

Aluno \_\_\_\_\_ turma \_\_\_\_\_

## **ELETRÔNICA ANALÓGICA – AULA 01**

### **Capítulo 1 – Semicondutores**

A área de estudo que chamamos de eletrônica abrange uma grande área, sistemas analógicos, sistemas digitais, sistemas de comunicação, instrumentação e controle, onde cada uma destas áreas tem suas próprias aplicações. A evolução hoje vista na eletrônica é fruto da descoberta e da aplicação de materiais semicondutores. A cada dia novos componentes eletrônicos são colocados no mercado, simplificando o projeto e a construção de novos aparelhos, que por sua vez tornam-se ainda mais sofisticados.

Iniciaremos o estudo da eletrônica através dos conceitos de material semicondutor, visando fornecer os conhecimentos indispensáveis para o entendimento dos componentes básicos da eletrônica.

#### **1.1 Materiais semicondutores**

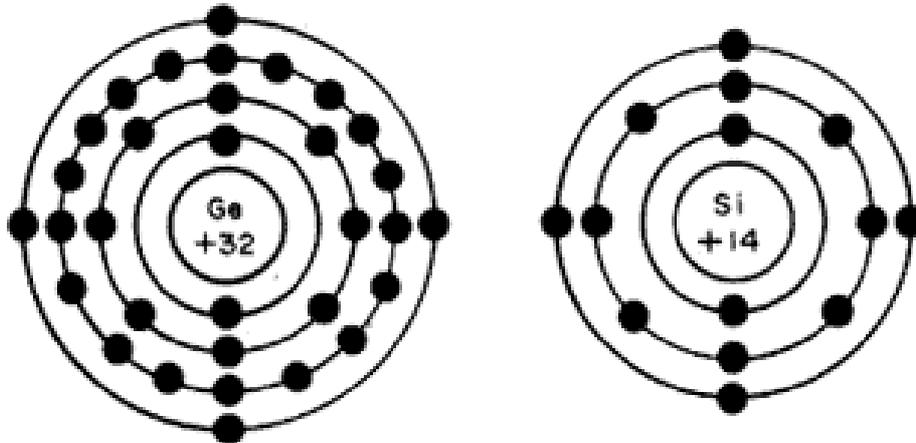
Materiais semicondutores são aqueles que apresentam características de isolante e de condutor, ou seja, está no limiar da condução e da isolação, dependendo da forma como se apresenta sua estrutura química. O exemplo típico do material semicondutor é o carbono (C). Dependendo da forma como os átomos se interligam, o material formado pode se tornar condutor ou isolante.

Dois exemplos bastante conhecidos de materiais formados por átomos de carbono são o diamante e o grafite.

O diamante é um material de grande dureza que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma de estrutura cristalina. É eletricamente isolante.

O grafite é um material que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma triangular. É condutor de eletricidade.

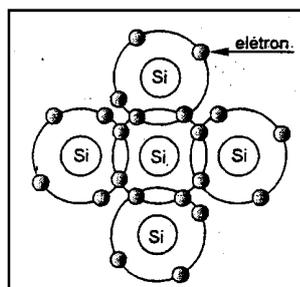
## 1. 2 Estrutura química dos materiais semicondutores



**Figura 1 - Átomos semicondutores**

Os materiais considerados semicondutores se caracterizam por serem constituídos de átomos que têm quatro elétrons na última camada – camada de valência. A figura 1.1 mostra a estrutura química dos átomos de germânio (Ge) e de Silício (Si) que dão origem aos componentes eletrônicos ditos semicondutores.

Sabemos que para um átomo atingir a estabilidade ele deve possuir 2 ou 8 elétrons na última camada. Os átomos que vimos na figura acima possuem quatro elétrons na última camada e possuem uma tendência a se agruparem segundo uma formação cristalina. Esse agrupamento se dará por uma ligação conhecida quimicamente como ligação covalente, cada átomo se combina com quatro outros, fazendo com que cada elétron pertença simultaneamente a dois átomos.



**Figura 2 - Compartilhamento de elétrons**

Um exemplo de ligação covalente pode ser observado na figura 2. As ligações covalentes se caracterizam por manter os elétrons fortemente ligados em dois núcleos associados. Essa força dificulta a retirada de qualquer elétron destas estruturas, que são ditas estruturas cristalinas puras, tendo assim característica de isolamento elétrica.

O silício e o germânio puros são materiais semicondutores com características isolantes quando agrupados em forma de cristal.

