

ΕΝΟΤΗΤΑ 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 Ημιαγωγοί και εφαρμογές τους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14 Απλές λογικές πύλες

Στοιχεία ηλεκτρονικής



Στη σύγχρονη εποχή χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικές συσκευές καθημερινά. Από ραδιόφωνα – τρανζίστορ και τηλεοράσεις μέχρι ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Οι εφαρμογές της ηλεκτρονικής μας κατακλύζουν. Σ' αυτήν την ενότητα μελετούμε τις ιδιότητες των ημιαγωγών και κάποιες διατάξεις που κατασκευάζονται από ημιαγωγούς, όπως η κρυσταλλοδίοδος και το τρανζίστορ. Η ύπαρξη αυτών των διατάξεων έχει προκαλέσει την επανάσταση της ηλεκτρονικής στα τελευταία χρόνια.

Στη συνέχεια περιγράφουμε μερικές απλές λογικές πύλες, που κατασκευάζονται από διατάξεις ημιαγωγών. Με τη βοήθεια των λογικών πυλών μπορούμε να ρυθμίσουμε την λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών και να επεξεργασθούμε μεγάλο αριθμό πληροφοριών.

Εισαγωγή

Από τα αρχαία χρόνια, αλλά κυρίως από τις αρχές του 18ου αιώνα έως σήμερα, ο άνθρωπος κατασκεύασε και συνεχίζει να κατασκευάζει μηχανές, που μπορούν να μετατρέπουν την ενέργεια από τη μια μορφή στην άλλη. Έμαθε να μεταφέρει και να διαχειρίζεται την ενέργεια, ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες του.

Ωστόσο, από τα μέσα του 20ου αιώνα, η ανθρωπότητα έχει περάσει σε μια νέα εποχή. Μια νέα έννοια διεκδικεί από τότε έναν, εξίσου με την ενέργεια, πρωταγωνιστικό ρόλο στην οργάνωση και εξέλιξη της ανθρώπινης κοινωνίας: *Η πληροφορία*.

Για να λειτουργήσει ένα πλυντήριο, χρειάζεται πληροφορίες για τη θερμοκρασία του νερού, τον τρόπο και τη συχνότητα περιστροφής του κάδου στις διάφορες φάσεις του πλυσίματος. Όταν «τρέχουμε» ένα πρόγραμμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, του προσδίδουμε πληροφορίες, τις οποίες η μηχανή επεξεργάζεται και μας τις αποδίδει με διαφορετική μορφή. Για να μπορέσει ένα διαστημόπλοιο να κινηθεί σε μια συγκεκριμένη τροχιά, πρέπει να διαθέτει και να επεξεργαστεί πληροφορίες για τη θέση και την ταχύτητά του, καθώς και για τις δυνάμεις που ενεργούν πάνω του.

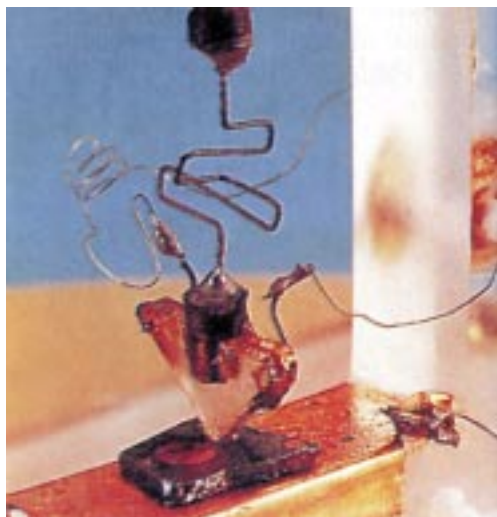
Οι επιστήμονες και οι τεχνικοί σχεδίασαν και κατασκεύασαν συστήματα καταχώρισης, επεξεργασίας και μετάδοσης της πληροφορίας. Άνοιξαν έτσι, νέους δρόμους στις επικοινωνίες, στον αυτόματο έλεγχο μηχανών και στη ρομποτική, στην ιατρική, στη γενετική και στη διαστημική τεχνολογία. Εργασίες, που στο παρελθόν απαιτούσαν αποκλειστικά ανθρώπινες χειρονακτικές ή διανοητικές λειτουργίες, σήμερα γίνονται από μηχανές. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, το διαδίκτυο, τα συστήματα αυτόματου ελέγχου των μηχανών, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, στην ιατρική, αλλά και στο σπίτι, είναι προϊόντα της νέας μεταβιομηχανικής εποχής, που διανύουμε.

Οι εκρηκτικοί ρυθμοί στην εξέλιξη των συστημάτων επεξεργασίας και μετάδοσης της πληροφορίας, οφείλονται στην αντίστοιχη ανάπτυξη της επιστήμης της **Ηλεκτρονικής**. Κάθε διάταξη, στην οποία συμβαίνει κίνηση φορτισμένων σωματιδίων (συνήθως ηλεκτρονίων), μέσω αερίων ή στερεών σωμάτων, ή ακόμα και μέσα από κενό χώρο, εμπίπτει στα πλαίσια της Ηλεκτρονικής. Έτσι, οι αντιστάτες, οι λαμπτήρες, τα πηνία, κλπ, είναι δυνατόν να αποτελέσουν στοιχεία μιας ηλεκτρονικής συσκευής.



