

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΑΣΚΗΣΗ 5Α

*“ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ
ΔΙΟΔΙΚΟΥ LASER”*

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΔΙΟΔΙΚΟΥ LASER

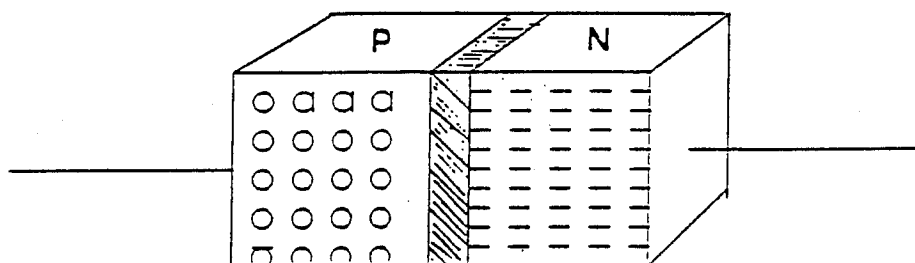
ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της άσκησης είναι η μελέτη της σταθεροποίησης του ρεύματος σε ένα τροφοδοτικό για διοδικό LASER.

ΓΕΝΙΚΑ

1. Διοδικό LASER

Το διοδικό LASER είναι ένας τύπος ημιαγωγού LASER το οποίο αποτελείται από ένα ημιαγωγό υλικό τύπου P και ένα τύπου N ενωμένα μαζί.



Για την λειτουργία του διοδικού LASER απαιτείται να υπάρχει μια περιοχή της PN επαφής (διεπαφής) που συνυπάρχουν ηλεκτρόνια και οπές. Αυτό επιτυγχάνεται με πυκνή διάχυση προσμείξεων, και στις δύο πλευρές της επαφής. Πρέπει λοιπόν να τονιστεί ότι η PN επαφή είναι μια πολύ στενή περιοχή, όπου υπάρχουν ηλεκτρόνια και οπές.

Επιτυγχάνεται οπτική εκπομπή όταν η στενή αυτή περιοχή είναι κανονικά πολωμένη (ορθή φορά) και άγει. Όταν ένα ηλεκτρόνιο από τη ζώνη αγωγιμότητας συνδέεται με μια οπή στη ζώνη σθένους της PN επαφής, εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια ίση με την ενεργειακή διαφορά των σταθμών που καταλαμβάνουν το ηλεκτρόνιο και η οπή. Για αρκετά ημιαγωγά υλικά, η ενεργειακή αυτή διαφορά αντιστοιχεί σε φωτόνια της ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται ακτινοβολία επανασύνδεσης.

Στην περίπτωση των διοδίων LASER η αντιστροφή πληθυσμού επιτυγχάνεται όταν ο αριθμός των ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των οπών στη ζώνη σθένους. Αν δεν επιτευχθεί αντιστροφή πληθυσμού, η εκπομπή δεν είναι εξαναγκασμένη και η επαφή PN λειτουργεί σαν LED δηλαδή σαν κοινός λαμπτήρας.

Για να αρχίσει η εκπομπή LASER πρέπει το ρεύμα να υπερβεί μια τιμή κατωφλίου η οποία εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία της διόδου.

Η διακύμανση του ρεύματος πρέπει να είναι μικρότερη του 0.1 %. Η απαίτηση αυτή για την σταθεροποίηση του ρεύματος πραγματοποιείται με ένα κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή.

2. Τελεστικός ενισχυτής

Ο τελεστικός ενισχυτής αρχικά χρησιμοποιήθηκε στους αναλογικούς υπολογιστές για να εκτελεί μαθηματικές πράξεις. Σύντομα όμως έγινε φανερό ότι τέτοιοι ενισχυτές μπορούσαν να ικανοποιήσουν και άλλες ανάγκες.

Στην άσκηση θα τον χρησιμοποιήσουμε σαν σταθεροποιητή ρεύματος. Οι βαθμίδες που συγκροτούν ένα τελεστικό ενισχυτή είναι συνήθως η βαθμίδα του διαφορικού ενισχυτή, η βαθμίδα απομόνωσης, η πηγή ρεύματος η βαθμίδα ενίσχυσης τάσεως, κ.α.

Ο τελεστικός ενισχυτής έχει δύο ξεχωριστές εισόδους:

Η είσοδος που έχει "+" ονομάζεται μη αναστρέφουσα είσοδος, επειδή είναι σε φάση με την έξοδο. Η είσοδος που έχει "-" ονομάζεται αναστρέφουσα είσοδος, επειδή είναι σε διαφορά φάσεως 180° με την έξοδο. Εξ' αιτίας της DC σύζευξης οι τάσεις εισόδου μπορούν να έχουν οποιαδήποτε συχνότητα μέχρι το μηδέν.

Ο τελεστικός ενισχυτής προσπαθεί να κρατήσει τις δύο τάσεις εισόδου ίσες. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζει μεγάλη ενίσχυση τάσεως στην έξοδό του. Έτσι μια μικρή μεταβολή στην είσοδο, της τάξεως του mV, προκαλεί στην έξοδο τάση, της τάξεως μερικών volt. Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται σε συνδυασμό με την αρνητική ανάδραση, που ως επί το πλείστον, χρησιμοποιεί ο τελεστικός ενισχυτής, δηλαδή επιστροφή σήματος από την έξοδο στην είσοδο με διαφορά φάσης 180° . Στο Σχήμα 1 φαίνονται 2 βασικές συνδεσμολογίες ενός τελεστικού ενισχυτή.

Αναλύοντας το DC ισοδύναμο κύκλωμα μπορούμε να βρούμε την παρακάτω έκφραση για την τάση εξόδου:

$$V_{\text{εξόδου}} = (V_1 - V_2)$$

όπου : V_1 : η τάση στην μη αναστρέφουσα είσοδο.

V_2 : η τάση στην αναστρέφουσα είσοδο.

A : η ενίσχυση τάσεως.

Τυπικές τιμές των χαρακτηριστικών ενός τελεστικού ενισχυτή είναι:

Μεγάλη αντίσταση εισόδου από $10^6 \Omega$ μέχρι $10^{12} \Omega$.

Χαμηλή αντίσταση εξόδου μέχρι $10^2 \Omega$.

Μεγάλη ενίσχυση τάσεως, τάξεως 10^5 .

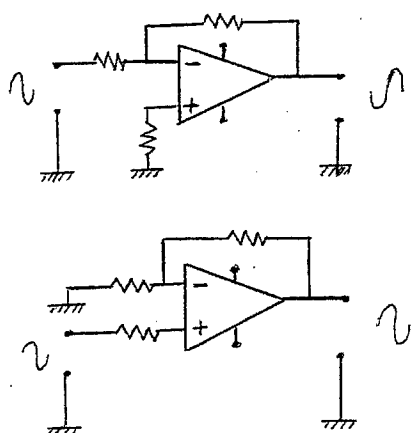
3. Τρανζίστορ

Το τρανζίστορ είναι κρύσταλλος πυριτίου ή γερμανίου με 3 εμπλουτισμένες περιοχές. Υπάρχουν 2 τύποι τρανζίστορ: NPN και PNP.

