

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ - ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

1.1 Το Ηλεκτρικό φορτίο

Το **ηλεκτρικό φορτίο** είναι χαρακτηριστικό των στοιχειωδών σωματιδίων της ύλης. Ο πυρήνας ενός ατόμου είναι θετικά φορτισμένος και τα ηλεκτρόνια (e) που τον περιβάλλουν, αρνητικά.

Μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου είναι το **Κουλόμπ (Cb)**, το οποίο ισούται με το συνολικό φορτίο $6,2 \times 10^{18}$ ηλεκτρονίων, δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο έχει φορτίο ίσο με $1,6 \times 10^{-19}$ Cb. Το ηλεκτρικό φορτίο ενός πρωτονίου του πυρήνα είναι ίσο με το φορτίο του ηλεκτρονίου.

Ιδιότητες ηλεκτρικού φορτίου

α) Το ηλεκτρικό φορτίο είναι μία ποσότητα που **διατηρείται**, δηλαδή σε οποιαδήποτε αλληλεπίδραση ο ολικός αριθμός των φορτίων πριν και μετά από αυτήν, διατηρείται σταθερός.

β) Το ηλεκτρικό φορτίο **υπάρχει** μόνο σε διακριτές οντότητες, **ακέραια πολλαπλάσια** του **φορτίου του ηλεκτρονίου (e^-)** για το αρνητικό φορτίο **και του πρωτονίου** για το θετικό.

Όταν λέμε ότι ένα σώμα είναι **αρνητικά φορτισμένο** εννοούμε ότι ο αριθμός των ηλεκτρονίων σε αυτό είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των πρωτονίων. Αντίστοιχα, σε ένα **θετικά φορτισμένο** σώμα ο αριθμός των ηλεκτρονίων του είναι μικρότερος από τον αριθμό των πρωτονίων. Τέλος, όταν λέμε ότι το σώμα είναι **ουδέτερα φορτισμένο**, εννοούμε ότι ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων.

Τα σώματα που φέρουν **ετερόσημο** ("ετερόνυμο") ηλεκτρικό φορτίο **έλκονται**, ενώ σώματα που φέρουν **ομόσημο** ("ομώνυμο") ηλεκτρικό φορτίο **απωθούνται**.

1.2 Ηλεκτρικό Πεδίο – Δυναμικό - Διαφορά Δυναμικού (Τάση)

Ο χώρος που περιβάλλει ένα ηλεκτρικό φορτίο έχει μια ιδιότητα που λέγεται **ηλεκτρικό πεδίο**. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί μια δύναμη επάνω σε άλλα ηλεκτρικά φορτισμένα αντικείμενα.

Όταν μία ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, ασκούνται πάνω του ηλεκτροστατικές δυνάμεις. Αυτό σημαίνει ότι έχει κάποια **δυναμική ενέργεια**. Στη συνέχεια μπορεί από την επίδραση αυτών των δυνάμεων να κινηθεί, να αποκτήσει δηλαδή κινητική ενέργεια. Από πού όμως την απέκτησε αυτήν την ενέργεια; Η κινητική ενέργεια προέρχεται από την δυναμική ενέργεια που έχει το φορτίο / φορτισμένο σώμα όταν βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο.

Αν θέλουμε να περιγράψουμε ένα μέγεθος που να είναι ανεξάρτητο του φορτίου σε ένα σημείο του ηλεκτρικού πεδίου, αλλά να χαρακτηρίζει το πεδίο αυτό καθ' αυτό, τότε χρησιμοποιούμε ένα μέγεθος, που ονομάζεται **δυναμικό**.

ΟΡΙΣΜΟΣ:

Ηλεκτρικό δυναμικό (V) σε ένα σημείο του χώρου ενός ηλεκτρικού πεδίου, είναι η ενέργεια που απαιτείται ανά μονάδα ηλεκτρικού φορτίου, για τη μεταφορά του ηλεκτρικού φορτίου, από το σημείο αυτό σε ένα σημείο εκτός ηλεκτρικού πεδίου (θεωρητικά στο άπειρο) ή σε ένα σημείο με μηδενικό δυναμικό.

Μονάδα μέτρησης του δυναμικού είναι το **Volt (V)**.

ΟΡΙΣΜΟΣ:

Διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων, είναι η διαφορά των δυναμικών τους. Η διαφορά δυναμικού συμβολίζεται με ΔV , ή με V

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

όπου V_{AB} η διαφορά δυναμικού του A από το B, V_A το ηλεκτρικό δυναμικό στο A και V_B το ηλεκτρικό δυναμικό στο B.

Μετρίεται όπως και το ηλεκτρικό δυναμικό σε **Volt (V)**.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΣΗ

Ηλεκτρική τάση, ή απλώς **τάση**, ονομάζεται η απόλυτη τιμή της διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ δύο σημείων. Συνήθως χρησιμοποιείται για την περιγραφή της διαφοράς δυναμικού στα άκρα μιας συσκευής ή ηλεκτρονικού κυκλώματος.

Η διαφορά δυναμικού είναι η αιτία της κίνησης των φορτίων μέσα στο υλικό, δηλαδή η αιτία του **ηλεκτρικού ρεύματος**. Τα ηλεκτρικά φορτία κινούνται μεταξύ δυο σημείων ενός υλικού όπου υπάρχει διαφορά δυναμικού.

ΠΗΓΕΣ ΤΑΣΗΣ

Η πιο κοινή πηγή διαφοράς δυναμικού είναι η μπαταρία. Όταν δηλαδή συνδέσουμε τους δυο πόλους της μπαταρίας με ένα σύρμα, θα παρατηρήσουμε την έλευση ηλεκτρικού ρεύματος στο σύρμα. Στην μπαταρία, η διαφορά δυναμικού δημιουργείται από χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν μέσα στην μπαταρία μεταξύ των συστατικών της. Άλλες πηγές τάσης είναι οι κάθε είδους γεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κ.ά.

1.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα – Δομή ατόμου – Κατηγορίες υλικών

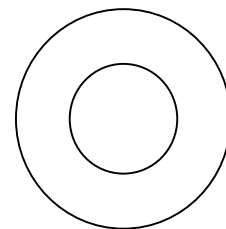
Το φυσικό μέγεθος που εκφράζει την ευκολία με την οποία ένα υλικό επιτρέπει στα ηλεκτρικά φορτία να κινούνται στο εσωτερικό του, ονομάζεται **ηλεκτρική αγωγιμότητα**. Ανάλογα λοιπόν με την τιμή της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας, ένα υλικό χαρακτηρίζεται ως *αγωγός*, *μονωτής* ή *ημιαγωγός*.

Αγωγός είναι κάθε υλικό το οποίο αφήνει τα ηλεκτρικά φορτία να περνούν ελεύθερα από μέσα του. Μερικοί αγωγοί του ηλεκτρισμού είναι τα μέταλλα, το ανθρώπινο σώμα και η γη.