### **1.3 Dopagem**

A dopagem é um processo tecnológico que tem por finalidade introduzir átomos estranhos (impureza) na estrutura cristalina de uma substância pura como o germânio e o silício, por exemplo.

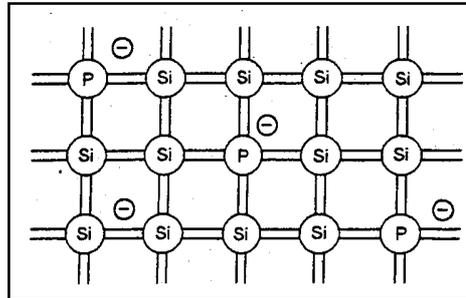
A dopagem, que é realizada em laboratórios, introduz no interior da estrutura de um cristal uma quantidade controlada de uma determinada impureza para transformar essa estrutura num condutor. A forma como o cristal conduzirá a corrente elétrica e a, sua condutibilidade dependem do tipo de impureza utilizado e da quantidade de impureza aplicada, o tipo de impureza caracteriza o cristal como N ou P..

### **1.4 Cristal N**

Quando o processo de dopagem introduz na estrutura cristalina uma quantidade de átomos com mais de quatro elétrons na última camada, como o fósforo (P), pentavalente, forma-se uma nova estrutura cristalina denominada cristal N.

Dos cinco elétrons da camada de valência do fósforo, apenas quatro encontram um par no cristal. Isso possibilita a formação covalente. O quinto elétron do fósforo não forma ligação covalente porque não encontra, na estrutura, um elétron que possibilite essa formação. No cristal semicondutor, cada átomo de

impureza fornece um elétron livre dentro da estrutura, a figura 3 mostra bem este processo.

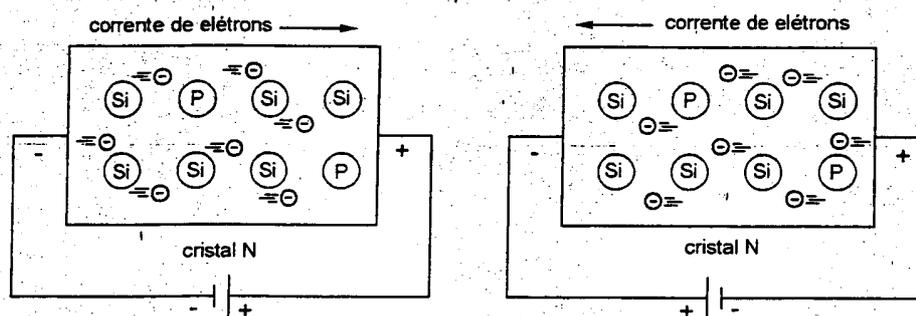


**Figura 3 - Formação do cristal N**

Esse elétron isolado tem a característica de se libertar facilmente do átomo tornando-se livre dentro da estrutura do cristal, constituindo-se um portador livre de carga elétrica.

É importante notar que, embora o material tenha sido dopado, seu número total de elétrons e prótons é igual, de forma que o material continua eletricamente neutro.

Nesse cristal, a corrente elétrica é conduzida no seu interior por cargas negativas. Veja a representação esquemática a na figura 4 a seguir:

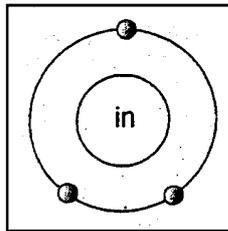


**Figura 4 - Corrente de cargas negativas**

Observe que o cristal N conduz a corrente elétrica independentemente da polaridade da bateria.

### 1.5 Cristal P

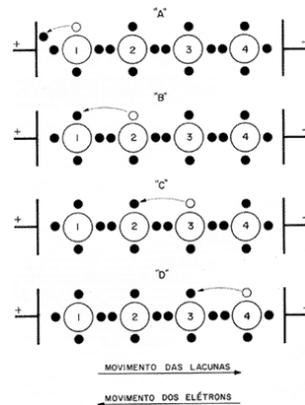
A utilização de átomos com três elétrons na última camada, ou seja, trivalentes, no processo de dopagem, dá origem à estrutura chamada de cristal P. O átomo de índio (In) é um exemplo desse tipo de material conforme pode ser visto na figura 5.



**Figura 5 - Átomo de Índio**

Quando os átomos de índio são colocados na estrutura do cristal puro, verifica-se a falta de um elétron para que os elementos tetravalentes se combinem de forma, covalente. Essa ausência de elétron é chamada de lacuna, que, na verdade, é a ausência de uma carga negativa.

