

FUNDAMENTOS DE SEMICONDUTORES

DIODOS - CONCEITOS FUNDAMENTAIS.

INTRODUÇÃO

Até agora vimos generalidades e propriedades dos materiais semicondutores porém os fenômenos mais interessantes apresentam-se quando em um mesmo cristal; logramos o predomínio de um e outro tipo de impurezas, separadamente. Como se comportaria o cristal diante da passagem de corrente nessas condições? Que tensões se desenvolvem nesse cristal?

Já vimos os princípios básicos dos semicondutores, completamos agora este conhecimento e chegamos a um dos dispositivos mais importantes: o Diodo.

OBJETIVO DA LIÇÃO

Esta lição nos permitirá:

- 1 - Entender os efeitos que ocorrem na união de um semicondutor tipo P e um semicondutor tipo N, o efeito da passagem de corrente em um único sentido no diodo.
- 2 - Saber o porquê de se necessitar uma tensão inicial para que o diodo comece a conduzir.
- 3 - Reconhecer o símbolo do diodo.
- 4 - Conhecer as especificações fundamentais para selecionar o diodo correto para cada aplicação.

TEMA 1

FORMAÇÃO DA JUNÇÃO

Se temos duas porções de cristal semicondutor, uma tipo N, ou seja, com elétrons livres, e outra tipo P, ou seja com lacunas e ambas eletricamente neutras, quando as unimos ocorre um fenômeno muito interessante.

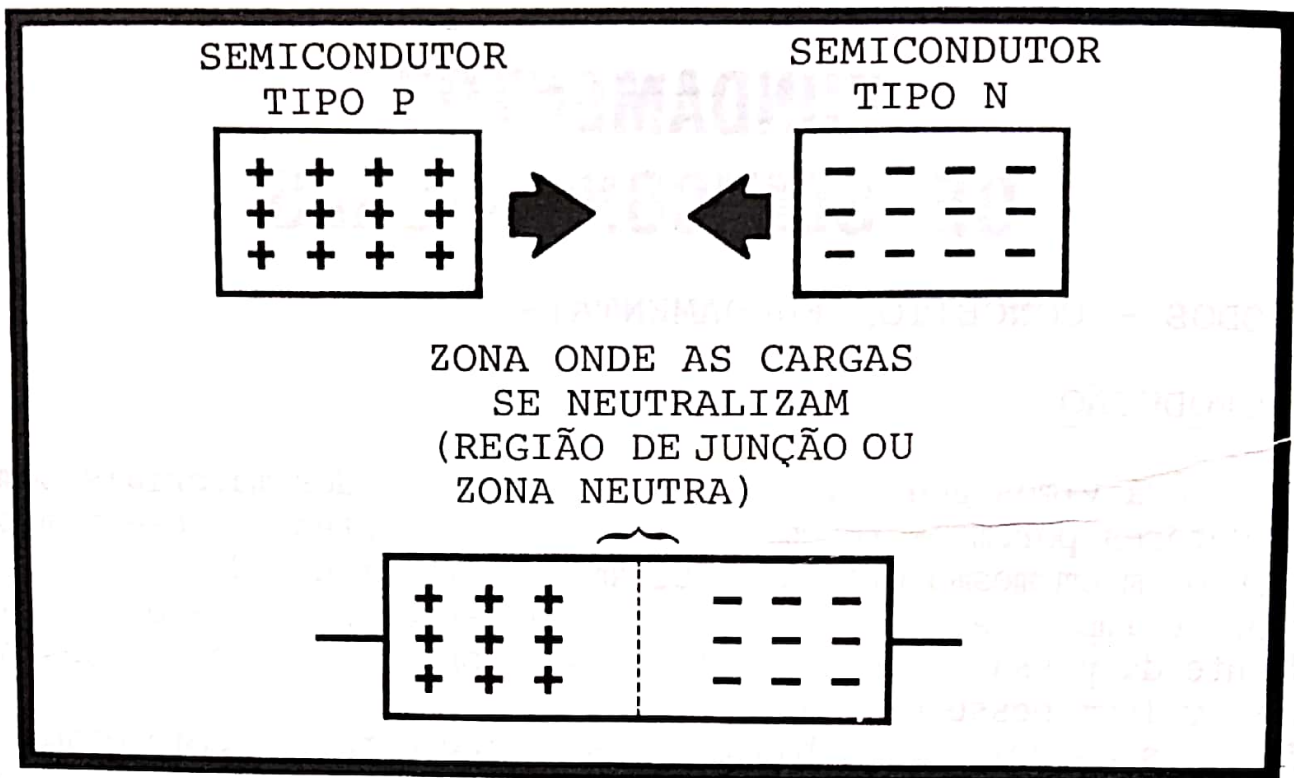


FIGURA 3-1 Na região de junção ou zona neutra, se não existe tensão aplicada, as cargas positivas e negativas se neutralizam.

Vemos na figura, esquematizado, o material tipo P, onde ficam as lacunas (positivas) ou falta de elétrons e o material tipo N, onde sobram elétrons livres. Ambos os materiais são por si condutores. Na união entre os dois tipos de materiais, haverá uma superfície em que os elétrons livres e as lacunas se neutralizam. Nesta região podemos dizer que o semiconductor é neutro ou intrínseco, quer dizer isolante. O excesso de elétrons de um lado da junção se neutralizará com o excesso de lacunas ou falta de elétrons do outro lado, formando uma pequena isolação. Isto é o que se chama de "zona neutra" e é a região próxima à superfície da união que toma o nome de junção.

O que na realidade ocorre, "vendo" com mais detalhes é que próximo da junção (superfície de separação entre as regiões do semiconductor com impurezas tipo P de um lado e tipo N do outro), os campos elétricos das impurezas colocadas no cristal semiconductor se neutralizam entre si, sem chegar a criar um campo elétrico suficientemente positivo para reter ao seu redor um elétron livre (na região N) nem para deslocar um elétron de valência do cristal formando assim uma lacuna (na região P).

