

FUNDAMENTOS DE SEMICONDUTORES

INTRODUÇÃO

Após termos passado, rapidamente, o conceito de átomo, podemos passar ao estudo dos semicondutores. Nesta lição iremos verificar a causa, ou seja o que faz com que os semicondutores, conduzam. Introduziremos aqui os conceitos básicos que são a chave para entendê-los.

OBJETIVO DA LIÇÃO

Ao terminar esta lição você deverá ser capaz de saber:

- 1 - O que é um elétron livre e uma lacuna em um semicondutor.
- 2 - Por que motivos são formados os elétrons livres e as lacunas.
- 3 - Como os elétrons livres e as lacunas permitem a condução de corrente em um semicondutor.

TEMA 1

Existem vários tipos de substâncias semicondutoras, tanto elementos simples (Ge e Si) como compostos químicos. Algumas são usadas para dispositivos especiais, outras apenas para testes de laboratório. Em algumas substâncias as propriedades semicondutoras aparecem a temperaturas muito altas, ou muito baixas. Começaremos nossos estudos pelo GERMÂNIO e SILÍCIO, elementos que são semicondutores à temperatura ambiente, usados para construção da maioria dos dispositivos semicondutores.

Esses elementos que possuem quatro elétrons na sua camada externa, quando quimicamente puros, formam uma estrutura cristalina na qual cada elétron é "emparelhado" com os elétrons dos átomos vizinhos (na rede cristalina) formando uma configuração estável.

Sendo assim, os semicondutores puros, são quase isolantes. Situação contrária ocorre quando possui impurezas. Quando existem impurezas em um semicondutor, estas tendem, segundo o elemento que constitui a impureza, a aceitar ou ceder elétrons, dando ao semicondutor características de condutividade, devidas a mobilidade dos elétrons produzidas por esta instabilidade produzida pela impureza na estrutura cristalina.

Entendemos por "estrutura cristalina" um ordenamento perfeito, como alunos em uma sala de aula, sentados em seus respectivos bancos ou carteiras. Ou seja, a distância que existe entre o primeiro e o segundo é exatamente igual à distâncias entre o segundo e o terceiro e assim por diante. O mesmo ocorre para os que estão ao lado.

Tudo o que falarmos sobre semicondutores se referirá aos monocristais (um único cristal) ou seja, cada dispositivo se constrói em uma estrutura cristalina (de átomos ordenados) onde a condução se faz através dessa estrutura.

Na figura abaixo, vemos de forma esquematizada, que cada átomo comporta seus quatro elétrons externos e junto com os quatro elétrons que provêm dos átomos vizinhos (um de cada átomo) completa sua camada estável de oito elétrons (compartilhados ou emparelhados)

