

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Στην Εργασία 25 έχουμε την φωτεινότητα την πολική απόκριση της, την επίδραση τους στα φωτοαγώγιμα στοιχεία.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Περιγραφή	Ποσότητα
Μονάδα μετρήσεων TK294	1
Τροφοδοτικό, $\pm 15V$ dc	1
Βάση λαμπτήρα	1
Κιτ οπτικών αισθητήρων	1
Πακέτο 9 φίλτρων	1
Πολύμετρα (Βολτόμετρο – Αμπερόμετρο)	2

ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

25.1 Απόκριση φωτεινότητας

25.2 Νόμος Lambert's

ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Να κατανοήσουμε το φαινόμενο φωτο – αγωγιμότητας.
- Να κατανοήσουμε τους όρους φωτοαντίσταση, φωτο-αγωγός και αντίσταση εξαρτώμενη από φως (LDR).
- Να μετρήσουμε την φωτεινότητα και την πολική απόκριση του φωτοαγώγιμου στοιχείου.

Επίπεδο γνώσης

- Κατανόησης των βασικών αρχών και λειτουργιών των ημιαγωγών.
- Κατανόησης των βασικών αρχών της φύσης του φωτός.
- Κατανόηση της λειτουργίας των τελεστικών ενισχυτών.
- Εξοικείωση με την εργαστηριακή άσκηση 24.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

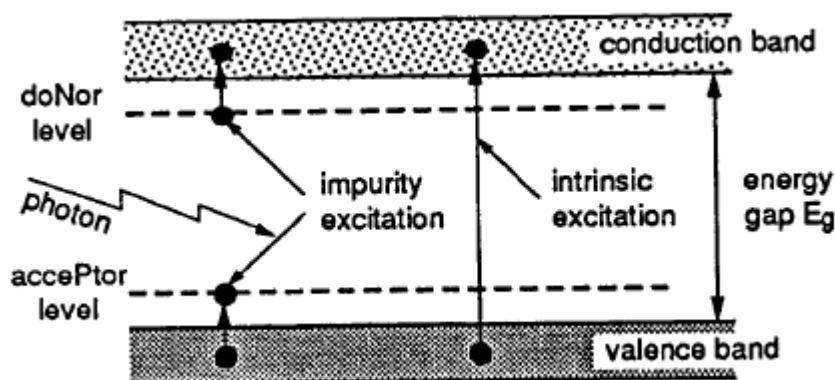
Ο ημιαγωγός όπως το όνομα του υπονοεί, είναι ένα υλικό που η ηλεκτρική αγωγιμότητα του είναι μεταξύ του αγωγού και του μονωτή. Τυπικά υλικά που έχουν ενδιαφέρον είναι το γερμάνιο και το πυρίτιο αλλά και συνδυασμός υλικών που έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Η χρήση των ημιαγωγών είναι εξαιρετικά διαδε-

δομένη σε εξαρτήματα όπως η δίοδος και το transistor. Ηλεκτρική αγωγιμότητα έχουμε σε αρκετά υλικά όταν έχουμε ελεύθερα ηλεκτρόνια και με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου έχουμε την προσανατολισμένη κίνηση. Κάτι ανάλογο συμβαίνει σε ειδικούς ημιαγωγούς όταν προσπίπτει φωτεινή ενέργεια (φωτόνια) απελευθερώνονται ηλεκτρόνια και έχουμε αύξηση του ρεύματος που διαπερνά για συγκεκριμένη τάση που εφαρμόζουμε. Αυτό είναι γνωστό σαν φαινόμενο **φωτο-αγωγιμότητας** και αυτά τα υλικά ονομάζονται **φωτο-αντιστάσεις** ή φωτοαγωγός ή αντιστάσεις εξαρτώμενες από το φως (LDR, Light Depending Resistor) όπου η πρόσπτωση του φωτός προκαλεί μεταβολή της αντίστασης.

Το ρεύμα ή ο αριθμός των ηλεκτρονίων σχετίζεται με το αριθμό φωτονίων ή την ένταση του φωτισμού και είναι θέμα προς διερεύνηση. Επίσης το χρώμα του φωτός επιδράει στην απόκριση αφού τα φωτόνια μεταφέρουν διαφορετική ενέργεια αυτό το θέμα διερευνούμε στην άσκηση 29. Επίσης σε αυτό το ρεύμα που παράγεται συνεισφέρει ένα μικρό ρεύμα από την θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων που έχουμε σε θερμοκρασία δωματίου.

Από την θεωρία των ημιαγωγών όταν έχουμε καθαρό ημιαγωγό κρύσταλλο όλα τα ηλεκτρόνια σθένους έχουν διαμορφώσει τους ομοιοπολικούς δεσμούς μαζί με τα γειτονικά τους. Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι ενεργειακές ζώνες. Διαπιστώνεται ότι υπάρχει ένα απαγορευμένο ενεργειακό χάσμα της τάξεως ενός ηλεκτρόνιο-βολτ (1eV) μεταξύ της απαγορευμένης ζώνης (όπου τα ηλεκτρόνια είναι συνδεδεμένα στο άτομο τους) και της ζώνης αγωγιμότητας (όπου τα ηλεκτρόνια είναι τώρα ελεύθερος φορέας). Αυτό αντιστοιχεί στην ελάχιστη ενέργεια απαραίτητη να σπάσει έναν ομοιοπολικό δεσμό και να διαμορφώσει ένα ζευγάρι οπών/ηλεκτρονίων. Το ηλεκτρόνιο αυξάνεται στη ζώνη αγωγιμότητας και συμβάλλει στη αγωγιμότητα καθώς επίσης και την οπή που αφήνεται στη ζώνη σθένους. Αυτή η θεωρία περιγράφεται πλήρως στα περισσότερα τυποποιημένα εγχειρίδια. Είναι ενδιαφέρον σε μας τώρα εάν αυτή η ενέργεια μπορεί να παρασχεθεί από τα φωτόνια.

