



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών

**Τεχνολογία των laser**  
*6ο εξάμηνο, ΣΕΜΦΕ*

***Κατασκευή τροφοδοτικού διοδικού laser***

Αχιλλέας Πιπινέλλης, 09103163

*Η/Μ Παράδοσης: 2 Ιουνίου 2012*

Αθήνα, 2012

## 1 Σκοπός του πειράματος

Στην παρούσα άσκηση θα εξετάσουμε πως δουλεύει ένα διοδικό laser και θα μελετήσουμε τη σταθεροποίηση του ρεύματος, εργαζόμενοι πάνω σε ένα breadboard του οποίου τα εξαρτήματα θα απαριθμώσουμε παρακάτω.

## 2 Θεωρία

### 2.1 Διοδικό Laser

Το διοδικό laser είναι η ένωση ενός ημιαγωγού τύπου  $P$  με έναν τύπου  $N$ . Οι ημιαγωγοί είναι υλικά που αποτελούνται από στοιχεία της τέταρτης ομάδας (IV) του περιοδικού πίνακα και έχουν ηλεκτρικές ιδιότητες που βρίσκονται κάπου ανάμεσα σε αυτές των αγωγών και αυτές των μονωτών.

Η τεχνολογία των ημιαγωγών σπάνια χρησιμοποιεί καθαρούς ημιαγωγούς. Για να ελεγχθεί ο αριθμός φορέων φορτίου σε έναν ημιαγωγό, συνήθως χρησιμοποιείται η διαδικασία της πρόσμιξης (doping) του καθαρού ημιαγωγού με κάποιο άλλο χημικό στοιχείο. Το ποσό των ξένων στοιχείων ελέγχεται, και μπορεί να είναι δύο τύπων. Αν το υλικό νόθευσης είναι στοιχείο που ανήκει στην ομάδα  $V$  του περιοδικού πίνακα, καλείται δότης (donor). Αν ανήκει στην ομάδα  $III$  τότε ονομάζεται δέκτης (acceptor). Οι νοθευμένοι ημιαγωγοί με δότες ηλεκτρονίων καλούνται ημιαγωγοί τύπου- $n$  ( $n$ -type semiconductors), ενώ αυτοί που είναι νοθευμένοι με δέκτες ηλεκτρονίων ονομάζονται ημιαγωγοί τύπου- $p$  ( $p$ -type semiconductors). Στους ημιαγωγούς τύπου- $n$ , τα ηλεκτρόνια είναι φορείς πλειονότητας (majority carriers) και οι οπές φορείς μειονότητας (minority carriers). Σε έναν ημιαγωγό τύπου- $p$  οι φορείς πλειονότητας και μειονότητας αντιστρέφονται.

Ένας ενδογενής ημιαγωγός δεν έχει ιδιότητες που να τον καθιστούν χρήσιμο στην κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Όταν όμως ένα κομμάτι ημιαγωγού τύπου- $p$  και ένα τύπου- $n$  έρθουν σε επαφή, σχηματίζουν μία  $pn$  επαφή ( $pn$  junction), η οποία έχει διάφορες ενδιαφέρουσες ιδιότητες. Για να λειτουργήσει το laser πρέπει να υπάρχει μια περιοχή  $PN$  που συνυπάρχουν ηλεκτρόνια και οπές. Για να επιτευχθεί οπτική εκπομπή πρέπει η περιοχή  $PN$  να είναι ορθά πολωμένη και να άγει. Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας αντιστοιχεί στη διαφορά ενέργειας μεταξύ των σταθμών που καταλαμβάνει το ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας και της οπής στη ζώνη σθένους.

Για να λειτουργήσει η παραπάνω διάταξη σαν laser απαιτείται εξαναγκασμένη εκπομπή που επιτυγχάνεται με την αντιστροφή πληθυσμού, δηλαδή το πλήθος των ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας να είναι μεγαλύτερο από το πλήθος των οπών στη ζώνη σθένους. Διαφορετικά λειτουργεί σαν απλό LED. Για να ξεκινήσει η εκπομπή laser απαιτείται το ρεύμα να υπερβεί μια κρίσιμη τιμή, το ρεύμα κατωφλίου, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία της διόδου.

## 2.2 Τελεστικός ενισχυτής

Σε μερικές εφαρμογές των laser η φωτεινότητα της δέσμης πρέπει να είναι απόλυτα ελεγχόμενη. Για παράδειγμα στην οπτική μετάδοση σήματος το σήμα δίνεται συναρτήσει της φωτεινότητας, οπότε μια μικρή μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας θα έδινε λάθος σήμα. Άρα θέλουμε σταθερή φωτεινότητα, δηλαδή σταθερό ρεύμα. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή, με κύριο συστατικό του το τρανζίστορ.