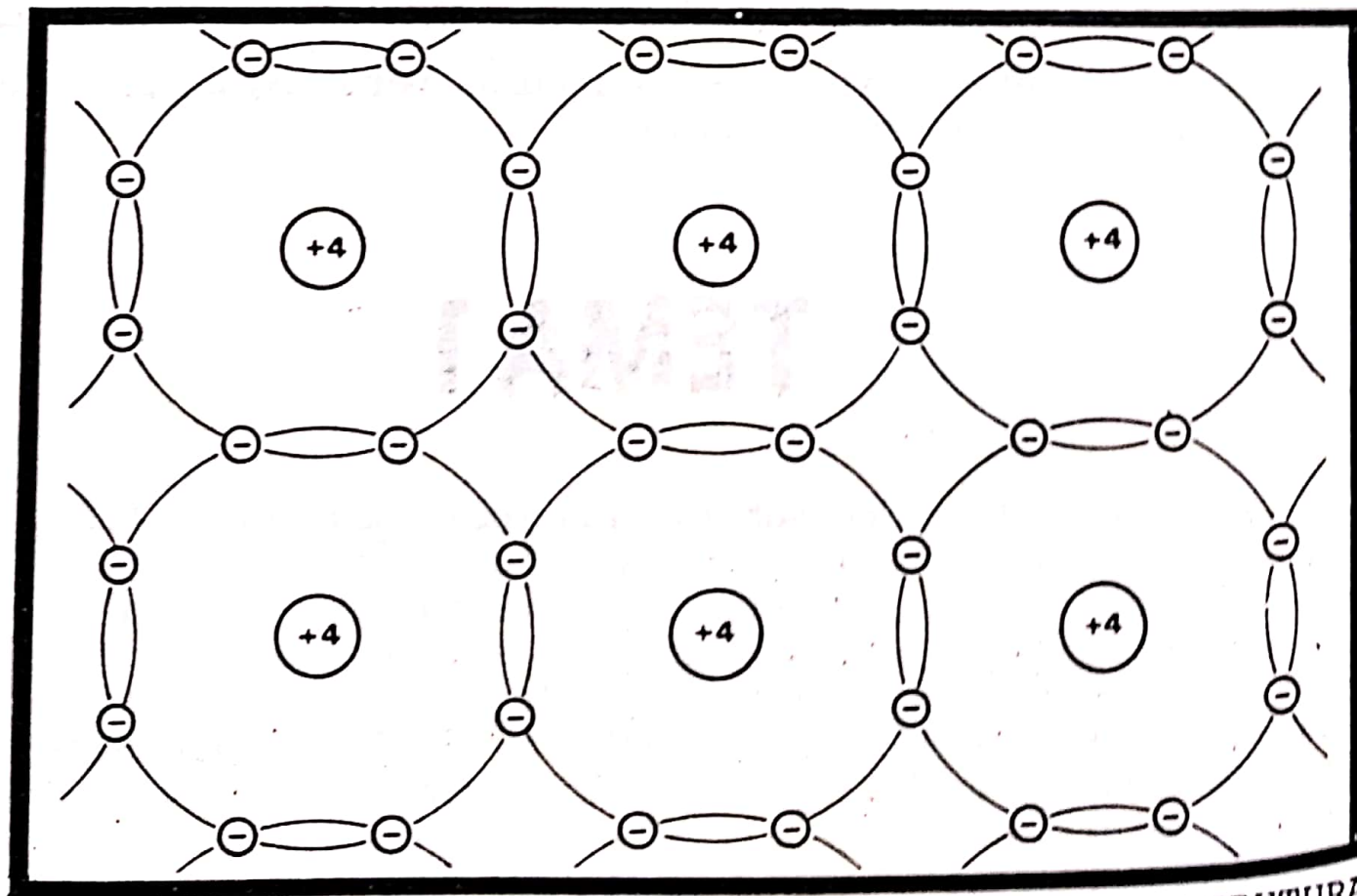


FIG. 2-1 REPRESENTAÇÃO ESQUEMATIZADA DA ESTRUTURA CRISTALINA FORMADA PELA UNIÃO DOS ELÉTRONS EMPARELHADOS

As propriedades físicas da estrutura cristalina são completamente distintas da estrutura não cristalina que se conhece como substância "amorfa", assim chamada simplesmente porque seus átomos não estão ordenados ou por estar formada de pequenos fragmentos de cristais dessa substância. (A - morfo quer dizer sem - forma do latim).

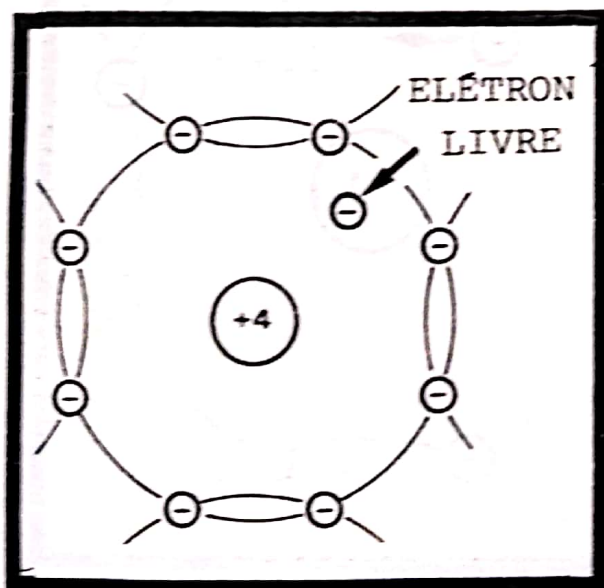
TEMA 2

LACUNAS

Nos semicondutores, sob distintas circunstâncias que vamos estudar, se produz um excesso de elétrons ou elétrons livres.

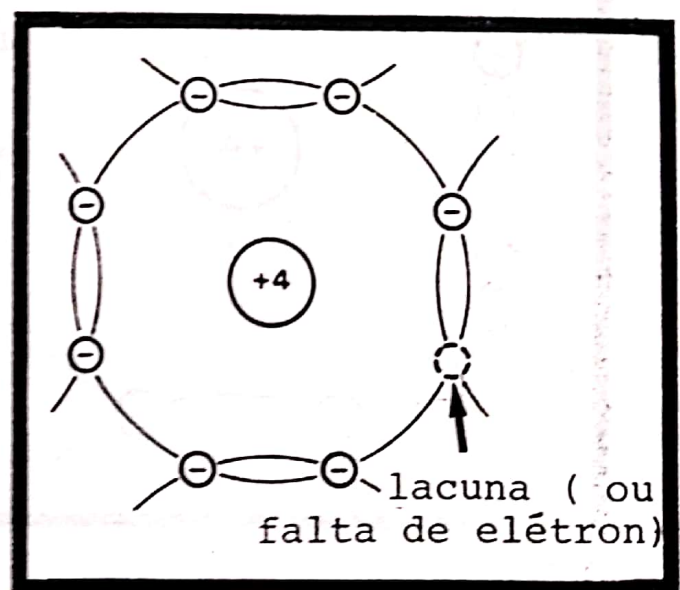
Também podemos produzir "falta" de elétrons. A esta "falta" de um elétron na estrutura cristalina damos os nomes de vazio, buraco ou lacuna. Esses elétrons livres e as lacunas serão, como veremos melhor posteriormente, os responsáveis pela condução de corrente nos semicondutores.

FIGURA 2-2



ELÉTRON LIVRE

FIGURA 2-3



LACUNA

TEMA 3

CONDUÇÃO INTRÍNSECA

Dizemos que os semicondutores puros, são pouco condutores; sua condução depende fundamentalmente da temperatura.

Na realidade, o cristal semiconductor é estável, mas não demasiadamente. O calor, nada mais é do que a causa de agitação desordenada dos átomos; aumentando a temperatura, as forças elétricas produzidas por esta vibração desordenada dos átomos fornece mais energia a alguns dos elétrons externos (ou de valência) e estes saltam de suas órbitas, tornando-se "livres" no cristal, produzindo pares "elêtron-lacuna", isto é, elétrons móveis e átomos onde falta um elétrons. A mobilidade dos elétrons é o que faz diminuir a resistência do semiconductor e aumentar a temperatura. A esta condução do semiconductor puro, também chamado semiconductor "intrínseco", chamamos de condução intrínseca. A baixas temperaturas os semicondutores intrínsecos, ou seja puros, são isolantes.