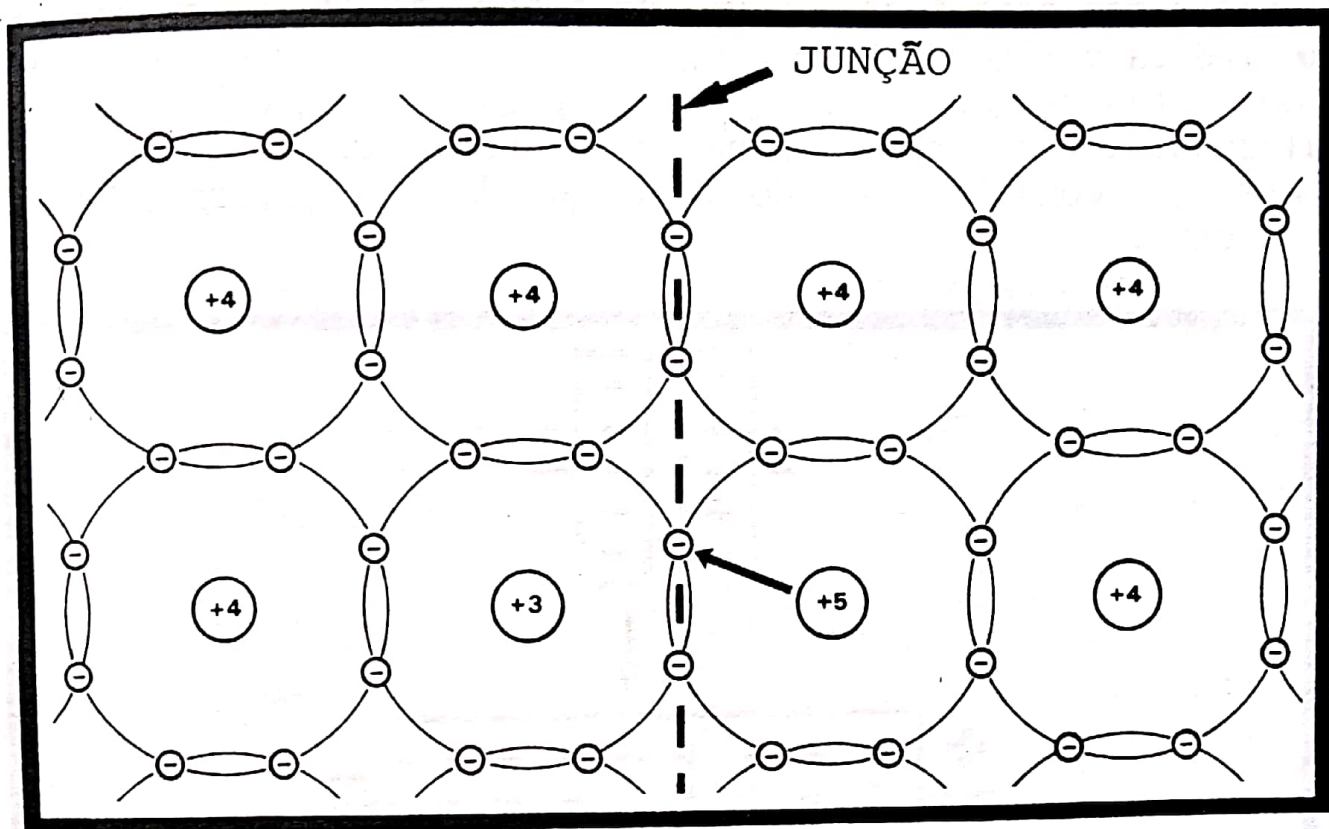


FIGURA 3-2 O campo do elétron que não pode neutralizar a impureza tipo P é neutralizado pela impureza tipo N contígua. Assim, na junção, não se formam elétrons livres, nem lacunas.

A cada tipo de semiconductor, P e N, vai unido um fio (eletrodo) por isso o dispositivo toma o nome de diodo (de dois eletrôdos)

TEMA 2

POLARIZAÇÃO DIRETA

Observe a figura seguinte. Se aplicarmos uma tensão com o positivo no material tipo P e o negativo no material tipo N nesse efeito elétrico se fará sentir através do semiconductor tipo P e do tipo N até chegar na área de união de ambos materiais, a JUNÇÃO. De um lado da junção haverá um material tipo P no qual faltam elétrons e de outro um material tipo N no qual sobram elétrons. Ao aplicar a tensão no sentido indicado, que chamamos sentido direto, a tensão aplicada se fará sentir através da junção, produzindo uma corrente. Vejamos porque:

"Se aplicamos esta tensão à um capacitor, as placas se carregam como indica a figura. Se no lugar do capacitor conectamos nosso diodo, estas cargas vão reforçar ou refazer as que haviam se neutralizado, ao formar a zona neutra sobre a junção. Se restabelece assim, a condutividade do diodo quando se polariza em sentido direto".