Μονωτής (ή διηλεκτρικό) είναι κάθε υλικό το οποίο δεν επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του ηλεκτρικού φορτίου από το σώμα του. Τέλειοι μονωτές που να απαγορεύουν εντελώς τη διέλευση του ηλεκτρικού φορτίου από μέσα τους δεν υπάρχουν, αλλά μερικά υλικά τις περισσότερες φορές συμπεριφέρονται σαν τέλειοι μονωτές. Τέτοια είναι τα πλαστικά, το γυαλί και ο εβονίτης.

Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που επιτρέπει να περνά το ηλεκτρικό φορτίο από μέσα του με κάποιες προϋποθέσεις, όπως αύξηση της θερμοκρασίας ή πρόσπτωση φωτός. Τέτοια υλικά είναι το γερμάνιο και το πυρίτιο.

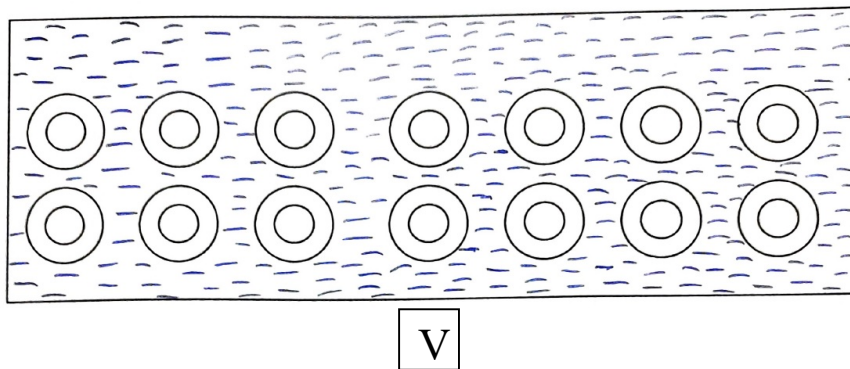
Τα υλικά, ως γνωστό, αποτελούνται από άτομα. Τα άτομα αποτελούνται από τον πυρήνα, γύρω από τον οποίο γυρνάνε τα ηλεκτρόνια.



Στους **αγωγούς**, και κυρίως στα μέταλλα, πολλά από τα ηλεκτρόνια έχουν «φύγει» από τα άτομα και βρίσκονται μέσα στο υλικό «ελεύθερα». Τα ηλεκτρόνια αυτά, **αν βρεθούν σε ηλεκτρικό πεδίο**, δηλαδή εφαρμόσουμε διαφορά δυναμικού (τάση) στα άκρα του αγωγού θα αρχίσουν να κινούνται στην κατεύθυνση που ορίζει το ηλεκτρικό πεδίο. Ακόμα και πολύ μικρή τάση αν εφαρμόσουμε στον αγωγό, τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να κινηθούν και να **έχουμε** επομένως **ηλεκτρικό ρεύμα**.

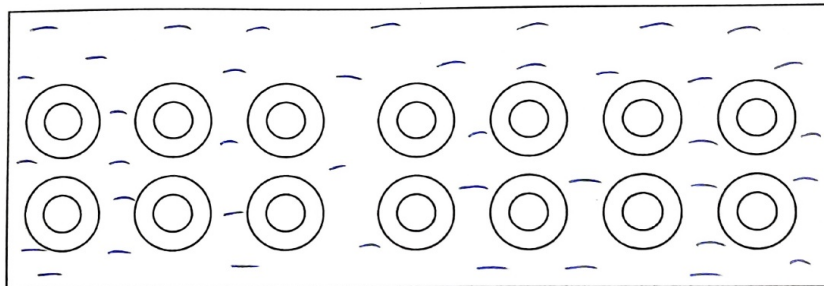
Στους **μονωτές**, αντίθετα, **δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια**. Γι' αυτό και μόνο για υπερβολικά υψηλές τιμές τάσεις μπορεί να υπάρξει κάποιο μικρό ηλεκτρικό ρεύμα. Τέλος, στους **ημιαγωγούς** μπορούν να δημιουργηθούν ελεύθερα ηλεκτρόνια, αλλά μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες (υψηλή θερμοκρασία, ακτινοβολία).

ΑΓΩΓΟΣ:

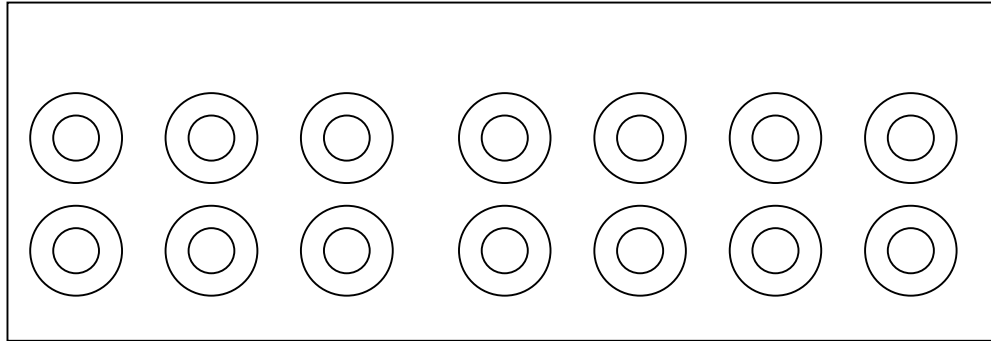


Ένας αγωγός έχει **πολλά** ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αν βρεθούνε υπό τάση (V), τότε κινούνται προς την κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου.

ΗΜΙΑΓΩΓΟΣ:



Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε έναν ημιαγωγό είναι **πολύ** μικρότερος σε σχέση με τους αγωγούς.

ΜΟΝΩΤΗΣ:

Στους μονωτές **δεν υπάρχουν** ελεύθερα ηλεκτρόνια.

1.3 Ηλεκτρικό Ρεύμα – Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος

Σε ένα υλικό λέμε ότι περνάει **ηλεκτρικό ρεύμα** όταν ηλεκτρικό φορτίο Q μεταφέρεται από ένα σημείο του υλικού σε ένα άλλο.

ΟΡΙΣΜΟΣ:

Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων ή φορέων ηλεκτρικού φορτίου.

Από τον ορισμό του ηλεκτρικού ρεύματος προκύπτει ότι για να εμφανιστεί χρειάζονται δύο προϋποθέσεις:

- Η **ύπαρξη φορέων** ηλεκτρικού φορτίου με ελευθερία κίνησης.
- **Αίτιο** για την προσανατολισμένη κίνηση των φορέων, δηλαδή κάποια διαφορά δυναμικού (τάση).

Συνήθως οι φορείς ηλεκτρικού φορτίου είναι ελεύθερα ηλεκτρόνια μεταλλικών αντικειμένων, όπως στα καλώδια.

Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ενέργεια, την **ηλεκτρική ενέργεια**

Το μέγεθος που μετράει το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η **ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος**, που ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολής του ηλεκτρικού φορτίου με τον χρόνο. Δηλαδή έχουμε:

$$I \text{ (Amperes)} = \Delta Q \text{ (Coulombs)} / \Delta t \text{ (seconds)}$$

Αυτό που μας λέει ο ορισμός αυτός είναι ότι όσο πιο πολύ φορτίο μεταφέρεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα μέσα στο υλικό, τόσο μεγαλύτερο είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που περνάει από μέσα του. Ποιοτικά, το ηλεκτρικό ρεύμα, μας δείχνει τον αριθμό

των φορτίων που περνάνε από μια διατομή του αγωγού κάθετη στην κατεύθυνση του ρεύματος, μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα. Αν π.χ. το ρεύμα σε έναν αγωγό είναι σταθερό, τότε ανά, π.χ., 60 sec (= 1 λεπτό) θα περνά ο ίδιος αριθμός φορτίων από την διατομή μας. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μετριέται σε **Ampere (A)**.

Η **φορά** του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η φορά κίνησης των φορτίων η οποία δεν ταυτίζεται πάντα με τη φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Επομένως, υπάρχουν δύο φορές που χαρακτηρίζουν το ηλεκτρικό ρεύμα:

- Η **φορά της έντασης** του ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία δείχνει τη φορά μείωσης του δυναμικού και ονομάζεται **συμβατική φορά**.
- Η **φορά του ηλεκτρικού ρεύματος**, η οποία είναι η φορά κίνησης των φορτίων, για αυτό ονομάζεται και **πραγματική φορά**. Η πραγματική φορά εξαρτάται από το είδος των φορτίων του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή από το αν είναι θετικά ή αρνητικά.

Είδη Ηλεκτρικού Ρεύματος

Ανάλογα με την εξάρτηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος με το χρόνο διακρίνουμε το ηλεκτρικό ρεύμα σε διάφορα είδη. Υπάρχουν δύο κύρια είδη ηλεκτρικού ρεύματος:

Συνεχές ρεύμα (Direct Current – D.C.) είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που έχει μία συγκεκριμένη φορά. Συνήθως το συνεχές ρεύμα έχει **σταθερό μέτρο έντασης**, με το οποίο λειτουργούν τα περισσότερα κυκλώματα και το οποίο παράγουν οι μπαταρίες. Αυτά τα κυκλώματα είναι μικρά ηλεκτρικά κυκλώματα ή ηλεκτρονικά κυκλώματα. Επειδή έχει σταθερή ένταση, υποχρεωτικά **παράγεται από σταθερή τάση**, δεδομένου ότι το κύκλωμα δεν αλλάζει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου.

Εναλλασσόμενο ρεύμα (Alternating Current – A.C.) είναι το ρεύμα στο οποίο εναλλάσσεται η φορά, δηλαδή η φορά αλλάζει περιοδικά με το χρόνο. Είναι το ρεύμα που παράγουν οι γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος, και το ρεύμα που μας παρέχει το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ (πρώην ΔΕΗ).

1.4 Νόμος του Ohm

Σε κάποιο υλικό, όταν ρέει μέσα του ηλεκτρικό ρεύμα, η κίνηση των φορτίων επηρεάζεται από την **αντίσταση** του υλικού. Η αντίσταση αυτή εξαρτάται από τη φύση του υλικού του αγωγού, αλλά και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (μήκος, πάχος). Η αντίσταση (Resistance) συμβολίζεται με το γράμμα R και μετριέται σε Ω (ωμ).
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ 6 ΤΣΙΑΡΑΠΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Ποιοτικά, η αντίσταση δείχνει πόσο εύκολα (ή δύσκολα) κυκλοφορούν τα φορτία μέσα στο υλικό. Μεγαλύτερη (μικρότερη) αντίσταση αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη (μικρότερη) δυσκολία μετακίνησης των φορτίων μέσα στο υλικό.

Ο **Νόμος του Ohm** συνδέει την διαφορά δυναμικού (V) με το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα (I) και την αντίσταση (R) του υλικού στο οποίο κινούνται τα φορτία ως εξής:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ OHM}$$

Αυτός ο νόμος μας λέει ότι όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων ενός αγωγού αντίστασης R, τόσο πιο πολύ θα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που διαπερνά τον αγωγό αυτόν (για R σταθερή).

Παράλληλα, όσο πιο μεγάλη είναι η αντίσταση ενός αγωγού, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων του ώστε να μπορεί να παραχθεί ρεύμα σταθερής έντασης I.

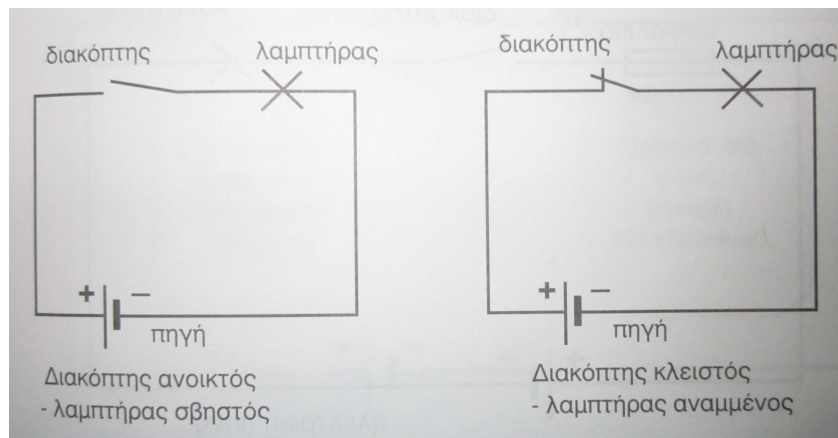
Τέλος, για σταθερή διαφορά δυναμικού V, όσο πιο μεγάλη είναι η αντίσταση ενός αγωγού, τόσο πιο μικρό θα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει.

1.6 Το ηλεκτρικό κύκλωμα – Βασικά Σύμβολα

Ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα φαίνεται στο Σχήμα 1. Αποτελείται από:

- α) Μια **πηγή** ηλεκτρικού ρεύματος (π.χ. μια μπαταρία)
- β) Μία **συσκευή** που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια (στο σχήμα εδώ έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα)
- γ) Τους **αγωγούς** σύνδεσης (δηλ. τα καλώδια για να τα ενώσουμε μεταξύ τους)
- δ) Έναν **διακόπτη**

Στο σχήμα 1α ο διακόπτης είναι **ανοικτός**, οπότε **δεν κυκλοφορεί ρεύμα** στο κύκλωμα, και ο λαμπτήρας **δεν ανάβει**. Στο σχήμα 1β ο διακόπτης είναι **κλειστός**, οπότε **κυκλοφορεί ρεύμα** στο κύκλωμα, και ο λαμπτήρας **ανάβει**.



