

ELETROELETRÔNICA

JUNÇÃO PN

Introdução ao Estudo de Diodos

Junção PN

JUNÇÃO PN

A união física de um semicondutor tipo P com um semicondutor tipo N forma uma junção PN, Figura 4.1. Esta junção PN recebe o nome de *diodo semicondutor*.

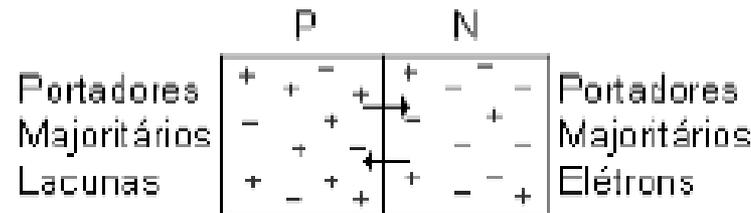


Figura 4.1 – Diodo semicondutor

Na formação da junção PN ocorre o processo de *recombinação*, no qual os elétrons do lado N mais próximos à junção migram para o lado P, Figura 4.2. Este processo ocorre até que haja o equilíbrio eletrônico e a estabilidade química, ou seja, quatro ligações covalentes em cada átomo.

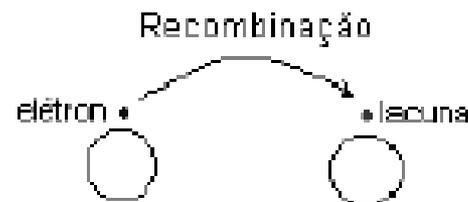
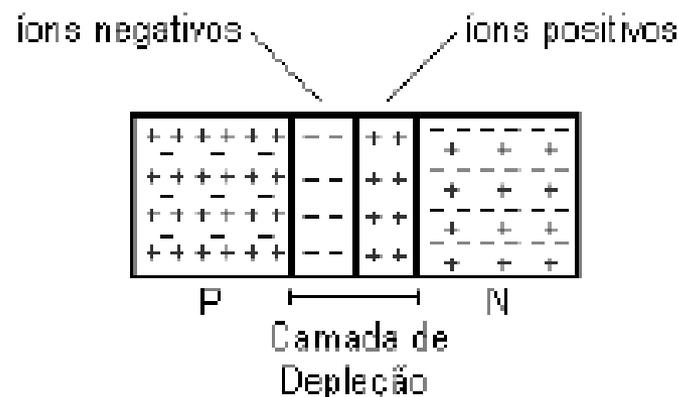


Figura 4.2 - Recombinação elétron – lacuna

Junção PN – Camada de Depleção

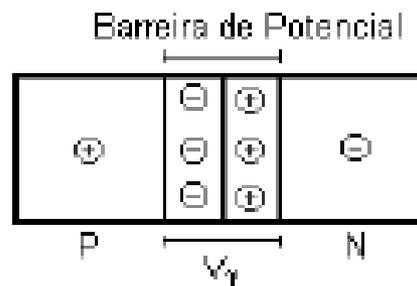
Durante o processo de recombinação forma-se, próximo à junção, a *camada de depleção*, Figura 4.3. Nesta camada há a ausência de portadores majoritários.



- Devido a sua repulsão mútua, os elétrons livres no lado n difundem-se ou espalham-se em todas as direções; alguns difundem-se através da junção.
- Quando um elétron livre sai da região n, a sua saída cria um átomo carregado positivamente (um íon positivo) na região n.
- Este portador minoritário tem uma vida média curta; logo depois de entrar na região p, o elétron livre preencherá uma lacuna. Quando isto ocorre, a lacuna desaparece e o átomo associado torna-se carregado negativamente (um íon negativo).
- Cada vez que um elétron difunde-se através da junção, ele cria um par de íons. A Fig. 11b mostra estes íons de cada lado da junção.
- Os íons estão fixos na estrutura do cristal por causa da ligação covalente e não podem se deslocar livremente como os elétrons livres e as lacunas.
- À medida que o número de íons aumenta, a região próxima à junção está totalmente esgotada de elétrons livres e lacunas. Chamamos a esta região *camada de depleção*.