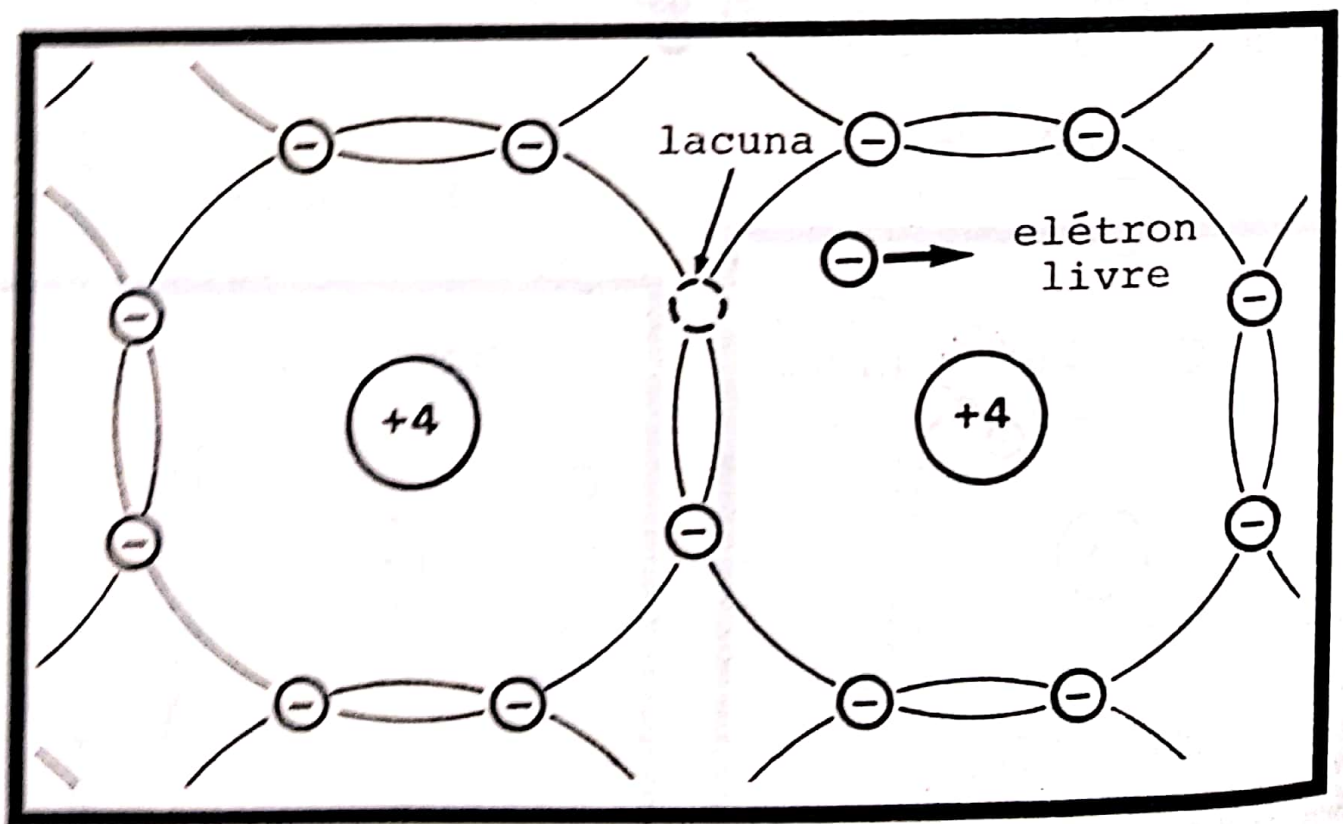


FIGURA 2-4 Em um semiconductor intrínseco, ao se libertar um elétron, produz-se também uma lacuna.

As radiações tais como a luz, raio x e também radioatividade, podem fornecer energia aos elétrons do semiconductor, produzindo pares "elêtron-lacuna", tornando-o condutor.

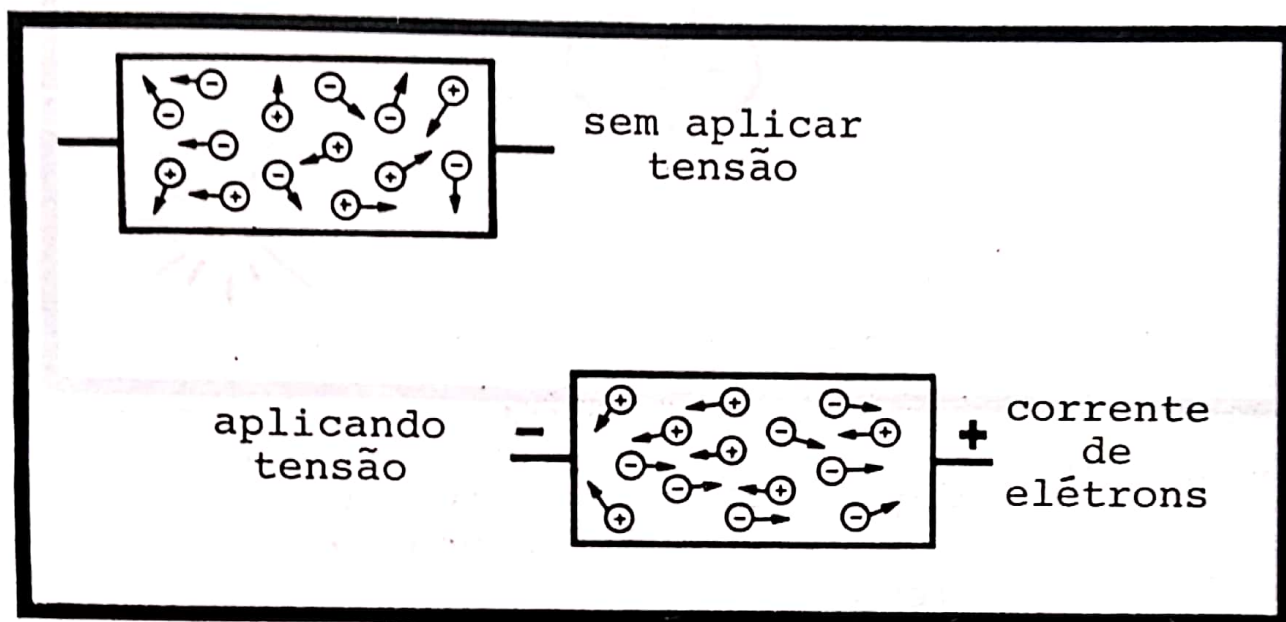


FIGURA 2-5 O calor e as radiações produzem pares "elêtron-lacuna". Aplicando-se uma tensão circulará corrente. A corrente se deve ao movimento de elétrons em um sentido e de lacunas no sentido oposto.

