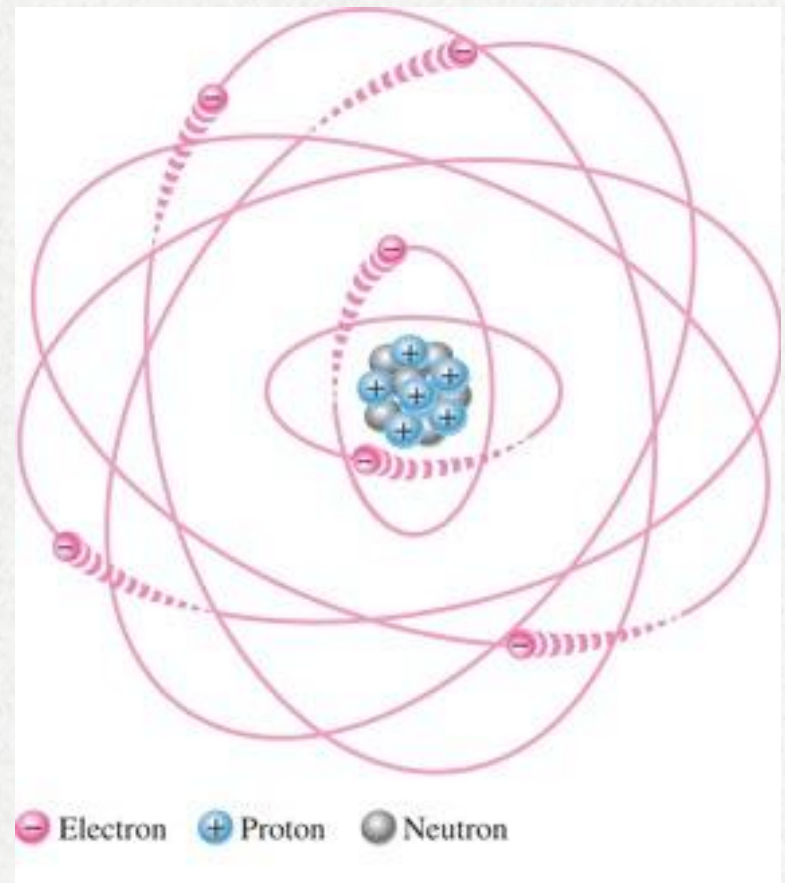


Ανασκόπηση Ηλεκτρονικής Φυσικής

Το Άτομο

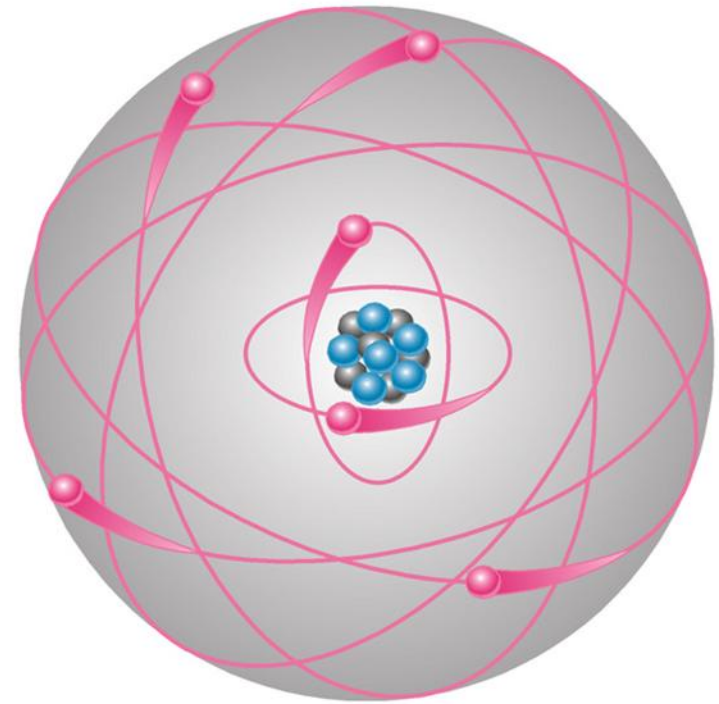
Μοντέλο Bohr

Το μοντέλο Bohr ενός ατόμου που δείχνει ηλεκτρόνια σε τροχιές γύρω από τον πυρήνα, το οποίο αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Οι «ουρές» στα ηλεκτρόνια δείχνουν κίνηση.



Μοντέλο Bohr ενός ατόμου

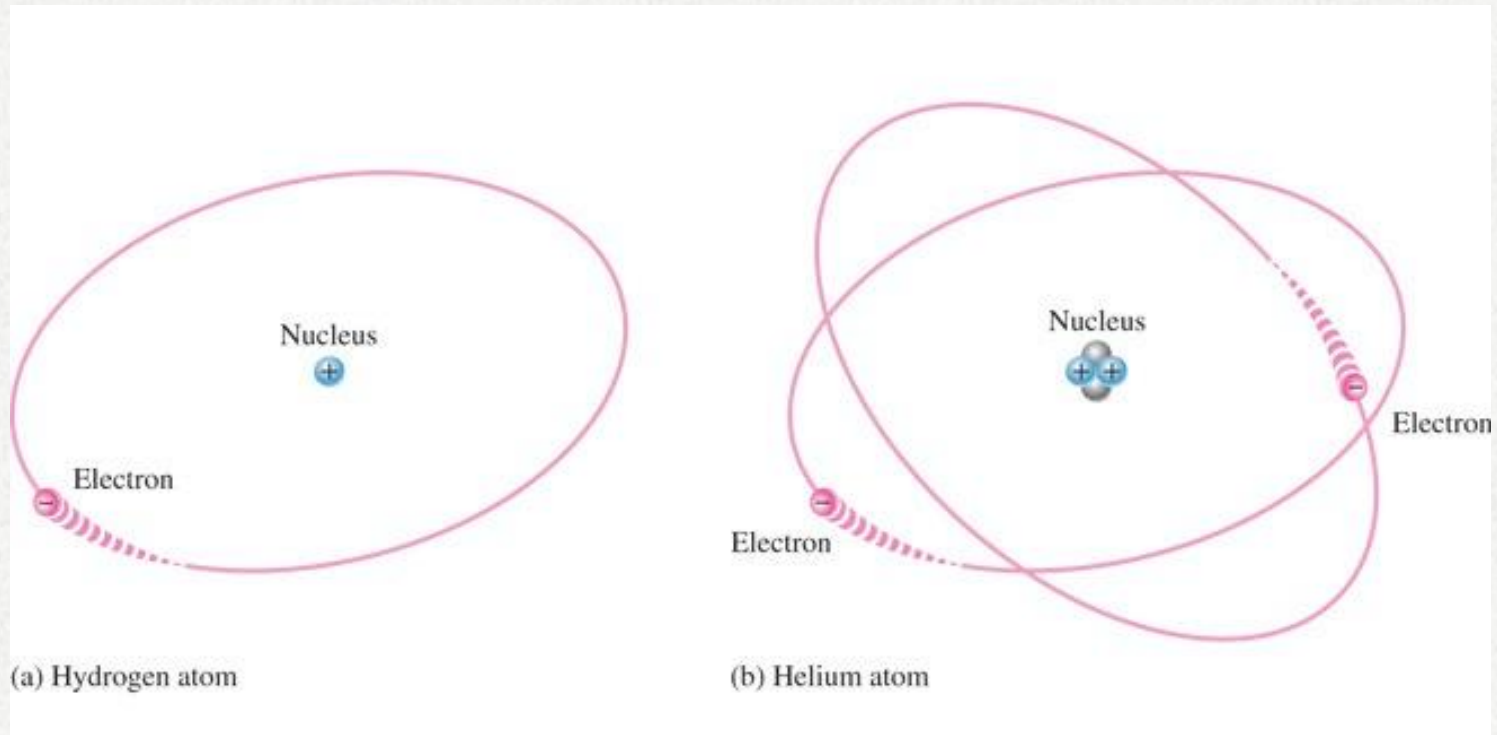
- Όπως φαίνεται σε αυτό το μοντέλο, τα ηλεκτρόνια περιβάλλουν τον πυρήνα. Η ατομική δομή ενός υλικού καθορίζει την ικανότητά του να άγει ή όχι.
- Ο **πυρήνας** αποτελείται από θετικά φορτισμένα σωματίδια που ονομάζονται **πρωτόνια** και μη φορτισμένα σωματίδια που ονομάζονται νετρόνια. Τα βασικά σωματίδια αρνητικού φορτίου ονομάζονται **ηλεκτρόνια**.



● Electron ● Proton ● Neutron

Το Άτομο

Μοντέλο του Bohr



Δύο απλά άτομα, Υδρογόνο και Ήλιο.