Ας εξετάσουμε πρώτα την επίδραση των προσμίξεων στον ημιαγωγό. Πολύ μικρές ποσότητες κατάλληλων προσμίξεων μπορούν να εισαγάγουν είτε πρόσθετες οπές (τύποι P) είτε πρόσθετα ηλεκτρόνια (τύποι N) λόγω της ατομικής δομής τους. Αυτοί θα εμφανιστούν στο ενεργειακό διάγραμμά μας ως ενεργειακά επίπεδα ακριβώς κάτω από τη ζώνη αγωγιμότητας (επίπεδο δοτών για τον τύπο N) ή ακριβώς επάνω από τη ζώνη παραπετασμάτων (επίπεδο δοτών για τον τύπο P). Εάν τα φωτόνια σωστής ενέργειας προσπίπτουν σε ένα τέτοιο δείγμα, διάφορα πράγματα μπορούν να συμβούν, όπως φαίνεται στο σχήμα της 6.25.1.



Σχήμα 6.25.1 Επίδραση των φωτονίων στις ενεργειακές ζώνες ενός ημιαγωγού με P & N τύπου προσμίξεις.

- Ένα ζεύγος ηλεκτρονίου/οπής μπορεί να παραχθεί από υψηλή ενέργεια φωτονίων όπως περιγράφηκε. Τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν το ενεργειακό χάσμα στην ζώνη αγωγιμότητας, αυτό ονομάζεται εγγενής διέγερση (intrinsic excitation).
- Ένα ηλεκτρόνιο στο επίπεδο δοτών (για τον τύπο N) μπορεί να διεγερθεί στη ζώνη αγωγιμότητας.
- Ένα ηλεκτρόνιο παραπετασμάτων μπορεί να γεμίσει μια τρύπα στο επίπεδο ληπτών (για τον τύπο P).

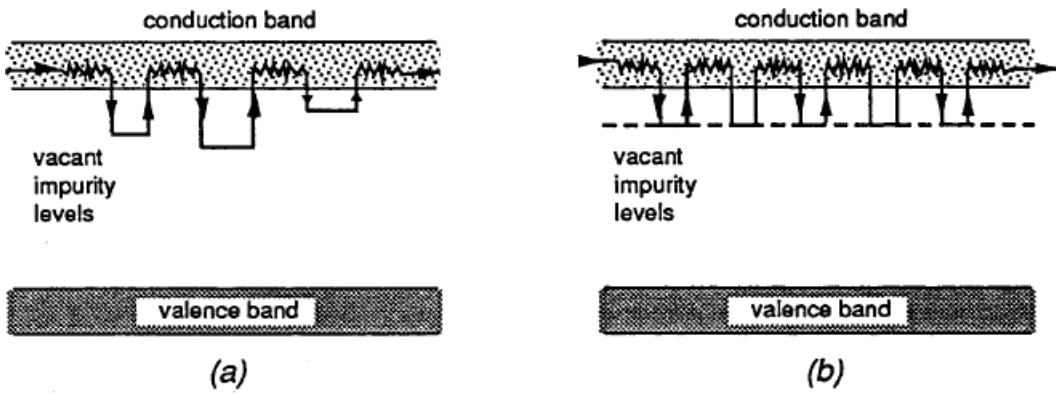
Αυτές οι τελευταίες δύο μεταβάσεις είναι γνωστές ως διεγέρσεις προσμίξεων και απαιτούν τη λιγότερη ενέργεια από τις εγγενείς διεγέρσεις. Ωστόσο, δεδομένου ότι η συγκέντρωση προσμίξεων είναι πολύ χαμηλή, η πυκνότητα των καταστάσεων στις ζώνες διεξαγωγής και σθένους υπερβαίνει πολύ την πυκνότητα των καταστάσεων προσμίξεων. Στη θερμοκρασία δωματίου, τα περισσότερα από τα άτομα προσμίξεων ιονίζονται σε κάθε περίπτωση.

Οι φορείς που παράγονται από Φώτο- διέγερση θα κινηθούν αν στο εξάρτημα εφαρμόσουμε εξωτερική τάση. Αυτό επιβάλλει μια κανονική ροή στην τυχαία κίνηση διάχυσής τους που συγκρούεται με άλλους. Μπορούν εντούτοις, να επανασυνδέσουν με μια διαθέσιμη οπή ή ένα ηλεκτρόνιο προτού να φθάσουν στις άκρες του υλικού. Αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στο χρόνο απόκρισης του εξαρτήματος, περιορίζει τα επιδόσεις (απώλεια ευαισθησίας) ή εισάγει τις μη γραμμικότητες. Εκείνοι οι μεταφορείς που παραμένουν θα αποτελέσουν το ρεύμα που εξαρτάται έτσι αρχικά από τους αριθμούς φωτονίων.

Η πραγματική διαδικασία είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως η πυκνότητα των καταστάσεων στις ενεργειακές ζώνες, η πιθανότητα τα φωτόνια να διεγείρουν ηλεκτρόνια, και άλλοι παράγοντες όπως η επίδραση της θερμοκρασίας. Μαθηματικές αναλύσεις προβλέπουν το τύπο και τα χαρακτηριστικά του εξαρτήματος αλλά αυτό ξεφεύγει από τον σκοπό των σημειώσεων.

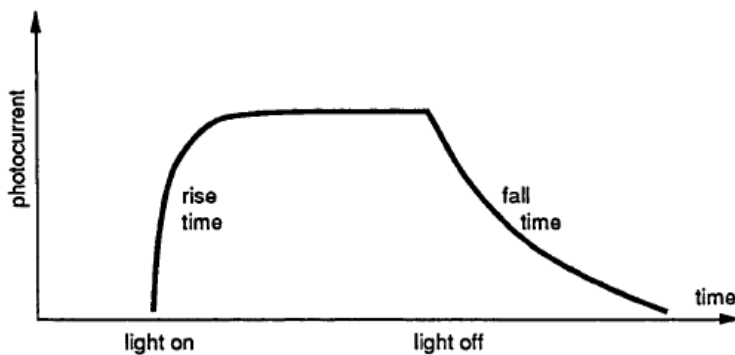
Επανασύνδεση φορέων μπορεί να γίνει απευθείας στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό του ημιαγωγού. Επιφανειακή επανασύνδεση φορέων αντιμετωπίζονται στην Άσκηση 29 όπου μελετάμε την επίδραση της φασματικής απόκρισης των φωτο – αντιστάσεων. Απευθείας επανασύνδεση φορέων οπών και ηλεκτρονίων είναι σπάνιο.