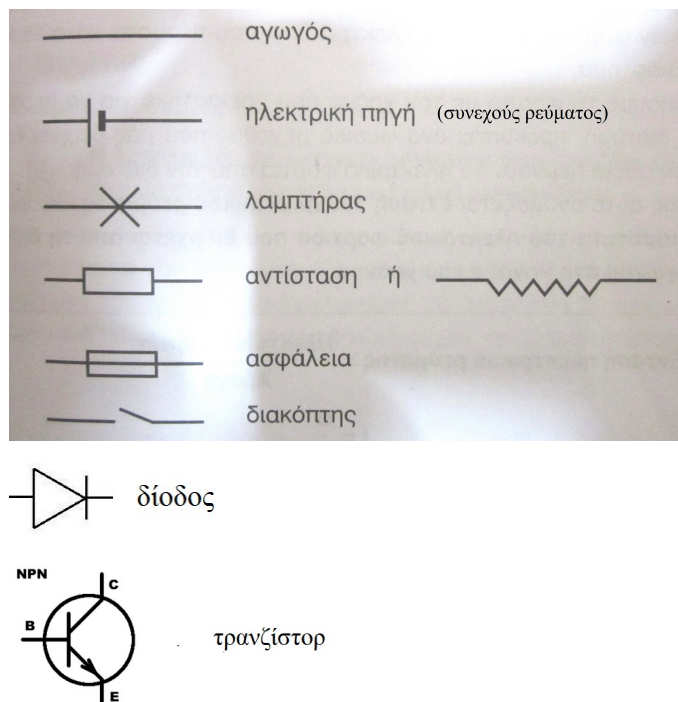
ΣΧΗΜΑ 1.

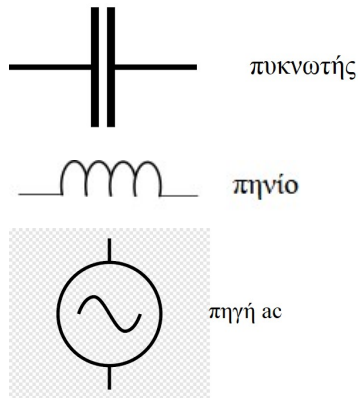
(α)

(β)

Σκοπός της λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κυκλώματος είναι η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε μια συσκευή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συσκευές κατανάλωσης μπορεί να είναι ο λαμπτήρας που είδαμε στο παράδειγμα, μια αντίσταση, μια ηλεκτρική θερμάστρα, ένας ανεμιστήρας κ.ά.

Τα πιο βασικά σύμβολα που χρησιμοποιούμε όταν σχεδιάζουμε ή αναπαριστάουμε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι τα εξής:



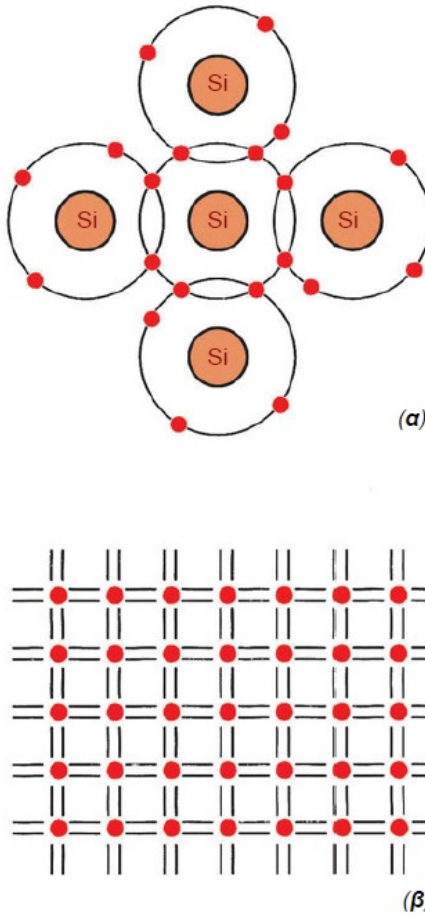


2.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί

Οι πλέον κοινοί ημιαγωγοί είναι το **πυρίτιο (Si)** και το **γερμάνιο (Ge)**. Αυτά τα δύο στοιχεία βρίσκονται στην τέταρτη στήλη του περιοδικού πίνακα και έχουν αρκετές ιδιότητες που είναι κοινές με εκείνες του άνθρακα. Έχουν τέσσερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα και κάθε ένα από αυτά τα ηλεκτρόνια συνδέεται με ένα ηλεκτρόνιο από κάθε κοντινό γειτονικό άτομο, δηλαδή σχηματίζουν τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς. Έτσι κάθε άτομο αποκτά οκτώ ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα που επιτρέπει το σχηματισμό σταθερών δεσμών και το σχηματισμό κρυστάλλων στους οποίους τα άτομα βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις.

Στο σχήμα 2.1.1α απεικονίζεται η δημιουργία των ομοιοπολικών δεσμών πυριτίου ή γερμανίου με τη συνεισφορά των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας ενώ στο σχήμα 2.1.1 β απεικονίζεται, σε δυο διαστάσεις, η δομή κρυστάλλου τους.

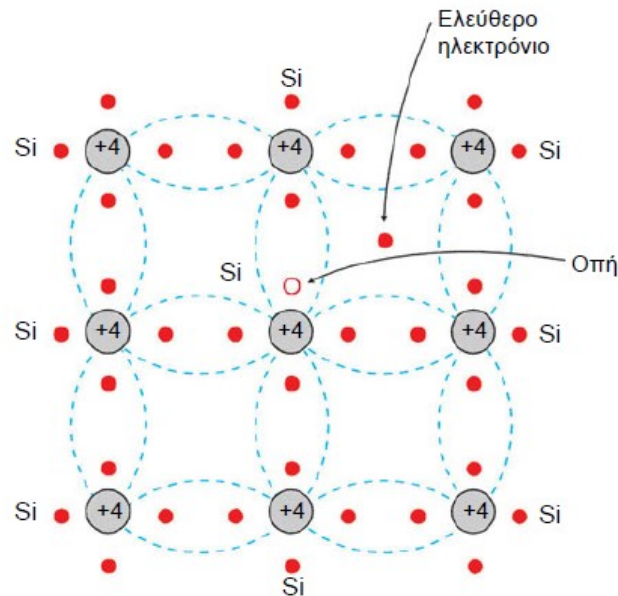
Όταν τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας δεν μπορούν να απομακρυνθούν από τα άτομα δεν θα υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στο υλικό και συνεπώς δεν είναι δυνατή και η διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτό. Σε αυτή λοιπόν την περίπτωση το υλικό συμπεριφέρεται σαν μονωτής.

**Σχήμα 2.1.1**

(α) Η δημιουργία των τεσσάρων ομοιοπολικών δεσμών με συνεισφορά ηλεκτρονίων και
 (β) αναπαράσταση του κρυστάλλου πυριτίου ή γερμανίου

Στο πυρίτιο και το γερμάνιο, λόγω μεγέθους των ατόμων, η σύνδεση των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας με το άτομο είναι χαλαρότερη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε θερμοκρασία δωματίου, κάποια από τα ηλεκτρόνια να απομακρυνθούν με θερμικό τρόπο από τα άτομα (βλέπε σχ. 2.1.2) και να κινηθούν ελεύθερα μέσα στον κρύσταλλο του ημιαγωγού μέχρις ότου να συναντήσουν κάποιο άλλο άτομο από το οποίο λείπει ένα ηλεκτρόνιο.