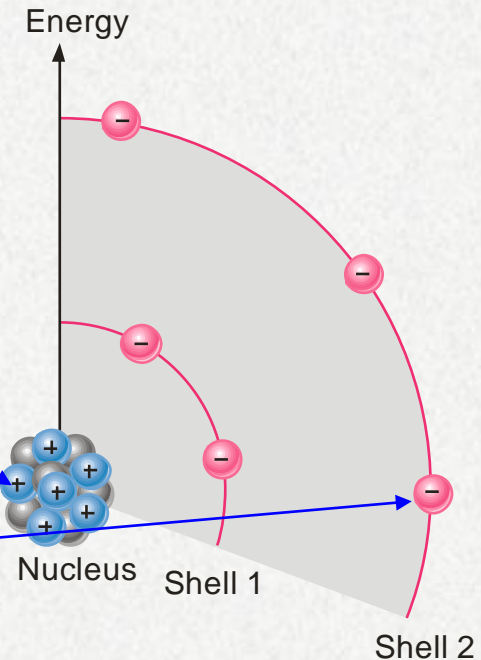
Το Άτομο

Μοντέλο του Bohr

Το μοντέλο Bohr του ατόμου είναι ότι τα ηλεκτρόνια μπορούν να περιβάλλουν τον πυρήνα μόνο σε συγκεκριμένες τροχιές, που αντιστοιχούν σε διακριτά επίπεδα ενέργειας που ονομάζονται **στοιβάδες**.

Ο **ατομικός αριθμός** είναι ο αριθμός των πρωτονίων στον πυρήνα.

Η εξώτερη κατειλημμένη στάθμη ονομάζεται **στοιβάδα σθένους** και ηλεκτρόνια που καταλαμβάνουν αυτή τη στάθμη ονομάζονται **ηλεκτρόνια σθένους**.



Η ενέργεια αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον πυρήνα.

Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

		Metals										Metalloids		Nonmetals					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1 H												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
3 Li	4 Be											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
11 Na	12 Mg																		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113	114	115	116	117	118		
<i>Lanthanide series</i>		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb				
<i>Actinide series</i>		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No				

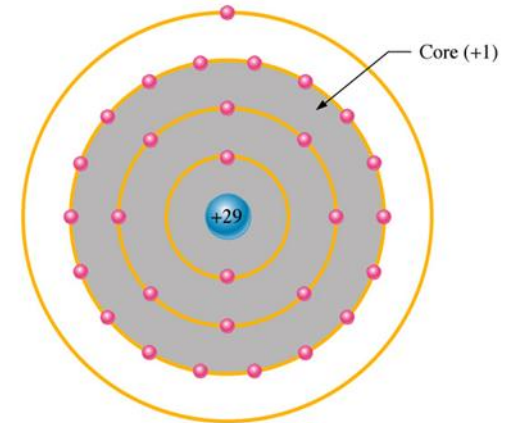
Ο περιοδικός πίνακας των στοιχείων.

Αγωγοί, Μονωτές,, και Ημιαγωγοί

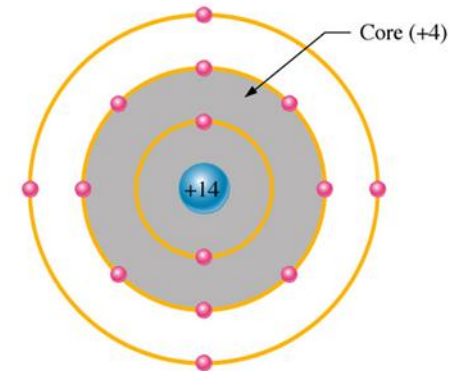
- Η ικανότητα ενός υλικού να άγει το ρεύμα βασίζεται στην ατομική του δομή.
- Οι τροχιές των ηλεκτρονίων που περιβάλλουν τον πυρήνα ονομάζονται στοιβάδες.
- Κάθε στοιβάδα έχει έναν καθορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων που θα συγκρατήσει που μπορεί να προσδιοριστεί από τον τύπο, $2n^2$, όπου n είναι ο αριθμός της στοιβάδας.
- Η εξωτερική στοιβάδα ονομάζεται στοιβάδα σθένους.
- Όσο λιγότερο πλήρης είναι η στοιβάδα τόσο πιο αγώγιμο είναι το υλικό.

Αγωγοί, Μονωτές,, και Ημιαγωγοί

- Η στοιβάδα σθένους καθορίζει την ικανότητα του υλικού να άγει το ρεύμα.
- **Παράδειγμα:**
- Ένα άτομο χαλκού έχει μόνο 1 ηλεκτρόνιο στη στοιβάδα σθένους του. Αυτό το καθιστά καλό αγωγό. Χρειάζονται $2n^2$ ηλεκτρόνια ή σε αυτήν την περίπτωση 32 ηλεκτρόνια για να γεμίσει η στοιβάδα σθένους.
- Ένα άτομο πυριτίου έχει 4 ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους του. Αυτό το καθιστά ημιαγωγό. Χρειάζονται $2n^2$ ηλεκτρόνια ή σε αυτήν την περίπτωση 18 ηλεκτρόνια για να γεμίσει η στοιβάδα σθένους.

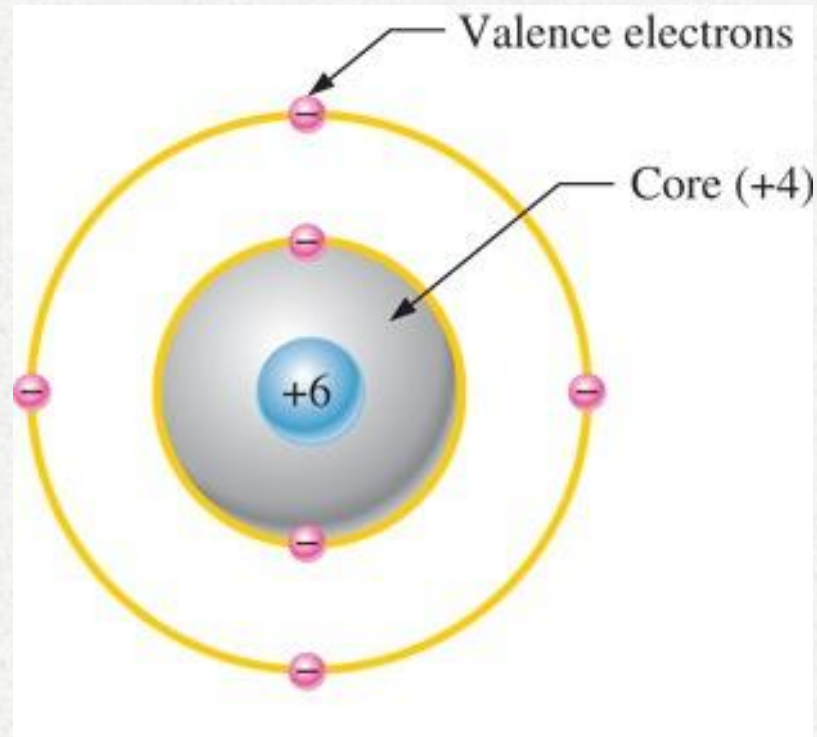


(b) Copper atom



(a) Silicon atom

Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική



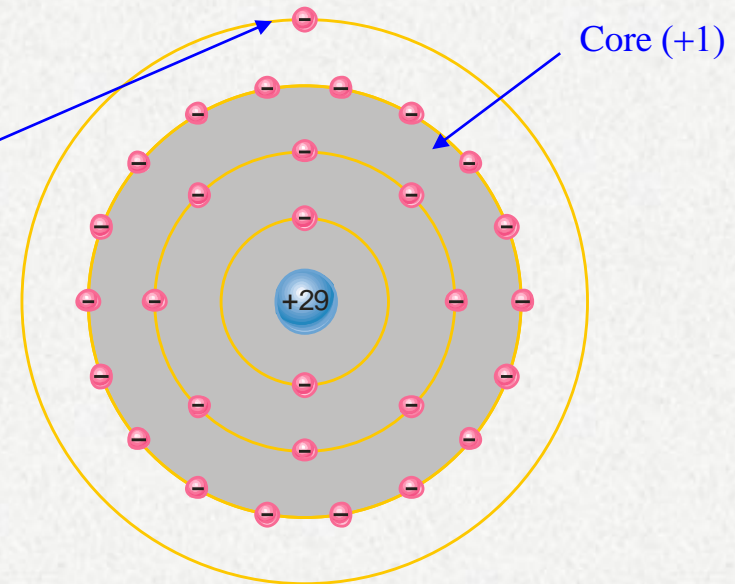
Διάγραμμα ατόμου άνθρακα.

Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

Αγωγοί

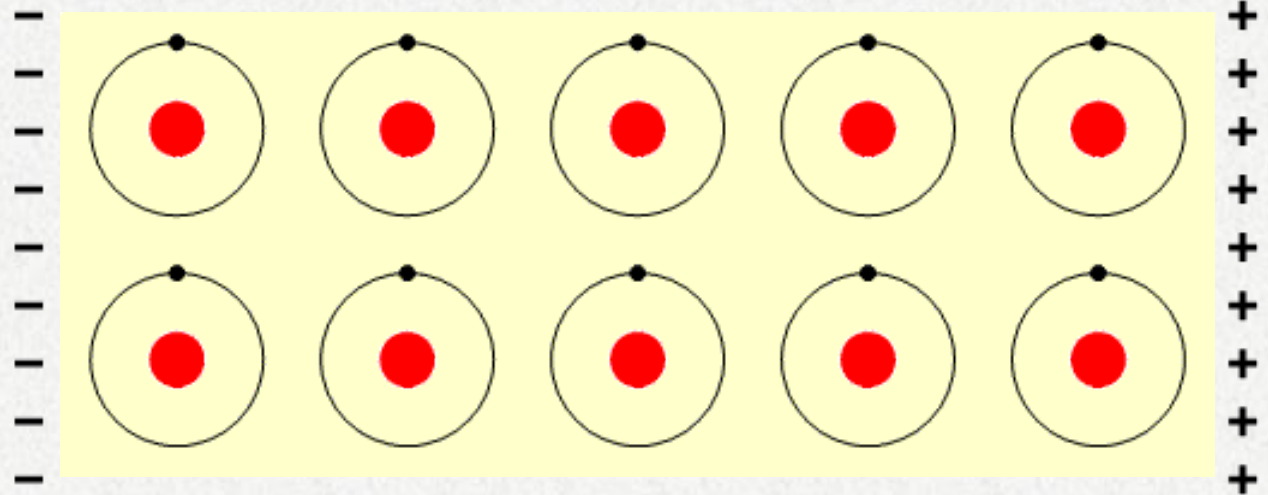
Τα υλικά μπορούν να ταξινομηθούν από την ικανότητά τους να άγουν ηλεκτρισμό. Αυτή η ικανότητα σχετίζεται με τα ηλεκτρόνια σθένους.

Ο χαλκός είναι ένα παράδειγμα εξαιρετικού αγωγού. Έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη σθένους, το οποίο μπορεί εύκολα να διαφύγει στη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας πίσω του ένα θετικό ιόν (τον πυρήνα). Όπως όλα τα μέταλλα, ο χαλκός έχει πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια που συγκρατούνται χαλαρά από την έλξη των θετικών μεταλλικών ιόντων.



Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

Αγωγοί



Στους αγωγούς, τα ηλεκτρόνια σθένους απαιτούν μια **μικρή ποσότητα ενέργειας** για να απελευθερωθούν και να συμβάλλουν στην αγωγιμότητα.

Ας εφαρμόσουμε μια **διαφορά δυναμικού** στα άκρα του παραπάνω αγωγού ...

Η **δύναμη** που θα ασκηθεί σε κάθε ηλεκτρόνιο είναι αρκετή για να το **απελευθερώσει** από τη στοιβάδα του και να μπορεί να πηδήξει από άτομο σε άτομο - ο αγωγός **άγει**.

Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

Μονωτές

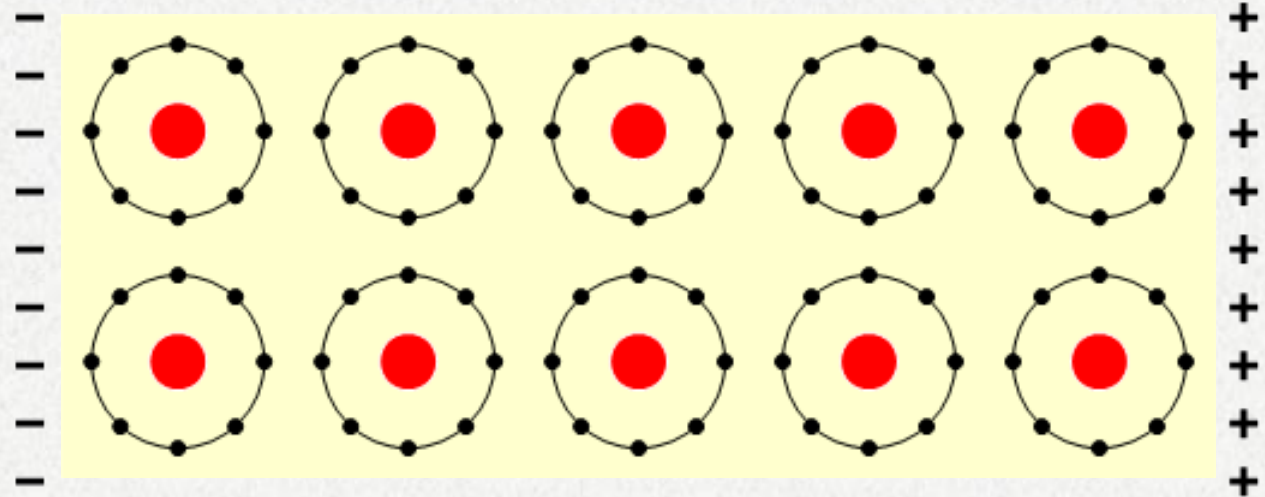
Οι μονωτές έχουν στενά συνδεδεμένα ηλεκτρόνια με λίγα ηλεκτρόνια διαθέσιμα για αγωγιμότητα.

Τα μη μέταλλα, όπως το γυαλί, ο αέρας, το χαρτί και το καουτσούκ είναι εξαιρετικοί μονωτές και χρησιμοποιούνται ευρέως στα ηλεκτρονικά. Ακόμη και αυτά τα υλικά μπορούν να διασπαστούν και να άγουν το ρεύμα εάν η τάση είναι αρκετά υψηλή.



Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

Μονωτές



Στους **μονωτές**, τα ηλεκτρόνια σθένους απαιτούν πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να ελευθερωθούν για αγωγιμότητα.

Ας εφαρμόσουμε μια **διαφορά δυναμικού** στα άκρα του παραπάνω **μονωτή** ...

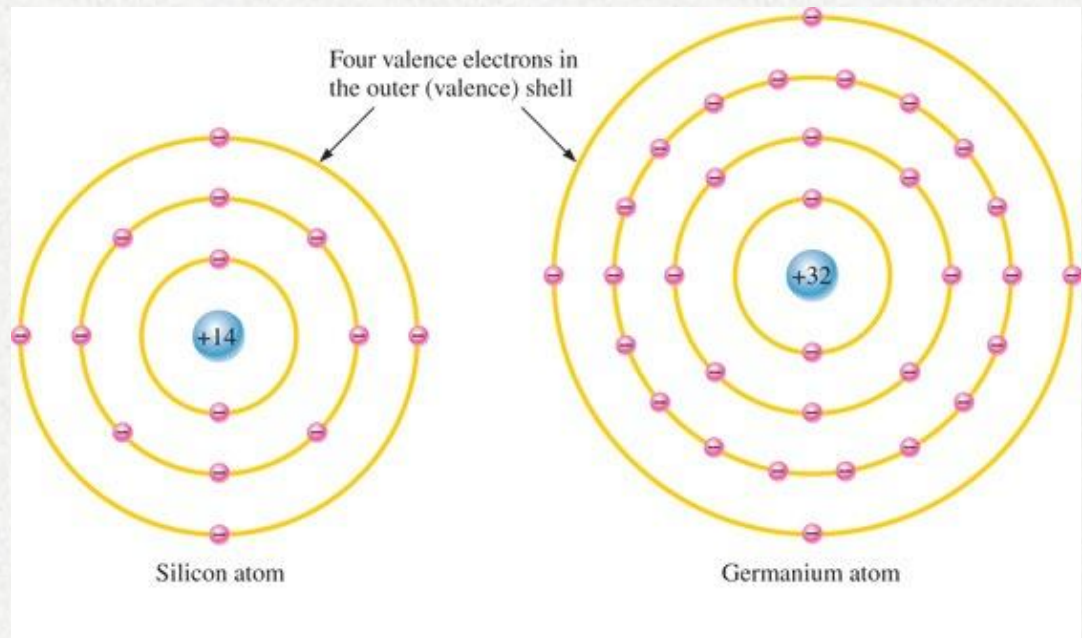
Η **δύναμη** σε κάθε ηλεκτρόνιο δεν είναι αρκετή για να το απελευθερώσει από τη στοιβάδα του και ο μονωτής δεν άγει. Οι μονωτές λέγεται ότι έχουν **υψηλή αντίσταση**.

Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

Ημιαγωγοί

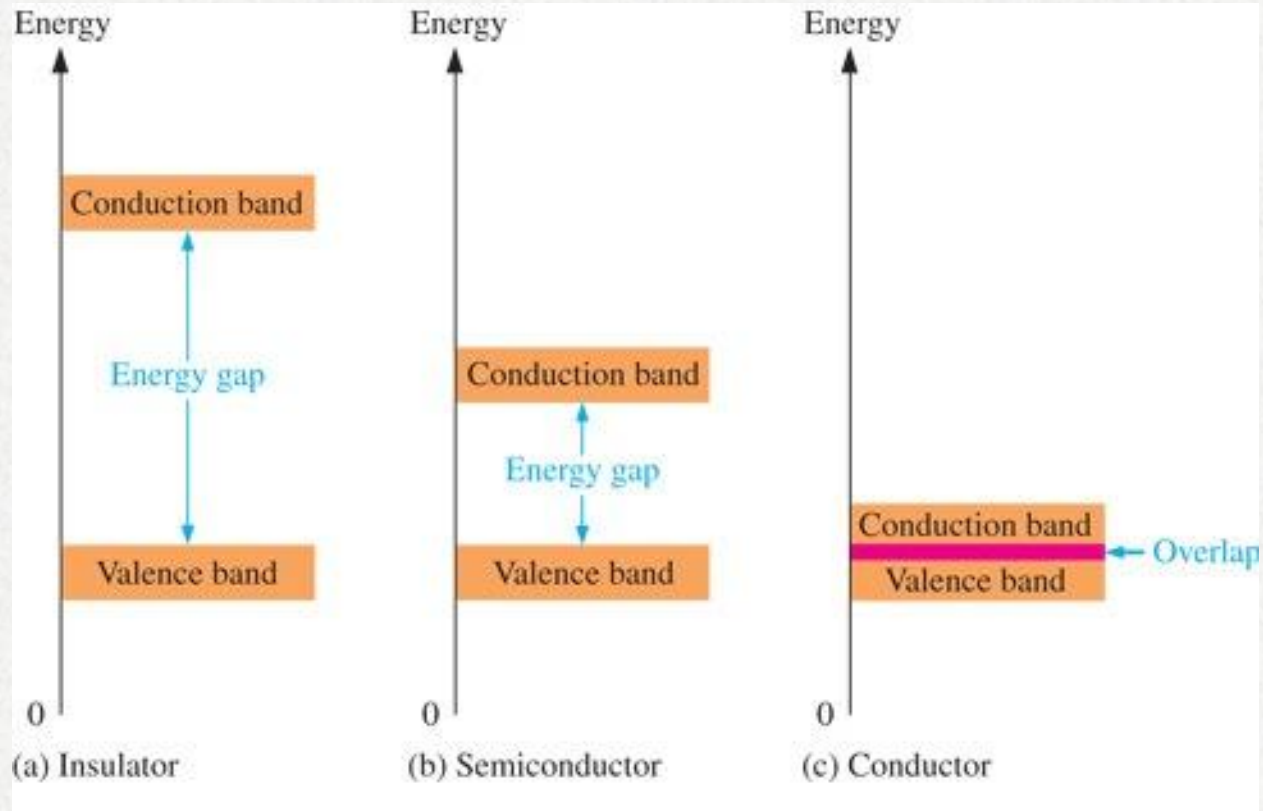
Οι ημιαγωγοί έχουν συμπεριφορά ενδιάμεση μεταξύ αγωγών και μονωτών ως προς την ικανότητά τους να άγουν το ρεύμα.

Το πυρίτιο και το γερμάνιο είναι τυπικά παραδείγματα ημιαγωγών ενός στοιχείου. Έχουν τέσσερα ηλεκτρόνια στη ζώνη σθένους.



Διαγράμματα ατόμων πυριτίου και γερμανίου.

Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

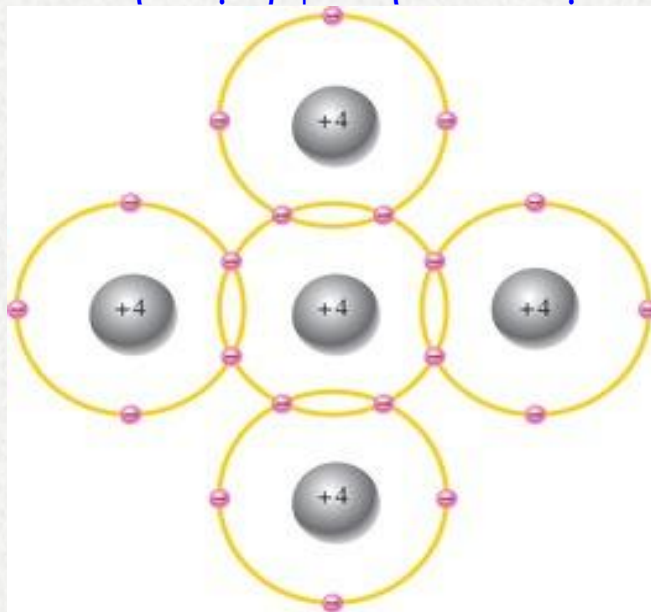


Ενεργειακά διαγράμματα για τους 3 τύπους υλικών.

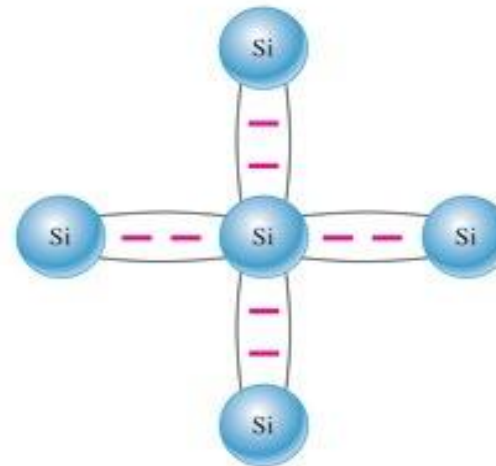
Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

Ημιαγωγοί

Σε αντίθεση με τα μέταλλα, το πυρίτιο σχηματίζει ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς (κοινά ηλεκτρόνια) με τους γείτονές του. Το ενδογενές πυρίτιο είναι ένας κακός αγωγός επειδή τα περισσότερα από τα ηλεκτρόνια δεσμεύονται στον κρύσταλλο και συμμετέχουν στη διαμόρφωση των δεσμών.



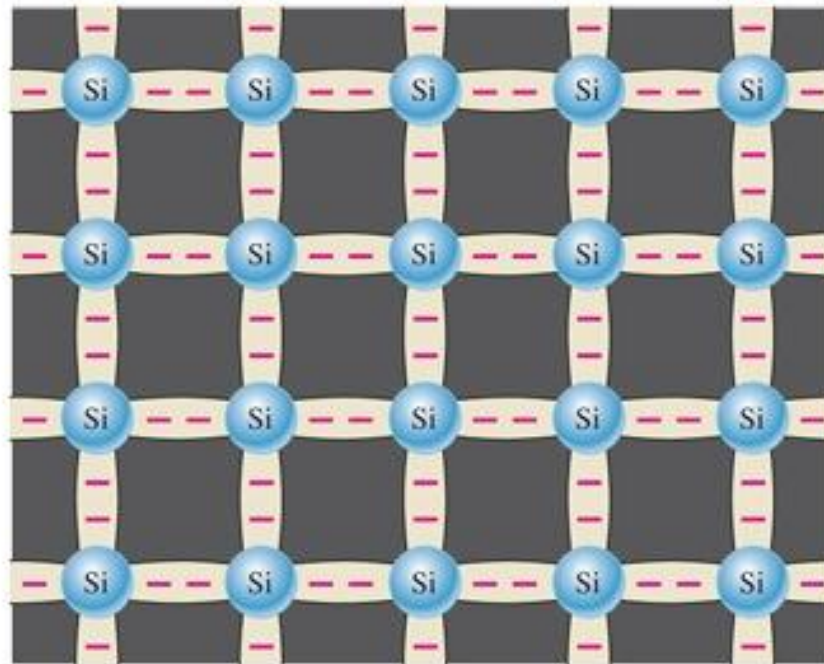
(a) The center silicon atom shares an electron with each of the four surrounding silicon atoms, creating a covalent bond with each. The surrounding atoms are in turn bonded to other atoms, and so on.



(b) Bonding diagram. The red negative signs represent the shared valence electrons.

Υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ηλεκτρονική

Ημιαγωγοί



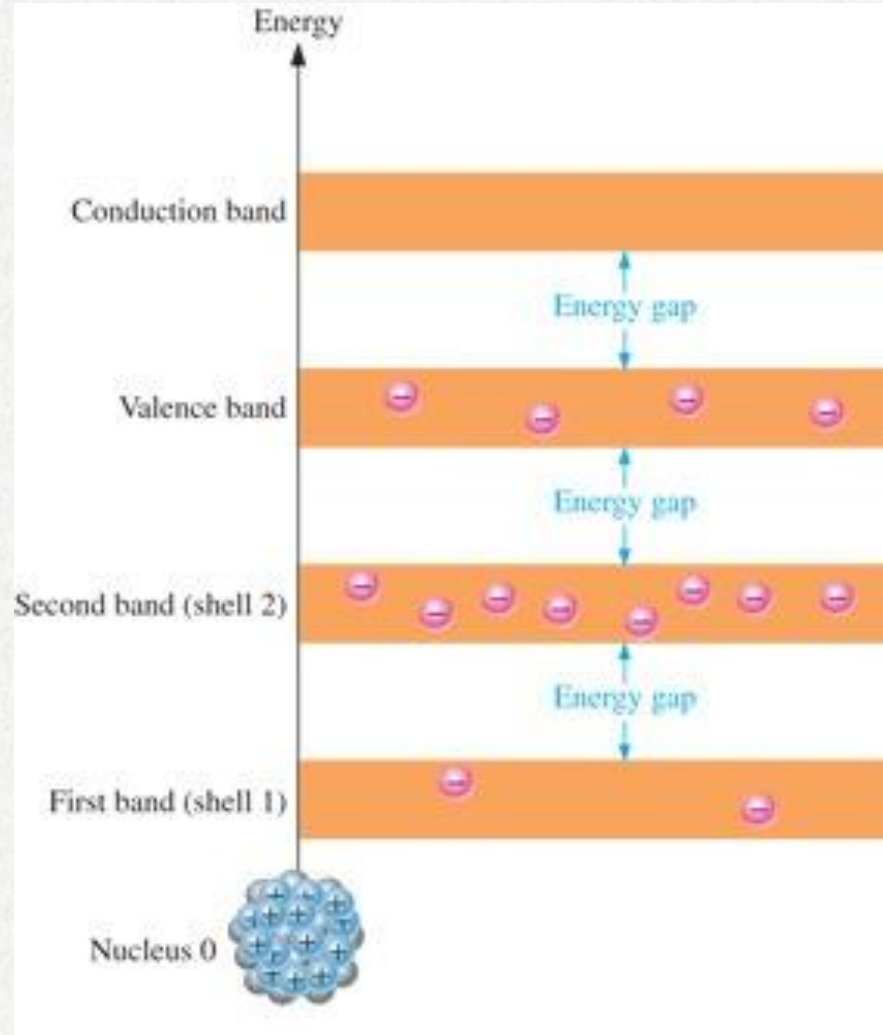
Ομοιοπολικοί δεσμοί στον κρύσταλλο του πυριτίου.

Οι ημιαγωγικές διατάξεις κατασκευάζονται κυρίως από γερμάνιο και πυρίτιο

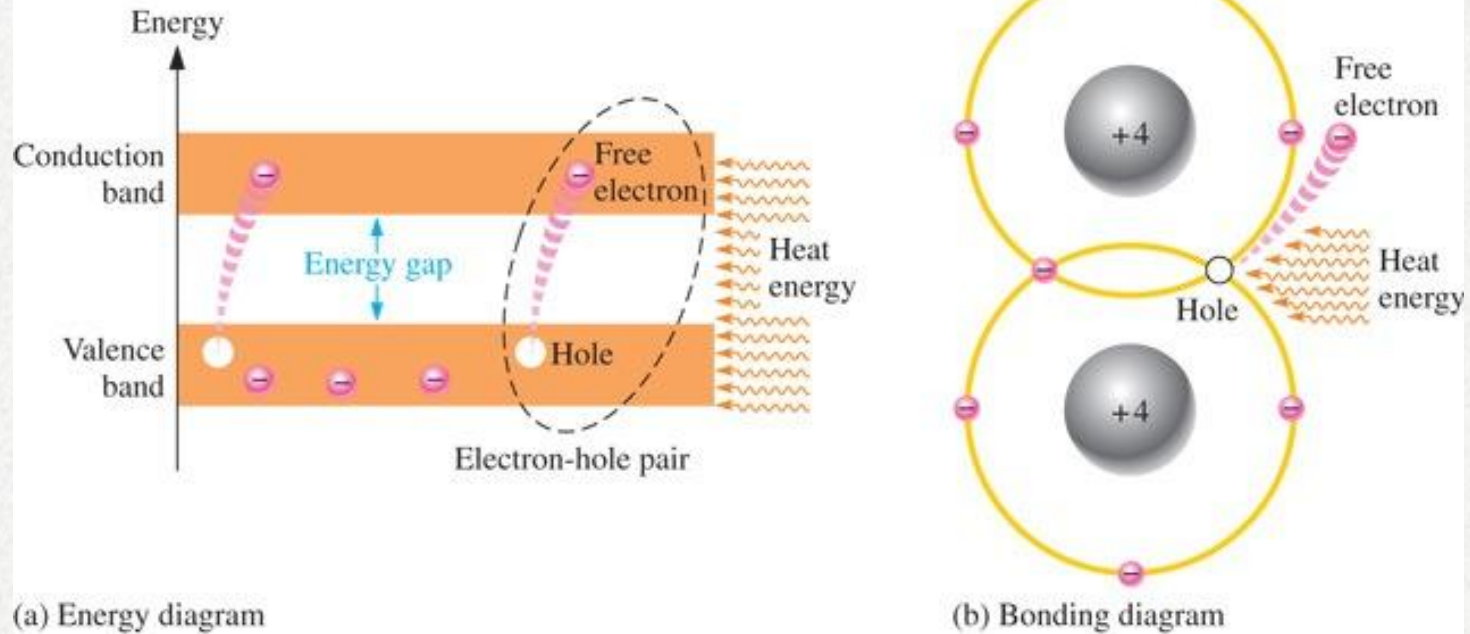
- Τόσο το πυρίτιο όσο και το γερμάνιο έχουν τα χαρακτηριστικά τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους, αλλά τα ηλεκτρόνια σθένους στο γερμάνιο βρίσκονται στην τέταρτη στοιβάδα ενώ αυτά στο πυρίτιο βρίσκονται στην τρίτη στοιβάδα, πιο κοντά στον πυρήνα.
- Το γερμάνιο είναι σε υψηλότερο επίπεδο ενέργειας από το πυρίτιο, και απαιτεί λιγότερη ενέργεια για να διαφύγει από το άτομο, αυτή η ιδιότητα κάνει το γερμάνιο να έχει υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα (λιγότερη αντίσταση στη ροή ρεύματος) από το πυρίτιο και χρησιμοποιείται στις περισσότερες διόδους και τρανζίστορ χαμηλής ισχύος.
- Το πυρίτιο είναι πιο κατάλληλο για συσκευές υψηλής ισχύος από το γερμάνιο. Ένας λόγος είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες. Δεδομένου ότι το γερμάνιο είναι ασταθές σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Για διόδους πυριτίου, η τυπική τάση ορθής πόλωσης είναι 0,7 Volt. Για τις διόδους γερμανίου, η τάση ορθής πόλωσης είναι μόνο 0,3 Volt.

Ρεύμα στους ημιαγωγούς

Διάγραμμα ενεργειακής ζώνης για ένα μη διεγερμένο άτομο σε καθαρό (εγγενή ή ενδογενή) κρύσταλλο πυριτίου. Δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτή η κατάσταση εμφανίζεται μόνο σε θερμοκρασία απόλυτου 0 Kelvin ($-273,16^{\circ}\text{C}$)

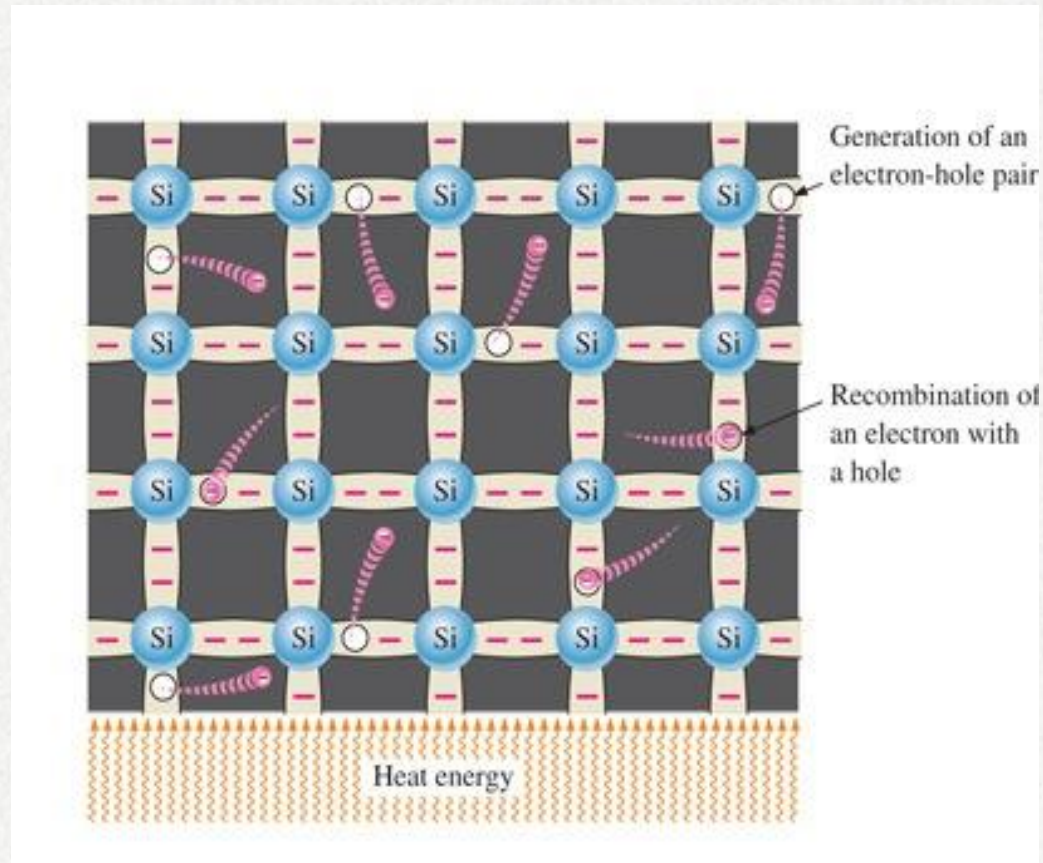


Ρεύμα στους ημιαγωγούς



Στο ενδογενές πυρίτιο σε θερμοκρασία δωματίου (περίπου 25°C), μερικά ηλεκτρόνια μπορούν να υπερπηδήσουν το ενεργειακό κενό μεταξύ της ζώνης σθένους και αγωγιμότητας. Έχοντας μετακινηθεί στη ζώνη αγωγιμότητας, μια «οπή» (κενή θέση) παραμένει στην κρυσταλλική δομή.