Ο όγκος επανασυνδέσεων εμφανίζεται σε κενά επίπεδα προσμίξεως στο ενεργειακό χάσμα. Τέτοια επίπεδα θα παγιδέψουν ένα ηλεκτρόνιο για έναν ορισμένο χρόνο πριν διεγερθούν πίσω στη ζώνη εξαγωγής για την περαιτέρω κίνηση, όπως στο σχήμα 6.25.2a. Ένα υλικό με μια χαμηλή συγκέντρωση προσμίξεων θα παρήγαγε έναν ημιαγωγό με χαμηλή ευαισθησία. Εάν έχουμε περισσότερες προσμίξεις, n-τύπος για παράδειγμα, προστίθεται και αυτό βελτιώνει ένα επίπεδο δοτών ακριβώς κάτω από τη ζώνη διεξαγωγής. Στη θερμοκρασία δωματίου, τα περισσότερα ηλεκτρόνια δοτών έχουν αυξηθεί στη ζώνη εξαγωγής έτσι υπάρχουν πολλά ελεύθερα ζεύγη ακριβώς κάτω από τη περιοχή εξαγωγής στην οποία τα ηλεκτρόνια, που ρέουν υπό την καθοδήγηση μιας εφαρμοσμένης τάσης, μπορούν να περιέλθουν ή να παγιδευτούν. Απαιτεί έπειτα μόνο μια μικρή ενέργεια για να τους αυξήσει πίσω στη ζώνη εξαγωγής και συνεπώς ξοδεύουν το λιγότερο χρόνο και παγιδεύονται όπως στο σχήμα 6.25.2 (β).



Σχήμα 6.25.2 (α) Παγίδευση φωτός σε ημιαγωγό χαμηλών προσμίξεων (β) Παγίδευση φωτός σε ημιαγωγό υψηλών προσμίξεων.

Η διάρκεια ζωής των φορέων και ως εκ τούτου η ευαισθησία αυξάνεται. Εντούτοις, αυτό συμβαίνει συχνότερα και δεδομένου ότι ο χρόνος απόκρισης της επίδρασης είναι ανάλογος προς το χρόνο που απαιτείται για τον επανασυνδυασμό των φορέων, πρέπει να υπάρξει μια ανταλλαγή μεταξύ της ευαισθησίας και του χρόνου απόκρισης. Ένα εξάρτημα περισσότερο ευαίσθητο, και έχει μια μικρή απόκριση συχνότητας. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 6.25.3. Ο χρόνος πτώσης είναι πιο μακροχρόνιος από το χρόνο ανόδου επειδή παίρνει περισσότερο για τα ηλεκτρόνια να επιστρέψουν από την παγίδευση. Αυτή η διαδικασία ευαισθητοποίησης αυξάνει επίσης το ρεύμα σκότους, το οποίο συζητείται αργότερα.



Σχήμα 6.25.3

Η ίδια επίδραση μπορεί να προκαλέσει τη μη γραμμικότητα δεδομένου ότι η προηγούμενη κατάσταση του ημιαγωγού μπορεί να είναι σημαντική. Υποθέστε ότι ένα πολύ ισχυρό φως προσπίπτει επάνω στη συσκευή. Θα παραγάγει υπερβολικά πολλούς φορείς. Αυτοί θα διαποτίσουν όλα τα ενεργειακά επίπεδα. Κατά συνέπεια μείωση ευαισθησίας σε υψηλά επίπεδα. Χρειάζεται χρόνος για αυτούς τους υπερβολικούς φορείς που επανασυνδέονται, κατά συνέπεια τη λειτουργία ενός φωτο-αγωγού μπορεί να εξασθενήσει προσωρινά από την έκθεση στο ισχυρό φως. Το ίδιο πράγμα ισχύει εάν το εξάρτημα τεθεί ξαφνικά στο σκοτάδι. Ακόμη και σε κανονική λειτουργία, όπως περιγράφεται ανωτέρω, μια ξαφνική αλλαγή στο φως δεν συνοδεύεται από μια άμεση αλλαγή στο ρεύμα. Για να αποφύγει τα αποτελέσματα φαινομένου μνήμης, είναι καλύτερο να τοποθετηθεί το εξάρτημα στο επίπεδο φωτισμού που θα εργαστεί για μια χρονική περίοδο πριν πάρουμε τις μετρήσεις. Οι χρόνοι τάξεως ωρών αναφέρονται συχνά, αλλά έχει διαπιστωθεί ότι πέντε λεπτά, είναι επαρκή για περαιτέρω αλλαγές και κάτω από το όριο του πειραματικού λάθους.

Ήδη έχει αναφερθεί ότι στη θερμοκρασία δωματίου, η θερμική ενέργεια είναι επαρκής για να εξασφαλίσει ότι τα περισσότερα από τα άτομα των προσμίξεων έχουν ιονιστεί, δηλ. τα περισσότερα από τα ηλεκτρόνια δοτών έχουν διεγερθεί στη ζώνη διεξαγωγής. Αυτή η θερμική ενέργεια είναι επίσης επαρκής για να σπάσει μερικούς από τους ομοιοπολικούς δεσμούς και να δημιουργήσει τα ζευγάρια οπών/ηλεκτρονίων που συμβάλλουν επίσης στη διεξαγωγή. Κατά συνέπεια όπως σε έναν κανονικό ημιαγωγό, ακόμη και χωρίς το φως που αφορά τη συσκευή, ένα μικρό ρεύμα θα ρέει εάν μια τάση εφαρμόζεται. Αυτό είναι γνωστό ως ρεύμα σκότους (Dark Current) και σε έναν φωτο-αγωγό μπορεί να αντιστοιχεί σε μια αντίσταση άνω των 100Ω. Αυτή η επίδραση θα γίνει μεγαλύτερη εάν περισσότερες προσμίξεις προστίθεται στον ημιαγωγό.