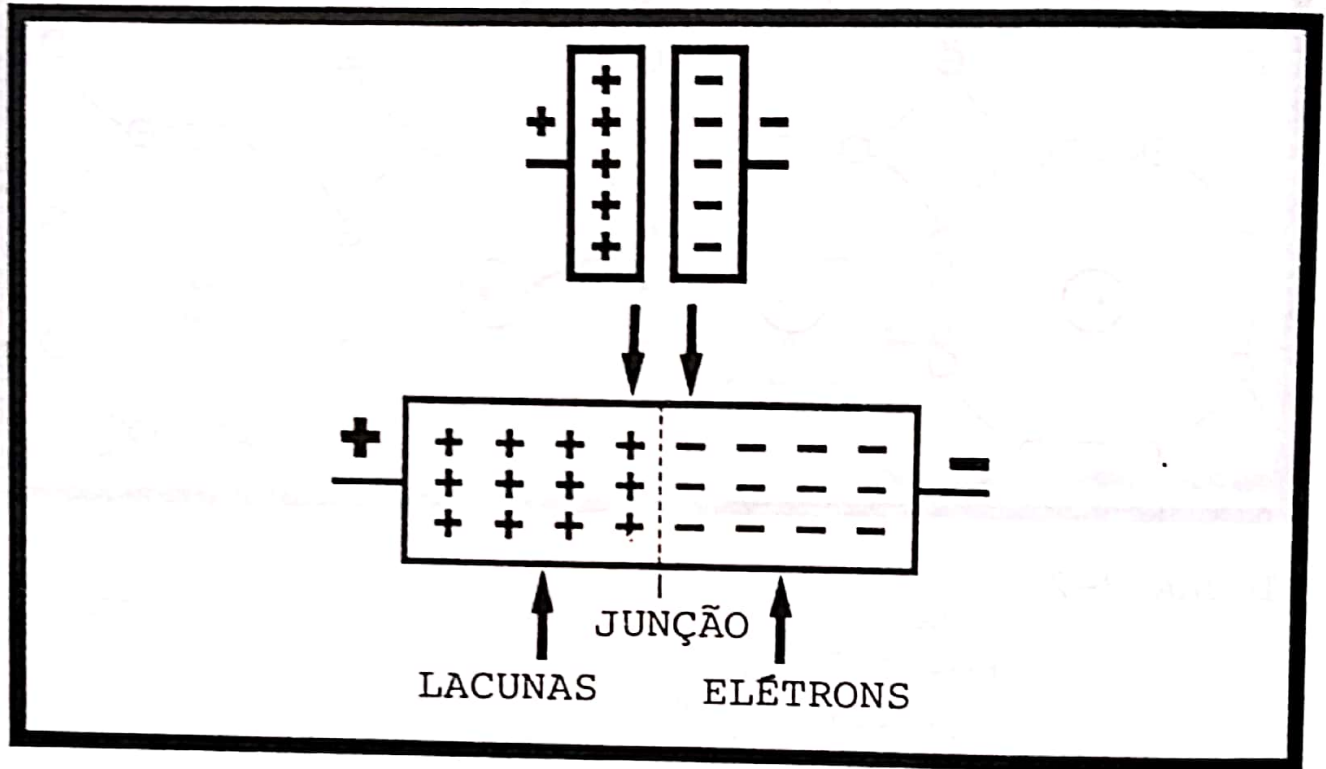


FIGURA 3-3 Ao aplicarmos uma tensão no sentido direto, se formam lacunas e elétrons livres em ambos os lados da junção (que era a zona neutra) e o diodo conduz.

Temos assim que, aplicando-se uma tensão direta na junção semicondutora, se estabelece uma corrente. Notamos que na junção propriamente dita, ao neutralizar-se as cargas antes presentes, tende-se a produzir uma isolação, a tensão aplicada portanto, deve ser maior que certo limite chamado "tensão de junção". Essa tensão de junção depende da quantidade de impurezas presentes, porém fundamentalmente, do material semicondutor. No caso do germânio a tensão de junção é por volta de 0,2 volt, enquanto que a do silício fica por volta de 0,7 volt. Quando em um determinado material tipo P, a tensão aplicada é mais positiva que do lado oposto (tipo N), se diz que a junção está polarizada em sentido DIRETO e, se esta tensão é maior que a da junção, circulará corrente.

TEMA 3

CIRCULAÇÃO DE CORRENTE.

Os elétrons livres que vem do fio conectado ao polo negativo, vão entrando no semicondutor tipo N, também como elétrons livres.

No semicondutor tipo N a condução é feita por elétrons livres enquanto que no material tipo P, será por lacunas.

Através da junção, fluirão elétrons até o lado positivo e lacunas até o lado negativo.

Os elétrons que vem do material tipo N entram no semicondutor tipo P e vão se encontrar com alguma lacuna, neutralizando-se. Também as lacunas que vem do material tipo P entram no material tipo N, se encontram com um elétron livre, num curto espaço de tempo.

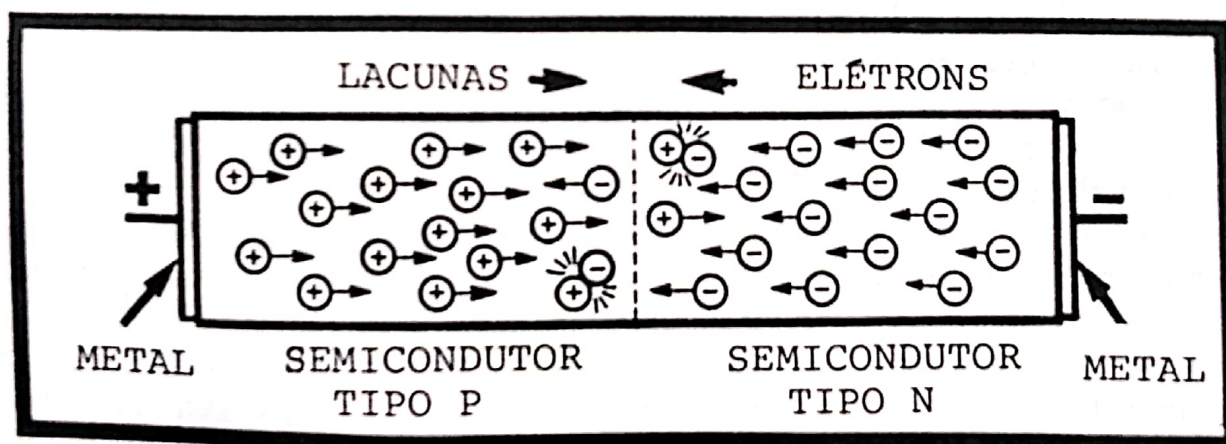


FIGURA 3-4 Lacunas e elétrons livres, ao introduzirem-se nas zonas opostas, se neutralizam Rapidamente.

