

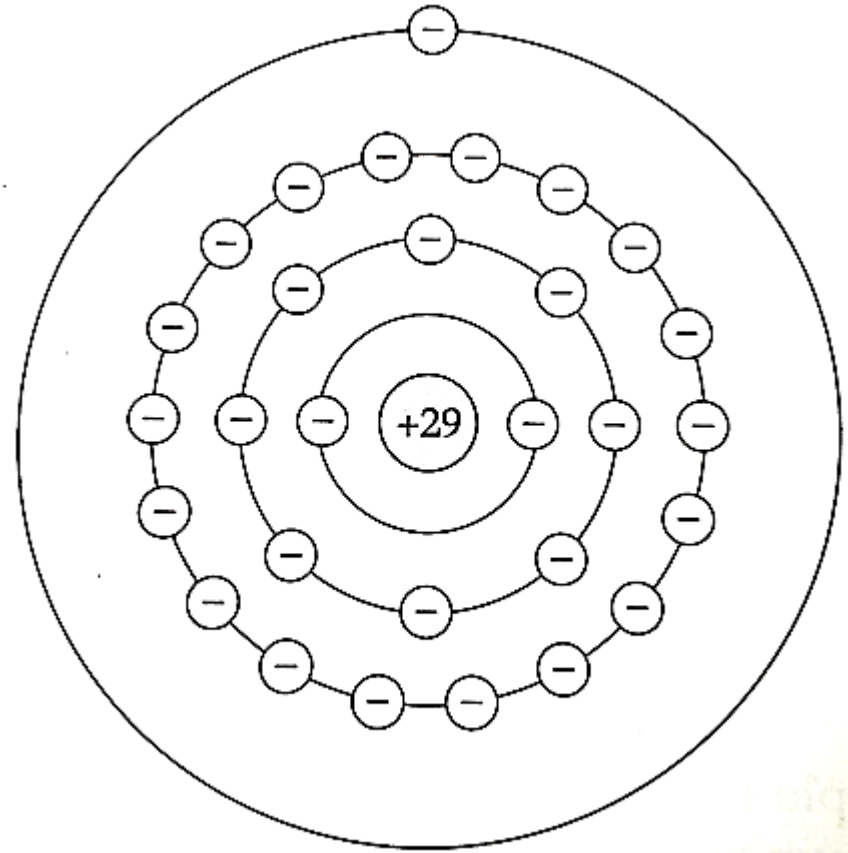
Semicondutores

Adrielle C. Santana

Condutores

Átomo de cobre:

- O elétron externo está numa órbita tal que sua atração pelo núcleo é muito pequena.
- Uma pequena quantidade de energia é o suficiente para que ele se desprenda do átomo.
- É conhecido como “elétron livre”.



Condutores

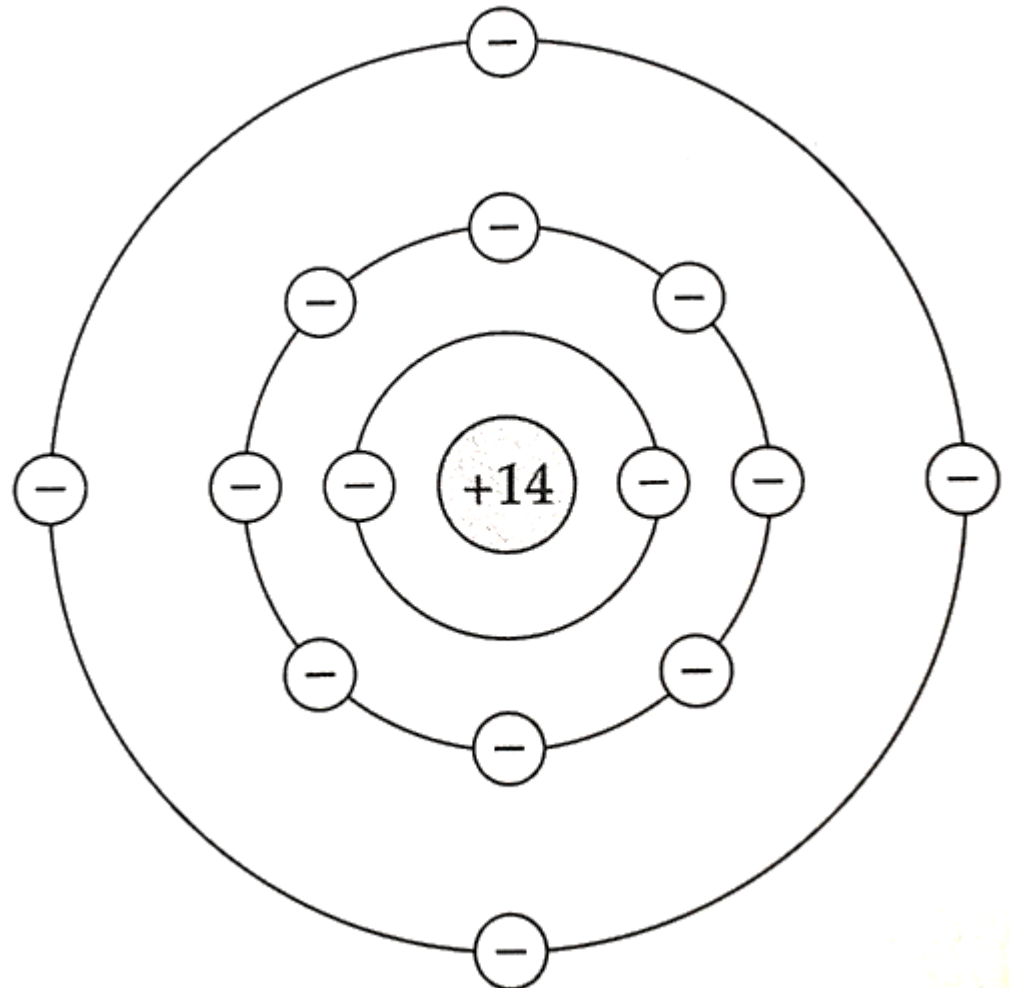
A menor tensão pode fazer com que o elétron livre num fio de cobre circule de um átomo para o outro.

Lembrando que se um átomo perde elétrons, ele se torna positivamente carregado e é chamado de “íon positivo”. O inverso resulta num “íon negativo”

Semicondutores

O material semicondutor mais utilizado é o silício. Abaixo se encontra um átomo desse material.

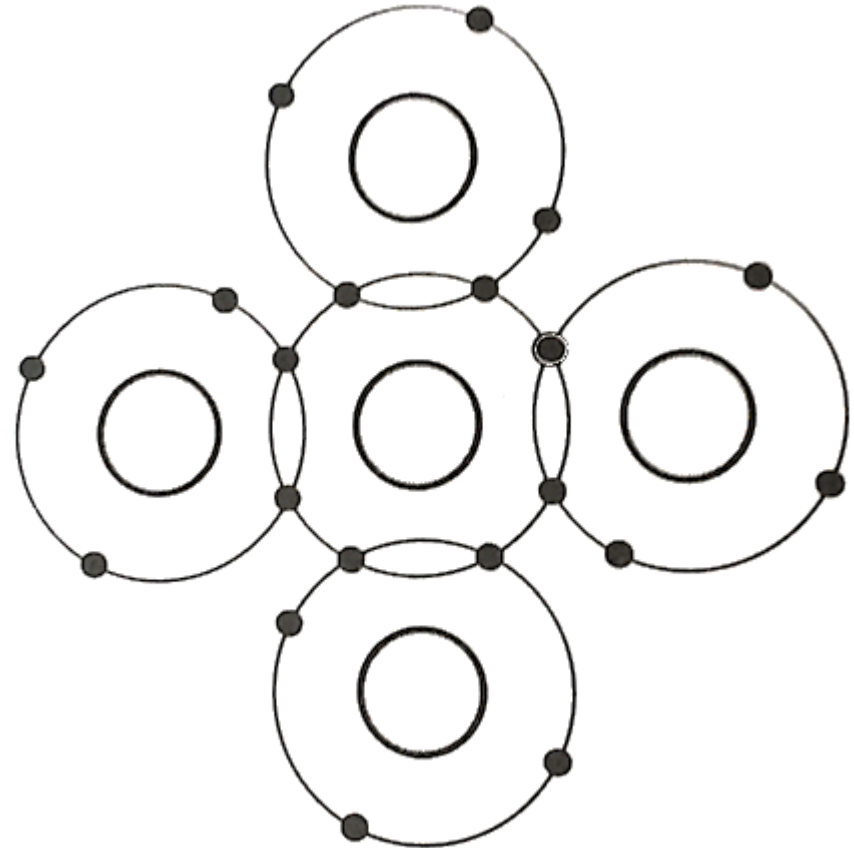
Sua órbita externa ou “de valência” possui 4 elétrons.