Εικόνα 13.1

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι δορυφόροι – ρομπότ είναι αυτόματες και πολύπλοκες μηχανές. Για να λειτουργήσουν χρειάζονται, εκτός από ενέργεια και τη δυνατότητα συλλογής, καταχώρισης και επεξεργασίας πληροφοριών.



Εικόνα 13.2

Το πρώτο τρανζίστορ κατασκευάστηκε στα εργαστήρια της εταιρίας Bell (ΗΠΑ), το 1948.

Ένας σημερινός μικροεπεξεργαστής ηλεκτρονικού υπολογιστή περιλαμβάνει πολλά εκατομμύρια τρανζίστορ.

Ημιαγωγοί και εφαρμογές τους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13



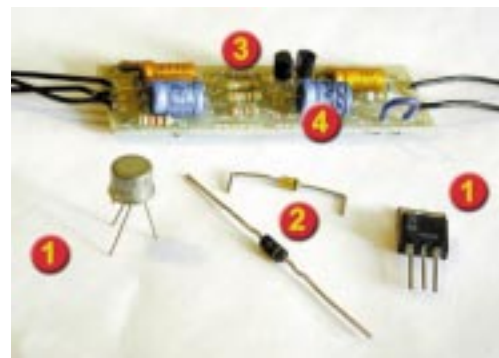
Ένας από τους πλέον καθοριστικούς σταθμούς στην εξέλιξη της Ηλεκτρονικής, υπήρξε η ανακάλυψη της *κρυσταλλοδιόδου* και της *κρυσταλλοτρίοδου* (*τρανζίστορ*), που προέκυψαν από τη μελέτη των ιδιοτήτων των ημιαγωγών.

Με τις διατάξεις αυτές μπορούμε να ελέγχουμε και να ρυθμίζουμε, με ποικίλους τρόπους, την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα. Έτσι, τα κυκλώματα που περιλαμβάνουν κρυσταλλοдиодους και τρανζίστορ, παρουσιάζουν έναν πλούτο ιδιοτήτων, που χρησιμοποιούνται σε ένα πολύ μεγαλύτερο πλήθος εφαρμογών.

Στις επόμενες παραγράφους θα γνωρίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της αγωγιμότητας των ημιαγωγών, τη μορφή και τις ιδιότητες μιας κρυσταλλοδιόδου και μερικές από τις εφαρμογές της. Στη συνέχεια, θα ασχοληθούμε με μια κατηγορία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με τα οποία, όπως θα δούμε, έχουμε τη δυνατότητα να ελέγχουμε και να ρυθμίζουμε την αυτόματη λειτουργία των ηλεκτρικών και των μηχανικών συστημάτων: **Τις λογικές πύλες**. Οι εφαρμογές τους ξεκινούν από την αυτόματη λειτουργία του πλυντηρίου, τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του ψυγείου και τα συστήματα συναγερμού, και φτάνουν στην αυτόματη λειτουργία των εργοστασίων, των δικτύων υπολογιστών και των διαστημοπλοίων – ρομπότ.

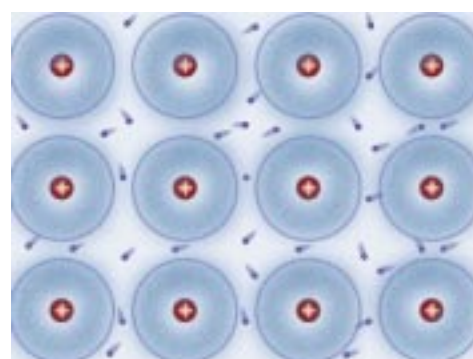
13.1 Η μικροσκοπική δομή των ημιαγωγών

Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα των μετάλλων (δηλαδή η χαμηλή ειδική αντίστασή τους, κεφάλαιο 7.3), οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια που περιέχουν. Τα άτομα των μετάλλων έχουν στην εξωτερική τους στιβάδα ένα έως τρία ηλεκτρόνια, που συγκρατούνται χαλαρά από τον πυρήνα τους. Όταν τα άτομα βρίσκονται πολύ κοντά το ένα στο άλλο και σχηματίζουν το πλέγμα του μετάλλου, τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας εγκαταλείπουν εντελώς τα άτομα στα οποία ανήκαν και κυκλοφορούν ελεύθερα σ' όλο το πλέγμα (εικόνα 13.4).



