



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΑ
ΗΜΙΑΓΩΓΙΜΑ ΥΛΙΚΑ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΣΑΒΒΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ-ΜΑΡΙΑ

Επιβλέπων: Δρ. Νικόλαος Ι. Κορνήλιος

Ηράκλειο, Σεπτέμβριος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Εισαγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Ηλεκτρονικές Ιδιότητες των Υλικών

2.2 Δομή της Ύλης

2.2.1 Ζώνες Ενέργειας (Energy Bands)

2.2.2 Ενεργειακά Επίπεδα Στερεών Υλικών

2.3 Ημιαγωγοί – Semiconductors

2.3.1 Δομή Ημιαγωγών

2.3.2 Ροή Ηλεκτρονίων – Οπών

2.3.3 Πυρίτιο (Silicon) – Γερμάνιο (Germanium)

2.3.3.1 Γενικά

2.3.3.2 Γερμάνιο (Germanium)

2.3.3.3 Πυρίτιο (Silicon)

2.4 Ενδογενείς ημιαγωγοί (intrinsic semiconductors)

2.5 Εξωγενείς Ημιαγωγοί (Extrinsic semiconductors)

2.5.1 Ημιαγωγοί τύπου – n

2.5.2 Ημιαγωγοί τύπου – p

Κεφάλαιο 3^ο

- 3.1 Ηλεκτρονικές Διατάξεις
 - 3.3.1 Δίοδος
 - 3.3.2 Δίοδος επαφής p – n
 - 3.3.3 Δίοδος Zener
 - 3.3.4 Δίοδος SCHOTTKY
 - 3.3.5 Δίοδος Σήραγγας ή Δίοδος Esaki
 - 3.3.6 Δίοδοι που εκπέμπουν ή ανιχνεύουν φως
- 3.2 Transistors - Κρυσταλλολυχνίες
 - 3.2.1 Διπολικά τρανζίστορ (Dipolar Junction Transistor-BJT)
 - 3.2.2 Transistors FET – Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (Field-Effect Transistors)
 - 3.2.2.1 JFET (junction field effect transistor)
 - 3.2.2.2 MOSFET
- 3.3 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο
 - 3.3.1 Ιστορική αναδρομή
 - 3.3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο
 - 3.3.2.1 Δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου
 - 3.3.2.2 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας
 - 3.3.2.3 Ηλεκτρική ενέργεια από Φωτοβολταϊκά
 - 3.3.2.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si)
 - 3.3.2.5 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου
 - 1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου
 - 2) Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου
 - 3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου
 - 3.3.2.6 Φωτοβολταϊκα υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film
 - 1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός
 - 2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου
 - 3) Τελουριούχο Κάδμιο
 - 4) Αρσενιούχο Γάλλιο
 - 5) Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία
 - 6) Άλλες Τεχνολογίες
- 3.4 Ολοκληρωμένα κυκλώματα
- 3.5 Αισθητήρες Ημιαγωγών
- 3.6 Ολοκληρωμένοι Αισθητήρες
- 3.7 Έξυπνοι Αισθητήρες

Κεφάλαιο 4^ο

Οργανικά ηλεκτρονικά

- 4.1 Ιστορική αναδρομή
- 4.2 Οργανικοί Ημιαγωγοί
- 4.3 Οργανικά Τρανζίστορ OFET
 - 4.3.1 Γενικά
 - 4.3.2 Τεχνολογία των OFET
 - 4.3.3 Δομή οργανικού τρανζίστορ λεπτού φιλμ OTFT.
 - 4.3.4 Αρχή Λειτουργίας των OFET.
 - 4.3.5 Εφαρμογές
 - 4.3.6 Πλεονεκτήματα
 - 4.3.7 Μειονεκτήματα
 - 4.3.8 Μελλοντικοί Στόχοι
- 4.4 Οργανικοί Δίοδοι Εκπομπής Φωτός OLEDs
 - 4.4.2 Τεχνολογία των OLEDs
 - 4.4.3 Δομή των OLEDs
 - 4.4.4 Αρχή Λειτουργίας των OLEDs
 - 4.4.5 Σχετικές Τεχνολογίες των OLEDs
 - 4.4.5.1 Small molecules
 - 4.4.5.2 PLED (Polymer Light Emitting Diodes)
 - 4.4.5.3 TOLEDs (Διάφανες Transparent organic light – emitting device)
 - 4.4.5.4 SOLED (Stacked OLEDs, Συσσωρευμένο OLEDs)
 - 4.4.5.5 FOLEDs (Εύκαμπτες – Flexible OLEDs)
 - 4.4.5.6 WHOLEDs (OLEDs λευκού χρώματος)
 - 4.4.5.7 PMOLEDs (Passive matrix OLeds) & AMOLEDs (Active matrix OLeds) Οθόνες OLEDs Παθητικής και Ενεργητικής Μήτρας
 - 4.4.5.8 OLEDs για στερεές Πηγές Φωτισμού
 - 4.4.6 Πλεονεκτήματα
 - 4.4.7 Μειονεκτήματα
 - 4.4.8 Εφαρμογές των OLEDs

4.5 Οργανικές Φωτοβολταϊκές Διατάξεις OPVs (Organic Photovoltaic Devices)

4.5.1 Τυπική Δομή OPVs

4.5.2 Αρχή Λειτουργίας των OPVs

4.5.3 Εφαρμογές OPVs

4.5.4 Πλεονεκτήματα

4.5.5 Μειονεκτήματα

Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία των ημιαγώγιμων υλικών τα τελευταία 50 χρόνια στηρίζεται σε ανόργανους ημιαγωγούς όπως το πυρίτιο Si, το αρσενιούχο γάλλιο GaAs, το γερμάνιο Ge και άλλα. Πολλές τεχνολογικές εφαρμογές που στηρίζονται σε τέτοιους ημιαγωγούς βρήκαν εφαρμογή άμεσα στην τεχνολογία (H/Y, φωτοβολταϊκές κυψελίδες, transistors, οθόνες και άλλα). Παρόλη την ευρεία εφαρμογή των υλικών αυτών σε διάφορους τομείς της τεχνολογίας, προβλήματα όπως διάρκεια ζωής, απόδοση, φιλικότητα στο περιβάλλον, ευκολία στη διεργασία και εφαρμογή, έγιναν αισθητά όταν πλέον έπρεπε να δημιουργηθούν διατάξεις – συσκευές κυρίως στην οπτοηλεκτρονική – που να πληρούν περισσότερες προϋποθέσεις και να απαντούν στις προκλήσεις και απαιτήσεις των καιρών. Όταν λοιπόν οι απαιτήσεις για απόδοση και διάρκεια ζωής έγιναν υψηλότερες τότε αναδείχθηκε η ανάγκη για νέα υλικά που θα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις αυτές. Το βάρος της επιστημονικής έρευνας έπεσε στη μελέτη οργανικών πλέον ημιαγωγών που θα αντικαταστήσουν τα ήδη υπάρχοντα ανόργανα υλικά. Επίσης τα σκληρά υποστρώματα αρχίζουν να αντικαθίστανται από εύκαμπτα πολυμερή και πλέον μπαίνουμε στην νέα τεχνολογία των εύκαμπτων ηλεκτρονικών διατάξεων (εύκαμπτες οθόνες, φωτοβολταϊκά και transistors).

Στην παρούσα πτυχιακή παρουσιάζονται οι κλασσικές ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες έχουν ξανασχεδιαστεί και λειτουργούν με οργανικά ημιαγώγιμα υλικά.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική περιγραφή των ηλεκτρονικών ιδιοτήτων των υλικών και της δομής της ύλης. Αναλυτικότερα παρουσιάζεται η δομή των ανόργανων ημιαγωγών, όπως είναι το διαδεδομένο σε όλους μας πυρίτιο και γερμάνιο.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται λεπτομερώς ηλεκτρονικά στοιχεία όπως είναι οι δίοδοι και τα τρανζίστορ. Παρουσιάζονται οι οικογένειες ψηφιακών κυκλωμάτων που κατασκευάζονται με τη χρήση αυτών των ηλεκτρονικών στοιχείων. Επίσης γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αναλυτικότερα περιγράφονται διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων τα οποία είναι κατασκευασμένα από τα μέχρι σήμερα διαδεδομένα και αξιόπιστα ημιαγώγιμα υλικά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή και ανάλυση των οργανικών ηλεκτρονικών διατάξεων όπως είναι τα OFETs, OLEDs και τα OPVs. Η κατασκευή συσκευών μικροηλεκτρονικής με οργανικούς ημιαγωγούς όπως τρανζίστορς και φωτοεκπομποί δίοδοι οργανικών (FETs, OLEDs), αναπτύσσεται ταχύτατα τα τελευταία χρόνια.

Οι οργανικές φωτοδίοδοι είναι πολύ λεπτές και εξοικονομούν ενέργεια, γι' αυτό τελευταία έχουν ενσωματωθεί σε κινητά τηλέφωνα, κάμερες, τηλεοράσεις και σε πολλές άλλες ακόμα ηλεκτρονικές συσκευές.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις εφαρμογές των οργανικών τρανζίστορ (OFET), που αποτελούν και την πλέον εμπορική εφαρμογή. Όπως μαρτυρά η ιστορική εξέλιξή τους, η χρήση τους αυξάνεται συνεχώς, κυρίως στους τομείς της αναλυτικής χημείας και της μικροηλεκτρονικής.

Τέλος αναλύονται τα οργανικά φωτοβολταϊκά OPVs. Τα ηλιακά κύτταρα από άμορφο ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, που έχουν επικρατήσει σήμερα στην παγκόσμια αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλο χρόνο ενεργειακής και οικονομικής απόσβεσης λόγω του ιδιαίτερα μεγάλου κόστους κατασκευής. Σε αντίθεση, τα οργανικά (ή πλαστικά) φωτοβολταϊκά (ΦΒ) κύτταρα, που βασίζονται κυρίως σε αγωγή πολυμερή, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως το χαμηλό κόστος και η απλή διαδικασία παραγωγής αλλά και η δυνατότητα ανάπτυξης σε μεγάλες διαστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Κεφάλαιο 2^ο

2.1 Ηλεκτρονικές Ιδιότητες των Υλικών

Τα στερεά σώματα, ανάλογα με την ικανότητα τους να διαρρέονται ή όχι από ηλεκτρικό ρεύμα, μπορούν να χωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες: στους καλούς αγωγούς και στους κακούς αγωγούς ή μονωτές (insulators). Οι καλοί αγωγοί χωρίζονται και αυτοί με τη σειρά τους στα μέταλλα, τα οποία χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη ευκολία τους να άγουν το ρεύμα, και στους ημιαγωγούς (semiconductors).[1]

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υλικών είναι το αποτέλεσμα της κίνησης των ηλεκτρονίων (e^-) στο εσωτερικό του υλικού. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων στη στοιβάδα σθένους είναι το κλειδί της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων, γνωστά και ως ηλεκτρόνια σθένους (valence electrons), καθορίζουν την ηλεκτρική, τη μαγνητική και οπτική συμπεριφορά των υλικών.

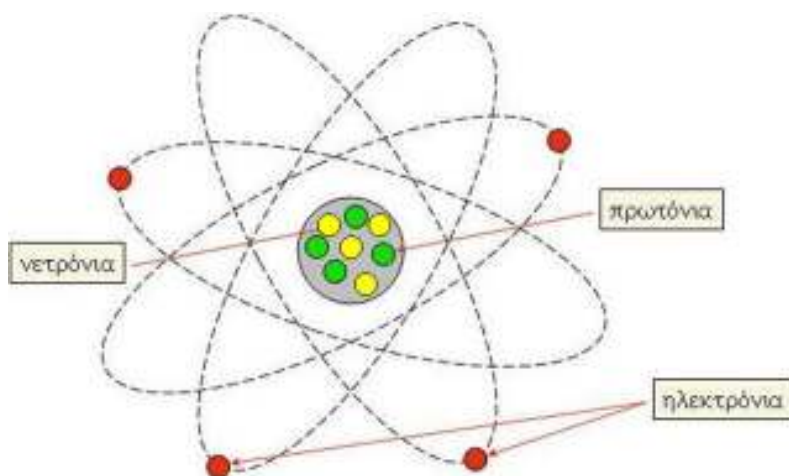
Στα μέταλλα τα ηλεκτρόνια σθένους κινούνται ελεύθερα μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, ενώ στους ημιαγωγούς και τους μονωτές συγκρατούνται ισχυρά στα άτομα με αποτέλεσμα την εμφάνιση της μεγάλης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Επίσης οι ιδιότητες των υλικών που καθορίζονται από την συμπεριφορά των ηλεκτρονίων υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου, μαγνητικού πεδίου και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ονομάζονται **ηλεκτρονικές ιδιότητες** (electronic properties) **των υλικών**. [2]

2.2 Δομή της Ύλης

Είναι σήμερα αποδεκτό ότι η ύλη την οποία παρατηρούμε αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια τα οποία διατηρούν τις ιδιότητες της και ονομάζονται μόρια. Ωστόσο, είναι επίσης γνωστό ότι και τα μόρια αποτελούνται από ακόμη μικρότερα σωματίδια τα οποία ονομάζονται άτομα.

Τα άτομα αποτελούνται από δύο μέρη: τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια τα οποία γυρίζουν σε προκαθορισμένες τροχιές γύρω απ' αυτόν. Ο πυρήνας αποτελείται με τη σειρά του από τα πρωτόνια (σωματίδια με μάζα περίπου 1840 φορές μεγαλύτερη απ' αυτή του ηλεκτρονίου και θετικό ηλεκτρικό φορτίο) και τα νετρόνια (σωματίδια με μάζα σχεδόν ίση με αυτή του πρωτονίου αλλά λίγο μεγαλύτερη και ουδέτερο ηλεκτρικό φορτίο).

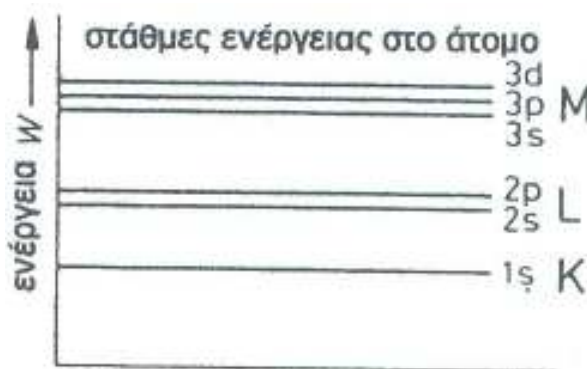
Το δε ηλεκτρόνιο είναι ένα κυματοσωματίδιο με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο το οποίο κινείται γύρω-γύρω από τον πυρήνα σε προκαθορισμένες τροχιές με πάρα πολύ μεγάλη ταχύτητα. Γνωρίζουμε ότι παραμένει σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα γιατί έλκεται απ' αυτόν (και αυτό έλκει ισότιμα τον πυρήνα αλλά ο πυρήνας είναι πολύ πιο μαζικός). [4]



Εικόνα 1: Δομή του ατόμου.

2.2.1 Ζώνες Ενέργειας (Energy Bands)

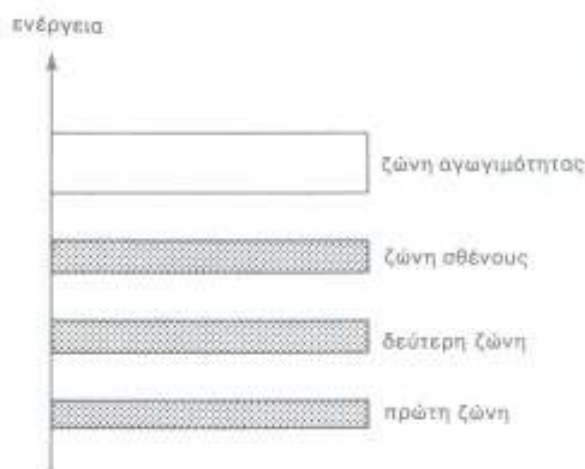
Στο άτομο τα ηλεκτρόνια περιφέρονται σε ορισμένες αποστάσεις γύρω από το πυρήνα. Οι τροχιές αυτές ονομάζονται και φλοιοί ή στιβάδες (στιβάδα K,L,M...). Οι στιβάδες όσο απομακρύνονται από τον πυρήνα αυξάνουν σε ενέργεια και γι' αυτό τα ηλεκτρόνια τείνουν να καταλάβουν τις κοντινότερες στον πυρήνα στιβάδες (αρχή της ελάχιστης ενέργειας). Το ποσό των ηλεκτρονίων που μπορεί να βρεθεί σε μια στιβάδα, είναι συγκεκριμένος και δίνεται από τον τύπο $2n^2$, όπου n η σειρά της στιβάδας. Οι στιβάδες έχουν υποστιβάδες (s,p,d,f). Κάθε στιβάδα μπορεί να καταληφθεί μόνο από ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων, π.χ. η στιβάδα K καταλαμβάνεται από το πολύ δύο ηλεκτρόνια. Σύμφωνα με την απόσταση από τον πυρήνα και την ταχύτητα κάθε ηλεκτρόνιο έχει μια ορισμένη ενεργειακή κατάσταση. Στη στιβάδα, στην οποία κινείται, αντιστοιχεί επομένως μια στάθμη ενέργειας (σχήμα 2). Η στάθμη ενέργειας είναι τόσο υψηλότερη, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του ηλεκτρονίου από τον πυρήνα του ατόμου.



Σχήμα 2: Στάθμες ενέργειας στο άτομο.

Η δυναμική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου αυξάνει με την απόστασή του από τον πυρήνα. Η στάθμη ενέργειας δίνεται συνήθως σε ηλεκτρόνιο-βόλτ (eV). 1eV είναι η κινητική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου, το οποίο διαπερνά ένα ηλεκτρικό πεδίο με διαφορά δυναμικού 1V. $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Εκτός του πλέγματος ατόμων τα άτομα επηρεάζονται τόσο περισσότερο, όσο πιο πυκνότερα είναι. Οι γραμμές των ενεργειακών σταθμών διασπώνται, λόγω των πολλών ατόμων υπάρχει και μεγάλος αριθμός γραμμών ενεργειακών σταθμών. Τούτες συνομίζονται σε ενεργειακές ζώνες (σχήμα 3). Μόνο εντός αυτών των ζωνών μπορούν τα ηλεκτρόνια στερεών σωμάτων να καταλάβουν μια ενεργειακή κατάσταση. Για την ηλεκτρική συμπεριφορά σημασία έχουν η **ζώνη σθένους** (valence band), η **ζώνη αγωγιμότητας** (conduction band) και η απόσταση μεταξύ αυτών των ζωνών. Η τελευταία μη πλήρως κατειλημμένη ζώνη λέγεται ζώνη αγωγιμότητας και τα ηλεκτρόνιά της είναι ελεύθερα κινούμενα και ως ηλεκτρόνια αγωγής συμβάλλουν στην αγωγιμότητα. Η αμέσως χαμηλότερη, πλήρως κατειλημμένη ζώνη, λέγεται ζώνη σθένους ή βασική ζώνη. [5]



Σχήμα 3: Σχηματισμός πρότυπου ζωνών

2.2.2 Ενεργειακά Επίπεδα Στερεών Υλικών

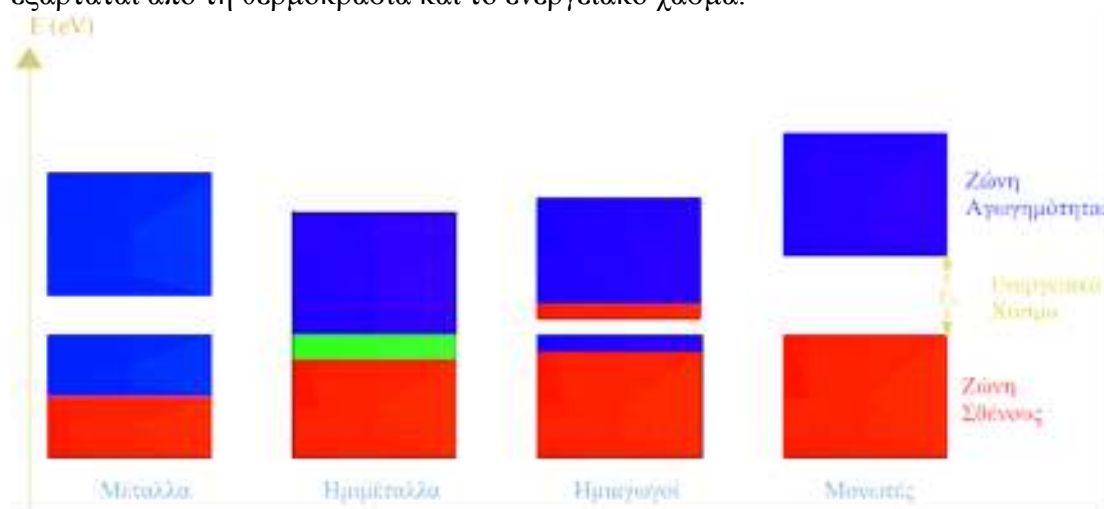
Συμφωνά με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg οι ακριβείς θέσεις των ηλεκτρονίων σε ένα υλικό δεν είναι γνώστες. Για την περιγραφή των ηλεκτρονικών ιδιοτήτων των υλικών η ακριβής γνώση της θέσεως των ηλεκτρονίων δεν είναι απαραίτητη. Αυτό που έχει μεγάλη σπουδαιότητα είναι η γνώση των ενεργειακών επιπέδων που είναι διαθέσιμα για τα ηλεκτρόνια.

Ένας χρήσιμος τρόπος να απεικονιστεί η διαφορά μεταξύ των αγωγών, των μονωτών και των ημιαγωγών είναι να σχεδιαστούν οι διαθέσιμες ενέργειες για τα ηλεκτρόνια στα υλικά. Αντί της κατοχής των ιδιαίτερων ενεργειών όπως στην περίπτωση των ελεύθερων ατόμων, τα διαθέσιμα ενεργειακά επίπεδα διαμορφώνουν τις Ενεργειακές Ζώνες. Κρίσιμη για την αγωγιμότητα είναι ο καθορισμός εάν υπάρχουν ή όχι ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας. Η ενέργεια της τελευταίας κατειλημμένης κατάστασης στο στερεό λέγεται ενέργεια Fermi του στερεού (υπολογίζεται θεωρώντας ότι τα ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου του στερεού κινούνται σε ολόκληρο τον κρύσταλλο σαν να ήταν ελεύθερα - μετριέται από το κάτω όριο της τελευταίας κατειλημμένης ζώνης - τυπικές τιμές της είναι ~ 5 eV). [2]

Ένα στερεό συμπεριφέρεται σαν **μέταλλο** εάν η ζώνη σθένους του είναι μερικώς κατειλημμένη. Στα μέταλλα, οι ζώνες ενέργειας είτε επικαλύπτονται είτε διαχωρίζονται με μεγάλο ενεργειακό χάσμα και στις δυο περιπτώσεις η ενέργεια Fermi έχει τιμή τέτοια ώστε να υπάρχουν κενά ενεργειακά επίπεδα υψηλότερης ενέργειας όπου μπορούν να μετακινηθούν τα ηλεκτρόνια.

Στους **μονωτές** (insulators) η ζώνη σθένους είναι πλήρης, η ζώνη αγωγιμότητας εντελώς κενή και το ενεργειακό χάσμα μεγάλο (2-3 eV). Παρατηρούμε ότι το επίπεδο Fermi βρίσκεται στο ενεργειακό χάσμα, ενώ η πιθανότητα διέγερσης ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας είναι μηδενική. Συνεπώς τα υλικά αυτά δεν παρουσιάζουν αγωγιμότητα.

Στους **ημιαγωγούς** (semiconductors) η ζώνη σθένους είναι πλήρης στους 0 °K, η ζώνη αγωγιμότητας εντελώς κενή και το ενεργειακό χάσμα μικρό (1-2 eV). Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει σημαντικά η πιθανότητα διέγερσης των ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Έτσι έχουμε αγωγιμότητα από την κίνηση των ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας και από την κίνηση των οπών στη ζώνη σθένους. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των ημιαγωγών εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το ενεργειακό χάσμα.

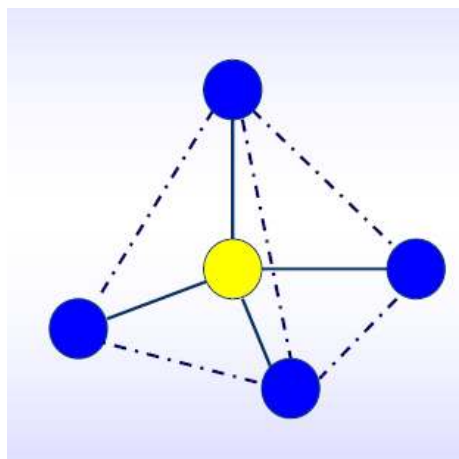


Σχήμα 4: Οι Ενεργειακές Ζώνες στα Στερεά Υλικά.

2.3 Ημιαγωγοί - Semiconductors

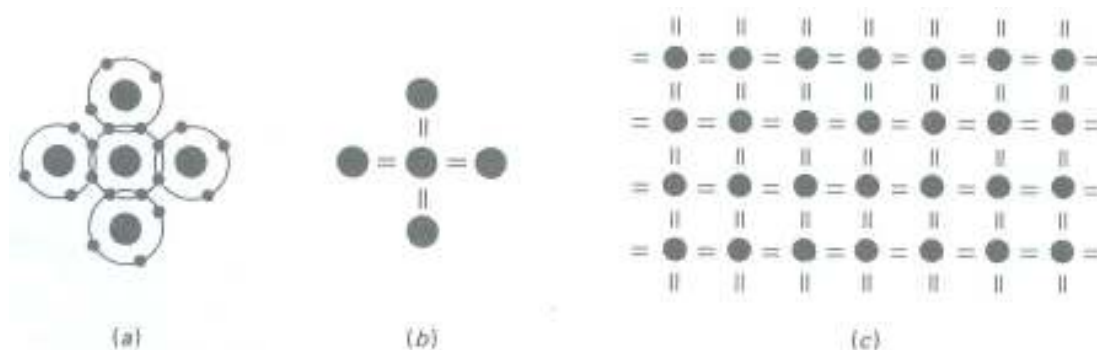
2.3.1 Δομή Ημιαγωγών

Ένας ημιαγωγός είναι ένα στοιχείο με τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους. Τα άτομα των ημιαγωγών διατάσσονται από μόνα τους σε κρυσταλλικές δομές, σε πλέγματα δηλαδή παρουσιάζουν μια σταθερή γεωμετρία η οποία επαναλαμβάνεται στο χώρο.



Σχήμα 5: Τετραεδρική δομή των ατόμων των ημιαγωγών.

Κάθε άτομο ημιαγωγού είναι τετρασθενές, έχει δηλαδή, στην εξωτερική του στοιβάδα τέσσερα ηλεκτρόνια. Αυτά, τα μοιράζεται με τα τέσσερα γειτονικά του άτομα, δημιουργώντας έτσι ομοιοπολικούς δεσμούς. Το αποτέλεσμα είναι κάθε άτομο να φαίνεται σαν να έχει οχτώ ηλεκτρόνια.[1]

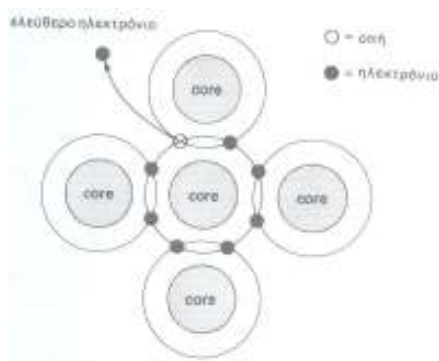


Σχήμα 6: (α) 8 ηλεκτρόνια σθένους. (β) Ομοιοπολικοί δεσμοί. (γ) Διάγραμμα των δεσμών ενός κρυστάλλου.

Η δομή αυτή είναι αρκετά σφιχτή και έτσι τα ηλεκτρόνια των ημιαγωγών δεν έχουν την ευκολία που έχουν τα ηλεκτρόνια των μετάλλων να αποδεσμεύονται εύκολα από το υπόλοιπο άτομο και να κινούνται ελεύθερα, άρα παρουσιάζουν πολύ μικρότερη αγωγιμότητα σε σχέση με τα μέταλλα.