Os elétrons liberados e as lacunas se deslocam de forma totalmente desordenada sem a existência de um campo elétrico; se aplicarmos uma tensão, seu movimento será ordenado, tanto mais ordenado, quanto maior a tensão aplicada. Os elétrons se deslocam assim até encontrarem-se com os fios dos terminais ou com uma lacuna, aloja-se nesse lugar, equilibrando novamente o átomo. Ou seja, os pares "elêtron-lacuna" se recombinaem depois de um tempo, cedendo a sua energia e neutralizando-se. O elétron livre ocupa o lugar da lacuna, porém isto representa uma troca brusca no nível de energia do elétron.

Esta energia, no silício e no germânio, por exemplo, produz luz visível, como nos diodos emissores de luz (L.E.D.).

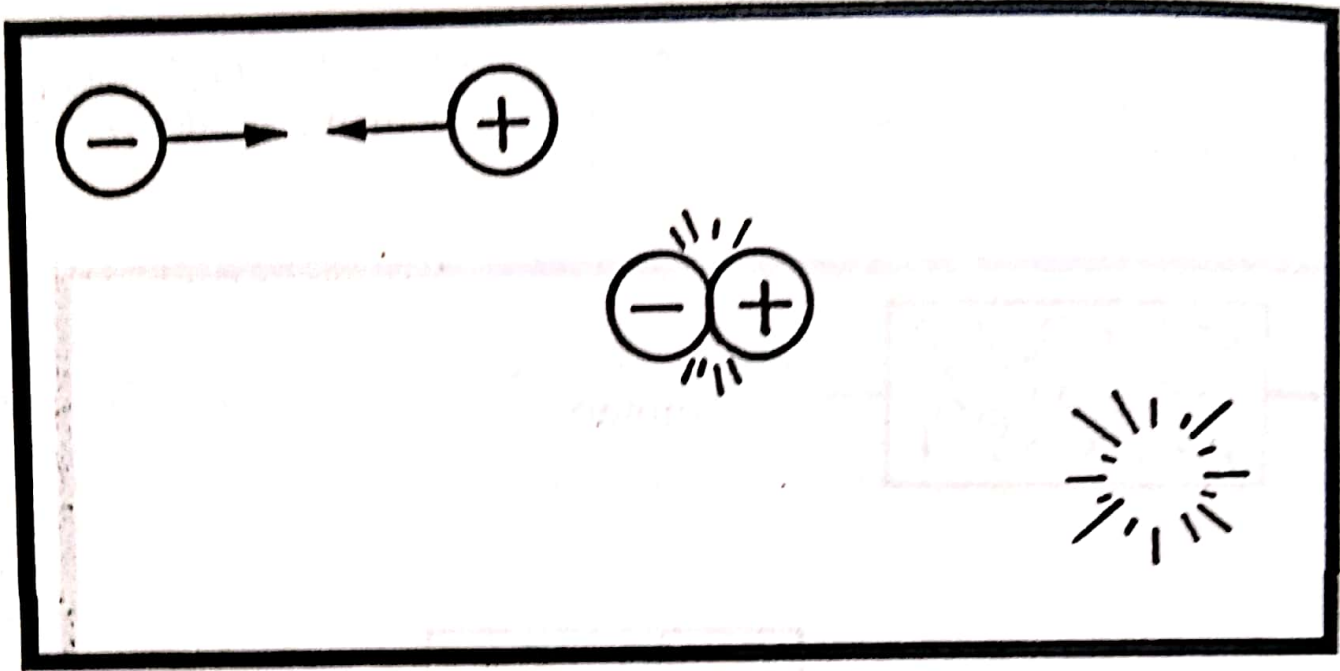


FIGURA 2-6 O encontro de um elétron livre com uma lacuna (falta de elétron) até que ambas se neutralizam, desprendendo energia.

A recombinação dos pares elétron-lacuna será maior quanto maior for a quantidade de elétrons e lacunas. Como os elétrons e lacunas, são poucos comparados com a quantidade de átomos do semicondutor, a recombinação leva um tempo que, apesar de curto, deve ser levado em conta no projeto e utilização dos dispositivos semicondutores.

TEMA 4

LACUNAS INDUZIDAS

Como o leitor já sabe, ao ter estudado os fundamentos de eletricidade, se a um capacitor conectado em um circuito se aplica uma tensão negativa (excesso de elétrons) em uma das placas, o campo elétrico criado repele elétrons da outra placa, tratando de manter eletricamente neutro o conjunto.

O mesmo efeito pode ser produzido em um semicondutor, e como resultado, no material submetido ao campo elétrico negativo, se deslocam alguns elétrons, deixando pontos (locais) onde falta algum elétron, lacuna.