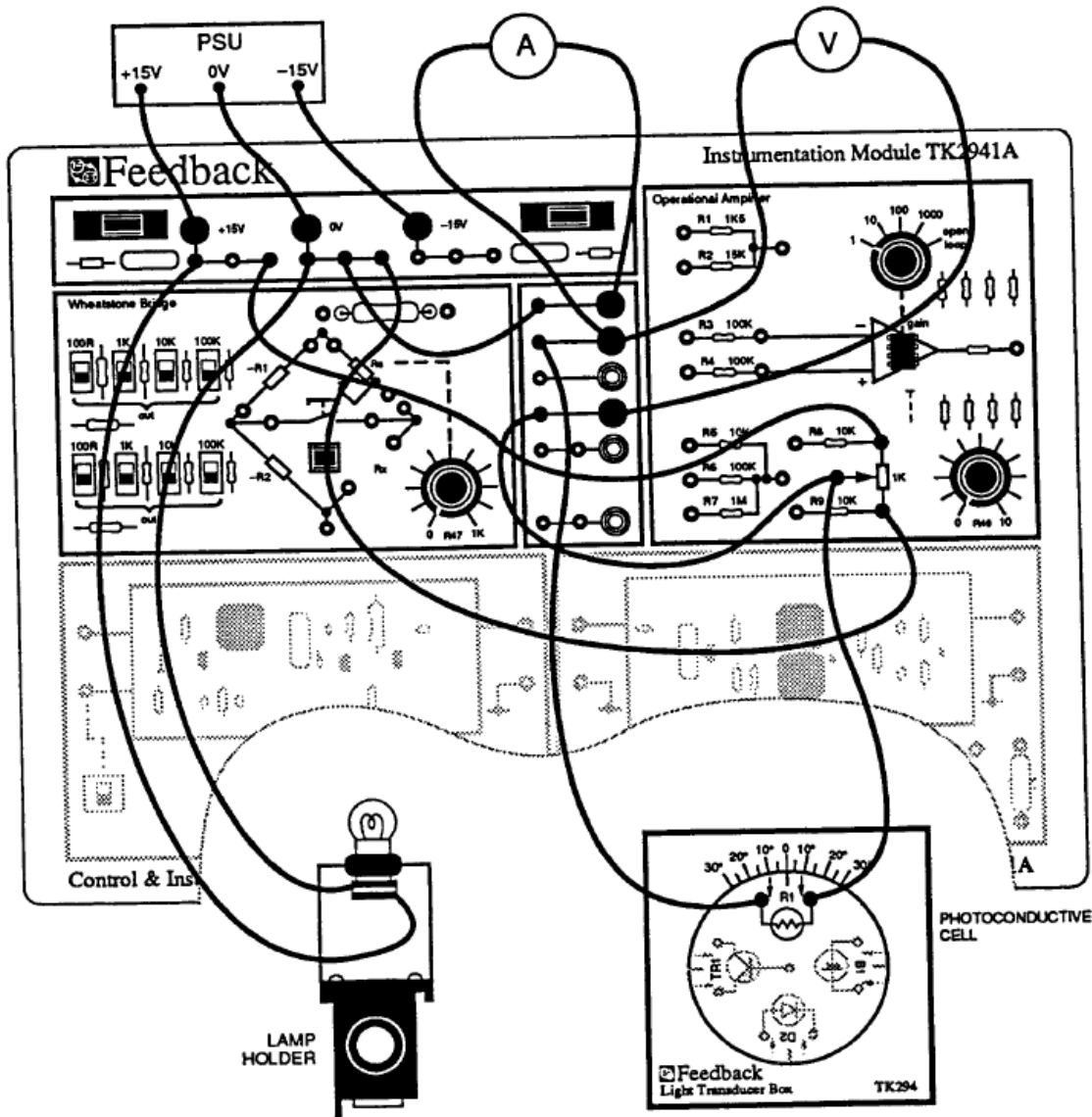
Απόκριση Φωτισμού

Έχουμε δει, ότι το ρεύμα που διατρέχει την φωτοαντίσταση όταν εφαρμόζεται μια τάση, εξαρτάται από το φωτισμό της συσκευής. Ερευνήστε αυτό ουσιαστικά. Πρόκειται απλά να μετρήσουμε την τρέχουσα ροή ρεύματος με μιλλι-αμπερόμετρο δεδομένου τις μεταβολής του φωτισμού της συσκευής με την κίνηση του λαμπτήρα.

Τοποθετήστε την βάση του λαμπτήρα στο κιβώτιο οπτικών αισθητήρων.

Η θέση του κιβωτίου οπτικών αισθητήρων να είναι πλησιέστερα στην λάμπα και να βρίσκονται απέναντι μεταξύ τους. Βεβαιωθείτε ότι το φίλτρο υπέρυθρης ακτινοβολίας έχει απομακρυνθεί από το εσωτερικό του οπτικού κιβωτίου.

Συνδέστε το κύκλωμα όπως απεικονίζετε στο σχήμα 6.25.4 με το αισθητήρα φωτο-αντίστασης στο κιβώτιο οπτικών αισθητήρων. Βεβαιωθείτε ότι η φωτοαντίσταση είναι τοποθετημένη ακριβώς στην θέση 0°. Ελέγξτε το ποτενσιόμετρο του τελεστικού ενισχυτή να βρίσκεται στην θέση μηδέν «0» και τοποθετήστε στην θέση "on" τον διακόπτη του τροφοδοτικού, ο λαμπτήρας πρέπει να φωτοβολήσει. Αυτός ο φωτισμός αντιστοιχεί στο 100% της Σχετικής Φωτεινότητας χρησιμοποιείστε ως αναφορά τον πίνακα της άσκησης 24.