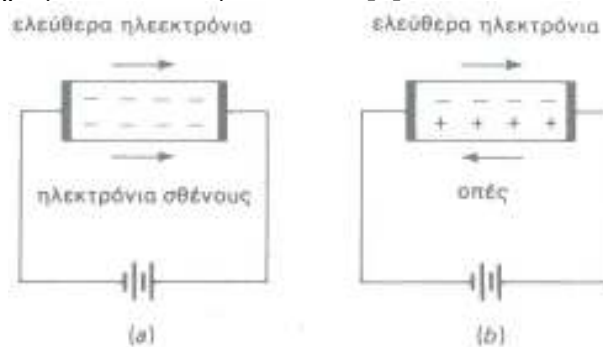
2.3.2 Ροή Ηλεκτρονίων – Οπών

Παρόλα αυτά, η θερμοκρασία δωματίου είναι ικανή να δώσει την κατάλληλη ενέργεια ώστε να "σπάσουν" ορισμένοι ομοιοπολικοί δεσμοί. Όταν σπάει ένας ομοιοπολικός δεσμός ελευθερώνεται ένα ηλεκτρόνιο το οποίο μπορεί πια να κινηθεί ελεύθερα, αλλά όχι μόνον αυτό! Επειδή το άτομο δεν είναι πια ηλεκτρικά ουδέτερο, μπορούμε να "δούμε" στη θέση του ατόμου έναν κενό χώρο, μια οπή. Αυτή η οπή είναι έτοιμη να δεχθεί στη θέση της ένα ηλεκτρόνιο που θα ξεφύγει από ένα γειτονικό άτομο και ούτω καθεξής [6]. Λόγω ύπαρξης μερικών ελεύθερων ηλεκτρονίων, θα προκληθεί ένα μικρό ρεύμα το οποίο αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στη θερμοκρασία του δωματίου (περίπου 25°C) το ρεύμα είναι αρκετά μικρό, συγκρινόμενο με το ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό. Αυτός είναι ο λόγος που ένας κρύσταλλος πυριτίου λέγεται ημιαγωγός.[7]



Εικόνα 7: Η θερμική ενέργεια προκαλεί τη δημιουργία ενός ζεύγους οπής – ελεύθερου ηλεκτρονίου.

Έτσι, όταν εφαρμοστεί μια τάση σε έναν ημιαγωγό βλέπουμε, από τη μια μεριά, ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινούνται προς το θετικό πόλο ενώ από την άλλη, οπές να κινούνται σαν να είναι "θετικά ηλεκτρόνια" προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτή η διπλή προέλευση του ρεύματος στους ημιαγωγούς (δηλαδή από ηλεκτρόνια και οπές) σε αντίθεση με την απλή προέλευση του ρεύματος στα μέταλλα (δηλαδή μόνο από ηλεκτρόνια) είναι μια διαφορά μεταξύ μετάλλων και ημιαγωγών [1]. Η ύπαρξη των οπών επιτρέπει την δημιουργία εξαιρετικά χρήσιμων κυκλωματικών στοιχείων και διατάξεων από ημιαγωγούς, όπως των διόδων, των transistor, των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων κ.α. [7]



Σχήμα 8: Δύο δρόμοι για τη ροή του ρεύματος. (α) Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τα ηλεκτρόνια σθένους κινούνται προς τα δεξιά. (β) Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται προς τα δεξιά και οι οπές κινούνται προς τ' αριστερά.

2.3.3 Πυρίτιο (Silicon) – Γερμάνιο (Germanium)

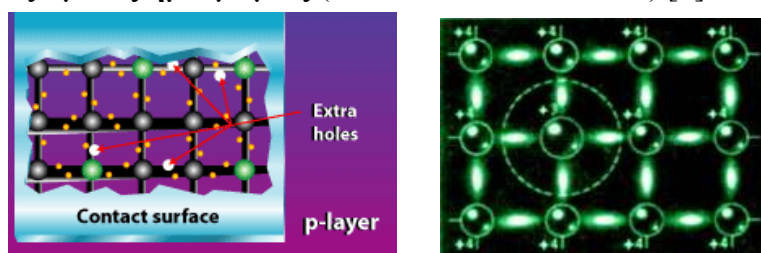
2.3.3.1 Γενικά

Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα βασίζονταν παλαιότερα στη ροή ρεύματος ηλεκτρονίων σε στοιχεία τα οποία ονομάζονταν λυχνίες κενού. Σήμερα στηρίζονται πάλι στη ροή ηλεκτρονίων, αλλά σε στοιχεία ημιαγωγών. Ο όρος στερεά κατάσταση σημαίνει την ύπαρξη ημιαγωγών κρυστάλλων και τη χρήση τους. Ο μηχανισμός της ροής ρεύματος στους ημιαγωγούς είναι διαφορετικός από αυτόν στους αγωγούς. Ένας ημιαγωγός διαθέτει δύο δρόμους τους οποίους μπορούν να κινηθούν τα ηλεκτρικά φορτία. Πρώτον, έχει το συνηθισμένο δρόμο που ακολουθούν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, στη ζώνη αγωγιμότητας. Δεύτερο, διαθέτει τον ασυνήθιστο δρόμο της ζώνης σθένους, που ακολουθούν οι οπές.[7]

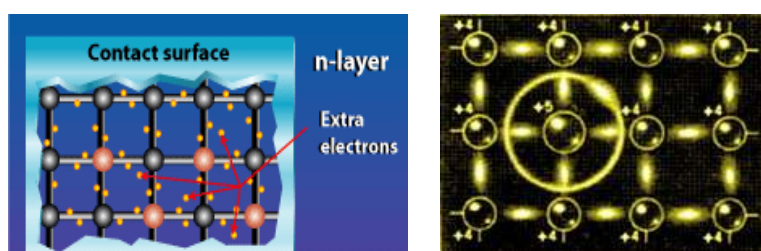
Οι πιο συνηθισμένοι ημιαγωγοί είναι το πυρίτιο (Si) και το γερμάνιο (Ge), με πιο συχνή τη χρήση του πυριτίου, το οποίο είναι και φτηνό και βρίσκεται σε αφθονία στην άμμο. Η αγωγή του ρεύματος στους ημιαγωγούς διευκολύνεται όταν αυτοί δεν χρησιμοποιούνται σε καθαρή μορφή αλλά νοθευμένοι. Ανάλογα με το είδος της πρόσμειξης που χρησιμοποιούμε για να τους ενισχύσουμε, τους διακρίνουμε σε **ημιαγωγούς τύπου -N** και σε **ημιαγωγούς τύπου -P**. Πρόσμειξεις με πεντασθενή στοιχεία (όπως π.χ. με αρσενικό (As)) δημιουργούν ημιαγωγούς τύπου -N, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από πληθώρα ηλεκτρονίων. Πρόσμειξεις με τρισθενή στοιχεία (όπως π.χ. με γάλλιο (Ga)) δημιουργούν ημιαγωγούς τύπου -P, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από πληθώρα οπών.

Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η επίδραση ακόμη και πολύ μικρών συγκεντρώσεων προσμίξεων στη ειδική αντίσταση. Στην κατηγορία των ημιαγωγών ανήκει κάθε υλικό που επιτρέπει να περνά το ηλεκτρικό φορτίο από μέσα του με κάποιες προϋποθέσεις, όπως είναι αύξηση της θερμοκρασίας ή η πρόσπτωση φωτός.

Οι ημιαγωγοί έχουν τιμές ειδικής αντίστασης μεταξύ ενός αγωγού και ενός μονωτή. Η αγωγιμότητα τους κυμαίνεται από 10^{-6} έως $10^4 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ και είναι μικρότερη της αγωγιμότητας των μετάλλων και μεγαλύτερη των μονωτών. Διακρίνονται στους **ενδογενείς ημιαγωγούς** (intrinsic semiconductors) και στους **εξωγενείς ημιαγωγούς** (extrinsic semiconductors).[6]



Εικόνα 9: Δομή ημιαγωγού τύπου p



Εικόνα 10: Δομή ημιαγωγού τύπου n

2.3.3.2 Γερμάνιο (Germanium)

Το γερμάνιο είναι χημικό στοιχείο. Ανακαλύφθηκε από τον Wickler το 1886 στη την Γερμανία. Αρχικά, για την παραγωγή του Γερμανίου χρησιμοποιούταν ένα ορυκτό συγγενές του αργύρου. Αργότερα, ανακαλύφθηκε στη Νότια Αμερική άλλο ορυκτό, συγγενές του αργύρου, που το ονόμασαν γερμανίτη. Ο γερμανίτης περιέχει 6% γερμάνιο.

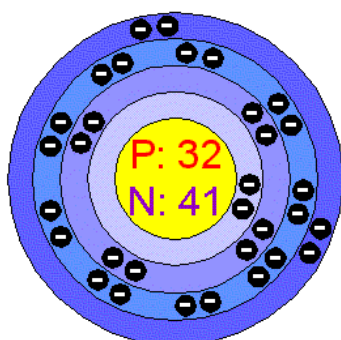
Το καθαρό γερμάνιο είναι υλικό σκληρό, εύθραυστο και έχει αγωγιμότητα 10 φορές μικρότερη της αγωγιμότητας του χαλκού. Το άτομο του γερμανίου, όπως φαίνεται στον πίνακα των χημικών στοιχείων, περιέχει 32 ηλεκτρόνια, τα οποία κατανέμονται στις στιβάδες:

K: 2

L: 8

M: 18

N: 4



Εικόνα 11: Δομή Γερμανίου (Ge)

Στην εξωτερική στιβάδα έχει 4 ηλεκτρόνια, τα όποια καθορίζουν το σθένος του στοιχείου. Εξαιτίας των 4 ηλεκτρονίων της εξωτερικής στιβάδας, το γερμάνιο λέγεται τετρασθενές, όπως και το πυρίτιο, ο μόλυβδος, ο κασσίτερος και ο άνθρακας. Από τα τετρασθενή στοιχεία, ο μόλυβδος και ο κασσίτερος είναι αγωγοί, γιατί τα ηλεκτρόνια σθένους τους βρίσκονται μακριά του πυρήνα και ελευθερώνονται ακόμη και με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, Αντιθέτως ο άνθρακας είναι μονωτικό, γιατί τα ηλεκτρόνια σθένους είναι πιο κοντά του πυρήνα και γι' αυτό, έλκονται δυνατά και δεν γίνεται να κινηθούν ελεύθερα.

Το γερμάνιο και το πυρίτιο δεν συγκρατούν τα ηλεκτρόνια σθένους ούτε πολύ ισχυρά ούτε πολύ χαλαρά, γι' αυτό είναι και οι καλύτεροι ημιαγωγοί στην φύση. Για να χρησιμοποιηθεί το γερμάνιο στην κατασκευή των τρανζίστορ πρέπει να καθαριστεί απ' όλες τις ξένες ουσίες. Η περιεκτικότητα σε ξένα άτομα δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη του 1 ατόμου ανά 1 τρισεκατομμύριο άτομα γερμανίου. Το γερμάνιο παρουσιάζεται σε ορισμένες θερμοκρασίες, σαν στερεό κρυσταλλικό σώμα. (Κρύσταλλος είναι το σώμα, του οποίου τα άτομα σχηματίζουν κατά ομάδες κανονικά γεωμετρικά σχήματα και αποτελούν ένα δίκτυ σε όλη την έκταση της ύλης του στοιχείου. Το δίκτυ αυτό λέγεται κρυσταλλικό πλέγμα).

Το γερμάνιο στις συνηθισμένες θερμοκρασίες θεωρείται ως ημιαγωγός. Αλλά σε θερμοκρασίες πάνω από 100 C, ή αγωγιμότητα αυτού αυξάνει, το κρυσταλλικό πλέγμα (χημικοί δεσμοί) καταστρέφεται και το γερμάνιο μετατρέπεται, σε καλό αγωγό. Γι' αυτό το λόγο η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να καταστρέψει ένα Transistor.

Τα στοιχεία έχουν την τάση να συμπληρώσουν την εξωτερική στιβάδα με 8 ηλεκτρόνια. Κάθε άτομο γερμανίου παίρνει από κάθε διπλανό του άτομο ένα ηλεκτρόνιο και σχηματίζει ομοιοπολικούς δεσμούς Όταν όλα τα άτομα του γερμανίου σχηματίσουν δεσμούς τότε δημιουργείται το κρυσταλλικό του πλέγμα.

Ο τρόπος που τακτοποιούνται τα άτομα του κρυστάλλου του γερμανίου είναι οι θετικοί πυρήνες βρίσκονται στο κέντρο και τα ηλεκτρόνια ενωμένα σε ζεύγη σχηματίζουν τους δεσμούς.[8]

2.3.3.3 Πυρίτιο (Silicon)

Το πυρίτιο είναι χημικό στοιχείο, αμέταλλο. Στη φύση συναντάται με μορφή ενώσεων. Απομονώθηκε για πρώτη φορά από τον Μπερζέλιους το 1823 ως άμορφο. Το 1854 ο Σαίντ Κλέρ Ντεβίλ πέτυχε την παρασκευή του κρυσταλλικού πυριτίου, το όποιο βρίσκεται στη φύση ενωμένο πάντα με το οξυγόνο (διοξείδιο) με την άμμο της θάλασσας και τον χαλαζία. Μετά το οξυγόνο, το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο υλικό στη γή.

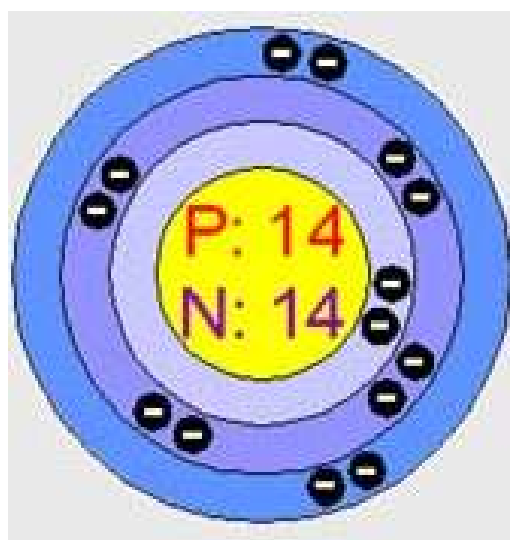
Το κρυσταλλικό πυρίτιο εμφανίζεται με μορφή κανονικών οκτάεδρων, είναι γκρι και παρουσιάζει μεταλλική λάμψη. Το πυρίτιο, όπως και το γερμάνιο, είναι ημιαγωγό υλικό, αλλά όταν του αυξήσουμε την θερμοκρασία αυξάνεται και η αγωγιμότητά του. Ο πίνακας δείχνει, ότι το πυρίτιο είναι τετρασθενές με ατομικό αριθμό 14. Τα ηλεκτρόνια του ατόμου του πυριτίου βρίσκονται κατανεμημένα ως εξής:

K: 2

L: 8

M: 4[8]

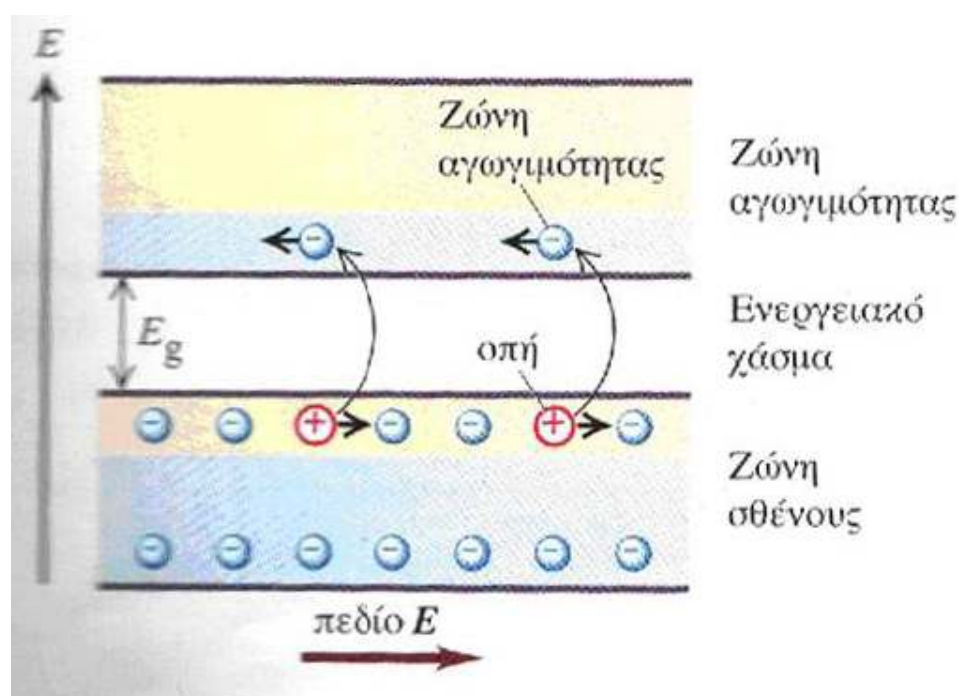
Ορισμένα προβλήματα εξευγενισμού δεν επέτρεψαν τη χρήση του πυριτίου τις πρώτες μέρες των ημιαγωγών. Αφού λύθηκαν αυτά τα προβλήματα, τα πλεονεκτήματα του πυριτίου το έκαναν αμέσως τον ημιαγωγό επιλογής. Χωρίς το πυρίτιο, τα μοντέρνα ηλεκτρονικά, οι επικοινωνίες και οι υπολογιστές δεν θα υπήρχαν.[9]



Εικόνα 12: Δομή του Πυριτίου (Si)

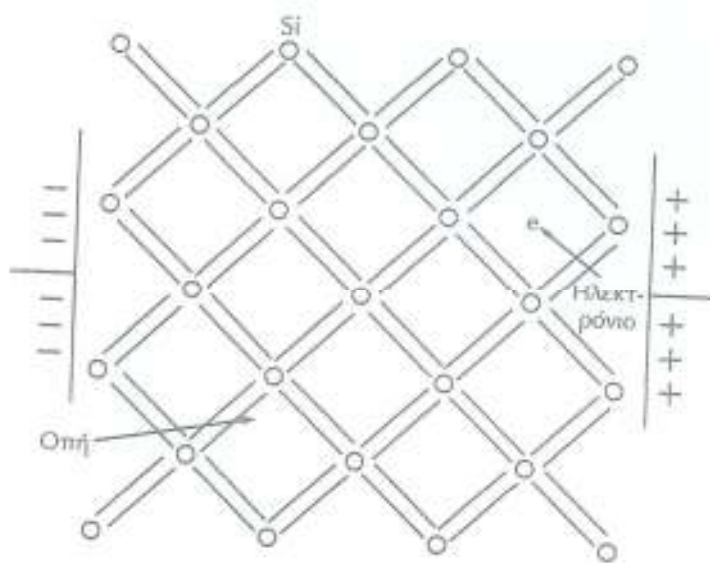
2.4 Ενδογενείς ημιαγωγοί (intrinsic semiconductors)

Οι ενδογενείς ημιαγωγοί είναι ημιαγωγοί κρύσταλλοι υψηλής καθαρότητας στοιχείων όπως το Si, Ge και άλλα. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι η εξάρτηση της αγωγιμότητας τους από την θερμοκρασία. Ένας ημιαγωγός έχει τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων και οπών. Αυτό συμβαίνει επειδή η θερμική ενέργεια παράγει ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές κατά ζεύγη. Το ενεργειακό διάγραμμα ενός ημιαγωγού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σε θερμοκρασία $T=0$ °K και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες η ζώνη αγωγιμότητας είναι εντελώς άδεια και η ζώνη σθένους πλήρως κατειλημμένη που σημαίνει ότι πρακτικά τα υλικά συμπεριφέρονται σαν μονωτές.[3]



Σχήμα 13: Ενεργειακό διάγραμμα ημιαγωγού.

Σε υψηλότερες θερμοκρασίες το υλικό παρουσιάζει αγωγιμότητα. Αυτό οφείλεται στο ότι ένας αριθμός ηλεκτρονίων διεγείρεται θερμικά και αποκτά την απαιτούμενη ενέργεια ώστε να υπερπηδήσει το ενεργειακό χάσμα και να μεταφερθεί από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Η διεργασία αυτή στην πραγματικότητα σημαίνει ότι έχουμε μερική διάσπαση ορισμένων δεσμών του υλικού και πλήρη αποδέσμευση των ηλεκτρονίων από τις θέσεις που κατείχαν αρχικά. Κάθε ηλεκτρόνιο που αποδεσμεύεται πλήρως από το δεσμό αφήνει μια κενή θέση με θετικό φορτίο που ονομάζεται οπή (hole). Τα αποδεσμευμένα ηλεκτρόνια (ελεύθερα ηλεκτρόνια) κατέχουν ενέργεια μεγαλύτερη από τα ηλεκτρόνια που είναι δεσμευμένα στους ομοιοπολικούς δεσμούς και θεωρούνται ότι ανήκουν στη ζώνη αγωγιμότητας. Ενώ οι οπές και τα ηλεκτρόνια των δεσμών ανήκουν στη ζώνη σθένους. Υπό την επίδραση εξωτερικού πεδίου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια έλκονται από το θετικό ηλεκτρικό πεδίο ενώ οι οπές από το αρνητικό ηλεκτρικό πεδίο (σχήμα : 14).



Σχήμα 14: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ενδογενή ημιαγωγό με μετακίνηση ηλεκτρονίων και οπών υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου.

Από το σχήμα φαίνεται ότι η κίνηση της οπής είναι στην πραγματικότητα κίνηση των ηλεκτρονίων σθένους. Τα ηλεκτρόνια σθένους ανταλλάσσουν θέσεις με την οπή κατά τρόπον ώστε να μετακινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο. Συνεπώς κάθε φορά που μια οπή κινείται από τη μια θέση στην άλλη ένα ηλεκτρόνιο σθένους μετακινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Τα διεγερμένα ηλεκτρόνια (ελεύθερα ηλεκτρόνια) κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο ανεξάρτητα από την κίνηση των οπών. Είναι φυσικό ότι τα ``ελεύθερα ηλεκτρόνια`` θα κινούνται με μεγαλύτερη ευκινησία από τις οπές. Η ευκινησία των διεγερμένων ηλεκτρονίων του Si στους 300°K είναι τριπλάσια της ευκινησίας των οπών ενώ του Ge είναι διπλάσια.[6]

2.5 Εξωγενείς Ημιαγωγοί (Extrinsic semiconductors)

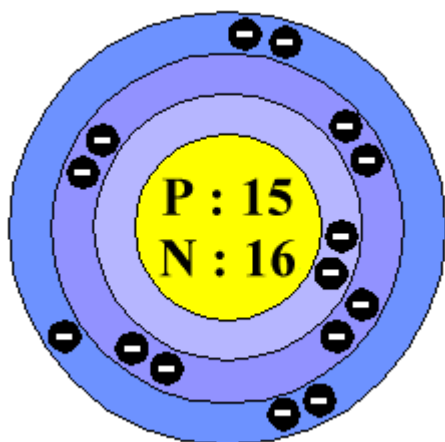
Στους ενδογενείς ημιαγωγούς το πλήθος των ελεύθερων φορέων για δεδομένο ημιαγωγό και καθορισμένη θερμοκρασία είναι καθορισμένο. Στις ημιαγωγικές διατάξεις όμως απαιτείται να μπορούμε να αυξάνουμε το πλήθος και των δύο ειδών ελευθέρων φορέων (οπών και ηλεκτρονίων) ή και μόνο του ενός είδους ανεξάρτητα με το ενεργειακό χάσμα και την θερμοκρασία. Αυτό επιτυγχάνεται αν στο μητρικό πλέγμα του ημιαγωγού υπάρχουν ορισμένα είδη προσμίξεων είτε εσκεμμένα είτε όχι. Μια προγραμματισμένη προσθήκη προσμίξεων σε ένα ημιαγωγό ονομάζεται **εμπλουτισμός (doping)**. [3]

Οι Εξωγενείς ημιαγωγοί είναι στερεά διαλύματα υποκατάστασης που δημιουργούνται με προσθήκη πρόσμειξης στοιχείων της III ή V ομάδας σε κρυστάλλους Si ή Ge υψηλής καθαρότητας. **Η αγωγιμότητα των εξωγενών ημιαγωγών εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων της πρόσμειξης και για μια ορισμένη περιοχή θερμοκρασιών παραμένει σχεδόν σταθερή, σε αντίθεση με τους ενδογενείς ημιαγωγούς που η αγωγιμότητα τους επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία.**[6]

2.5.1 Ημιαγωγοί τύπου - n

Είδαμε ότι ένας καθαρός κρύσταλλος ημιαγωγού είναι φτωχός αγωγός. Σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να γίνει καλύτερος αγωγός επειδή δημιουργούνται θερμικά ηλεκτρόνια. Για περισσότερες όμως εφαρμογές υπάρχει ένας καλύτερος τρόπος δημιουργίας αγωγιμότητας.

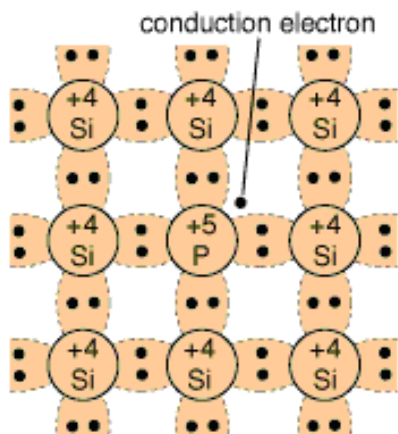
Η νοθεία είναι μια διαδικασία πρόσθεσης άλλων υλικών σε ένα κρύσταλλο πυριτίου. Η πρόσμιξη αυτή αλλάζει τις ηλεκτρικές ιδιότητες. Υλικά νοθείας για την δημιουργία ημιαγωγού τύπου n είναι το αρσενικό (As), το αντιμόνιο (Sb) και ο φώσφορος (P). Το υλικό αυτό (π.χ το φώσφορο) ονομάζεται και δότης γιατί κάθε άτομο του δίνει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο στον κρύσταλλο. Το φώσφορο διαφέρει πολύ από το πυρίτιο, η κυριότερη όμως διαφορά είναι ότι έχει πέντε ηλεκτρόνια σθένους.[10]



Σχήμα 15: Δομή του φώσφορου (P)

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e- στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το φώσφορο (P). Στο σχήμα 15 βλέπουμε τη δομή του φώσφορου.

Όταν ένα άτομο φώσφορου εισαχθεί μέσα στον κρύσταλλο πυριτίου θα έχει σαν αποτέλεσμα την εξασφάλιση ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου. Στο σχήμα 16 φαίνεται πώς συμβαίνει αυτό. Οι ομοιοπολικοί δεσμοί των γειτονικών ατόμων του πυριτίου δεσμεύουν τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους από το άτομο του φώσφορου, σαν να ήταν όλα άτομα πυριτίου. Τώρα όμως, έχουμε ένα άτομο φώσφορου. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο σθένους του φώσφορου δεν μπορεί να σχηματίσει δεσμό, έτσι μένει ελεύθερο αφού δεν συνδέεται με τίποτε στον κρύσταλλο και φυσικά είναι πάρα πολύ εύκολο να μετακινηθεί και να δώσει φορείς ρεύματος. Το πυρίτιο με μερικά άτομα φώσφορου γίνεται ημιαγωγός και στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.[10]

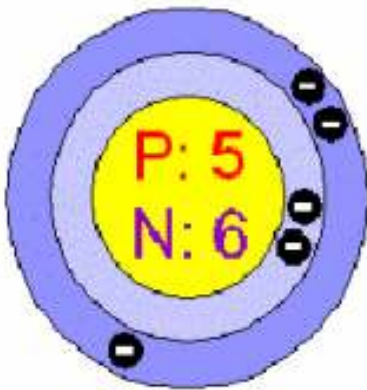


Σχήμα 16: Εισβολή φώσφορου σε κρύσταλλο πυριτίου.