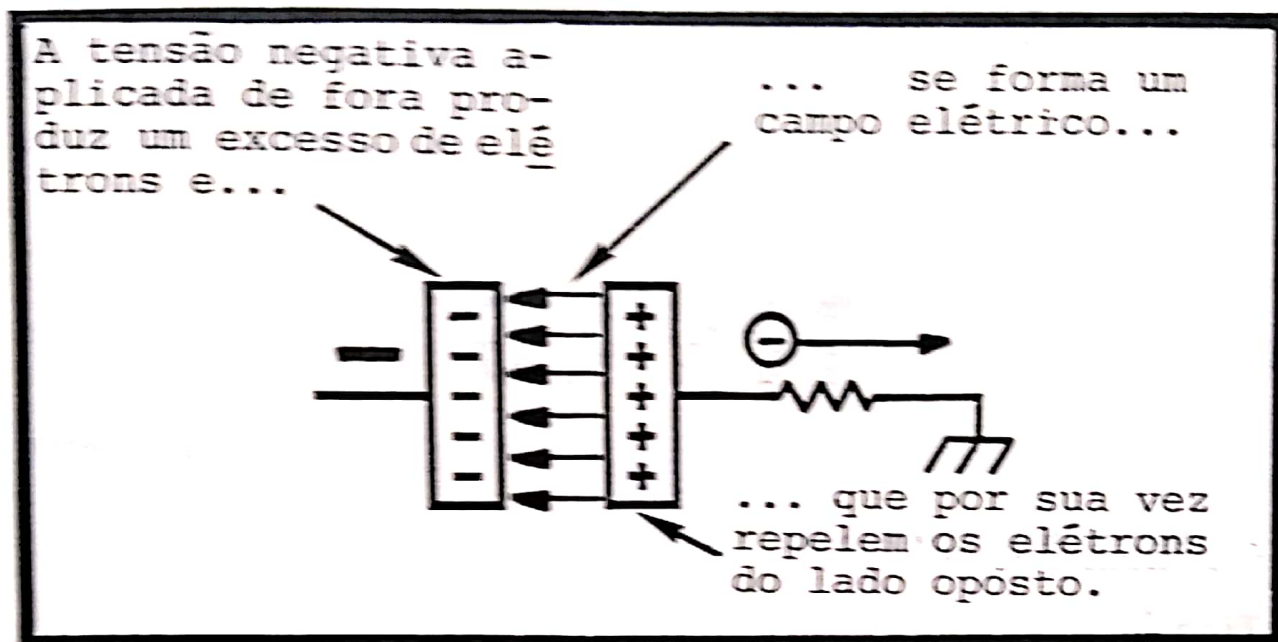


FIGURA 2-7 O excesso de eletrons (-) gerado pela tensão negativa em uma placa, repele aos da outra, produzindo nela uma falta de elétrons (+).

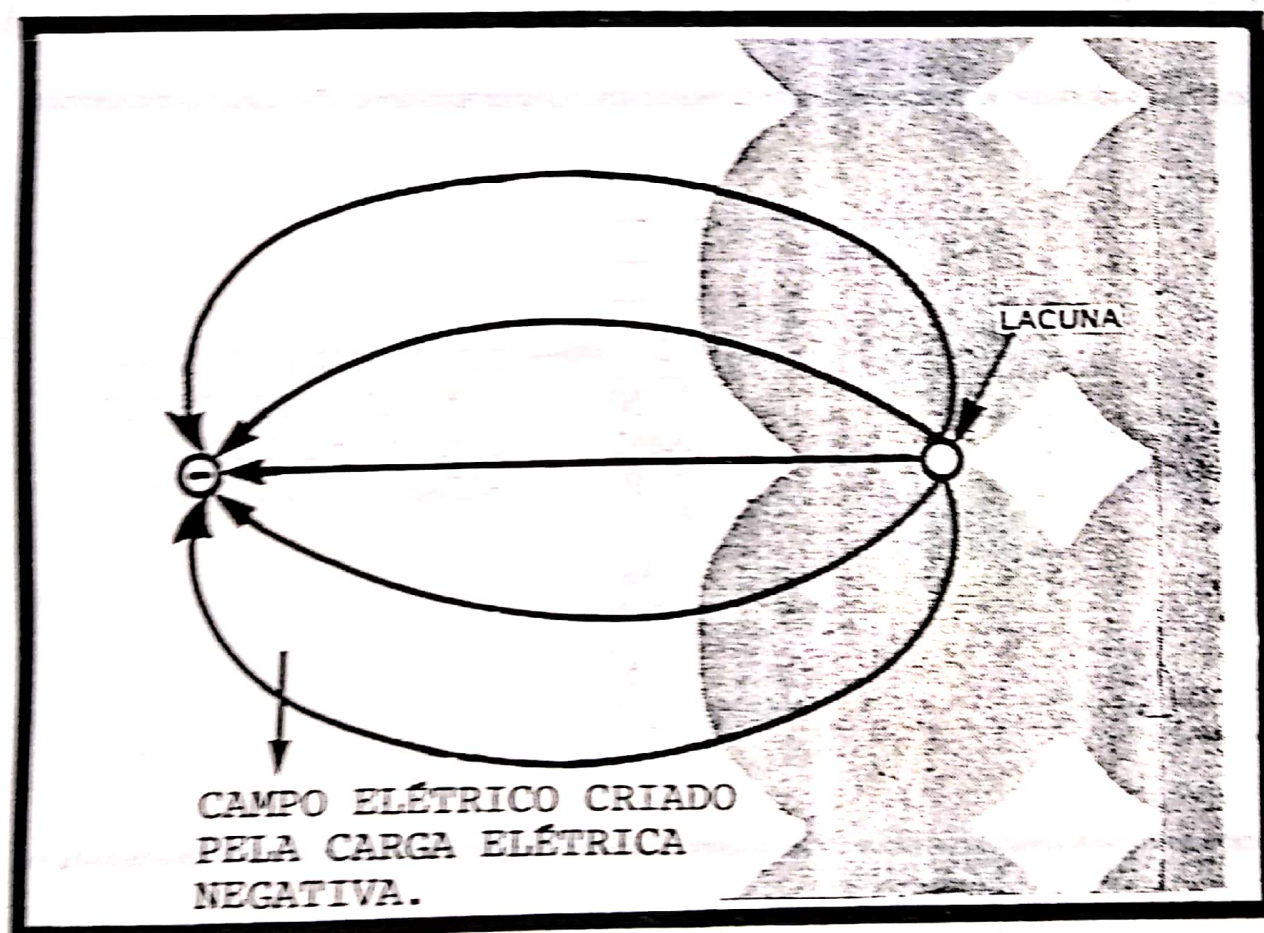


FIGURA 2-8 Cargas elétrica negativas (excesso de elétrons) induzem lacunas (falta de elétrons), no semiconductor vizinho.