Junção PN – Barreira de Potencial

Quando termina o processo de recombinação a camada de depleção fica ionizada, formando a *barreira de potencial* (V_γ), Figura 4.4. Para o silício $V_\gamma = 0,7V$ e para o germânio, $V_\gamma = 0,3V$.



- Além de um certo ponto, a camada de depleção age como uma barreira impedindo a continuação da difusão de elétrons livres através da junção.
- A intensidade da camada de depleção continua aumentando com cada elétron que a atravessa até que se atinja um equilíbrio. Neste ponto a repulsão interna da camada de depleção interrompe a difusão dos elétrons livres através da junção.
- A diferença de potencial através da camada de depleção é chamada *barreira de potencial*
- A $25^\circ C$, esta barreira de potencial é aproximadamente igual a $0,7 V$ para os diodos de silício. ($0,3V$ para diodos de germânio).

Junção PN

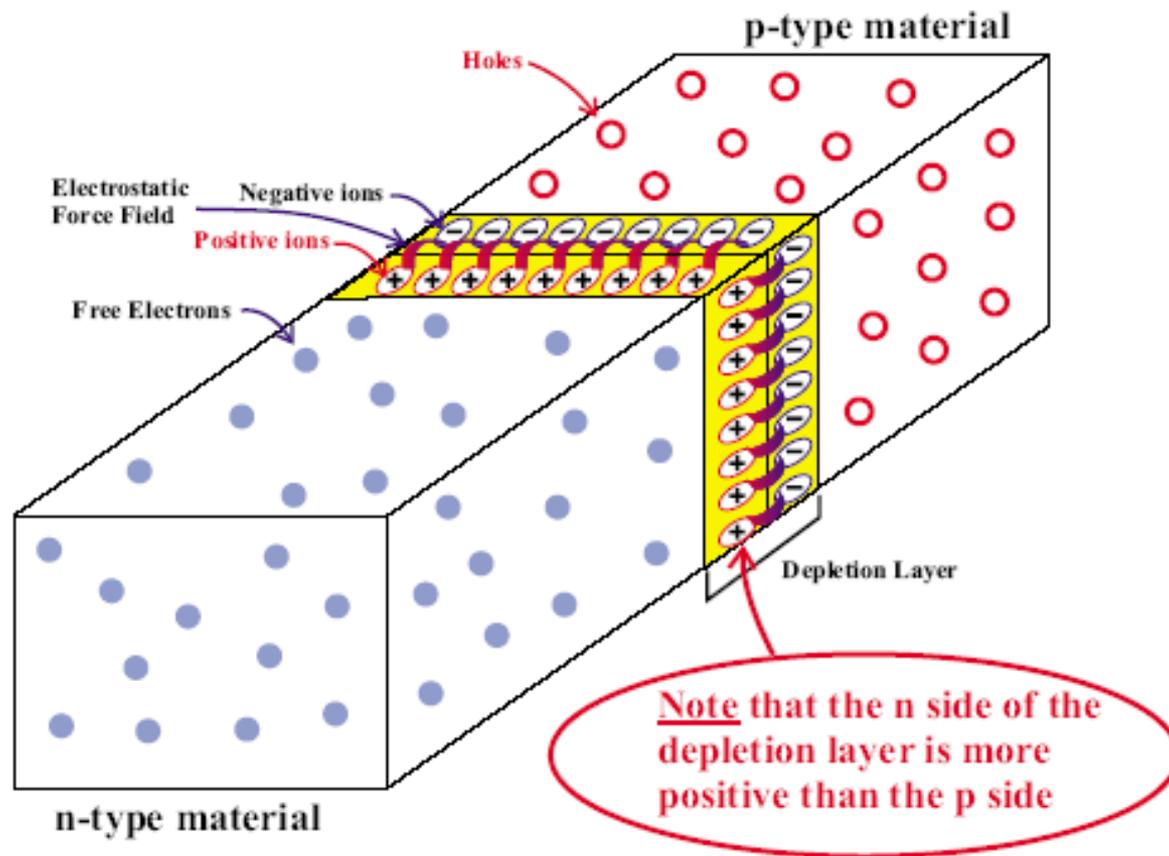


Fig.20 Silicon Crystal depicting the Depletion Layer of the Un-Biased Diode

Polarização Direta

5- POLARIZAÇÃO DIRETA

- A Fig. 12a mostra uma fonte cc aplicada através de um diodo. Na polarização *direta* o + é ligado ao lado p e o - ao lado *n*.