Η κίνηση που εκτελούν αυτά τα ηλεκτρόνια είναι εντελώς τυχαία με αποτέλεσμα το μέσο ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στον ημιαγωγό να είναι μηδέν. Αν στον ημιαγωγό εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο, με τη βοήθεια μιας εξωτερικής ηλεκτρικής πηγής, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια θα κινηθούν υπό την επίδραση του πεδίου με αποτέλεσμα να διέλθει μέσα από τον ημιαγωγό ένα ηλεκτρικό ρεύμα.



Σχήμα 2.1.2

Αναπαράσταση ενός ηλεκτρονίου σθένους που έχει απομακρυνθεί και μπορεί να κινηθεί ελεύθερα

Το μητρικό άτομο που έχει χάσει, λόγω θερμικής διέγερσης, ένα ηλεκτρόνιο παύει να είναι ηλεκτρικά ουδέτερο και αποκτά θετικό φορτίο. Επειδή το άτομο αυτό δεν μπορεί να μετακινηθεί, το έλλειμμα του αρνητικού φορτίου μπορεί να αντισταθμιστεί με "δανεισμό" ενός ηλεκτρονίου από ένα γειτονικό άτομο, το οποίο στη συνέχεια θα αποκτήσει θετικό φορτίο. Αυτό μπορεί να επαναληφθεί στη συνέχεια με ένα άλλο γειτονικό άτομο κ.ο.κ.

Σε ένα ομογενές υλικό όλα τα άτομα και τα ηλεκτρόνια είναι ίδια και όπως προαναφέρθηκε το έλλειμμα ηλεκτρονίου, δηλαδή το θετικό φορτίο, μετακινείται με τυχαίο τρόπο, όπως τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αυτό το "ελεύθερα" κινούμενο θετικό φορτίο ονομάζεται **οπή (hole)**. Η κίνηση μιας οπής θα διακοπεί όταν "επανασυνδεθεί" με ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και αλληλοεξουδετερωθούν. Αυτή η επανασύνδεση είναι η δέσμευση του ελεύθερου ηλεκτρονίου από ένα άτομο το οποίο έχει έλλειμμα ηλεκτρονίου. Όταν εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο, η οπή θα κινηθεί με κατεύθυνση αντίθετη από εκείνη του ηλεκτρονίου. Έτσι σε ένα καθαρό ημιαγωγό, του οποίου όλα τα άτομα είναι ίδια, το ηλεκτρικό ρεύμα που το διαρρέει, έχει δύο συνιστώσες: ενός ρεύματος ηλεκτρονίων και ενός ρεύματος οπών. Επιπλέον σε ένα καθαρό ημιαγωγό ο

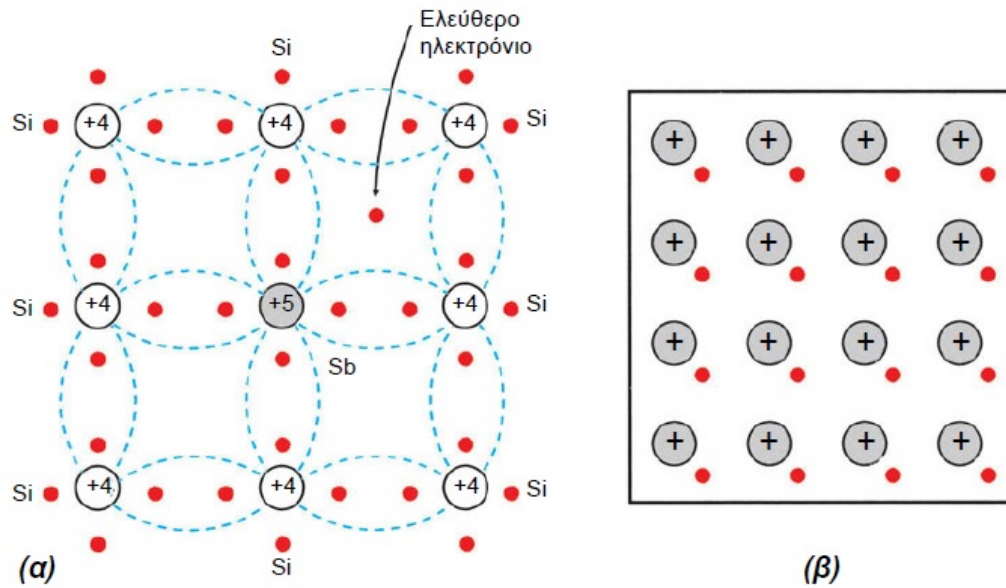
αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ελεύθερων οπών. Ένας τέτοιος ημιαγωγός ονομάζεται **ενδογενής ημιαγωγός**.

2.2 Ημιαγωγοί προσμίξεων (εξωγενείς)

Οι ενδογενείς ημιαγωγοί έχουν ίσες συγκεντρώσεις ηλεκτρονίων και οπών, γι' αυτό το λόγο οι εφαρμογές τους είναι περιορισμένες και καθορίζονται από το ότι η αντίστασή τους μεταβάλλεται πολύ έντονα όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ή όταν φωτίζονται. Αν σε έναν ενδογενή ημιαγωγό προστεθεί μια πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της τρίτης ή της πέμπτης ομάδας του περιοδικού πίνακα, ο ημιαγωγός αποκτά προσμίξεις. Σε ένα τέτοιο ημιαγωγό, όπου οι προσμίξεις καθορίζουν τις συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών, ο ημιαγωγός παύει να είναι ενδογενής. Επειδή οι συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών καθορίζονται πλέον από έναν εξωγενή παράγοντα, δηλαδή τις προσμίξεις, ο ημιαγωγός ονομάζεται και **εξωγενής ημιαγωγός**. Το είδος των προσμίξεων που θα χρησιμοποιηθεί θα καθορίσει αν η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη των οπών ή αντίθετα. Στην πρώτη περίπτωση ο ημιαγωγός καλείται **τύπου N** και στη δεύτερη **τύπου P**, από το γεγονός ότι τα φορτία που άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ηλεκτρόνια, δηλ. αρνητικά (Negative) ή οπές δηλ. θετικά (Positive), αντίστοιχα.