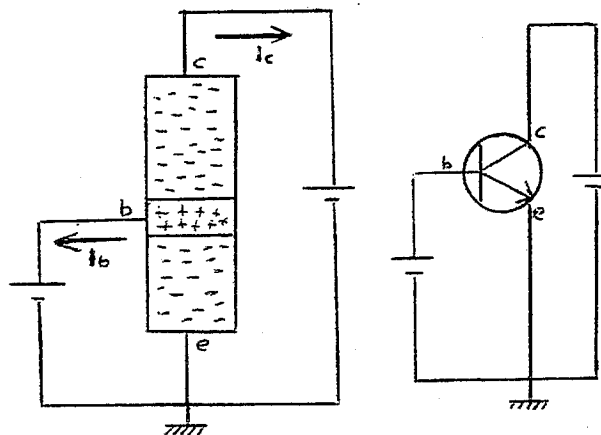
Στις περιοχές N έχουμε φορείς πλειονότητας (ηλεκτρόνια) και στις περιοχές τύπου P έχουμε φορείς πλειονότητας (οπές). Οι 3 περιοχές του τρανζίστορ ονομάζονται: *εκπομπός*, *βάση* και *συλλέκτης*.

Στη συνδεσμολογία του τρανζίστορ ο ένας ακροδέκτης είναι κοινός και σχηματίζει, μαζί με τους άλλους δύο ακροδέκτες, δύο βρόχους. Έτσι, έχουμε 3 τύπους συνδεσμολογίας: *κοινής βάσεως*, *κοινού εκπομπού* και *κοινού συλλέκτη*.

Η τάση πόλωσης του τρανζίστορ, και των δύο τύπων, είναι: *ορθή πόλωση* μεταξύ εκπομπού—βάσεως και *ανάστροφη πόλωση* μεταξύ βάσεως—συλλέκτη.



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Στο κύκλωμα κοινού εκπομπού (βλ. Σχήμα 2). Όταν εφαρμοσθούν οι αντίστοιχες τάσεις, τα ηλεκτρόνια της περιοχής του εκπομπού εισχωρούν στην περιοχή της βάσεως. Επειδή η βάση είναι ελαφρά εμπλουτισμένη και έχει λίγες σπές, τα ηλεκτρόνια διαχέονται στην περιοχή του συλλέκτη και λίγα μόνο βγαίνουν από τον ακροδέκτη της βάσεως, ενώ τα υπόλοιπα κατευθύνονται προς τον θετικό πόλο της πηγής του συλλέκτη. Έτσι ρέει ένα ρεύμα, πολύ μικρό μεν στον πρώτο βρόχο, από τον εκπομπό προς την βάση και ένα πολύ μεγάλο δε στον δεύτερο βρόχο, από τον εκπομπό προς τον συλλέκτη.

4. LED

Το LED είναι δίοδος ημιαγωγού τύπου PN' ορθά πολωμένη. Με την ορθή φορά δημιουργούνται επανασυνδέσεις ηλεκτρονίων και οπών στην επαφή της διόδου. Έτσι, με την επανασύνδεση αυτή ελευθερώνεται ενέργεια (φωτόνια) από τα ηλεκτρόνια που επιστρέφουν στη ζώνη αγωγιμότητας. Οι τυπικές τιμές του ρεύματος τροφοδοσίας των LED είναι 20 mA, ενώ έχουν διάρκεια ζωής της τάξης των 100.000 ωρών.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Λειτουργία κυκλώματος

Η πηγή E_B τροφοδοτεί με ρεύμα τη δίοδο laser, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 (κλάδος B). Το ρεύμα αυτό (I) πρέπει να παραμένει σταθερό. Είναι όμως πιθανό, λόγω τυχαίων μεταβολών της πηγής E_B να επηρεάζεται το ρεύμα που διαρρέει το laser. Επιβάλλεται λοιπόν η σταθεροποίηση του ρεύματος, με τη χρήση ενός τελεστικού ενισχυτή (TE), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 (κλάδος A). Οι ανεπιθύμητες μεταβολές της πηγής E_B εμφανίζονται όμως και στα άκρα της αντίστασης R_3 . Την πτώση τάσης στα άκρα της R_3 ονομάζουμε τάση V_2 . Η τάση αυτή, που περιέχει και τις τυχούσες ανεπιθύμητες μεταβολές, οδηγείται στην αναστρέφουσα είσοδο

του TE. Στην άλλη είσοδο (την μη αναστρέφουσα), εφαρμόζεται μια σταθερή τάση αναφοράς V_1 . Ο ρόλος του TE είναι να προσπαθεί να διατηρεί συνεχώς τις δύο τάσεις V_1 και V_2 ίσες, παράγοντας μια τάση στην έξοδό του, τέτοια ώστε να μεταβάλλεται η αγωγιμότητα του ημιαγωγού T, ώστε να εξουδετερώνονται οι ανεπιθύμητες μεταβολές του ρεύματος I.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η άσκηση θα εκτελεσθεί επάνω σε πλακέτα γενικών κατασκευών. Η διάταξη της άσκησης περιλαμβάνει:

- Δύο τροφοδοτικά χαμηλής τάσεως E_A και E_B , τα οποία τροφοδοτούν τους κλάδους A και B. Το τροφοδοτικό του κλάδου A παρέχει συνεχή τάση 10V και αυτό του κλάδου B, ρυθμιζόμενη τάση 15V.
- Αναλογικό όργανο για τη μέτρηση του ρεύματος (I) του laser,
- Ψηφιακό όργανο για τη μέτρηση των τάσεων V_1 , V_2 και V_3 ,
- Μια δίοδο laser,
- Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (TE),
- Έναν ημιαγωγό (T),
- 3 αντιστάσεις (αντιστάτες) άνθρακος (R_1 , R_2 , R_3),
- Ένα ποτενσιόμετρο (P),
- Μιά πλακέτα γενικών κατασκευών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Αρχές των laser», O. Svelto. Μετάφραση Α. Σεραφετινίδης και Γ. Κουρούκλης, Συμμετρία, 1995.
2. «Ολοκληρωμένη Ηλεκτρονική», J. Millman και Χ. Χαλκιάς, Τόμος Β, Εκδόσεις ΤΕΕ.

ΕΚΤΕΛΕΣΗ

Πρίν εκτελέσετε την άσκηση πρέπει να γνωρίζετε τα εξής:

ΠΡΟΣΟΧΗ

- Μην κοιτάτε τη δέσμη laser απ'ευθείας ή μετά από ανάκλαση της, σε κάτοπτρο.
- Ποτέ μην στρέψετε τη δέσμη στα μάτια άλλου,
- Αμελής χρήση μπορεί να επιφέρει βλάβες στην όραση.

1. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα του κυκλώματος με την βοήθεια των σχετικών διαγραμμάτων του Σχ. 2. Πραγματοποιείστε την συνδεσμολογία του Σχ. 1.

2. Στη θέση του διοδικού LASER χρησιμοποιείστε μία δίοδο LED.

3. Μη θέσετε το κύκλωμα σε λειτουργία πριν αυτό ελεγχθεί από τον επιβλέποντα.

4. Ρυθμίστε την τάση E_B να δίνει 10 V. Μεταβάλετε την τάση V_1 με το ποτενσιόμετρο, από 0 V μέχρι 4,5 V με βήμα 0,5 V και μετρήστε την τάση V_2 . Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον πίνακα 1.

Πίνακας 1

V_1 (Volt)	V_2 (Volt)

5. Ρυθμίστε τον δρομέα του ποτενσιόμετρου P ώστε το ρεύμα I να γίνει 40 mA. Μεταβάλετε την τάση της πηγής E_B από 8 V μέχρι 12 V με βήμα 0,5 V και μετρήστε το ρεύμα I. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον πίνακα 2.