Na figura, representamos o campo elétrico como de costume, com setas que partem da carga positiva (no nosso caso a lacuna) e terminam na carga negativa, porém devemos lembrar que a carga negativa foi que produziu a lacuna no semiconductor.

TEMA 5

SEMICONDUCTORES IMPUROS

a) Tipo N

Note, na tabela periódica dos elementos, por exemplo, o silício (Si), (o germânio se comporta da mesma forma). O silício é um semiconductor e como tal pertence ao grupo IV, no grupo V vemos elementos que têm 5 elétrons na última camada (externa), como o fósforo (P), o arsênio (As) e o antimônio (Sb).

GRUPOS DE ELEMENTOS		
III	IV	V
+ 3	+ 4	+ 5
⁵ ₂ B 10,811	⁶ ₂ C 12,01115	⁷ ₂ N 14,0067
¹³ ₂ Al 26,9815	¹⁴ ₂ Si 28,086	¹⁵ ₂ P 30,9738
³¹ ₂ Ga 69,72	³² ₂ Ge 72,59	³³ ₂ As 74,9216
⁴⁹ ₂ In 114,82	⁵⁰ ₂ Sn 118,69	⁵¹ ₂ Sb 121,75

← REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DO NÚCLEO COM AS PRIMEIRAS CAMADAS DE ELÉTRONS.

FIGURA 2-9 O silício e o germânio, semicondutores típicos, com seus elementos vizinhos.

Se a um semiconductor intrínseco, adicionamos algumas poucas impurezas de, por exemplo, arsênico (As), alguns átomos do cristal (estrutura reticular) será de arsênico ao invés de silício; teremos nessa estrutura "sobra" de alguns elétrons. O átomo de silício não admite mais do que 4 (quatro) elétrons na camada externa, para formar o cristal com cada quatro átomos vizinhos; portanto o 5º elétron não tem lugar nessa estrutura, tornando-se livre, fora da estrutura cristalina propriamente dita.

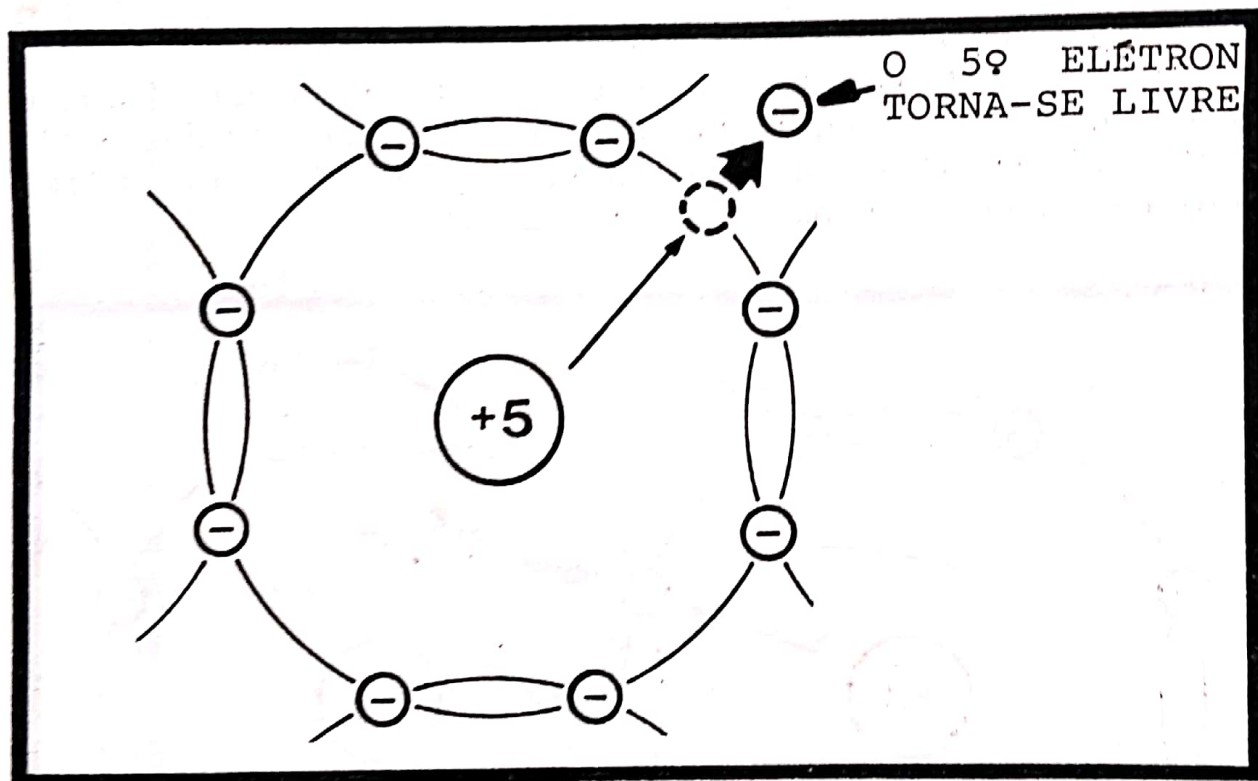


FIGURA 2-10 As impurezas do grupo V (tipo N) deitam elétrons livres no cristal.