No outro terminal (lado positivo) vão saindo a mesma quantidade de elétrons que entram pelo lado negativo.

A união metal-semicondutor, no lado do terminal positivo, "escapam" elétrons pelo fio e também "escapam" lacunas pelo semicondutor. Isso pode parecer estranho porém, na superfície de união entre o metal e o semicondutor tipo P vão se formando pares elétrons-lacunas; elétrons através do cabo e lacunas no semicondutor através da junção. A criação destes pares elétron-lacuna requer parte de energia em forma de calor porém é provido em excesso pelo calor gerado no resto do diodo.

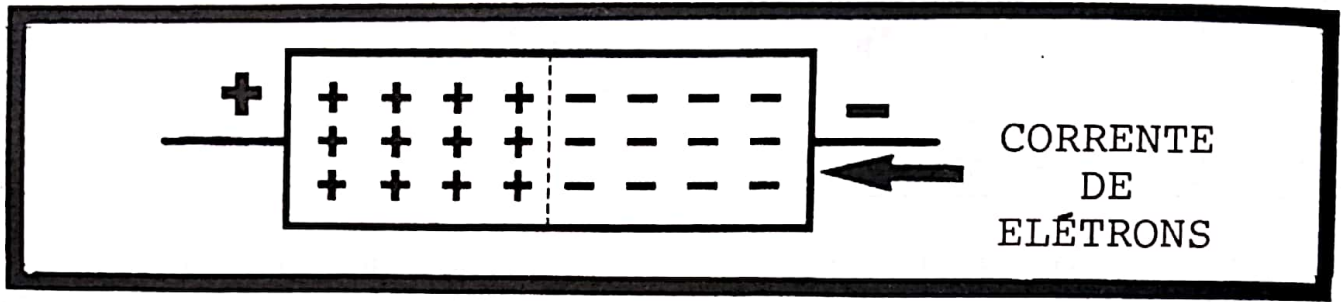


FIGURA 3-5 Quando a tensão em sentido direto é igual ou maior que a "tensão de junção" o diodo conduz.

TEMA 4

POLARIZAÇÃO INVERSA

Estudamos antes que o semicondutor intrínseco é praticamente isolante, sendo que, permite passar uma corrente muito pequena, porém aumenta com o aumento da temperatura.

Vimos que se o diodo se polariza no sentido direto haverá circulação de corrente. Vamos estudar agora o que ocorre quando se polariza o diodo em sentido inverso.

Se não há tensão aplicada sobre o diodo na superfície de união dos materiais tipo N e tipo P, as cargas positivas e negativas destes semicondutores se neutralizam formando na junção, uma barreira ou zona neutra que não conduzirá corrente. Se aplicamos então, uma tensão positiva no material tipo N e negativa no material tipo P, do mesmo modo que num capacitor, se acumularão cargas elétricas. Estas cargas elétricas, positivas, no material tipo N, vão neutralizar as próprias cargas do semicondutor; da mesma forma, as cargas negativas no material tipo P, neutralizam sua carga natural formando-se uma zona neutra ainda maior na junção.

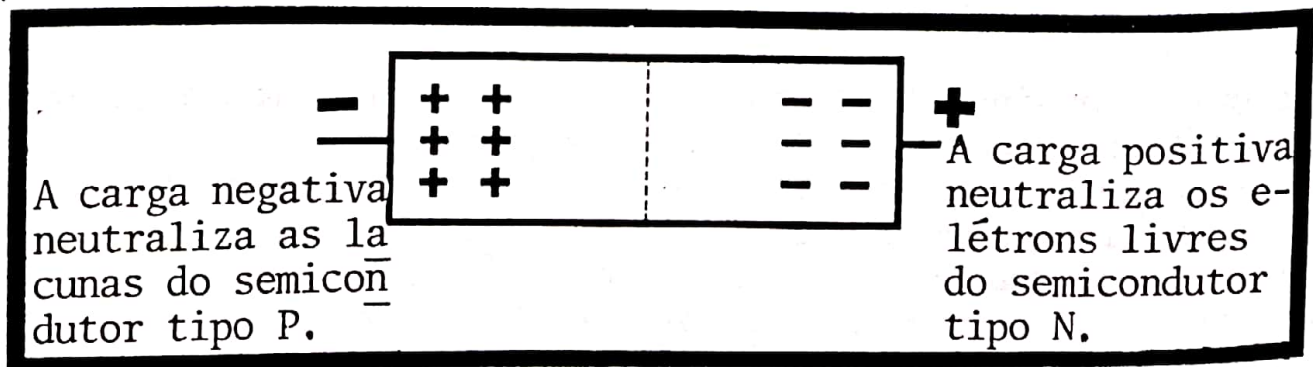


FIGURA 3-6 Diodo polarizado em sentido inverso.

A zona neutra, por não ter elétrons livres, nem lacunas é um isolante.

E assim que um diodo polarizado em sentido inverso se torna mais isolante e não conduz corrente, salvo uma pequeníssima "corrente de perda" ou corrente inversa, devida a condução intrínseca.

NOTAS:

- 1) Nos desenhos e explicações temos usado (e usaremos em diante) os sinais + e - nos terminais de um semicondutor (até aqui o diodo). Esclarecemos que como se trata de uma esquematização, supõe-se a existência de uma fonte de alimentação contínua seja ela uma bateria, pilha, fonte retificada, etc.