Σχήμα 6.25.4

Όπως έχουμε εξηγήσει στην άσκηση 24 ο περιβάλλον φωτισμός έχει ελάχιστη επίδραση, βεβαιωθείτε όμως ότι δεν είναι κοντά σε άλλη πηγή φωτισμού ή κοντά σε παράθυρο, μεγάλος φωτισμός μπορεί να αλλοιώσει τις μετρήσεις ή να δημιουργήσει πιθανή βλάβη στον αισθητήρα.

Αργά αυξήστε την τάση του τροφοδοτικού ώστε η ένδειξη στο αμπερόμετρο να γίνει 8mA και σταματήστε εκεί την μεταβολή της τάσης. Τώρα περιστρέψτε τον κύλινδρο των αισθητήρων ώστε η ένδειξη στο αμπερόμετρο να γίνει μέγιστη. Πιθανόν να χρειαστεί να ρυθμίσετε ξανά την τάση του τροφοδοτικού. Βεβαιωθείτε ότι έχουμε την μέγιστη πρόσπτωση του φωτισμού ώστε να έχουμε μέγιστη ευαισθησία. Κατά την διάρκεια αυτών των ρυθμίσεων δεν μεταβάλλουμε την θέση του αισθητήρα. Αφήστε την διάταξη τουλάχιστον 5 λεπτά ώστε να σταθεροποιηθεί η διάταξη και να παραμένουν οι ενδείξεις σταθερές. Τώρα μεταβάλλετε την DC τάση του τροφοδοτικού ώστε να έχουμε ρεύμα 10mA. Μετρήστε και καταγράψτε την τάση ώστε να την κρατήσουμε σταθερή κατά την διάρκεια του πειράματος. Αυτό το ρεύμα έχει επιλεγεί για την θέση μέγιστης σχετικής φωτεινότητας 100%, μεγαλύτερα ρεύματα μπορούν να καταστρέψουν τον αισθητήρα.

Απομακρύνετε τον λαμπτήρα σύμφωνα με τον πίνακα της άσκησης 24, σε κάθε θέση καταγράψτε το ρεύμα σύμφωνα με τον πίνακα 6.25.5.

Εφαρμοζόμενη τάση =V

Σχετική Φωτεινότητα %	Κλίμακα	Ρεύμα (mA)	Αντίσταση (Ω)
100			
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
25			
20			
10			
0			

Σχήμα 6.25.5

Αν κάνουμε το πείραμα με το φως της ημέρας προσπαθούμε να πάρουμε τις μετρήσεις με αυτό το φωτισμό χωρίς να έχει διακύμανσης. Επίσης κρατήστε τα χέρια σας μακριά από τα εξαρτήματα ώστε να μην δημιουργούν μεταβολή του φωτισμού, απομακρύνετε υλικά που προκαλούν ανακλάσεις.

Αποσυνδέστε τον λαμπτήρα και καταγράψτε την μέτρηση που αντιστοιχεί στον περιβάλλον φωτισμό. Τέλος περιστρέψτε τον κύλινδρο αισθητήρων ώστε να απομακρυνθεί ο αισθητήρας από την οπή φωτισμού και πάρτε την μέτρηση για μηδενική Σχετική Φωτεινότητα.

Άσκηση 25.1

Για κάθε φωτισμό, υπολογίστε την αντίσταση του αισθητήρα με βάση τον Νόμο του Ohm διαιρώντας την τάση που εφαρμόζουμε με το ρεύμα που το διαρρέει ($R=V/I$).

Άσκηση 25.2

Δημιουργήστε ένα γράφημα με την έναν άξονα ρεύματος και τον άλλο άξονα της Σχετικής Φωτεινότητας καθώς και την εφαρμοζόμενη τάση.

Ερώτηση 25.1 Ποια είναι η μορφή της χαρακτηριστικής; Γιατί δεν διέρχεται από την αρχή των αξόνων.

Άσκηση 25.3

Σχεδιάστε την καλύτερη δυνατή ευθεία από τα σημεία που καταγράψατε. Υπολογίστε την γραμμικότητα, βρείτε την μέγιστη απόκλιση από την ευθεία γραμμή και εκφράστε την επί τοις εκατό δηλώνοντας την κλίμακα των ρευμάτων.

Ερώτηση 25.2 Όταν απομακρύνετε τον φωτισμό και βάζετε τον αισθητήρα στο εσωτερικό του κιβωτίου έχετε μηδενικό ρεύμα;

Ερώτηση 25.3 Παρόλο που το εξάρτημα είναι μια φωτοαντίσταση και υπολογίσαμε την αντίσταση για κάθε τιμή φωτισμού γιατί κάναμε το γράφημα με το ρεύμα και όχι με την αντίσταση;

Προτού μελετήσουμε τα αποτελέσματα πως η γωνία στον αισθητήρα με την οπή φωτισμού επενεργεί στον αισθητήρα.

Πρακτικό 25.2

Νόμος Lambert's

Με το κύκλωμα του σχήματος 6.25.4 τοποθετήστε τον αισθητήρα ώστε να έχουμε το 100% της Σχετικής Φωτεινότητας. Ξανά συνδέστε τον λαμπτήρα ώστε αυξάνοντας την τάση από το τροφοδοτικό να πάρουμε ένδειξη 8mA. Περιστρέψτε τον κύλινδρο με τους αισθητήρες ώστε να έχουμε την μέγιστη ένδειξη ξανά ρυθμίστε την τάση του τροφοδοτικού ώστε να έχουμε ρεύμα 10mA. Μην μεταβάλλετε την τάση του τροφοδοτικού καθόλη την διάρκεια του πειράματος, και σημειώστε την τάση αυτή. Τώρα τοποθετήστε τον κύλινδρο του αισθητήρα στις 30° αριστερόστροφα μετρήστε και καταγράψτε το ρεύμα. Επαναλάβετε την ίδια μέτρηση για διαφορετικές γωνίες 25°...5° και στην συνέχεια δεξιόστροφα. Καταγράψτε όλες τις μετρήσεις στον σχήμα 6.25.6.