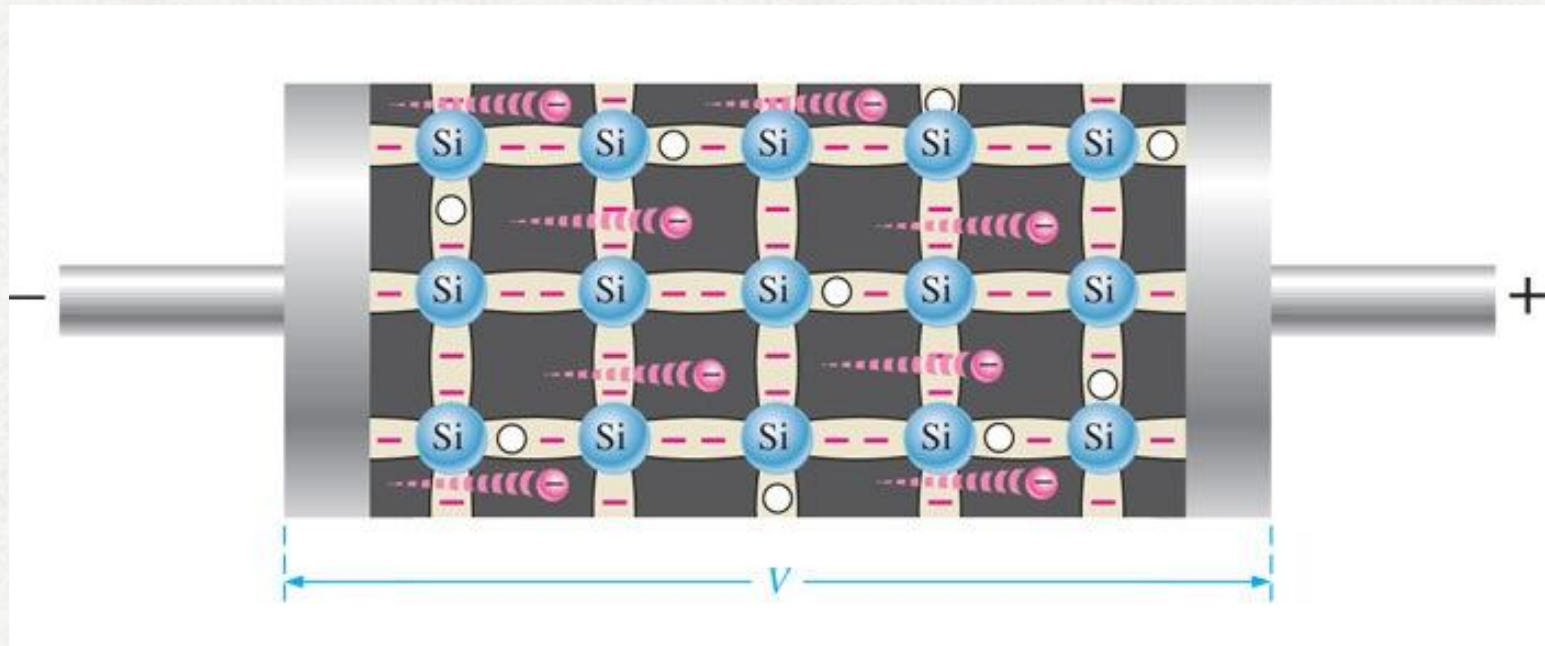
Ρεύμα στους ημιαγωγούς



Ζεύγη οπών ηλεκτρονίων σε κρύσταλλο πυριτίου. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια παράγονται συνεχώς ενώ μερικά ανασυνδυάζονται με οπές.

Ρεύμα στους ημιαγωγούς

Όταν εφαρμόζεται τάση σε ένα κομμάτι ενδογενούς πυριτίου, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας έλκονται στο θετικό άκρο προκαλώντας **ρεύμα ηλεκτρονίων**.

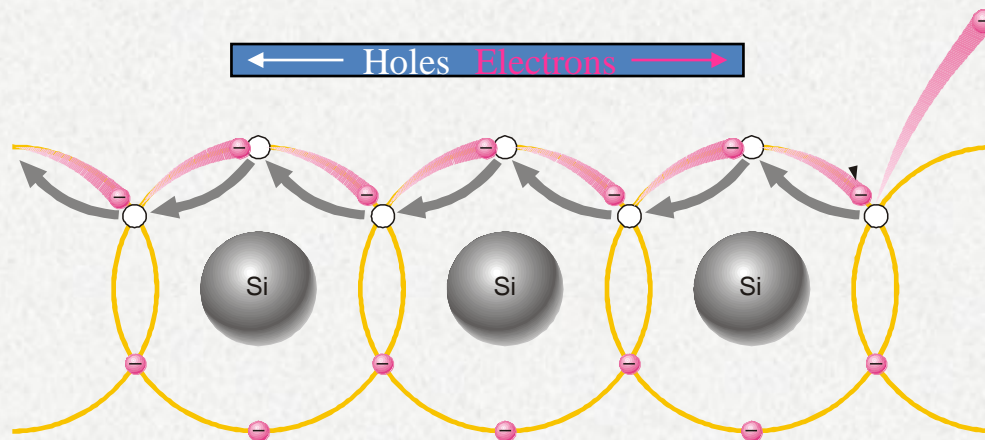


Το ρεύμα ηλεκτρονίων στο εσωτερικό πυρίτιο παράγεται από την κίνηση θερμικά παραγόμενων ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Ρεύμα στους ημιαγωγούς

Μέσα στην κρυσταλλική δομή, υπάρχουν δύο τύποι κίνησης φορτίου (ρεύμα):

- 1) Τα ηλεκτρόνια ζώνης αγωγιμότητας είναι ελεύθερα να κινούνται υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου.
- 2) Τα δεσμευμένα (σθένους) ηλεκτρόνια κινούνται μεταξύ ατόμων, μετακινώντας αποτελεσματικά οπές από το ένα άτομο στο άλλο όπως φαίνεται. Οι οπές λειτουργούν σαν θετικά φορτία, με τη δική τους κινητικότητα.

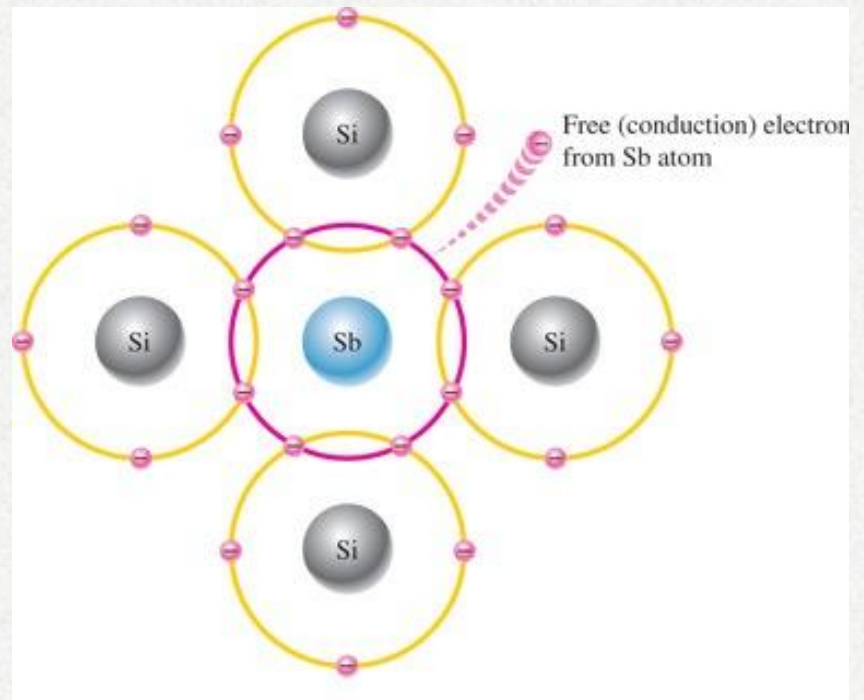


Ημιαγωγοί Τύπου-N και Τύπου-P

Ημιαγωγός Τύπου-n

Η ελεγχόμενη προσθήκη νοθεύσεων στο ενδογενές (καθαρό) πυρίτιο (μια διαδικασία που ονομάζεται νόθευση ή ντοπάρισμα) θα αυξήσει την αγωγιμότητά του.