Quando um átomo perde um elétron, a carga do núcleo permanece constante, porém há um desequilíbrio elétrico. Este desequilíbrio elétrico, uma carga positiva fixa na estrutura cristalina, manterá próximo de si, por atração eletrostática, um elétron. Essa atração eletrostática será fraca devido ao efeito produzido pela estabilidade dos 8 elétrons na camada externa. Se não houver campo elétrico, o elétron se mantém próximo do átomo da impureza, neutralizando-a, porém se um campo elétrico externo é aplicado, este elétron livre pode circular, possibilitando assim a condução de corrente no semiconductor impuro tipo N.

b) Tipo P

Se ao semiconductor intrínseco, adicionarmos impurezas de substâncias que tenham 3 (três) elétrons na sua camada de valência, tais como o boro (B), alumínio (Al), gálio (Ga) ou Índio (In), como se encontram entre átomos de quatro elétrons de valência, gerará cargas positivas ou lacunas.

Vejamos isto com mais detalhes: Este átomo de impureza se encontra obrigado pela estrutura cristalina do silício a formar uma camada estável, constituída de oito elétrons, sendo que quatro são fornecidos pelo próprio silício.

E assim que um elétron "errante" é capturado nessa estrutura; e esse elétron a mais desequilibra a carga do átomo, produzindo um campo elétrico negativo; a impureza tipo P, que deveria ter três elétrons na camada externa, agora tem quatro.

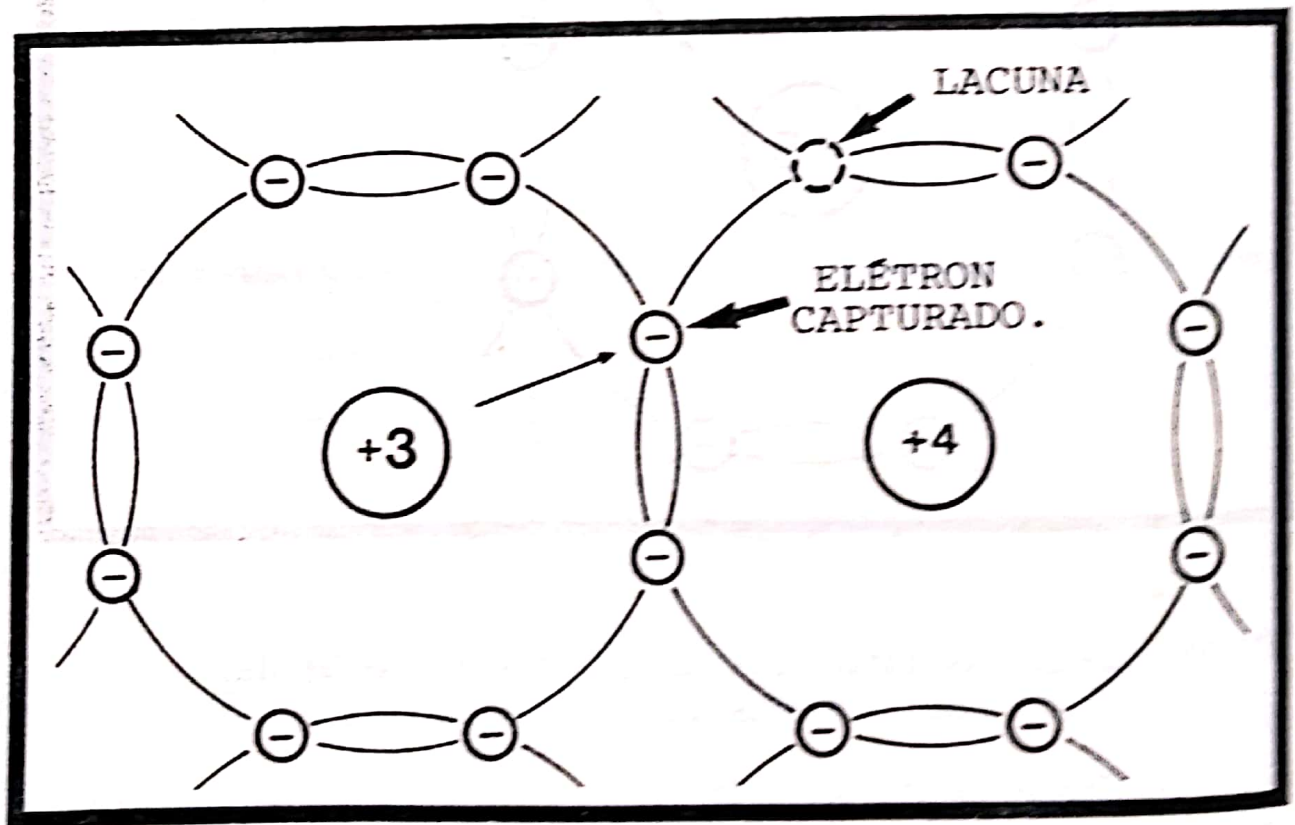


FIGURA 2-11 As impurezas do grupo III (Tipo P) geram lacunas.

Porém, como vimos anteriormente, um campo elétrico negativo, para equilibrar-se, produz lacunas; é assim portanto que as impurezas tipo P, produzem lacunas dentro do semiconductor puro que as rodeia.

TEMA 6

MOVIMENTOS DE LACUNAS

No semicondutor tipo P a quantidade de lacunas será praticamente igual a da quantidade de átomos de impurezas.

Sendo a lacuna uma falta de elétrons, qualquer elétron livre pode neutralizá-la, porém nas proximidades outro elétron se libertará, formando outra lacuna, para manter neutra a carga total.