Γωνία σε μοίρες	Ρεύμα σε mA
30 ACW	
25	
20	
15	
10	
5	
0	
5 CW	

10	
15	
20	
25	
30	

ACW: Anti clockwise, Αριστερόστροφα

CW: Clockwise, Δεξιόστροφα

Σχήμα 6.25.6

Άσκηση 25.4

Κάντε γράφημα με γραμμικούς άξονες ρεύματος και γωνίας, εναλλακτικά μπορεί να γίνει το γράφημα σε πολικό χαρτί αν αυτό είναι διαθέσιμο.

Ερώτηση 25.4 Μεταξύ ποιών γωνιών είναι χρήσιμος ο αισθητήρας;

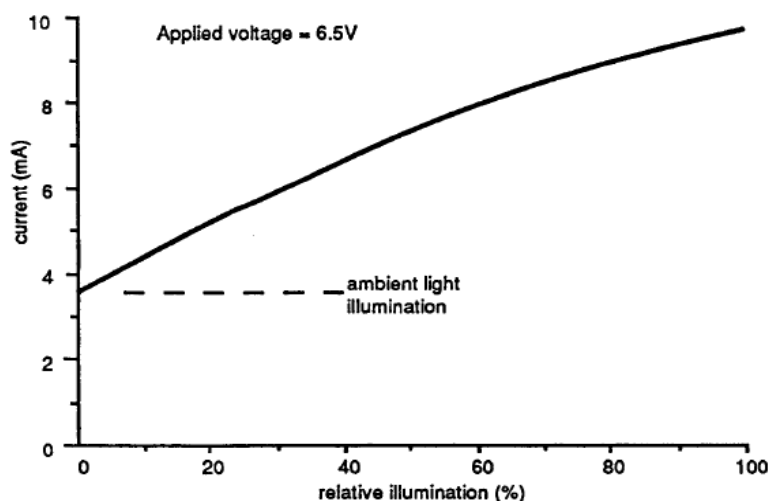
Ερώτηση 25.5 Για ποιο λόγο το γράφημα δεν ακολουθεί το νόμο συνημίτονου Lamberts που περιγράφηκε στην άσκηση 24.

Ερώτηση 25.6 Μπορείτε να περιγράψετε τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του φωτοαγωγίμου στοιχείου;

Ερώτηση 25.7 Με βάση της περιγραφής και των μετρήσεων που έχετε πάρει μπορείτε να προτείνετε μερικές εφαρμογές του αισθητήρα;

Πρακτικά Θέματα

Πρέπει να έχετε διαπιστώσει ότι το γράφημα σας ρεύματος με τον σχετικό φωτισμό ήταν της μορφής που παρουσιάστηκε με το σχήμα 6.25.7.



Σχήμα 6.25.7

Θα είχατε διαπιστώσει ότι στις χαμηλές τιμές του φωτισμού το ρεύμα αυξήθηκε με την αύξηση του φωτισμού, κατόπιν η αύξηση έγινε λιγότερο γρήγορη καθώς κινείτε προς το 100% του σχετικού φωτισμού. Αυτό φυσικά, δεν είναι μέγιστος φωτισμός στον οποίο η συσκευή μπορεί να υποβληθεί αλλά μόνο το μέγιστο που μπορούμε να λάβουμε με το οπτικό κιτ αισθητήρων. Οι φωτεινότεροι λαμπτήρες και μικρότερες αποστάσεις θα παράγαν μεγαλύτερο ρεύμα, αλλά η μορφή της καμπύλης θα είχε την ίδια μορφή υπό τον όρο ότι το ρεύμα δεν ήταν τόσο υπερβολικό ώστε να καταστραφεί ο μετατροπέας.

Το γράφημα που δημιουργήθηκε κάτω από κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος φωτισμού μας δίδει την στάθμη «πόλωσης». Η τιμή αυτού μπορεί να υπολογιστεί από την αφετηρία της καμπύλης στον άξονα του ρεύματος, η ανάγνωση που πήρατε με το που κλείσατε το λαμπτήρα. Η πόλωση από τον περιβάλλον φωτισμό εξαρτάται από την κλίμακα φωτισμού για το πείραμα, αλλά ανεβάζει την χαρακτηριστική καμπύλη σε μη γραμμική περιοχή σε πολύ χαμηλές στάθμες φωτισμού. Σχεδιάζοντας την καλύτερη δυνατή ευθεία έχουμε γραμμικότητα καλύτερη από 5% για την κλίμακα φωτισμού που χρησιμοποιούμε. Αν χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας για μεγαλύτερες κλίμακες ή διαφορετικότερες στάθμες φωτισμού έχουμε διαφορετική γραμμικότητα.

Το ρεύμα που παράγεται από τον αισθητήρα όταν έχει την μεγαλύτερη απόσταση από τη λάμπα ονομάζεται ρεύμα σκότους (Dark Current) και τυπικά είναι μικρότερο από 100μΑ, που αντιστοιχεί σε αντίσταση μεγαλύτερη από 100KΩ. Αυτό το παραμένον ρεύμα προκαλείται από την θερμική ενέργεια που υπάρχει σε θερμοκρασία δωματίου. Καλύτεροι αισθητήρες έχουν μεγαλύτερη αντίσταση σκότους και εξαρτάται από τον κατασκευαστή της.