Semicondutores

Átomos de silício podem ser arranjados de modo a formar um cristal, que é uma forma sólida.

Na formação do cristal cada átomo de silício fica com 8 elétrons de valência tornando quimicamente estável.



Semicondutores

Como cada elétron cedido na figura anterior está sendo puxado em sentidos opostos essa força mantém os átomos de silício agrupados.

Os 8 elétrons de valência (também conhecidos como *elétrons de ligação*) que mantem os átomos do cristal unidos formam ligações conhecidas como “covalentes”.

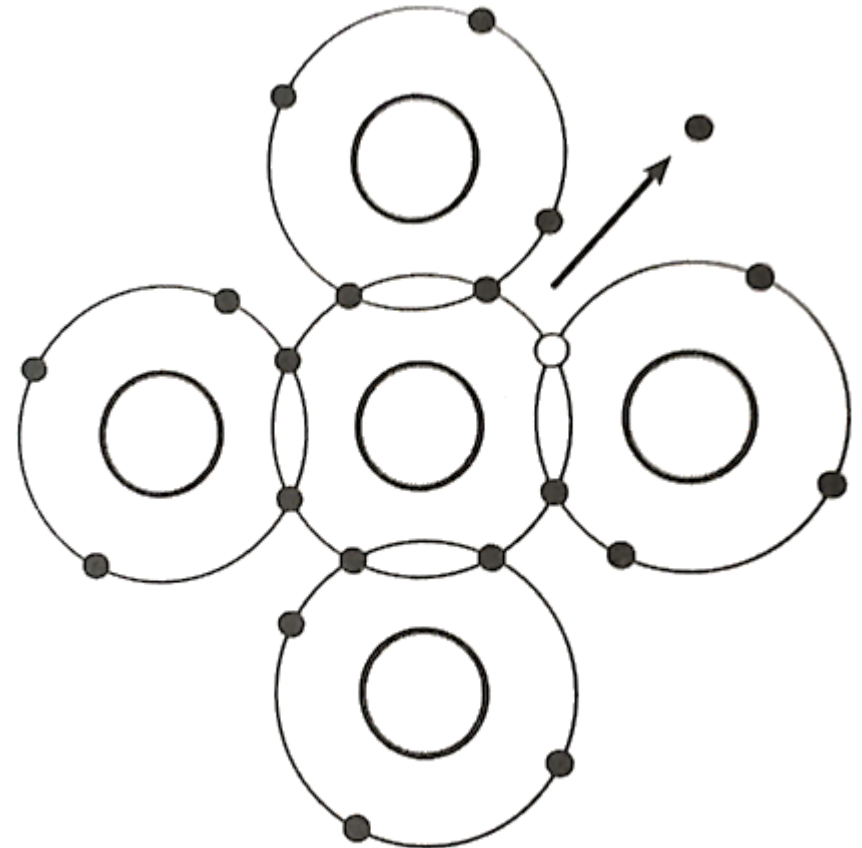
Lacunas

Quanto mais alta é a temperatura ambiente, mais os átomos no cristal de silício vibram o que pode ocasionar o deslocamento de um elétron da órbita de valência. Isso ocorre porque ele ganha energia suficiente para se deslocar para outra órbita.

O vazio deixado na órbita de valência pelo elétron livre é chamado de **lacuna**.

Lacun

Esta lacuna se comporta como uma carga positiva porque pode atrair elétrons nas proxim



Recombinação

Os elétrons livres se movem aleatoriamente através do cristal e ocasionalmente é atraído e capturado por uma lacuna.

Esta nova união entre o elétron livre e a lacuna é chamada de **recombinação**.

O tempo entre a geração e desaparecimento de um elétron livre e conhecido como **tempo de vida** do elétron livre e pode ser da ordem de nanossegundos ou microssegundos