CORRENTE DIRETA ALTA

- A polarização direta pode produzir uma alta corrente direta porque:
 1. Depois de sair do terminal negativo, ele entra pela extremidade direita do cristal.
 2. Percorre a região *n* como um elétron livre.
 3. Próximo à junção recombina-se e torna-se um elétron de valência.
 4. Passa pela região p como um elétron de valência.
 5. Depois de sair pela extremidade esquerda do cristal, ele segue para o terminal positivo da fonte.

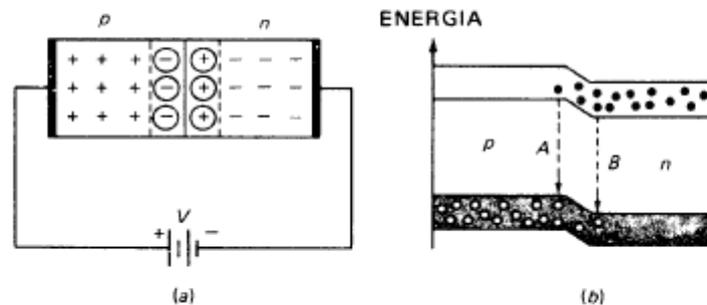


Fig. 12 (a) Polarização direta (b) Bandas

Polarização Direta

BANDAS DE ENERGIA

- A Fig. 12b mostra como visualizar o fluxo em termos de bandas de energia.
 - A barreira de potencial dá às bandas p um pouco mais de energia do que para as bandas n; é por isso que as bandas p são mais altas do que as bandas n.
 - Independentemente de onde a recombinação ocorre, o resultado é o mesmo. Um fluxo estável de elétrons de banda de condução desloca-se em direção à junção e preenche as lacunas próximas à junção. Os elétrons capturados (agora elétrons de valência) movem-se para a esquerda formando um fluxo estável através das lacunas da região p. Desta forma, obtemos um fluxo contínuo de elétrons através do diodo.
 - Conseqüentemente, à medida que os elétrons livres desaparecem ao longo dos trajetos A e B, eles descem de um nível mais alto de energia para um outro mais baixo, irradiando energia na forma de calor e de luz.
3. Próximo à junção recombina-se e torna-se um elétron de valência.
 4. Passa pela região p como um elétron de valência.
 5. Depois de sair pela extremidade esquerda do cristal, ele segue para o terminal positivo da fonte.