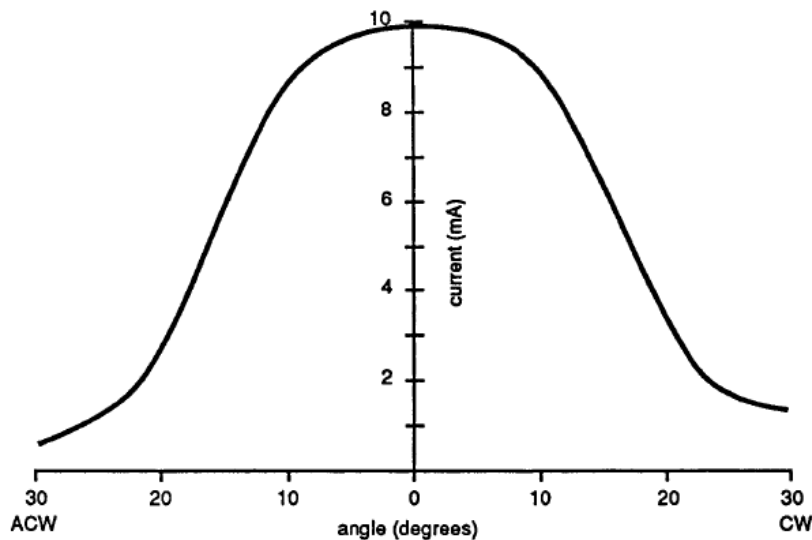
Η αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος, όταν εφαρμόζουμε σταθερή τάση τροφοδοσίας, η χαρακτηριστική του ρεύματος παρουσιάζεται μη γραμμική. Όπως αναφέρθηκε η μορφή της καμπύλης είναι σύνθετη και διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Για αρκετά εξαρτήματα είναι εκθετική συνάρτηση ενώ για άλλες λογαριθμική συνάρτηση. Αρκετοί κατασκευαστές παρουσιάζουν γραφήματα με λογαριθμικό άξονα αντίστασης και λογαριθμικό άξονα σχετικού φωτισμού που σε αρκετές περιπτώσεις είναι ευθεία γραμμή. Μπορούμε να ορίσουμε το παράγοντά που ονομάζεται «γάμμα» (γ) και συσχετίζει την αντίσταση και τον φωτισμό που προσπίπτει.

$$\gamma_{\text{gamma}}(\gamma) = \frac{\log(R1/R2)}{\log(E2/E1)}$$

Όπου R1 η αντίσταση για φωτισμό E1 και

R2 η αντίσταση για φωτισμό E2

Εάν κάποια γραφήματα είναι μη-γραμμικά τιμές του «γ» μπορεί να είναι σωστές για συγκεκριμένο σημείο. Η μέθοδος που χρησιμοποιούμε είναι για μικρές περιοχές της χαρακτηριστικής να τις θεωρούμε γραμμικές. Όταν συγκρίνουμε προδιαγραφές όλες οι συνθήκες πρέπει να είναι ίδιες. Όλες οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται με λάμπα νήματος tungsten με θερμοκρασία χρώματος 2540°K με τάση κόκκινου φωτισμού. Εμπορικές εφαρμογές παράγουν λίγο μεγαλύτερη θερμοκρασία χρώματος περίπου 2700°K – 2850°K. Τέτοιες μικρές διαφορές προκαλούν αποκλίσεις στις μετρήσεις που λαμβάνουμε. Έχετε υπολογίσει την αντίσταση του μετατροπέα για κάθε τιμή του φωτισμού, και αυτές οι τιμές πρέπει να είναι περίπου 500Ω έως 1800Ω με μικρή διακύμανση για κάθε μεμονωμένο μετατροπέα. Αν συγκρίνουμε αυτές τις τιμές με την αντίσταση που έχουμε στο σκοτάδι τάξης 100KΩ βλέπουμε πολύ μεγάλη διαφορά τιμών. Αυτό μας δείχνει την ευαισθησία του μετατροπέα αλλά επιπλέον αυξάνει την μη γραμμικότητα του. Αν σχεδιάσουμε το γράφημα πολικής απόκρισης θα πάρουμε την μορφή του σχήματος 6.25.8.



Σχήμα 6.25.8

Αυτό το γράφημα δεν ακολουθεί ακριβώς το νόμο συνημίτονου που περιγράψαμε στην άσκηση 24 κυρίως λόγω του κυλίνδρου που περιέχει τους αισθητήρες και της οπής φωτισμού. Ωστόσο υπάρχει έναν «παράθυρο» +/-15° ή και μικρότερη περιοχή όπου η αντίσταση είναι σχετικά σταθερή. Ενώ αν επαναλάβουμε το πείραμα με τον περιβάλλον φωτισμό παίρνουμε τον φωτισμό «πόλωσης».

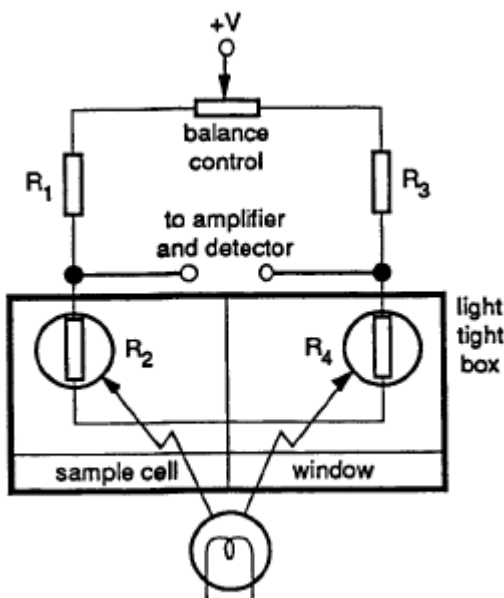
Η φασματική απόκριση του εξαρτήματος μελετάται στην άσκηση 29 αναλυτικά μπορούμε να πούμε ότι διαφορετικά υλικά δημιουργούν διαφορετική φασματική απόκριση. Υλικά για εξαρτήματα όπως Κάδμιο, Θείο, Σελήνιο σε ημιαγωγό N-τύπου έχει παρόμοια απόκριση με το ανθρώπινο μάτι. Συνεπώς χρησιμοποιούμε φωτόμετρα για να μετρήσουμε την ευαισθησία πειραματικά με το ανθρώπινο μάτι, για παράδειγμα όπως το συναντάμε στις φωτογραφικές μηχανές. Εδώ η γραμμικότητα είναι σημαντικό πλεονέκτημα αλλά όχι σε

χαμηλές στάθμες φωτισμού. Για αυτές τις μετρήσεις μπορεί να έχουμε δυο κλίμακες ή εναλλακτικά για χρησιμοποιούμε κυκλώματα αντιστάθμισης της γραμμικότητας.