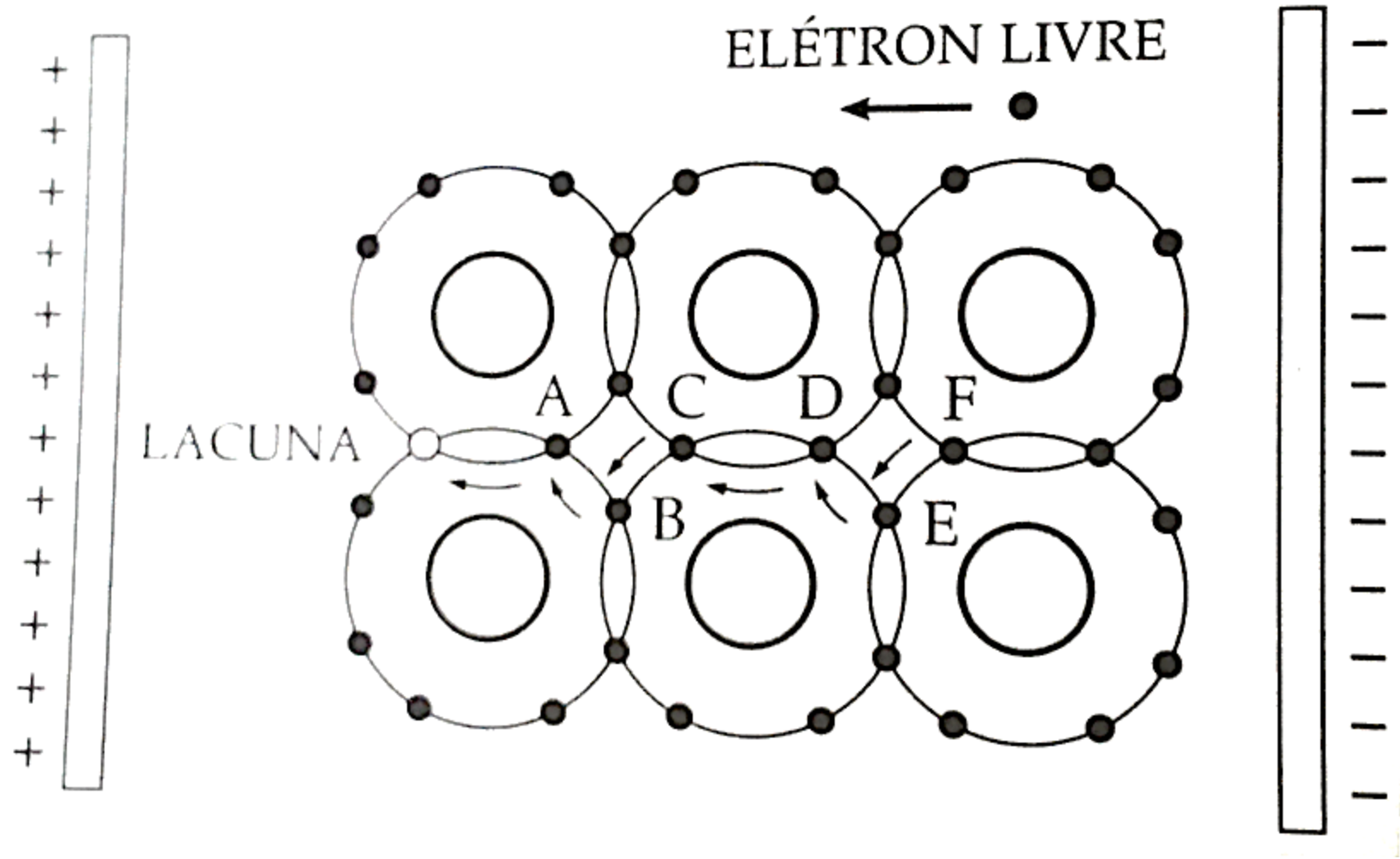
Semicondutores intrínsecos

Um semicondutor dito intrínseco é aquele composto pelo mesmo átomo, por exemplo, o de silício. Num cristal intrínseco de silício, o número de elétrons livres é igual ao de lacunas. Considerando um cristal de silício podemos analisar um fluxo de elétrons livres e um fluxo de lacunas.

Fluxo de elétrons livres

Suponha que um cristal de silício esteja entre duas placas carregadas. Quando um elétron livre é gerado pelo fornecimento de, por exemplo, um quantidade de energia térmica, ele vai ser repelido pela placa negativa e se direcionar para a placa positiva podendo alcançá-la ao passar de órbita em órbita.

Fluxo de elétrons livres



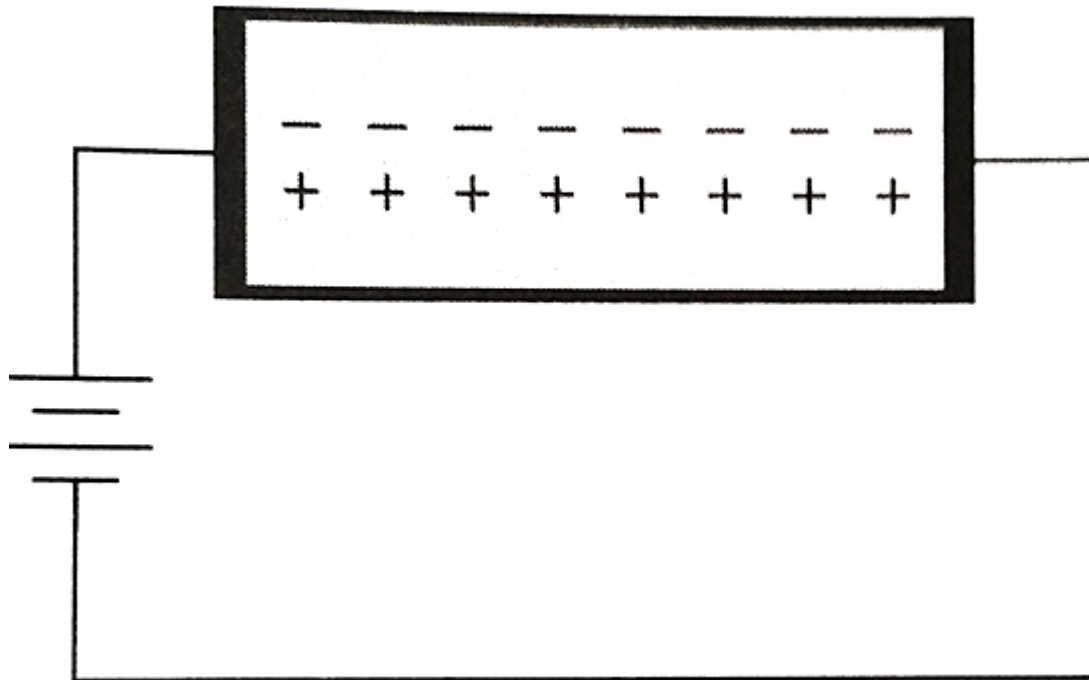
Fluxo de lacunas

A lacuna pode atrair e capturar elétrons de valência e não somente elétrons livres. Esse movimento é diferente da recombinação.

Por exemplo, o elétron de A pode se mover para a lacuna ao lado deixando uma nova lacuna em A. O elétron em B então é atraído para a lacuna em A e assim sucessivamente de modo que tem-se a impressão que a lacuna está se movendo na direção da placa com carga negativa.

Fluxo num semicondutor intrínseco

De acordo com o circuito abaixo ocorre um fluxo de elétrons livres no sentido do polo positivo da bateria indo para o termin



Fluxo num semiconductor intrínseco

Ao mesmo tempo as lacunas movem-se para a direita do cristal onde os elétrons que deixam o terminal negativo da fonte recombinam-se com elas criando um fluxo estável de elétrons livres e lacunas pelo cristal.

Dopagem de um semicondutor

Uma forma de aumentar a condutibilidade elétrica de um semicondutor é adicionando impurezas (átomos de outros materiais) aos seus átomos.

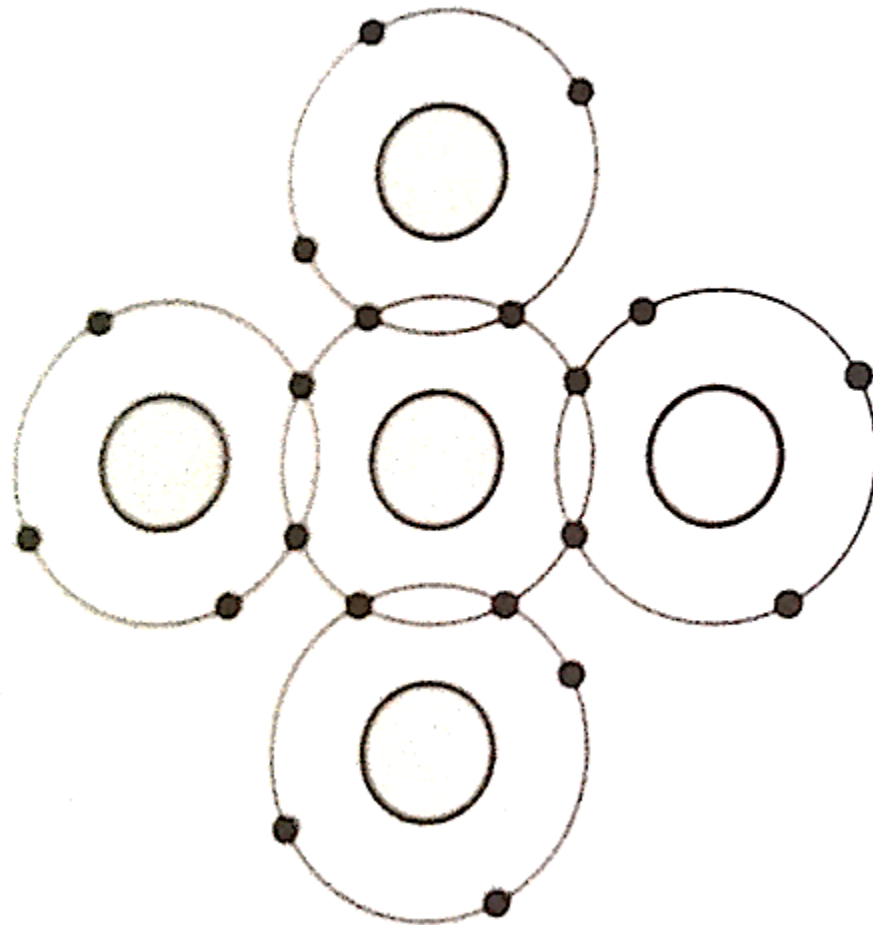
Um semicondutor dopado é chamado de “semicondutor extrínseco”.