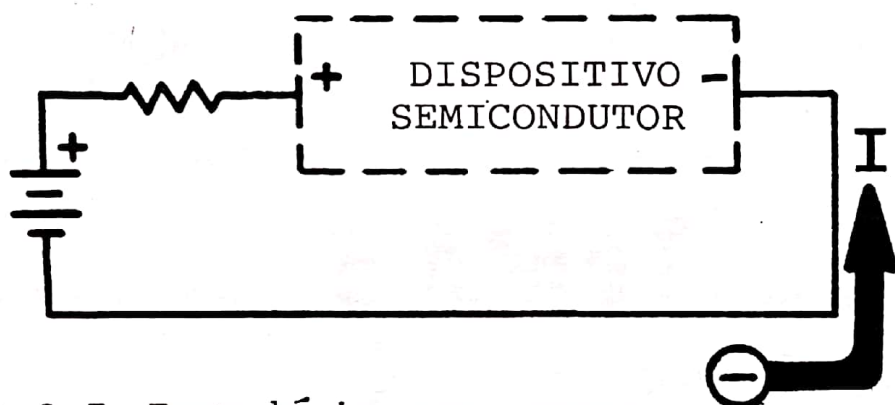


FIGURA 3-7 Fonte básica para provas.

Por convenção adotamos o sentido da corrente elétrica contrário ao da corrente eletrônica (o sentido da corrente elétrica é por convenção o mesmo do campo elétrico).

- 2) Quando medimos tensões como por exemplo:

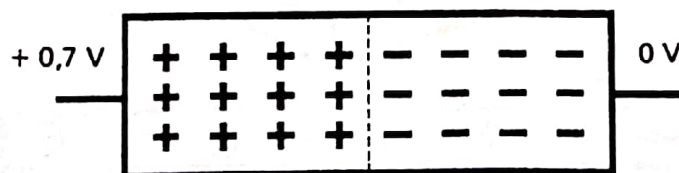


FIGURA 3-8 Se pode tomar um extremo do diodo como tensão de referência (0 V.)

Esta tensão é medida com relação a um dos terminais. Se medimos comparando com a massa comum (terra) podemos encontra-la achando a diferença entre as duas medidas:

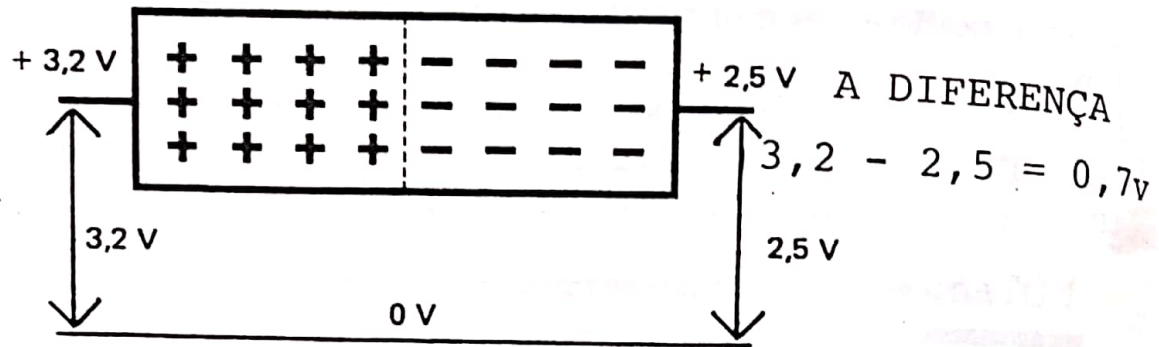


FIGURA 3-9 Também pode-se tomar como referência de tensão (0 V) um ponto externo ao diodo.

Nos casos do exemplo, verificando uma tensão de 0,7 v no diodo, podemos dizer que este está conduzindo. Se a tensão fosse bem maior que 1 v, por exemplo 5v em sentido direto, o diodo deve estar aberto. Se a tensão medida fosse 5v. no sentido inverso, põde estar bom (ou não) porém é normal que não conduza corrente.

TEMA 5

ELÉTRONS VERSUS CORRENTE CONVENCIONAL.