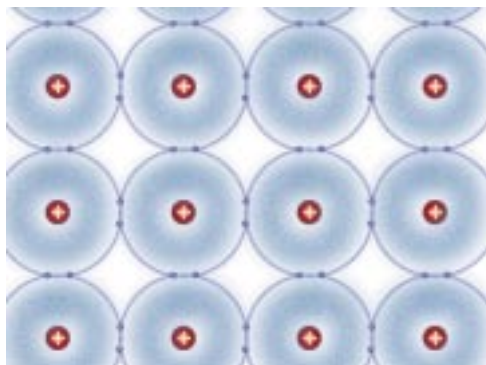
Εικόνα 13.3

Τρανζίστορ και δίοδοι, σε συνδυασμό με αντιστάτες και πυκνωτές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή απλών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.



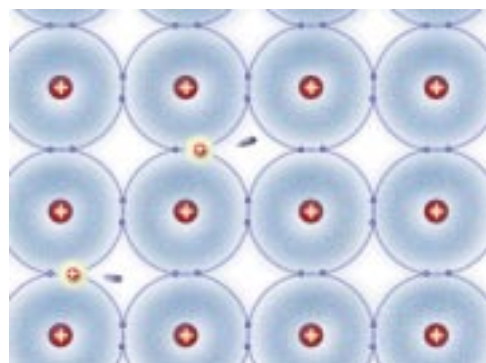
Εικόνα 13.4

Απεικόνιση του πλέγματος ενός μεταλλικού αγωγού. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο πλέγμα.



Εικόνα 13.5

Απεικόνιση του πλέγματος ενός μονωτή. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα στο πλέγμα, διότι συγκρατούνται με ισχυρές δυνάμεις από τους πυρήνες των ατόμων.



Εικόνα 13.6

Απεικόνιση του κρυστάλλου του πυριτίου στο επίπεδο. Σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία όλα τα ηλεκτρόνια είναι παγιδευμένα στα άτομα. Σε συνήθη θερμοκρασία μερικά ηλεκτρόνια ξεφεύγουν και μετατρέπονται σε ελεύθερα. Στη θέση που εγκατέλειψαν προκύπτει πλεόνασμα θετικού φορτίου: μια θετική οπή.

Αντίθετα, σ' όλο το πλέγμα τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας στα άτομα των μονωτών, συγκρατούνται με ισχυρές δυνάμεις από τον πυρήνα τους. Έτσι, τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να ξεφύγουν από τα άτομα που ανήκουν και να μετατραπούν σε ελεύθερα (εικόνα 13.5). Γι' αυτό, οι μονωτές παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλη αντίσταση στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή σχεδόν μηδενική ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Οι ημιαγωγοί είναι στοιχεία, που παρουσιάζουν μια διαφορετική, από τους αγωγούς και τους μονωτές, συμπεριφορά στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Το πείραμα δείχνει ότι σε πολύ χαμηλές και σε συνήθεις θερμοκρασίες οι ημιαγωγοί δεν άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα: συμπεριφέρονται σαν μονωτές.

Όταν αυξήσουμε τη θερμοκρασία τους, η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα αυξάνεται σημαντικά. Στους ημιαγωγούς η αγωγιμότητα αυξάνεται με τη θερμοκρασία, αντίθετα με τα μέταλλα στα οποία μειώνεται (παράγραφος 3.1.3, «Δείτε κι αυτό»).

Πώς ερμηνεύεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα των ημιαγωγών και οι μεταβολές της, με βάση τη μικροσκοπική τους δομή;

Από τα πλέον τυπικά παραδείγματα ημιαγωγών, που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία, είναι το πυρίτιο (Si) και το γερμάνιο (Ge). Κάθε άτομο πυριτίου (ή γερμανίου) έχει τέσσερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα του. Καθένα από αυτά μαζί με ένα αντίστοιχο ηλεκτρόνιο ενός γειτονικού του ατόμου σχηματίζουν ένα κοινό ζεύγος, που έλκεται και από τα δύο άτομα. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται μια κρυσταλλική δομή, ένα πλέγμα ατόμων πυριτίου (εικόνα 13.5).

Όταν η θερμοκρασία του κρυστάλλου είναι χαμηλή, τα ηλεκτρόνια και τα άτομα έχουν χαμηλή θερμική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων δεν είναι αρκετή ώστε να υπερνικήσουν τις ελκτικές δυνάμεις των ατόμων και να ελευθερωθούν. Έτσι, σε χαμηλή θερμοκρασία το πυρίτιο έχει μηδαμινή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Συμπεριφέρεται όπως ένας μονωτής.

Σε υψηλότερη όμως θερμοκρασία (για παράδειγμα, 10 – 30° C), η κινητική ενέργεια των ατόμων αυξάνεται. Το ποσό της ενέργειας που μεταφέρεται στα κοινά ζεύγη μπορεί τώρα να είναι αρκετό για να προκαλέσει την απελευθέρωση μερικών ηλεκτρονίων από τα άτομα που ανήκαν (εικόνα 13.6).