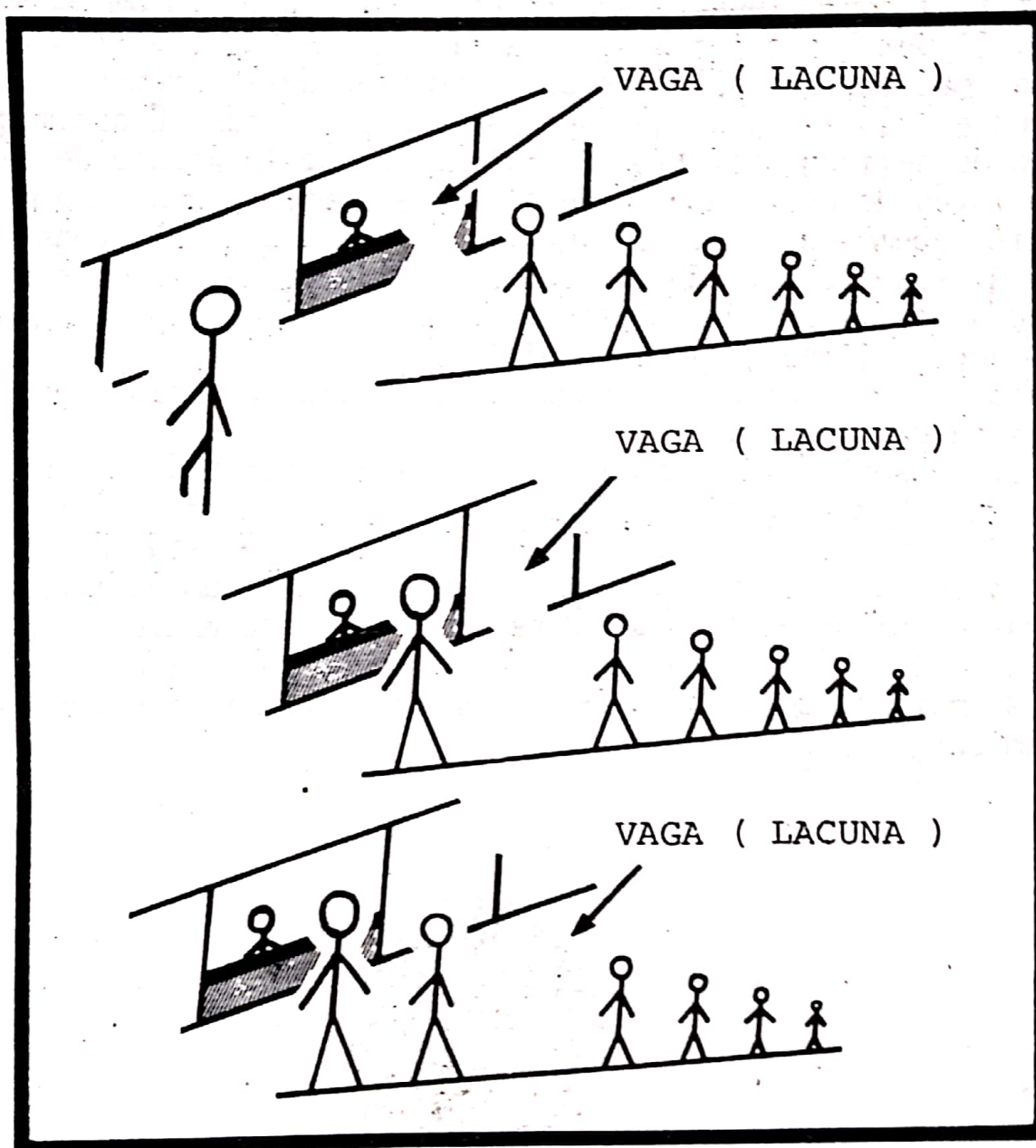


FIGURA 2-12 Os elétrons que vão ocupando o posto do anterior produzem um movimento dos espaços vazios (lacunas).

Aqui novamente como ocorre ao se aquecer um semicondutor intrínseco, se não há campo elétrico externo (uma tensão aplicada) externamente) os saltos dos elétrons são desordenados, porém se aplica uma tensão, estes saltos irão se ordenando, tanto mais, quanto maior a tensão aplicada, produzindo uma corrente.

Para entender melhor o conceito de lacuna, podemos imaginá-lo numa fila de pessoas frente ao caixa de um banco. Quando a primeira pessoa é atendida, se retira e a segunda pessoa avança ocupando o lugar vago, deixando atrás de si uma nova vaga que será ocupada pela pessoa seguinte na fila. Cada um da fila quando verifica que o lugar a sua frente está vago, dá um passo a frente. Alguém que observasse essa fila de um lugar distante poderia imaginar que ao invés de as pessoas deslocarem-se para a frente, são as vagas que se deslocam para trás. É assim que dentro do semicondutor tipo P, falamos de deslocamento de lacunas, ao invés de deslocamento de elétrons, porém é uma convenção, pois sabemos que quem realmente se move são os elétrons.

Daqui resulta diretamente que a mobilidade das lacunas é menor que a mobilidade dos elétrons, o que se refere ao tempo de deslocamento (trânsito), do qual falaremos adiante, que é igual ao fato do deslocamento de vagas em uma fila ser mais lento que uma pessoa caminhando.

Existe, sem dúvida, uma realidade física por trás do conceito de lacuna. O movimento de lacunas não implica no movimento de elétrons livres; o que se move é um elétron que está em um átomo e é capturado por outro. O átomo no qual falta um elétron, equilibra-se com um elétron do átomo vizinho; este outro átomo por sua vez captura um elétron de qualquer dos seus quatro vizinhos. Por esse motivo que as lacunas se comportam exatamente como se fossem cargas positivas.