Τα υλικά νοθείας μειώνουν την αντίσταση του κρυσταλλικού πυριτίου. Όταν προστίθεται υλικά νοθείας με πέντε ηλεκτρόνια σθένους δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια. Εφόσον τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο, λέμε ότι το υλικό αυτό είναι ημιαγωγός τύπου - n όπου το n σημαίνει αρνητικό (negative).[10]

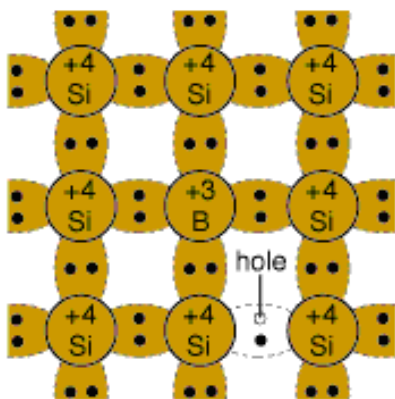
2.5.2 Ημιαγωγοί τύπου – p

Η νοθεία μπορεί να γίνει και με άλλα υλικά. Το πυρίτιο όταν εμπλουτισθεί με μια τρισθενή πρόσμειξη καλείται ημιαγωγός τύπου – p ή αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος, διότι p σημαίνει θετικό (positive). Άτομα με τρία ηλεκτρόνια σθένους είναι το βόριο (B), το αργίλιο ή αλουμίνιο (Al), το ίνδιο (In), και το γάλλιο(Ga). Όταν π.χ ένα άτομο βορίου που έχει 3e⁻ στην εξωτερική του στοιβάδα (σχήμα17) εισαχθεί σε κρύσταλλο πυριτίου, τότε ένα άλλου τύπου ρεύμα μπορεί να προκύψει. [10]



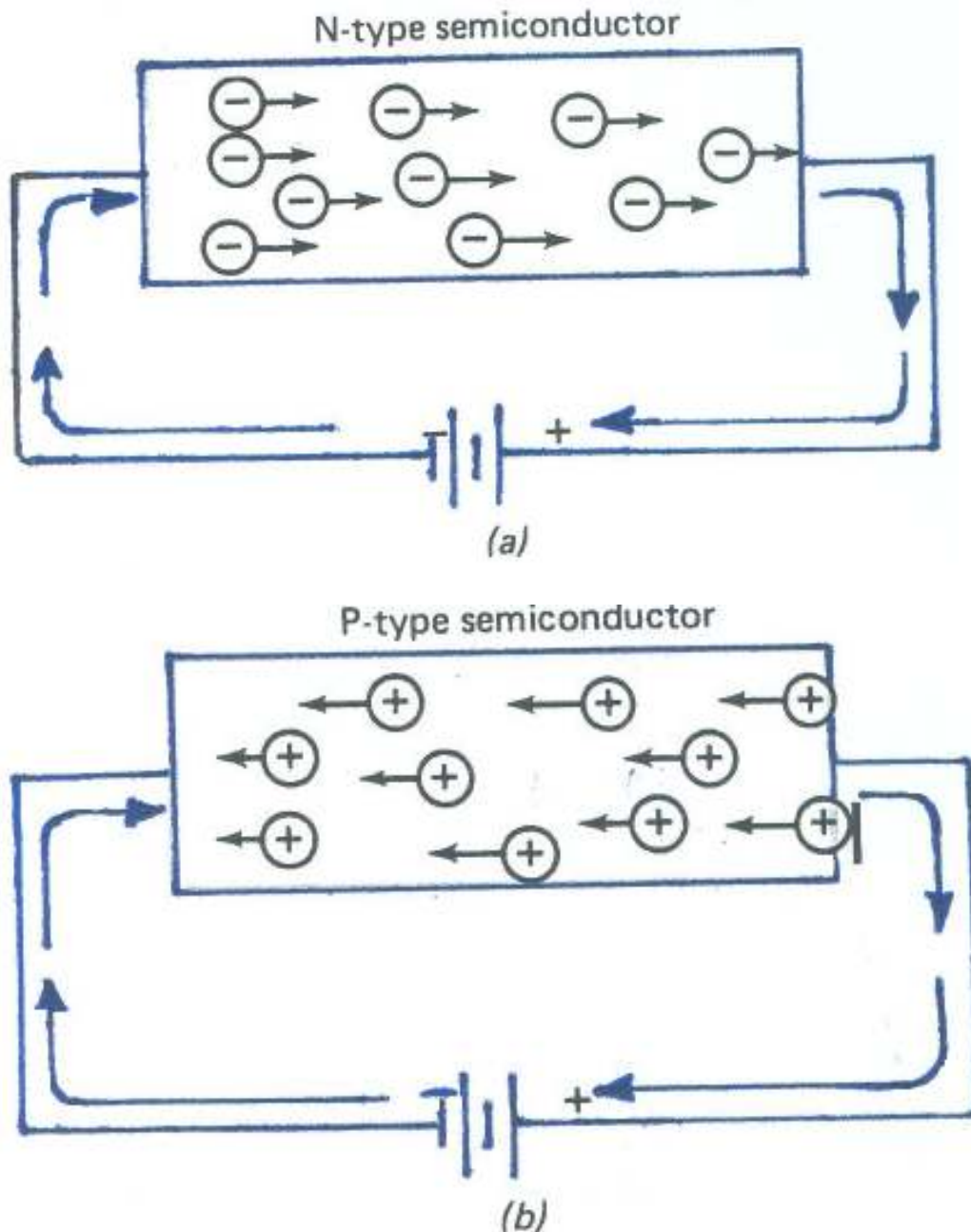
Σχήμα 17: Δομή του Βορίου (B).

Στο σχήμα 18 φαίνεται ότι ένας ομοιοπολικός δεσμός με γειτονικά άτομα πυριτίου δεν μπορεί να σχηματισθεί. Δημιουργείται λοιπόν μια οπή ή έλλειψη ηλεκτρονίου. Η οπή σημειώνεται σαν θετικό φορτίο, εφόσον είναι δυνατόν να έλξη ή να αισθανθεί ένα ηλεκτρόνιο. Το βόριο είναι γνωστό σαν λήπτης νοθείας. Κάθε άτομο βορίου στον κρύσταλλο θα δημιουργήσει μια οπή η οποία είναι δυνατόν να έλξη ένα ηλεκτρόνιο. [10]



Σχήμα 18: Εισβολή βορίου σε κρύσταλλο πυριτίου.

Οι οπές συμπεριφέρονται σαν φορείς ρεύματος. Σ' ένα αγωγό ή N - τύπου ημιαγωγό οι φορείς είναι τα ηλεκτρόνια, τα οποία μπορούν να τεθούν σε κίνηση με την εφαρμογή τάσης και να μετατοπιστούν προς το θετικό ακροδέκτη. Στον P - τύπου ημιαγωγό οι οπές κινούνται προς τον αρνητικό ακροδέκτη της πηγής τάσης. Το ρεύμα των οπών είναι ίσο με το ρεύμα των ηλεκτρονίων αλλά αντίθετης διεύθυνσης. Στο σχήμα 19 φαίνεται η διαφορά μεταξύ N και P - τύπου ημιαγωγών. Στο σχήμα 19a οι φορείς είναι τα ηλεκτρόνια που κινούνται προς το θετικό ακροδέκτη της πηγής τάσης. Στο σχήμα 19b οι φορείς είναι οι οπές οι οποίες κινούνται προς το αρνητικό ακροδέκτη της πηγής τάσης.[10]



Σχήμα 19: Αγωγιμότητα σε πυρίτιο τύπου N. a) Οι φορείς είναι τα e⁻ που κινούνται προς το θετικό ακροδέκτη της πηγής. b) Οι φορείς είναι οι οπές οι οποίες κινούνται προς το αρνητικό ακροδέκτη της πηγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Ηλεκτρονικές Διατάξεις

Οι ημιαγωγοί αποτελούν τον θεμέλιο λίθο της μικροηλεκτρονικής και νανοηλεκτρονικής. Χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές και οπτοηλεκτρονικές διατάξεις σαν δίοδοι, τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κυκλώματα και σαν ηλεκτρολογικά υλικά. **Όλες οι ημιαγωγικές διατάξεις βασίζονται στο γεγονός ότι η αγωγιμότητα του υλικού ελέγχεται με την συγκέντρωση των προσμίξεων ή οποία μπορεί να μεταβάλλεται σε μία μεγάλη περιοχή τιμών και να αλλάζει από περιοχή σε περιοχή πάνω στη διάταξη.** Συνδυάζοντας, με διάφορους τρόπους, υλικά τύπου $-n$ και τύπου $-p$, δημιουργούμε τα ημιαγωγά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη ηλεκτρονική. Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων από αυτά. [3]

3.3.1 Δίοδος

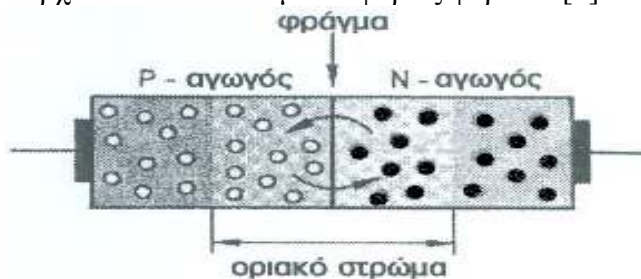
Οι δίοδοι αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του σύγχρονου κόσμου της ηλεκτρονικής χάρις στην ιδιότητά τους να ρυθμίζουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος υπό την εφαρμογή μιας τάσης (πόλωσης). Οι περισσότερες σύγχρονες δίοδοι βασίζονται στον ημιαγωγό $p-n$ επαφών. Ένα κομμάτι ημιαγωγού τύπου $-n$ είναι περίπου το ίδιο χρήσιμο με έναν αντιστάτη από άνθρακα. Το ίδιο ισχύει και για έναν ημιαγωγό τύπου $-p$. Αλλά όταν ένας κατασκευαστής εμπλουτίσει ένα κρύσταλλο έτσι ώστε το μισό αυτού να είναι τύπου $-p$ και το άλλο μισό τύπου $-n$, προκύπτει κάτι νέο.

Το όριο μεταξύ τύπου $-p$ και τύπου $-n$ καλείται **pn επαφή**. Η pn επαφή έχει οδηγήσει σε όλων των ειδών τις ανακαλύψεις συμπεριλαμβανομένων των διόδων, των transistors, και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Η κατανόηση της pn επαφής θεωρείται βασική για την κατανόηση όλων των ειδών των ημιαγωγικών διατάξεων.[11]

Η δίοδος είναι το βασικότερο ημιαγωγό στοιχείο. Επιτρέπει τη ροή των φορέων πλειονότητας προς τη μια μόνο διεύθυνση. Μ' άλλα λόγια συμπεριφέρεται σαν μονόδρομος αγωγός. Γι' αυτήν την ιδιότητα η δίοδος χρησιμοποιείται στα τροφοδοτικά, δηλαδή στις διατάξεις που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη (ac τάση) τάση του δικτύου σε συνεχή τάση (dc τάση), κατάλληλη για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών συσκευών.[7]

3.3.2 Δίοδος επαφής p – n

Όταν δυο ημιαγωγικές ζώνες διαφορετικού τρόπου αγωγιμότητας συνορεύουν, τότε σχηματίζεται μια επαφή PN. Η δίοδος επαφής p – n είναι συνήθως ένας κρύσταλλος Ge ή Si με προσμίξεις τύπου p σε μία περιοχή και τύπου n σε μία άλλη περιοχή. Εξαιτίας της θερμικής κίνησης των σωματιδίων, οι αρνητικοί φορείς φορτίου (ηλεκτρόνια) μεταβαίνουν από τον αγωγό N στον αγωγό P, οι δε θετικοί φορείς φορτίου (οπές) από τον αγωγό P στον αγωγό N. το φαινόμενο ονομάζεται **διάχυση**. Σ' αυτόν παρατηρούνται επανασυνδέσεις. Τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας του οριακού στρώματος (ζώνη αγωγιμότητας) γίνονται ηλεκτρόνια σθένους και οι οπές εξαφανίζονται, (σχήμα 20). Στο οριακό στρώμα μεταξύ του αγωγού P και του αγωγού N δεν υπάρχουν πλέον κινούμενοι φορείς φορτίου.[5]



Σχήμα 20: Επαφή PN.

Στην ηλεκτρονική, η **δίοδος** είναι ένα στοιχείο που περιορίζει τη κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας (charge carriers). Ουσιαστικά, η δίοδος επιτρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από τη μια διεύθυνση, αλλά μπλοκάρει την κίνηση από την αντίθετη διεύθυνση. Έτσι, η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως μια ηλεκτρονική εκδοχή της βαλβίδας. Τα κυκλώματα που απαιτούν ροή προς μία μόνο κατεύθυνση περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διόδους στη σχεδίαση του κυκλώματος. **Οι πρώτες διόδους περιλάμβαναν κρυστάλλους cat's whisker και λυχνίες κενού. Σήμερα, οι περισσότερες διόδους είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών όπως πυρίτιο ή γερμάνιο.**[12]



Σχήμα 21: Κυκλωματικό σύμβολο της διόδου, πραγματική δίοδος.



Εικόνα 22: Διάφορα είδη διόδων

3.3.3 Δίοδος Zener

Η δίοδος Zener είναι μια δίοδος πυριτίου η οποία έχει κατασκευαστεί για λειτουργία στην περιοχή κατάρρευσης, στην οποία οι λοιπές δίοδοι κινδυνεύουν να καταστραφούν. Γι' αυτό το λόγο ονομάζεται και **δίοδος κατάρρευσης**. Η κυριότερη εφαρμογή των διόδων zener είναι οι σταθεροποιητές τάσης, δηλαδή κυκλώματα που διατηρούν περίπου σταθερή την dc τάση εξόδου, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της τάσης εισόδου ή της αντίστασης φορτίου. Χρησιμοποιούνται για την προστασία των κυκλωμάτων. Είναι κάτι σαν ασφάλεια τάσης. Πρακτικά σε ένα κύκλωμα απεικονίζεται ως εξής:[7]



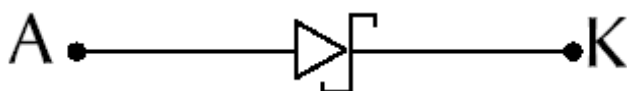
Σχήμα 23: Κυκλωματικό σύμβολο της διόδου Zener.

3.3.4 Δίοδος SCHOTTKY

Η δίοδος Schottky πήρε το όνομα της από το γερμανό φυσικό Walter H. δίοδος Schottky προκύπτει από την επαφή μετάλλου με ημιαγωγό-n (το μέταλλο παίζει το ρόλο του ημιαγωγού-p).

Παρουσιάζει παραπλήσια χαρακτηριστικά με τη δίοδο p-n, με το εξής επιπλέον πλεονέκτημα: Κατά την ορθή πόλωση της διόδου, οι πλεονάζοντες φορείς του ημιαγωγού-n (ηλεκτρόνια) εισέρχονται στο μέταλλο και μαζί με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του συντελούν στη μη συσσώρευση φορτίων στη ζώνη απογύμνωσης. Λόγω αυτής της συμπεριφοράς, η δίοδος Schottky χρειάζεται πολύ μικρότερο χρόνο (μερικά ns) από την απλή δίοδο p-n για να μεταβεί από την αγώγιμη κατάσταση (ορθή πολικότητα) στην κατάσταση αποκοπής (ανάστροφη πολικότητα).

Χρησιμοποιείται σε ψηφιακά κυκλώματα που απαιτείται ταχεία μετάβαση από την αγωγιμότητα στην αποκοπή, σε παλμοτροφοδοτικά και σε εφαρμογές χαμηλής τάσης λόγω του χαμηλού δυναμικού φραγμού (0.25-0.3 V).[24]. Μια άλλη χαρακτηριστική εφαρμογή είναι απαλλαγή-προστασία για ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένος με lead-acid μπαταρίες.[12]



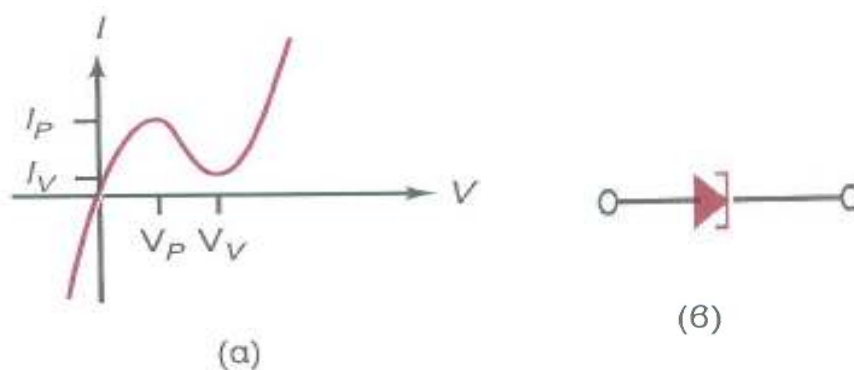
Σχήμα 24: Κυκλωματικό σύμβολο της διόδου Schottky

3.3.5 Δίοδος Σήραγγας ή Δίοδος Esaki

Η δίοδος σήραγγας (tunnel diode) ή δίοδος Esaki οφείλει την ονομασία της στο κβαντομηχανικό φαινόμενο σήραγγας. Η δίοδος σήραγγας κατασκευάζεται με τη προσθήκη μεγάλου αριθμού προσμίξεων σε μία διάταξη επαφής p-n. Η συγκέντρωση των προσμίξεων στα δύο τμήματα είναι πάρα πολύ μεγάλη π.χ. $> 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Αυξάνοντας η στάθμη προσμίξεων ανάστροφης δίοδου, μπορούμε να έχουμε κατάρρευση που να συμβαίνει στα 0V. Επιπλέον, η μεγάλη πρόσμιξιξη παραμορφώνει την ορθή καμπύλη, όπως δείχνει το σχήμα 25α.[1]

Στη δίοδο σήραγγας, ηλεκτρόνια διεισδύουν διαμέσου ενός στρώματος υλικού με αποτέλεσμα το ρεύμα διαμέσου της δίοδου να αυξάνεται, να ελαττώνεται και να αυξάνεται εκ νέου καθώς η τάση μεγαλώνει. Αυτός ο τύπος δίοδου παρουσιάζει μια ιδιότητα γνώστη σαν αρνητική – αντίσταση. Αυτό σημαίνει ότι μια αύξηση στην ορθή τάση έχει σαν αποτέλεσμα μια ελάττωση στο ορθό ρεύμα, τουλάχιστο σ' ένα τμήμα της καμπύλης μεταξύ των V_P και V_V . Η αρνητική αντίσταση των δίοδων σήραγγας είναι χρήσιμη σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων καλούμενα ταλαντωτές.[9]

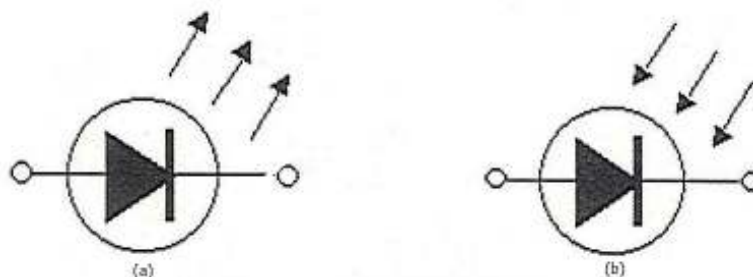
Το σημαντικό πλεονέκτημα από τη χρήση της δίοδου tunnel είναι οι χαμηλές απαιτήσεις σε τάση και ισχύ, το μεγάλο εύρος θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργεί αλλά κυρίως στο ότι η διάταξη αυτή, έχει πολύ μεγάλη ταχύτητα απόκρισης (αντίληψη) πράγμα που την κάνει κατάλληλη για χρήση σε πολύ υψηλές συχνότητες (μέχρι πολλές δεκάδες GHz) καθώς και για ταχύτερους διακόπτες, σε αντίθεση με τις συμβατικές διατάξεις, που είναι πολύ βραδείς.[1]



Σχήμα 25: Δίοδος σήραγγας (α) Η κατάρρευση εμφανίζεται στα 0V (β) Σχηματικός συμβολισμός της δίοδου σήραγγας.

3.3.6 Δίοδοι που εκπέμπουν ή ανιχνεύουν φως

Μία δίοδος η οποία χρησιμοποιείται ως συσκευή ένδειξης, είναι η δίοδος φωτοεκπομπής (LED, Light Emitting Diode) (σχήμα 26a). Δίοδος εκπομπής φωτός αποκαλείται ένας ημιαγωγός ο οποίος εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία στενού φάσματος όταν του παρέχεται μία ηλεκτρική τάση κατά τη φορά ορθής πόλωσης (forward-biased).



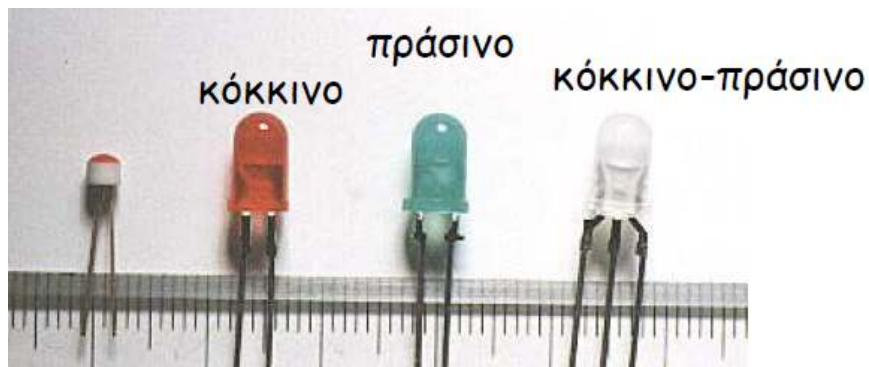
Εικόνα 26: (a) Δίοδος φωτοεκπομπής LED και (b) φωτοδίοδος.

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από την χημική σύσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται, και μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται, και, κατά συνέπεια, το χρώμα του, εξαρτάται από το χάσμα ενέργειας των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του περάσματος p-n, όπου:

p = Υλικό νοθευμένο με αποδέκτες.

n = Υλικό νοθευμένο με δότες[12]

Η δίοδος φωτοεκπομπής (LED) μπορεί να κατασκευαστεί από στοιχεία όπως το γάλλιο, το αρσενικό και το φώσφορο και να εκπέμπει κόκκινο (όπως η δίοδος TIL221), πράσινο (όπως η δίοδος TIL222), κίτρινο, μπλε, πορτοκαλί και υπέρυθρο (αόρατο) φως. Επειδή μπορεί να δεχτεί μέχρι μία μέγιστη τιμή ρεύματος χωρίς να καταστραφεί, γι' αυτό συνήθως συνδέεται σε σειρά με μία αντίσταση (περιοχή λειτουργίας: 1.5 - 2.2 Volts). Σε σχέση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, έχει χαμηλή τάση λειτουργίας, μεγάλη διάρκεια ζωής καθώς και γρήγορη διακοπτική λειτουργία (γρήγορη απόκριση).



Εικόνα 27: LEDs διάφορων χρωμάτων.

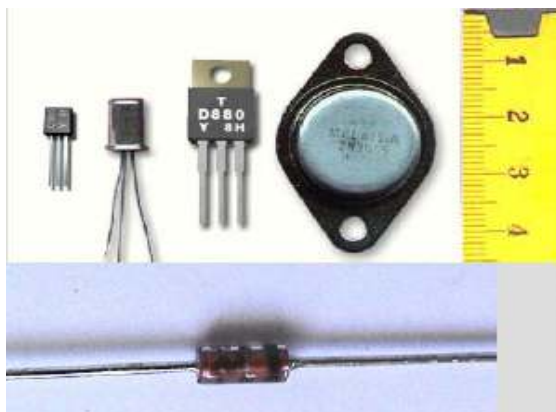
Μια δίοδος η οποία χρησιμοποιείται ως ανιχνευτής φωτός είναι η φωτοδίοδος (εικόνα 26b). Η φωτοδίοδος δουλεύει ανάστροφα πολωμένη. Όταν η ένταση του φωτός αυξάνεται τότε αυξάνεται και το ανάστροφο ρεύμα που περνά μέσα από τη φωτοδίοδο (πολύ μικρό ρεύμα, μερικά μA).

Μία εφαρμογή της φωτοδίοδου σε συνδυασμό με LED μπορεί να γίνει για τη μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής ενός τροχού: παρεμβάλλοντας τις εγκοπές του τροχού μεταξύ ενός LED (ή μιας φωτεινής πηγής) και μιας φωτοδίοδου, αναγκάζουμε τη φωτοδίοδο να ανιχνεύει ουσιαστικά παλμούς φωτός (δηλαδή, διαδοχές από σκοτάδι και φως). Οι παλμοί αυτοί μπορούν στη συνέχεια να αναλυθούν με τη βοήθεια υπολογιστή και έτσι να προκύψει, σε αναλογία με τη συχνότητά τους, η ταχύτητα περιστροφής.[1]

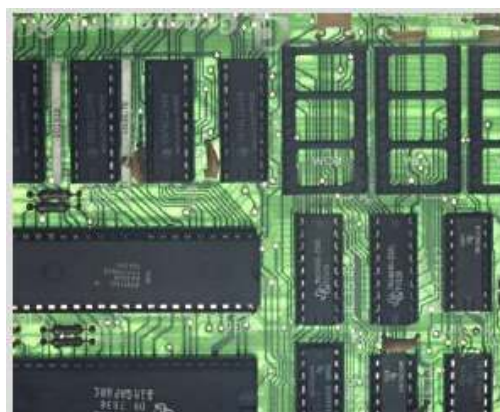
3.2 Transistors - Κρυσταλλολυχνίες

Ο Shockley διατύπωσε τη θεωρία του transistor επαφής το 1949. Το πρώτο transistor κατασκευάστηκε το 1951. Ο Shockley πήρε αργότερα, για τη μνημειώδη του ανακάλυψη, το βραβείο Nobel. Η επίδραση του τρανζίστορ στην ηλεκτρονική υπήρξε τεράστια. Εκτός από την τεράστια βιομηχανία ημιαγωγών, το τρανζίστορ οδήγησε σε πολλές σχετικές ανακαλύψεις, όπως τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, οι οπτοηλεκτρονικές διατάξεις και οι μικροϋπολογιστές. Οι περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές σχεδιάζονται σήμερα με ημιαγωγά στοιχεία.

Από νωρίς **το transistor αντικατέστησε στις περισσότερες εφαρμογές τη λυχνία κενού**. Μας επιτρέπει να κάνουμε πράγματα που ήταν δύσκολο ή αδύνατο να γίνουν με τις λυχνίες. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στη βιομηχανία των υπολογιστών. Οι ιστορικοί συμφωνούν ότι το transistor δεν αναμόρφωσε τη βιομηχανία των υπολογιστών, αλλά τη δημιούργησε.



Εικόνα 28: Διάφορα είδη τρανζίστορ.

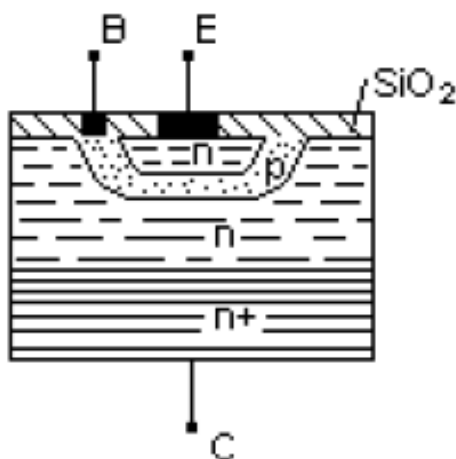


Εικόνα 29: Ολοκληρωμένα κυκλώματα.