Μια **πεντασθενής** νόθευση (με 5 ηλεκτρόνια σθένους) όπως το Αντιμόνιο (Sb) ή ο Φώσφορος (P) έχει ένα ηλεκτρόνιο που δεν είναι μέρος των ηλεκτρονίων σύνδεσης, έτσι είναι ελεύθερο. Αυτό δημιουργεί ένα υλικό τύπου-n. Τα ηλεκτρόνια είναι οι περισσότεροι φορείς σε υλικό τύπου-n.



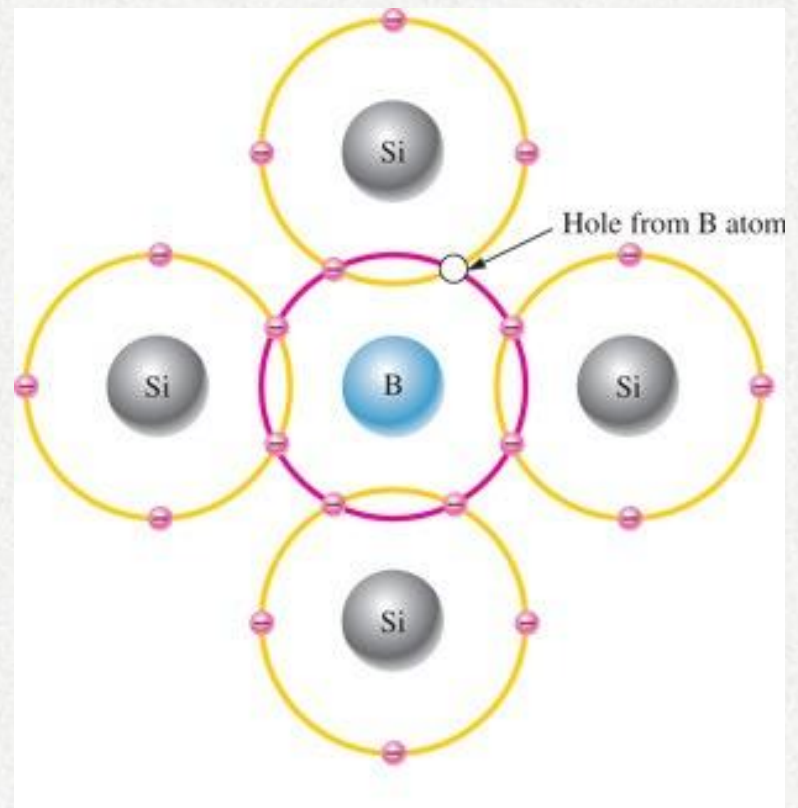
Ημιαγωγοί Τύπου-N και Τύπου-P

Ημιαγωγός Τύπου-p

Μια τρισθενής νόθευση (με 3 ηλεκτρόνια σθένους) όπως το Βόριο (B) ή το Γάλλιο (G) αφήνει μια κενή θέση στη ζώνη σθένους, δημιουργώντας ένα υλικό τύπου-p.

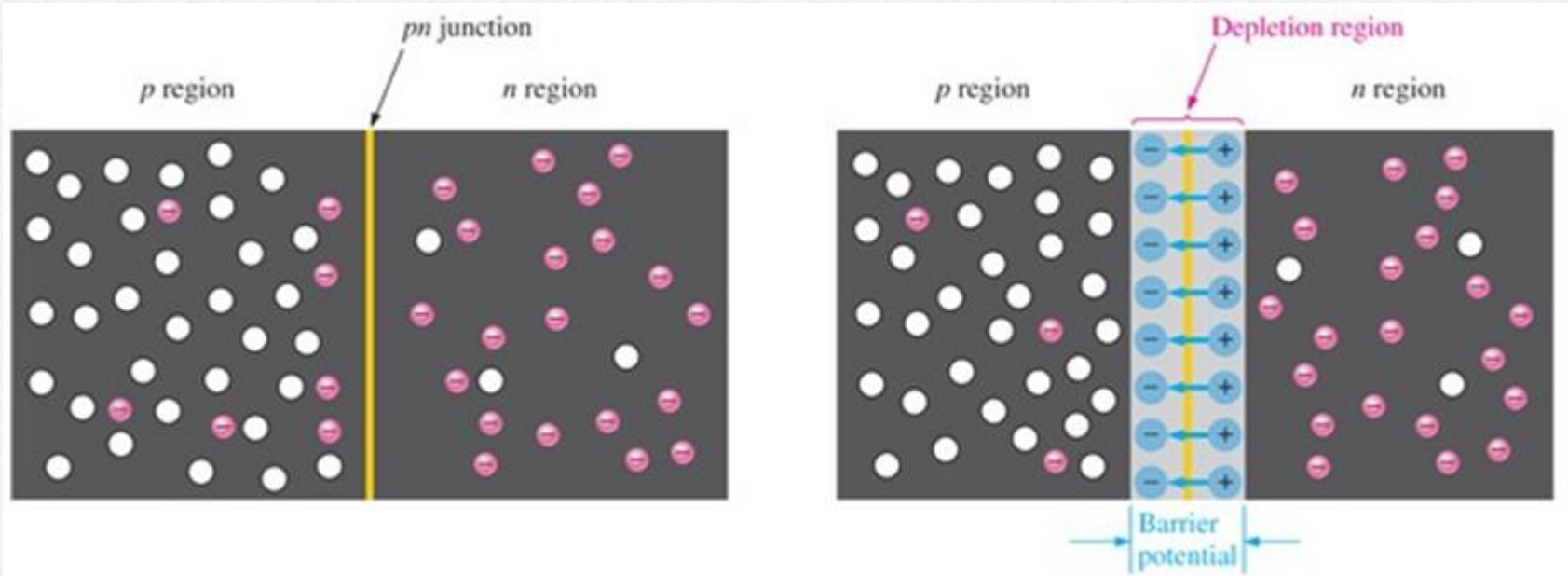
Οι οπές είναι οι περισσότεροι φορείς σε υλικό τύπου-p.

Τόσο τα p- όσο και τα n- υλικά έχουν επίπεδα ενέργειας διαφορετικά από το ενδογενές πυρίτιο.



Η ένωση pn

Ένα p - και ένα n -υλικό μαζί σχηματίζουν μια ένωση pn . Όταν σχηματιστεί η ένωση, τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας μετακινούνται στην περιοχή p και επανασυνδέονται με οπές. Το γέμισμα μιας οπής δημιουργεί ένα αρνητικό ιόν και αφήνει ένα θετικό ιόν στην περιοχή n . Αυτό δημιουργεί μια λεπτή περιοχή στο όριο που ονομάζεται **περιοχή απογύμνωσης ή αραίωσης**.



Η ένωση pn

Η περιοχή απογύμνωσης:

Σχηματίζεται πολύ γρήγορα (στιγμιαία).

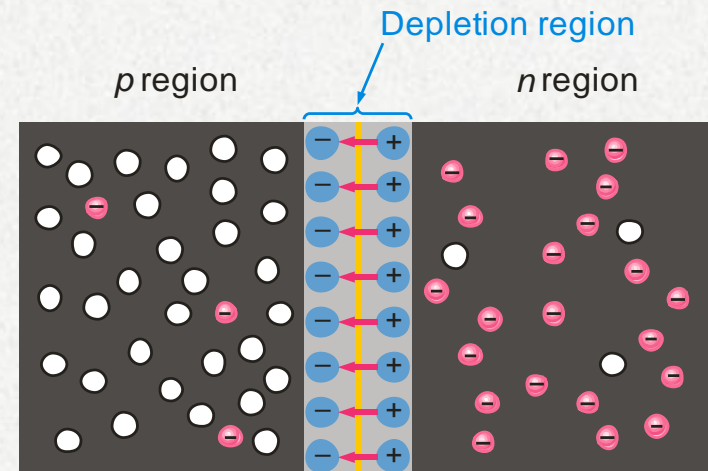
Δεν έχει φορείς αγωγιμότητας (ηλεκτρόνια και οπές).

Είναι πολύ λεπτή σε σύγκριση με τις περιοχές n και p.