Ημιαγωγοί τύπου n

Οι ημιαγωγοί **τύπου N** δημιουργούνται όταν σε ένα ημιαγωγό όπως το πυρίτιο ή το γερμάνιο προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της πέμπτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Τα στοιχεία που συνήθως χρησιμοποιούνται ως προσμίξεις είναι το **αρσενικό**, ο **φώσφορος** και το **αντιμόνιο**. Τα άτομα της πρόσμιξης ενσωματώνονται στην κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού, καταλαμβάνουν θέσεις των ατόμων του και σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς με τα γειτονικά άτομα. Επειδή τα άτομα της πέμπτης ομάδας του περιοδικού πίνακα έχουν πέντε ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους, όταν καταλάβουν μία θέση σε ένα άτομο του ημιαγωγού θα χρησιμοποιήσουν τα τέσσερα για το σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών και θα παραμείνει αδιάθετο ένα ηλεκτρόνιο, το οποίο θα περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα της πρόσμιξης. Το ηλεκτρόνιο αυτό μπορεί, σε θερμοκρασία δωματίου, να απομακρυνθεί πολύ πιο εύκολα από ότι ένα ηλεκτρόνιο στον ενδογενή ημιαγωγό (βλέπε σχ. 2.2.1).

**Σχήμα 2.2.1**

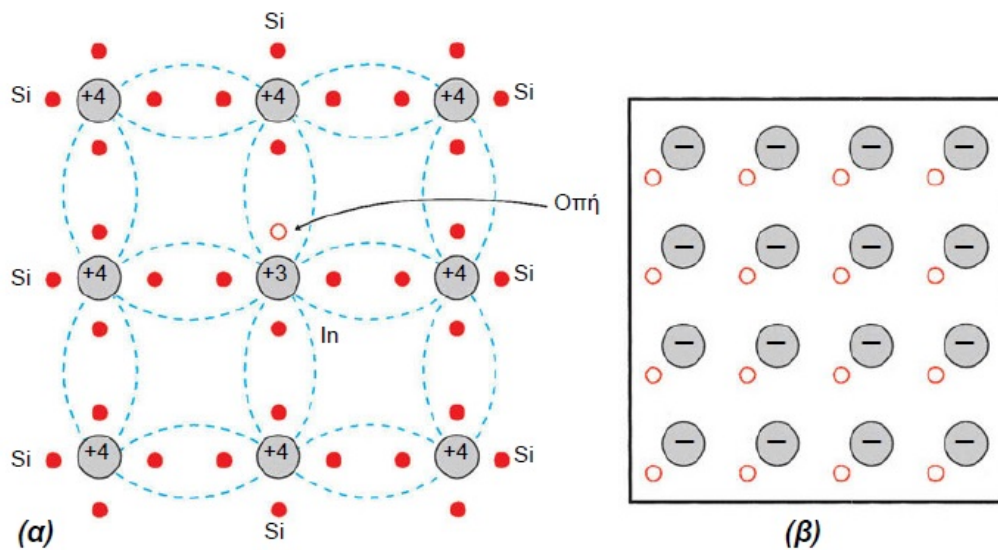
Κρυσταλλικό πλέγμα γερμανίου όπου ένα άτομο έχει αντικατασταθεί με ένα άτομο αντιμονίου. (α) Δομή δεσμών (β) Μακροσκοπική μορφή

Επειδή το πεντασθενές στοιχείο πρόσμιξης "δίνει" στον ημιαγωγό ηλεκτρόνια, ονομάζεται **δότης**. η προσθήκη δοτών έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια και πολύ λίγες οπές στον ημιαγωγό. Συνεπώς, σε ένα ημιαγωγό τύπου N το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται κυρίως από ένα είδος φορτίων, τα ηλεκτρόνια, τα οποία ονομάζονται και φορείς **πλειονότητας** ή **πλειοψηφίας**. Αντίθετα οι οπές στους ημιαγωγούς τύπου P ονομάζονται φορείς **μειονότητας** ή **μειοψηφίας**. Τέλος, η αύξηση της συγκέντρωσης των δοτών σε ένα ημιαγωγό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων και συνεπώς της αγωγιμότητας του.

Ημιαγωγοί τύπου p

Οι ημιαγωγοί **τύπου P** δημιουργούνται όταν σε ένα ημιαγωγό όπως, το πυρίτιο ή το γερμάνιο, προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται συνήθως ως προσμίξεις είναι το **βόριο**, το **γάλλιο** και το **ίνδιο**. Τα άτομα της πρόσμιξης καταλαμβάνουν θέσεις των ατόμων του ημιαγωγού. Επειδή τα άτομα της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα έχουν τρία ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους, όταν καταλάβουν μία θέση ενός ατόμου του

ημιαγωγού, θα χρησιμοποιήσουν όλα τα ηλεκτρόνια σθένους για το σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών. Έτσι θα παραμείνει ένα γειτονικό άτομο του ημιαγωγού, το οποίο θα απαιτεί ένα ηλεκτρόνιο για να σχηματίσει την πλήρη δομή των οκτώ ηλεκτρονίων στην εξωτερική στιβάδα του. Το απαιτούμενο ηλεκτρόνιο αυτό θα το "δανειστεί" από κάποιο γειτονικό άτομο του ημιαγωγού. Το ηλεκτρόνιο που θα καταλάβει, με αυτό τον τρόπο, την κενή θέση θα ιονίσει με αρνητικό φορτίο το άτομο της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Η διαδικασία αυτή αντιστοιχεί με την «απελευθέρωση» μιας οπής και επειδή τα άτομα αυτά αποδέχονται ένα ηλεκτρόνιο ονομάζονται **αποδέκτες** (βλέπε σχ. 2.2.2).



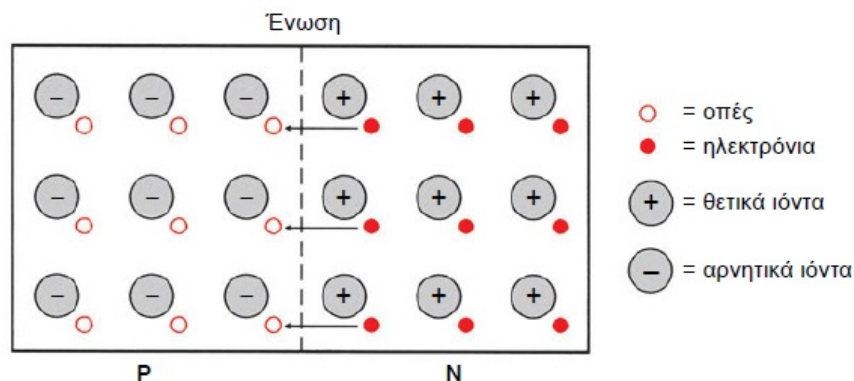
Σχήμα 2.2.2

Κρυσταλλικό πλέγμα γερμανίου όπου ένα άτομο έχει αντικατασταθεί με ένα άτομο ινδίου.
(α) Δομή δεσμών (β) Μακροσκοπική μορφή

Η προσθήκη αποδεκτών έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές οπές και πολύ λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια στον ημιαγωγό. Σε ένα ημιαγωγό τύπου P οι φορείς πλειονότητας είναι οι οπές, ενώ οι φορείς μειονότητας είναι τα ηλεκτρόνια. Τέλος, η αύξηση της συγκέντρωσης των αποδεκτών σε ένα ημιαγωγό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των οπών και συνεπώς της αγωγιμότητας του.