Ο τελεστικός ενισχυτής έχει δύο εισόδους. Η μία είναι μη αναστρέφουσα (+), δηλαδή είναι σε φάση με την έξοδο και η άλλη αναστρέφουσα (-), δηλαδή είναι σε διαφορά φάσης  $\pi$  με την έξοδο. Η λειτουργία του είναι να κρατάει τις δύο τάσεις εισόδου ίσες, κάτι που προκαλεί μεγάλη ενίσχυση στην έξοδο. Έτσι, με μία μικρή μεταβολή στην είσοδο της τάξης των  $mV$ , προκαλεί στην έξοδο τάση μερικών *Volts*.

## 2.3 Τρανζίστορ

Το τρανζίστορ είναι κρύσταλλος ημιαγωγίου υλικού (συνήθως πυρίτιο) με τρεις εμπλουτισμένες περιοχές *NPN* ή *PNP*. Οι τρεις περιοχές του τρανζίστορ ονομάζονται εκπομπός, βάση και συλλέκτης. Ο ένας ακροδέκτης είναι κοινός και σχηματίζει δύο βρόγχους με τους άλλους δύο ακροδέκτες. Στην άσκηση χρησιμοποιούμε κύκλωμα κοινής βάσης, όπου υπάρχει ροή μικρού ρεύματος από τον εκπομπό στη βάση και μεγαλύτερου ρεύματος από τον εκπομπό στο συλλέκτη. Στο κύκλωμα του τροφοδοτικού του laser απαιτούμε σταθερό ρεύμα, αλλά η τάση τροφοδοσίας είναι μεταβαλλόμενη. Άρα χρειαζόμαστε μεταβλητή αντίσταση, ώστε να παραμένει το ρεύμα σταθερό. Η μεταβολή της αντίστασης όμως θέλουμε να γίνεται σε πραγματικό χρόνο και με δεδομένο τις πολύ γρήγορες μεταβολές της τάσης, απαιτείται ηλεκτρονικός ροοστάτης. Τον ρόλο του ροοστάτη τον παίζει το τρανζίστορ, το οποίο μεταβάλλει την αγωγιμότητά του, ώστε και οι δύο βρόγχοι του να διαρρέονται από την ίδια τιμή ρεύματος.

