήματα διοδικών LASER

Αυτου του είδους τα LASER όμως, έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Αυτά είναι οτι δεν έχουν ευκρινή κυματικά χαρακτηριστικά και επίσης οτι το σημειο λειτουργίας είναι ασταθές.

Όσον αφορά τα μη ευκρινή κυματικά χαρακτηριστικά, την εποχή που δημιουργήθηκαν τα πρώτα διοδικά LASER είχαν εύρος φασματικής γραμμής κατώτερο των 10 Å. Στην σημερινή εποχή αυτό έχει αλλάξει προς το καλύτερο. Μια πλειάδα διοδικών LASER μονού τρόπου έχουν εύρη γραμμής πιο μικρά απο 1 Å. Σήμερα κατασκευάζονται LASER με εύρος γραμμής λίγο μεγαλύτερο απο 0,0046 Å δηλαδή, μικρότερο από 20 MHz και ειδικοί τύποι LASER όπως τα LASER κατανεμημένης ανάδρασης τα λεγόμενα DFB LASER και τα LASER εξωτερικής κοιλότητας ή ECL LASER. Αυτού του τύπου τα LASER έχουν εύρος ζώνης γραμμής κάποιων λίγων kHz όσο περίπου και τα LASER αερίου.

Ακόμα ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα διοδοκά LASER όσον αφορά την σχέση τους με τις οπτικές ζεύξεις είναι η συνεκτικότητα της δέσμης του φάσματος.

Χαρακτηριστικό είναι για παράδειγμα πως σε ένα LASER Ηλίου - Νέου (He - Ne LASER), το μήκος που διατηρείται η συνεκτικότητα φάσης ξεπερνάει το 1 Km, σε αντίθεση με ένα διοδικό LASER όπου η αντίστοιχη συνεκτικότητα της δικής του φάσης με δυσκολία φτάνει τα 16 μέτρα.

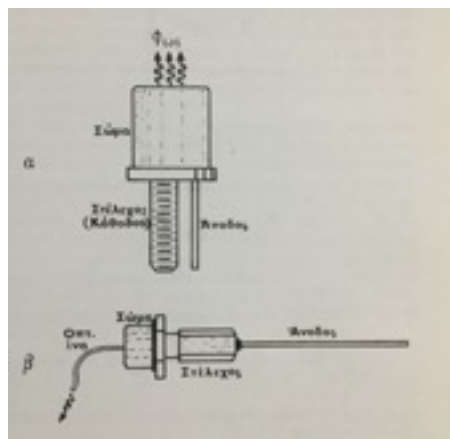
Τέλος η συγκεντρωτικότητα της δέσμης του φωτός των διοδικών LASER είναι ακόμα ένα μειονέκτημα σε σύγκριση με τα LASER αερίου παρά τις βελτιώσεις που γίνονται κατά καιρούς απο τους ειδικούς. Τούτο, καθιστά δύσκολη και την εφαρμογή τους σε συστήματα οπτικής επαφής, τηλεμετρίας αλλά και σε συστήματα σκόπευσης. Μια τελευταία διαφορά των διοδικών LASER με αυτα του αερίου είναι το γωνιακό άνοιγμα εξόδου της δέσμης του φωτός. Στα LASER αερίου το ανοιγμα είναι 1 mrad σε αντίθεση με τα διοδικά που το άνοιγμα τους είναι πολλές μοίρες.

Τώρα, η αστάθεια του σημείου λειτουργίας είναι ακομα ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα. Πιο συγκεκριμένα, το ρεύμα τροφοδοσίας που περνάει από το διοδικό LASER ανεβάζει την θερμοκρασία. Η άνοδος της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της φωτεινότητας ισχύος αλλά και του μήκους κύματος. Τούτα με την σειρά τους οδηγούν στην αποσταθεροποίηση του σημείου λειτουργίας του. Μία πιθανή άνοδος της θερμοκρασίας δημιουργεί πρόβλημα στην δίοδο καθώς έτσι μειώνεται και η αντίσταση δημιουργώντας έτσι παραπάνω αύξηση του ρεύματος.

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω μειωνεκτήματος σε σχέση πάντα με τα διοδικά LASER, καθώς σε LASER άλλων ειδών δεν εμφανίζεται, είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας, ειδικά στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται σε επικοινωνιακές ζεύξεις.

5.15 Κατασκευαστική παρουσίαση διοδικών LASER

Στην αγορά υπάρχει μια πλειάδα κατασκευαστικών μορφών και εμφανίσεων των διαδικών LASER. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα. Το σχήμα μας δείχνει δυο διακριτά διοδικά LASER. Είναι φανερό πως και στις δύο περιπτώσεις που παρουσιάζονται παρακάτω κυρίαρχο ρόλο έχει ένα μεγάλο μεταλλικό στέλεχος. Το μεταλλικό αυτό στέλεχος είναι απαραίτητο για το σφήνομα του LASER επάνω στην πλακέτα αλλά και γιατί επάνω του κουμπώνει η ψήκτρα. Στο σχήμα β παρατηρούμε πως η μορφή του LASER διαθέτει ένα "κορδόνι" οπτικής ίνας στην εστία φωτοεκπομπής του. Αυτό βοηθάει στην εξάλειψη των προβλημάτων διοχέτευσης της δέσμης του φωτός μέσα στη οπτική ίνα.



Σχήμα: Κατασκευαστικές μορφές διαδικών LASER

5.16 Φάσμα εκπομπής διοδικών LASER

Οι περισσότεροι τύποι των LASER αυτών είναι multi-mode, δηλαδή πολύτροπα LASER. Ορισμένοι τύποι διοδικών LASER κατασκευάζονται σε single-mode. Τα μονότροπα αυτά LASER μια μονήρη φασματική γραμμή. Τα δημοφιλέστερα διοδικα LASER αυτής της κατηγορίας είναι τα Dynamic Single-Mode (DSM) LASER.

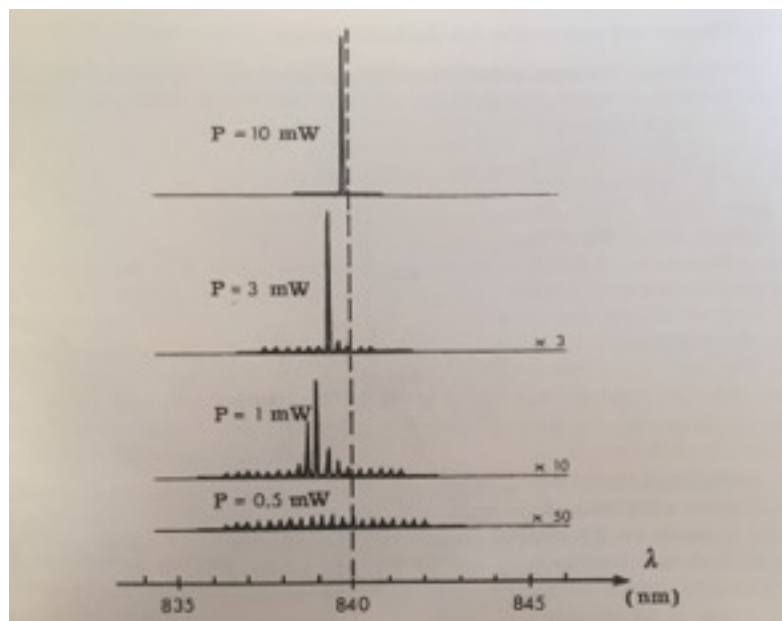
Ότι η λειτουργία της εκπομπής ενός τέτοιου LASER γίνεται με πολλούς τρόπους έγκειται στο γεγονός ότι στο εσωτερικό της ίδιας της οπτική κοιλότητας υπάρχουν πολλοί τρόποι κύματος. Αυτοί οι τρόποι κύματος ικανοποιούν την συνθήκη για τον συντονισμό των στάσιμων κυμάτων.

$$k\lambda = 2n(\lambda)L$$

n είναι ο δείκτης διάθλασης του υλικού, L ορίζεται το μήκος της κοιλότητας του υλικού, λ είναι το μήκος κύματος και τέλος ο ακέραιος k συμβολίζει την τάξη του τρόπου.

Για κάθε k παρουσιάζεται και ένας καινούργιος τρόπος με το δικό του μήκος κύματος λ . Όταν αυτός ο τρόπος ικανοποιεί την συνθήκη κατώφλιου όπου δρα το LASER τότε οδηγείται στην τελική δέσμη φωτός. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε πως με οποιαδήποτε μεταβολή του ρεύματος λειτουργίας του διοδικού LASER αλλάζει ταυτόχρονα και την μορφή της φασματικής του εκπομπής. Πιο αναλυτικά, καθώς η ισχύς που εκπέμπεται μειώνεται τότε το πλήθος των ενεργών τρόπων αυξάνεται, και η κατανομή της ισχύος τους τροποποιείται. Τέλος, μετατοπίζονται όλα τα μήκη κύματος τους σε χαμηλότερες τιμές. Κοντά στο κατώφλιο της δράσης του LASER οι διάφοροι τρόποι ισοπεδώνονται και εξατμίζεται εντελώς και η έννοια της μονοχρωματικότητας που είναι συνυφασμένη με τα LASER.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω μεγάλο ρόλο παίζει η επίδραση της θερμοκρασίας στις φασματικές γραμμές εκπομπής διοδικών LASER. Συγκεκριμένα, μια ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας αυτομάτως αυξάνει και τον δείκτη διάθλασης του ημιαγωγού υλικού και σύμφωνα με τον τύπο $k\lambda = 2n(\lambda)L$, θα προκύψει ολίσθηση των τρόπων που εκπέμπονται προς μεγαλύτερα μήκη και κατά συνέπεια προς μικρότερες συχνότητες. Τούτο γίνεται εντονότερο όσο πιο ψηλά από το κατώφλιο δουλεύει το LASER.



Σχήμα: Η εξέλιξη του φάσματος εκπομπής του διοδικού LASER σε σχέση με την εκπεμόμενη οπτική ισχύ.

5.17 Ομοιότητες και διαφορές των διοδικών LASER με τις φωτοπηγές LED

Όπως παρατηρήσαμε η αρχή λειτουργίας των διοδικών LASER είναι μια προοδευτική αναπροσαρμογή της αρχής λειτουργίας των διόδων φωτοεκπομπής LED στις απαιτήσεις της δράσης του LASER. Για τον λόγο αυτό παρατηρούνται και κάποιες ομοιότητες ανάμεσά τους.

Επιγραμματικά αναφέρουμε παρακάτω τις σημαντικότερες:

- Χρησιμοποιούνται όμοια υλικά
- Οργανώνονται και οι δύο με δομή διόδου επαφής PN.
- Τροφοδοτούνται και ερεθίζονται με όμοια σχεδόν αρχή λειτουργίας. Με γεννήτριες ρεύματος ή πηγές δηλαδή.
- Παράγουν οπτική ισχύ στην ίδια τάξη μεγέθους (mW).
- Εκπομπή φωτός σε όμοια μήκη κύματος.

Παράλληλα όμως με τις παραπάνω ομοιότητες που είδαμε ανάμεσα στα διοδικά LASER και στις φωτοπηγές LED, τα πρώτα παρουσιάζουν ορισμένες διαφορές από τις φωτοπηγές LED.