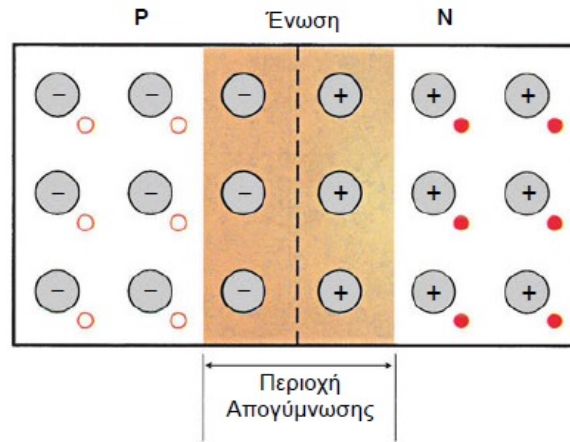
2.3 Δίοδος επαφής pn

Όταν μικρό κομμάτι ημιαγωγού τύπου N έλθει σ' επαφή με κομμάτι ημιαγωγού τύπου P, τότε δημιουργείται μια ένωση PN ή **επαφή PN** η οποία αποτελεί ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα πολύ χρήσιμο και ονομάζεται **δίοδος PN**. Τα κομμάτια αυτά των ημιαγωγών μπορεί να μην είναι διαφορετικά, αλλά μέρη του ίδιου κομματιού πυριτίου, όπου στη μία πλευρά έχει δημιουργηθεί με κατάλληλο τρόπο τύπος P, ενώ στην άλλη ο τύπος N. Η επαφή PN φαίνεται στο σχήμα 2.3.1. Το σημείο της ένωσης παρίσταται με μία κάθετη διακεκομμένη γραμμή. Το τμήμα τύπου N αποτελείται από θετικά ιόντα πεντασθενούς στοιχείου (δότες) και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Υπάρχει επίσης μικρός αριθμός οπών. Στο τμήμα τύπου P υπάρχουν αρνητικά ιόντα τρισθενούς στοιχείου (αποδέκτες), αρκετές οπές και μικρός αριθμός ηλεκτρονίων.



Σχήμα 2.3.1. Επαφή PN

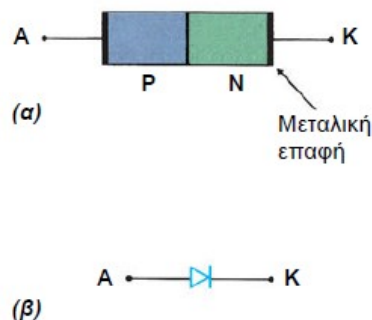
Τη στιγμή της δημιουργίας της επαφής PN, τα ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου N που ευρίσκονται κοντά στο σημείο της ένωσης θα κινηθούν προς τον ημιαγωγό τύπου P με σκοπό να επανασυνδεθούν με τις οπές που υπάρχουν εκεί. Έτσι δημιουργείται επανασύνδεση οπών και ηλεκτρονίων στα δύο τμήματα, δεξιά και αριστερά του σημείου επαφής και στο μεν ημιαγωγό τύπου N δημιουργείται ένα τμήμα με θετικά μόνο ιόντα χωρίς ηλεκτρόνια, στο δε ημιαγωγό τύπου P δημιουργείται ένα τμήμα με αρνητικά μόνο ιόντα, χωρίς οπές. Αυτά τα δύο τμήματα είναι «απογυμνωμένα» (ή «κενωμένα») από τους φορείς τους και αποτελούν μαζί την **περιοχή απογύμνωσης** (ή **κένωσης**) όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.2.



Σχήμα 2.3.2. Σχηματισμός περιοχής απογύμνωσης

Έξω από την περιοχή απογύμνωσης η δομή των ημιαγωγών δεν έχει αλλάξει και αποτελείται από ιόντα και φορείς. Αυτό συμβαίνει διότι για να μπορέσει ένα ηλεκτρόνιο να επανασυνδεθεί με μία οπή ή αντίστροφα, πρέπει να υπερπηδήσει την περιοχή απογύμνωσης η οποία όμως με τη συγκέντρωση των ιόντων σ' αυτήν, αποτελεί ένα εμπόδιο και δημιουργεί ένα **φράγμα δυναμικού**. Το δυναμικό φραγμού παριστάνεται με V_0 στο σχήμα 3.1.2(β) και είναι μια διαφορά δυναμικού που η πολικότητα της αντιτίθεται στη διάχυση των φορέων. Η επαφή PN που δημιουργήθηκε με τον πιο πάνω τρόπο λέγεται **δίοδος PN** διότι αφήνει να διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα από αυτήν μόνο προς μία κατεύθυνση, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Για να συνδεθεί (και να χρησιμοποιηθεί) μια δίοδος PN σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, συνδέονται τα άκρα των δύο ημιαγωγικών τμημάτων τύπου P και N με μεταλλικές επαφές (σχ. 2.3.3α) και έτσι δημιουργείται η **άνοδος** της διόδου στην πλευρά του ημιαγωγού P και η **κάθοδος** της διόδου στην πλευρά N. Η δίοδος PN συμβολίζεται με ένα βέλος στην πλευρά P και μία γραμμή στην πλευρά N (σχ. 2.3.3β).



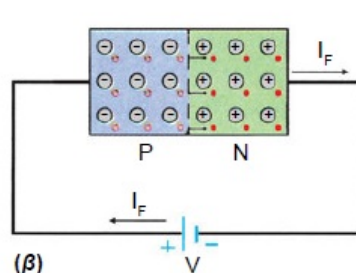
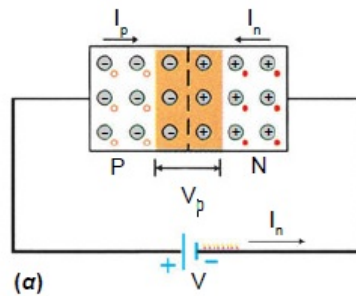
Σχήμα 2.3.3. (α) Δίοδος PN (β) Το σύμβολό της

Δίοδος PN σε ορθή και ανάστροφη πόλωση

Στην προηγούμενη παράγραφο η επαφή PN ήταν ανοικτή, δηλαδή δεν υπήρχε εξωτερική τάση στα άκρα της. Όταν εφαρμοσθεί εξωτερική τάση στα άκρα μιας διόδου, υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης της πηγής: κατά την **ορθή** και κατά την **ανάστροφη** φορά.

A) Ορθή πόλωση διόδου

Μια διόδος είναι πολωμένη κατά την ορθή φορά εάν η εξωτερική πηγή είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα ώστε ο θετικός πόλος της να είναι στο τμήμα P της διόδου και ο αρνητικός πόλος της στο τμήμα N της διόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.4 (α). Ως γνωστό, σε μια ηλεκτρική πηγή υπάρχει μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων στον αρνητικό πόλο και μεγάλος αριθμός θετικών φορτίων στο θετικό πόλο. Με την αγωγή σύνδεση της πηγής με τη διόδο κατά την ορθή φορά, τα θετικά φορτία από τον θετικό πόλο της πηγής πηγαίνουν στο τμήμα P της διόδου και τα ηλεκτρόνια πηγαίνουν στο τμήμα N αντίστοιχα.