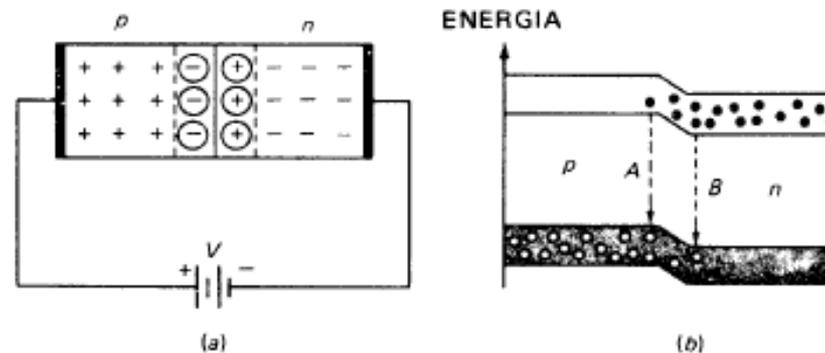


Fig. 12 (a) Polarização direta (b) Bandas

Polarização Reversa

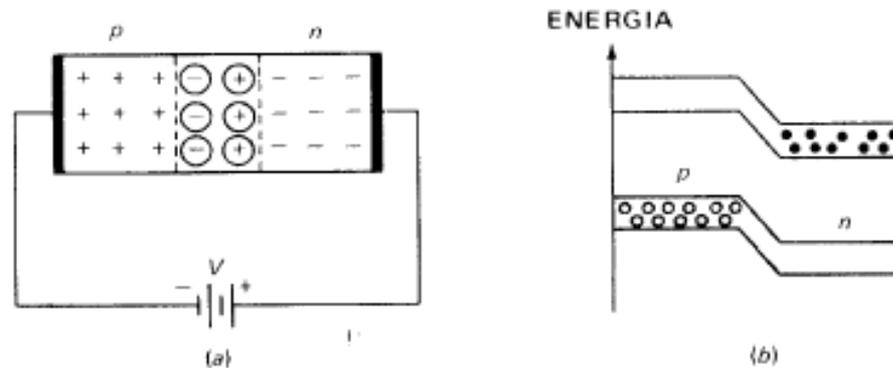


Fig. 13(a) Substituído pela polarização reversa. (b) Substituído pelas bandas de energia.

CAMADA DE DEPLEÇÃO

- A polarização reversa da Fig. 13a força os elétrons livres na região n a se afastarem da junção em direção ao terminal positivo da fonte; as lacunas da região p também se deslocam da junção para o terminal negativo.
- Os elétrons que saem deixam mais íons positivos próximos à junção, e as lacunas ao se afastarem deixam mais íons negativos. Portanto a camada de depleção fica mais larga.
- Quanto maior a polarização reversa, maior torna-se a camada de depleção. A camada de depleção pára de aumentar quando a sua diferença de potencial se iguala à tensão da fonte.
- A Fig. 13b é uma forma alternativa de se visualizar a mesma idéia.

Polarização Reversa

CORRENTE DE PORTADORES MINORITÁRIOS

- Há alguma corrente depois da camada de depleção para ajustar-se a sua nova largura? Sim. Há uma corrente muito pequena.
- A energia térmica cria continuamente um número limitado de elétrons livres e de lacunas de ambos os lados da junção. Por causa dos portadores minoritários, aparece uma pequena corrente no circuito.
- A corrente reversa produzida pelos portadores minoritários é chamada *corrente de saturação* e designada por I_S . O nome saturação nos lembra de que não podemos ter mais corrente do que a produzida pela energia térmica.
- Somente um aumento de temperatura pode aumentar I_S . I_S tem o seu valor aproximadamente dobrado para cada aumento de 10°C na temperatura. Por exemplo, se I_S for de 5 nA (nanoampéres) a 25°C , será de aproximadamente 10 nA a 35°C , 20 nA a 45°C , 40 nA a 55°C , e assim por diante.
- Um diodo de silício tem um valor de I_S muito menor do que um diodo de germânio. Esta é uma das razões pelas quais o silício domina o campo dos componentes semicondutores.

Polarização Reversa

CORRENTE DE FUGA SUPERFICIAL

- Além da corrente reversa através do cristal, há uma corrente pequena na superfície do cristal.
- Esta outra componente da corrente reversa é chamada *corrente de fuga superficial* que simbolizaremos por I_{FS} . Ela é produzida por impurezas da superfície que criam trajetos ôhmicos para a corrente.
- Da mesma forma que a corrente produzida termicamente, a corrente de fuga superficial é extremamente pequena.

CORRENTE REVERSA

- As folhas de dados informativos sobre os diodos englobam I_S e I_{FS} numa única corrente chamada corrente reversa I_R ; geralmente ela é especificada para um dado valor de tensão reversa V_R e à temperatura ambiente T_A .
- Como I_S varia com a temperatura e I_{FS} com a tensão, I_R varia com a temperatura e com a tensão. Por exemplo, a I_R de um 1N914 (um diodo muito usado) é de 25 nA para uma tensão reversa V_R de 20 V e à temperatura ambiente de T_A de 25°C.