3.2.1 Διπολικά τρανζίστορ (Dipolar Junction Transistor-BJT)

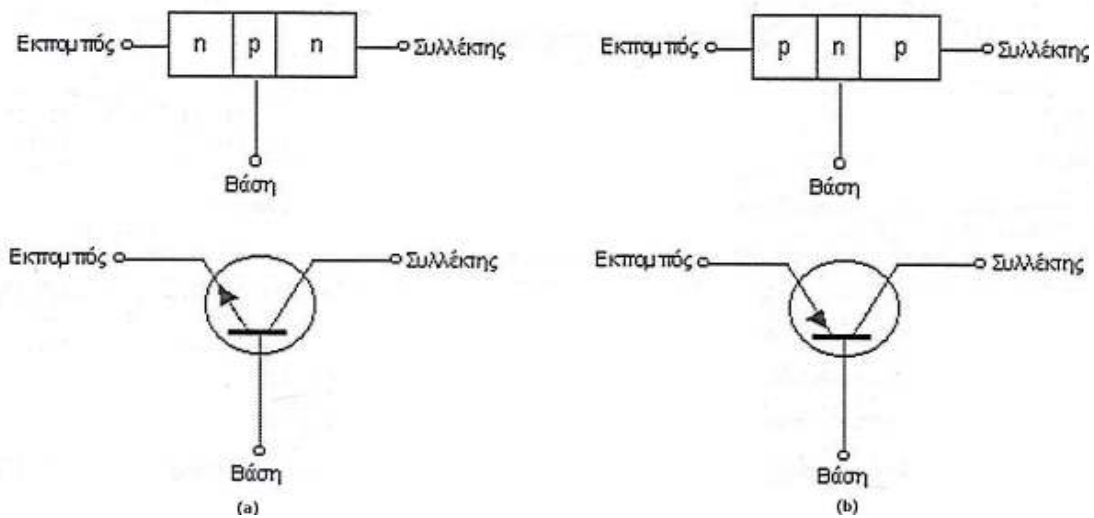
Το τρανζίστορ που ονομάζεται τρανζίστορ επαφής ή και διπολικό τρανζίστορ, ήταν το πρώτο ημιαγωγικό στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε σαν στοιχείο ενίσχυσης. Το όνομα διπολικό οφείλεται στο ότι το ρεύμα του δημιουργείται από δύο είδη φορέων φορτίου με διαφορετικές πολικότητες, δηλ. τα ηλεκτρόνια και τις οπές.[28]

Διπολικό τρανζίστορ είναι ένας κρύσταλλος με τρεις εμπλουτισμένες περιοχές, με άλλα λόγια, αποτελείται από τρία διαδοχικά εναλλασσόμενα στρώματα ημιαγωγού υλικού. Μπορεί να παρομοιαστεί με ένα "σάντουιτς" του οποίου το ενδιάμεσο υλικό είναι είτε τύπου -n (τρανζίστορ τύπου -npn) ή τύπου -p (τρανζίστορ τύπου -pnp). Οι τρεις περιοχές του τρανζίστορ αναφέρονται ως εκπομπός (E), βάση (B) και συλλέκτης (C). Ο **εκπομπός** είναι μια έντονα εμπλουτισμένη περιοχή που προορισμός της είναι να εκπέμπει τους φορείς ηλεκτρισμού (π.χ. ηλεκτρόνια, στην περίπτωση του τρανζίστορ τύπου -npn) προς τη βάση. Η **βάση** αποτελείται από μια πολύ λεπτή περιοχή η οποία επιτρέπει τη διέλευση των φορέων προς το συλλέκτη και είναι λιγότερο εμπλουτισμένη. Ο **συλλέκτης** βρίσκεται, σε επίπεδο εμπλουτισμού, μεταξύ αυτού του εκπομπού και αυτού της βάσης και αποτελεί περιοχή κατανάλωσης ισχύος, για το λόγο αυτό καλύπτει μεγαλύτερη περιοχή από τον εκπομπό.



Σχήμα 30: Δομή κατασκευής ενός τρανζίστορ npn με την τεχνολογία διαχύσεως.

Για την κανονική λειτουργία του, το τρανζίστορ πρέπει να πολωθεί κατάλληλα με εξωτερικές πηγές τάσης. Η επαφή βάσης-συλλέκτη πρέπει να είναι ανάστροφα πολωμένη, ενώ η επαφή βάσης-εκπομπού πρέπει να πολωθεί ορθά. Σε τρανζίστορ τύπου npn το ρεύμα οφείλεται κυρίως σε κίνηση ηλεκτρονίων ενώ σε τρανζίστορ τύπου pnp οφείλεται κυρίως στις οπές.[1, 25]



Σχήμα 31: (a) Σχηματικά οι τρεις περιοχές του τρανζίστορ npn και το αντίστοιχο κυκλωματικό σύμβολο (b) Σχηματικά οι τρεις περιοχές του τρανζίστορ pnp και το αντίστοιχο κυκλωματικό σύμβολο.

Το transistor του σχήματος 31a έχει δύο επαφές. Μια ανάμεσα στον εκπομπό και τη βάση και μια άλλη ανάμεσα στη βάση και το συλλέκτη. Έτσι το transistor μοιάζει με δύο διόδους, που συνδέονται πλάτη με πλάτη. Ονομάζουμε την επαφή, που βρίσκεται αριστερά, επαφή εκπομπού – βάσης ή απλά επαφή εκπομπού. Η επαφή που βρίσκεται δεξιά, είναι η επαφή συλλέκτη – βάσης ή η επαφή συλλέκτη. Στο κυκλωματικό σύμβολο του τρανζίστορ npn το βέλος που υπάρχει στον εκπομπό, δείχνει τη συμβατική φορά του ρεύματος. Μ' άλλα λόγια, τα ηλεκτρόνια κινούνται προς τον εκπομπό.

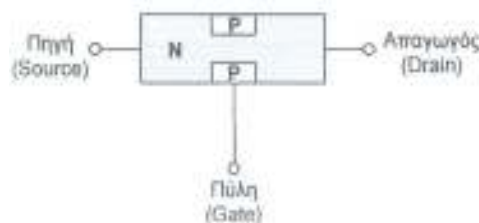
Στο σχήμα 31b παρουσιάζεται μια άλλη δυνατότητα, το transistor pnp. Το transistor pnp είναι το συμπληρωματικό του transistor npn επειδή οι φορείς πλειονότητας στον εκπομπό και το συλλέκτη είναι οι οπές. Αυτό σημαίνει ότι, κατά τη λειτουργία ενός transistor pnp, τα ρεύματα και οι τάσεις έχουν αντίθετες φόρες, σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη ενός transistor npn. Στο κυκλωματικό σύμβολο του τρανζίστορ pnp, το βέλος έχει φορά προς τον εκπομπό και δείχνει τη συμβατική φορά του ρεύματος. Έτσι, τα ηλεκτρόνια απομακρύνονται από τον εκπομπό.[7]

3.2.2 Transistors FET – Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (Field-Effect Transistors)

Τα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (ή τρανζίστορ φαινομένου πεδίου, Field Effect Transistor – FET) είναι ηλεκτρονικά στοιχεία στα οποία οι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ενός είδους σε αντίθεση με τα διπολικά τρανζίστορ όπου συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό ρεύμα τόσο οι φορείς πλειονότητας όσο και οι φορείς μειονότητας. Πρόκειται κατά βάση για μια ράβδο εμπλουτισμένου (νοθευμένου) ημιαγωγού και μια επαφή που βρίσκεται στο μέσο της ράβδου και κατά μήκος της επιφάνειάς της. Υπάρχουν δύο κυρίως FET: το τρανζίστορ επαφής επίδρασης πεδίου (junction field effect transistor-JFET) και το FET ημιαγωγού με οξείδιο μετάλλου (metal oxide semi-conductor FET-MOSFET).

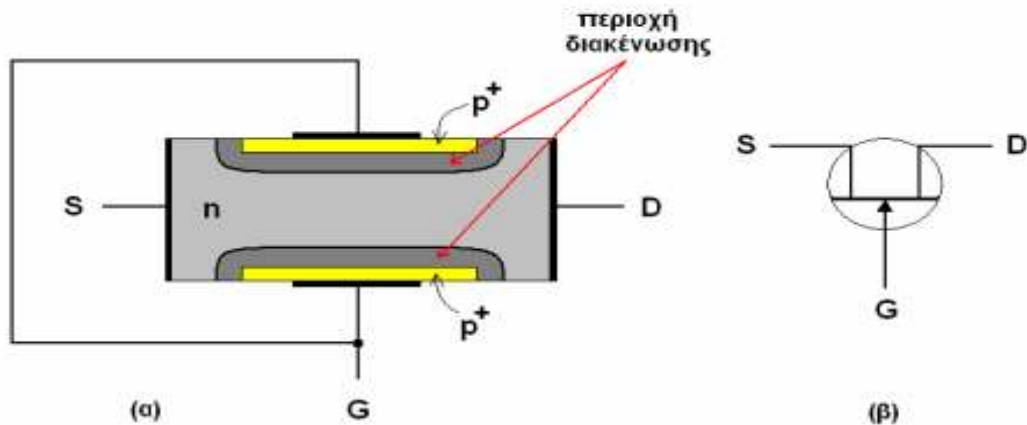
3.2.2.1 JFET (junction field effect transistor)

Το τρανζίστορ επαφής επίδρασης πεδίου του σχήματος 32 αποτελείται από έναν κρύσταλλο πυριτίου τύπου n στις δύο πλευρές του οποίου έχουν σχηματιστεί p-περιοχές μεγάλης συγκέντρωσης προσμίξεων (p+). Ένα τέτοιο FET ονομάζεται **n-τύπου JFET**.



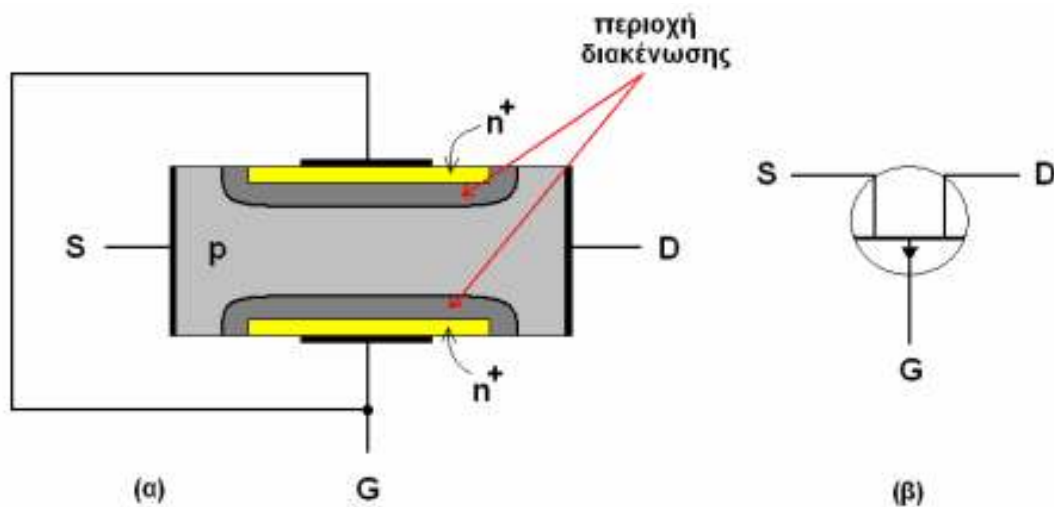
Σχήμα 32: Σχηματικά οι τρεις περιοχές του JFET καναλιού – n (απλής πύλης).

Οι δύο αυτές περιοχές βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους και καταλήγουν σε έναν ακροδέκτη που ονομάζεται πύλη (gate). Τα δύο άκρα του κρυστάλλου υπάρχουν δύο ακροδέκτες. Τα δύο άκρα του κρυστάλλου είναι εν γένει ισοδύναμα μεταξύ τους (σε αντίθεση με το διπολικό τρανζίστορ όπου ο εκπομπός διαφέρει από το συλλέκτη στα επίπεδα προσμίξεων). Στους ακροδέκτες του FET αποδίδεται ονομασία ανάλογα με τη συνδεσμολογία. Έτσι, το άκρο στο οποίο κατευθύνονται οι φορείς πλειονότητας ονομάζεται απαγωγός (Drain) και καταδεικνύεται με το γράμμα D ενώ το άλλο άκρο ονομάζεται πηγή (Source) και καταδεικνύεται με το γράμμα S.[14]



Σχήμα 33: JFET n-διαύλου: (α) δομή, (β) σύμβολο. Προσέξτε πως το βέλος βρίσκεται στην πλευρά της πύλης και δείχνει τη συμβατική φορά του ρεύματος.

Με βάση τα παραπάνω, για να θεωρείται ο δεξιός ακροδέκτης του n-τύπου JFET στο σχήμα 33α ως απαγωγός θα πρέπει να συνδέεται σε υψηλότερο δυναμικό από ότι ο αριστερός ακροδέκτης που χαρακτηρίζεται ως πηγή. Σε περίπτωση που εναλλάσσεται η πολικότητα της τάσης μεταξύ των δύο ακροδεκτών εναλλάσσεται και η ονομασία τους. Όπως και να ναι πάντως θα πρέπει οι δύο p-n επαφές να είναι ανάστροφα πολωμένες. Στο σχήμα 33 παρουσιάζεται η δομή ενός JFET n-διαύλου και το σύμβολό του και στο σχήμα 34 οι αντίστοιχες πληροφορίες για ένα **JFET p-διαύλου**. [14]

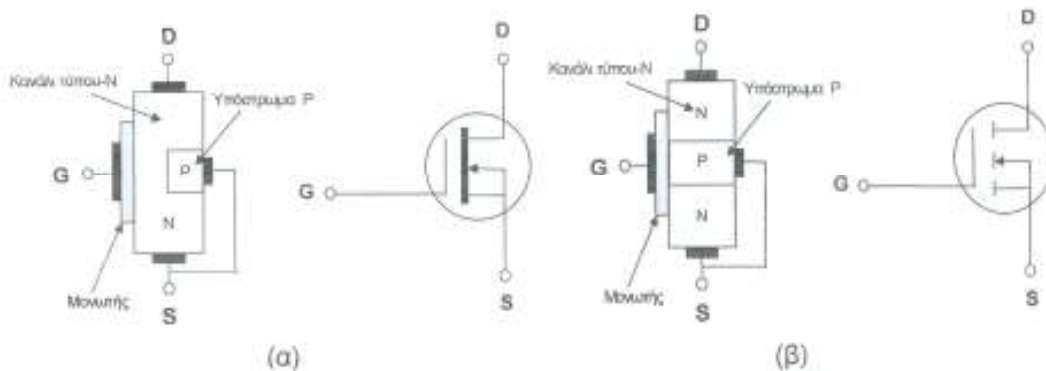


Σχήμα 34: JFET p-διαύλου : (α) δομή, (β) σύμβολο.

3.2.2.2 MOSFET (metal oxide semi-conductor FET-MOSFET)

Το MOSFET είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο τρανζίστορ. Όπως το JFET, αποτελείται και αυτό από τα ίδια στοιχεία (πηγή, απαγωγό και πύλη) όμως αντίθετα από το JFET, η πύλη είναι απομονωμένη από το κανάλι. Συναντούμε δύο είδη MOSFET: τα **MOSFET εκκένωσης** (ή αραιώσης) και τα **MOSFET ενίσχυσης** (ή πύκνωσης). Στο σχήμα 35 φαίνεται η δομή των MOSFET: στο πρώτο, το κανάλι - N είναι ενιαίο (δηλαδή, το κύκλωμα μεταξύ απαγωγού-πηγής είναι κανονικά κλειστό)

ενώ στο δεύτερο, το κύκλωμα μεταξύ απαγωγού και πηγής είναι κανονικά ανοιχτό. Ακόμη, η πύλη βρίσκεται απομονωμένη από το κανάλι (με μια μόνωση από διοξείδιο του πυριτίου), το οποίο βρίσκεται πάνω από ένα υπόστρωμα P.



Σχήμα 35: Δομή MOSFET με κανάλι τύπου-N και το κυκλωματικό του σύμβολο.
 (α) MOSFET εκκένωσης (αραιώσης) και (β) MOSFET ενίσχυσης (πύκνωσης).

Οι δύο κυρίως διαφορές των FET σε σχέση με τα BJT, είναι: α) ο έλεγχος του ρεύματος εξόδου από τάση εισόδου (ενώ στο BJT, είχαμε ρεύμα εισόδου) και β) η εφαρμογή αναστροφής τάσης μεταξύ πύλης-πηγής (ενώ στο BJT είχαμε ορθή πόλωση μεταξύ βάσης-εκπομπού). Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η ορθή πόλωση πύλης-πηγής, στις περισσότερες περιπτώσεις, σημαίνει καταστροφή του τρανζίστορ.[1]

3.3 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

3.3.1 Ιστορική αναδρομή

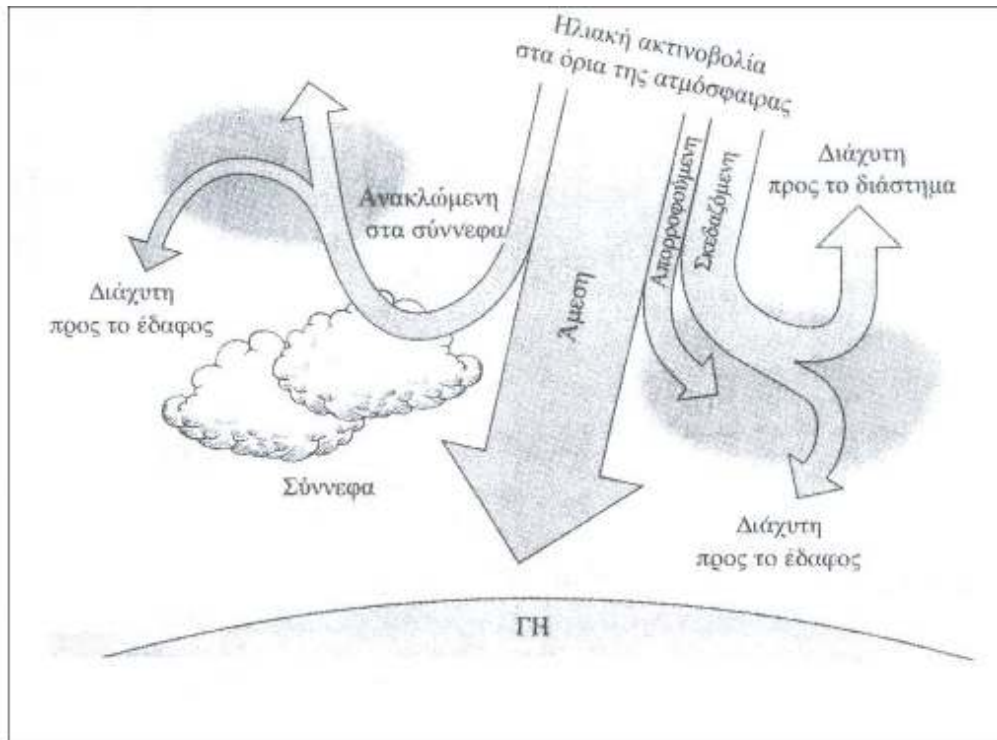
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Οι Αμερικάνοι Adams και Day το 1876 χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου είχαν κάνει επίδειξη αυτού του φαινομένου. Η απόδοση σε αυτή την περίπτωση ήταν μόνο 1%. Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (υπόθεση του φωτονίου). Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των p και n ενώσεων των ημιαγωγικών υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο, το οποίο λειτουργούσε με απόδοση του 10%. Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας στην εξερεύνηση του διαστήματος διάνοιξε εξαιρετικές προοπτικές για την χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Το 1958, 108 ηλιακά κύτταρα είχαν σταλεί στο διάστημα για δοκιμή. Το 1970 η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων για διαστημικές εφαρμογές ήταν 500 m². Η επίγεια χρήση ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '70, παίρνοντας δυναμική από την πετρελαϊκή κρίση του 1973-74 και δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών. Η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας ήταν να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με την εύρεση νέων φθηνότερων υλικών.

Σήμερα τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει κομμάτι της καθημερινής μας ζωής. Το φάσμα των εφαρμογών τους κυμαίνεται από μικρής κλίμακας συστήματα σε ρολόγια και υπολογιστές τσέπης, μέχρι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος.[20]

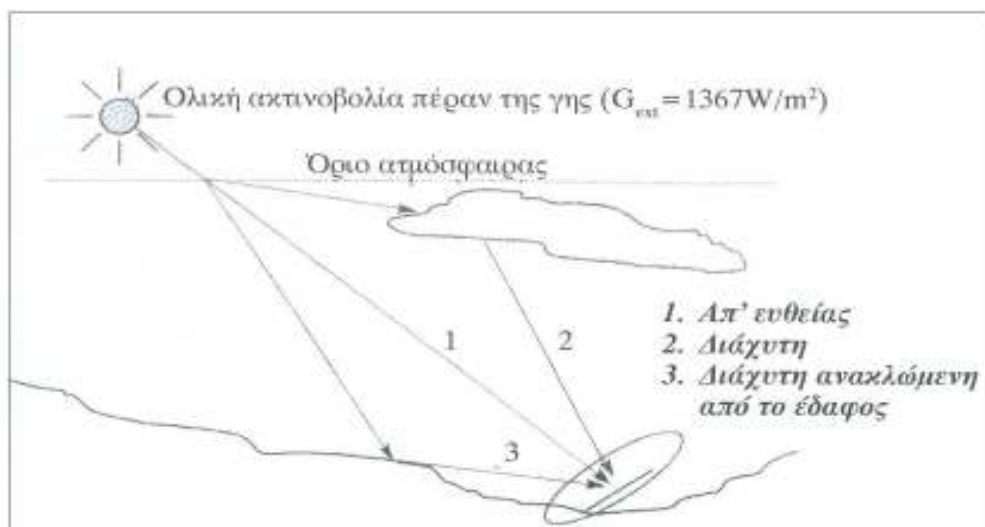
3.3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.



Εικόνα 36: Πορεία ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα.

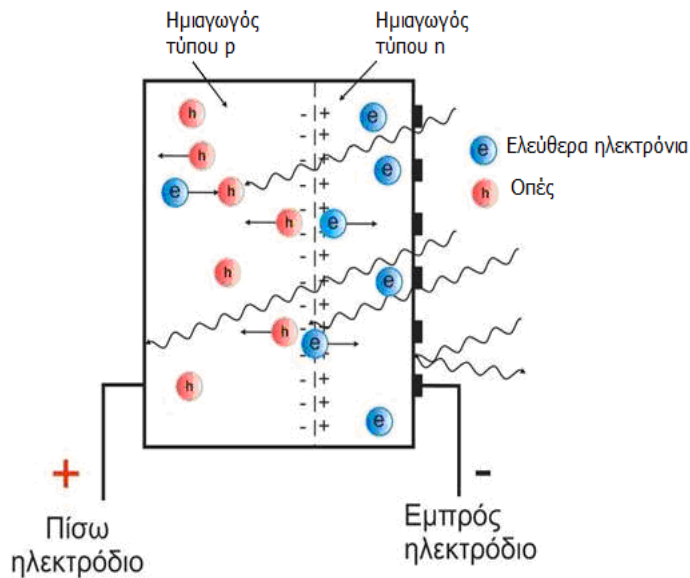


Εικόνα 37: Συνιστώσες προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. [16]

3.3.2.1 Δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου

Όπως έχουμε αναλύσει παραπάνω εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια διόδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

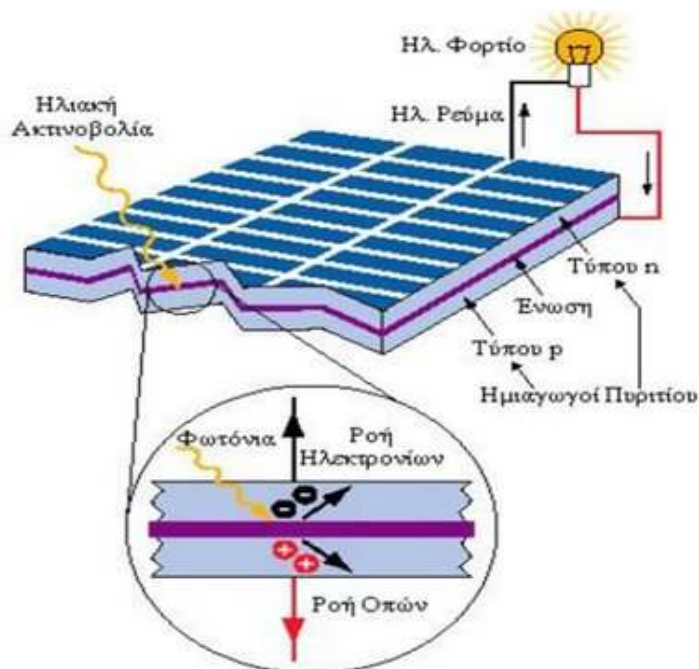


Εικόνα 38: Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ΦΒ στοιχείο.

Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» της επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. [16]

3.3.2.2 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φβ κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.



Εικόνα 39: Γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να **παράγει ηλεκτρικό ρεύμα** εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου. [16]

3.3.2.3 Ηλεκτρική ενέργεια από Φωτοβολταϊκά

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος(AC).[12]

3.3.2.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.

- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. [16]

3.3.2.5 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. [16]



2) Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά.



Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification). , η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC. [16]

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%. [16]

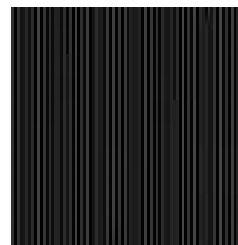


3.3.2.6 Φωτοβολταικα υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο. [16]



2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά **thin films** πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγύησης απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά. [16]



3) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

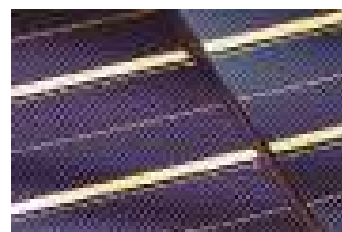
Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η **Greenpeace** έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή **έλλειψη του Τελουρίου**. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (**BIPV Building Integrated Photovoltaic**). [16]



4) Αρσενιούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενιούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία **GaAs** είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία **GaAs** έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για **διαστημικές εφαρμογές**. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος. [16]

5) Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.[16]

6) Άλλες Τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- Οργανικά/πολυμερή στοιχεία

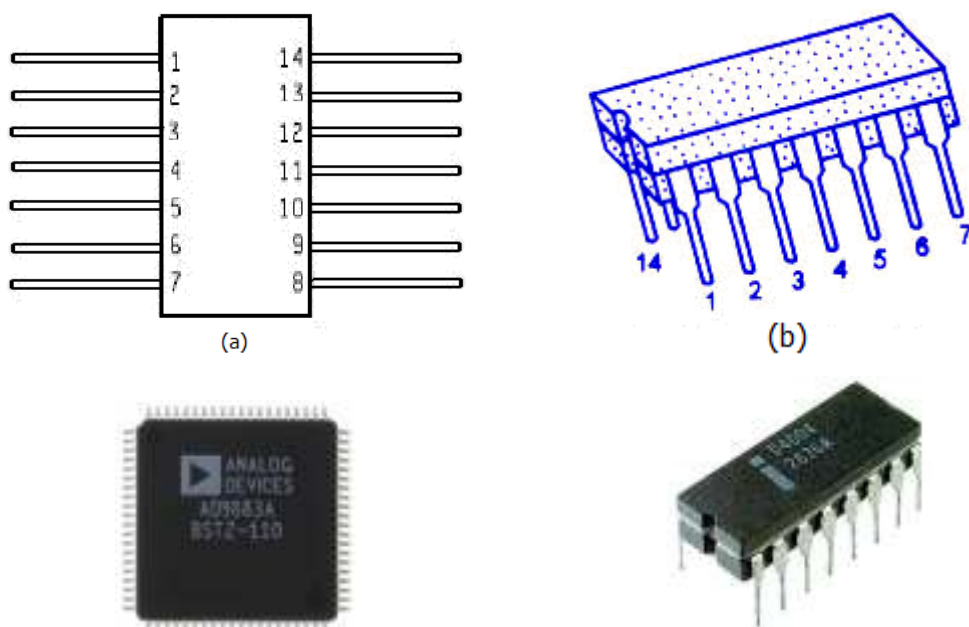
3.4 Ολοκληρωμένα Κυκλώματα

Τα ψηφιακά κυκλώματα κατασκευάζονται κυρίως με χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (που λέγονται για συντομία ICs – INTEGRATED CIRCUITS). Κάθε IC είναι ένας μικρός κρύσταλλος ημιαγωγού πυριτίου (Si), καλούμενος CHIP. Το CHIP περιλαμβάνει ηλεκτρικά στοιχεία όπως τρανζίστορ, διόδους αντιστάσεις και πυκνωτές. Τα στοιχεία αυτά είναι συνδεδεμένα μέσα στο CHIP ώστε να σχηματίζουν ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Το CHIP τοποθετείται πάνω σε μεταλλικό ή πλαστικό στέλεχος και οι συνδέσεις συγκολλούνται σε εξωτερικά “ποδαράκια”, έτσι σχηματίζεται το IC. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα διαφέρουν από τα συμβατικά κυκλώματα διακριτών στοιχείων στο ότι τα στοιχεία τους δεν μπορούν να διαχωριστούν ή να αποσυνδεθούν από το κύκλωμα του εσωτερικού του ολοκληρωμένου πακέτου. Η σύνδεση του ολοκληρωμένου με το υπόλοιπο εξωτερικό κύκλωμα γίνεται μόνο με τους εξωτερικούς του ακροδέκτες (ποδαράκια).