Τα ηλεκτρόνια αυτά μετατρέπονται σε ελεύθερα. Έτσι, το υλικό αποκτά ηλεκτρική αγωγιμότητα, που αυξάνεται όταν η θερμοκρασία του μεγαλώνει.

Στις περιοχές από τις οποίες δραπετεύσαν ηλεκτρόνια, η ηλεκτρική ισορροπία διαταράσσεται. Αφού απομακρύνθηκε το ηλεκτρόνιο, υπάρχει πλέον ένα πλεόνασμα θετικού φορτίου (εικόνα 13.6). Δημιουργείται, όπως λέμε, μια **θετική οπή**.

Στη θέση όπου δημιουργήθηκε μια θετική οπή έλκεται και μπορεί να μεταπηδήσει ένα ηλεκτρόνιο από μια γειτονική θέση. Το ηλεκτρόνιο εξουδετερώνει το θετικό φορτίο της οπής, αλλά στη θέση που εγκατέλειψε δημιουργείται μια νέα. Το αποτέλεσμα είναι σαν να μετακινήθηκε ή θετική οπή σε μια νέα θέση (εικόνα 13.7).

Ώστε σε έναν ημιαγωγό η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται στην κίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων και θετικών οπών.

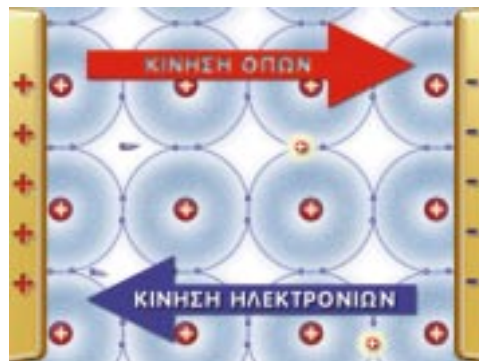
Ημιαγωγοί τύπου p και τύπου n

Είδαμε ότι η αγωγιμότητα ενός ημιαγωγού εξαρτάται έντονα από τη θερμοκρασία. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιούμε ημιαγωγούς στις εφαρμογές, για παράδειγμα στην κατασκευή ενός στερεοφωνικού ή ενός υπολογιστή, δεν θέλουμε η λειτουργία τους να επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό, αλλά και για να βελτιώσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα των ημιαγωγών, προκαλούμε τεχνητή αύξηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων ή των θετικών οπών τους. Έτσι, προκύπτουν αντίστοιχα οι ημιαγωγοί τύπου n και οι ημιαγωγοί τύπου p.

Στους ημιαγωγούς τύπου n (negative), υπάρχουν πολύ περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτία - negative) παρά οπές. Η αγωγιμότητα των αγωγών τύπου n οφείλεται κυρίως στην κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων τους. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει στους ημιαγωγούς τύπου p (positive).

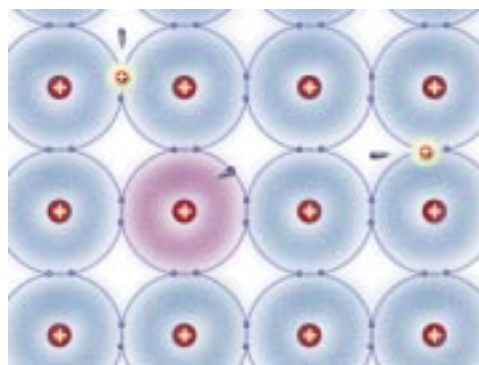
Πώς κατασκευάζονται οι ημιαγωγοί τύπου n και πώς οι τύπου p; Πώς μπορούμε να αυξήσουμε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και πώς τις θετικές οπές;

Ας προσπαθήσουμε να προβλέψουμε τι θα συμβεί αν στον κρύσταλλο του πυριτίου μερικά άτομα πυριτίου έχουν αντικατασταθούν με άτομα ενός στοιχείου που έχει πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα του, για παράδειγμα αρσενικού (As).



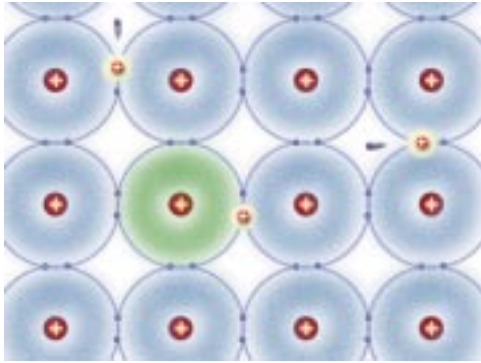
Εικόνα 13.7

Αν στα άκρα ενός ημιαγωγού εφαρμόσουμε μια ηλεκτρική τάση, τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν προς το θετικό πόλο και οι οπές προς τον αρνητικό.