Polarização Reversa

TENSÃO DE RUPTURA

- Se você aumentar a tensão reversa, positivamente atingirá um ponto de ruptura, chamado **tensão de ruptura do diodo**.
- Para diodos retificadores a tensão de ruptura é geralmente maior do que 50 V.
- Uma vez atingida a tensão de ruptura, o diodo pode conduzir intensamente.
- De onde provém subitamente os portadores ? A Fig. 14a mostra um elétron livre produzido termicamente, e uma lacuna dentro da camada de depleção. Devido à polarização reversa, o elétron livre é empurrado para a direita. À medida que se desloca, ele ganha velocidade.
- Quanto maior a polarização reversa, mais rápido desloca-se o elétron. Pouco depois o elétron livre pode colidir com um elétron de valência. Se o elétron livre tiver energia suficiente, ele pode desalojar o elétron de valência, de modo a formar dois elétrons livres (Fig. 14c). Agora os dois podem se acelerar e desalojar outros elétrons de valência até ocorrer a maior avalanche possível. Por causa do grande número de elétrons livres, o diodo conduzirá intensamente.

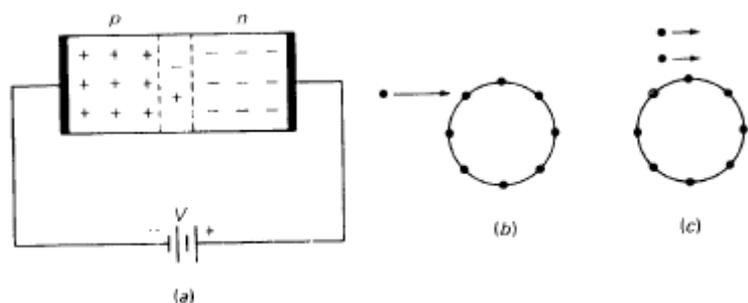


Fig. 14 Ruptura (a) Portadores minoritários na camada de depleção. (b) O elétron livre atinge o elétron de valência. (c) Dois elétrons livres.

- Não se permite na maioria dos diodos que cheguem ao rompimento. Através de um projeto conveniente, a tensão reversa através de um diodo retificador é sempre mantida abaixo da sua tensão de ruptura.
- Não há nenhum símbolo padrão para a tensão de ruptura. Tem sido simbolizada em várias folhas de dados de especificação de componentes da seguinte forma:

$V_{(BR)}$: tensão de ruptura

PIV: tensão reversa de pico

BV: tensão de ruptura

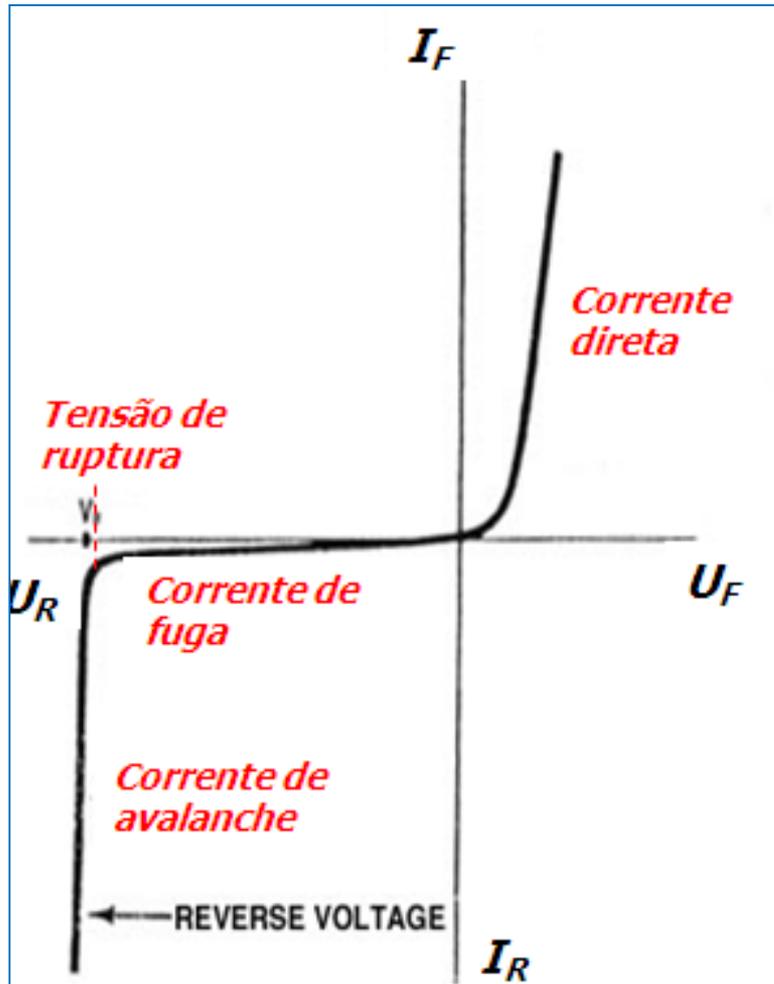
V_{RWM} : tensão reversa máxima de trabalho