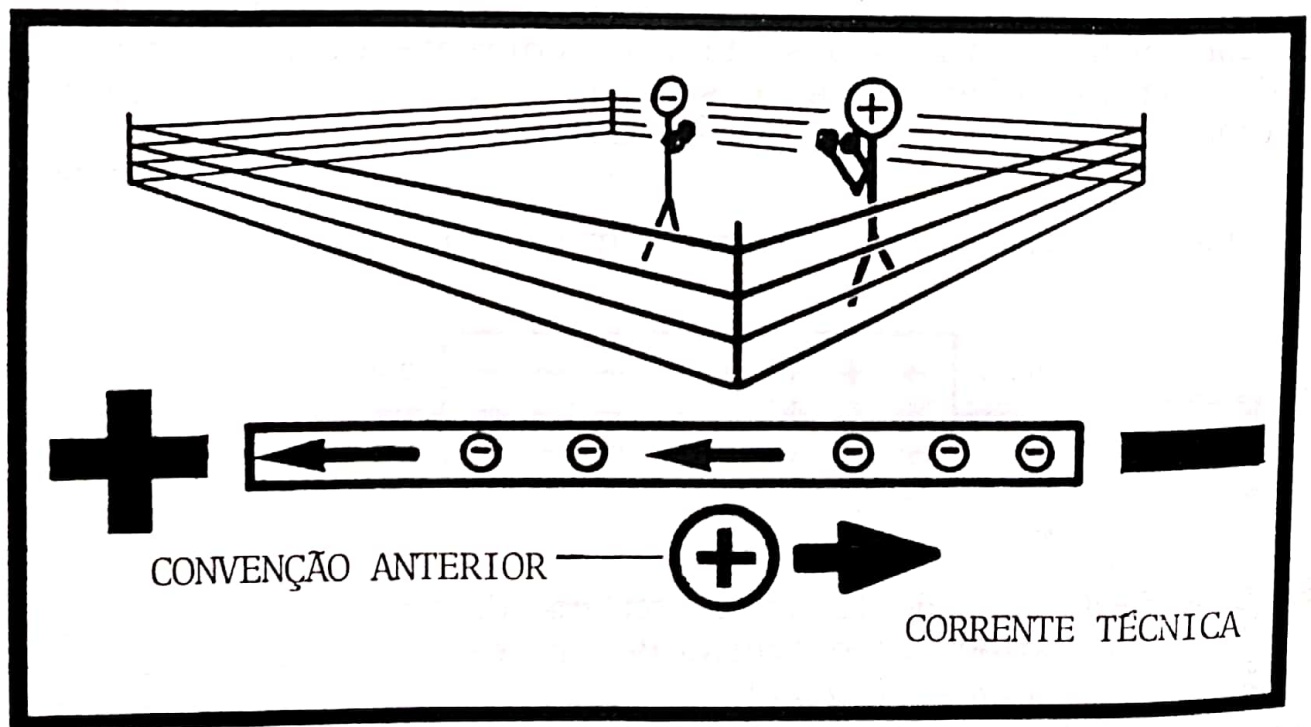


FIGURA 3-10 A corrente, considerada no sentido convencional é oposta ao movimento dos elétrons

Conforme falamos em outros textos, neste iremos falar em corrente de elétrons (corrente eletrônica). Para evitar confusões, vamos esclarecer que a corrente quando considerada no sentido convencional, é oposta ao sentido de deslocamento dos elétrons. Antes de descobrir-se que a corrente se deve ao movimento de elétrons, se havia tomado, infelizmente, um sentido convencional, do positivo ao negativo, e esta é a corrente que chamamos de sentido convencional.

Uma ou outra convenção servem bem ao propósito sempre que, durante a resolução de um problema, se utilize apenas uma delas, especialmente ao aplicar a lei de KIRCHHOFF para correntes.

TEMA 6

SÍMBOLO DO DIODO

Para se simbolizar o diodo, se escolheu uma seta com uma barra, indicando esta seta, o sentido de condução da corrente (sentido convencional). A seta indica o lado do material tipo P e a barra o lado do material tipo N.

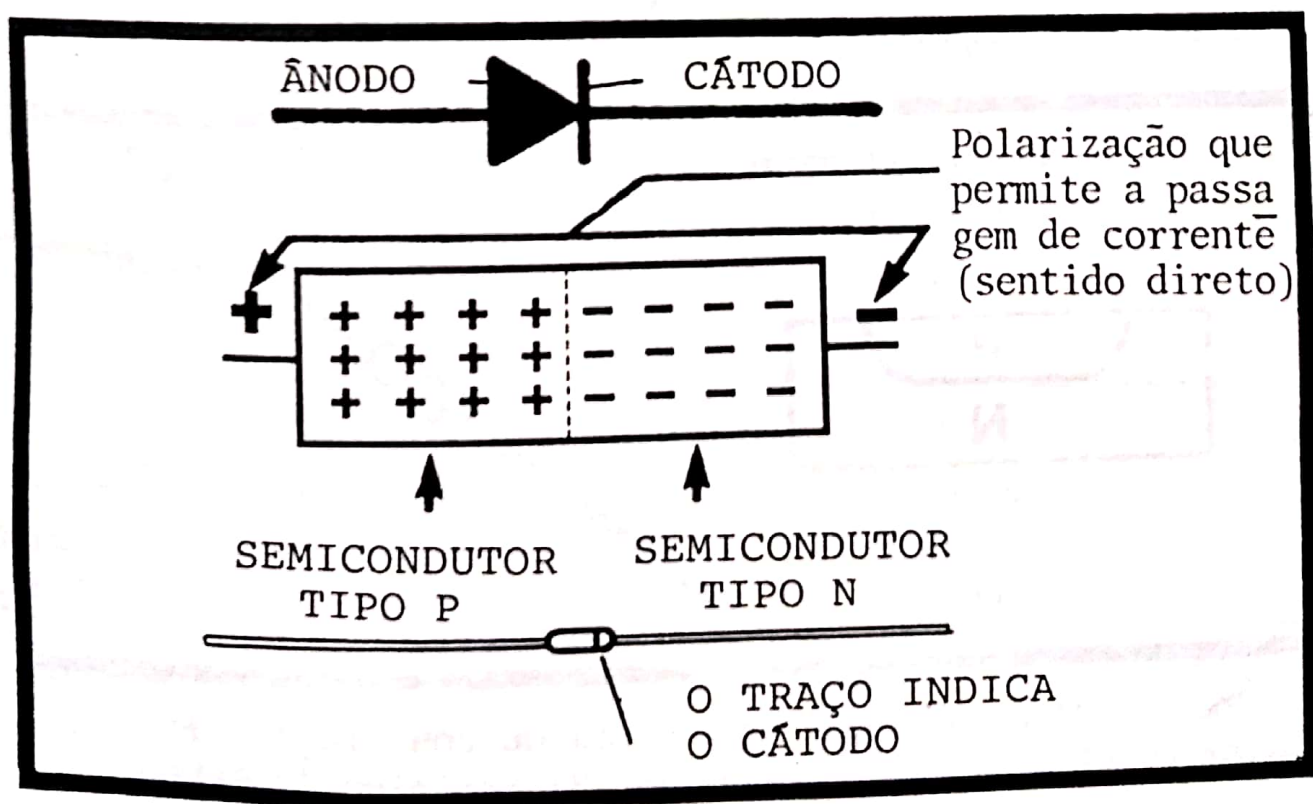


FIGURA 3-11 Diodo. A corrente de elétrons pode passar do catodo ao ânodo, porém não ao contrário.

Se observarmos um diodo em um diagrama de conexões feito com símbolos (chamado esquema) os elétrons circulam através do diodo, desde o lado da barra, que chamamos cátodo, até o lado da seta, ou seja, CONTRA a seta, eletrodo que chamamos ânodo. Essa nomenclatura vêm dos termos ânodo e cátodo usados em galvanoplastia, conforme estudamos no Curso Dinâmico de Fundamentos de Eletricidade.