Πίνακας 2

E_B (Volt)	I (mA)

6. Επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα 5 για τιμές ρεύματος I : 45, 50, 55, 60 mA. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον πίνακα 3.

Πίνακας 3

E_B (Volt)	I_{45} (mA)	I_{50} (mA)	I_{55} (mA)	I_{60} (mA)

7. Για τιμή ρεύματος $I=40$ mA. Μεταβάλετε την τάση της πηγής E_B από 8 V μέχρι 12 V με βήμα 0.5 V και μετρήστε την τάση V_2 και την τάση V_3 . Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον πίνακα 4.
8. Διακόψτε την τάση τροφοδοσίας και των δύο κλάδων A και B. Με την βοήθεια του επιβλέποντα αντικαταστήστε την δίοδο LED με την δίοδο LASER.
9. Μεταβάλλετε την τάση V_1 από 0 V μέχρι να δώσει δέσμη φωτός η δίοδος LASER και καταγράψετε το ρεύμα I . Η τάση της πηγής E_B να ρυθμιστεί και να παραμείνει 10 V.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

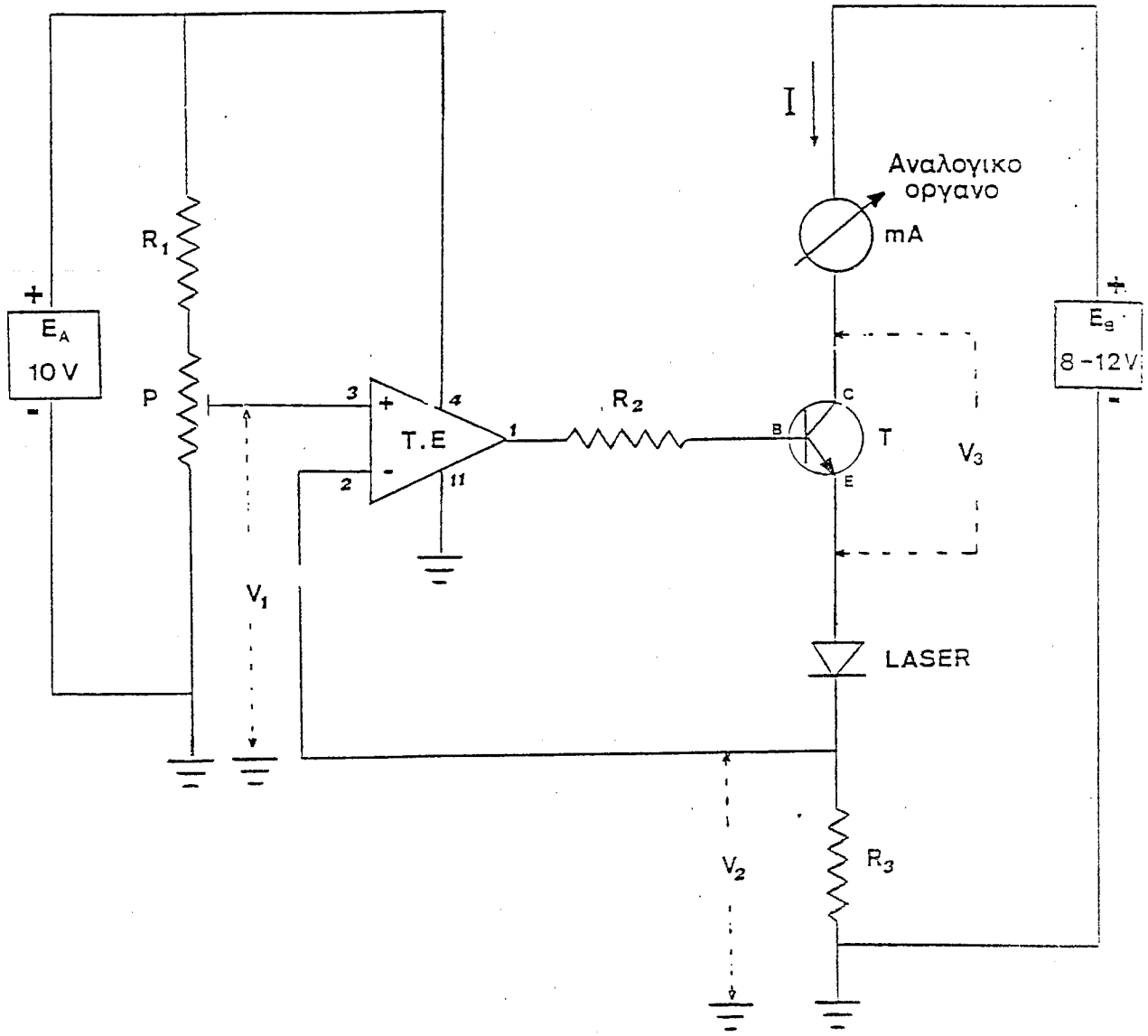
1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα του πίνακα 1.
2. Από τα αποτελέσματα των βημάτων 5 και 6 χαράξτε σε ΕΝΑ ΜΟΝΑΔΙΚΟ διάγραμμα τις συναρτήσεις $I=f(V)$
3. Σχολιάστε τον πίνακα 4.
4. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας για τα βήματα 8 και 9.

Πίνακας 4

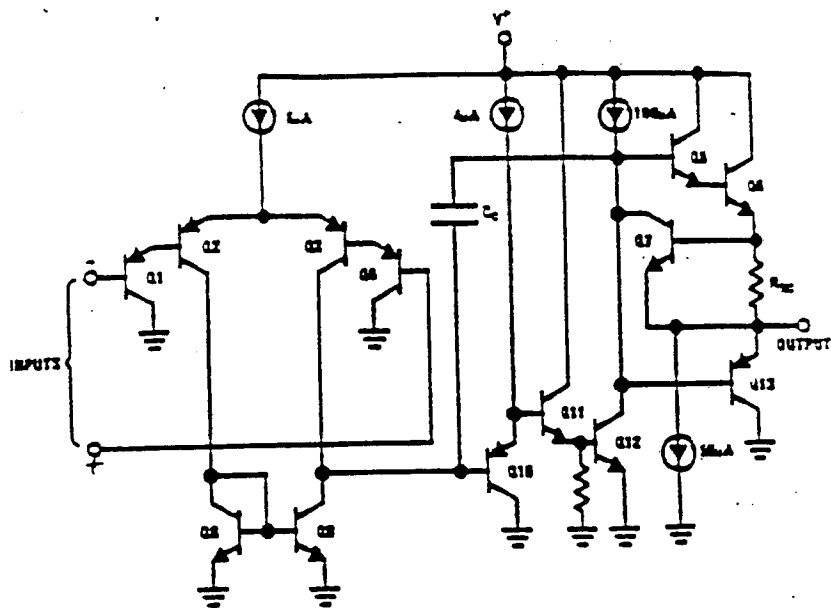
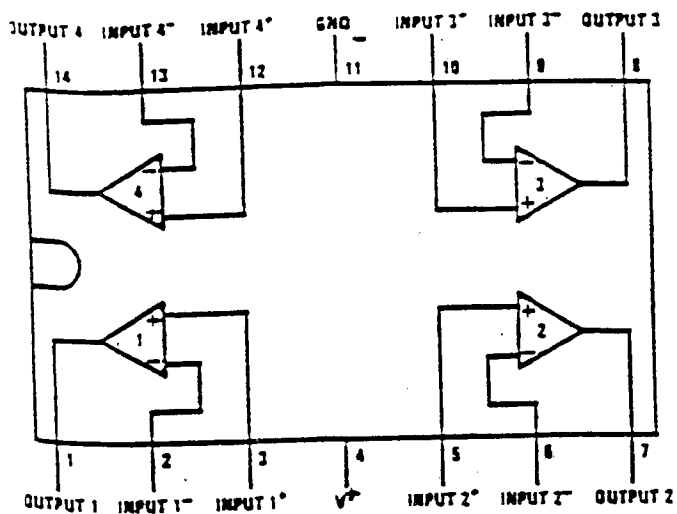
E_B Volt	V_2 Volt	V_3 Volt