PRV: tensão reversa de pico

V_{RM} : tensão reversa máxima

e outras. Algumas delas são especificações cc e outras especificações ca.

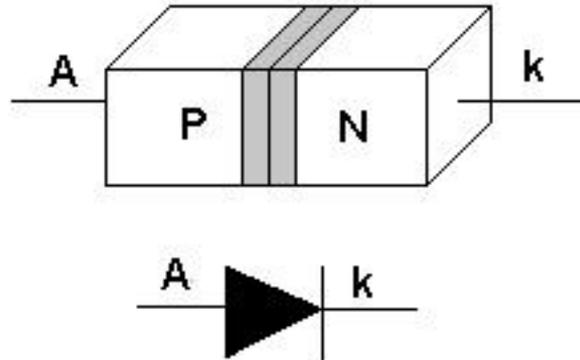
Curva Característica



- Pode-se observar na curva característica do **1º quadrante** (diodo polarizado diretamente) que à medida que se aumenta a tensão direta (U_F) a corrente direta (I_F) também aumenta.
- Na curva do **3º quadrante** (diodo polarizado inversamente) podemos observar que para uma dada faixa da tensão inversa (U_R) a corrente inversa (I_R) é desprezível (corrente de fuga). A tensão inversa não pode atingir a tensão de ruptura pois isso acarreta que o diodo passe a conduzir em sentido contrário (rompeu a junção PN).

O Diodo

Um diodo é um dispositivo constituído por uma junção de dois materiais semicondutores (em geral silício ou germânio dopados), um do tipo n e o outro do tipo p , ou de um material semicondutor e de um metal, sendo usualmente representado pelo símbolo da figura abaixo:



- Os terminais A e K são respectivamente o ânodo e o cátodo.
- Este dispositivo permite a passagem de corrente, com facilidade, num sentido, e oferece uma grande resistência à sua passagem no sentido contrário.

O Diodo

Na Figura 4.5 apresenta-se o símbolo elétrico do diodo semiconductor e o componente eletrônico, propriamente dito. No lado P do diodo semiconductor conecta-se um terminal que recebe o nome de *ânodo* (A). Já no lado N, o terminal é denominado de *cátodo* (K).

No símbolo elétrico do diodo semiconductor o lado que tem o traço transversal, corresponde ao cátodo. Logo, o outro lado é o ânodo.

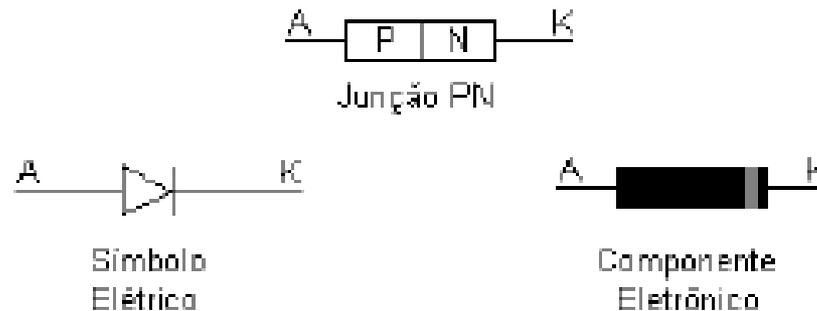


Figura 4.5 - Símbolo elétrico do diodo semiconductor

No componente eletrônico o lado que contém o anel cinza, ou prateado, é o cátodo. Conseqüentemente, o outro lado é o ânodo.