TEMA 7

CONSTRUÇÃO

Na realidade o diodo não se fabrica unindo dois pedaços de material semicondutor, mas sim por um procedimento especial que estudaremos na lição correspondente. O procedimento resume-se em aplicar os dois tipos de impurezas em um mesmo cristal, evitando descontinuidades que afetariam o seu funcionamento.

Na construção "planar", por exemplo, em uma placa de semicondutor tipo N, se contamina parte da superfície com impurezas tipo P, convertendo esta zona do cristal em semicondutor tipo P, por maioria de impurezas.

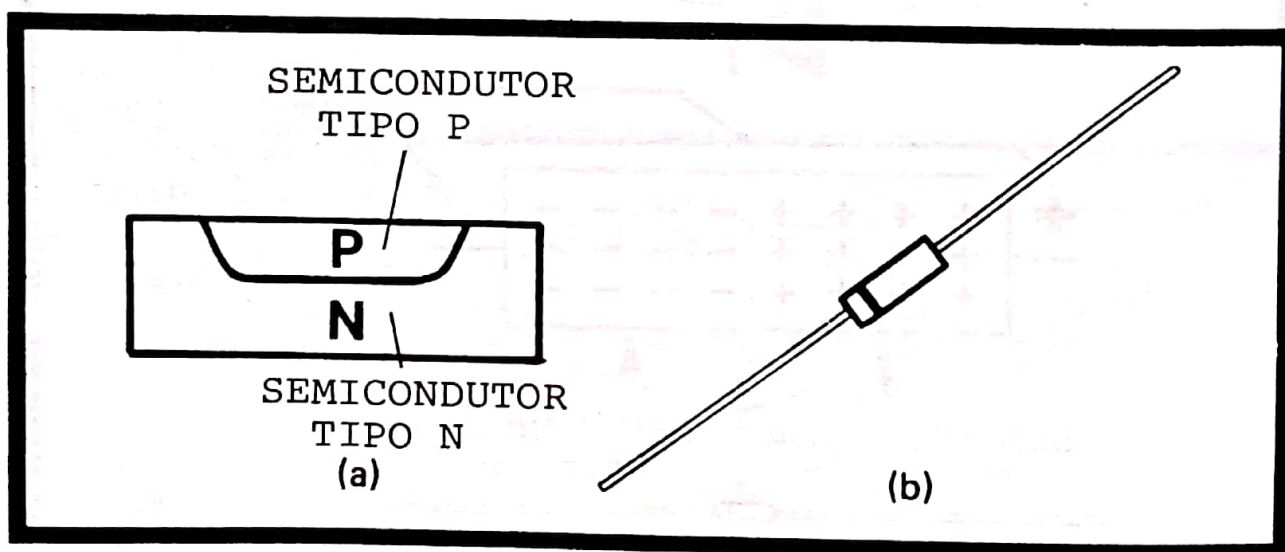


FIGURA 3-12 Uma forma de construção de diodos. a) Pastilha de silício. b) Diodo completo.

Depois, oxida-se o silício em parte da superfície (o óxido de silício é isolante), cobrindo a borda exterior da junção, pois a isolamento do ar é menor que a do silício.

Se soldam em cada um dos lados da pastilha as conexões. Em diodos de potência (utilizados para condução de altas correntes) geralmente, a conexão do cátodo é conectada a carcaça metálica, dissipando assim a maior parte ao calor gerado.

TEMA 8

PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES

As especificações mais importantes do diodo são:

V_{rrm} - Tensão inversa de pico (em ingles P.I.V. "peak invers voltage".)

I_o - Corrente retificada média.

A tensão inversa de pico (ou de crista) é a máxima tensão que pode suportar um diodo sem danificar-se. A capacidade de isolamento do semicondutor tem seu limite; se lhe aplicamos demasiada tensão, maior que a tensão de ruptura, o semicondutor intrinsecamente que se produz ao polarizar-se o diodo em sentido inverso, chegará a conduzir, transformando a potência em calor, e sabemos que com o aumento da temperatura, a condução aumentará danificando o diodo. Este dano não vai ocorrer necessariamente se limitarmos a corrente; por exemplo, com um resistor de um valor muito alto, porém nestas condições perde sua utilidade prática de retificador. Por outro lado, os chamados "diodos ZENER", utilizam justamente esta característica de ruptura para regular tensão, conforme estudaremos adiante, porém o diodo comum danifica-se. Pode-se dizer que os semicondutores morrem em silêncio, por isto, devemos proceder com cuidado para aplicar o semicondutor adequado a determinados circuitos.

As tensões mais comuns para os diodos retificadores são 50, 100, 200, 400, 600, 800 e 1000 volt, variando a seleção segundo o fabricante. Existem outras tensões para tipos especiais de diodos e também para altas tensões.

Corrente media direta é o máximo de corrente retificada que se pode obter do diodo. Se especifica esta corrente como corrente média, porque com o aumento de corrente, se produziria um excesso de calor devido a dois fatores principais:

- A queda de tensão na junção e a queda de tensão resistiva no semicondutor tipo N e tipo P. Sabemos que a potência dissipada é:

$$P = E \times I$$

onde E, é a tensão desenvolvida no diodo em sentido direto, que é a tensão resultante da soma da tensão de junção e a queda de tensão resistiva.

Esta queda de tensão, com corrente direta, produz um aquecimento, que o diodo deve dissipar em forma de calor. Se não pode dissipar, o excesso de calor, faria o diodo conduzir em sentido inverso, o que por sua vez produziria mais aquecimento, inutilizando-o (geralmente se curto-circuitando).

Existem grandes variedades de diodos, com relação a corrente média direta, sendo 1, 3 e 6 ampères os valores mais comuns para baixas correntes, chegando até valores de 50 ampères ou mais. A tensão máxima de pico e a corrente máxima operacional, são os dados com os quais se especifica um diodo em qualquer comércio de componentes eletrônicos. Por exemplo pede-se "um diodo para 800v, 3 A" (oitocentos volts e 3 ampères) mesmo diodo poderia ser solicitado como "um diodo IN5407, como veremos a seguir, porém os diversos fabricantes, produzem diodos com características levemente diferentes e distintos formatos externos, o que torna mais razoável pedi-los da primeira forma mencionada, se não necessitamos de características muito especiais.