Κλαδος Α

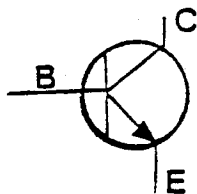
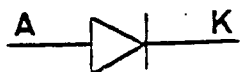
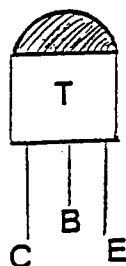
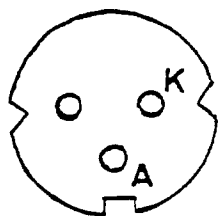
Κλαδος Β



Σx 1



ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ



ΔΙΟΔΟΣ LASER

ΗΜΙΑΓΩΓΟΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

ΔΙΟΔΟΣ LED

Σχ. 2

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΑΣΚΗΣΗ 5 Β&Γ

“ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΟΔΙΚΟΥ LASER”

Άσκηση 5B: ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΟΔΙΚΟΥ LASER

ΣΚΟΠΟΣ

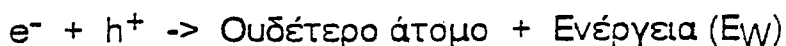
Σκοπός της άσκησης αυτής είναι να παρουσιαστούν οι βασικές έννοιες για τα διοδικά laser (laser ημιαγωγών) και να καταδειχθεί πειραματικά ο ρόλος του ρεύματος κατωφλίου στη λειτουργία τους. Η άσκηση αυτή θα δώσει επίσης την ευκαιρία στους σπουδαστές να εξοικιωθούν με το στήσιμο και την ευθυγράμμιση οπτικών διατάξεων που χρησιμοποιούν laser.

ΓΕΝΙΚΑ

Η εκτέλεση της άσκησης αυτής προϋποθέτει κατ'αρχήν την καλή γνώση της θεωρίας των διοδικών laser και των φωτοεκπεμπουσών διόδων (LED). Στην παράγραφο αυτή θα υπενθυμίσουμε ορισμένα βασικά στοιχεία για τα διοδικά laser που πρέπει να έχει υπόψη του ο σπουδαστής πριν από την εκτέλεση της άσκησης αυτής.

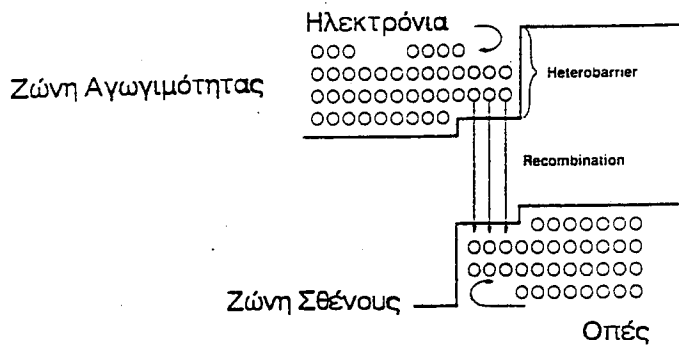
Τα διοδικά laser είναι τα πιο μικρά και τα πιο διαδεδομένα laser που υπάρχουν και κατασκευάζονται από τα υλικά κατασκευής των φωτοεκπεμπουσών διόδων LED. Τα διοδικά laser συνδιάζουν χαρακτηριστικά όπως: μικρό μέγεθος, υψηλή ισχύ, δυνατότητα μεταβολής μήκους κύματος, μικρό κόστος κλπ.

Τα διοδικά laser όπως και οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι είναι ημιαγωγιμες επαφές τύπου P-N οι οποίες όταν πολωθούν με τάση ορθής πόλωσης διαρρέονται από ρεύμα ορθής φοράς I. Στην περίπτωση αυτή στην περιοχή απογύμνωσης (περιοχή ένωσης) δημιουργούνται αθρόες ανασυνδέσεις μεταξύ ηλεκτρονίων και οπών:



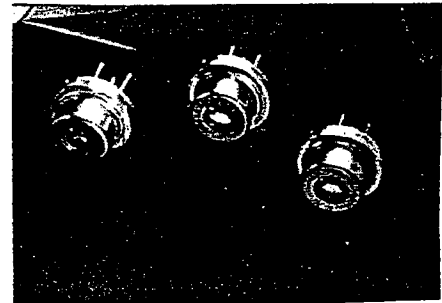
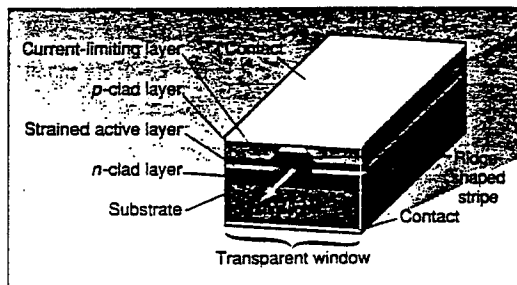
Ετσι, όταν ένα ηλεκτρόνιο από τη ζώνη αγωγιμότητας συνδέεται με μία οπή της ζώνης σθένους (ή αλλιώς όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από την ζώνη αγωγιμότητας στη ζώνη σθένους) εκπέμπεται ενέργεια E_w , ίση με την ενεργειακή διαφορά μεταξύ των δύο αυτών σταθμών. Στην περίπτωση ημιαγωγών, όπως το αρσενιούχο γάλλιο (GaAs) η ενέργεια E_w εκδηλώνεται με την μορφή φωτονίων ορατής ή υπεριυθρης ακτινοβολίας, η οποία ονομάζεται *ακτινοβολία επανασύνδεσης*.

Τα διοδικά laser χρησιμοποιούν σαν ενεργό υλικό την περιοχή απογύμνωσης μεταξύ της ζώνης αγωγιμότητας και της ζώνης σθένους (Σχήμα 1). Για να παραχθεί ακτινοβολία laser (εξαναγκασμένη ακτινοβολία) είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί *αντιστροφή πληθυσμών*, ώστε ο αριθμός ηλεκτρονίων στην ζώνη αγωγιμότητας να είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των οπών στη ζώνη σθένους. Αυτό επιτυγχάνεται με την έγχυση ισχυρού ρεύματος ορθής φοράς που οδηγεί σε συνθήκες αντιστροφής πληθυσμών. Αν δεν επιτευχθεί αντιστροφή πληθυσμών η εκπομπή ακτινοβολίας δεν είναι εξαναγκασμένη και ο ημιαγωγός λειτουργεί σαν διάδος LED.



Σχήμα 1

Ετσι, για να δημιουργηθεί ακτινοβολία laser η ένταση του ρεύματος ορθής φοράς πρέπει να υπερβεί μία τιμή *κατωφλίου* I_{th} (threshold current) που εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα διοδικά laser είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις διακυμάνσεις του ρεύματος τροφοδοσίας τους. Τυπικά λοιπόν η επιτρεπόμενη διακύμανση του ρεύματος I δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.1%. Εάν το ρεύμα ορθής φοράς είναι μικρότερο από το I_{th} τότε ο ημιαγωγός λειτουργεί σαν δίοδος LED.