Dopagem de um semicondutor

Átomos pentavalentes como os do fósforo e do antimônio podem ser utilizados como impurezas doadoras na dopagem do silício. Tendo um átomo de fósforo ao centro, as ligações covalentes ocorrerão com os átomos de silício normalmente, mas, sobrarão um elétron livre do fósforo sem se ligar

Dopagem de um semicondutor

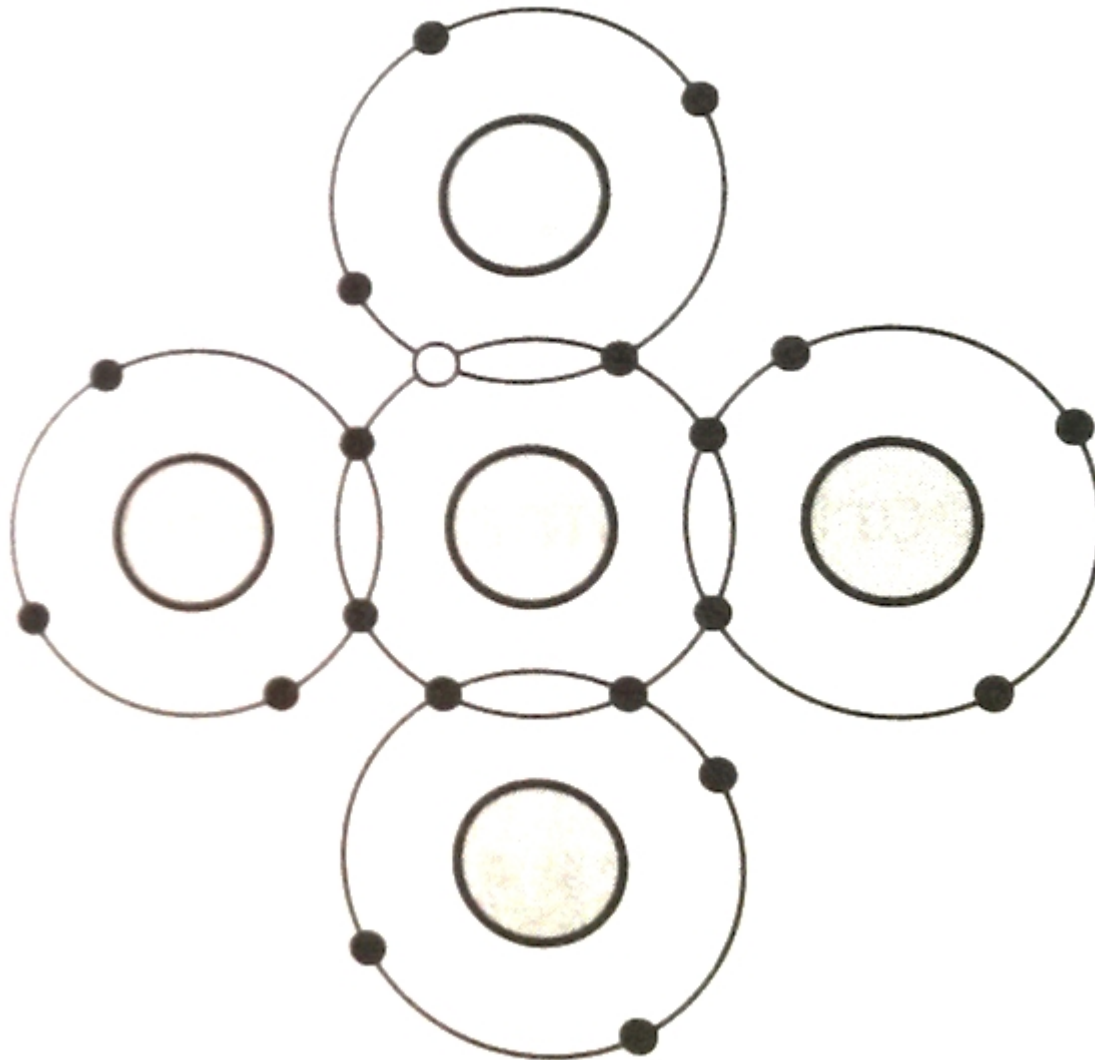
• ELÉTRON LIVRE



Dopagem de um semicondutor

Da mesma forma, átomos trivalentes como os do alumínio, boro e gálio; podem se ligar a átomos de silício por ligações covalentes. No entanto, por possuir apenas 3 elétrons na camada de valência ficam apenas 7 na órbita de valência do boro, por exemplo, de modo que tem-se uma lacuna em sua órbita.

Dopagem de um semicondutor



Semicondutor Extrínseco tipo n

O silício dopado com impureza pentavalente, possuirá elétrons livres, conforme visto anteriormente, ele se tornará um semicondutor mais negativo sendo assim, chamado de “semicondutor tipo n”.