Πλεονεκτήματα των IC:

- 1) Πολύ μικρό μέγεθος
- 2) Χαμηλή τιμή κόστους μαζικής παραγωγής.
- 3) Μικρή κατανάλωση ισχύος.
- 4) Υψηλή αξιοπιστία λειτουργίας.
- 5) Υψηλή ταχύτητα λειτουργίας.
- 6) Μείωση εξωτερικών καλωδιακών συνδέσεων.[21]

Οι δύο βασικές συσκευασίες των IC, η FLAT και η DIP (DUAL IN LINE PACKAGE) φαίνονται στα σχήματα 40a και 40b αντίστοιχα.



Εικόνα 40: Ολοκληρωμένο Κύκλωμα (a)Flat Package (b) Dual-in-Line package

3.5 Αισθητήρες Ημιαγωγών

Το πρώτο και πλέον σημαντικό τμήμα σε κάθε σύστημα μέτρησης είναι το αισθητήριο. Το αισθητήριο μετατρέπει το προς μέτρηση φυσικό μέγεθος σ' ένα άλλο μέγεθος, συνήθως ηλεκτρικό. Για τη μετατροπή αυτή το αισθητήριο απορροφά ενέργεια από το φυσικό σύστημα, η οποία πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, έτσι ώστε να μην διαταράσσεται η κατάσταση του φυσικού συστήματος. Τα τελευταία χρόνια η καλύτερη κατανόηση των φυσικών φαινομένων και ιδιαίτερα η εμφάνιση νέων υλικών έκανε δυνατή την ανάπτυξη πολλών διαφορετικών τύπων αισθητηρίων, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια, ταχύτητα απόκρισης και ευρεία περιοχή μέτρησης. Περισσότεροι από 1600 διαφορετικοί τύποι αισθητηρίων είναι σήμερα διαθέσιμοι.

Τα αισθητήρια θερμοκρασίας με αντίσταση από ημιαγωγό (thermistors) (Thermally Temperature Resistors), έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης μεταβολής της ειδικής αντίστασης ρ με τη θερμοκρασία. Έτσι, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πολύ μικρών μεταβολών της θερμοκρασίας. Αν και η απόκρισή τους $\rho = f(\theta)$ είναι γενικά μη γραμμική, στη μικρή περιοχή μέτρησης όπου συνήθως χρησιμοποιούνται η μεταβολή της αντίστασής τους με τη θερμοκρασία μπορεί να θεωρηθεί γραμμική. Τα θερμίστορ χρησιμοποιούν την ίδια αρχή λειτουργίας, όπως τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης, δηλαδή την αλλαγή της αντίστασης με τη θερμοκρασία. Αντί για μέταλλα, όμως, τα θερμίστορ είναι ημιαγωγοί. Οι ημιαγωγοί εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερες αλλαγές αντίστασης για δεδομένες μεταβολές θερμοκρασίας. Κατασκευάζονται από μίγματα μεταλλικών οξειδίων ``σπάνιων γαιών`` (και περιέχουν συνήθως μαγγάνιο, νικέλιο, χρώμιο και κοβάλτιο, όχι όμως πυρίτιο και γερμάνιο, που είναι τα γνωστότερα ημιαγωγικά υλικά), με καθαρή σκόνη χαλκού. Η αντίσταση αυτών των υλικών είναι πολύ ευαίσθητη στις μεταβολές θερμοκρασίας. Τα θερμίστορ παρουσιάζουν θετικό θερμικό συντελεστή και κατασκευάζονται με αντίσταση από μερικές 10δες Ω έως αρκετές 100δες $k\Omega$.

- Στη φωτεινή ακτινοβολία. Όταν προσπέσει φως σε ορισμένα ημιαγωγά υλικά, τα οποία χαρακτηρίζονται ως φωτοευαίσθητα, μεταβάλλεται η ειδική τους αντίσταση. Τα αισθητήρια που βασίζονται στα υλικά αυτά ονομάζονται φωτοαντιστάσεις. Οι φωτοαντιστάσεις κατασκευάζονται με υψηλές τιμές της αντίστασης 104–109 Ω , με τη χρήση πολυκρυσταλλικών υλικών, ή μικρές τιμές 10–103 Ω χρησιμοποιώντας μονοκρυσταλλικά υλικά. Μειονέκτημα των φωτοαντιστάσεων είναι ότι επηρεάζονται σημαντικά από τις μεταβολές της θερμοκρασίας.
- Στην υγρασία. Η χημική σύσταση και μέσω αυτής η ειδική αντίσταση ορισμένων υλικών μεταβάλλεται με την υγρασία ενός αερίου.
- Στη μεταβολή των γεωμετρικών διαστάσεων του υλικού. Η ωμική αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος εξαρτάται από το μήκος του l , τη διατομή του S και την ειδική αντίσταση του υλικού ρ , από τη σχέση

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1.1)$$

Επομένως, η μεταβολή των παραπάνω τριών παραμέτρων έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της αντίστασης του σύρματος κατά ΔR , σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (1.2)$$

Οι μεταβολές της διατομής και της ειδικής αντίστασης μπορούν να αναχθούν σε μεταβολές του μήκους l , με τους συντελεστές αναλογίας *Poisson* ν και *Bridgman* C ,

$$\frac{\Delta s}{s} = -2\nu \frac{\Delta l}{l} \quad (1.3)$$

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = c \frac{\Delta V}{V} = c(1-2\nu) \frac{\Delta l}{l} \quad (1.4)$$

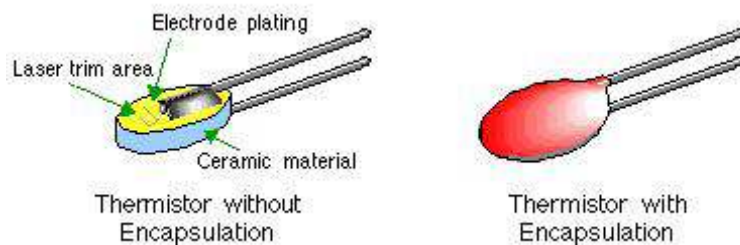
οπότε η Εξ. (1.2) γράφεται στη μορφή

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = K \frac{\Delta l}{l}, K = 1 + 2\nu + c(1-2\nu) \quad (1.5)$$

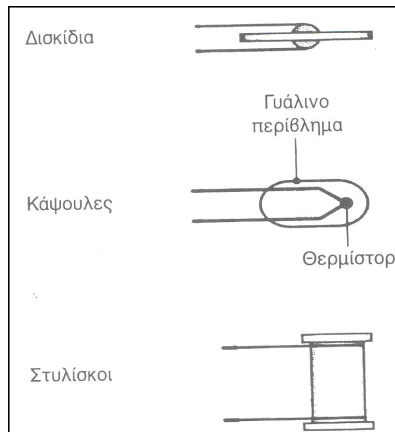
Η μεταβολή της ειδικής αντίστασης ενός υλικού εξαιτίας της μεταβολής του όγκου $V = Sl$ από την Εξ. (1.4), ονομάζεται φαινόμενο πιεζοηλεκτρικής αντίστασης.

Τα αισθητήρια πιεζοαντίστασης αποτελούνται από ένα σύρμα κατασκευασμένο από μέταλλο είτε από πυρίτιο με τις κατάλληλες προσμίξεις, η αντίσταση του οποίου μεταβάλλεται ως αποτέλεσμα της μεταβολής του μήκους του, Εξ. (1.6). Η πιεζοαντίσταση είτε είναι προσκολλημένη σε κάποιο μονωτικό υλικό, το οποίο στηρίζεται στην επιφάνεια η παραμόρφωση της οποίας μετράται, είτε είναι ελεύθερη οπότε τα άκρα της ενώνονται σε δύο βάσεις από τις οποίες η μια συνήθως είναι σταθερή και η άλλη κινείται από την επίδραση του μετρούμενου μεγέθους. Ο συντελεστής μεταβολής K στις πιεζοαντιστάσεις από ημιαγωγούς είναι πολύ μεγαλύτερος σε σχέση μ' εκείνο των μεταλλικών πιεζοαντιστάσεων. Επομένως, οι ημιαγωγικές πιεζοαντιστάσεις είναι κατάλληλες για τη μέτρηση πολύ μικρών μετατοπίσεων και μέσω αυτών της παραμόρφωσης, της δύναμης, του βάρους, της ροπής. Οι μεταλλικές πιεζοαντιστάσεις, οι οποίες κατασκευάζονται από κράματα νικελίου – χρωμίου, νικελίου – σιδήρου κ.α., λόγω της μικρής τους ευαισθησίας χρησιμοποιούνται στη μέτρηση μεγάλων μετατοπίσεων. Όμως, έχουν το πλεονέκτημα ότι επηρεάζονται πολύ λιγότερο από τις μεταβολές της θερμοκρασίας σε σχέση με τις πιεζοαντιστάσεις από ημιαγωγούς.[26]

Η μορφή των θερμίστορ παρουσιάζετε την εικόνα 41 και διατίθενται σε πολλές μορφές, όπως δισκίδια, κάψουλες και στυλίσκοι, εικόνα 42.



Εικόνα 41: Μορφή Θερμίστορς.



Εικόνα 42: Διάφορες μορφές θερμίστορ.

Τα θερμίστορ μπορούν να έχουν πολύ μικρό μέγεθος και παρόλα αυτά να έχουν υψηλή αντίσταση και εμφανίζουν ταχεία απόκριση στις μεταβολές θερμοκρασίας. Το θερμοκρασιακό εύρος των θερμίστορ εκτείνεται συνήθως μεταξύ 173K και 573K (-100°C και +100°C) αλλά είναι εφικτές και μεγαλύτερες περιοχές λειτουργίας.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση θερμοκρασιών σε μικρούς χώρους. Έχουν καλή επαναληψιμότητα και υψηλή διακριτική ικανότητα σε μικρές περιοχές θερμοκρασιών και έτσι χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν επάνω σε στερεά σώματα και να μετρούν την επιφανειακή τους θερμοκρασία.[13]

3.6 Ολοκληρωμένοι Αισθητήρες

Οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας κατασκευάζονται επάνω σε ημιαγωγούς, όπως όλα τα σύγχρονα ηλεκτρονικά στοιχεία, π.χ. οι μικροεπεξεργαστές. Τα χαρακτηριστικά τους είναι η γραμμικότητα του σήματος εξόδου, το σχετικά μικρό μέγεθος τους, η περιορισμένη περιοχή λειτουργίας (συνήθως μεταξύ -40 έως +120°C), το χαμηλό τους κόστος και η καλή ακρίβεια, εφ' όσον βαθμονομηθούν ικανοποιητικά. Σε μερικές περιπτώσεις, οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες έχουν κακό θερμικό σχεδιασμό, με αποτέλεσμα ο αισθητήρας – ημιαγωγός να μην έρχεται σε καλή θερμική επαφή με την εξωτερική επιφάνεια του αισθητήρα, άρα και με το σύστημα του οποίου ζητάμε τη θερμοκρασία. Παίρνοντας όλους αυτούς τους περιορισμούς υπόψη μας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους ολοκληρωμένους αισθητήρες αποτελεσματικά σε πολλές εφαρμογές.

Η αρχή λειτουργίας των ολοκληρωμένων αισθητήρων βασίζεται στη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και ρεύματος του τρανζίστορ. Αν δύο τρανζίστορ λειτουργούν υπό διαφορετικό, αλλά σταθερό ρεύμα συλλέκτη, τότε η διαφορά δυναμικού μεταξύ βάσης και εκπομπού είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του τρανζίστορ. Αυτή η τάση μετράται απ' ευθείας ή μετατρέπεται σε ρεύμα.

Οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι ιδανικοί για μετρήσεις στο εσωτερικό διαφόρων συσκευών, ειδικά εφ' όσον χρησιμοποιούνται και άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα. [27]

3.7 Έξυπνοι Αισθητήρες

Με τον όρο ευφυές αισθητήριο προσδιορίζεται ένα αισθητήριο που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ψηφιακή έξοδο, δηλαδή σήμα με διακριτές χρονικά τιμές και με προκαθορισμένες στάθμες τάσης, το οποίο είναι, συνήθως, κατάλληλο να τροφοδοτήσει τις εισόδους ψηφιακού ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- Αμφίδρομη επικοινωνία, δηλαδή έχει τη δυνατότητα να δίνει σήματα πληροφορίας (ανάλογα με τις τιμές των μετρούμενων φυσικών μεγεθών) και να δέχεται εντολές που σχετίζονται με τη λειτουργία του.
- Δυνατότητα προσπέλασης σε συγκεκριμένη θέση μνήμης του ψηφιακού συστήματος, με το οποίο είναι συνδεδεμένο.
- Δυνατότητα εκτέλεσης εντολών και λογικών ενεργειών, οι οποίες διαβιβάζονται σ' αυτό από το ψηφιακό σύστημα (κάποιου είδους ηλεκτρονικό υπολογιστή), με το οποίο είναι συνδεδεμένο.

Επιπλέον, είναι επιθυμητό να περιλαμβάνει εξελεγμένες λειτουργίες, όπως:

- Αντιστάθμιση δευτερευουσών παραμέτρων (όπως θερμοκρασία), δηλαδή τρόπους εξουδετέρωσης των επιπτώσεων των μεταβολών αυτών των παραμέτρων στην ομαλή λειτουργία του.
- Ανίχνευση λάθους, δηλαδή δυνατότητα αντίληψης περί της ορθής λειτουργίας και διάγνωσης μιας πιθανής απόκλισης απ' αυτήν.
- Αυτοέλεγχο, δηλαδή δυνατότητα αυτοκαθορισμού των τιμών των διαφόρων ιδιοτήτων του, με βάση πληροφορίες ή επιδράσεις του περιβάλλοντος.

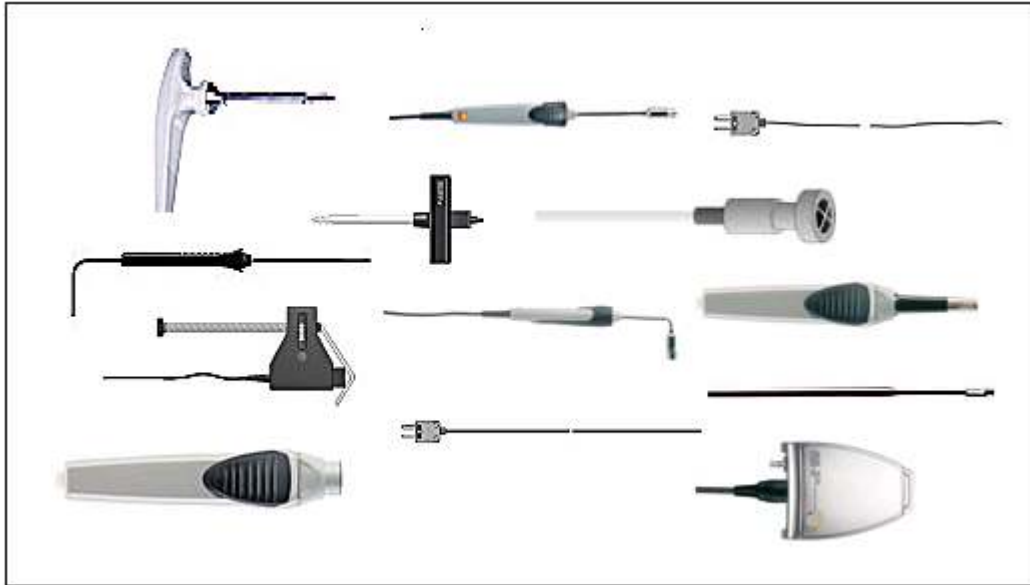
Οι λειτουργίες αυτές επιτυγχάνονται είτε με την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στο πακέτο του αισθητηρίου, είτε με την κατασκευή του αισθητηρίου και του αναγκαίου ηλεκτρονικού κυκλώματος στο ίδιο κομμάτι ημιαγωγού.

Τα αισθητήρια εξελίχθηκαν μέσα από διαδοχικές γενεές. Η πρώτη γενεά δεν είχε ηλεκτρονικό κύκλωμα. Η δεύτερη είχε ηλεκτρονικά κυκλώματα, χωριστά όμως από το υπόλοιπο αισθητήριο. Στην τρίτη γενεά, που αφορά τα σημερινά αισθητήρια, στην κατασκευή του αισθητηρίου συνυπάρχει και ηλεκτρονικό κύκλωμα (τουλάχιστον για ενίσχυση του σήματος). Η έξοδος των αισθητηρίων αυτών είναι αναλογικό ηλεκτρικό σήμα και η πληροφορία που μεταφέρουν βρίσκεται είτε στην τάση, είτε στην ένταση, είτε στη συχνότητα του σήματος. Το σήμα αυτό μετατρέπεται σε ψηφιακό στη μονάδα επεξεργασίας.

Τα αισθητήρια τέταρτης γενεάς, που κατασκευάζονται σήμερα, περιλαμβάνουν τα ηλεκτρονικά και τα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα στο ίδιο κομμάτι ημιαγωγού με το αισθητήριο, δίνοντας στο αισθητήριο τη δυνατότητα αμφίπλευρης επικοινωνίας με τον υπολογιστή. Τέλος στα αισθητήρια πέμπτης γενεάς, που ήδη σχεδιάζονται, η μετατροπή των δεδομένων γίνεται στο αισθητήριο, οπότε η αμφίπλευρη επικοινωνία αισθητηρίου και υπολογιστή είναι ψηφιακή. Τα αισθητήρια αυτά περιέχουν τρία βασικά κυκλώματα :

- α) κύκλωμα επεξεργασίας του σήματος (ενίσχυση, φιλτράρισμα, πολυπλεξία)
- β) κύκλωμα ψηφιοποίησης του σήματος

γ) κύκλωμα προσαρμογής, ώστε τα αισθητήρια να επικοινωνούν με έναν ελεγκτή χωρίς τη μεσολάβηση άλλου κυκλώματος (interface).[29]



Εικόνα 43: Διάφοροι τύποι αισθητήρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Κεφαλαίο 4^ο

Οργανικά ηλεκτρονικά

4.1 Ιστορική αναδρομή

Από της παραπάνω παραγράφους έχουμε διαπιστώσει πως οι ημιαγωγοί έχουν παίξει κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας αφού όλες οι ηλεκτρονικές διατάξεις (υπολογιστές, transistors, κ.α.) βασίζονται στη χρήση τους. Από το 1950 γίνονται έρευνες για τη χρήση οργανικών μορίων στην κατασκευή ημιαγωγών. Μόλις το 1980 εγκαινιάστηκαν οι πρώτες εφαρμογές οργανικών ηλεκτρονικών με τις οθόνες υγρών κρυστάλλων και τα τρανζίστορ FETs.[19]

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μια έκρηξη ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη υβριδικών διατάξεων (συνδυασμός ανόργανων και οργανικών υλικών), όπως για παράδειγμα σύνθετες δομές αποτελούμενες από αγώγιμα πολυμερή και νανοσωματίδια. Αυτό οφείλεται αφενός στη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας υλικών, η οποία σε συνέργεια με τη νανοτεχνολογία επιτρέπει την ανάπτυξη υλικών με ελεγχόμενες ιδιότητες και αφετέρου στην πολύπλευρη χρησιμότητα των υλικών αυτών καθώς χρησιμοποιούνται όχι μόνο σε ενεργειακές εφαρμογές αλλά και σε ήδη εμπορικές διατάξεις εκπομπής φωτός. Η ενσωμάτωση των υβριδικών υλικών σε οργανικές (ή απλά πλαστικές) φωτοβολταϊκές διατάξεις φαίνεται να αποτελεί μία ιδιαίτερα υποσχόμενη προσέγγιση, λόγω των πλεονεκτημάτων που εμφανίζει η τεχνολογία αυτή.

Πλεονεκτήματα που αξίζει να επισημανθούν είναι το χαμηλό κόστος, η απλή διαδικασία παρασκευής τους, η ικανότητα ανάπτυξης σε μεγάλες διαστάσεις, ακόμα και σε εύκαμπτα υποστρώματα, αλλά και η δυνατότητα επιλογής βασικών χαρακτηριστικών τους, όπως για παράδειγμα το φάσμα απορρόφησης.

Σήμερα υπάρχουν τρεις τύποι οργανικών φωτοβολταϊκών διατάξεων: οι ηλεκτροχημικές, οι οργανικές που βασίζονται σε μικρά οργανικά μόρια (κυρίως χρωστικές) και οι πολυμερικές. Οι μεγαλύτερες ενεργειακές αποδόσεις (11%) έχουν επιτευχθεί στις ηλεκτροχημικές διατάξεις (που είναι γνωστές ως Gratzel cells), οι οποίες βασίζονται σε νανοκρυσταλλικό TiO₂ και οργανικές χρωστικές.[17]

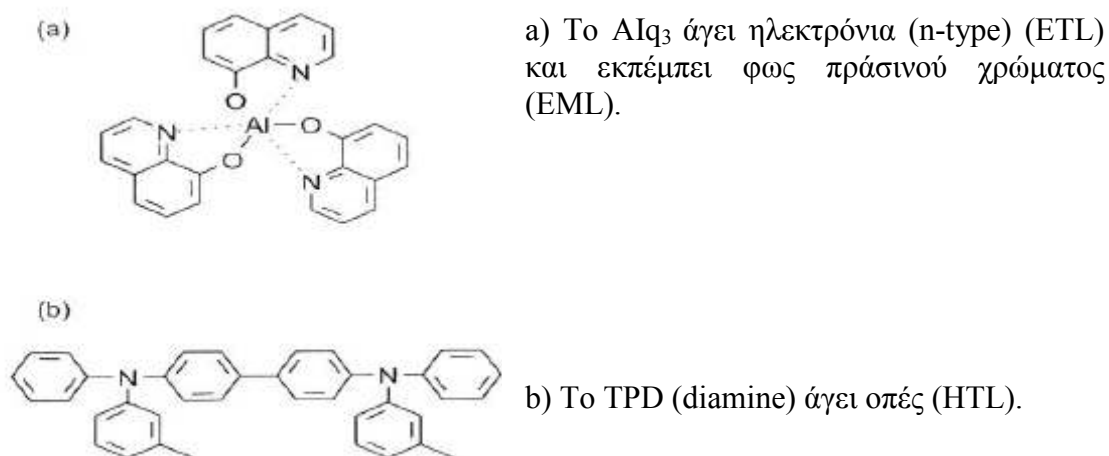
4.2 Οργανικοί Ημιαγωγοί

Οι οργανικοί ημιαγωγοί – νέα μόρια με βάση τον άνθρακα που έχουν παρόμοιες ηλεκτρικές ιδιότητες με πιο συμβατικά ημιαγωγικά υλικά όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο – είναι ένα πολύ «καυτό» ερευνητικό θέμα διότι πρακτικοί και υψηλών επιδόσεων οργανικοί ημιαγωγοί θα ανοίξουν ολόκληρες νέες κατηγορίες μελλοντικών ηλεκτρονικών συσκευών. Φανταστείτε ένα «ψηφιακό χαρτί» σε μέγεθος ίσο μ' ένα μηνιαίο περιοδικό που θα μπορείτε να το αναδιπλώνετε και να το βάζετε στο πορτοφόλι σας ή τεράστια φύλλα με φωτοβολταϊκά κύτταρα τα οποία θα είναι πάμφθηνα διότι θα παράγονται στην ουσία από ink-jet εκτυπωτές αλλά και άλλα συστήματα όπως είναι οι οθόνες οι οποίες έχουν υπόστρωμα το γυαλί.[18]

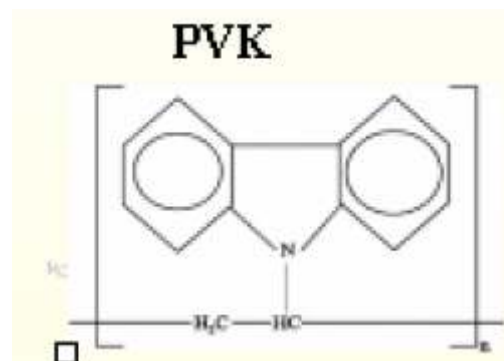
Οι οργανικοί ημιαγωγοί εμφανίζουν εκτεταμένες συζυγίες απλών και διπλών δεσμών. Διακρίνονται σε:

- Μικρομόρια (Small Molecules) και
- Συζευγμένα Πολυμερή (Conjugated Polymers)

Εικόνα 44: Τυπικές δομές μικρομορίων είναι:

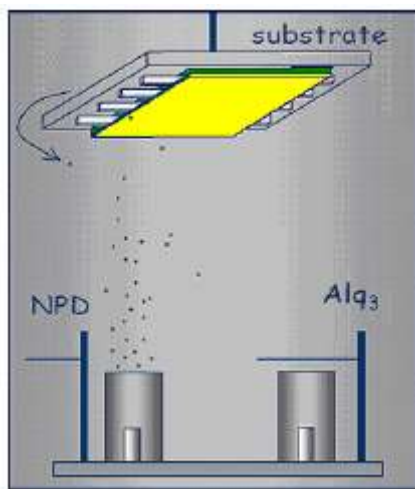


Εικόνα 45:
Το PVK είναι ένα αγωγίμο συζευγμένο πολυμερές που εκπέμπει στην μπλε περιοχή του φάσματος. [32]



Τα συζυγή πολυμερή (**οργανικοί ημιαγωγοί**) συνδυάζουν τις οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες ενός κλασσικού ημιαγωγού με τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες ενός πολυμερούς. Οι σχετικές διατάξεις αναπτύσσονται συνήθως από διάλυμα με διάφορες απλές σε διαδικασία τεχνικές εναπόθεσης όπως με σταγόνες (drop casting), με φυγοκέντριση (spin-coating) και με εκτύπωση (printing), τεχνικές που λειτουργούν σε θερμοκρασίες δωματίου. Παράλληλα, τα πολυμερικά φωτοβολταϊκά δεν εμπεριέχουν υγρά όπως τα αντίστοιχα ηλεκτροχημικά, υγρά τα οποία οδηγούν σε απαίτηση προστασίας από τον αέρα, ενώ μπορούν να εναποτεθούν εύκολα σε μεγάλες πλαστικές εύκαμπτες επιφάνειες. [32]

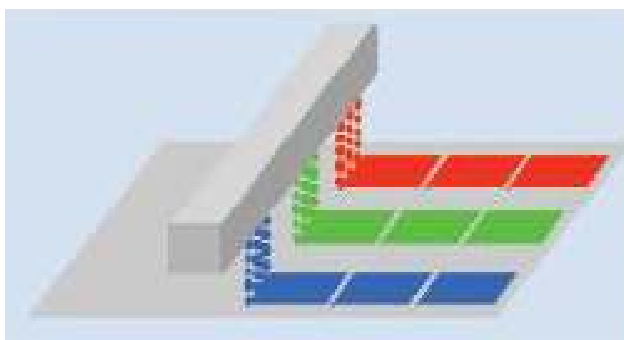
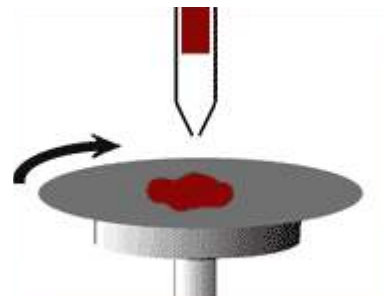
Παρουσιάζονται συνοπτικά μέθοδοι εναπόθεσης οργανικών Υμεναίων.