Σχήμα 2

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται η κατασκευαστική δομή ενός διοδικού laser καθώς και ένα τυπικό διοδικό laser.

Τυπικά υλικά κατασκευής των διοδικών laser περιλαμβάνουν το AlGaInP (670-690 nm), το GaAlAs (790±20 nm, 830±20 nm), το InGaAs (970-980 nm, 1017 nm) κλπ. Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές των διοδικών laser είναι: ισχύς εξόδου cw 0.1-1 W, ρεύμα κατωφλίου 30-50 mA, ρεύμα λειτουργίας 35-100 mA, τάση τροφοδοσίας 2-3 V, απόκλιση δέσμης (παράλληλα στην ένωση: 5-12°, κάθετα στην ένωση 30-50°), απόδοση 0.8-1 mW/mA. Ειδική περίπτωση αποτελούν οι γραμμικές συστοιχίες διοδικών laser (linear diode arrays) με ισχύ εξόδου >1W (σχεδόν cw).

Οι βασικές εφαρμογές των διοδικών laser περιλαμβάνουν εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες, στην ιατρική, στη μέτρηση ρύπων σε στερεά, αέρια και υγρά δείγματα, στη βιομηχανία, στην άντληση laser στερεάς κατάστασης, στη φασματοσκοπία κλπ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. O. Svelto, "Αρχές των Lasers", Μετάφραση Γ. Κουρούκλη και Α. Σεραφετινίδη, Εκδοση Ε.Μ.Π. 1985.
2. J. Millman, Χ. Χαλκιάς, "Ολοκληρωμένη Ηλεκτρονική", Εκδοση Τ.Ε.Ε., 1985.
3. Ν. Θεοφάνους, "Οπτρονική", Εκδόσεις Γ. Βασδέκη, 1989.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Ο βαθμός απόδοσης των διοδικών laser εξαρτάται από το εγχεόμενο ρεύμα και από την θερμοκρασία, ενώ το μήκος κύματος εκπομπής ρυθμίζεται κυρίως μέσω της θερμοκρασίας, η οποία με τη σειρά της ρυθμίζει το εύρος του διακένου μεταξύ της ζώνης αγωγιμότητας και της ζώνης σθένους.

Στην άσκηση αυτή θα εστιάσουμε την προσοχή μας στην πειραματική μέτρηση της συνάρτησης (I-P) ρεύματος τροφοδοσίας (I) και ισχύος εξόδου (P) του διοδικού laser. Από την καμπύλη αυτή θα υπολογιστεί το ρεύμα κατωφλίου I_{th} (mA) και η διαφορική απόδοση n (mW/mA) του διοδικού laser.

Για τον έλεγχο της λειτουργίας ενός διοδικού laser (έλεγχος ισχύος εξόδου) χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μηχανισμοί: ο πρώτος διατηρεί το ρεύμα τροφοδοσίας I του laser συνεχώς σταθερό (σταθερό I), ενώ ο δεύτερος διατηρεί την ισχύ εξόδου σταθερή (σταθερό P), ρυθμίζοντας συνέχεια το ρεύμα τροφοδοσίας I του laser. Κατά τον πρώτο τρόπο λειτουργίας η ισχύς εξόδου P του laser εξαρτάται από την θερμοκρασία, ενώ στον δεύτερο τρόπο λειτουργίας η ισχύς εξόδου P του laser είναι ανεξάρτητη από την θερμοκρασία. Στην άσκηση αυτή θα χρησιμοποιηθεί τροφοδοτικό διοδικού laser (LDS-670-L/M/Var) που παρέχει σταθερό ρυθμιζόμενο ρεύμα τροφοδοσίας και παράλληλα παρέχει προστασία από τυχόν υπερτάσεις ή αιχμές στην τάση τροφοδοσίας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η πειραματική διάταξη της άσκησης αυτής περιλαμβάνει:

1. Διοδικό laser ισχύος 30 mW που εκπέμπει στα 670 nm,
2. Ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό (LDS-670-L/M/Var) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

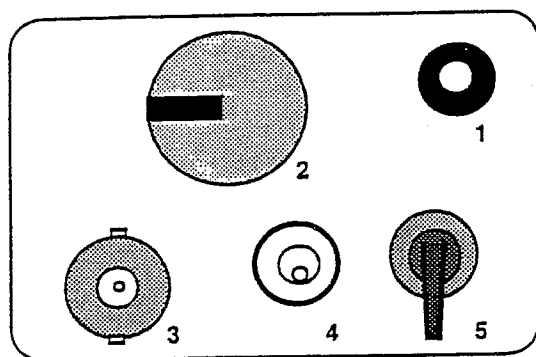
- τάση τροφοδοσίας:	12 V dc
- ρεύμα εξόδου (ρυθμιζόμενο):	0-55 mA
- διακύμανση ρεύματος εξόδου:	<50 nA
- μεταβολή ρεύματος εξόδου με την θερμοκρασία:	<200nA/°C
3. Φακός μικροσκοπίου x6.3 (απαιτείται μόνο στην περίπτωση που δεν θα χρησιμοποιηθεί ο φακός που περιλαμβάνεται στην πηγή laser),
4. Μηχανικά στηρίγματα οπτικών εξαρτημάτων και laser όπως: οπτική τροχιά με αρίθμηση, μετακινούμενες βάσεις στήριξης οπτικών (carriers), βάσεις στήριξης στύλων (post holders), βάσεις στήριξης αντικειμενικού φακού, στύλοι στήριξης (post),
5. Μετρητής ισχύος laser (ισχυόμετρο / power meter).

ΕΚΤΕΛΕΣΗ

1. Αναγνωρίστε τα διατιθέμενα εξαρτήματα της πειραματικής διάταξης (διοδικό laser, τροφοδοτικό laser, φακός μικροσκοπίου, μηχανικά στηρίγματα, ισχυόμετρο).

2. Ρυθμίστε την κλίμακα ένδειξης του πολύμετρου στα 200mV. Για τη μέτρηση του ρεύματος τροφοδοσίας του διοδικού laser συνδέουμε το ψηφιακό πολύμετρο στους ακροδέκτες 1 και 2 στην πίσω πλευρά του τροφοδοτικού όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Η ένδειξη του πολυμέτρου σε mV αντιστοιχεί τότε απ'ευθείας στο ρεύμα τροφοδοσίας του laser σε mA.

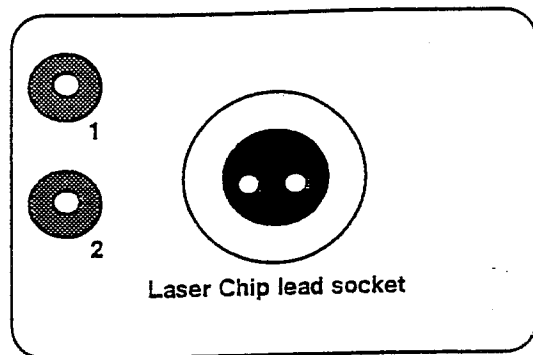
Τροφοδοτικό LDS-670-L/M/Var



ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ

Ακροδέκτες:

1. Λυχνία LED ένδειξης λειτουργίας
2. Ρύθμιση ρεύματος τροφοδοσίας του laser.
3. Είσοδος BNC για σήμα διαμόρφωσης
4. Είσοδος τροφοδοσίας
5. Διακόπτης τροφοδοσίας (ON/OFF)



ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ

1. αρνητικός ακροδέκτης μέτρησης του ρεύματος.
2. θετικός ακροδέκτης μέτρησης του ρεύματος

Σημαντικές Σημειώσεις:

Οι βάση στερέωσης του laser καθώς και το μεταλλικό περίβλημά του, είναι συνδεδεμένα με τον θετικό ακροδέκτη τροφοδοσίας του laser. Θα πρέπει να αποφεύγεται επαφή με αυτά τα σημεία διότι υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του laser.