Οι διαφορές αυτές έχουν που έμμεση συνέπεια στην χρήση τους για τις οπτροηλεκτρονικές ζεύξεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΙΟΔΙΚΩΝ LASER ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΩΤΟΠΗΓΩΝ LED

Χαρακτηριστικό (συνήθεις τιμές)	Διοδικά LASER (έγχυσης)	L.E.D. χαμηλής φωτεινότητας	L.E.D. υψηλής φωτεινότητας
Ισχύς εξόδου φωτοεκπομπής (nW)	1 έως 10	1 έως 3	1 έως 10
Ρεύμα λειτουργίας (κανονική τιμή) (nA)	10 έως και > 1000	50 έως 300	50 έως 300
Πτώση τάσης (V)	1,5 έως 2	1,5 έως 2,5	1,5 έως 2,5
Κατώφλιο λειτουργίας (nA)	5 έως 1000	Δεν υπάρχει	Δεν υπάρχει
Λαμπρότητα (W/cm ² /sr)	100.000	1 έως 10	10 έως 1000
Ισχύς εισόδου σε οπτική ίνα (nW)	0,1 έως 10	0,001 έως 0,1	0,05 έως 0,5
Φασματικό εύρος (nm)	2 έως 5	35 έως 100	35 έως 100
Χρόνος ανόδου φωτοπαλμού (ns)	≤ 1	5 έως 50	2 έως 20
Απόκριση κατά συχνότητα (MHz)	350 έως > 1000	1 έως 70	18 έως 200
Μη γραμμικότητα (%)	0,3 έως 30	0,03 έως 1	0,3 έως 3

Βάση της σύγκρισης των διαφορών που βλέπουμε στον παραπάνω πίνακα και των δεδομένων που αναλύσαμε σε προηγούμενα κεφάλαια, αναλύουμε τις σημαντικότερες διαφορές ανάμεσα σε διοδικά LASER και LED με ως εξής:

- Με βάση την ισχύ λειτουργίας.

Ξέρουμε ότι τα διαδικά LASER και τα LED λειτουργούν με κοντινές ισχείς τροφοδοσίας ηλεκτρισμού και διέγερσης. Σε αντίθεση όμως με τις φωτοπηγές LED, τα διοδικά LASER έχουν πάντα κάποιο κατώφλιο διέγερσης.

- Με βάση την καθαρότητα της ακτινοβολίας.

Το φως των διοδικών LASER έχει δυνατή χωρική και χρονική συνεκτικότητα και φασματική συμφωνία. Αυτό γίνεται γιατί εξαιτίας της παρέμβασης της δράσης του LASER. Τα διοδικά LASER παράγουν εμφανώς πιο συγκεντρωτική δέσμη φωτός και σημαντικά πιο στενό φάσματος εκπομπής εύρος σε σχέση με τις φωτοπηγές LED.

- Με βάση την σύνδεση τους με οπτικές ίνες.

Η καθαρότητα της ακτινοβολίας έχει μεγάλο αντίκτυπο στο πόσο εύκολα περνάει το φως στην οπτική ίνα αλλά και το πόσο αλλοιώνεται το φως στην διαδρομή που κάνει μέσα στην οπτική ίνα. Κατά συνέπεια η ποσότητα του φωτός της δέσμης ενός LASER που περνάει μέσα στην οπτική ίνα είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να περάσει σε μια φωτοπηγή LED. Παράλληλα η χρωματική εξασθένηση που παθαίνει το φως μέσα στην ίνα είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτή που παθαίνει το φως LED. Έτσι, η φωτεινή ισχύς και η διεύρυνση παλμού της δέσμης φωτός κατά την έξοδο από την ίνα είναι πολύ καλύτερες στην περίπτωση των διαδικών LASER σε σχέση με τα LED.

- Με βάση την ταχύτητα απόκρισης.

Τα διοδικά LASER έχουν την ικανότητα να διαμορφώνονται σε ρυθμούς οδήγησης πάνω από 1 MHz, δηλαδή μεγαλύτερους από τους ρυθμούς από αυτούς των LED που μετά βίας ξεπερνάνε τα 100 MHz. Αυτό συμβαίνει γιατί η εξαναγκασμένη εκπομπή επιτρέπει γρηγορότερους οπτικούς χρόνους ανόδου και πτώσης παλμού σε σύγκριση με την αυθόρμητη εκπομπή των φωτοπηγών LED.

- Με βάση την γραμμικότητα.

Τα διοδικά LASER, μόνο μακριά από το κατώφλιο που διεγείρονται, παράγουν φως με φωτεινή ισχύ αντίστοιχη του ρεύματος οδήγησης τους. Ενώ στις φωτοπηγές LASER αυτό συμβαίνει γενικά. Για τον λόγο αυτό οι φωτοπηγές LED χαμηλής φωτεινότητας εξασφαλίζουν καλύτερη γραμμικότητα απόκρισης σε σχέση με τα διοδικά LASER πράγμα που τις καθιστά πιο κατάλληλες για αναλογικές οπτικές ζεύξεις.

- Με βάση την θερμική συμπεριφορά.

Τα διοδικά LASER και οι φωτοπηγές LED δεν διακρίνονται για την θερμική σταθερότητα τους. Τις περισσότερες φορές γίνεται χρήση κάποιου κυκλώματος αρμόδιου για την σταθεροποίηση. Η δουλειά του κυκλώματος αυτού είναι να προσαρμόζει το ρεύμα οδήγησης στις όποιες μεταβολές της θερμοκρασίας με σκοπό την διατήρηση της οπτικής ισχύς εξόδου της διάταξης στην προκαθορισμένη τιμή της.

- Με βάση την αξιοπιστία και τον χρόνο ζωής.

Οι φωτοπηγές LED υπερτερούν σε ότι αφορά την αξιοπιστία και τον χρόνο ζωής των διοδικών LASER. Ειδικά όταν μιλάμε για μεγάλες θερμοκρασίες. Έτσι όταν έχουμε να κάνουμε με τον σχεδιασμό ενός οπτικοηλεκτρονικού συστήματος για περιβάλλον που είναι άγνωστες οι θερμοκρασίες, προτιμούμε LED.

- Με βάση άλλα στοιχεία.

Η αγορά ενός διοδικού LASER είναι κατά πολύ ακριβότερη από την αγορά μιας φωτοπηγής LED ανάλογων επιδόσεων εξαιτίας υψηλού κόστους βιομηχανοποίησης των LASER. Ανάλογα μεγάλο κόστος έχουν και τα συνοδευτικά κυκλώματα των διαδικών LASER όντας απαιτητικότερα από αυτά των LED.

5.18 LASER γενικών εφαρμογών

Τα LASER αυτής της κατηγορίας δεν έχουν άμεση σύνδεση όσον αφορά την εφαρμογή τους στην οπτοηλεκτρονική. Κάποιες φορές αναμιγνύονται σε μετρητικά συστήματα οπτοηλεκτρονικής αλλά και σε δοκιμαστικές μονάδες πειραματικών οπτικών ζεύξεων. Ακολουθούν κάποια LASER γενικών εφαρμογών που θα μελετήσουμε συνοπτικά.

LASER Νεοδυμίου - YAG LASER

Σε αυτά τα LASER το ενεργό υλικό είναι το Νεοδύμιο διασκορπισμένο μέσα σε ένα κρυσταλλικό μάγμα YAG. Σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται YAG LASER. Όταν βρίσκεται μέσα σε καθαρό γυαλί, ονομάζεται Glass LASER.

Η κβαντική άντληση πραγματοποιείται σύμφωνα με την μέθοδο των 4 σταθμών, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση του LASER ρουβινίου.

Το YAG LASER παράγει στιγμιαία ισχύ φωτοπαλμών 10 kW.

Ιοντικά LASER - LASER Αργού

Τα LASER αυτής της κατηγορίας είναι από τα πιο ισχυρά όσον αφορά την ορατή περιοχή του φάσματος. Χρησιμοποιούν κυρίως αδρανή αέρια. Τέτοια είναι το Αργό και το Κρυπτό, πάντα σε κατάσταση ιονισμού που προκαλούν οι συγκρούσεις των ατόμων του αερίου με ηλεκτρόνια. Η σύγκρουση αυτή γίνεται μόνο όταν έχουμε ηλεκτρική εκκένωση μεγάλου ρεύματος. Η δράση LASER εφαρμόζεται για μία μεγάλη σειρά φασματικών γραμμών από τα 3510 Å έως τα 5200 Å.

Μοριακά LASER - CO2 LASER

Στα LASER της κατηγορίας αυτής η ακτινοβολία που προκύπτει ανήκει στο υπέρυθρο φάσμα εξαιτίας του ότι οι ενεργειακές στάθμες που δρα το LASER είναι στάθμες κβάντισης της ενέργειας ταλάντωσης των μορίων του αερίου. Οι στάθμες έχουν κατα κύριο λόγο μικρή ενεργειακή απόσταση.

Ο κυριότερος εκπρόσωπος αυτής της κατηγορίας των μοριακών LASER είναι με διαφορά το LASER διοξειδίου του άνθρακα. Το ενεργό υλικό σε αυτό το LASER είναι το αέριο CO₂ συνδυάζεται με N₂ και He σε μίγμα αναλογίας με σκοπό να βοηθηθεί η κβαντική άντληση με την μέθοδο των 3 σταθμών.

LASER Υγρών χρωστικών - Dye LASER

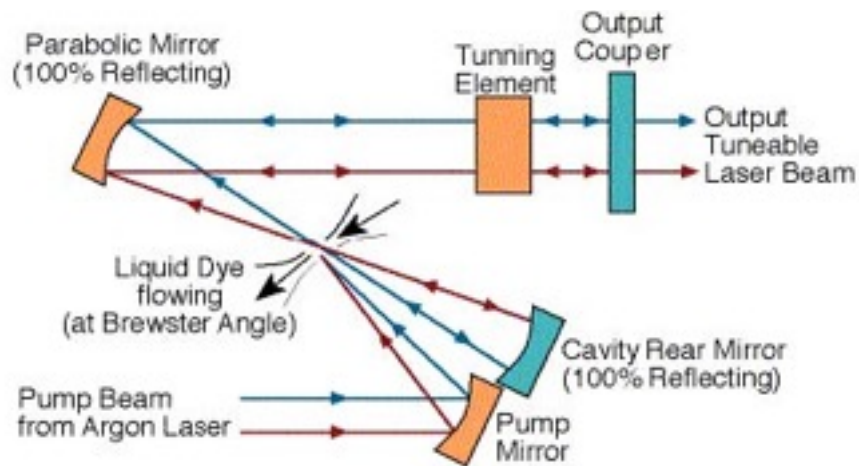
Τα LASER οργανικών χρωστικών είναι τα μόνα LASER των οποίων το ενεργό υλικό είναι σε υγρή κατάσταση. Μιλάμε για μεγάλου μεγέθους οργανικά μόρια χρωστικών τα οποία είναι διαλυμένα σε οργανικούς διαλύτες όπως μεθυλική αλκοόλη, αιθυλενογλυκόλη, διοξάνη και άλλα σε συγκεντρώσεις της τάξης 1:10.000. Η λειτουργία τους δείχθηκε για πρώτη φορά το 1965 και για πολλά χρόνια ήταν τα μοναδικά LASER μεταβλητού μήκους κύματος.