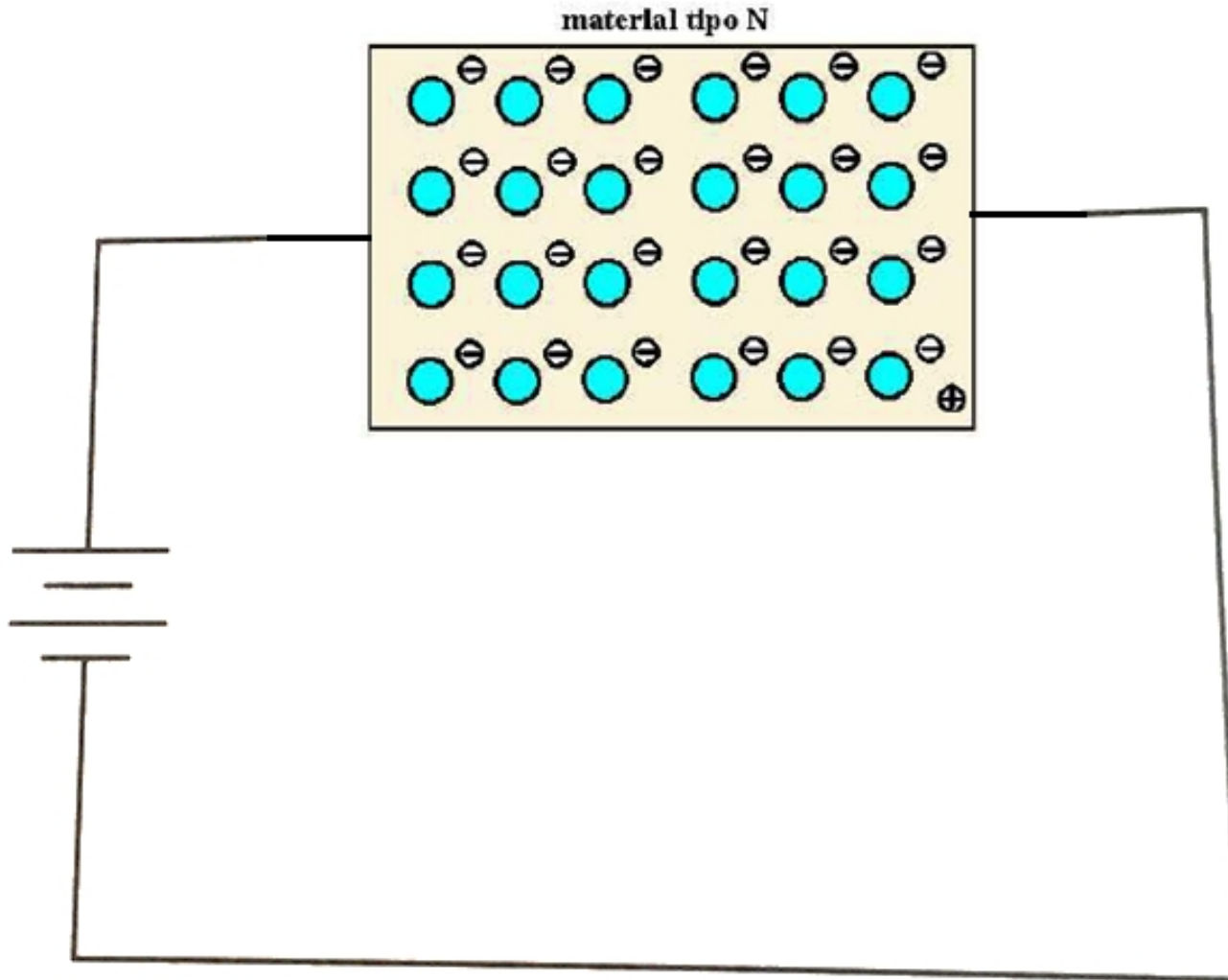
Semicondutor Extrínseco tipo n

No circuito a seguir as lacunas “movem-se” para a direita onde recombina-se com os elétrons do circuito externo.

Os elétrons livres movem-se para a esquerda passando para o fio e indo para o terminal positivo da bateria.

Nesse caso, ocasionalmente, elétrons de valência também passam para o fio à esquerda.

Semiconductor Extrinsic tipo n

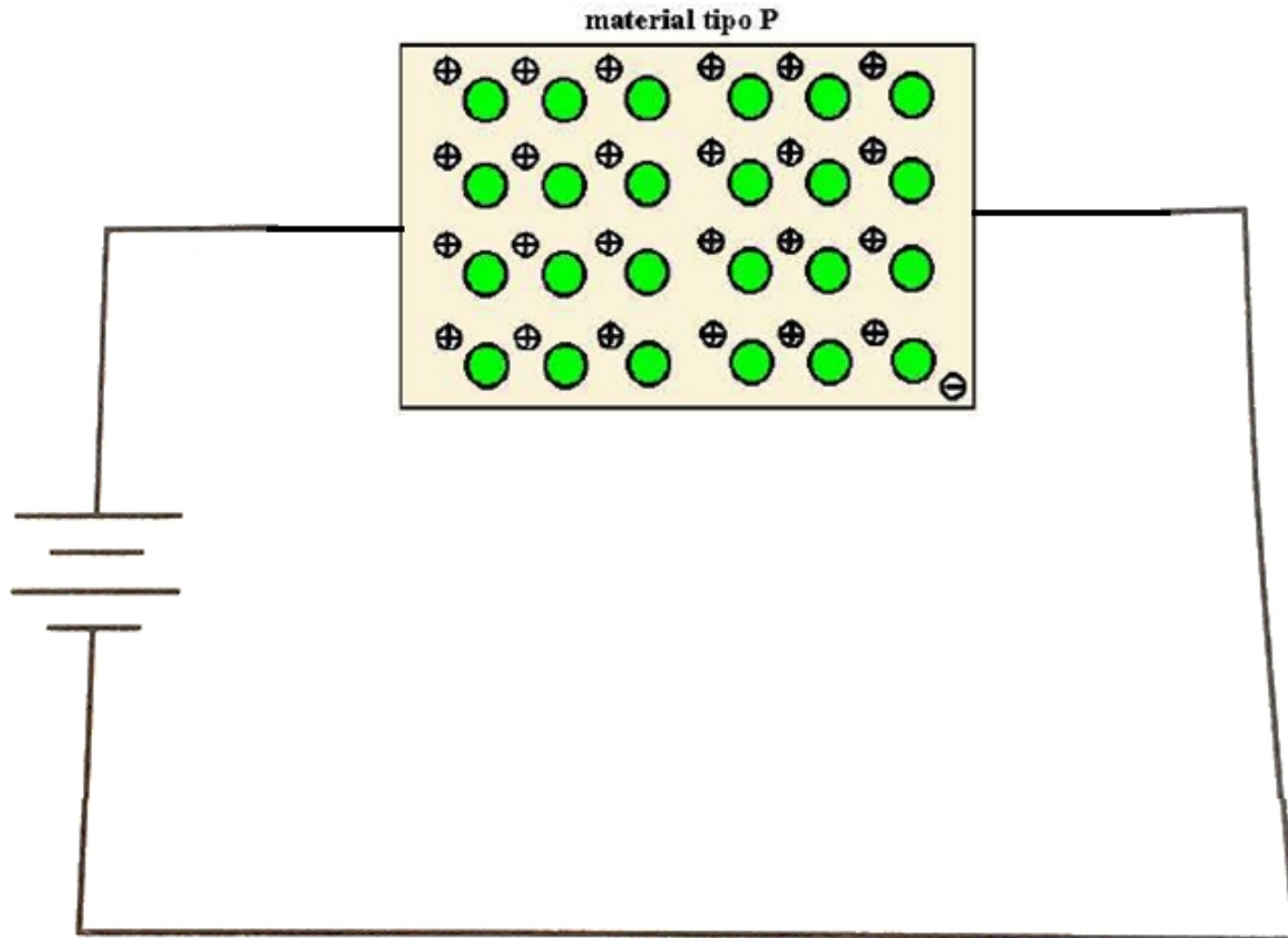


Semicondutor Extrínseco tipo p

O silício dopado com impureza trivalente está mais positivo e é então conhecido como “semicondutor tipo p”.

No circuito a seguir as lacunas movem-se para a direita normalmente onde recombina-se com os elétrons do circuito externo enquanto que os elétrons livres do semicondutor circulam da direita para a esquerda com pouco efeito no circuito por serem muito poucos.

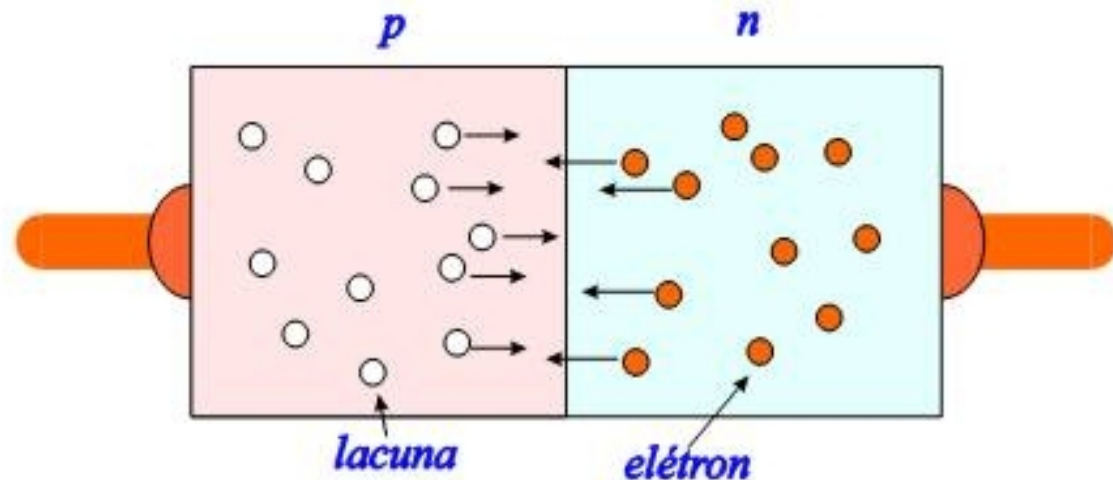
Semiconductor Extrinsic tipo p



Diodo não polarizado

Um fabricante pode dopar um cristal de silício para que metade dele seja do tipo p e metade do tipo n compondo a chamada “junção pn”.