Os cristais dopados com átomos trivalentes são chamados cristais P porque a condução da corrente elétrica no seu interior acontece pela movimentação das lacunas. Esse movimento pode ser facilmente observado quando se analisa a condução de corrente elétrica passo a passo.



**Figura 6 - Corrente de cargas positivas - lacunas**

Quando se aplica uma diferença de potencial aos extremos de um cristal P, uma lacuna é ocupada por um elétron que se movimenta, e força a criação de outra lacuna atrás de si. O que pode ser visto na figura 6 acima, no qual a lacuna está representada por uma carga positiva.

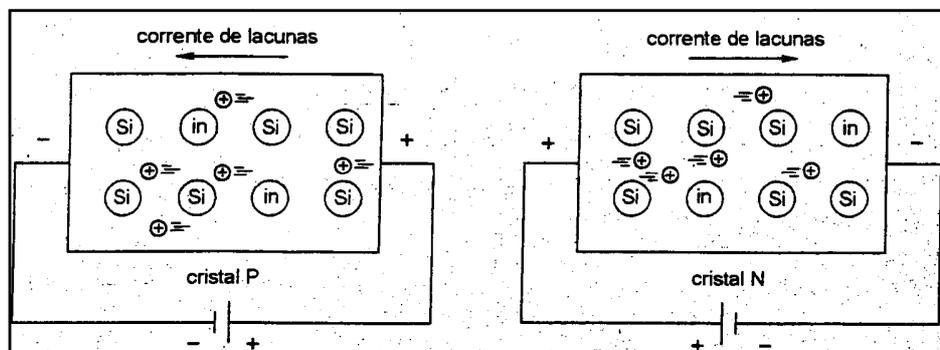
A lacuna é preenchida por outro elétron gerando nova lacuna até que esta seja preenchida por um elétron proveniente da fonte.

As lacunas se movimentam na banda de valência dos átomos e os elétrons livres que as preenchem movimentam-se na banda de condução, onde:

A banda de valência é a camada externa da eletrosfera na qual os elétrons estão fracamente ligados ao núcleo do átomo.

Banda de condução é a região da eletrosfera na qual se movimentam os elétrons livres que deixam a banda de valência ao receber certa quantidade de energia.

A condução de corrente por lacunas no cristal P independe da polaridade da fonte de tensão. Assim, os cristais P e N, isoladamente, conduzem a corrente elétrica qualquer que seja a polaridade de tensão aplicada às suas extremidades.



**Figura 7 - Corrente de lacunas**

Os cristais P e N são a matéria prima para a fabricação dos componentes eletrônicos modernos tais como diodos, transistores e circuitos integrados.

## 1.6 Condutibilidade dos materiais semicondutores

Há dois fatores que influenciam a condutibilidade dos materiais semicondutores. Eles são:

Intensidade da dopagem;

Temperatura

### 1.6.1 Intensidade da dopagem

Os cristais dopados mais intensamente se caracterizam por apresentar maior condutibilidade porque sua estrutura apresenta um número maior de portadores livres.

Quando a quantidade de impurezas introduzidas na estrutura cristalina é controlada, a banda proibida pode ser reduzida a uma largura desejada. Essa faixa está localizada entre as bandas de valência e condução.

Veja a figura a seguir.



**Figura 8 - Largura das bandas**

### 1.6.2 Temperatura

Quando a temperatura de um material semicondutor aumenta, a energia térmica adicional faz com que algumas ligações covalentes da estrutura se

desfazam. Cada ligação covalente que se desfaz pelo aumento da temperatura permite o aparecimento de dois portadores livres de energia a mais na estrutura do cristal. A presença de um maior número de portadores aumenta a condutibilidade do material, permitindo a circulação de correntes maiores no cristal.

Assim, o comportamento de qualquer componente eletrônico fabricado com materiais semicondutores depende diretamente de sua temperatura de trabalho. Essa dependência é denominada de dependência térmica e constitui-se de fator importante que deve ser considerado quando se projeta ou monta circuitos com esse tipo de componente.

**Responda:**

- 1- O que são semicondutores?
- 2- Qual é o nome do processo utilizado para obtenção de um cristal P ou um cristal N na fabricação do diodo?
- 3- Qual o comportamento do cristal N quando polarizado diretamente e reversamente?

**Pesquise:**

- 1- Qual a carga e a massa de um elétron?
- 2- Como seria a carga de um íon positivo?
- 3- Qual o conceito de barreira de potencial?
- 4- O que significa o eV (elétron-volt)?
- 5- O que é o modelo de Rutherford?
- 6- O que é o átomo de Bohr?
- 7- O que são níveis atômicos de energia?