Σε αυτά τα LASER όπως είπαμε, τα ενεργά υλικά είναι τα υγρά και με βάση αυτό έχουμε κάποια αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα. Πλεονεκτήματα όπως η εύκολη παρασκευή τους με τυχαίες συνθέσεις και αναλογίες κάτι που δεν μπορεί να συμβεί με στερεά υλικά. Η πυκνότητα και η άθροιση των ενεργών ατόμων είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των αέριων πράγμα που τα χρίζει ικανότερα στο να δίνουν αξιόλογες οπτικές ισχύεις LASER.

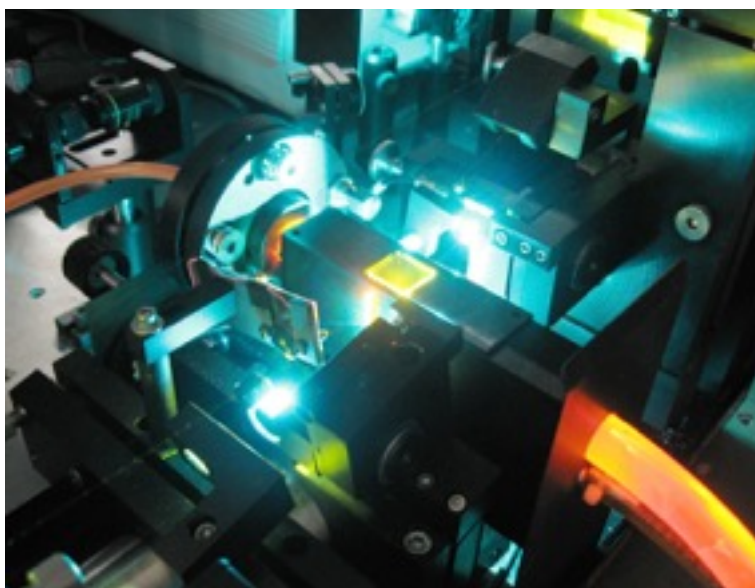
Μετά απο αρκετές δοκιμές υγρών υλικών για την δράση LASER, αυτά που καθιερώθηκαν είναι τα διαλύματα οργανικών υγρών χρωστικών (Dyes). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των χρωστικών αυτών υγρών είναι ότι διαθέτουν ευρεία χρωμοεπιλεκτικότητα, ικανή για την κάλυψη μεγάλης περιοχής μηκών κύματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι αρκετά σημαντικό σε χημικές, φασματοσκοπικές και ιατρικές εφαρμογές.

Σε αυτή την κατηγορία έχουμε οπτική κβαντική άντληση των οργανικών χρωστικών. Χρησιμοποιείται ένα ιοντικό συνήθως LASER όχι μεγάλου μήκους κύματος το φως του οποίου πέφτει πάνω στο διάλυμα της υγρής χρωστικής.

Όταν συμβεί αυτό έχουμε το φαινόμενο του φθορισμού και η υγρή χρωστική εκπέμπει μια δική της ακτινοβολία σε μεγαλύτερο μήκος κύματος από αυτό της πηγής άντλησης. Στην νέα ακτινοβολία φθορισμού που προέκυψε εφαρμόζεται η διέγερση της δράσης του LASER.



Σχήμα: Διάγραμμα ενός συντονιζόμενου DYE LASER



Σχήμα: Laser οργανικών χρωστικών

5.19 Εφαρμογές των ακτίνων LASER

Ήταν το 1960 όταν ο Αμερικανός φυσικός και μηχανικός Theodore Harold Maiman εφηύρε, αρχικά σε πειραματικό στάδιο, την δράση LASER. Από τότε μέχρι σήμερα η τεχνολογία έχει κάνει άλματα και οι εφαρμογές των LASER επεκτάθηκαν σε τόσο μεγάλη ακτίνα που πια καθίσταται αδύνατο να γίνει μια πλήρης καταγραφή των τομέων της επιστήμης, της τεχνολογίας και της καθημερινής πρακτικής που έχουν υποστεί την επίδραση της χρήσης των ακτίνων LASER. Σίγουρο πρέπει να θεωρείται πως με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας, θα εξελίσσονται αντίστοιχα και τα LASER. Κάποιες από τις κυριότερες εφαρμογές των ακτίνων LASER παρουσιάζονται παρακάτω.

- **Βιομηχανικές εφαρμογές**

Στις βιομηχανικές εφαρμογές έχουμε χρήση των LASER στην κοπή, την συγκόλληση, τη λείανση και στην διάτρηση ή στην τórνευση υλικών. Παράλληλα όμως τα LASER παίρνουν μέρος και σε περισσότερο σημαντικές εφαρμογές. Τέτοιες εφαρμογές είναι η δημιουργία "μασκών" που χρησιμεύουν στην παραγωγή μικροκυκλωμάτων όπως επίσης και η κατασκευή σωλήνων μικρής διαμέτρου μηχανικά ανθεκτικών εξωτερικά και χημικά ανθεκτικών εσωτερικά.

Εξαιτίας του πιο αξιόπιστου ελέγχου στην επεξεργασία των προϊόντων, τα LASER προσφέρουν πιο γρήγορα και οικονομικά καλύτερα αποτελέσματα. Τα LASER με μικρό μήκος κύματος εκπομπής μεταδίδουν θερμότητα σε μέταλλα καλύτερα από τα LASER μεγάλου μήκους κύματος. Αποτέλεσμα αυτού είναι να κάνουν μια δουλειά σε ταχύτετους ρυθμούς.

- **Φωτοχημικές, βιολογικές και ιατρικές εφαρμογές**

Τα LASER έχουν κυρίαρχο ρόλο στην χημεία και ειδικά στις φωτοχημικές αντιδράσεις. Τα LASER είναι τα βασικά εργαλεία για τη μελέτη της δομής των μορίων αλλά και για τη μελέτη χημικών αντιδράσεων. Ταυτόχρονα είναι ικανά να δημιουργήσουν μια συγκεκριμένη χημική αντίδραση μέσα σ' ένα μείγμα στο οποίο είναι δυνατές πολλές διαφορετικές αντιδράσεις. Στις μέρες μας τα LASER χρησιμοποιούνται στη μελέτη φασμάτων αδρανών αερίων και του σθένους χημικών δεσμών.

Η ικανότητα των LASER να συγκεντρώνουν μεγάλη ενέργεια σε μικρή επιφάνεια τα κάνει πολύ χρήσιμα σε καυτηριάσεις, θερμοπηξία του αίματος, και στην καταστροφή καρκινογόνων ιστών.

Αναίμακτη χειρουργική όγκων με χρήση LASER ιόντων αργού είναι μονο μία εφαρμογή τους σε μια πλειάδα απο είδη εγχειρήσεων. Παράλληλα με την συσχέτιση των LASER με τις οπτικές ίνες πραγματοποιείται εύκολα μεταφορά της ακτινοβολίας τους για διάγνωση ή θεραπεία, ακόμα και σε σημεία του σώματος μας που είναι δύσκολη η πρόσβαση.

Η κυριότερη και πιο διαδεδομένη βέβαια εφαρμογή των LASER στην ιατρική είναι στην οφθαλμολογική χειρουργική και ειδικότερα στην περίπτωση της αποκόλλησης του αμφιβληστροειδούς από τον χοριοειδή χιτώνα.

Παλμικά LASER με ταχύτατη επαναληπτικότητα χρησιμοποιούνται από τους οδοντίατρους σαν οδοντιατρικά τρυπάνια. Πλεονεκτήματα των παραπάνω είναι οτι δεν υπάρχει ταλάντωση του δοντιού και φυσικά το ότι ο ασθενής δεν αντιλαμβάνεται τον πόνο όσο διαρκεί η επέμβαση.

Κλείνοντας εφαρμογή LASER έχουμε και στη δερματολογία σε περιπτώσεις καυτηριάσεων στην επιφάνεια του δέρματος. Εκεί χρησιμοποιούμε τα LASER με σκοπό να φθάσουμε ένα ιστό αποφεύγοντας κάποιο άλλο που βρίσκεται πάνω απο αυτό.

- **Φωτογραφία και ολογραφία**

Μία ακόμα εφαρμογή του LASER έχουμε και στον τομέα της φωτογραφίας. Η χρήση του LASER επιταχύνει την φωτογράφιση. Καθώς χάρη στην χρήση ενός παλμικού LASER ρουβινίου μπορούμε να πάρουμε σειρά παλμών διάρκειας 25 - 50 nsec που απέχουν μεταξύ τους μερικά msec.

Κάτι που είναι αρκετά χρήσιμο όταν πρόκειται για φωτογράφιση βιολογικού είναι η χρήση του μικροσκοπίου του LASER καθώς η λήψη μέσα από αυτό προσδίδει μια αρκετά μεγάλη μεγέθυνση που όμως κρατάει την εικόνα καθαρή.

Η ολογραφία μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια από τις πιο ενδιαφέρουσες περιοχές εφαρμογής των LASER διότι όχι μόνο μπορούμε να βλέπουμε φωτογραφίες τριών διαστάσεων αλλά γιατί μας παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας οπτικής μνήμης ή τη δυνατότητα ελέγχου διαφόρων υλικών ακόμα και των κατασκευών χωρίς την ανάγκη καταστροφής τους. Άλλη μία ιδιαίτερος σημαντική ιδιότητα του ολογραφήματος είναι ότι οι ατέλειες της επιφάνειάς του δεν εμποδίζουν την ανακατασκευή του αντικειμένου, καθώς όπως συμβαί-

νει και στην κανονική φωτογραφία, το αντικείμενο δεν σχηματοποιείται πάνω στο ολογράφημα κατά την διάρκεια της εξεργασίας του.

Τέλος διαδίδεται όλο και περισσότερο η χρήση της παλμικής ολογραφίας. Για περιπτώσεις παλμικής ολογραφίας χρησιμοποιούνται LASER μεγάλης ισχύος που στην ουσία ο ρόλος τους είναι να παγώνουν την κίνηση ενός αντικειμένου και να επιτρέψουν τη φωτογράφιση του.

• Μετρήσεις με LASER

Τα LASER είναι ικανά για μετρήσεις που πριν την εμφάνισή τους δεν ήταν εφικτές. Τώρα όχι μόνο είναι εφικτές αλλά πρόκειται και για μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας.

Για μετρήσεις μικρών αποστάσεων χρησιμοποιείται το LASER με την μορφή του συμβολόμετρου. Από την άλλη, για μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων χρησιμοποιείται LASER, συνήθως με τη μέθοδο του τηλέμετρου ή με τη μέθοδο της διαμορφωμένης δέσμης.

Τα LASER κάνουν εφικτή την μέτρηση της ταχύτητας όταν ένα σώμα κινείται και ειδικά σε περιπτώσεις που αποκλείεται η επαφή με το κινούμενο σώμα. Επιπλέον χάρη στα LASER γίνεται και η παρακολούθηση, η μέτρηση περιστροφής ως προς ένα σύστημα αδράνειας αλλά και η μέτρηση των ελαστικών τάσεων του φλοιού της γης.

• Στρατιωτική τεχνολογία

Υπάρχει μία μεγάλη γκάμα χρήσεων του LASER σε στρατιωτικές εφαρμογές. Τα LASER χρησιμοποιούνται κυρίως στα οπτικά Radar, σε συστήματα τηλεπικοινωνιών μεγάλης ασφάλειας και καθοδήγησης αλλά και για την καταστροφή εχθρικών στόχων.