Εικόνα 46: Εναπόθεση των μικρομορίων Εξάχνωση υπό κενό

Εικόνα 47: Επικάλυψη με περιστροφή (Spin – Coating)

Στη μέθοδο αυτή η άνοδος είναι τοποθετημένη πάνω σε διάφανο υλικό το οποίο περιστρέφεται και πάνω του εναποτίθεται το πολυμερές. [32]



Εικόνα 48: Επικάλυψη με ψεκασμό (Inkjet Printing)

Κατά τη μέθοδο αυτή ειδικές κεφαλές, που περιέχουν το πολυμερές, το ψεκάζουν στην επιφάνεια της ανόδου με κίνηση.

Ο συνδυασμός χαμηλού κόστους, ευκολία παρασκευής σε χαμηλές θερμοκρασίες, καλών μηχανικών ιδιοτήτων και εύκολης μεταβολής των ιδιοτήτων τους, δίνουν τη δυνατότητα στους οργανικούς ημιαγωγούς να χρησιμοποιούνται όχι μόνο σε φωτοβολταϊκές διατάξεις αλλά και σε πολλές τεχνολογικές εφαρμογές, αντικαθιστώντας τους συνήθεις ημιαγωγούς. Επιπλέον, λόγω της αντικατάστασης των κλασσικών γυάλινων υποστρωμάτων από εύκαμπτα πλαστικά, μπορούμε πλέον να μιλάμε για εύκαμπτα φωτοβολταϊκά, τα οποία αναμένεται να οδηγήσουν σε ελάττωση του βάρους αλλά και ανάπτυξη πλήθους σχημάτων που θα επιτρέπουν εξοικονόμηση χώρου. Η κατασκευή των σχετικών διατάξεων μπορεί να γίνει και μέσω συνεχούς διαδικασίας τύπου roll-to-roll, η οποία επιτρέπει μεγαλύτερη, οικονομικότερη και μαζικότερη παραγωγή, αφού επιτρέπει την ανάπτυξη διαδοχικών στρωμάτων με την κίνηση του υποστρώματος από περιστρεφόμενα ρολά. Τέλος, είναι δυνατή η ανακύκλωση αυτών των συσκευών ενώ παρουσιάζουν και καλύτερη αντοχή σε θραύση / κρούση.

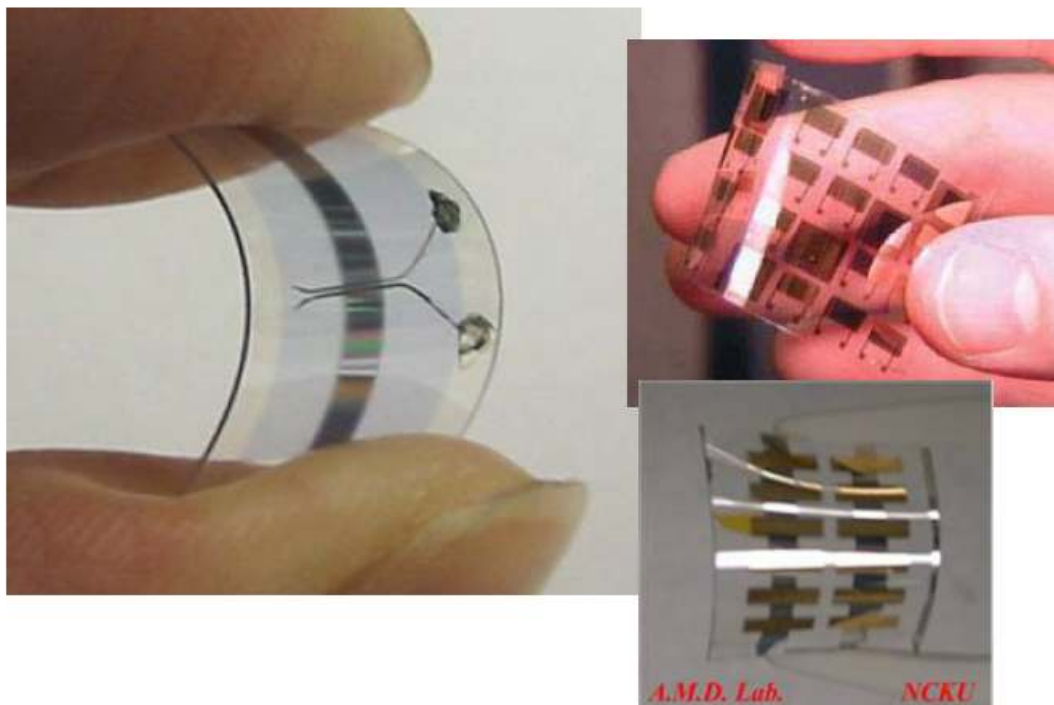
Το κύριο εμπόδιο μέχρι σήμερα για την εμπορική ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών αυτών είναι οι φτωχές αποδόσεις μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Έχουν αναφερθεί αποδόσεις μέχρι 6%, που είναι σχετικά χαμηλές σε σχέση με τις συμβατικές διατάξεις πυριτίου, όπου αποδόσεις της τάξης του 25% είναι εύκολα εφικτές. Η μη αξιόλογη απόδοση στα οργανικά φωτοβολταϊκά προέρχεται από τη χαμηλή απορρόφηση των πολυμερών στο κόκκινο του ηλιακού φάσματος αλλά και τη σχετικά φτωχή ικανότητα τους στο να δημιουργούν φορτία και να τα μετακινήσουν στα ηλεκτρόδια. Έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις για την επίλυση αυτών των προβλημάτων, όπως για παράδειγμα, η ανάπτυξη καινοτόμων συζυγών πολυμερών που θα απορροφούν και το κόκκινο μέρος του φάσματος αλλά και η ανάπτυξη τεχνικών που τροποποιούν την απορροφητικότητα της διάταξης. Αναφορικά όμως με τη μη αποδοτική δημιουργία και μετακίνηση φορέων φορτίου, προτού αναφέρουμε τις πιθανές λύσεις, ας εξετάσουμε την αρχή λειτουργίας των οργανικών φωτοβολταϊκών στοιχείων.[17]

4.3 Οργανικά Τρανζίστορ OFET

4.3.1 Γενικά

Τα ημιαγωγιμα υλικά που βασίζονται σε οργανικά μόρια και σε πολυμερή είναι στο επίκεντρο έντονης έρευνας ήδη 50 έτη. Οι δομές αυτές έχουν το κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα των p-συζευγμένων δεσμών, προκαλώντας πλήρη και κενά p-τροχιακά που επηρεάζουν πολύ τις οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Σε αντίθεση με τους ανόργανους ημιαγωγούς, η δομή στερεάς κατάστασης των υλικών αυτών είναι βασισμένη σε αδύναμες αλληλεπιδράσεις, κυρίως αλληλεπιδράσεις van der Waals και διπόλου – διπόλου, μεταξύ των γειτονικών μορίων ή πολυμερικών αλυσίδων προσδίδοντας αγώγιμες ιδιότητες στους μονωτές.

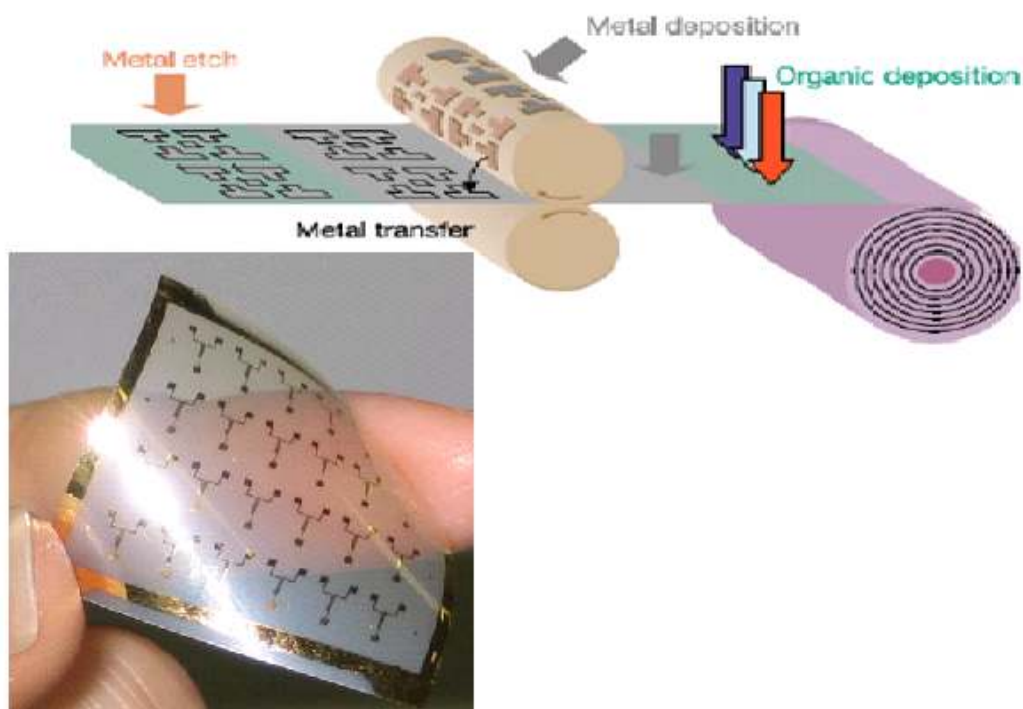
Οι αρχικές μελέτες για τα οργανικά υλικά αντιμετώπισαν τα θεμελιώδη ζητήματα των ημιαγωγικών ιδιοτήτων και των μεγάλων δυνατοτήτων που παρουσιάζονταν από τη νέα γενεά διατάξεων. Εντούτοις, διερευνούνταν μόνο υπάρχοντα υλικά και δεν χρησιμοποιούταν η συνθετική χημεία μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80. Η οργανική χημεία προσφέρει εργαλεία για αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών μέσω τροποποιήσεων των μορίων, ανοίγοντας νέες δυνατότητες για κατασκευή καινοτόμων διατάξεων. Αυτή τη στιγμή, έχουν ανακαλυφθεί διάφορες κατηγορίες οργανικών ημιαγωγών, οι οποίες είναι βασισμένες στην αρχή των p-συζευγμένων δεσμών. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν παραγάγει μια μεγάλη και άκρως ενδιαφέρουσα βάση συστημάτων που έχουν επιτρέψει στην επιστημονική κοινότητα να βγάλει σημαντικά συμπεράσματα για τη μοριακή δομή, τη δομική οργάνωση της στερεάς κατάστασης, τη μορφολογία των υμενίων και την επίδρασή τους στις ηλεκτρικές ιδιότητες.[22]



Εικόνα 49: Διάφοροι τύποι OTFTs.

4.3.2 Τεχνολογία των OFET

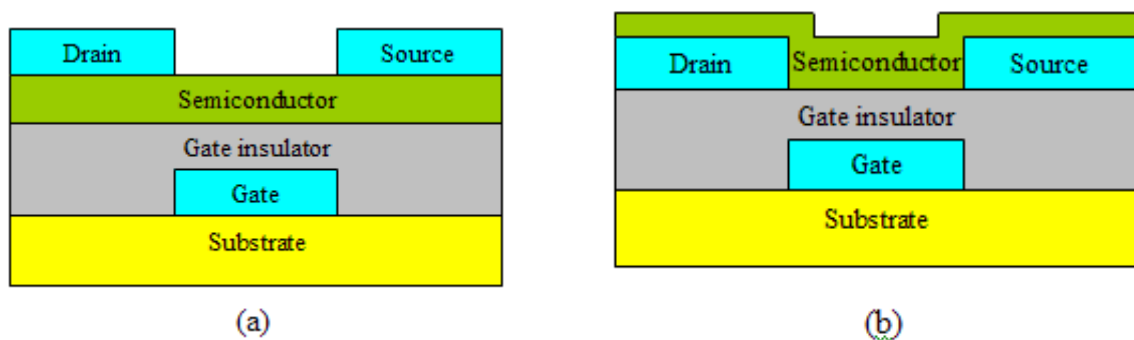
Για περισσότερο από μία δεκαετία, τα οργανικά τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (organic field-effect transistors, OFET), θεωρούνται σαν μία βιώσιμη λύση συγκρινόμενα με τα πιο παραδοσιακά και περισσότερο χρησιμοποιούμενα τρανζίστορ (FET), τα οποία στηρίζονται στα ανόργανα υλικά. Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες οργανικών ημιαγωγών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή οργανικών τρανζίστορ λεπτού φιλμ (thin-film transistors, OTFT): αυτή των μικρομορίων και αυτή των πολυμερών. Τα πολυμερή λόγω των χαρακτηριστικών τους έχουν την δυνατότητα σαν ηλεκτρονικά κυκλώματα να τυπώνονται σε διάφορες επιφάνειες χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ink jet ή άλλες μεθόδους τυπώματος. Τα transistors που βασίζονται σε μικρομόρια έχουν υψηλή κινητικότητα ηλεκτρονίων, αλλά για την εναπόθεσή τους πάνω σε άλλα υλικά απαιτούν συνθήκες διαφορετικές από αυτές του δωματίου (σε αντίθεση με τα πολυμερή υλικά). Όποιο τρόπο και να διαλέξει κάποιος ακόμη και σε αυτό το στάδιο της τεχνολογίας είναι πιο φθηνός από την τεχνολογία πυριτίου.[22,23]



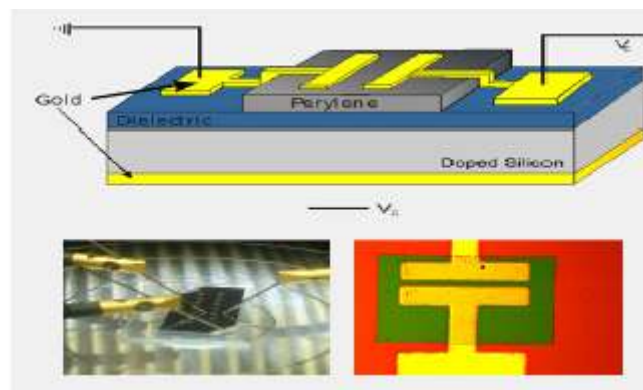
Εικόνα 50: Διαδικασία κατασκευής OTFT.

4.3.3 Δομή οργανικού τρανζίστορ λεπτού φιλμ OTFT

Τα οργανικά τρανζίστορ μπορούν να περιλαμβάνουν ένα μοριακό ή πολυμερικό κανάλι που συνδέεται με τις επαφές απαγωγού και πηγής, ενώ ο μονωτής της πύλης μπορεί να είναι οργανικός ή ανόργανος. Αρχικά η πύλη τοποθετείται πάνω σε ένα μονωτικό υπόστρωμα όπως γυαλί ή πλαστικό και στη συνέχεια ακολουθείται η εναπόθεση του μονωτή των πυλών, ο οποίος αποτελείται είτε από μια οργανική είτε από μια ανόργανη διηλεκτρική ταινία (film). Τα ηλεκτρόδια πηγής και απαγωγού τοποθετούνται πάνω στη διηλεκτρική πύλη και το βήμα αυτό ακολουθείται από την εναπόθεση του λεπτού στρώματος καναλιών (thin film layer). Εναλλακτικά το λεπτό στρώμα καναλιών μπορεί να τοποθετηθεί πριν από τα ηλεκτρόδια πηγής – απαγωγού. Εν τούτοις αυτό δεν προτιμάται λόγω του ότι το οργανικό στρώμα είναι ευαίσθητο στη φθορά που υπάρχει κατά την διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής (σχήμα 51).[22]



Σχήμα 51: Δομή οργανικού τρανζίστορ λεπτού φιλμ: (a) με τα ηλεκτρόδια πηγής και απαγωγού τοποθετημένα επάνω στο οργανικό ημιαγωγικό στρώμα (b) το λεπτό στρώμα καναλιών τοποθετημένο πριν από τα ηλεκτρόδια πηγής και απαγωγού.



Εικόνα 52: Τυπική δομή OTFT.

4.3.4 Αρχή Λειτουργίας των OFET

Εξαιτίας της σχετικά χαμηλής ευκινησίας των ημιαγωγικών οργανικών στρωμάτων, τα OFET δεν μπορούν να συναγωνιστούν την απόδοση των τρανζίστορ επίδρασης πεδίου που βασίζονται σε μονοκρυσταλλικούς ανόργανους ημιαγωγούς, όπως τα Si και Ge, τα οποία έχουν ευκινησίες φορέων φορτίων (μ) περίπου τρεις τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες. **Οι σημαντικότερες παράμετροι χαρακτηρισμού ενός FET είναι η ευκινησία του και ο λόγος ρεύματος ON/OFF.**

Η ευκινησία εκφράζει τη μέση ταχύτητα των φορτίων λόγω επιβολής εξωτερικής τάσης και ανά μονάδα ηλεκτρικού πεδίου, σύμφωνα με τη σχέση:

$$u_d = \mu \cdot E$$

όπου:

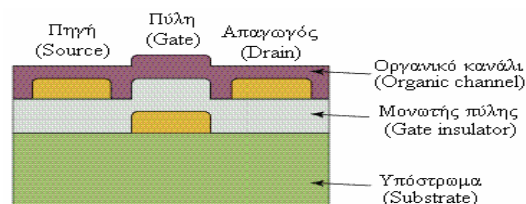
u_d : η μέση ταχύτητα ολίσθησης των φορέων (σταθερή για μικρά πεδία).

μ : ευκινησία φορέων φορτίου.

E: το ηλεκτρικό πεδίο.

Η συχνότητα ON/OFF είναι ο ρυθμός μεταξύ πηγής και απαγωγού του FET μεταξύ των ON και OFF καταστάσεων. Αμφότερες οι παράμετροι εξαρτώνται ισχυρά από την τάση που εφαρμόζεται στην πύλη. Στις διατάξεις υγρών κρυστάλλων, για παράδειγμα, χρειάζεται ευκινησία μεγαλύτερη του $0,1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ και συχνότητα ON/OFF μεγαλύτερη του $10^6:1$.

Οι περιορισμοί στην απόδοση των OFET, τίθενται κυρίως από τις χαμηλές ευκινησίες των ηλεκτρονίων ή των οπών στα υλικά του καναλιού. Εξαιτίας μοριακών ταλαντώσεων και μεγάλων ενδομοριακών αποστάσεων (περίπου $0,35\text{nm}$), η αγωγιμότητα στα οργανικά φιλμ μικρών μορίων καθορίζεται από το ρυθμό μεταπήδησης των ηλεκτρονίων ή οπών μεταξύ των οργανικών μορίων στο κανάλι. Επίσης, η ευκινησία φορέων στα οργανικά φιλμ ημιαγωγών περιορίζεται από την αγωγιμότητα με άλματα φορτίου από ένα κέντρο φορτίου σε άλλο (hopping) σε περιοχές του υλικού με μεγάλη αταξία, όπως τα περατωτικά όρια των κρυστάλλων. Σημαντικό ρόλο στη λειτουργία τους παίζουν ακόμη οι ιδιότητες δύο ειδών διεπαφής: οι διεπαφές μεταξύ των ημιαγωγών και των ηλεκτροδίων, όπου η έγχυση φορέων γίνεται από τα ηλεκτρόδια στους ημιαγωγούς και οι διεπαφές μεταξύ των ημιαγωγών και των μονωτών, όπου η μεταφορά φορέων πραγματοποιείται στο στρώμα των ημιαγωγών. Οι ιδιότητες των διεπαφών αυτών καθορίζουν την απόδοση των διατάξεων. Ειδικότερα, ο έλεγχος της μοριακής δομής και η μορφολογία του οργανικού ημιαγωγού στη διεπαφή ημιαγωγού-μονωτή, δηλαδή της περιοχής όπου πραγματοποιείται η μεταφορά φορέων, είναι κρίσιμη για την ενίσχυση της απόδοσης OFETs, αφού η απόδοση των διατάξεων είναι ευαίσθητη στα χαρακτηριστικά των μονωτικών επιφανειών.[22, 23]



Εικόνα 53: Δομή οργανικού τρανζίστορ λεπτού φιλμ.

Υπολογίζεται, λοιπόν, πως η ευκινησία δεν θα ξεπεράσει κατά πολύ την τιμή του άμορφου πυριτίου. Τα πολυμερή είναι ακόμη πιο αραιά διατεταγμένα, οπότε το όριο στην ευκινησία είναι ακόμη μικρότερο, κατά δύο τάξεις μεγέθους περίπου. Συνεπώς, τα OFET δεν ενδείκνυνται για εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλές ταχύτητες μεταγωγής (switching speeds). Πάντως, ο τρόπος και οι επιδόσεις των OFET δείχνουν πως μπορούν να φανούν ανταγωνιστικά για τις ήδη υπάρχουσες ή και νέες εφαρμογές των τρανζίστορ πυριτίου που απαιτούν μεγάλη επιφάνεια κάλυψης, ευκαμψία, κατασκευή σε χαμηλές θερμοκρασίες και, κυρίως, χαμηλό κόστος. Η επεξεργασία των υλικών αυτών μπορεί να γίνει σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες υποστρώματος (κάτω των 120°C) με λίγο ή καθόλου κενό, ενώ τα ανόργανα ημιαγώγιμα υλικά προϋποθέτουν υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 900°C) και υψηλό κενό.[22, 23]

4.3.5 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές των τρανζίστορ πυριτίου που απαιτούν μεγάλη επιφάνεια περιλαμβάνουν διατάξεις μεταγωγής (switching devices) για επίπεδες οθόνες (flat-panel displays, FPD) βασισμένων είτε σε εικονοστοιχεία (pixels) υγρών κρυστάλλων (liquid crystal displays, LCD) ή σε οργανικές διόδους εκπομπής φωτός (organic light-emitting diodes, OLED). Προς το παρόν, το υδρογονωμένο άμορφο πυρίτιο (a-Si:H) είναι το σε πιο ευρεία κλίμακα χρησιμοποιούμενο στρώμα στα TFT υποστρώματα (backplanes) των LCD. Για OLED καλύτερων επιδόσεων χρειάζεται η υψηλότερη απόδοση των TFT πολυκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά το πεδίο αυτό βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης. Τα OFET μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υποστρώματα για επίπεδες οθόνες “ηλεκτρονικού χαρτιού” που βασίζονται σε εικονοστοιχεία που συγκεντρώνουν ηλεκτροφορητικές μικροκάψουλες μελάνης. Άλλες χρήσεις των OFET είναι είτε έξυπνες κάρτες ή ετικέτες ηλεκτρονικής αναγνώρισης, δηλαδή εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλές ταχύτητες μεταγωγής.[22,23]



Εικόνα 54: Διάφορες εφαρμογές των OTFTs

4.3.6 Πλεονεκτήματα

Οι λόγοι που μία νέα, σε ερευνητικό ακόμα στάδιο, τεχνολογία, όπως τα OFET, μπορεί να συναγωνιστεί ή και να αντικαταστήσει την ήδη υπάρχουσα, διαδεδομένη τεχνολογία πυριτίου είναι οι εξής :

- Υπερβαίνει τις επιδόσεις της κατεστημένης τεχνολογίας.
- Είναι συμβατά με πλαστικές ουσίες, έτσι ώστε να μπορούν να τυπωθούν πάνω τους.
- Κατασκευάζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (60-120°C).
- Μπορούν να κατασκευαστούν με διαδικασίες εναπόθεσης - χωρίς να μειώνονται οι επιδόσεις τους εφόσον παράγονται από οργανικά υλικά - όπως με spin-coating, printing, evaporation διαδικασίες που είναι χαμηλότερου κόστους.
- Έχουν απλούστερη επεξεργασία λόγω της φύσεως των δεσμών μεταξύ των μορίων.
- Παρουσιάζουν μεγάλο πεδίο εφαρμογών.
- Αν και η διάρκεια ζωής των διατάξεων είναι μικρότερη και ίσως μερικά χαρακτηριστικά είναι υποδεέστερα, μπορεί να προτιμηθούν επειδή είναι πιο αναλώσιμες και αντικαθίστανται πιο εύκολα.

Για να καταστεί η απόδοση των οργανικών ημιαγωγών αποδεκτή, θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένα γενικά κριτήρια που αφορούν στην έγχυση και τα χαρακτηριστικά των φορέων. Ειδικότερα:

- Τα υψηλότερα κατειλημμένα, καθώς και τα χαμηλότερα μη κατειλημμένα μοριακά τροχιακά (HOMO/LUMO) των μεμονωμένων μορίων (που διαταράσσονται κατά την τοποθέτησή τους σε ένα κρυσταλλικό στερεό) πρέπει να είναι σε επίπεδα όπου οι οπές ή τα ηλεκτρόνια να μπορούν να μεταβούν σε προσιτά εφαρμοζόμενα ηλεκτρικά πεδία.
- Η κρυσταλλική δομή του υλικού πρέπει να παρέχει ικανοποιητική επικάλυψη των συνοριακών τροχιακών, ώστε να επιτρέπει αποδοτική μεταπήδηση φορτίων μεταξύ γειτονικών μορίων.
- Το στερεό πρέπει να είναι όσο το δυνατό καθαρότερο, δεδομένου ότι οι ακαθαρσίες ενεργούν ως παγίδες φορτίων.
- Τα μόρια είναι ευκαταίω να προσανατολίζονται με τους μακρείς άξονες περίπου παράλληλα στο υπόστρωμα FET, δεδομένου ότι η αποδοτικότερη μεταφορά φορέων εμφανίζεται κατά μήκος της κατεύθυνσης της διαμοριακής συσσώρευσης π-π.
- Οι κρυσταλλικές περιοχές του ημιαγωγού πρέπει να καλύπτουν την περιοχή μεταξύ των επαφών της πηγής και της απαγωγού ομοιόμορφα, ως εκ τούτου το υμένιο πρέπει να κατέχει μια μορφολογία όμοια με μονοκρυστάλλου.[22]

4.3.7 Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα των οργανικών transistors είναι :

- Παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση από ότι τα transistors που βασίζονται στην τεχνολογία πυριτίου.
- Συνήθως δεν λειτουργούν σε κατάσταση αντιστροφής.
- Ιδιαίτερη ευαισθησία στην υγρασία. [22, 23]

4.3.8 Μελλοντικοί Στόχοι

Σημαντικές βελτιώσεις μπορούν να συμβούν αν οι οργανικοί ημιαγωγοί προέρχονται από εμβάπτιση σε διαλύματα, μια και οι τιμές της ευκινησίας που προκύπτουν είναι σχετικά συγκρίσιμες με τα OFET που εναποτέθηκαν με κενό (για το πεντακένιο μόνο μία τάξη μεγέθους μικρότερη). Γενικά, έχει αναπτυχθεί τον τελευταίο καιρό ένα πολύ μεγάλο ενδιαφέρον στον τομέα κατασκευής ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και οθονών με διάφορες μεθόδους εκτύπωσης, όπως εκτύπωση επί της οθόνης (screen-printing), εκτύπωση ψεκασμού (ink-jet printing) και εκτύπωση μικροεπαφών (microcontact printing). Για τις μεθόδους αυτές, τα οργανικά ημιαγώγιμα υλικά προσφέρουν πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι της συμβατικής τεχνολογίας. Αυτός είναι ένας ακόμη λόγος που ωθεί στην έρευνά τους. Τα οργανικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με εύκολες μεθόδους, όπως επικάλυψη με περιστροφή (spin-coating), εκτύπωση, εξάχνωση κ.ά.

Η πρόοδος που έχει σημειωθεί στις επιδόσεις των OFET κατά την τελευταία δεκαετία είναι τεράστια. Έχει φτάσει, μάλιστα, η στιγμή που μία πρώτη εφαρμογή είναι κοντά. Από τους οργανικούς ημιαγωγούς, το πεντακένιο που έχει εναποτεθεί με εξάχνωση σε κενό αποτελεί την οργανική ένωση που υπόσχεται τα περισσότερα, εξαιτίας της πολύ καλά οργανωμένης δομής του, όπως αυτή προκύπτει χάρη στον πλήρη έλεγχο της μεθόδου εναπόθεσης. Καθώς, μάλιστα, αυξάνεται η ανάγκη για πολύ χαμηλού κόστους (αλλά όχι πάντα υψηλής απόδοσης) κυκλώματα, είναι πιθανό μεσοπρόθεσμα η επιφάνεια που θα καλύπτουν τα οργανικά κυκλώματα να ξεπερνά αυτή των κυκλωμάτων πυριτίου, αν και τα τρανζίστορ πυριτίου θα ξεπερνούν σε εξαιρετικό βαθμό τον αριθμό και την απόδοση των οργανικών.[22]

4.4 Οργανικοί Δίοδοι Εκπομπής Φωτός OLEDs

4.4.2 Τεχνολογία των OLEDs

Οι οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός (OLEDs) τυγχάνουν μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος παγκοσμίως, κυρίως για την εφαρμογή τους ως νέου τύπου οθονών απεικόνισης.