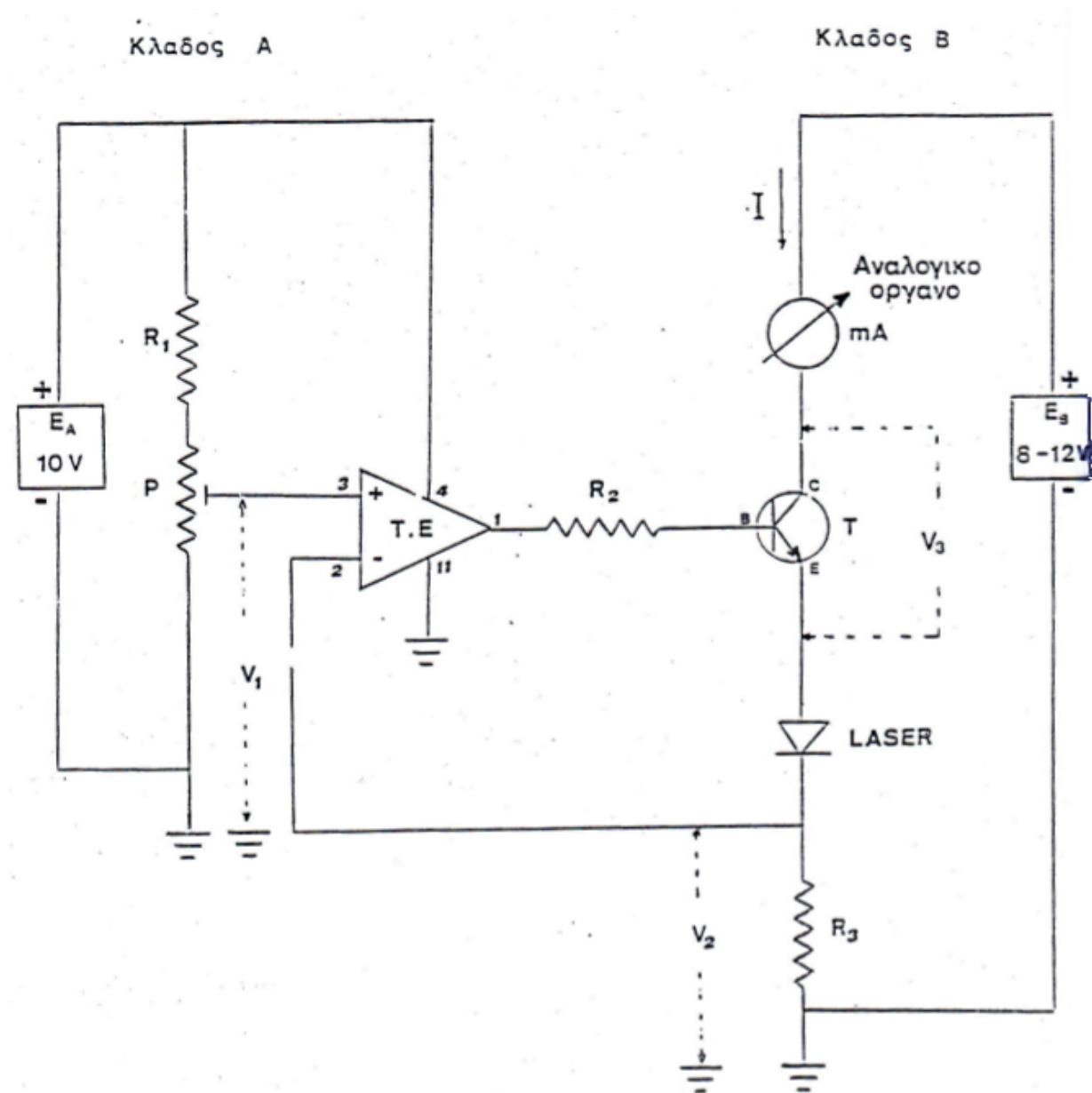
### 3 Μέθοδος

Η πηγή  $E_B$  δίνει ρεύμα στη δίοδο laser, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 (κλάδος B). Επειδή το ρεύμα αυτό πρέπει να παραμένει σταθερό, χρησιμοποιείται ένας τελεστικός ενισχυτής όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 (κλάδος A). Είναι πιθανό η πηγή  $E_B$  να εμφανίζει μερικές ανεπιθύμητες μεταβολές, οι οποίες θα εμφανίζονται και στα άκρα της αντίστασης  $R_3$ . Η τάση αυτή  $V_2$  στα άκρα της  $R_3$  οδηγείται στην αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή. Στη μη αναστρέφουσα είσοδο εφαρμόζεται μία σταθερή τάση  $V_1$ . Ο ρόλος του τελεστικού ενισχυτή είναι να διατηρεί τις τάσεις  $V_1$  και  $V_2$  συνεχώς ίσες. Έτσι θα παράγει μία τάση στην έξοδό του, τέτοια ώστε να μεταβάλλεται η αγωγιμότητα του ημιαγωγού, ώστε να εξουδετερώνονται οι ανεπιθύμητες μεταβολές του ρεύματος.

#### 3.1 Πειραματική Διάταξη

Η άσκηση θα εκτελεστεί σε πλακέτα γενικών κατασκευών (breadboard). Η διάταξη του πειράματος περιλαμβάνει τα εξής εξαρτήματα:

- Δύο τροφοδοτικά χαμηλής τάσεως ( $E_A = 10V$ ,  $E_B = 15V$ ) τα οποία τροφοδοτούν τους κλάδους A και B αντίστοιχα (βλ. Σχήμα 1).
- Αναλογικό όργανο για τη μέτρηση του ρεύματος του laser.
- Ψηφιακό όργανο για τη μέτρηση των τάσεων  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ .
- Μία δίοδο laser.
- Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα.
- Έναν ημιαγωγό.
- Τρεις αντιστάσεις  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .
- Ένα ποτενσιόμετρο.
- Μία πλακέτα (breadboard).



Σχήμα 1: Η πειραματική διάταξη

## 4 Εκτέλεση

Ρυθμίσαμε την τάση  $E_B = 10 \pm 0.1V$  και μεταβάλαμε την τάση  $V_1$  με το ποτενσιόμετρο από  $0V - 4.5V$  με βήμα  $0.5V$ . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Παρατηρούμε πως δεν υπάρχει διαφορά τάσης, άρα ο τελεστικός ενισχυτής διατηρεί τις δύο τάσεις ίσες.