Το βασικό μειονέκτημα των φωτο αγώγιμων αισθητήρων είναι ότι απαιτούν μια πηγή τάσης για να μεταβάλλουν το ρεύμα που διέρχεται από αυτά. Άρα πρέπει να υπάρχει μια μπαταρία που το τροφοδοτεί. Η κατανάλωση του ρεύματος δεν αποτελεί πρόβλημα γιατί συνήθως υπάρχει μπουτόν που μόλις το πιάσουμε λειτουργεί για να πάρουμε την μέτρηση. Όταν εκτεθεί σε μεγάλη ακτινοβολία έχει χαμηλή αντίσταση ώστε να μπορεί να οδηγήσει αλλά φορτία όπως μικρά ρελέ χωρίς ενδιάμεση ενίσχυση. Είναι σχεδιασμένα για χρήση σε χαμηλή τάση και ρεύμα συνήθως ως εξαρτήματα ελέγχου στην βιομηχανία. Όπως σε μετρητές προϊόντων, μεταφορικές ταινίες, συστήματα συναγερμού όπου μια δέσμη φωτός διακόπτεται. Στην πραγματικότητα δεν χρησιμοποιούμε ορατό φως αλλά υπέρυθρο ώστε να μην επηρεάζετε από τον περιβάλλον φωτισμό. Το χαμηλό κόστος των φωτο αντιστάσεων είναι πλεονέκτημα για την μεγάλη τους χρήση στην βιομηχανία. Άλλες εφαρμογές βασίζονται στο χαρακτηριστικό της μεταβολής της αντίστασης τους όπως για την πόλωση ενός transistor. Για παράδειγμα αυτόματη ρύθμιση φωτεινότητας σε οθόνες ή γενικότερα σε διακόπτες ελεγχόμενους από φως. Στο σχήμα 6.25.9 έχουμε ένα εξειδικευμένο κύκλωμα μέτρησης φωτισμού βασισμένο σε μια γέφυρα. Αυτό είναι ένα διαφορικό κύκλωμα βασισμένο στην γέφυρα Wheatstone. Οι δυο φωτο αντιστάσεις R₂, R₄ είναι ίδιου τύπου ώστε να κρατάνε σε ισορροπία την γέφυρα. Αυτό μειώνει την επίδραση της τροφοδοσίας, την επίδραση θερμοκρασίας ώστε να παραμένει σταθερή. Η συνάρτηση της ισορροπίας της γέφυρας δίδεται από την άσκηση 2 και είναι:

$$R_2 \times R_3 = R_1 \times R_4$$

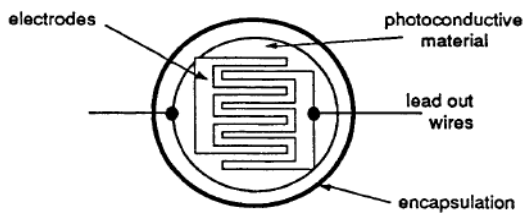
Αν ένα διαφανές σώμα τοποθετηθεί στο πέρασμα του φωτός προς την R₂ αλλάζει η ισορροπία της γέφυρας και αν το σήμα ενισχυθεί (to amplifier) μπορούμε να μετρήσουμε την διαφορά φωτισμού.



Σχήμα 6.25.9

Φωτο αντιστάσεις έχουν σχετικά μεγάλο χρόνο απόκρισης που σημαίνει ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ γρήγορα μεταβαλλόμενα σήματα. Αλλά εξαρτήματα που εξετάζουμε στις επόμενες ασκήσεις ανταποκρίνονται σε γρήγορες μεταβολές. Στο αντίποδα οι φωτο αντιστάσεις έχουν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής που

ξεπερνάν τις 10.000 ώρες. Επίσης δεν καταστρέφονται αν προσπίπτει μεγάλη ακτινοβολία πάνω τους αλλά καταστρέφονται αν περάσει μεγάλο ρεύμα το αποφεύγουμε αυτό με την τοποθέτηση εν σειρά προστατευτικής αντίστασης. Υπερθέρμανση μπορεί να την καταστρέψει ενώ έχει καλή αντοχή και στις δονήσεις. Τέλος θα κάνουμε μια μικρή αναφορά στην βιομηχανική κατασκευή των φωτο αντιστάσεων. Οι φωτο αντιστάσεις κατασκευάζονται χημικά από συμπυκνωμένη σκόνη (Θειούχου Σεληνίου) έχουν την μορφή ταμπλέτας και επικαλύπτονται με πλαστικό ή γυάλινο περίβλημα. Στην συνέχεια τοποθετούνται οι ακροδέκτες για την αγωγίμη σύνδεση. Η μορφή μιας φωτο αντίστασης απεικονίζεται στο σχήμα 6.25.10.



Σχήμα 6.25.10

Το μέγεθος της φωτο αντίστασης εξαρτάται από το ρεύμα που μπορεί να διαχειριστεί και είναι μεγαλύτερο όσο αυξάνετε το ρεύμα λειτουργίας. Συνήθως έχει μια πλευρά ευαίσθητη στο φως και βρίσκεται σε απόλυτο κενό ώστε να είναι αδιάβροχο, προστασία από οξέα, δονήσεις και χτυπήματα.