Γερμανοί ερευνητές ανέπτυξαν μια νέα πηγή φωτός χρησιμοποιώντας οργανικές διόδους εκπομπής φωτός (OLED), που έχουν μεγάλη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού.

Οι λαμπτήρες LED που χρησιμοποιούν LED με ημιαγωγούς από πυρίτιο προσφέρουν υψηλή απόδοση και μεγάλη διάρκεια ζωής και ήδη έχουν βρει πολλές εφαρμογές, από τα φανάρια των νέων αυτοκινήτων έως τις φωτεινές ενδείξεις διαφόρων συσκευών.

Οι οργανικοί δίοδοι OLED είναι κατασκευασμένες από ένα πολυμερές (οργανική ένωση) τοποθετημένο πάνω στα LED σαν μια λεπτή μεμβράνη ενώ είναι και ευέλικτη.

Η παραγωγή φωτός μπορεί να ταξινομηθεί σε πολλούς τύπους ανάλογα με την πηγή ενέργειας η οποία χρησιμοποιείται για να παράγει τα διεγερμένα μόρια των ενεργών υλικών. Η παραγωγή φωτός από έναν ημιαγωγό όταν εφαρμοστεί πάνω του ηλεκτρικό πεδίο είναι γνωστή ως ηλεκτροφωταύγεια (electroluminescence), ενώ αυτή που βασίζεται στα φωτόνια σε συνθήκες περιοχής φάσματος υπεριώδους-ορατής ακτινοβολίας (150-1000 nm, 1-8 eV) είναι γνωστή ως photoluminescence. Μια δίοδος εκπομπής φωτός (Light Emitting Diode, LED) κατασκευασμένη από ημιαγωγούς βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροφωταύγειας (electroluminescence) και εφαρμόζεται εκτεταμένα τα τελευταία τριάντα χρόνια τουλάχιστον (οπτική επικοινωνία, οθόνες απεικόνισης, οπισθοφωτισμός σε οθόνες LCD κ.ά.).

Παρά το γεγονός ότι ο άνθρακας (C) ως οργανικό υλικό βρίσκεται στην IV ομάδα του περιοδικού πίνακα, θεωρούνταν μονωτής. Το 1977 ο Hideki Shirakawa ανακάλυψε τις αγωγικές ικανότητες του άνθρακα πράγμα το οποίο οδήγησε σε ένα βραβείο Νόμπελ το 2000 και άνοιξε τον δρόμο για μια νέα εποχή ημιαγωγικών τεχνολογικών εφαρμογών.

Οι πρώτοι που παρήγαγαν εκπομπή φωτός από την επίδραση της κίνησης των ηλεκτρονίων σε οργανικά υλικά ήταν στο Bernanose και το πέτυχαν με εφαρμογή υψηλής τάσης AC σε λεπτά κρυσταλλικά στρώματα (thin films) acridine orange και quinacrine. Το 1960 ερευνητές ανέπτυξαν στο Dow Chemical κελιά από electroluminescence οδηγούμενα από AC ρεύμα χρησιμοποιώντας doped ανθρακένιο. Η χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα τέτοιων υλικών περιόρισε την ούτως ή άλλως μικρή παραγωγή ως ότου διατέθηκαν περισσότερα οργανικά υλικά, ειδικά τα polyacetylene, polypyrrole και polyaniline "Blacks". Το 1963 μέσα από διάφορα peppers αναφέρθηκε η υψηλή αγωγιμότητα του εγχυμένου ιωδίου μέσα σε οξειδωμένο polypyrrole. Τότε ο Weiss πέτυχε μία αγωγιμότητα της τάξης 1s/cm. Δυστυχώς σε αυτή την ανακάλυψη δεν δόθηκε μεγάλη σημασία. Η πρώτη οθόνη OLED για εμπορική χρήση παρουσιάστηκε από την Pioneer Electronics το 1997 για χρήση σε στερεοφωνικά αυτοκινήτων.

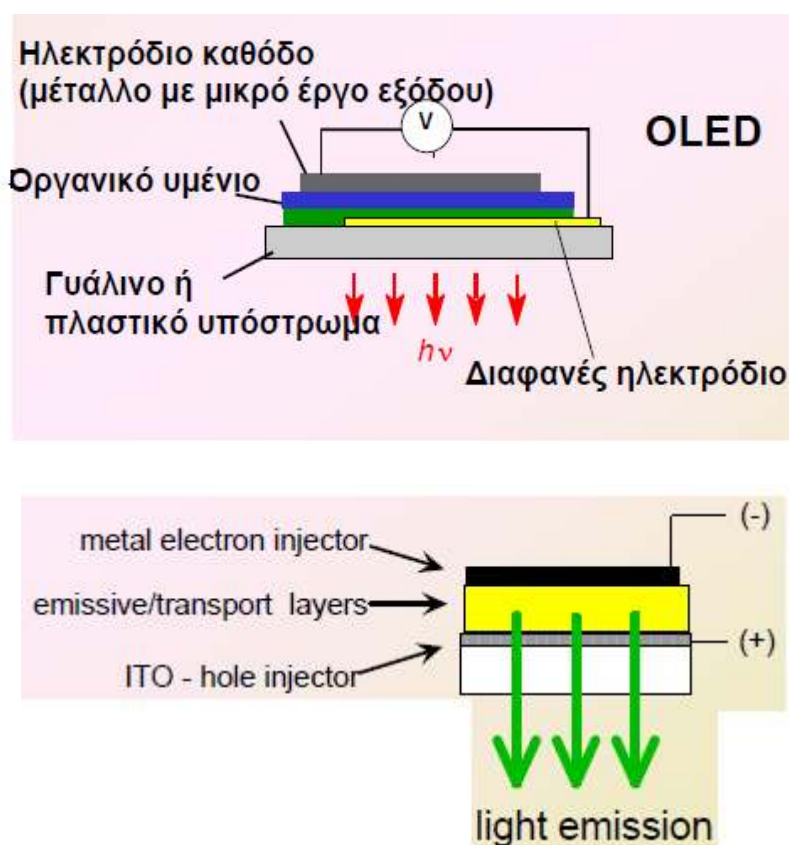
4.4.3 Δομή των OLEDs

Μια συσκευή OLED αποτελείται από μια στοίβα λεπτών οργανικών στρωμάτων, τα οποία περικλείονται από δύο πλάκες ηλεκτροδίων: την άνοδο και την κάθοδο. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι μεταλλικό, ενώ το θετικό είναι ένα διαφανές υλικό (συνήθως οξειδίο του ινδίου και του κασσίτερου, ITO), ώστε να επιτρέπει τη διέλευση φωτός από μέσα του.

Τα οργανικά στρώματα είναι συνήθως τρία:

- στρώματα μεταφοράς σπών (HTL),
- στρώμα εκπομπής φωτός (EML) και
- στρώμα μεταφοράς ηλεκτρονίων (ETL).

Όταν εφαρμοστεί ρεύμα στα ηλεκτρόδια, τότε εκπέμπεται φως από την οργανική στιβάδα. Η βασική δομή ενός OLED φαίνεται στην παρακάτω απεικόνιση [32].



Εικόνα 55: Τυπική δομή οργανικών διόδων εκπομπής φωτός OLEDs

Αναλυτικότερα η βασική δομή ενός OLED παρουσιάζεται παρακάτω και αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά τμήματα:

Υπόστρωμα : βασική του λειτουργία είναι να της παρέχει μηχανική υποστήριξη.

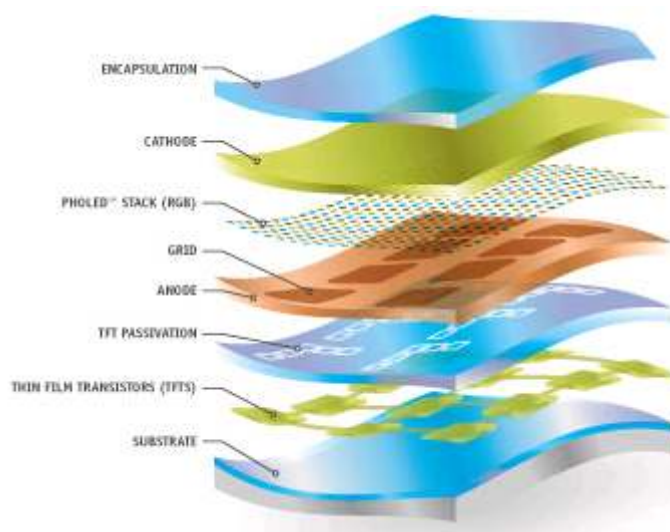
Διαφανής άνοδος : αφαιρεί ηλεκτρόνια από το πεδίο αγωγής ή ισοδύναμα του εγγεί οπές όταν στα άκρα εφαρμοστεί κατάλληλη τάση. Το υλικό κατασκευής είναι ένα διαφανές αγώγιμο οξείδιο (Transparent Conductive Oxide-TCO). Η διαφάνεια απαιτείται για την εξασφάλιση μη απορρόφησης κλάσματος της εκπεμπόμενης από τη δομή ακτινοβολίας. Το πάχος της κυμαίνεται γύρω στα 1000 nm.

Οργανικά επίπεδα:

Επίπεδο αγωγής (Conducting layer): Κατασκευάζεται από οργανικά μόρια που άγουν τις οπές που εισάγει η άνοδος. Το πάχος αυτού κυμαίνεται ανάμεσα στα 5~100nm. Ένα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι η polyaniline.

Επίπεδο εκπομπής (Emmislive layer): Αποτελείται επίσης από οργανικά μόρια που άγουν ηλεκτρόνια από την κάθοδο. Πρόκειται για το επίπεδο στο οποίο λαμβάνει χώρα το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και εκπέμπεται φωτεινή δέσμη της οποίας το μήκος κύματος καθορίζεται από την ηλεκτρονική δομή του υλικού. Το πάχος κυμαίνεται ανάμεσα στα 10~100nm. Τυπικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι η polyfluorene.

Κάθοδος : ανάλογα με τον τύπο της OLED μπορεί να είναι διαφανής ή όχι. Όταν είναι διαφανής κατασκευάζεται από ITO, ενώ όταν είναι αδιαφανής συνήθως από Al. Όσον αφορά την λειτουργία της εγγεί ηλεκτρόνια στο επίπεδο εκπομπής. Το πάχος της κυμαίνεται γύρω στα 100 nm.

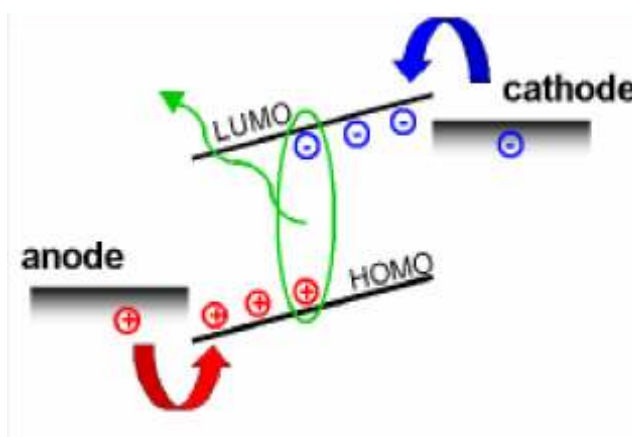


Εικόνα 56:Αναλυτική τυπική δομή οργανικών διόδων εκπομπής φωτός OLEDs.

Το φως είναι μια μορφή ενέργειας. Επομένως, για να εκπέμπεται φως από ένα μόριο πρέπει αυτό να απορροφήσει ενέργεια από κάποια πηγή. Όταν ένα ηλεκτρόνιο σε κάποιο μόριο απορροφήσει αρκετή ενέργεια τότε μεταβαίνει σε μια διεγερμένη κατάσταση και εν συνέχεια αποδιεγείρεται ξανά με διάφορους μηχανισμούς, ένας από τους οποίους είναι και η εκπομπή φωτός. Όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των ηλεκτροδίων που περιέχουν την οργανική στιβάδα, τα φορτία που εισάγονται προκαλούν γεωμετρικές ατέλειες που έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή της συμμετρίας του οργανικού μορίου και την εμφάνιση χαμηλότερου ενεργειακού χάσματος E_g μεταξύ των ταινιών σθένους και αγωγιμότητας. Οι φορείς των φορτίων μετακινούνται κατά μήκος του οργανικού μορίου και η έλξη μεταξύ των φορέων οδηγεί στην δημιουργία εξιτονίου, με πιθανότητα εκπομπής φωτός. Το εξιτόνιο βρίσκεται είτε στην απλή είτε στην τριπλή διεγερμένη κατάσταση σύμφωνα με την αρχή του Pauli και θα δημιουργήσει δύο νέες ενεργειακές στάθμες εντός του ενεργειακού χάσματος. Κατά την αποδιέγερση του εξιτονίου (relaxation) θα εκλυθεί θερμότητα και φωτόνια με ενέργεια ίση με την ενεργειακή διαφορά των ενεργειακών σταθμών που αντιστοιχούν στο εξιτόνιο. Η απλή διεγερμένη κατάσταση είναι αυτή που θα έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή φωτός και σε ορισμένες περιπτώσεις και η τριπλή.

4.4.4 Αρχή Λειτουργίας των OLEDs

Η λειτουργία των οργανικών LEDs στηρίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροφωταύγειας: Ένα OLED αποτελείται από ένα στρώμα εκπομπού, ένα αγωγίμο στρώμα, ένα υπόστρωμα, την άνοδο και την κάθοδο. [32]



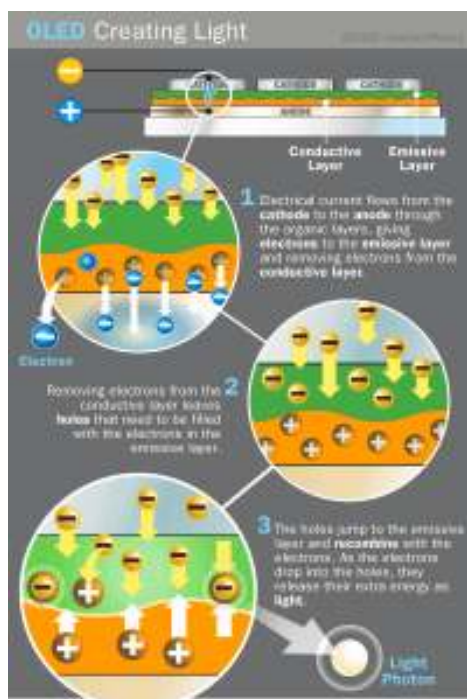
Εικόνα 57: Αρχή Λειτουργίας OLEDs.

Τα στρώματα αποτελούνται από ειδικά οργανικά πολυμερή που άγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Τα επίπεδα της αγωγιμότητας κυμαίνονται ανάμεσα σε αυτά των αγωγών και των μονωτών για αυτό αποκαλούνται και οργανικοί ημιαγωγοί. Μια τάση εφαρμόζεται στο OLED ώστε η άνοδος να πολωθεί θετικά. Αυτό προκαλεί μια κίνηση ηλεκτρονίων τα οποία κινούνται μέσα στη συσκευή από την κάθοδο προς την άνοδο. Κατά συνέπεια η κάθοδος δίνει τα ηλεκτρόνια στο στρώμα εκπομπής και η άνοδος αποσύρει τα ηλεκτρόνια από το αγωγίμο στρώμα .Δηλαδή η άνοδος δίνει τις οπές στο αγωγίμο στρώμα. Έτσι το στρώμα εκπομπής (emissive layer) φορτίζεται αρνητικά ενώ το αγωγίμο φορτίζεται θετικά λόγω οπών. Εξαιτίας των ηλεκτροστατικών δυνάμεων τα ηλεκτρόνια και οι οπές έλκονται και επαναενώνονται (excitons). Η ένωση αυτή γίνεται πιο κοντά στο στρώμα εκπομπής επειδή στους οργανικούς ημιαγωγούς οι οπές είναι πιο ευκίνητες από τα ηλεκτρόνια (αντίθετο από ότι στους ανόργανους). Έτσι έχουμε μια πτώση στα ενεργειακά επίπεδα των ηλεκτρονίων που συνοδεύονται από εκπομπή ακτινοβολίας της οποίας η συχνότητα είναι σε ορατά επίπεδα. Γι' αυτό το στρώμα λέγεται εκπομπής (emissive layer).

Η συσκευή δεν λειτουργεί ανάστροφα γιατί οι οπές κινούνται προς την άνοδο και τα ηλεκτρόνια προς την κάθοδο . Έτσι απομακρύνονται και δεν ενώνονται.

Σαν υλικό ανόδου χρησιμοποιείται το ITO. Είναι διαφανές στο φως και είναι αποδοτικό επειδή προωθεί την έγχυση οπών στο πολυμερές στρώμα. Τα μέταλλα όπως Al, Ca χρησιμοποιούνται ως κάθοδοι επειδή έχουν χαμηλές αποδόσεις και προωθούν την έγχυση ηλεκτρονίων στο πολυμερές.

Συγκεντρωτικά τα OLED, είτε είναι πολυμερικά, είτε μικρών μορίων, λειτουργούν δεχόμενα φορείς φορτίων αντίθετης φόρτισης, ηλεκτρόνια και οπές, από τις επαφές της καθόδου και της ανόδου αντίστοιχα. Η εφαρμογή μιας εξωτερικής τάσης οδηγεί αυτούς τους φορείς στην επανασύνδεση, όπου σχηματίζουν εξιτόνια (excitons). Υπάρχουν δυο είδη σχηματιζόμενων εξιτονίων, τα singlet και τα triplet. Κατά μέσω όρο ένα singlet και τρία triplet σχηματίζονται για κάθε τέσσερα ζεύγη οπών ηλεκτρονίων που εισέρχονται στην περιοχή σχηματισμού εξιτονίων των OLED.



Εικόνα 58: Αναλυτικότερη απεικόνιση της Αρχής Λειτουργίας μιας OLEDs.

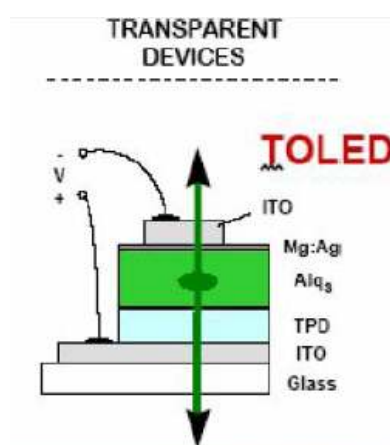
4.4.5 Σχετικές Τεχνολογίες των OLEDs

Μερικές από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οργανικών διόδων εκπομπής φωτός καθώς και είδη αυτών παρουσιάζονται παρακάτω.

4.4.5.1 Small molecules: Η τεχνολογία OLED μικρό - μορίων αναπτύχθηκε κυρίως από την εταιρία Eastman Kodak. Η παραγωγή small molecules display απαιτεί την εναπόθεση εν κενό που καθιστά την συγκεκριμένη διαδικασία παραγωγής ακριβότερη από άλλες τεχνικές. Δεδομένου ότι αυτό πραγματοποιείται σε υποστρώματα γυαλιού, αυτά τα displays δεν είναι εύκαμπτα, αν και αυτός ο περιορισμός δεν είναι έμφυτος στα small molecules οργανικά υλικά. Ο όρος OLED παραδοσιακά αναφέρεται σε αυτόν τον τύπο συσκευής αν και μερικοί χρησιμοποιούν τον όρο SM-OLED. Τα μόρια που ευρέως χρησιμοποιούνται στα OLED περιλαμβάνουν όργανο - μεταλλικά chelates (π.χ. Alq_3 , που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη οργανική συσκευή εκπομπής φωτός) και conjugated (κλιμένα) dendrimers. Πρόσφατα ένα υβριδικό στρώμα εκπομπής φωτός αναπτύχθηκε το οποίο χρησιμοποιεί μη αγώγιμα doped πολυμερή που εκπέμπουν φως, αγώγιμα μόρια. Το πολυμερές χρησιμοποιείται για τη παραγωγή και έχει μηχανικά πλεονεκτήματα χωρίς την ανησυχία απώλειας των οπτικών του ιδιοτήτων.

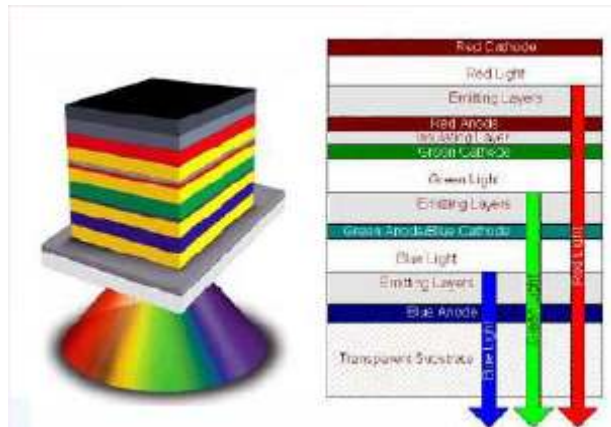
4.4.5.2 PLED (Polymer Light Emitting Diodes): Τα PLEDs περιλαμβάνουν ένα αγώγιμο και φωτοβόλο, λόγω επίδρασης πεδίου, πολυμερές τα οποία εκπέμπουν φως όταν υποβάλλονται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Αναπτυγμένα από το Cambridge Display Technology, είναι επίσης γνωστά και ως πολυμερή εκπέμποντος φωτός (light emitting polymers) (LEP). Χρησιμοποιούνται ως λεπτές ταινίες (thin films) για τα πλήρους φάσματος color displays και απαιτούν ένα σχετικά μικρό ποσό ενέργειας για το παραχθέν φως. Δεν απαιτείται κενό αέρος και τα υλικά μπορούν να εφαρμοστούν στο υπόστρωμα με την τεχνική απλού inkjet. Το υπόστρωμα μπορεί να είναι εύκαμπτο όπως το PET. Έτσι τα PLED εύκαμπτα displays μπορούν να παραχθούν ανέξοδα. Τα χαρακτηριστικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται στα PLED displays περιλαμβάνουν παράγωγα του poly (p-phenylene vinylene) και poly (fluorine). Επίσης έχουν την δυνατότητα καθαρισμού του χρώματος του φωτός που θα εκπέμπουν ανάλογα με την αντικατάσταση των πλευρικών αλυσίδων στην πολυμερή σπονδυλική στήλη.

4.4.5.3 TOLEDs (Διάφανες Transparent organic light – emitting device): Πρόκειται για OLEDs με διάφανη κάθοδο. Είναι κατά 70% διάφανα όταν είναι ανενεργά και όταν είναι σε λειτουργία το φως εκπέμπεται και από τις δύο πλευρές. Τα TOLEDs μπορούν να βελτιώσουν κατά πολύ την αντίθεση, που καθιστούν ευκολότερη τη θέα του display στο φως του ήλιου. [32]



Εικόνα 59: Απεικόνιση δομής TOLEDs

4.4.5.4 SOLED (Stacked OLEDs, Συσσωρευμένο OLEDs): Είναι διατάξεις που εκπέμπουν πλήρες χρώμα χρησιμοποιώντας κατακόρυφα διαδοχικά τοποθετημένες μονοχρωματικές διαφανείς διόδους (TOLEDs). Χρησιμοποιεί μια νέα αρχιτεκτονική εικονοκυττάρου (pixel) που βασίζεται στη συσσώρευση του κόκκινου, πράσινου και μπλε subpixel το ένα πάνω στο άλλο αντί δίπλα – δίπλα όπως γίνεται συνήθως στα CRTs και LCDs . Έτσι βελτιώνεται το display ως και τρεις φορές και βελτιώνεται και η ποιότητα πλήρους χρώματος. Το χρώμα και η λαμπρότητα κάθε στοιχείου (R-G-B) ελέγχεται με την εφαρμογή διαφορετικής τάσης. Μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι λόγω της πολυπλοκότητας της δομής τους η κατασκευή τους κρίνεται δύσκολη και δαπανηρή. [32]



Εικόνα 60: Απεικόνιση δομής Stacked OLEDs (SOLEDs)

4.4.5.5 FOLEDs (Εύκαμπτες – Flexible OLEDs) : Είναι οι OLEDs που για υπόστρωμα έχουν κάποιο διάφανο εύκαμπτο υλικό και μας δίνουν την δυνατότητα να κατασκευάσουμε οθόνες στο σχήμα που επιθυμούμε. [32]



Εικόνα 61: FOLEDs

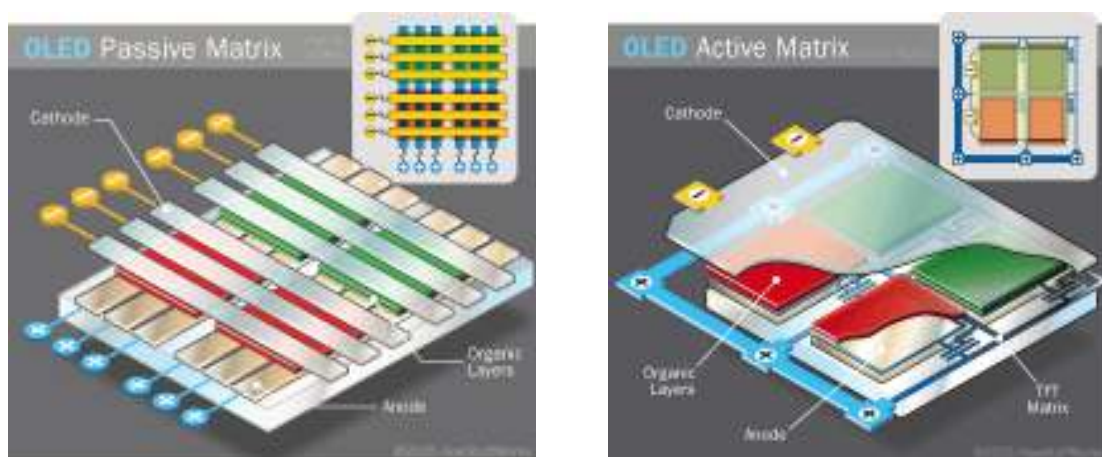
4.4.5.6 WHOLEDs (OLEDs λευκού χρώματος): Στις περισσότερες περιπτώσεις βασίζονται σε ημιγώγιμα πολυμερή (hot polymers) που περιέχουν δύο ή περισσότερες φωτοεκπομπές ουσίες, που φθορίζουν (flyorescent probes) ή συνηθέστερα φωσφορίζουν (phosphorescent probes) σε διάφορα μήκη κύματος. [32]



Εικόνα 62: WHOLEDs (OLEDs λευκού χρώματος)

Οι WHOLEDs πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως πηγές επίπεδου φωτισμού (solid state lighting) με σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπάρχουσες λάμπες φθορισμού, όπως εύκολη εναπόθεση σε μεγάλες επίπεδες επιφάνειες, αποδοτικότερη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή κλπ. [32]

4.4.5.7 PMOLEDs (Passive matrix Oleds) & AMOLEDs (Active matrix Oleds) Οθόνες OLEDs Παθητικής και Ενεργητικής Μήτρας: Η οδήγηση και ο έλεγχος μιας οργανικής οθόνης δεν είναι και τόσο εύκολη υπόθεση και μπορούν να γίνουν με δύο διαφορετικούς τρόπους. Αυτό ουσιαστικά καθορίζει και το είδος της, το οποίο μπορεί να είναι είτε active-matrix είτε passive-matrix (είτε ενεργός οθόνη είτε παθητική). Σε κάθε περίπτωση τα pixel απαρτίζονται ένα μητρώο, έναν πίνακα δηλαδή, εφόσον είναι ταξινομημένα σε γραμμές και στήλες. [32]



Εικόνα 63: Τυπικές δομές PMOLEDs και AMOLEDs.

Οι οθόνες OLED ενεργητικής μήτρας (παίζουν και βίντεο) είναι ιδανικές για φορητές συσκευές λόγω της ελάχιστης κατανάλωσης ισχύος.