- **Οπτικές τηλεπικοινωνίες**

Η μεγάλη κατευθυντικότητα της δέσμης των LASER, σε σύγκριση με τις πηγές μικροκυμάτων είναι ο κυρίως λόγος που καθιστούν αυτή την τεχνολογία άκρως ελκυστική. Για να επιτύχει η ίδια κατευθυντικότητα είναι αναγκαίο να φτιάξουμε κεραίες μικροκυμάτων με διάμετρο 100.000 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο της δέσμης LASER. Έτσι το ίδιο άνοιγμα δέσμης παίρνουμε από LASER διαμέτρου 1cm και από πηγή μικροκυμάτων με κεραία διαμέτρου 1000m.

Γεγονός όμως είναι ότι υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα. Ένα απ' αυτά είναι ότι παρά το τεράστιο εύρος ζώνης τους δεν είναι εφικτή για την ώρα η αξιοποίηση όλης της έκτασης του. Ένα μεγάλο θέμα είναι ότι οι δυνατότητες των συστημάτων οπτικής τηλεπικοινωνίας περιορίζονται ακόμα από άλλους παράγοντες όπως είναι η χρησιμοποίηση των κατάλληλων ανιχνευτών, οι δυσκολίες στην εισαγωγή της πληροφορίας στη δέσμη LASER ακόμα και οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες

Στις μέρες μας γίνεται έντονη εφαρμογή στη διαστημική τηλεπικοινωνία με LASER, στην επίγεια τηλεπικοινωνία ανάμεσα σε σημεία που έχουν οπτική επαφή και τέλος σε επικοινωνία με οπτικές ίνες.

Σ' ένα πρακτικό σύστημα οπτικής τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα LASER διοξειδίου του άνθρακα. Το LASER αυτό λειτουργεί συνεχώς σε μια από τις πολλές γραμμές ταλάντωσης. Η διαμόρφωση της δέσμης γίνεται κατά συχνότητα μ' έναν ενεργό κρύσταλλο που τοποθετείται μέσα στο οπτικό αντηχείο. Ο ενεργός αυτός κρύσταλλος αλλάζει το μήκος του οπτικού αντηχείου όταν αυτό διεγείρεται από κάποιο ηλεκτρικό σήμα. Για το μήκος κύματος του LASER του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂ LASER) η αλλαγή μήκους του αντηχείου κατά 1/10 διαφοροποιεί τη συχνότητα συντονισμού του LASER κατά 85 MHz, ότι ακριβώς κάνει για το σύστημα FM.

Η λήψη του σήματος γίνεται με την τεχνική της ετερόδυνης ανίχνευσης. Η έξοδος του οπτικού ετερόδυνου ανιχνευτή δίνει ένα σήμα ραδιοσυχνότητας FM που αποδιαμορφώνεται μέσα σ' ένα διευκρινιστή FM, ο οποίος με την σειρά του μετατρέπει τις

μεταβολές συχνότητας της εξόδου του φωρατή σε μεταβολές του πλάτους του σήματος εξόδου.

Το σύστημα που συνδυάζει το LASER και την μετάδοση μέσα από οπτικές ίνες είναι ένα μεγάλο κεφάλαιο στον τομέα της τεχνολογίας και για τον λόγο αυτό οι έρευνες εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου για την καλύτερη κατανόηση και εφαρμογή του. Κύριο πλεονέκτημα της ζεύξης μέσα από οπτικές ίνες είναι η τεράστια δυνατότητα μεταφοράς πληροφορίας, σε σύγκριση με την κλασική μέθοδο σύνδεσης με καλώδια.

- **Θερμοπυρηνική σύντηξη**

Μία από τις πιο οφέλιμες εφαρμογές της τεχνολογίας LASER είναι η ελεγχόμενη θερμοπυρηνική αντίδραση που για πολλούς λόγους είναι η λύση στο ενεργειακό μας πρόβλημα.

Η έρευνα του φαινομένου της πυρηνικής σύντηξης με στόχο την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιεί εξαιρετικά θερμό πλάσμα. Σκοπός της έρευνας αυτής είναι να προσδώσουμε στα ιόντα του πλάσματος τόσο υψηλή ενέργεια, ώστε η σύγκρουσή τους να τα οδηγεί στη συγχώνευσή τους, δηλαδή στη σύντηξη των πυρήνων τους. Όταν οι πυρήνες λιώνουν, απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Όταν η σύντηξη των πυρήνων ξεκινά, απελευθερώνεται ενέργεια και δημιουργούνται νέα χημικά στοιχεία.

Η πειραματική διάταξη που ακολουθείται στις μέρες μας είναι η εξής: Δέσμες LASER υψηλής ισχύος ακτινοβολούν όλες τις πλευρές μιας σφαίρας από οξείδιο του δευτερίου (D₂O) και οξείδιο του τριτίου (T₂O). Η αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται τότε δημιουργεί μια πολύ γρήγορη εξάχνωση της επιφάνειας του στόχου και συμπίεση του υλικού του στόχου που απομένει σε έναν πυρήνα με έντονη πυκνότητα.

Παρουσιάζονται βέβαια και κάποια μειονεκτήματα. Έτσι, ένα μειονέκτημα είναι ότι παρουσιάζουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Για τον λόγο αυτό είναι αδύνατο να δώσουν τους πολλούς παλμούς ανά δευτερόλεπτο που απαιτεί μια πρακτική πηγή ενέργειας. Επίσης το κόστος των συστημάτων αυτών είναι αρκετά μεγάλο. Τέλος, το μεγάλο μήκος κύματος εκπομπής είναι και αυτό ένα σημαντικό πρόβλημα ειδικά αν αναλογιστούμε ότι το κατάλληλο μήκος κύματος είναι $\lambda = 0.6 \mu\text{m}$.

5.20 Ιδιότητες των ακτινών LASER

- **Μονοχρωματικότητα της ακτινοβολίας τους**

Η ιδιότητα με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στα LASER είναι η μονοχρωματικότητα της ακτινοβολίας τους. Μονοχρωματική καλείται η ακτινοβολία που αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα από ένα και μόνο χρώμα. Στην ουσία, μονοχρωματική ακτινοβολία δεν υπάρχει στη φύση, όμως το φως που παράγεται από τα LASER είναι ικανό να θεωρηθεί μονοχρωματικό.

Τα LASER έχουν σαφώς καλύτερη υπαρκτή προσέγγιση προς το ιδανικό μονοχρωματικό φως σε σύγκριση με μία συμβατική πηγή φωτός. Βέβαια μια πηγή φωτός δεν είναι ικανή να αποδώσει απόλυτα μονοχρωματικό φως.

Η μεγάλη αυτή καθαρότητα του φάσματος το καθιστά ικανό για χρήση του σε εφαρμογές όπου απαιτείται χρωμο-επιλεκτικότητα και ακρίβεια στο μήκος κύματος. Εφαρμογές όπως στην φωτοχημεία, στην φασματοσκοπία, στις οπτικές επικοινωνίες κ.α.

- **Κατευθυντικότητα της δέσμης**

Η ακτινοβολία που βγαίνει από τα LASER είναι άριστα κατευθυντική και συγκεντρωτική. Κριτήριο για την κατευθυντικότητα της δέσμης είναι το άνοιγμα της που δεν είναι παρά μόνο το διπλάσιο της γωνίας που σχηματίζει η εξωτερική ακτίνα της δέσμης με την κεντρική ακτίνα. Αυτό είναι άκρως σημαντικό καθώς έτσι η ενέργεια που διαδίδεται μέσα από την δέσμη LASER, μένει συγκεντρωμένη μέσα σε ένα στενό κανάλι. Παράλληλα με την χρήση ειδικών ηλεκτροοπτικών μέσων, η δέσμη αυτή είναι ικανή στο να κατευθυνθεί προς πάσα

επιθυμητή κατεύθυνση. Αυτό προσδίδει στην δέσμη LASER μεγάλες ικανότητες στην επιλογή του χώρου οδήγησης, διοχέτευσης αλλά και συγκέντρωσης του.

Η κατευθυντικότητα των LASER εκφράζεται σε mrad. Για ένα συμβατό LASER το άνοιγμα της δέσμης του είναι 1mrad αυτό αντιστοιχεί σε αύξηση της διαμέτρου της δέσμης του LASER κατά 1mm ανά μέτρο διαδρομής.

- **Λαμπρότητα δέσμης**

Τα LASER είναι πηγές μεγάλης λαμπρότητας και έντασης ακτινοβολίας και φυσικά η λαμπρότητα του φωτός τους είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε φωτεινή πηγή. Αυτό διότι έχουμε μεγάλη συγκέντρωση οπτικής ισχύος μέσα σε μία εξαιρετικά λεπτή δέσμη ιδιαίτερος μικρού ανοίγματος. Πιο συγκεκριμένα η λαμπρότητα της δέσμης ενός LASER Ηλίου-Νέου (He-Ne LASER) με ισχύ 1 mWatt είναι μεγαλύτερη από τη λαμπρότητα του ήλιου το λιγότερο 1000 φορές.

- **Σύμφωνη ακτινοβολία**

Τα LASER διαθέτουν τον υψηλότερο δυνατό βαθμό συμφωνίας εν συγκρίσει με οποιαδήποτε άλλη φωτεινή πηγή. Όταν μία πηγή φωτός βρίσκεται σε τέλεια συμφωνία στο χώρο και στον χρόνο έχουμε απόλυτη συσχέτιση μεταξύ των μεταβολών του ηλεκτρικού πεδίου της φωτεινής ακτινοβολίας σ' ένα σημείο του χώρου μ' αυτές σε κάθε άλλο σημείο του.

Στην περίπτωση που μετρήσουμε αυτή του ηλεκτρικού πεδίου και στα δυο σημεία αυτά, θα δούμε τι κάνει το ηλεκτρικό πεδίο σε κάθε επόμενη χρονική στιγμή σ' ένα δεύτερο σημείο, μετρώντας απλά το πεδίο στο πρώτο σημείο.

- **Η πόλωση της δέσμης LASER**

Τα περισσότερα LASER παράγουν πολωμένο φως σε αντίθεση το φως άλλων πηγών φωτός, όπως το φως που παράγουν οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες, οι λαμπτήρες φθορισμού, το φως του ήλιου και πολλών άλλων φωτεινών πηγών όπου το φως είναι μη πολωμένο ή τυχαία πολωμένο. Η πόλωση της δέσμης του LASER δημιουργείται με την χρήση ενός οπτικού πολωτικού στοιχείου που τοποθετείται μέσα στο οπτικό αντηχείο. Από το 1960 όπου

και κατασκευάστηκε το πρώτο LASER, με εκπομπή κόκκινου χρώματος, η τεχνολογία έχει πραγματοποιήσει άλματα και σήμερα έχουμε LASER σε διάφορα μήκη κύματος όπως το υπέρυθρο, το ορατό και το υπεριώδες. Είναι ικανά να ταξιδεύουν σε τεράστιες αποστάσεις χωρίς να απλώνονται όπως οι άλλες ορατές ακτινοβολίες. Το πάχος μιας ακτίνας Laser έχει την ικανότητα να είναι χιλιάδες φορές μικρότερο από το πάχος μιας τρίχας του ανθρώπου.

Λόγω αυτού μπορούν να μεταφέρουν όλη την ενέργειά τους σε πολύ μικρή επιφάνεια με αποτέλεσμα την ανάπτυξη θερμοκρασιών εκατομμυρίων βαθμών.