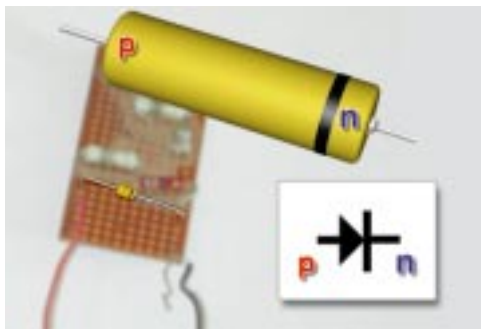
Εικόνα 13.8

Σχηματική αναπαράσταση ημιαγωγού τύπου n. Από κάθε άτομο αρσενικού, που έχει πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα, προκύπτει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο.



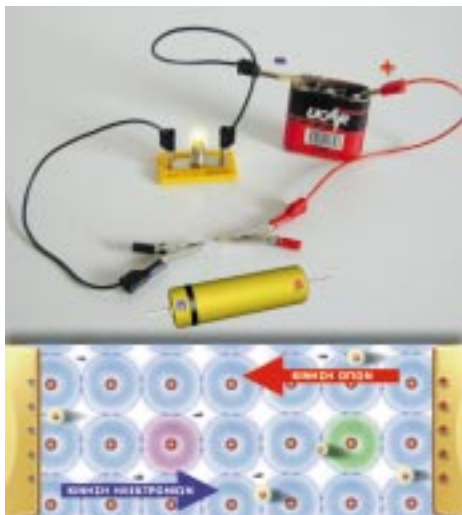
Εικόνα 13.9

Σχηματική αναπαράσταση ημιαγωγού τύπου p. Σε κάθε άτομο βορίου σχηματίζεται μια θετική οπή.



Εικόνα 13.10

Με κατάλληλη τεχνική διαδικασία είναι δυνατόν να συγκολληθεί ένας ημιαγωγός τύπου p με έναν τύπου n. Τότε προκύπτει μια κρυσταλλοδίοδος (p-n junction). Στην εικόνα δείχνεται και η συμβολική της αναπαράσταση.



Εικόνα 13.11

Όταν συνδέσουμε το θετικό πόλο της μπαταρίας με τον ημιαγωγό τύπου p της κρυσταλλοδιόδου, ο λαμπτήρας φωτοβολεί. Από τη δίοδο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα (ορθή πόλωση).

Τα τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια του αρσενικού θα σχηματίσουν κοινά ζεύγη με τα ηλεκτρόνια των γειτονικών του ατόμων πυριτίου. Το πέμπτο, που περισσεύει, αποσπάται ευκολότερα και μετατρέπεται σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο (εικόνα 13.8). Προκύπτει έτσι, ένα σημαντικό πλεόνασμα ελεύθερων ηλεκτρονίων, που προέρχεται από τα άτομα του αρσενικού.

Όστε ένας κρύσταλλος πυριτίου, στον οποίο έχουμε κάνει πρόσμιξη μικρής ποσότητας αρσενικού, είναι ένα παράδειγμα ημιαγωγού τύπου n.

Αντικαθιστούμε τώρα, πάλι μικρό αριθμό ατόμων πυριτίου, αλλά από άτομα ενός στοιχείου που έχει τρία ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα, για παράδειγμα βόριο (B).

Τότε, τα τρία ηλεκτρόνια του βορίου θα σχηματίσουν τρία κοινά ζεύγη με τα ηλεκτρόνια τριών γειτονικών του ατόμων πυριτίου. Όμως, για να συμπληρωθεί και το τέταρτο ζεύγος, λείπει ένα ηλεκτρόνιο. Δηλαδή σχηματίζεται μια θετική οπή (εικόνα 13.9).

Όστε από κάθε άτομο βορίου προκύπτει, στον κρύσταλλο, μια θετική οπή. Έτσι ο αριθμός των οπών αυξάνεται δραματικά. Ο κρύσταλλος του πυριτίου με προσμίξεις βορίου είναι ένα παράδειγμα ημιαγωγού τύπου p.

13.2 Η κρυσταλλοδίοδος

Από τη συγκόλληση ενός ημιαγωγού τύπου p με έναν τύπου n, προέκυψε η διάταξη που έμελλε να φέρει επανάσταση στην Ηλεκτρονική και στις εφαρμογές της: **η κρυσταλλοδίοδος**, ή απλά δίοδος (εικόνα 13.10). Κάθε ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή, περιέχει από μια έως πολλά εκατομμύρια κρυσταλλοδιόδους: Το ραδιοκασετόφωνο, το CD, η τηλεόραση, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, Ο αυτόματος ρυθμιστής της λειτουργίας του πλυντηρίου, του συναγερμού, κλπ.

Ποια είναι εκείνο το χαρακτηριστικό της κρυσταλλοδιόδου που άνοιξε νέους ορίζοντες στις εφαρμογές της Ηλεκτρονικής; Ή, με άλλα λόγια, πώς συμπεριφέρεται μια δίοδος όταν στα άκρα της εφαρμοστεί μια ηλεκτρική τάση;

Η απάντηση προκύπτει από το αποτέλεσμα του εξαιρετικά απλού πειράματος με το οποίο διαπιστώνουμε ότι η δίοδος επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος **μόνον** κατά τη μια φορά.