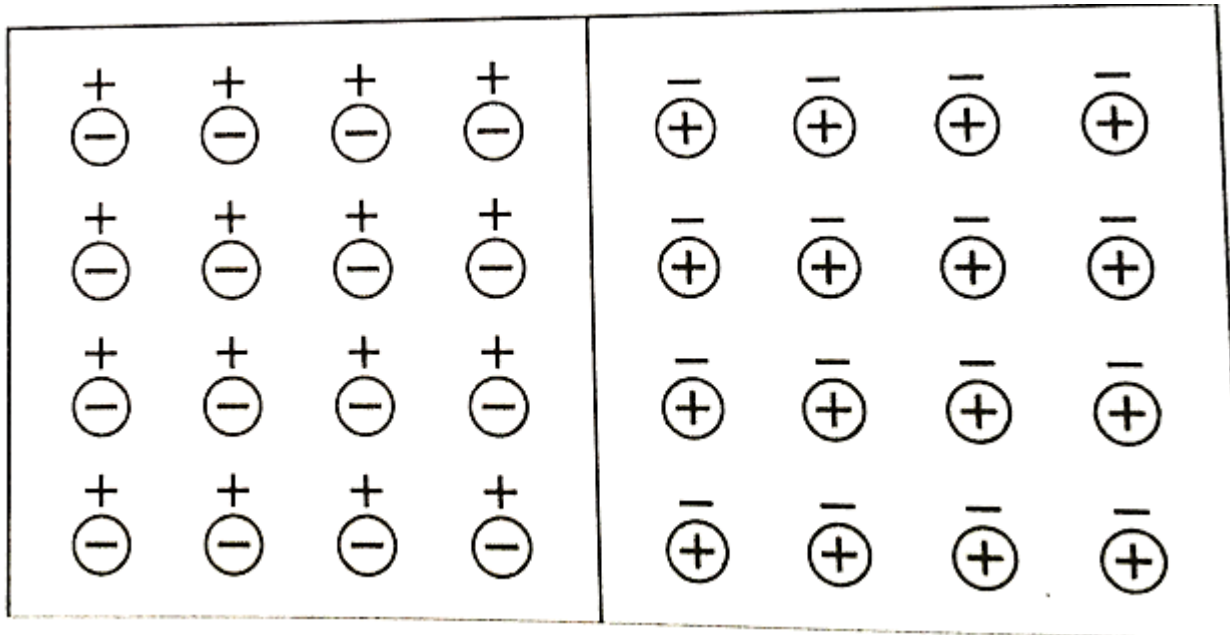
Essa junção deu origem a componentes e dispositivos muito utilizados na eletrônica incluindo os diodos, transistores e circuitos integrados diversos.



Diodo não polarizado

A junção é a borda onde as regiões do tipo p e do tipo n se encontram.

O cristal pn formado é conhecido com “diodo de junção” onde diodo é uma palavra formada pela contração da expressão “dois eletrodos”.

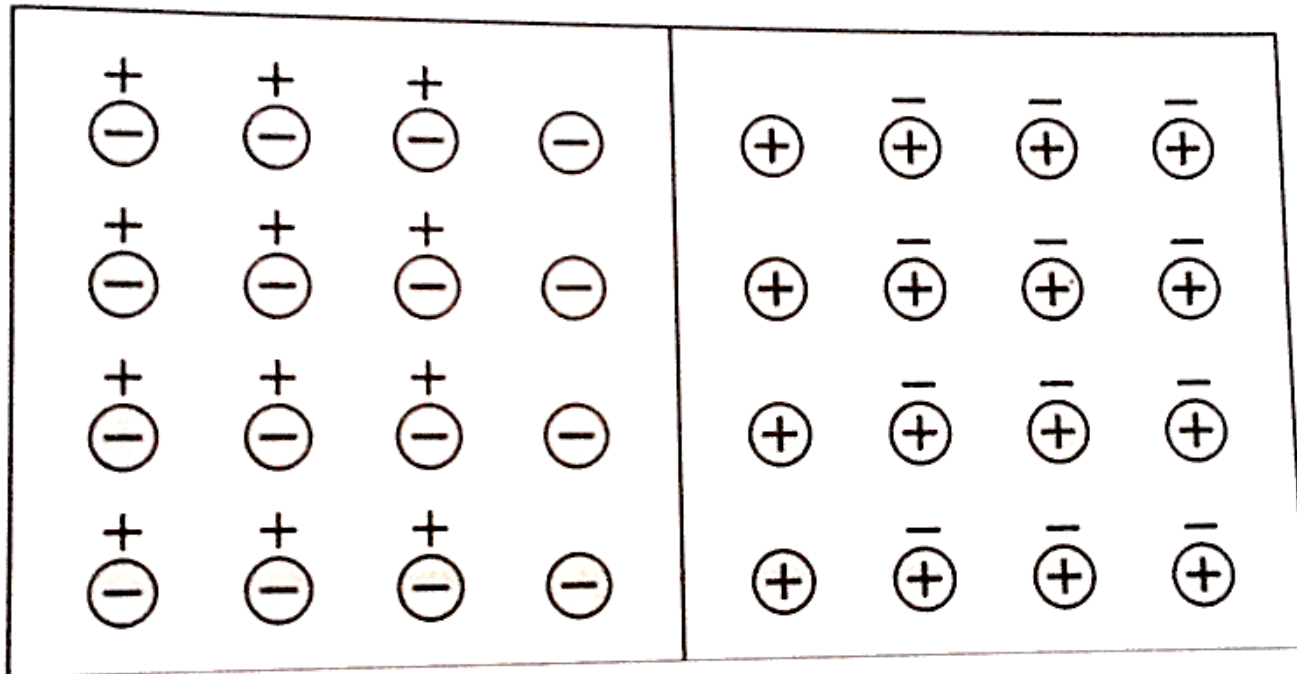


Diodo não polarizado

Os elétrons livres do material n tendem a se repelir e alguns passam para o material tipo p por meio da junção caindo logo em uma lacuna. Dessa forma o átomo pentavalente torna-se um íon positivo e o átomo trivalente que o capturou torna-se um íon negativo.

Cada par íon negativo – íon positivo na junção é chamada de **dipolo**.

Diodo não polarizado



Diodo não polarizado

Como número de dipolos tende a aumentar, a zona próxima à junção fica vazia de portadores (elétrons livres e lacunas) sendo conhecida como **camada de depleção**.