- **Εστιαστικότητα**

Χάρη στην χρωματική καθαρότητα και τη συγκεντρωτικότητα που διακρίνει τα LASER η δέσμη laser μπορεί να εστιάσει σε μία φωτεινή κηλίδα εξαιρετικά μικρών διαστάσεων χωρίς απώλειες ισχύος. Σε αυτό βοηθούν συνήθως οι φακοί και τα κάτοπτρα. Για τον λόγο αυτό η τοπική πυκνότητα ισχύος στην εστία θα είναι τεράστια καθώς η φωτεινή ισχύς μαζεύεται σε ιδιαίτερος μικρό χώρο. Η θέση εστίας και προβολής μπορεί να ελέγχεται κατά βούληση με ηλεκτρομαγνητικές ρυθμίσεις των φακών.

Οι μεγάλες τοπικές συγκεντρώσεις ισχύος βοηθούν στους λεπτεπίλεπτους χειρισμούς και στην δραστική προσβολή στόχων θέσης της εστίας. Αυτό το προσών των ακτίνων χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές, ιατρικές και πρακτικές εφαρμογές στην καθημερινότητά μας.

- **Συνεκτικότητα φάσης**

Η δέσμη φωτός που βγάζει μια πηγή LASER έχει μεγάλο βαθμό φασικής συνεκτικότητας. Αυτό μεταφράζεται ως εξής. Η διαφορά της οπτικής φάσης ανάμεσα σε δύο σημεία της δέσμης φωτός παραμένει σταθερή συνεχώς, εγκάρσια προς τη διεύθυνση που διαδίδεται η φωτοδέσμη ή κατά μήκος της. Η συνεκτικότητα αυτή διαφέρει για κάθε τύπο LASER και για κάθε είδος της δέσμης του φωτός του.

- **Διαμορφωσιμότητα**

Εξαιτίας των καθαρών κυματικών χαρακτηριστικών η δέσμη LASER έχει την δυνατότητα να διαμορφώνεται εύκολα. Διαμορφώνεται είτε κατά την φωτεινή ένταση (IM), είτε κατά την συχνότητα (FM), είτε κατά φάση (PM), είτε κατά το μήκος κύματος (WM) καθώς και κατά τα ψηφιακά παράγωγά τους. Η διαμόρφωση αυτή είναι ικανή να αγγίξει πολύ μεγάλες συχνότητες αρκετών GHz ή ρυθμούς μεγέθους Gb/s κάτι το οποίο είναι αρκετά χρήσιμο στις οπτικές επικοινωνίες και πραγματοποιείται με την χρήση ειδικών οπτικοηλεκτρικών κρυστάλλων.

5.21 Επίλογος

Από το μακρινό 1960, τότε που ο Αμερικανός Theodore Harold Maiman εφήμυρε το πρώτο LASER ρουβινίου, μέχρι την σημερινή εποχή τα LASER έχουν κατακλείσει όλους τους τομείς της τεχνολογίας. Βλέπουμε πως μέσα από τα πλεονεκτήματα τους κάνουν την ζωή των ανθρώπων πιο εύκολη σε πολλούς τομείς που αναφέρθηκαν σε παραπάνω ενότητες ενώ ταυτόχρονα γίνονται προσπάθειες για την καταπολέμηση των μειονεκτημάτων τους από τους επιστήμονες και τους ερευνητές. Τέλος είναι βέβαιο πως η συγκεκριμένη τεχνολογία με την πάροδο του χρόνου θα εξελίσσεται συνεχώς και θα ενσωματώνεται όλο και περισσότερο στην ζωή μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

6.1 Εισαγωγή

Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων αποτελεί επιτακτική ανάγκη, τόσο σε μια σύνδεση Internet υψηλής ταχύτητας, όσο και για την υλοποίηση των τηλεφωνικών συνδέσεων Voice over IP. Η καλύτερη πρόταση για την κάλυψη των υψηλών σημερινών αναγκών σε bandwidth, δεν είναι άλλη από τη χρήση ενός δικτύου οπτικών ινών.

Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές σχεδόν απώλειες, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης πλησιάζει αυτή με την οποία διαδίδεται το φως.

6.2 Ιστορική αναδρομή

Η ιδέα της χρήσης του φωτός για την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις δεν είναι κάτι νέο, αλλά έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Οι αρχαίοι Έλληνες άναβαν φωτιές σε ψηλά σημεία, για παράδειγμα κορυφές βουνών, για να ανταλλάξουν πληροφορίες μεταξύ τους, σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Τότε ήταν το ταχύτερο μέσο απομακρυσμένης επικοινωνίας και μάλλον ακόμη και σήμερα ισχύει το ίδιο, αφού δεν υπάρχει τίποτα μέχρι στιγμής που να μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός.

Στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου οι καπετάνιοι των πλοίων χρησιμοποιούσαν ισχυρούς φακούς, που αναβόσβηναν σύμφωνα με τον κώδικα Μορς, επικοινωνώντας άμεσα μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκε εν μέρει στην ξηρά.

Οι προαναφερθείσες μέθοδοι έχουν τρία κοινά στοιχεία. Το πρώτο είναι ο αποστολέας του φωτεινού σήματος, το δεύτερο ήταν το μέσο μετάδοσης και το τρίτο ήταν ο παραλήπτης. Όμως έχουν ένα σημαντικό μειονέκτημα, το πρόβλημα της ορατότητας. Το φως μιας φωτιάς δεν θα μπορούσε κανείς να το διακρίνει κατά τη διάρκεια της μέρας, όπως και τη νύχτα η παρατήρηση του φωτεινού σήματος σε μεγάλη απόσταση ήταν ανέφικτη λόγω των διαφόρων καιρικών συνθηκών.

Σήμερα η φωτεινή ενέργεια εξακολουθεί να διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στις τηλεπικοινωνίες. Αν τα προηγούμενα χρόνια το φως μεταδιδόταν μέσω της ατμόσφαιρας, σήμερα αυτό έδωσε τη θέση του στο γυαλί και στο ειδικό ανακλαστικό υλικό που το περιβάλλει. Έτσι έχουν δημιουργηθεί οι οπτικές ίνες οι οποίες είναι σε θέση να μεταφέρουν πληροφορίες σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων, αποτελώντας έτσι αναπόσπαστο κομμάτι των τηλεπικοινωνιών.

6.3 Λειτουργία Οπτικών Ινών

Οι οπτικές ίνες είναι ειδικά νήματα που έχουν κατασκευαστεί από γυαλί και με διάμετρο περίπου όσο μια ανθρώπινη τρίχα. Το υλικό από το οποίο έχουν κατασκευαστεί επιτρέπει τη μετάδοση φωτός από το εσωτερικό τους, ενώ συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες κατά χιλιάδες σε δέσμες που σχηματίζουν τα οπτικά καλώδια όπως τα λέμε.

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

Πυρήνας: Η δέσμη των οπτικών ινών που αναλαμβάνουν τη μετάδοση των φωτεινών σημάτων, βρίσκεται τοποθετημένη ακριβώς στο κέντρο του καλωδίου.

Εσωτερική επένδυση: Είναι το υλικό που αντανακλά εσωτερικά το φως, εκμηδενίζοντας παράλληλα το ποσοστό διαφυγής του στο εξωτερικό του καλωδίου.

Εξωτερική επένδυση: Ανθεκτικό υλικό, που αποτελείται από καουτσούκ για μικρά καλώδια οικιακής χρήσης, ή από ασάλι για μεγαλύτερα, που χρησιμοποιούν εταιρίες σε εξωτερικό περιβάλλον.

Όταν επινοήθηκαν τα καλώδια οπτικών ινών, οι κατασκευαστές τους είχαν έναν στόχο, να μην υπάρχει διαρροή φωτός στο εξωτερικό ενός καλωδίου, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια αρκετών δεδομένων.

Η αρχή λειτουργίας ενός οπτικού καλωδίου είναι η ολική εσωτερική αντανάκλαση και βασίζεται στο γεγονός ότι όταν το φως αντανακλάται εξολοκλήρου σε έναν κλειστό εσωτερικό χώρο, μπορεί να ταξιδεύσει σε μεγάλες αποστάσεις, χωρίς να μειωθεί η έντασή του.

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

- 1) Την ολική εσωτερική αντανάκλαση, που θα επιτρέψει στην πληροφορία να φθάσει αναλλοίωτη σε μεγάλες αποστάσεις και
- 2) Την αποφυγή διαρροής φωτός στο εξωτερικό του καλωδίου. Για το λόγο αυτό, το φως διοχετεύεται στο εσωτερικό της οπτικής ίνας υπό συγκεκριμένη γωνία, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη αντανάκλαση που θα αποτρέψει τη διαρροή φωτεινής ενέργειας. Μέχρι να φθάσει στον προορισμό της, η φωτεινή δέσμη συνήθως πραγματοποιεί χιλιάδες αντανάκλασεις στο εσωτερικό της οπτικής ίνας.

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

6.4 Δομή δικτύου οπτικών ινών

Η δομή ενός δικτύου οπτικών ινών είναι χωρίς αμφιβολία πολλή απλή. Αποτελείται από τα εξής μέρη:

Πομπός: πραγματοποιεί την μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε φωτεινή πληροφορία και πραγματοποιεί την εκπομπή της. Βρίσκεται σε επαφή με το οπτικό καλώδιο και διαθέτει κατάλληλο φακό, ώστε να διοχετεύει το φως στο εσωτερικό του.

Μέσο μεταφοράς: δεν είναι άλλο από το καλώδιο οπτικών ινών.

Ενισχυτής σήματος: είναι απαραίτητος μόνο σε συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων και αναλαμβάνει την ενίσχυση του σήματος σε τακτικά διαστήματα.

Επειδή, όπως ήδη αναφέρθηκε, σε μεγάλες αποστάσεις παρατηρείται εξασθένηση του σήματος, η παρουσία ενός ενισχυτή. Διαθέτει ειδικά κυκλώματα, τα οποία όταν λάβουν την εξασθενημένη φωτεινή πληροφορία, εκπέμπουν το σήμα εκ νέου, με πλήρη ισχύ.

Δέκτης: λαμβάνει το φωτεινό σήμα και το μετατρέπει ξανά στην αρχική του μορφή, δηλαδή σε ψηφιακά δεδομένα. Όπως και ο πομπός, βρίσκεται σε άμεση επαφή με το καλώδιο οπτικών ινών και χρησιμοποιεί φωτοδιόδους για να ανιχνεύσει το λαμβανόμενο σήμα.

6.5 Δημιουργία καλωδίου οπτικών ινών

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

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

Στο πρώτο στάδιο, γίνονται όλες οι απαραίτητες χημικές διαδικασίες για τον σχηματισμό του καθαρού γυαλιού, ενώ ειδικός εξοπλισμός αναλαμβάνει να απομακρύνει από τον υάλινο κύλινδρο όλα τα ξένα σώματα, που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της οπτικής ίνας.

Αφού δημιουργηθεί ο αρχικός κύλινδρος, στη συνέχεια τοποθετείται σε μια συσκευή η οποία έχει το σχήμα πύργου και αναλαμβάνει τη δημιουργία των μικροσκοπικών ινών. Ο πύργος αυτός λιώνει το γυαλί σε θερμοκρασία περίπου 2.300 βαθμών Κελσίου και στη συνέχεια αυτό ρέει κατακόρυφα από μικρές οπές, οπότε και ψύχεται σταδιακά, ώστε να πάρει την τελική μορφή οπτικής ίνας. Ειδικοί μηχανισμοί ελέγχουν τον σωστό σχηματισμό, ενώ εξασφαλίζουν ότι η διάμετρός της δεν θα ξεπεράσει το φυσιολογικό όριο. Στο κάτω μέρος του πύργου, συναντάμε μια τροχαλία που αναλαμβάνει την περιέλιξη της οπτικής ίνας σε κυλίνδρους.