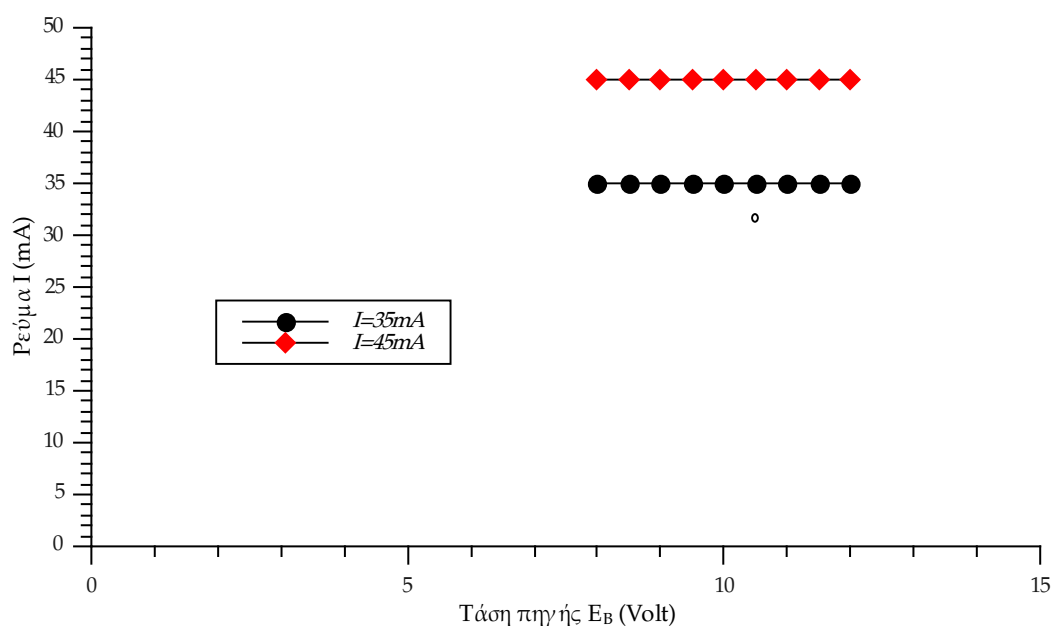
$V_1(Volt)$	$V_2(Volt)$
0	0
0.49	0.49
0.99	1.00
1.51	1.51
2.01	2.01
2.52	2.52
3.01	3.02
3.49	3.49
4.02	4.02
4.50	4.50

Πίνακας 1: Τάση  $V_1$ ,  $V_2$  με  $E_B = 10V$ 

Στη συνέχεια ρυθμίσαμε το ρεύμα μέσω του ποτενσιόμετρου να είναι  $35 \pm 1mA$  και μεταβάλλοντας την τάση της πηγής  $E_B$  από  $8V - 12V$  με βήμα  $0.5V$  μετρήσαμε πως μεταβάλλεται το ρεύμα συναρτήσει της τάσης. Το ίδιο κάναμε και για  $I = 45 \pm 1mA$ . Όπως παρατηρεί κανείς, το ρεύμα και στις δύο περιπτώσεις παραμένει το ίδιο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 και το Σχήμα 2.

$E_B(Volt)$	$I_{35}(mA)$	$I_{45}(mA)$
8.0	35	45
8.5	35	45
9.0	35	45
9.5	35	45
10.0	35	45
10.5	35	45
11.0	35	45
11.5	35	45
12.0	35	45

Πίνακας 2: Μεταβολή του ρεύματος  $I$  συναρτήσει της τάσης  $E_B$



Σχήμα 2: Μεταβολή του ρεύματος  $I$  συναρτήσει της τάσης  $E_B$

Ρυθμίζοντας το ρεύμα σταθερό στα  $40 \pm 1mA$ , μεταβάλαμε την τάση  $E_B$  από  $8V - 12V$  με βήμα  $0.5$  και πήραμε μετρήσεις των τάσεων  $V_2$  και  $V_3$ . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 3.

$E_B$ (Volt)	$V_2$ (Volt)	$V_3$ (Volt)
8.0	2.65	3.20
8.5	3.04	3.18
9.0	3.78	3.15
9.5	4.30	3.15
10.0	4.90	3.14
10.5	5.71	3.14
11.0	6.25	3.14
11.5	6.77	3.14
12.0	7.32	3.13

Πίνακας 3: Μεταβολή των τάσεων  $V_2$  και  $V_3$  συναρτήσει της τάσης  $E_B$  για  $I = 40mA$

Τέλος, ρυθμίζοντας την τάση στα  $10V$ , παρατηρούμε ότι για ρεύμα μέχρι τα  $3mA$  ο ημιαγωγός λειτουργεί σαν απλή δίοδος, ενώ από αυτή την τιμή του ρεύματος έχουμε μια απότομη αύξηση της φωτεινότητας, δηλαδή ο ημιαγωγός λειτουργεί σαν laser. Άρα το ρεύμα κατωφλίου είναι  $3mA$ .