Para grandes produções procura-se o componente mais economico que cumpra satisfatoriamente a função desejada. Para aplicações especiais é importante que o componente cumpra TODAS as especificações necessárias.

Nestes casos, sempre haverá a necessidade de consulta ao "catálogo de fabricante". As vezes os catálogos gerais são incompletos em dados, como nas tolerâncias ou métodos de montagem, o que se faz conveniente consultar tabelas de especificações individuais, ou seja a especificação mais completa e detalhada de cada componente semiconductor.

Podemos observar, extraída de um catálogo de fabricante (Motorola), uma tabela do catalogo de diodos, usados principalmente como retificadores. Existem outros tipos tais como: de recuperação rápida para altas frequências, de baixa queda de tensão, etc, que figuram em outras tabelas.

O uso do diodo não está limitado apenas à retificação, porém para outro uso, provavelmente poderemos encontrar em outra parte do catálogo, um diodo mais apropriado, apesar de que para reparos (manutenção), convém usar o que se tem disponível, sempre que cumpra bem a função.

Tomemos por exemplo o diodo conhecido comercialmente como IN4001. Na coluna da esquerda, vemos que sua tensão inversa máxima (também chamada tensão inversa de pico) é

$$1N\ 4001; V_{rrm} = 50\ \text{volt.}$$

Seguindo a coluna até a parte superior, encontramos a intensidade da corrente retificada média:

$$I_0 = 1\ \text{ampère}$$

Para esse diodo (1N4001), 50v é a tensão máxima inversa que suporta. Qualquer tensão superior a esta pode danificá-lo, e 1A é a corrente máxima retificada, ou seja, a corrente média que utilizaremos apesar de que no pico de tensão de entrada pode haver uma corrente muito maior, ao carregar-se o capacitor eletrolítico de filtro.

Observando-se mais abaixo na mesma coluna encontramos que, para os diodos 1N 4001 até 1N 4007, a corrente "instantânea" máxima no sentido direto será:

$$I_{fsm} = 30 \text{ A}$$

O diodo suporta esta corrente em um tempo muito curto ou durante instantes do ciclo de trabalho, porém em regime normal de trabalho, não deve passar de 1A.

Na mesma coluna vemos as especificações de temperatura ambiente para a corrente média especificada.

$$T_A = 75^\circ \text{ C}$$

Se a temperatura do ambiente onde se utiliza esse diodo for maior, a corrente média (corrente operacional) deve ser menor que 1 A, para que não haja sobreaquecimento no mesmo.

Finalmente se especifica a temperatura máxima de junção:

$$T_J(\text{max}) = 175^\circ \text{ C} \text{ (máxima absoluta interna ao diodo).}$$

É óbvio que está fora do nosso alcance medir esta temperatura (dentro do diodo) porém veremos mais adiante que esta é uma especificação bastante útil.

Observamos que os diodos de capa metálica de certa potência possuem um vasto rosqueado ou outras formas especiais para montá-los sobre um dissipador de calor, e ao invés de T_A (temperatura ambiente), se especifica T_C (temperatura da capa ou cobertura) porque em vez de transmitir o calor gerado diretamente ao ar que rodeia o diodo a maior parte do calor se transmite para o dissipador.

Em diodos de certa potência porém de tamanho reduzido, se pode especificar T_L , temperatura dos terminais (em inglês, "leads").

A corrente máxima operacional se designa por I_O , I_f , etc. Deixamos o tema de "especificações" para retomá-lo depois de conhecer mais o diodo.

	I_O - CORRENTE RETIFICADA MÉDIA (ampère)						
	1.0	1.5	3.0	6.0	12		
	59-03 (DO-41) 	59-04 (DO-15) Plástico 	60 Metal 	267 Plástico 	194 Plástico 	245 (DO-4) Metal 	
V_{RRM} volt							
50	1N4001	1N5391 ..	1N4719	MR500 ..	1N5400	MR750 ..	MR1120 1N1199,A,B
100	1N4002	1N5392 ..	1N4720	MR501 ..	1N5401	MR751 ..	MR1121 1N1200,A,B
200	1N4003	1N5393 *MR5059	1N4721	MR502 ..	1N5402	MR752 ..	MR1122 1N1202,A,B
400	1N4004†	1N5395 *MR5060	1N4722	MR504 ..	1N5404	MR754 ..	MR1124 1N1204,A,B
600	1N4005†	1N5397 *MR5061	1N4723	MR506 ..	1N5406	MR756 ..	MR1126 1N1206,A,B
800	1N4006†	1N5398	1N4724	MR508	1N5407	MR758	MR1128 1N3988
1000	1N4007†	1N5399	1N4725	MR510	1N5408	MR760	MR1130 1N3990
I_{FSM} (A)	30	50	300	100	200	400	300
T_A a I_O especif. (°C)	75	$T_L = 70$	75	95	$T_L = 105$	60	
T_C a I_O especif. (°C)							150
T_J (max) (°C)	175	175	175	175	175	175	190

FIGURA 3-13 Exemplo parcial de uma tabela de diodos.

A tabela de diodos dada é só um exemplo; é muito provável que quando você esteja lendo este texto, o fabricante já a tenha modificado, por estar produzindo a quantidade de distintos tipos, ou por redução de tamanho, com as mesmas especificações. Talvez não se encontre em alguns locais de comércio, algumas das tensões inversas menores porque podem adaptar um diodo para uma mesma corrente e maior tensão inversa a um mesmo preço. Se necessitar consultar um catálogo, veja sempre a última versão. Nos comércios de semicondutores, se não puder solicitar um poderá ao menos consultá-lo.