Στο τελικό στάδιο, η οπτική ίνα περνά από ένα σύνολο ελέγχων που εξασφαλίζουν ότι είναι σε θέση να διατεθεί προς χρήση, χωρίς να προξενηθούν τυχόν προβλήματα κατά τη χρήση της.

Στα τεστ αυτά περιλαμβάνεται ο έλεγχος αντοχής κατά ενδεχόμενης θραύσης, το σωστό της σχήμα αλλά και η μέτρηση της διαφάνειας, καθώς από αυτή εξαρτάται η σωστή μετάδοση του φωτεινού σήματος. Καταγράφεται επίσης η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, η συμπεριφορά της οπτικής ίνας στα διάφορα μήκη κύματος του φωτός που μεταδίδει, καθώς και οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος στις οποίες δύναται αυτή να λειτουργήσει σωστά.

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

6.6 Πλεονεκτήματα

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

- Χαμηλό κόστος: Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά, σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί αρχικά τους παρόχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παρόχων, επομένως ωφελεί και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.
- Υψηλό bandwidth: Ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps, που με τη σειρά τους προσφέρουν γρήγορη διαμεταγωγή δεδομένων και αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω πρωτοκόλλου IP.
- Μικρή εξασθένιση του σήματος, χάρη στην υψηλή ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης. Ακόμη και αν υπάρξει εξασθένιση σήματος, αυτό ενισχύεται πολύ πιο εύκολα μέσω των κατάλληλων ενισχυτών.

- Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια: Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
- Αμιγώς ψηφιακό σήμα που εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνιάς και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Στον κόσμο της ψηφιακής πληροφορίας, τα δεδομένα αναπαρίστανται από τους αριθμούς 0 και 1, οι οποίοι ονομάζονται bits. Το 0 ισοδυναμεί με την κατάσταση "κλειστό" και το 1 με την κατάσταση "ανοικτό".

Μια ακολουθία 8 bits σχηματίζουν 1 ψηφιακή λέξη που λέγεται byte.

Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τις φωτεινές αναλαμπές με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέροντας τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων.

- Υψηλή διαθεσιμότητα: Οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.
- Μικρές διαστάσεις και βάρος, καθώς και ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι, απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών.

6.7 Μειονεκτήματα

- Είναι πιο ακριβές.
- Είναι πιο δύσκολη η εγκατάστασή τους.
- Είναι πιο εύθραυστες.
- Δεν μπορούμε να τις λυγίζουμε πολύ, θα πρέπει να τις εγκαθιστούμε με ελαφριά κλίση, διαφορετικά θα συναντήσουμε αρκετές απώλειες.

6.8 Κατασκευή Οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται ως αγωγοί φωτός και αποτελούνται από διάφορα μέρη. Ο εσωτερικός κυλινδρικός πυρήνας κατασκευάζεται από γυαλί πυριτίου ή από πλαστικό υλικό, με υψηλό δείκτη διάθλασης. Ο πυρήνας αυτός περιβάλλεται από μανδύα που αποτελείται από στρώμα γυαλιού πυριτίου ή πλαστικού υλικού με χαμηλό δείκτη διάθλασης. Το σύνολο προστατεύεται από πλαστικό στρώμα που αποτελείται από πολυαμίδια ή νήματα αραμιδίου.

Η πρώτη επίστρωση χρησιμοποιείται ως μόνιμη προστασία για το ανακλαστικό εσωτερικό τμήμα μετάδοσης. Διαχωρίζει τις ίνες μεταξύ τους ώστε να μη συζευγνύονται μεταξύ τους και παρέχει το μέσο διόδου με τη χρήση συστημάτων οπτικών ινών. Οι επενδυμένες με στρώμα οπτικές ίνες έχουν εξαιρετική ευκαμψία και ως οπτικά στοιχεία επιτρέπουν τη μετάδοση φωτός κατά μήκος των εύκαμπτων αξόνων τους. Μπορούν να δεχτούν έναν ευρύτερο κώνο φωτός από άλλα οπτικά συστήματα. Με περιορισμένη διάμετρο ενεργούν ως διηλεκτρικοί αγωγοί μετάδοσης κυμάτων που η διακίνησή τους συνδυάζεται με τα φωτεινά κύματα.

Οι αγωγοί από απλές οπτικές ίνες προκειμένου να αποτελέσουν καλώδια απλής οπτικής ίνας περιβάλλονται από PVC και φτάνουν να έχουν τελική διάμετρο γύρω στα 2.8 χιλ. ή και περισσότερο. Το βάρος της μονότροπης οπτικής ίνας από 0.7 χιλ./χιλιόμετρο χωρίς την πλαστική προστασία, φτάνει τα 7 χιλ./χιλιόμετρο με την πλαστική επένδυση. Συνήθως τα καλώδια οπτικών ινών ενσωματώνονται σε ομάδες 1-2 ή 3-8 ή 9-12 οπτικών ινών ή και σε ομάδες με περισσότερες οπτικές ίνες και φέρουν μεταλλικές ή μη μεταλλικές προστατευτικές επικαλύψεις. Τα καλώδια για εξωτερική χρήση είναι σύνθετα και πολλές φορές συνδυάζονται με αγωγούς ηλεκτρικής παροχής, υπόγειους, υποβρύχιους ή εναέριους, με αγωγούς ηλεκτρικής προστασίας ή έχουν ειδική κατασκευή υψηλής αντοχής και άλλων κατασκευαστικών στοιχείων για ιατρικούς ή άλλους σκοπούς.

Η διαδικασία κατασκευής οπτικών ινών αποτελείται από τρία κύρια στάδια:

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

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

6.9 Εφαρμογές Οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες βρίσκουν πάρα πολλές εφαρμογές. Οπτικές ίνες μεγάλης διαμέτρου και μικρής καθαρότητας χρησιμοποιούνται στην κατασκευή φωτεινών επιγραφών, στη διακόσμηση και στο φωτισμό των πισινών.

Δέσμη οπτικών ινών φωτίζει πολλές προθήκες καταστημάτων ή πολλούς πίνακες ζωγραφικής στις γκαλερί, ώστε να εξοικονομούμε ηλεκτρική ενέργεια. Με την βοήθεια τους μπορούμε να παρατηρήσουμε αντικείμενα απρόσιτα σε άμεση παρατήρηση.

Έτσι κατασκευάστηκε το ενδοσκόπιο, όργανο που χρησιμοποιείται στην Ιατρική, για να κάνει ορατές ορισμένες εσωτερικές περιοχές του σώματός μας. Παρόμοια συστήματα χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς για να εντοπίσουν βλάβες στο εσωτερικό των μηχανών.

Η πιο σημαντική εφαρμογή των οπτικών ινών αφορά τις τηλεπικοινωνίες. Όλοι γνωρίζουμε τη χρήση των οπτικών ινών στις ψηφιακές τηλεπικοινωνίες. Η χρήση τους έφερε την επανάσταση στο χώρο αυτό για τους λόγους που αναφέρουμε παρακάτω:

Με τη βοήθεια μιας ίνας μπορούμε να μεταφέρουμε ταυτόχρονα και χωρίς παρεμβολές χιλιάδες τηλεφωνήματα, δεκάδες εκπομπές τηλεοπτικών καναλιών και μεγάλο αριθμό δεδομένων υπολογιστών.

Οι διαστάσεις των καλωδίων των οπτικών ινών και το βάρος τους είναι πολύ μικρότερα από αντίστοιχα του χαλκού. Για παράδειγμα, ένα καλώδιο οπτικών ινών μπορεί να αντικαταστήσει χάλκινο καλώδιο δεκαπλάσιας περίπου διαμέτρου και τριανταπλάσιου περίπου βάρους.

Κατά τη μεταφορά των πληροφοριών δεν έχουμε παράσιτα.

Είναι πολύ δύσκολη η υποκλοπή ή η συνακρόαση.

Δεν χρειάζονται γείωση.

Μπορούν να παραχθούν από κάθε χώρα με συνέπεια την απεξάρτησή της από χώρες που παράγουν χαλκό. Έτσι επιτυγχάνεται και τεχνολογική διάχυση.

Στην Ελλάδα υπάρχουν εργοστάσια παραγωγής οπτικών ινών, δηλαδή επεξεργασίας του διοξειδίου του πυριτίου με πρώτη ύλη την άμμο.

Ο όμιλος εταιρειών ΟΤΕ έχει αντικαταστήσει ένα μεγάλο μέρος του παλιού δικτύου του με δίκτυο οπτικών ινών.

Επίσης οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα όργανα ανίχνευσης παραμορφώσεων, πίεσης, θερμοκρασίας και άλλων μεγεθών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΝΗΜΕΣ

7.1 Εισαγωγή στα HDSS

Οι νέες εφαρμογές πολυμέσων και οι κανονικές διαδικασίες στοιχείων δεδομένων τοποθετούν τις νέες απαιτήσεις στα συστήματα αποθήκευσης. Αυτό το είδος εγγράφων απαιτεί 10 έως 1000 φορές τη μεγαλύτερη χωρητικότητα από αυτή που απαιτείται από τα συμβατικά έγγραφα.

Τα προγράμματα πολυμέσων τρώνε ένα μεγάλο ποσό του χώρου αποθήκευσης. Κάθε δευτερόλεπτο της πλήρους κίνησης, το πλήρες βίντεο οθόνης απαιτεί 30 πλαίσια των τηλεοπτικών πληροφοριών στο ποσοστό σχεδόν 1MB των στοιχείων υπολογιστών ανά πλαίσιο. Αυτό είναι περίπου 30 MB των πληροφοριών ανά δευτερόλεπτο, ή 1.8 GB ανά λεπτό. Αυτό το ποσό δεν είναι γενικά διαθέσιμο, ιδιαίτερα στα φορητά συστήματα, τα οποία είναι ο πιο ελπιδοφόρος τομέας σε αυτήν τη βιομηχανία μετά από την τάση προς τη μικρογράφιση και τους συμπαγέστερους υπολογιστές.

Επι των ημερών μας, η αποθήκευση πολυμέσων έχει επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την τεχνική που ονομάζεται συμπίεση, η οποία αποτελείται από την κωδικοποίηση των στοιχείων σε λιγότερα κομμάτια που κανονικά χρειάζονται, για να κερδίσει χώρο αποθήκευσης ή χρόνο μετάδοσης. Το εξειδικευμένο λογισμικό αυτόματα συμπιέζει και αποσυμπιέζει τα στοιχεία. Εντούτοις, το κλειδί για την υψηλής ποιότητας αναπαραγωγή ήχου πολυμέσων είναι η συνεχής ρυθμοαπόδοση των πληροφοριών.

Χωρίς αυτό, τα πλαίσια χάνονται κατά τη διάρκεια της σύλληψης και της αναπαραγωγής ήχου.

Το αποτέλεσμα είναι η κακή ποιότητα παραγωγής υπό μορφή blips, χαμένων πλαισίων και τρεμουλιάσματος. Για αυτόν και άλλους λόγους, οι παραγωγοί και οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη πολυμέσων έχουν μάθει να αναπτύσσουν έναν υγιή σεβασμό στην τεχνολογία αποθήκευσης υπολογιστών.