Ερώτηση:

Ποια διαδικασία σταματά τη μετακίνηση φορτίων πέρα από το όριο;

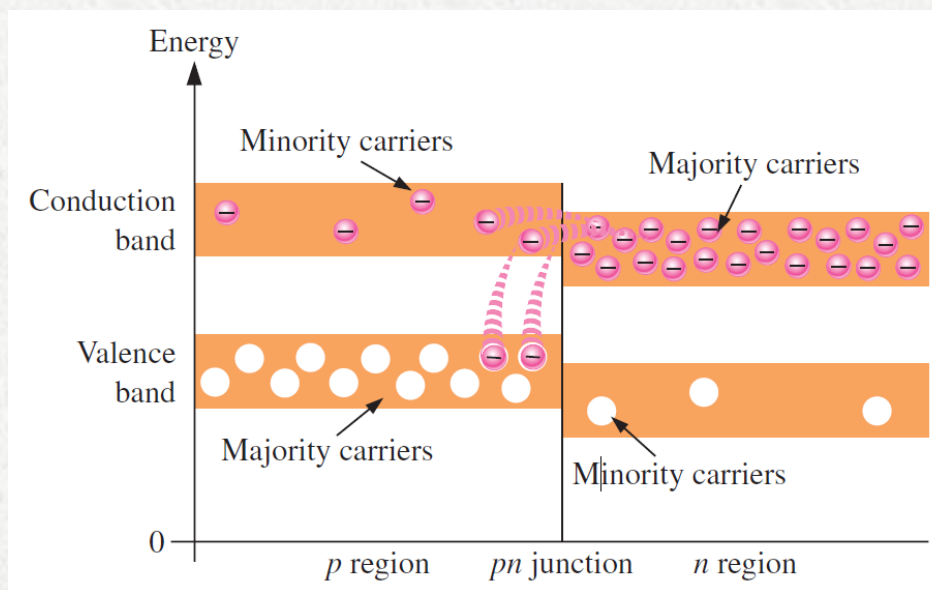
Δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού (που ονομάζεται φράγμα δυναμικού) που αποτρέπει την περαιτέρω μετακίνηση φορτίου.



Η ένωση pn

Το ενεργειακό διάγραμμα για την περιοχή n είναι σε χαμηλότερο δυναμικό από ό,τι για την περιοχή p .

Ηλεκτρόνια από τη ζώνη αγωγιμότητας της περιοχής n , διαχέονται στη ζώνη αγωγιμότητας της περιοχής p και στη συνέχεια επανασυνδέονται με τις άφθονες οπές της ζώνης σθένους. Καθώς η διάχυση συνεχίζεται, σχηματίζεται η περιοχή απογύμνωσης και η ενεργειακή στάθμη της ζώνης αγωγιμότητας της περιοχής n μειώνεται.



Η μείωση αυτή της ενεργειακής στάθμης οφείλεται στην απώλεια των ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας που διαχέονται προς την περιοχή p .

Η ένωση pn

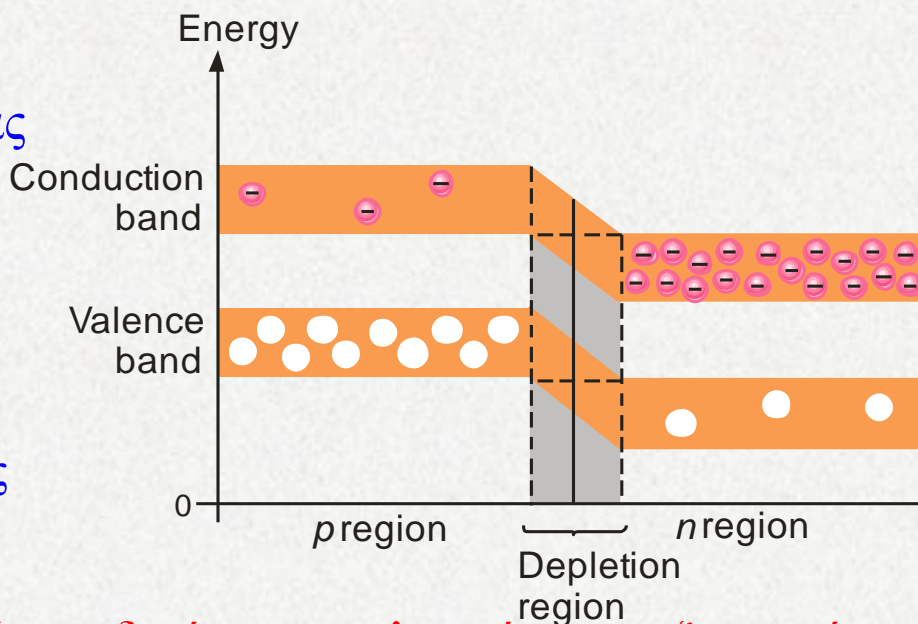
Σύντομα, δεν υπάρχουν πλέον διαθέσιμα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας της περιοχής n με αρκετή ενέργεια για να υπερβούν το ενεργειακό φράγμα που σχηματίζεται και να περάσουν την ένωση.

Η κορυφή της ζώνης αγωγιμότητας της περιοχής n ευθυγραμμίζεται με τον πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας της περιοχής p και η ένωση είναι σε **ισορροπία**.

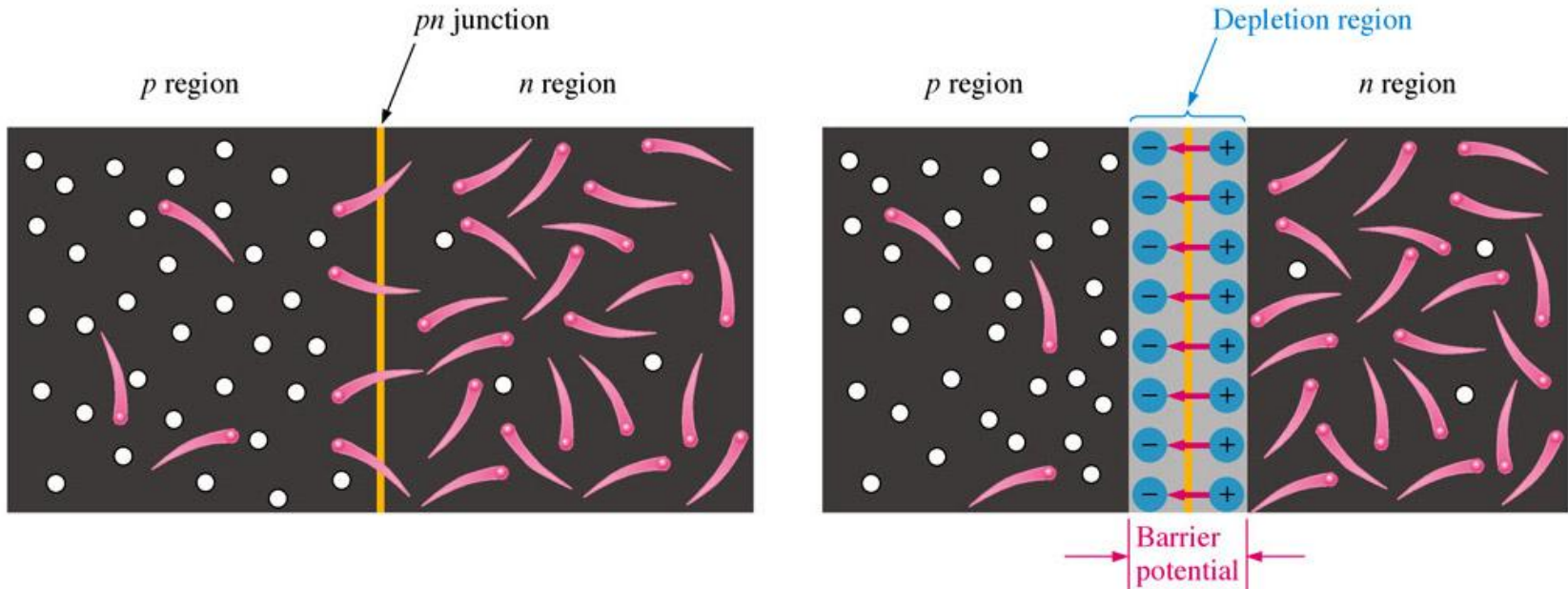
Ερώτηση:

Γιατί πιστεύετε ότι το επίπεδο ενέργειας στην περιοχή n είναι χαμηλότερο από αυτό της περιοχής p ;

Οι τρισθενείς προσμείξεις εξασκούν μικρότερες δυνάμεις στα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας από ότι οι πενταθενείς προσμείξεις. Οι μικρότερες δυνάμεις στο υλικό τύπου- p σημαίνει ότι οι τροχιές των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερες και άρα τα ηλεκτρόνια έχουν περισσότερη ενέργεια από τις τροχιές των ηλεκτρονίων στο υλικό τύπου- n .



Η περιοχή απογύμνωσης



Κατά το σχηματισμό της ένωσης pn συμβαίνει ανταλλαγή ηλεκτρονίων και οπών μεταξύ των περιοχών και διαμέσου της ένωσης.

Έτσι δημιουργείται η περιοχή απογύμνωσης και το φράγμα δυναμικού. Το φράγμα αυτό δεν μπορεί να μετρηθεί με ένα βολτόμετρο αλλά προκαλεί μια μικρή πτώση τάσης.