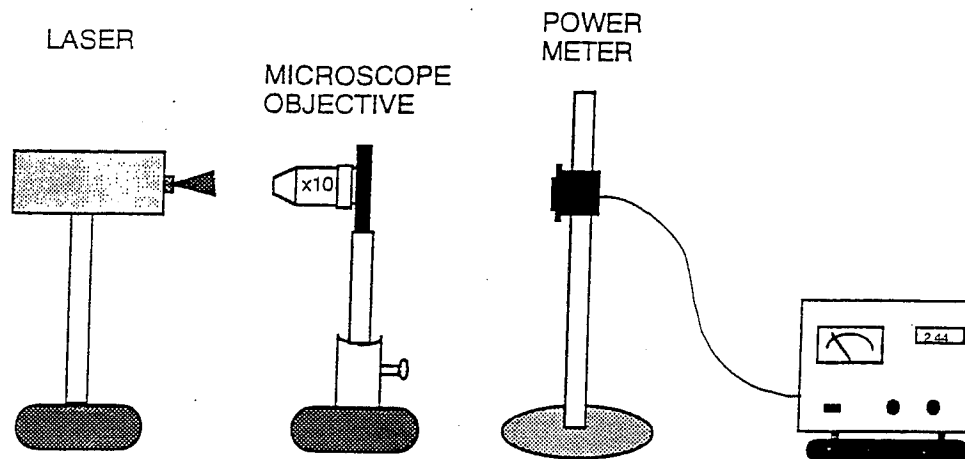
Θα πρέπει να αποφεύγεται επίσης παρατεταμένη λειτουργία του laser με μέγιστο ρεύμα τροφοδοσίας. Το προτεινόμενο ρεύμα λειτουργίας του για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι 50mAmps.

Η καθυστέρηση των ~3sec στην λειτουργία του laser έχει τοποθετηθεί για λόγους ασφαλείας.

Κάθε φορά που πρόκειται να χειριστούμε διοδικό laser, πρέπει να χρησιμοποιούμε προστασία κατά του στατικού ηλεκτρισμού. Επίσης οποιοδήποτε όργανο πρόκειται να συνδεθεί απ'ευθείας στο laser, πρέπει να είναι απαλλαγμένο από στατικό ηλεκτρισμό, διότι το laser είναι πολύ ευαίσθητο και υπάρχει άμεσος κίνδυνος να καταστραφεί.

Προσοχή !! Στο συγκεκριμένο laser υπάρχει η δυνατότητα διαμόρφωσής του με αναλογικό σήμα ($\Delta\nu: 100\text{kHz}$) και μέγιστο πλάτος διαμόρφωσης 3Vp-p

3. Τοποθετήστε στην οπτική τροχιά και ανά 5 χιλιοστά περίπου, τις τρεις μετακινούμενες βάσεις στήριξης, τη μια δίπλα στην άλλη, σφίγγοντας τις αντίστοιχες βίδες στήριξης επί της οπτικής τροχιάς, σύμφωνα με το Σχήμα 4:



Σχήμα 4

4. Τοποθετήστε τις βάσεις στήριξης των στύλων και τους στύλους πάνω στις μετακινούμενες βάσεις στήριξης στο κέντρο. Συσφίξτε τις αντίστοιχες βίδες στήριξης.

5. Ζητήστε από τον επιβλέποντα να βεβαιώσει την σωστή θέση των εξαρτημάτων που τοποθετήσατε έως τώρα.

6. Τοποθετήστε κατόπιν τον φακό του μικροσκοπίου (στην περίπτωση που υπάρχει ρυθμιζόμενος φακός παραλληλισμού της δέσμης στο διοδικό laser ακολουθείτε αντίστοιχα τις οδηγίες) στη βάση στήριξής του, τοποθετήστε την κεφαλή του laser και το ισχυόμετρο στις βάσεις στήριξής τους και ευθυγραμμίστε την διάταξη με το "μάτι".

7. **Σημαντικό:** Πριν συνεχίσετε την άσκηση πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Ποτέ μην κοιτάτε την δέσμη laser απευθείας ή από ανάκλαση,
- Ποτέ μην στρέφεται την δέσμη laser στα μάτια άλλου,
- Αμελής χρήση είναι δυνατόν να επιφέρει βλάβες στα μάτια.



DANGER
Laser beam

8. Ζητήστε την βοήθεια του επιβλέποντα για να βεβαιώσει το σωστό στήσιμο της πειραματικής διάταξης.

9. Μηδενίστε αρχικά το ρεύμα τροφοδοσίας του laser στρέφοντας το ποτενσιόμετρο προς τα αριστερά. Αυξήστε σταδιακά το ρεύμα τροφοδοσίας του laser στρέφοντας το ποτενσιόμετρο σιγά-σιγά προς τα δεξιά, μέχρι το πολύμετρο να δείξει 35-40 mA και κατόπιν ευθυγραμμίστε την διάταξη,

10. Προσδιορίστε τη θέση για την οποία η κηλίδα του laser ελαχιστοποιείται (εστία του φακού). Ο μετρητής ισχύος τοποθετείται ακολούθως στον στύλο

στήριξής του και στο σημείο εστίασης της δέσμης ώστε να δείχνει τη μέγιστη ισχύ, αφού όλη η ισχύς του laser προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του αισθητήρα.

11. Μεταβάλατε σταδιακά το ρεύμα τροφοδοσίας του laser στρέφοντας το ποτενσιόμετρο σιγά-σιγά προς τα δεξιά, από 0 μέχρι 50 mA, με βήμα 5 mA και μετρήστε την τάση εξόδου V_1 του ισχυομέτρου με τη βοήθεια του ψηφιακού πολύμετρου (κλίμακα 200 mV & 2 V). Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον Πίνακα I.

Πίνακας I

I (mA)	V_1 (mV)

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. Χρησιμοποιήστε την ακόλουθη σχέση βαθμονόμησης του ισχυομέτρου [$y(\text{mW}) = -4.8979 + 18.4843 \times (V)$]* για να μετατρέψτε την ένδειξη του ισχυομέτρου από mV σε mW. Κατασκευάστε ένα νέο Πίνακα (Πίνακας II) και χαράξτε την γραφική παράσταση P-I.

* Ανιχνευτής: 13DSφφ9

Πίνακας II

I (mA)	P (mW)

2. Σχολιάστε την γραφική παράσταση P-I που σχεδιάσατε.
3. Από την γραφική παράσταση P-I υπολογίστε το ρεύμα κατωφλίου I_{th} του διοδικού laser.
4. Από την γραφική παράσταση P-I υπολογίστε την διαφορική απόδοση η (mW/mA) του διοδικού laser ($\Delta P/\Delta I$) για $I > I_{th}$, και χαράξτε την γραφική παράσταση της συνάρτησης dP/dI σε συνάρτηση με το ρεύμα τροφοδοσίας I (mA). Καταγράψτε τα σχόλιά σας.