Όταν συνδέουμε το θετικό πόλο της μπαταρίας με τον

ημιαγωγό τύπου p της διόδου και τον αρνητικό πόλο με τον ημιαγωγό τύπου n , τότε η διόδος επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Η διόδος λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται ορθή πόλωση της διόδου (εικόνα 13.11, 13.3α).

Όταν συνδέσουμε το θετικό πόλο της μπαταρίας με τον ημιαγωγό τύπου n της διόδου και τον αρνητικό πόλο με τον ημιαγωγό τύπου p , τότε η διόδος δεν επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, Η διόδος λειτουργεί ως ανοικτός διακόπτης. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται ανάστροφη πόλωση της διόδου (εικόνα 13.12, 13.3β).

Αφού η διόδος επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος μόνον εφόσον η (συμβατική) φορά του είναι από τον ημιαγωγό τύπου p προς τον ημιαγωγό τύπου n , στα κυκλώματα τη συμβολίζουμε όπως δείχνει η εικόνα 13.10.

Ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης

Η ΔΕΗ μας παρέχει εναλλασσόμενη τάση. Ωστόσο, πολλές συσκευές, όπως τα κυκλώματα ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, της τηλεόρασης, του ραδιοκασετόφωνου, κλπ, λειτουργούν με τάση σταθερής πολικότητας.

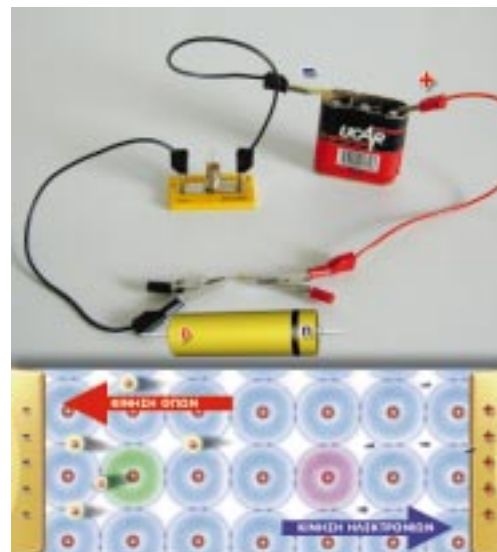
Με την κρυσταλλοδίοδο μπορούμε να μετατρέψουμε μια εναλλασσόμενη τάση σε τάση σταθερής πολικότητας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης. Η διάταξη με την οποία επιτυγχάνουμε την ανόρθωση μιας εναλλασσόμενης τάσης ονομάζεται ανορθωτής (εικόνα 13.14).

Το κύκλωμα ενός απλού ανορθωτή (ή ημιανορθωτή), παριστάνεται συμβολικά στην εικόνα 13.15. Εφαρμόζουμε μια χαμηλή εναλλασσόμενη τάση στα σημεία Α και Β (είσοδος – input – του κυκλώματος). Η ημιανορθωμένη τάση λαμβάνεται στα άκρα του αντιστάτη (έξοδος – output – του κυκλώματος).

Παρατηρούμε ότι η κυματομορφή που λαμβάνουμε στην έξοδο (στα άκρα του αντιστάτη) είναι η μισή της κυματομορφής της εναλλασσόμενης τάσης που εφαρμόζουμε στην είσοδο: Είτε όλες οι θετικές είτε όλες οι αρνητικές τιμές της τάσης εισόδου έχουν αποκοπεί.

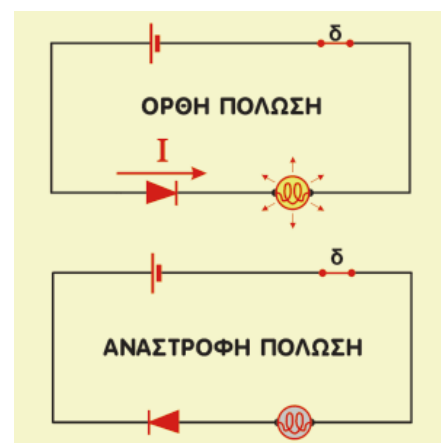
Γιατί συμβαίνει αυτό;

Σε χρόνο μιας περιόδου της εναλλασσόμενης τάσης, η διόδος λειτουργεί τη μισή περίοδο ως κλειστός διακόπτης (όταν είναι ορθά πολωμένη) και την άλλη μισή ως κλειστός (όταν είναι ανάστροφα πολωμένη).