Η αποθήκευση φαίνεται από πολλούς στη βιομηχανία ως η κρίσιμη τεχνολογία για να επιτρέψει πολλές νέες εφαρμογές πολυμέσων και το να εξεταστούν γρήγορα οι αυξανόμενες απαιτήσεις της, είναι το κλειδί για να φέρει προς συζήτηση αυτήν τη νέα τεχνολογία.

Αυτήν την περίοδο, αυτή η αποθήκευση παρέχεται από τις μαγνητικές και οπτικές τεχνολογίες, και παρά τις φανταστικές προόδους σε αυτές τις τεχνολογίες, οι φυσικοί περιορισμοί συντελούν στη διακεκομμένη λήψη των στοιχείων στις συμβατικές περιστρεφόμενες συσκευές.

Για παράδειγμα, η βασισμένη στο δίσκο αποθήκευση χρησιμοποιεί τα κινούμενα μέρη που εξάγουν πληροφορία με μια συγκεκριμένη ταχύτητα, και η περαιτέρω πρόοδος στην τεχνολογία CD-ROM αντιμετωπίζει ένα θεμελιώδες όριο: τα κοιλώματα που κωδικοποιούν τις πληροφορίες για την επιφάνεια ενός COMPACT-DISK μπορούν να είναι όχι μικρότερα από το μήκος κύματος της ακτίνας λέιζερ που χρησιμοποιείται για να τα διαβάσει.

Το επόμενο άλμα στη μεγάλη χωρητικότητα στοιχείων υπολογιστών θα πρέπει να προέλθει αποαλλού. Στην πραγματικότητα, η αυξανόμενη απαίτηση για σημαντικά περισσότερη χωρητικότητα που συνδέεται με την ανάπτυξη της ευρείας ποικιλίας των εφαρμογών έχει φορολογήσει αρκετά τη δυνατότητα αυτών των συστημάτων αποθήκευσης. Ενώ αυτό το χάσμα εμποδίζει προσωρινά την εμφάνιση των πολυμέσων, υπάρχει μια γρήγορη αυξανόμενη πίεση για τέτοια τεχνολογία. Η άποψη πολλών ηγετών βιομηχανίας είναι ότι, όποια τεχνολογία δώσει μια λύση στο τρέχον πρόβλημα μεγάλης χωρητικότητας θα εξουσιάσει την αγορά αποθήκευσης πληροφοριών του μέλλοντος.

Τα δυναμικά συστήματα πολυμέσων απαιτούν τα υψηλής πυκνότητας, εναλλακτικά μέσα για την πλειοψηφία των εφαρμογών τους. Αυτές οι εφαρμογές ποικίλλουν από την αρχική φόρτωση του λογισμικού, στις παρουσιάσεις πολυμέσων, στην απλή υποστήριξη των αρχείων που βρίσκονται στη συσκευή.

Τα γενικά χαρακτηριστικά των συσκευών αποθήκευσης για το περιβάλλον προϊόντων πολυμέσων είναι:

- Αποθήκευση πληροφοριών σε μια μορφή που μπορεί να χειριστεί εύκολα από την ηλεκτρονική.
- Ακίνδυνη αποθήκευση τεράστιων ποσών των πληροφοριών, χαρακτηριστικά, σε περισσότερα από χίλια gigabits και έτσι ώστε να μπορούν να συντηρηθούν απεριόριστα ως αρχεία.
- Οποιοδήποτε μέρος των αποθηκευμένων πληροφοριών μπορεί να διαβαστεί ή να αλλάξει οποιαδήποτε στιγμή με την πιο σύντομη πιθανή καθυστέρηση που ιδιαίτερα για τα προσορινά ενδιάμεσα στοιχεία που εμφανίζονται στην επεξεργασία, να είναι χαρακτηριστικά 1 msec ή λιγότερος.
- Χαμηλή ισχύος κατανάλωση.
- Χαμηλότερο κόστος ανά megabyte.

Ακόμα η ολογραφική αποθήκευση μπορεί να προσφέρει τις συναρπαστικές δυνατότητες και την υπόσχεση της ύπαρξης της οικονομικότερης λύσης στις απαιτήσεις αποθήκευσης των πολυμέσων υπολογίζοντας από οποιαδήποτε υπάρχουσα ή προβαλλόμενη τεχνολογία. Η νέα τεχνική επιτρέπει την αποθήκευση των ψηφιακών πληροφοριών ως τρισδιάστατα οπτικά ολογράμματα.

Η αποθήκευση και η ανάκτηση των στοιχείων ως δισδιάστατα σχέδια του φωτός, ή των σελίδων, σε έναν τρισδιάστατο τόμο του φωτοευαίσθητου κρυστάλου, παρέχουν τη βάση για την ολογραφική τεχνολογία αποθήκευσης. Οργανώνοντας τα στοιχεία σε σελίδες αντί των μεμονωμένων bits και τη χρήση των LASER, παρέχεται η πρόσβαση σε ταχύτητες και μεγέθη μεγαλύτερα από τις περιστρεφόμενες συσκευές του σήμερα.

7.2 Η εξέλιξη της αποθήκευσης των υπολογιστών

Όσο πιο μεγάλος ο χώρος αποθήκευσης, τόσο πιο απλή και λεπτομερή είναι η βάση δεδομένων. Η μαζική αποθήκευση ορίζεται συνήθως ως τα μέσα συντήρησης των παραγμένων πληροφοριών των υπολογιστών, για την επόμενη χρήση ή την ανάκτηση.

Οι πληροφορίες έχουν γραφτεί σε ένα επιλεγμένο μέσο εάν η φυσική κατάσταση του αλλάξει υπό την επήρεια της ενέργειας σημάτων. Η αλλαγμένη κατάσταση σε ένα μέσο απομνημόνευσης δημιουργείται με την παραγωγή την σωστή χρήση των ιδιοτήτων τους

Η ανάγνωση των αποθηκευμένων πληροφοριών ολοκληρώνεται με την αντίληψη της αλλαγμένης κατάστασης χρησιμοποιώντας μια κατάλληλη τεχνική. Το σβήσιμο της πληροφορίας επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ηλεκτρικά, μαγνητικά ή οπτικά μέσα.

Η δυνατότητα να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν οι πληροφορίες με τους νέους τρόπους είναι ουσιαστική στην πρόοδο της ανθρωπότητας. Η σύγχρονη επιστήμη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη στην επεξεργασία πληροφοριών με την οποία υπάρχει σε μια μορφή συμβίωσης.

Οι επιστημονικές πρόοδοι έχουν επιτρέψει την αποθήκευση, την ανάκτηση και την επεξεργασία πάντα περισσότερων πληροφοριών, οι οποίες στη συνέχεια, βοήθησαν να παράγουν τις ιδέες που απαιτήθηκαν για τις περαιτέρω προόδους.

Τα τελευταία χρόνια έχουν βεβαιώσει μια σημαντική αύξηση στην ηλεκτρονική διαχείριση των πληροφοριών. Συγκεκριμένα πολλοί τύποι πληροφοριών που παραδοσιακά θεωρήθηκαν αναλογικοί, όπως οι εικόνες και ο ήχος, υποβάλλονται σε επεξεργασία τώρα και χρησιμοποιούνται με ψηφιακή μορφή. Αυτή η πρόοδος έρχεται με τεράστιες ευκαιρίες και προκλήσεις για τα πληροφοριακά συστήματα που για να καλύψουν καλύτερα τις ανάγκες των χρηστών πληροφοριών πρέπει να χειριστούν τις πληροφορίες πολυμέσων κατά τρόπο φυσικό και αποτελεσματικό. Πολλές βιομηχανίες, μεταξύ των οποίων αυτή των πολυμέσων, ψάχνουν ανυπόμονα για τις νέες εναλλακτικές λύσεις στα τρέχοντα συστήματα αποθήκευσής τους, καθώς στις βάσεις δεδομένων τους, ενώ οι απαιτήσεις αποθήκευσης γίνονται μεγαλύτερες.

Ακόμη και πριν από τους πρώτους εμπορικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές εμφανίστηκε το 1951 η μαζική αποθήκευση, αν και μικρότερη από τα σημερινά πρότυπα, ήταν μια ανάγκη. Από τα μέσα του 1800 οι κάρτες διατρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για να παρέχουν την εισαγωγή στους πρόωρους υπολογιστές και άλλες μηχανές. Μέσα στη δεκαετία του '40 χρησιμοποιήθηκαν οι κενοί σωλήνες για την αποθήκευση μέχρι τελικά, οι οδηγοί ταινιών άρχισαν να αντικαθιστούν τις κάρτες διατρήσεων στις αρχές της δεκαετίας του '50. Μερικά χρόνια μετά τα μαγνητικά τύμπανα εμφανίστηκαν και το 1957 ο πρώτος σκληρός δίσκος εισήχθη ως συστατικό του Ramac 350 της IBM.

Οι πρώτοι σκληροί δίσκοι ήταν μεγάλοι και ακριβοί και περιορίστηκαν στους κεντρικούς υπολογιστές και τις εγκαταστάσεις μινι-υπολογιστών. Στις αρχές της δεκαετίας του '80 η επανάσταση του προσωπικού υπολογιστή άλλαξε τα πάντα, αναγγέλλοντας την εισαγωγή των μικρότερων σκληρών δίσκων, καθώς επίσης δισκέτες και μαγνητικές ταινίες χρησιμοποιήθηκαν σε εφαρμογές υπολογιστών και κασέτες που χρησιμοποιήθηκαν σε video-παιχνίδια.

Με την ανάπτυξη του προσωπικού υπολογιστή και την εμφάνιση των πολυμέσων, έγινε αναγκαία η μεγαλύτερη αποθήκευση πληροφοριών.

Τα μέσα απομνημόνευσης για τη μαζική αποθήκευση περιλαμβάνουν τους σκληρούς δίσκους, τις δισκέτες, τη flash memory, τους οπτικούς δίσκους, τους μαγνητο-οπτικούς δίσκους, τη μαγνητική ταινία, τη μνήμη τυμπάνων, την τρυπημένη με διατρητική μηχανή ταινία και την ολογραφική μνήμη.

7.3 Η Ολογραφία

Το όνομα της ολογραφίας προέρχεται, από τις ελληνικές λέξεις όλον και γραφείν, πρόκειται για μια τεχνική για την καταγραφή των φωτεινών κυμάτων που ανακλώνται από ένα αντικείμενο. Έτσι όταν το ολόγραμμα φωτισθεί με σωστό τρόπο αναπαράγει ένα ακριβές τρισδιάστατο είδωλο που είναι πιστό αντίγραφο του αντικειμένου.

Ο θεατής ενός ολογράμματος, έχοντας τη δυνατότητα παρατήρησης του ολογραφικού ειδώλου από διαφορετικές οπτικές γωνίες, διακρίνει με δυσκολία το ολόγραμμα από το πραγματικό αντικείμενο. Η αίσθηση των τριών διαστάσεων επιτείνεται από τις ανακλάσεις του φωτός στην "επιφάνεια" του ολογραφικού ειδώλου, τις έντονες φωτοσκιάσεις, την λεπτομερή απόδοση της επιφανειακής υφής των υλικών κυρίως όμως από την οριζόντια και κατακόρυφη οπτική παράλλαξη. Τα ολογράμματα αναπαράγουν την τρίτη διάσταση. Η πιστή τρισδιάστατη αναπαράσταση οφείλεται στο γεγονός ότι το ολόγραμμα καταγράφει και αναπαράγει τις ακτίνες φωτός που ανακλά ένα αντικείμενο, τις ίδιες φωτεινές ακτίνες που πέφτουν στο ανθρώπινο μάτι και το καθιστούν ορατό.