Άσκηση 5Γ: Μελέτη προφίλ διοδικού laser

ΣΚΟΠΟΣ

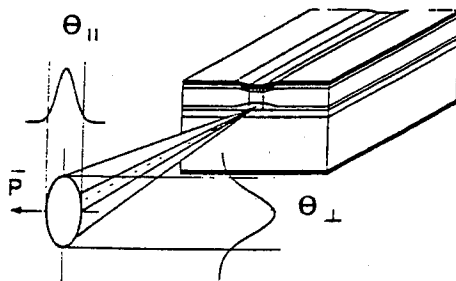
Σκοπός της άσκησης αυτής είναι να μελετηθεί το χωρικό προφίλ της ισχύος ενός διοδικού laser κατά τους άξονες x και y . Η άσκηση αυτή θα δώσει επίσης την ευκαιρία στους σπουδαστές να εξοικιωθούν με το στήσιμο και την ευθυγράμμιση οπτικών διατάξεων που χρησιμοποιούν laser.

ΓΕΝΙΚΑ

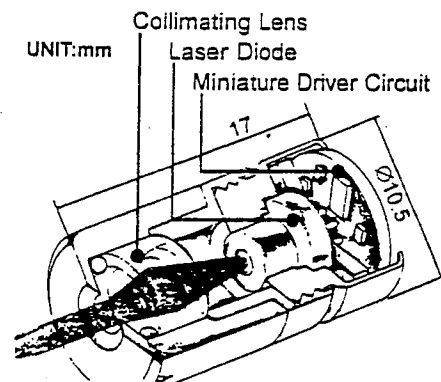
Στην άσκηση αυτή θα θεωρήσουμε γνωστά τα στοιχεία περί διοδικών laser που παρουσιάστηκαν στην άσκηση 5B. Στην παράγραφο αυτή θα υπενθυμίσουμε ορισμένα βασικά στοιχεία για τα χαρακτηριστικά της δέσμης των διοδικών laser: απόκλιση και ασυμμετρία δέσμης, χωρικό προφίλ ισχύος δέσμης, αστιγματισμός και πόλωση.

- Απόκλιση και ασυμμετρία δέσμης

Η εκπεμπόμενη δέσμη από ένα διοδικό laser είναι ασύμμετρη και παρουσιάζει γενικά μεγάλη απόκλιση. Αυτό οφείλεται στο ότι η φωτοεκπέμπουσα επιφάνεια έχει εύρος τυπικά $5 \mu\text{m}$ και πάχος $0.1 \mu\text{m}$. Τυπικές τιμές απόκλισης δέσμης κάθετα στο ενεργό υλικό (ένωση P-N) είναι $30-50^\circ$ ενώ παράλληλα στην ένωση είναι $5-12^\circ$ (βλ. Σχήμα 1). Για εφαρμογές όπου απαιτείται παράλληλη δέσμη χρησιμοποιείται σύστημα φακών για μείωση της απόκλισης της δέσμης κυρίως στον άξονα κάθετα στην ένωση (Σχήμα 2).



Σχήμα 1



Σχήμα 2

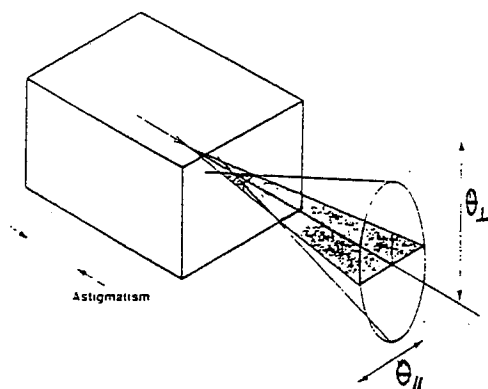
- Χωρικό προφίλ ισχύος δέσμης

Σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο το χωρικό προφίλ ισχύος της δέσμης του laser θα είναι εντελώς διαφορετικό στον άξονα παράλληλα στην ένωση P-N (άξονας x) από ότι στον άξονα κάθετα στην ένωση P-N (άξονας y). Μια τυπική απεικόνιση του χωρικού προφίλ ισχύος της δέσμης του laser δίνεται στο Σχήμα 1.

- Αστιγματισμός

Ο αστιγματισμός της δέσμης του διοδικού laser είναι ένα επιπλέον μειονέκτημα των laser αυτών που οφείλεται στην κατασκευαστική τους δομή. Αστιγματισμός

της δέσμης σημαίνει η μη ταύτιση των σημείων εστίασης της κάθετης και της παράλληλης απόκλισης της δέσμης του laser (Σχήμα 3).



Σχήμα 3

- Πόλωση

Η δέσμη των διοδικών laser είναι γραμμικά πολωμένη με το επίπεδο πόλωσης παράλληλα στην ένωση P-N του laser. Ο λόγος της παράλληλης συνιστώσας προς την κάθετη συνιστώσα του οπτικού ισχύος του laser ορίζεται ως *βαθμός πόλωσης* (polarization ratio). Για χαμηλό ρεύμα τροφοδοσίας του laser, κοντά στο ρεύμα κατωφλίου, το ποσοστό του μη πολωμένου φωτός, έναντι του πολωμένου φωτός, είναι μεγαλύτερο, λόγω αυθόρμητης εκπομπής. Με την αύξηση του ρεύματος τροφοδοσίας, υπεράνω του ρεύματος κατωφλίου, αυξάνεται επομένως και ο βαθμός πόλωσης του laser. Τυπικές τιμές του βαθμού πόλωσης του laser είναι 100:1.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Στην άσκηση αυτή θα εστιάσουμε την προσοχή μας στην πειραματική μέτρηση του χωρικού προφίλ ισχύος ενός διοδικού laser κατά τους άξονες x και y. Στην άσκηση αυτή θα χρησιμοποιηθεί και πάλι τροφοδοτικό διοδικού laser (LDS-670-L/M/Var) που παρέχει σταθερό ρυθμιζόμενο ρεύμα τροφοδοσίας και παράλληλα παρέχει προστασία από τυχόν υπερτάσεις ή αιχμές στην τάση τροφοδοσίας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η πειραματική διάταξη της άσκησης αυτής περιλαμβάνει:

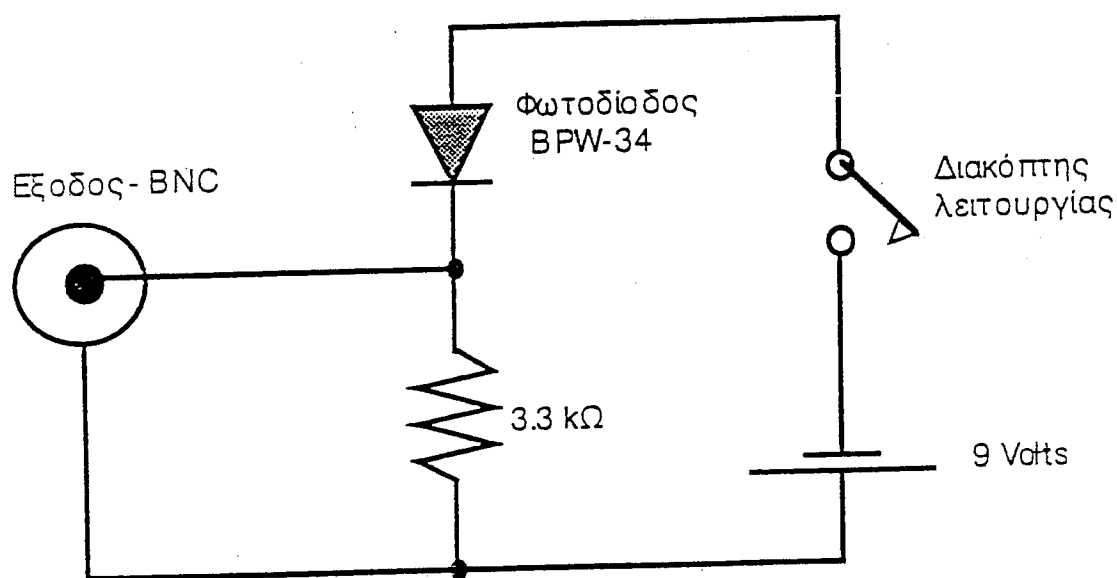
1. Διοδικό laser ισχύος 30 mW που εκπέμπει στα 670 nm,
2. Ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό (LDS-670-L/M/Var) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- τάση τροφοδοσίας:	12 V dc
- ρεύμα εξόδου (ρυθμιζόμενο):	0-55 mA
- διακύμανση ρεύματος εξόδου:	<50 nA
- μεταβολή ρεύματος εξόδου με την θερμοκρασία:	<200nA/°C
3. Φωτοανιχνευτής (PD-101) του οποίου το κύκλωμα συνδεσμολογίας εμφανίζεται στο Σχήμα 4,

ΦΩΤΟΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ PD-101 & PD-102

Η συσκευή αυτή περιέχει την φωτοδιόδο BPW-34, το φασματικό εύρος της οποίας καλύπτει τόσο το ορατό όσο και το εγγύς υπέρυθρο, καθώς και μία μπαταρία για την ανάστροφη πόλωσή της.

Το κύκλωμα της φωτοδιόδου είναι το εξής



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥ

μέγιστη ανάστροφη πόλωση.....	30Volt
ρεύμα σκότους.....	70nA
μήκος κύματος μέγιστης απόκρισης.....	850nm
ενεργός επιφάνεια.....	8mm ²

Σχήμα 4

4. Pinhole

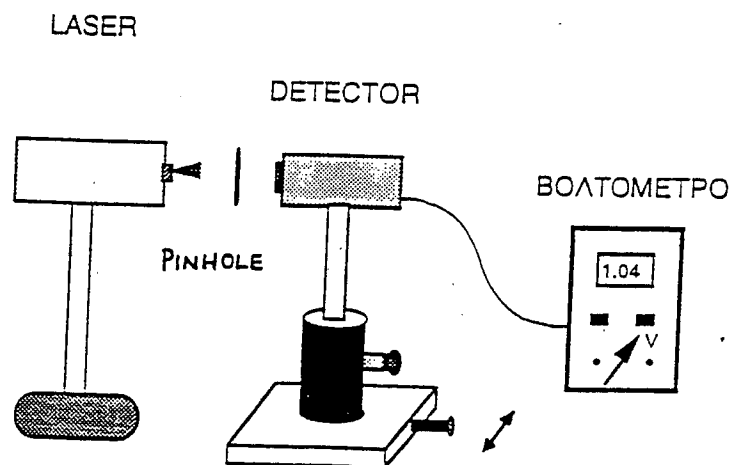
5. Μηχανικά στηρίγματα οπτικών εξαρτημάτων και laser όπως: οπτική τροχιά με αρίθμηση, μετακινούμενες βάσεις στήριξης οπτικών (carriers), βάσεις στήριξης στύλων (post holders), στύλοι στήριξης (post).

ΕΚΤΕΛΕΣΗ

1. Αναγνωρίστε τα διατιθέμενα εξαρτήματα της πειραματικής διάταξης (διοδικό laser, τροφοδοτικό laser, μηχανικά στηρίγματα, φωτοανιχνευτής).

2. Ρυθμίστε την κλίμακα ένδειξης του πολύμετρου στα 200mV. Για τη μέτρηση του ρεύματος τροφοδοσίας του διοδικού laser συνδέουμε το ψηφιακό πολύμετρο B₁ στους ακροδέκτες 1 και 2 στην πίσω πλευρά του τροφοδοτικού (βλ. άσκηση 5B). Η ένδειξη του πολύμετρου B₁ σε mV αντιστοιχεί τότε απ'ευθείας στο ρεύμα τροφοδοσίας του laser σε mA.

3. Τοποθετήστε το διοδικό laser, το pinhole και τον φωτοανιχνευτή στην οπτική τροχιά (Σχήμα 5) ακολουθώντας τις οδηγίες της άσκησης 5B.



Σχήμα 5

4. Ζητήστε από τον επιβλέποντα να βεβαιώσει την σωστή θέση των εξαρτημάτων που τοποθετήσατε έως τώρα.

5. **Σημαντικό:** Πριν συνεχίσετε την άσκηση πρέπει να γνωρίζετε ότι:

- Ποτέ μην κοιτάτε την δέσμη laser απευθείας ή από ανάκλαση,
- Ποτέ μην στρέφετε την δέσμη laser στα μάτια άλλου,
- Αμελής χρήση είναι δυνατόν να επιφέρει βλάβες στα μάτια.

6. Θέσατε το laser σε λειτουργία όπως και στην άσκηση 5B ρυθμίζοντας το ρεύμα τροφοδοσίας στα 45 mA και ευθυγραμμίστε την διάταξη.

7. Συνδέστε το ψηφιακό βολτόμετρο B₂ στην έξοδο του φωτοανιχνευτή (κλίμακα 2 V)

8. Ευθυγραμμίστε τον φωτοανιχνευτή ώστε το βολτόμετρο B_2 να δείχνει μέγιστη ένδειξη. Ρυθμίστε τη μικρομετρική βίδα της μετακινούμενης βάσης ώστε να πετύχετε μέγιστη ένδειξη στο βολτόμετρο B_2 .

9. Στρέψατε δεξιόστροφα τη μικρομετρική βίδα της μετακινούμενης βάσης με όσο το δυνατόν μικρότερο βήμα β ($\beta > 0$). Για κάθε βήμα β καταχωρήστε την ένδειξη V_2 του βολτομέτρου B_2 στον Πίνακα I.

Πίνακας I

$\beta (>0)$	V_2 (mV)

10. Επαναλάβετε το βήμα 9 με αριστερόστροφη φορά στρέψης ($\beta < 0$). Για κάθε βήμα β καταχωρήστε την ένδειξη V_2 του βολτομέτρου B_2 στον Πίνακα II.

Πίνακας II

$\beta (<0)$	V_2 (mV)

11. Επαναλάβετε τα βήματα 9 & 10 για ρεύμα τροφοδοσίας ίσο με 25 και 35 mA.

12. Επαναλάβετε τα βήματα 9, 10 και 11 για τον κατακόρυφο άξονα y.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. Από τα αποτελέσματα των βημάτων 9, 10 και 11 χαράξτε την γραφική παράσταση $\beta-V_2$ για $\beta > 0$ και $\beta < 0$ σε ένα διάγραμμα και για το ίδιο I ($I=25, 35, 45$ mA). Καταγράψτε τα σχόλιά σας για το λαμβανόμενο χωρικό προφίλ του διοδικού laser.

2. Με ποιόν τρόπο θα μπορούσε να μεταβληθεί το χωρικό προφίλ της ισχύος του laser κατά την φάση κατασκευής του;