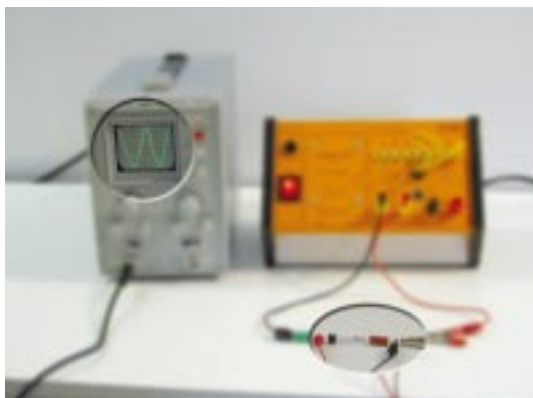
Εικόνα 13.12

Όταν συνδέσουμε το θετικό πόλο της μπαταρίας με τον ημιαγωγό τύπου n της κρυσταλλοδιόδου, ο λαμπτήρας δεν φωτίζεται. Από τη διόδο δεν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα (ανάστροφη πόλωση πόλωση).



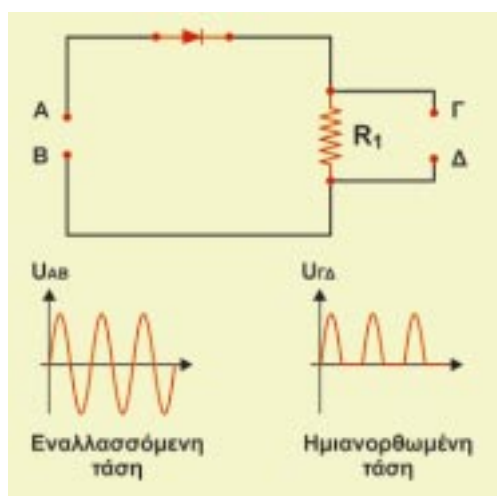
Εικόνα 13.13

Συμβολική απεικόνιση της κρυσταλλοδιόδου στο σχεδιασμό των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Το βέλος δηλώνει τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει, όταν είναι ορθά πολωμένη.



Εικόνα 13.14

Η παρεμβολή της κρυσταλλοδιόδου προκαλεί ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης.



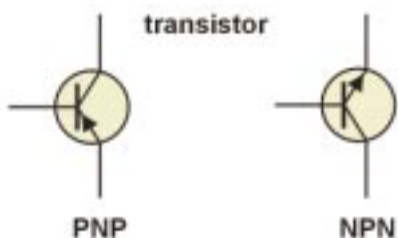
Εικόνα 13.15

Συμβολική αναπαράσταση του κυκλώματος ενός απλού ανορθωτή.



Ανόρθωση με κρυσταλλοδίοδο

- Σύνδεσε μια χαμηλή (6 – 8V) εναλλασσόμενη τάση (είσοδος) με την είσοδο Υ ενός παλμογράφου. Στην συνέχεια συνέδεσε την τάση σε σειρά με μια κρυσταλλοδίοδο και έναν αντιστάτη.
- Σύνδεσε τα άκρα του αντιστάτη (έξοδος) με την είσοδο Υ ενός παλμογράφου.
- Σύγκρινε την κυματομορφή που παρατηρείς στην οθόνη του παλμογράφου με την τάση εισόδου.



Εικόνα 13.16

Το βέλος είναι στον εκπομπό και δείχνει τη συμβατική φορά του ρεύματος

Κρυσταλοτρίοδος – Τρανζίστορ

Ένα τρανζίστορ – κρυσταλλοτρίοδος αποτελείται από ένα στρώμα ημιαγωγού ενός τύπου τοποθετημένου ανάμεσα σε δυο στρώματα του αντίθετου τύπου. Έτσι ένα *n*pn τρανζίστορ αποτελείται από ημιαγωγούς τύπου *n* που περιβάλλουν ένα λεπρό στρώμα τύπου *p*. Αν η περιοχή στο κέντρο είναι τύπου *n* τότε προκύπτει ένα τρανζίστορ *pnp*. Σε κάθε περίπτωση το κεντρικό στρώμα ονομάζεται βάση ενώ οι δυο περιβάλλουσες περιοχές είναι ο εκπομπός και ο συλλέκτης (εικόνα 13.16).

Τα τρανζίστορ χρησιμοποιούνται ως ενισχυτές σχεδόν σε κάθε ηλεκτρονική συσκευή. Σ' ένα ραδιόφωνο, συσκευή τηλεόρασης ή ηλεκτρονικό υπολογιστή μικρές τάσεις ή ρεύματα μετατρέπονται σε μεγαλύτερα στο κύκλωμα συλλέκτη εκπομπού (εικόνα 13.17).

Σε κάποιες περιπτώσεις τρανζίστορ είναι δυνατόν να συνδέονται μεταξύ τους ώστε να εκτελούν λογικές πράξεις ή να προσθέτουν αριθμούς. Τότε βέβαια δεν δρουν ως ενισχυτές αλλά ως πολύ γρήγοροι διακόπτες.