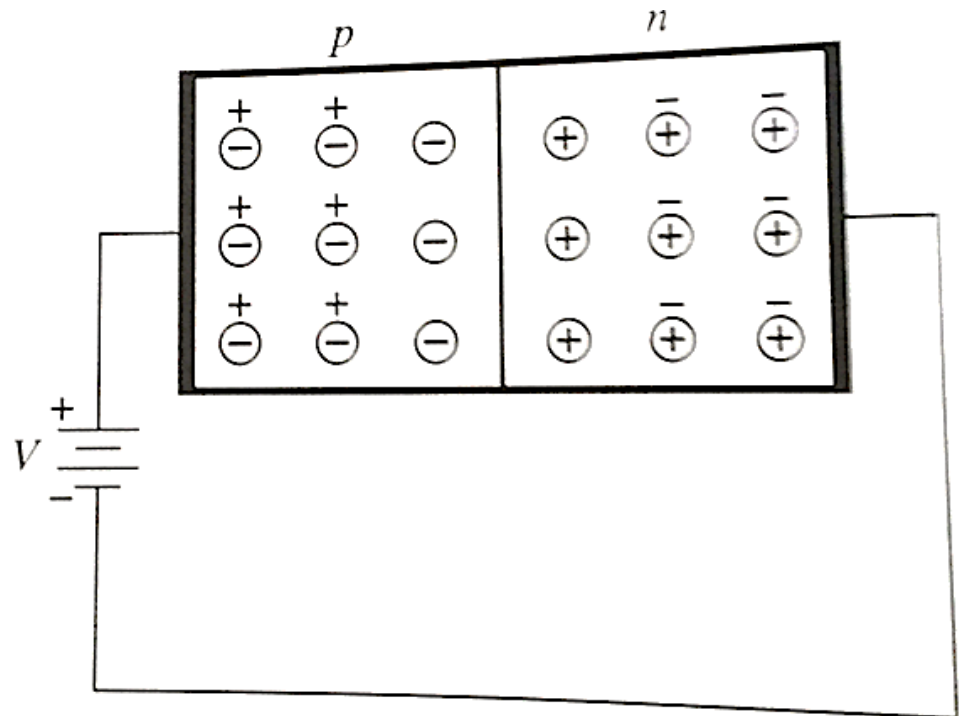
Nessa camada, forma-se um campo elétrico entre cada dipolo que tende a repelir elétrons livres de volta para a região n de modo que num dado momento a difusão de elétrons é interrompida por meio da junção.

Diodo não polarizado

Esse campo elétrico entre os dipolos equivale a uma ddp conhecida como **barreira de potencial** a qual vale, na temperatura de 25 °C, 0,7 V para diodos de silício e 0,3 V para os de germânio.

Polarização direta

A forma como a fonte está conectada ao diodo na figura abaixo caracteriza a chamada **polarização direta** do diodo.



Polarização direta

Como se dá o fluxo:

- Por causa da bateria os elétrons e as lacunas se movem para a junção.
- À direita do cristal íons positivos são formados atraindo elétrons do polo negativo da fonte.
- Os elétrons que foram repelidos para a junção se recombinam com as lacunas da região p se tornando elétrons de valência.
- Como elétrons de valência eles viajam a través da região p até à esquerda do cristal indo para o polo positivo da fonte.

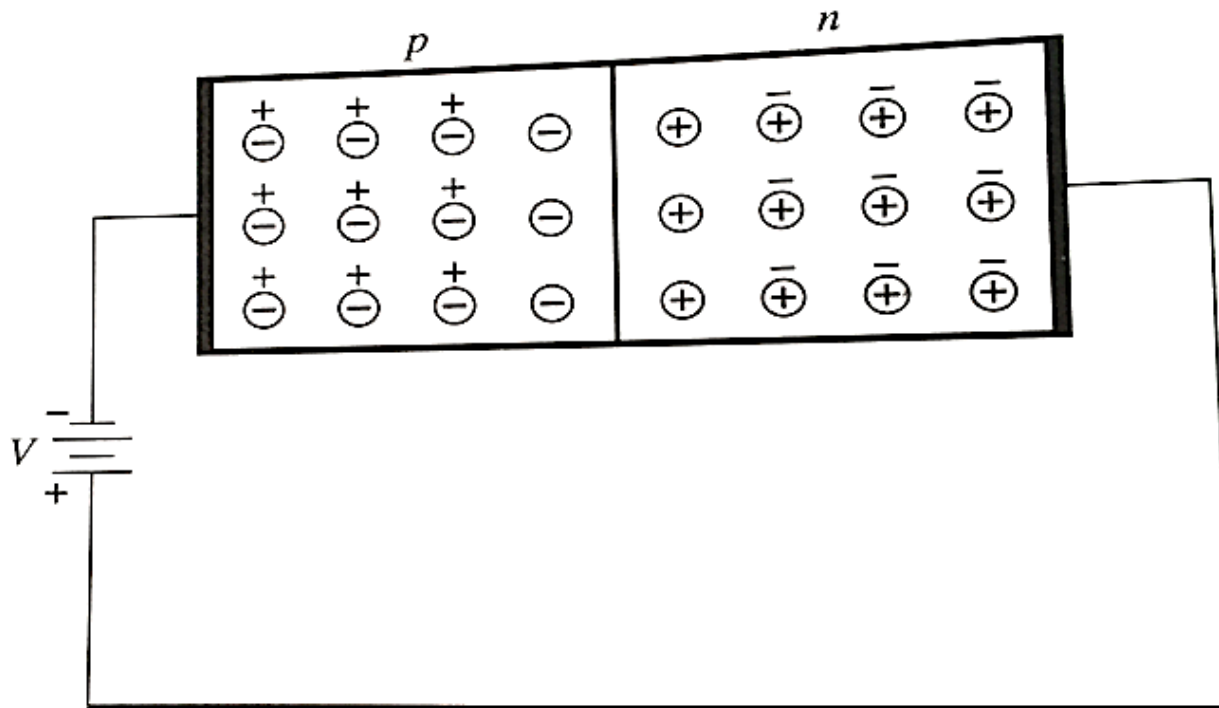
Polarização direta

ATENÇÃO!

Devido à barreira de potencial nos diodos, a corrente descrita anteriormente somente vai se dar no diodo de silício se a fonte de tensão for maior que 0,7V.

Polarização reversa

A polarização de um diodo é dita **reversa** quando a ligação desse com a fonte se dá de acordo com a ilustração.



Polarização reversa

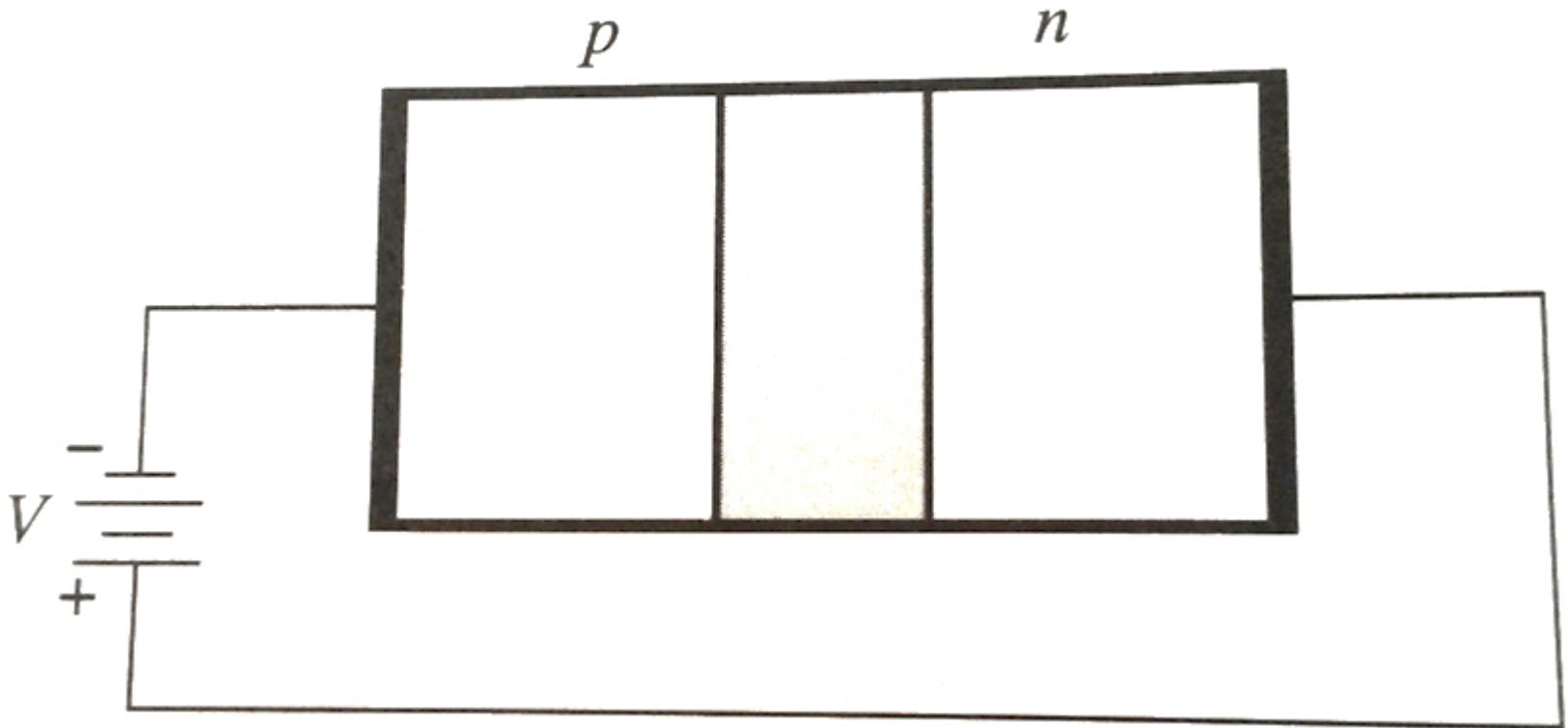
Lacunas e elétrons livres circulam na direção dos polos da fonte afastando-se da junção e assim aumentando muito a camada de depleção.