Η τεχνική της ολογραφικής καταγραφής είναι εντελώς διαφορετική από τη φωτογραφική. Στην φωτογράφιση, ο φακός της μηχανής δημιουργεί ένα είδωλο του αντικείμενου πάνω στο φιλμ, κάνοντας έτσι τις διαστάσεις από τρεις, δύο.

Στην ολογραφία το αντικείμενο φωτίζεται από κατάλληλη φωτεινή πηγή LASER. Το ανακλώμενο από το αντικείμενο φως του LASER προσπίπτει σε ειδική φωτοευαίσθητη πλάκα χωρίς να παρεμβάλλεται φακός. Η φωτοευαίσθητη πλάκα δέχεται ακόμη μιά δέσμη φωτός που προέρχεται από την ίδια πηγή LASER.

Τα δύο σύνολα φωτεινών ακτίνων αλληλεπιδρούν στη περιοχή της πλάκας και το αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης, ένα σύνολο φωτεινών και σκοτεινών γραμμών, καταγράφεται στην φωτοευπαθή πλάκα και αυτό ακριβώς είναι το ολόγραμμα. Η αναπαραγωγή του είδωλου γίνεται φωτίζοντας το ολόγραμμα με κατάλληλη φωτεινή πηγή. Η δομή, επανεκπέμπει το προσπίπτον φως σε ακτίνες, που είναι πιστά αντίγραφα των αρχικών.

Έτσι ο θεατής, βλέπει ένα τρισδιάστατο αντίγραφο-είδωλο, το οποίο όμως εμπεριέχει ολόκληρη την πληροφορία σε τεράστια ανάλυση του μήκους κύματος του φωτός LASER. Το είδωλο εμφανίζεται πανομοιότυπο με το πρωτότυπο και στην ίδια αρχική απόσταση πίσω από το ολογράφημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Rebecca Matulka, Daniel Wood, "History of the Light Bulb", U.S. Department of Energy, November 22, 2013, <http://energy.gov/articles/history-light-bulb>

Josie Lowry, "The future of LED lighting", Ezine Articles, LEDKE Technology Co., Ltd, 29/6/2010, <http://www.ledke.com/news/LED-lighting-future.html>

Robert Douglas Friedel, Paul Israel, Bernard S. Finn, "Edison's electric light: biography of an invention", New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press, 1986, ISBN 0813511186

Keefe, T.J, "The Nature of Light", 2007, <http://archive.today/me55>

M. A. Laughton, "Electrical Engineer's Reference Book", Sixteenth Edition, Newnes, 2003, ISBN 0-7506-4637-3

Elizabeth Shogren, "CFL Bulbs Have One Hitch: Toxic Mercury", npr, February 15, 2007, <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=7431198>

Mary Bellis, "The History of Fluorescent Lights", About.com, 2007, <http://www.popularmechanics.com/home/reviews/news/4215199>

Γεωργία Μπισμπίκη, "Μελέτη Συστημάτων Έναυσης με Ρυθμιζόμενη Στάθμη Φωτισμού (ELECTRONIC DIMMABLE BALLAST)", Διπλωματική εργασία, Φραγκίσκος Τοπαλής, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2012, http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/6834/3/bismpikig_ballast.pdf

onceinnovations.com, "Understanding LEDs and LED Lighting", http://www.onceinnovations.com/downloads/und_led.pdf

Tony B. Gines and Michael W. Davidson, "Light-Emitting Diode Operation", National High Magnetic Field Laboratory, The Florida State University, Florida, <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/tutorials/leddiagram/indexflash.html>

Wayne Storr, "The Light Emitting Diode", Basic Electronics Tutorials, http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html

Cornelius Neumann, "The Light Emitting Diode - a success story", Stahl, 2012, http://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift/2012/en/LED_PDF_englisch.pdf

Deacon Wardlow, "Counting Colors: The Truth Behind the Numbers", Vantage LED Signs, Thursday, May 17, 2012, <http://vantageled.blogspot.gr/2012/05/counting-colors-truth-behind-numbers>

Lightning Research Center, "How are LEDs affected by heat?", LED Lightning Systems, <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlqip/lightinganswers/led/heat.asp>

US Department of Energy, "Lifetime of White LEDs", http://web.archive.org/web/20100821055249/http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lifetime_white_leds_aug16_r1.pdf

Narendran, N. and Y. Gu, "Life of LED-based white light sources", IEEE/OSA Journal of Display Technology 1, 2005, <http://www.lightingresearch.org/programs/solidstate/pdf/narendran-gu-jdt2005.pdf>

Lightning Research Center, "Do all LEDs have the same lumen maintenance characteristics?", LED Lightning Systems, <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/led/lumenMaintenance.asp>

Kimberly Bowen, "How Do LED Light Bulbs Work?", TopTenREVIEWS, <http://led-light-bulbs-review.toptenreviews.com/how-do-led-light-bulbs-work-.html>

Instrument Systems GMBH, "Handbook of LED Metrology", München, Germany, http://www.instrumentsystems.com/fileadmin/editors/downloads/Products/LED_Handbook_e.pdf

Conway K. M., J. D. Bullough, "Will LEDs transform traffic signals as they did exit signs?", Proceedings of the Illuminating Engineering Society of North America Annual Conference, New Orleans, Louisiana, New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America, August 9–11 1999, <http://www.lrc.rpi.edu/resources/pdf/57-1999.pdf>

Ines Lima Azevedo, M. Granger Morgan, and Fritz Morgan, "The Transition to Solid-State Lighting", Proceedings of the IEEE, Vol. 97, No. 3, March 2009, <http://www.andrew.cmu.edu/user/sgradeck/DOCS/TransitiontoSSL.pdf>

James R Benya, "Lighting Calculations in the LED Era", Cree LED Lighting, May 15, 2011, [http://www.cree.com/~media/Files/Cree/Lighting/Misc Tech Docs/Lighting-CalculationsintheLEDEra_Benya.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/Lighting/Misc_Tech_Docs/Lighting-CalculationsintheLEDEra_Benya.pdf)

U.S. Department of Energy, "Energy efficiency and renewable technology, building technologies program, DOE solid-state lighting CALiPER program: Summary of results Round 20 of product testing", September 2013, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/caliper_20_summary.pdf

David DiLaura, Kevin Houser, Richard Mistrick, Gary Steffy, "The IESNA Lighting Handbook", 10th ed., Illuminating Engineering Society of North America, 2011, ISBN # 978-0-87995-241-9

Don Klipstein, "Why LEDs can be 10-15 times as efficient as incandescents in some applications, but only 3-4 times as efficient in general home lighting!", Feb. 2014, <http://donklipstein.com/lede.html>

Cree, Inc., "Cree Sets New R&D Performance Record with 276 Lumen-Per- Watt Power LED", February 13, 2013, <http://www.cree.com/news-and-events/cree-news/press-releases/2013/february/276-lpw>

Solid-state lighting research and development: Multi-year program, Navigant Consulting, Inc., May 2014, prepared for Lighting Research and Development Building Technologies Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Dept. of Energy, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2014_web.pdf

Wikipedia, "CIE 1931 color space", http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

National Institute of Standards and Technology, Physics Laboratory, Optical Technology Division, "Color rendering of light sources", July 24, 2009 http://www.nist.gov/pml/div685/grp03/vision_color.cfm

M. S. Rea, A. R. Robertson, W. M. Petrusic, "Color rendering of skin under fluorescent lamp illumination", *Color Res. Applicat.*, vol. 15, no. 2, 2007, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/col.5080150206/abstract>

HIS, "Information Technology Equipment - Radio Disturbance Characteristics - Limits and Methods of Measurement, Internal Harmonized Standard EN55022", 2006, <http://www.global.ihs.com/>

Poplawski, M. & Miller, N.J., "Exploring flicker in Solid-State Lighting: What you might find, and how to deal with it", Pacific Northwest National Laboratory, <http://www.e3tnw.org/Documents/2011%20IES%20flicker%20paper%20poplawski-miller-FINAL.pdf>

Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST), "ASSIST recommends... Flicker Parameters for Reducing Stroboscopic Effects from Solid-State Lighting Systems", Vol. 11, Iss. 1. Troy, N.Y.: Lighting Research Center, 2012, <http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/AR-Flicker.pdf>

J.M. Hollas, "Modern Spectroscopy", 4th ed., Wiley, 2004

www.wikipedia.org

http://ehs.unc.edu/training/self_study/laser/characteristics.html

<http://esperia.iesl.forth.gr/~Kafesaki/Modern-Physics>

<http://artemis.cslab.ntua.gr/Dienst/UI/1.0/Display/artemis.ntua.ece/DT2008-0148>

<http://geocities.com/epi2001gr/ergo/Laser.htm>

<http://clab.edc.uoc.gr>

Semiconductor λέιζερ - Διαφορετικοί τύποι - Διαθέσιμα μήκη κύματος του λέιζερ ημιαγωγών

Επίσημη παρουσίαση για το ισχυρότερο λέιζερ του κόσμου, 1η Ιουνίου 2009- άρθρο στο [in.gr](http://www.citytec.gr).

http://www.citytec.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=55

http://www.arcmeletitiki.gr/images/uploads/pdf/arc_ape11.pdf

“ΟΠΤΡΟΝΙΚΗ” ΤΟΜΟΣ 1 ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ LASER

“ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ” - Jaspit Singh

D. Psaltis and G. W. Burr, “Volume holographic memory systems: Techniques and architectures,” *Computer*, vol. 31, 1998.

K. Curtis, “Digital holographic data storage prototype,” in *Conf. Rec. 2000 Optical Data Storage*.

G. Barbastathis and D. Psaltis, “Volume holographic multiplexing methods,” *Holographic Data Storage*, H. Coufal, D. Psaltis, and G. T. Sincerbox, Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2000.

L. Hesselink, “Digital holographic demonstration systems by Stanford University and Sires Technologies,” *Holographic Data Storage*, H. Coufal, D. Psaltis, and G. T. Sincerbox, Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2000.

S. S. Orlov, “Volume holographic data storage,” *Commun. ACM*, vol. 43, pp. 46-55, 2000.

A. Mikaeliane, et al., “Holographic bulk memories using lithium niobate crystals for data recording,” *Optical Information Recording*, E. S. Barrekette, Ed. New York: Plenum, 1978, vol. 2. [11] D. Psaltis, D. Brady, and K. Wagner, “Adaptive optical networks using photorefractive crystals,” *Appl. Opt.*, vol. 27, 1988.

G. W. Burr, C. M. Jefferson, H. Coufal, M. Jurich, T. A. Hoffnagle, R. M. Macfarlane, and R. M. Shelby, "Volume holographic data storage at an areal density of 250 gigapixels/in²," Opt. Lett., vol. 26, 2001.

C. Gu, P. Yeh, X. Yi, and J. Hong, "Fundamental noise sources in volume holographic storage," Holographic Data Storage, H. Coufal, D. Psaltis, and G. T. Sincerbox, Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

N. K. Ουζουνόγλου. Τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών. Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ

Αλέξανδρος Αλεξανδρής. Οπτικές ίνες Εκδόσεις ΙΩΝ