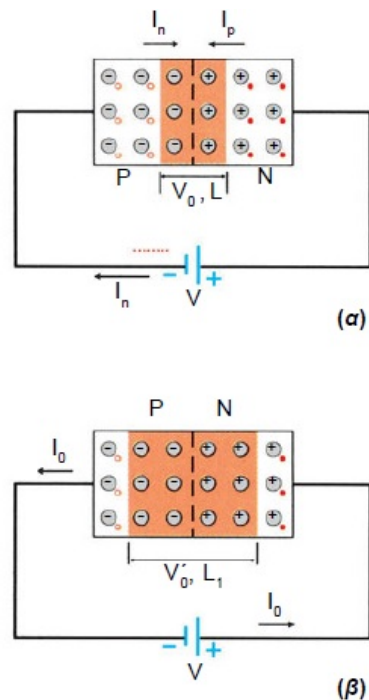
Σχήμα 2.3.4 Ορθή πόλωση διόδου PN (α). $V < V_0$, (β) $V > V_0$

Συνεπώς τα θετικά φορτία θα κινηθούν από το θετικό πόλο της πηγής προς το τμήμα P της διόδου. Η μετακίνηση αυτή δίδει το ρεύμα I_P των οπών εντός του τμήματος P. Η κίνηση των ηλεκτρονίων από τον αρνητικό πόλο της πηγής προς το τμήμα N της διόδου θα δώσει το ρεύμα ηλεκτρονίων I_n εντός του τμήματος N, το οποίο έχει την ίδια φορά με

το ρεύμα των οπών λόγω αρνητικού φορτίου των ηλεκτρονίων. Με τον τρόπο αυτό η συγκέντρωση των οπών στο τμήμα P μεγαλώνει, η περιοχή απογύμνωσης γίνεται στενότερη και ορισμένες οπές με μεγάλη κινητική ενέργεια καταφέρνουν να υπερπηδήσουν το φραγμό δυναμικού και να μπουνε στο τμήμα N της διόδου. Η ίδια διαδικασία συμβαίνει και με τα ηλεκτρόνια της περιοχής N που εισέρχονται στο τμήμα P. Όσο αυξάνει η εξωτερική τάση τόσο η περιοχή απογύμνωσης γίνεται μικρότερη μέχρι που μηδενίζεται και έχουμε ροή ρεύματος στο κύκλωμα, που ονομάζεται **κατευθείαν ρεύμα** ή **ρεύμα ορθής φοράς I_F** (forward current) και έχει καθιερωθεί να έχει διεύθυνση αντίθετη αυτής των ηλεκτρονίων (σχ 2.3.4 β).

B) Ανάστροφη πόλωση διόδου

Μια δίοδος PN είναι πολωμένη κατά την ανάστροφη φορά εάν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής είναι συνδεδεμένος με το τμήμα N της διόδου και ο αρνητικός πόλος με το τμήμα P, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.5 (α).



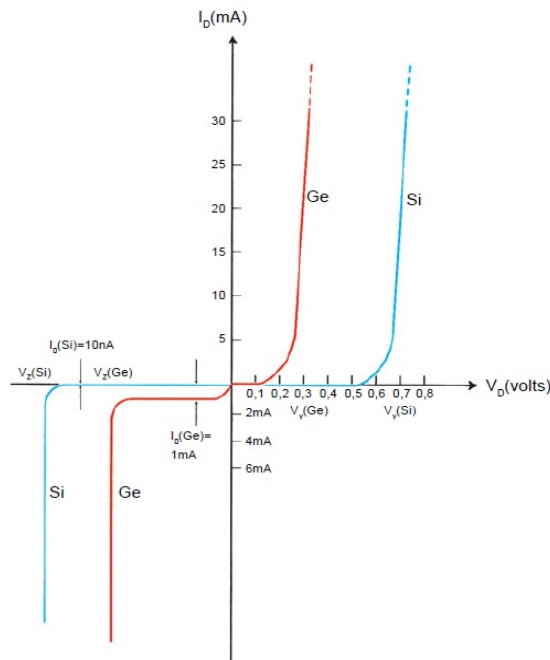
Σχήμα 2.3.5. Ανάστροφη πόλωση διόδου PN (α) $V < V_0$ (β) $V' > V_0$.

Μετά την αγωγήμη σύνδεση, τα θετικά φορτία από τον θετικό πόλο της πηγής εισέρχονται στο τμήμα N, σαν οπές, και επανασυνδέονται με τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν εκεί σε μεγάλη συγκέντρωση. Με τον ίδιο μηχανισμό, τα ηλεκτρόνια από τον

αρνητικό πόλο της πηγής εισέρχονται στο τμήμα P και επανασυνδέονται με τις οπές που υπάρχουν εκεί σε μεγάλη συγκέντρωση. Με τις επανασυνδέσεις αυτές η περιοχή απογύμνωσης αυξάνει διότι δημιουργούνται περισσότερα «απογυμνωμένα» θετικά και αρνητικά ιόντα (σχ. 2.3.5 (β)). Στην περίπτωση της ανάστροφης πόλωσης το νέο δυναμικό φραγμού είναι: $V_0' = V_0 + V$. Η αντίσταση της διόδου κατά την ανάστροφη πόλωση είναι για την ιδανική diode $R_r = \infty$, ενώ για diodes του εμπορίου λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές (μερικά MΩ). Η σύνδεση της diode στο κύκλωμα ισοδυναμεί με ανοικτό κύκλωμα ή με αντίσταση πολύ μεγάλης τιμής.

Χαρακτηριστική καμπύλη diode pn

Κατά την ορθή πόλωση της diode με την αύξηση της τάσης θα υπάρχει κατ' αρχή ένα μικρό ρεύμα και μετά από μία τάση (που ονομάζεται τάση γόνατος V_g ή τάση κατωφλίου) μια μεγάλη αύξηση του ρεύματος. Αντίθετα, κατά την ανάστροφη φορά θα υπάρχει ένα πολύ μικρό ρεύμα, σχεδόν σταθερό (θεωρητικά μηδενικό), το οποίο θα αυξήσει ελάχιστα την τιμή του μέχρις ότου η τάση θα φθάσει μια ορισμένη τιμή, που καλείται τάση διάσπασης ή Zener, οπότε το ρεύμα αυξάνεται απότομα. Συνεπώς υπάρχουν τρεις περιοχές στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V μιας diode: η περιοχή ορθής πόλωσης, η περιοχή ανάστροφης πόλωσης και η περιοχή διάσπασης. Στο σχήμα 2.3.6 φαίνονται τυπικές χαρακτηριστικές πυριτίου και γερμανίου.



Σχήμα 2.3.6. Χαρακτηριστικές καμπύλες (I - V) Si και Ge.