4.4.5.8 OLEDs για στερεές Πηγές Φωτισμού

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως που ανακαλύφθηκαν το 1879 από τον Thomas Edison) μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια κατά 95% σε θερμότητα (για την θέρμανση του πυρακτωμένου νήματος) και μόνο το 5% καταλήγει να μετατραπεί σε φως.



Εικόνα 64: OLEDs για στερεές Πηγές Φωτισμού

Η δυνατότητα των οργανικών διόδων εκπομπής φωτός να επιστρώνονται σε μεγάλες επίπεδες (ακόμα και εύκαμπτες) επιφάνειες τις καθιστά ιδανικές για πηγές στερεού, επίπεδου φωτισμού μεγάλης επιφάνειας.

Στις επόμενες δεκαετίες οι OLEDs θα γίνουν οι φθηνότερες και αποτελεσματικότερες πηγές φωτισμού.

Σε κάθε OLED έχουμε απευθείας μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή κι αυτό σημαίνει ότι για τις επίπεδες πηγές φωτισμού που βασίζονται σε OLEDs τα οφέλη εντυπωσιακά:

- Μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό έως και 50%.
- Περιορισμός της εκπομπής ρύπων CO₂ κατά εκατοντάδες εκατομμύρια τόνους (180 εκατ. τόνους μέχρι το 2020)
- Δημιουργία μιας νέας βιομηχανίας φωτισμού (50 δις. δολάρια /έτος παγκοσμίως)

Πως θα μας φαινόταν να μπορούσαμε να αλλάζουμε ατμόσφαιρα το δωμάτιο, επιλέγοντας φωτισμό της επιλογής μας στους τοίχους ή στο ταβάνι, γυρνώντας απλά ένα διακόπτη;

Να μετατρέπαμε το παράθυρο μας σε λαμπτήρα φωτισμού μετά το ηλιοβασίλεμα;

Να τοποθετούσαμε ταπετσαρίες στους τοίχους οι οποίες θα λάμπουν και θα αποτελούνται τελείως από πλαστικό;



Με τις επίπεδες πηγές φωτισμού που βασίζονται σε white OLEDs σύντομα το παραπάνω θα είναι μέρος της καθημερινής μας ρουτίνας! [32]

4.4.6 Πλεονεκτήματα

Η διαδικασία παραγωγής οθονών που βασίζονται στην τεχνολογία OLED πλεονεκτεί σε πολλά σημεία από αυτά των επιπέδων ανόδων με τεχνολογία LCD. Ενδεικτικά δίνονται μερικά από αυτά :

- Σχετικά απλές διεργασίες παρασκευής (εναπόθεση σε κενό, inkjet printing, screen printing, spin-coating, roll-to-roll processes).
- Δεδομένου ότι τα OLEDs μπορούν να τυπωθούν πάνω σε οποιοδήποτε κατάλληλο υπόστρωμα είναι πιο φθηνά από ότι εκείνα των LSD ή των οθονών PLASMA.
- Τα τυπωμένα OLEDs πάνω σε εύκαμπτα υποστρώματα ανοίγουν την πόρτα σε νέες εφαρμογές όπως τα roll-up displays και displays ενσωματωμένα στα ρούχα.
- Εκπληκτικές δυνατότητες θέασης (φωτεινότερα χρώματα, μεγαλύτερες γωνίες θέασης, μικρότερος χρόνος απόκρισης, υψηλό contrast) επειδή τα εικονοκύτταρα (pixels) από τα OLED εκπέμπουν άμεσα το φως.
- Αυτόφωτες (χωρίς την ανάγκη ύπαρξης backlight).

Πολύ καλά χαρακτηριστικά λειτουργίας (χαμηλή τάση λειτουργίας, εξοικονόμηση ενέργειας, μεγάλο εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας).

- Φιλικές στον χρήστη (λεπτές, ελαφριές).
- Εύκαμπτες (Flexible Organic Light Emitting Diodes).

Ενδεικτικά ένα LCD έχει χρόνο απόκρισης 10 ms ενώ ένα OLED έχει λιγότερο από 0,01ms .

4.4.7 Μειονεκτήματα

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των OLEDs είναι ο μικρός χρόνος ζωής (10.000 ώρες) των οργανικών υλικών, π.χ. τα μπλε OLEDs έχουν τυπικό χρόνο ζωής περίπου 5000 ώρες, όταν χρησιμοποιούνται για επίπεδα panel displays, χρόνος ζωής μικρότερος από αυτών των LCD ή τις τεχνολογίας plasma. Πρόσφατα πειράματα έχουν μεγαλώσει τον χρόνο ζωής των μπλε OLED σε 20000 ώρες με διάφορες τεχνικές. Η διείσδυση υγρασίας στα displays μπορούν να προκαλέσουν ζημιά ή να καταστρέψουν τα οργανικά υλικά, επομένως οι διαδικασίες σφραγισμού είναι σημαντικές για τις κατασκευές. Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι οι μεγάλες εταιρίες που έχουν τα δικαιώματα όπως η Eastman Kodak βάζουν εμπόδια για ευρεσιτεχνίες αν δεν πάρουν πρώτα την άδεια της.

4.5 Οργανικές Φωτοβολταϊκές Διατάξεις OPVs (Organic Photovoltaic Devices)

Την τελευταία δεκαετία έχει γίνει σημαντική αύξηση ενδιαφέροντος για τα ηλιακά κύτταρα που βασίζονται στα οργανικά υλικά. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην ταχεία ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής αγοράς, η οποία έχει υποκινήσει την έρευνα στις πιο μακροπρόθεσμες, πιο καινοτόμες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες, και εν μέρει στην ανάπτυξη των οργανικών ηλεκτρονικών υλικών για τις εφαρμογές επίδειξης.

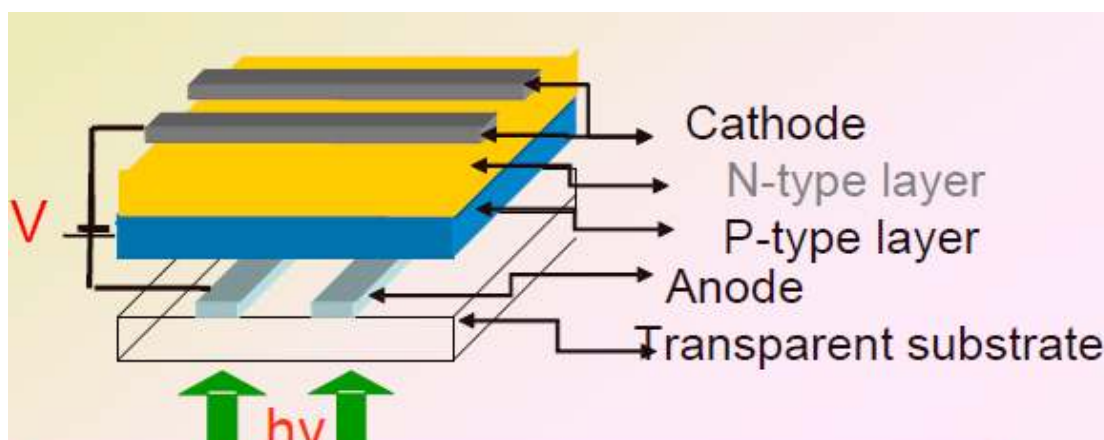
Η γρήγορη πρόοδος στα οπτικοηλεκτρονικά μοριακά υλικά έχει εισαγάγει μια σειρά πιθανών νέων φωτοβολταϊκών υλικών, καθώς επίσης και μια βελτιωμένη κατανόηση των ικανοτήτων τέτοιων υλικών και της εμπιστοσύνης στην εφαρμογή και χρήση τους.

Οι οργανικές φωτοβολταϊκές διατάξεις (OPVs) είναι ημιαγωγικές διατάξεις οι οποίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα πολυμερικά στρώματα – ταινίες (polymeric films).[2] [30]

4.5.1 Τυπική Δομή OPVs

Η τυπική δομή ενός OPVs είναι η παρακάτω:

- **Διαφανές ηλεκτρόδιο καθόδου.** Χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της ακτινοβολίας. Το υλικό που χρησιμοποιείται πιο πολύ είναι το ITO και είναι το σημείο κατά το οποίο συλλέγονται οι οπές.
- **Οργανικό στρώμα.** Βρίσκεται ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια και είναι το μέσο στο οποίο δημιουργούνται τα ζεύγη ηλεκτρονίων – οπών. Μερικά από τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιούνται σαν υπόστρωμα είναι τα P3OT, MEH – PPV, PFO.
- **Ηλεκτρόδιο ανόδου.** Είναι το σημείο κατά το οποίο συλλέγονται τα ηλεκτρόνια. Συνήθως κατασκευάζεται από αλουμίνιο καθώς και από άλλα υλικά όπως Ca, Mg, Cu κα. [30]



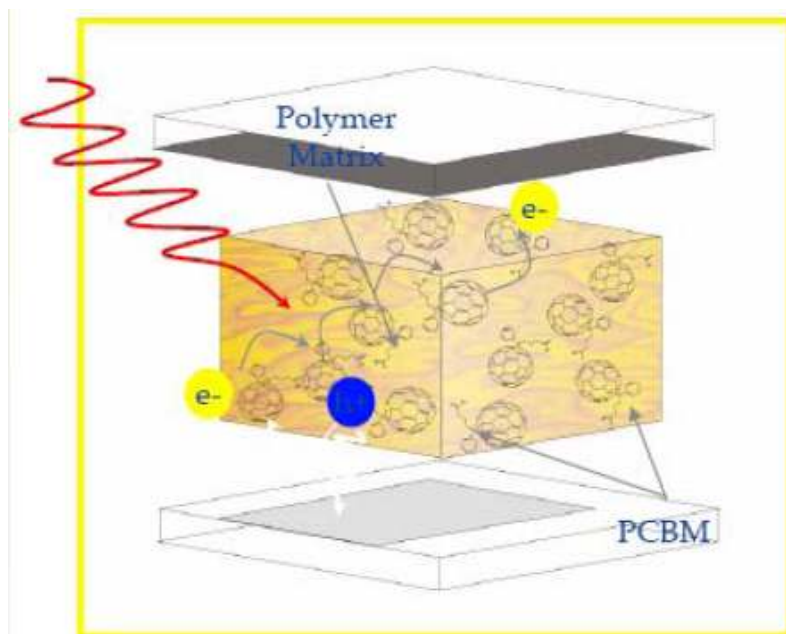
Εικόνα 66: Τυπική δομή οργανικής φωτοβολταϊκής διάταξης.

4.5.2 Αρχή Λειτουργίας των OPVs

Συμπερασματικά από όλη την παραπάνω εργασία διαπιστώνουμε ότι κατά κύριο λόγο στην εποχή μας η τεχνολογία των ηλιακών κυττάρων βασίζεται στο πυρίτιο και χρησιμοποιείται η λειτουργία των διόδων pn.

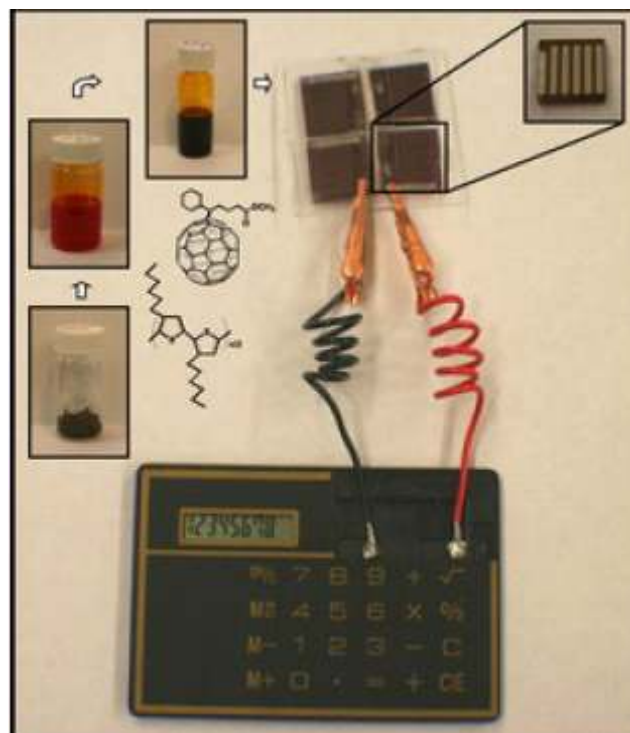
Η θεωρία λειτουργίας των οργανικών ηλιακών κελιών είναι παρόμοια με αυτή των ηλιακών κελιών που βασίζονται στο πυρίτιο, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από το φως του ήλιου σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα στον ημιαγωγό όταν προσπίπτει το ηλιακό φως πάνω του. Η πρώτη λειτουργία είναι η παραγωγή μέσω φωτός ηλεκτρικών φορτίων, ηλεκτρόνια ή οπές, σε ένα ελαφρύ απορροφητικό υλικό και η δεύτερη είναι ο διαχωρισμός των ηλεκτρικών φορτίων στην αγωγίμη επαφή η οποία θα μετατρέψει το διαχωρισμό αυτό σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η κύρια διαφορά των οργανικών από τις ανόργανες διατάξεις είναι ότι η απορρόφηση φωτός δεν δημιουργεί ελεύθερους φορείς φορτίου αλλά δεσμευμένους, με το δεσμευμένο ζευγάρι θετικού και αρνητικού φορτίου να είναι γνωστό ως εξιτόνιο. Το φωτοενεργό υλικό, που συνήθως είναι ένα μείγμα πολυμερούς με κάποια νανοδομή, τοποθετείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, ενός διαφανούς, απ' όπου εισέρχεται το φως, και ενός μεταλλικού, σαν παράδειγμα από αλουμίνιο. Όταν φωτιστεί το φωτοενεργό υλικό, το φως που απορροφάτε διεγείρει τα ηλεκτρόνια του πολυμερούς. Η διέγερση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση των ηλεκτρονίων από τον πυρήνα, οπότε το πολυμερές εμφανίζεται σαν να σχηματίζεται από δύο τμήματα, ένα με θετικό και ένα με αρνητικό φορτίο. Ο συνδυασμός των δύο αντίθετων φορτίων είναι το εξιτόνιο, το οποίο μπορεί να διαχωριστεί σε «ελεύθερα» φορτία μέσω ενός ηλεκτρικού πεδίου.



Εικόνα 67: Αρχή Λειτουργίας των OPVs

Σε πρώτη προσέγγιση, ο διαχωρισμός των εξιτονίων μπορεί να επιτευχθεί από το εσωτερικό πεδίο που δημιουργεί το διαφορετικό δυναμικό ιονισμού των δύο ηλεκτροδίων. Όμως, τα «ελεύθερα» φορτία που δημιουργούνται μπορούν να επανασυνδεθούν μετά από μετακίνηση τους κατά μερικές δεκάδες nm (10^{-9} m), απόσταση πολύ μικρότερη από τη διαδρομή που πρέπει να διανύσουν μέχρι τα ηλεκτρόδια. Για να ενισχυθεί ο διαχωρισμός των εξιτονίων αλλά και να ελαχιστοποιηθεί η επανασύνδεση των φορέων φορτίου, μπορεί να ενσωματωθεί μέσα στο πολυμερές ένα επιπλέον, συνήθως ανόργανο αλλά και μερικές φορές οργανικό, υλικό, το οποίο μπορεί να υποδέχεται και να μεταφέρει ηλεκτρόνια. Η ανάμειξη των δύο υλικών, του πολυμερούς που αποδίδει ηλεκτρόνια και του ανόργανου που τα υποδέχεται, προκαλεί την ανάπτυξη διεπιφανειών μεταξύ διαφορετικών υλικών (ετεροεπαφές), όπου αναπτύσσεται εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που προκαλεί διαχωρισμό των εξιτονίων. Στη συνέχεια, το πολυμερές δότης ηλεκτρονίων και ο δέκτης ηλεκτρονίων μεταφέρουν τα θετικά και τα αρνητικά φορτία αντίστοιχα στα ηλεκτρόδια. Μια πυκνή κατανομή των διεπιφανειών μέσα στο σύνθετο υλικό εγγυάται μία αποδοτική δημιουργία και μετακίνηση των φορέων φορτίου. [17]



Εικόνα 68: Παράδειγμα οργανικών /υβριδικών Φ/Β.

4.5.3 Εφαρμογές OPVs

Οι εφαρμογές κατά τις οποίες λαμβάνει χώρα η χρησιμοποίηση των οργανικών φωτοβολταϊκών διατάξεων, είναι όλες οι εφαρμογές που χρειάζονται μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επίσης τα οργανικά φωτοβολταϊκά κελιά και κυρίως εκείνα που προσαρμόζονται πάνω σε εύκαμπτες επιφάνειες χρησιμοποιούνται σε στέγες σπιτιών, σε δορυφόρους, σε ρούχα, στα μέσα μαζικής μεταφοράς κτλ. [30]

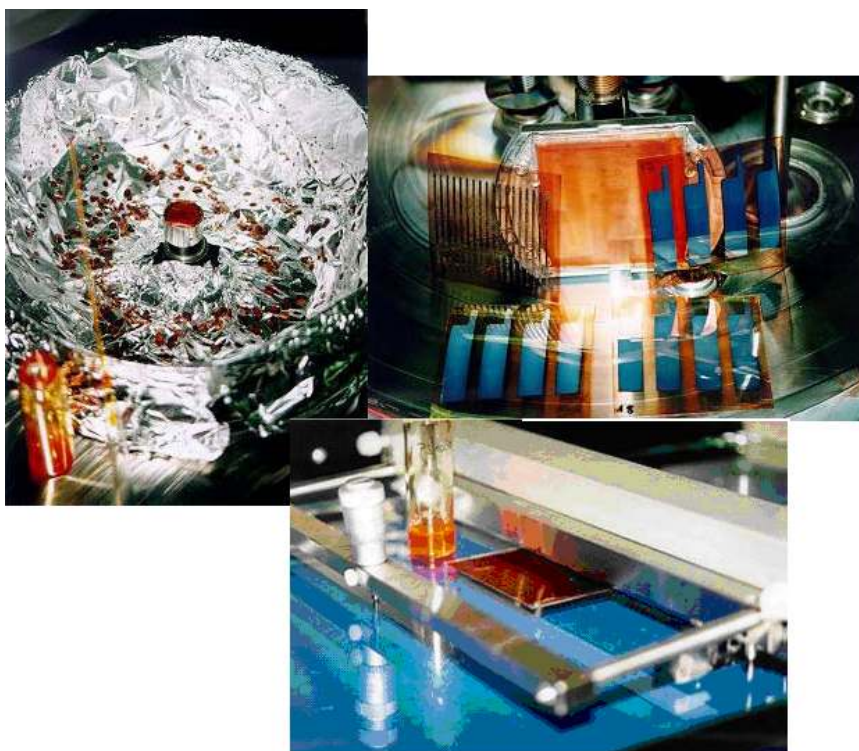


Εικόνα 69: Διάφορες εφαρμογές των OPVs.

4.5.4 Πλεονεκτήματα

Μέχρι στιγμής αρκετά είναι τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα όσον αφορά την περαιτέρω ανάπτυξη των οργανικών πολυμερικών φωτοβολταϊκών διατάξεων. Έτσι μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι:

- Έχουν χαμηλό κόστος.
- Μικρό βάρος.
- Μηχανική ευκαμψία και διαφάνεια.
- Το χάσμα ζωνών των οργανικών υλικών μπορεί εύκολα χημικά να συντονιστεί με την ενσωμάτωση διαφορετικών λειτουργικών ομάδων.
- Λόγω των ιδιοτήτων τους (εύκαμπτα και εύκολα προσαρμοζόμενα) μπορούν να ενσωματωθούν σε μαλακές επιφάνειες.
- Επεξεργάζονται πολύ εύκολα με διάφορες τεχνικές:
 1. Spin coating
 2. Doctor Blade techniques (wet processing)
 3. Evaporation (dry processing)
 4. Printing



Εικόνα 70: Τεχνικές Παραγωγής OPVs (Spin coating, Doctor Blade)

4.5.5 Μειονεκτήματα

Μερικά από τα πιο κατανοητά προβλήματα που παρουσιάζουν τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι:

- Η παρουσία ισχυρής οδηγούσας δύναμης για την διάσπαση του εξιτονίου.
- Παρατηρείται μικρή κινητικότητα του φορτίου.
- Περιορισμένη απορρόφηση φωτός κατά μήκος του ηλιακού φάσματος, γεγονός που περιορίζει το ρεύμα των ηλεκτρονίων.
- Μικρός σχετικά χρόνος ζωής που κυμαίνεται σε λιγότερο από 5 χρόνια και μικρή σχετικά με την τεχνολογία του πυριτίου απόδοση της τάξεως κοντά του 5%. [30]
- Προβλήματα σταθερότητας των διατάξεων – Χαμηλός χρόνος ζωής (τα οργανικά υλικά είναι ευαίσθητα στο οξυγόνο και την υγρασία)
- Δεν υπάρχουν ακόμη στην αγορά. Καταγράφεται όμως πολύ έντονη ερευνητική δραστηριότητα (σε ακαδημαϊκά ιδρύματα, ερευνητικά κέντρα και εταιρείες).
- Δυνατότητα / προοπτική (potential) για σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής / παραγωγής σε μαζική κλίμακα. [32]

Τα OPVs δείχνουν μια υποσχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη μιας και η αποδοτικότητα μέχρι το 10% μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική από το 5% περίπου που ισχύει σήμερα δεν εμφανίζει αναγνωρισμένα εμπόδια. Επίσης η χρησιμοποίηση της τεχνικής role to role (R2R) εγγυάται χαμηλό κόστος κατασκευής. Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την πεποίθηση ότι τα OPVs είναι οι πλέον υποσχόμενες διατάξεις για την επόμενη γενιά των φωτοβολταϊκών διατάξεων. [30]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύονται οι ηλεκτρονικές διατάξεις που αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν παράλληλα με τους ημιαγωγούς. Περιγράφεται η δομή των ημιαγωγών και οι εφαρμογές που βρίσκουν αυτοί. Βασικό πλεονέκτημα των ημιαγωγών σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά είναι ότι διαθέτουν δυο δρόμους στους οποίους μπορούν να κινηθούν τα ηλεκτρικά φορτία. Ο πιο συνηθισμένος ημιαγωγός είναι το πυρίτιο Si το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στην άμμο.

Συγκεκριμένα παρουσιάζονται ηλεκτρονικές διατάξεις όπως είναι οι δίοδοι, οι οποίοι αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του σύγχρονου κόσμου της ηλεκτρονικής, τα τρανζίστορ τα οποία οδήγησαν σε πολλές σχετικές ανακαλύψεις, όπως τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, οι οπτοηλεκτρονικές διατάξεις και οι μικροϋπολογιστές. Μπορούμε να σημειώσουμε ότι το τρανζίστορ δεν αναμόρφωσε τη βιομηχανία των υπολογιστών, αλλά τη δημιούργησε και τέλος τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Η τεχνολογία του πυριτίου έχει υπόστρωμα το ίδιο το πυρίτιο που είναι πανάκριβο και επιπλέον είναι άκαμπτο.

Τα οργανικά υλικά, υλικά τα οποία έχουν ενώσεις άνθρακα υδρογόνου, μπορούν να έχουν την ιδιότητα του ημιαγωγού επομένως μπορούν να κάνουν ηλεκτρονικά παρόμοια με αυτά που έκανε η τεχνολογία πυριτίου αλλά μπορούν να δώσουν και συμπληρωματικές εφαρμογές εκεί που δεν μπορούσε να δώσει το πυρίτιο, εφόσον ένα πολυμερικό, οργανικό υλικό μπορεί να ολοκληρωθεί με άλλα πολυμερικά υλικά και κυρίως με υποστρώματα πολυμερικά, μπορεί να χτίσει κανείς ολόκληρα τα ηλεκτρονικά που έκαναν με το πυρίτιο και το οποίο είναι μια τεχνολογία πολύ δαπανηρή και να αρχίσει λοιπόν να μας δίνει εφαρμογές όπως το ηλεκτρονικό χαρτί, τα φωτοβολταϊκά(σε στέγες, ρούχα, δορυφόρους), οι οθόνες, τα LED κ.τ.λ.

Πλεονεκτήματα των οργανικών ενώσεων που αξίζει να επισημανθούν εκτός από το χαμηλό κόστος είναι η απλή διαδικασία παρασκευής τους, η ικανότητα ανάπτυξης σε μεγάλες διατάξεις, ακόμα και σε εύκαμπτα υποστρώματα, άλλα και η δυνατότητα επιλογής βασικών χαρακτηριστικών τους, όπως για παράδειγμα το φάσμα απορρόφησης.

Σημαντικός παράγοντας κατά τη δημιουργία των εύκαμπτων οργανικών διατάξεων είναι να δημιουργηθούν υλικά φραγμού τα οποία θα προστατεύσουν αυτές τις διατάξεις έτσι ώστε κατά τη χρήση τους να μην υποφέρουν από το νερό, την υγρασία, τον αέρα, το οξυγόνο και να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Τέλος, θα πρέπει να βρεθεί η τεχνική η οποία θα κάνει μαζική παραγωγή ώστε να παράγουμε χιλιόμετρα εύκαμπτων πολυμερικών υλικών με στόχο την μείωση του κόστους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://13epal-esp-thess.thess.sch.gr/info-pn5.htm>
- [2] <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hle/2007/Klipsis/attached-document/2007Klipsis.pdf>
- [3] http://www.ee.teihal.gr/downloads/materials_theory_v1.pdf
- [4] <http://www.geocities.com/epi2001gr/ergo/atomo.htm>
- [5] Γενικά Ηλεκτρονικά – Ολοκληρωμένη ηλεκτρονική Ι
- [6] Τεχνολογία Υλικών / 3^η Έκδοση / Εκδόσεις ΙΩΝ / Δρ.Κ.Ε.ΣΑΒΒΑΚΗΣ.
- [7] Βασική Ηλεκτρονική / 4^η Έκδοση / Εκδόσεις Α.Τζιόλα / Albert Paul Malvino
- [8] <http://diaylos.terapad.com/index.cfm?fa=contentGeneric.ydunebv1wrsgacye&pageId=317158>
- [9] Ηλεκτρονική / 6^η Έκδοση / Εκδόσεις Τζιόλα / Malvino
- [10] Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά / 3^η Έκδοση / Εκδόσεις Τζιόλα / Schuler
- [11] Ηλεκτρονική / 5^η Έκδοση / Malvino
- [12] <http://el.wikipedia.org>
- [13] Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου / Εκδόσεις Τζιόλα / Peter Elgar BSc
- [14] <http://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY482/notes/fet.pdf>
- [15] www.eugenfound.edu.gr/frontoffice
- [16] <http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>
- [17] http://www.elke.teicrete.gr/LinkClick.aspx?fileticket=M_PN6BSc9QY%3D&tabid=670
- [18] <http://www.infogenesis.gr/modules.php?name=News&file=article&sid=130>
- [19] www.physics.ntua.gr/~ppissis/seminario_2006/.../Gkogkosi.pps
- [20] <http://helios.teiath.gr/patheogk/anadromh.htm>
- [21] <http://www.lib.ntua.gr/newsite/el/elektroniki/CHAPTER11.pdf>
- [22] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/1137/4/chaidogiannosg_transistor.pdf

- [23] http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hle/2008/Mpaltzaki,Thomai/attached-document/ptuxiaki_teliko.pdf
- [24] http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/D2_Hmiagogoi_2.pdf
- [25] www.inout.gr/attachment.php?attachmentid=7009&d
- [26] http://chaos.c4lab.el.teithe.gr/kioskeridis/Electronic_Measurements_01_introduction.pdf
- [27] http://www.hep.upatras.gr/class/download/ais_mik_sis_sil_ded/sensornotes.pdf
- [28] Ηλεκτρονικά Ισχύος / 3^η Έκδοση / Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ / ΣΤΕΦΑΝΟΣ Ν. ΜΑΝΙΑΣ
- [29] <http://www.techteam.gr/forum/topic/95964-aytomatismos/>
- [30] <http://invenio.lib.auth.gr/record/113114/files/garganourakes.pdf>
- [31] <http://technologein.pathfinder.gr/olatronics/>
- [32] http://edu.demokritos.gr/ge/files/SS08/16-7/EIDII/K2_160708_Vassilopoulou.pdf