Quanto maior a camada de depleção, maior é o campo formado pelos íons na junção e maior a barreira de potencial criada

O aumento da camada cessa quando a tensão da barreira de potencial se iguala à tensão reversa aplicada, cessando o movimento dos portadores.

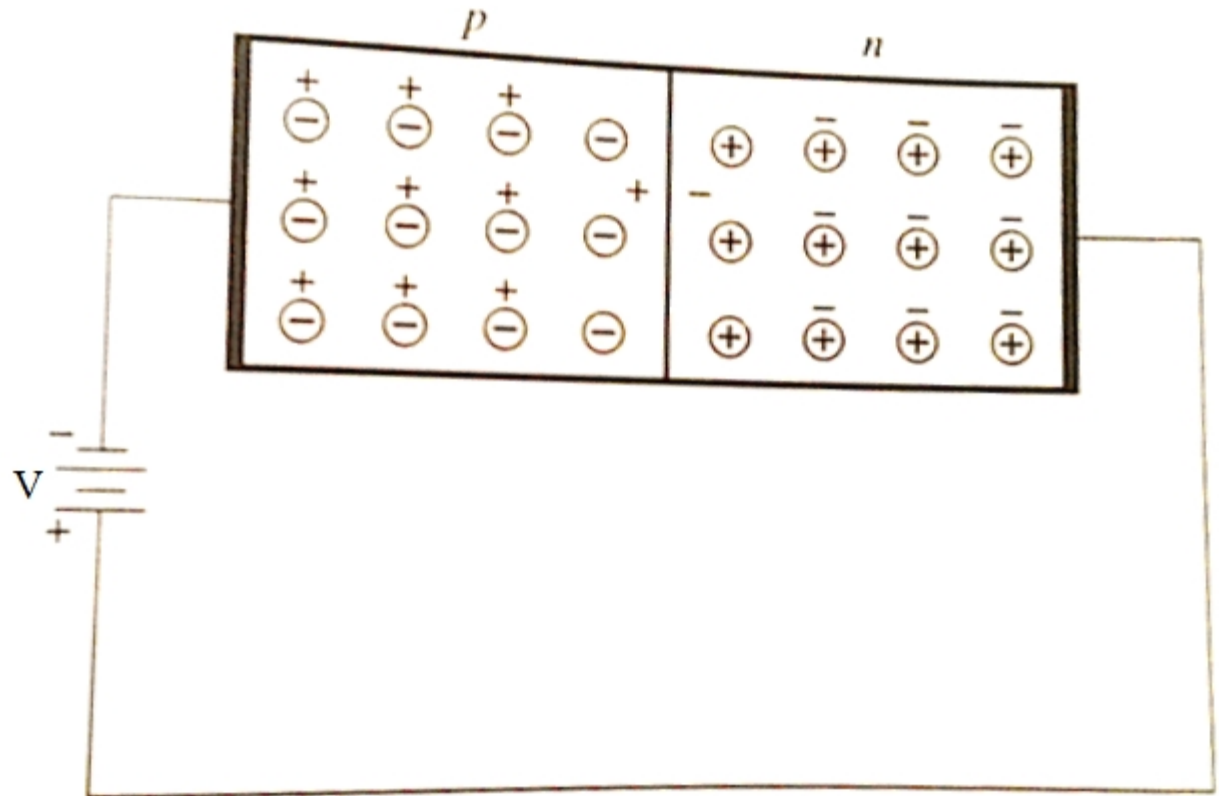
Polarização reversa

A figura abaixo ilustra a representação do diodo e sua camada de depleção quando reversamente polarizado.



Polarização reversa

A **corrente de saturação** I_s é uma corrente formada por portadores gerados pela energia térmica mesmo após a estar depleção.



Polarização reversa

Como esperado, a camada de depleção vai empurrar o elétron formado para a direita forçando-o a seguir para a fonte e empurrará a lacuna para a esquerda onde admitirá a entrada de um elétron vindo da fonte.

Com isso é possível observar uma pequena corrente contínua **dentro** da camada de depleção.

Polarização reversa

A corrente de saturação é totalmente dependente da temperatura aumentando junto com esta.

Como esta é uma corrente indesejada na polarização reversa, o silício é o semicondutor mais utilizado na indústria pelo fato dessa corrente ser muito baixa em seu cristal.

Polarização reversa

Devido às impurezas na superfície do cristal e às imperfeições na construção do cristal de silício, existe ainda uma pequena corrente conhecida como **corrente de fuga da superfície** a qual não entraremos em detalhes nesse curso.

Ruptura

Existe um limite de tensão reversa que um diodo pode suportar antes de ser destruído.

Quando isso ocorre um grande número de portadores aparecem na camada de depleção possibilitando a condução de corrente.

Ruptura

Esse aparecimento de portadores se explica pelo **efeito avalanche**.

Sabe-se que a corrente I_s existe na polarização reversa. Quando se aumenta a tensão reversa a velocidade dos portadores nessa aumenta. Quando adquirem energia suficiente esses portadores podem colidir com átomos do cristal liberando elétrons de valência que se tornam assim, portadores influenciados pela tensão reversa.

Ruptura

Esses novos portadores vão se chocando também com outros átomos do cristal liberando novos portadores e assim sucessivamente tornando a corrente reversa alta.

A **tensão de ruptura** de um diodo depende da sua dopagem. Quando se utilizar um diodo retificador, deve-se prestar atenção à sua tensão de ruptura.

Efeito Zener

Um diodo fortemente dopado possui camada de depleção estreita. Dessa forma teremos **um forte campo elétrico numa pequena área da camada.**

Quando o campo da camada atingir aproximadamente 300.000 V/cm o campo elétrico será forte a ponto de arrancar elétrons de suas camadas de valência.

Esta forma de se obter portadores é conhecida como **efeito zener.**