Εικόνα 13.17



Η δίοδος που φωτοβολεί (LED: Light-Emitting Diode)

Μερικές δίοδοι, ειδικής κατασκευής έχουν την ιδιότητα να ακτινοβολούν από την περιοχή επαφής των ημιαγωγών τους p και n, όταν η τάση στα άκρα τους ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή (για παράδειγμα 2V). Τις δίοδους αυτές τις ονομάζουμε LED.

Στις δίοδους αυτές ένα μέρος της ενέργειας του ηλεκτρικού ρεύματος που τις διαρρέει μετατρέπεται σε ενέργεια ορατής ακτινοβολίας.

Συνήθως οι LED χρησιμοποιούνται ως ενδεικτικές λυχνίες λειτουργίας ηλεκτρονικών διατάξεων ενώ σπανιότερα, για την παράσταση αριθμών σε αριθμομηχανές, ρολόγια κλπ.

Η τάση στα άκρα μιας LED, δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή, γιατί καταστρέφεται. Έτσι, συνδέουμε πάντοτε σε σειρά με τη δίοδο έναν προστατευτικό αντιστάτη (R).

Ο αντιστάτης LDR (Light - Dependent Resistor)

Όταν σε ορισμένους ημιαγωγούς προσπίπτει ορατή ακτινοβολία, η αντίστασή τους μειώνεται.

Γιατί συμβαίνει αυτό;

Πολλά από τα φωτόνια της ακτινοβολίας συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια που συνδέουν τα άτομα του ημιαγωγού στο κρυσταλλικό πλέγμα του. Η ενέργεια που μεταφέρεται με τον τρόπο αυτό στα ηλεκτρόνια μπορεί να τα αποδεσμεύσει από τα άτομα που ανήκουν. Τότε δημιουργούνται πρόσθετα ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικές



Φωτογραφία LED.



Η αντίσταση ενός LDR μειώνεται όταν φωτίζεται.

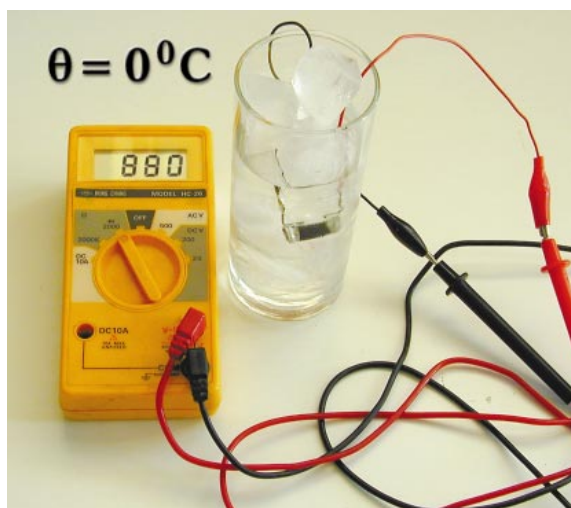
οπές, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας του ημιαγωγού, δηλαδή τη μείωση της αντίστασής του.

Η αντίσταση ενός LDR μπορεί να κυμαίνεται, για παράδειγμα από $10\text{M}\Omega$ στο σκοτάδι έως 100Ω όταν εκτίθεται στο ηλιακό φως. Έτσι, αν μεταβάλλουμε την ένταση του φωτός που προσπίπτει στο LDR, του διπλανού κυκλώματος, η αντίστασή του θα μεταβληθεί. Η μεταβολή της αντίστασης θα προκαλέσει μεταβολή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, δηλαδή μεταβολή στην ένδειξη του αμπερομέτρου.

Τα LDR χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οργάνων μέτρησης της έντασης του φωτός, για την αυτόματη ρύθμιση φωτογραφικών μηχανών κλπ.



Η αντίσταση ενός LDR αυξάνεται όταν μειώνεται η ένταση του φωτός που προσπίπτει σ' αυτό.



Η αντίσταση ενός thermistor μειώνεται δραστικά όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.

σιάζουν σημαντική μεταβολή της αντίστασής τους με τη θερμοκρασία, ονομάζονται thermistor.

Αν σε ένα κύκλωμα όπως το εικονιζόμενο, αυξήσουμε τη θερμοκρασία του thermistor, η αντίστασή του θα ελαττωθεί και θα προκαλέσει αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, που μετράμε με το αμπερόμετρο.

Τα thermistor χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτρονικών θερμομέτρων, ως προστατευτικοί ή ρυθμιστικοί αντιστάτες, κλπ.

To thermistor

Είδαμε ότι όταν αυξάνουμε τη θερμοκρασία ενός ημιαγωγού, η αγωγιμότητά του μεγαλώνει. Δηλαδή η αντίστασή του ελαττώνεται.

Αυτό συμβαίνει γιατί με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η κινητική ενέργεια των ατόμων με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ηλεκτρονίων από περισσότερα άτομα. Έτσι ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων και των θετικών οπών που δημιουργούνται στον κρύσταλλο του ημιαγωγού αυξάνεται. Το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από τον ημιαγωγό ευκολότερα. Οι ημιαγωγοί που παρου-

