

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO - UNICAMP

EE 833 - ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

COMPONENTES SEMICONDUTORES RÁPIDOS DE POTÊNCIA

4.1 Breve Revisão da Física de Semicondutores

A passagem de corrente elétrica em um meio depende da aplicação de um campo elétrico e da existência de portadores livres (usualmente elétrons) neste meio. Em metais, como o cobre ou a prata, a densidade de portadores livres (elétrons) é da ordem de $10^{23}/\text{cm}^3$, enquanto nos materiais isolantes, como o quartzo ou o óxido de alumínio, o valor é da ordem de $10^3/\text{cm}^3$. Os chamados semicondutores, como o silício, têm densidades intermediárias, na faixa de 10^8 a $10^{19}/\text{cm}^3$. Nos condutores e nos isolantes, tais densidades são propriedades dos materiais. O mesmo vale para as estruturas cristalinas (puras) dos semicondutores.

4.1.1 Os portadores: elétrons e lacunas

Átomos de materiais com quatro elétrons em sua camada mais externa (C, Ge, Si, etc.), ou ainda moléculas com a mesma propriedade, permitem o estabelecimento de ligações químicas muito estáveis, uma vez que, pelo compartilhamento dos elétrons externos com átomos vizinhos (ligação covalente), tem-se um arranjo com 8 elétrons na camada de valência, como ilustra a figura 4.1.

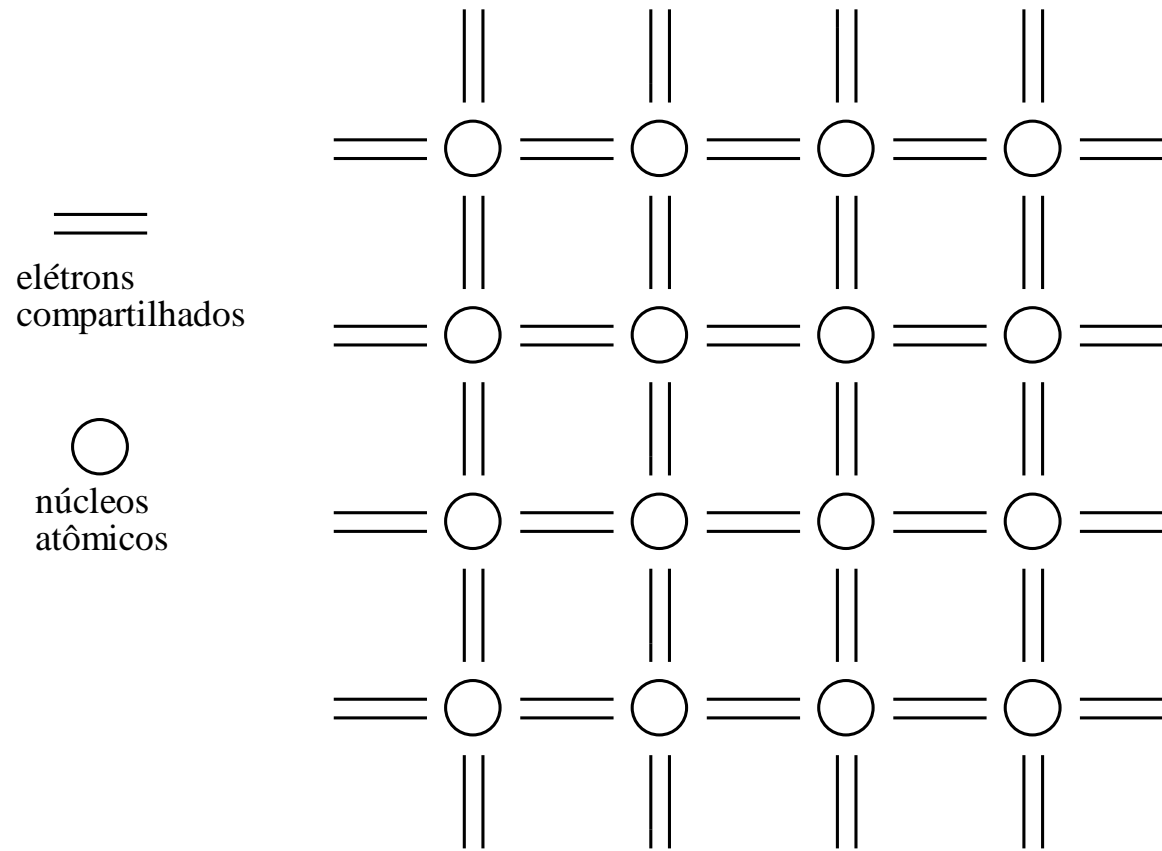


Figura 4.1 – Estrutura cristalina de material semiconductor

Em qualquer temperatura acima do zero absoluto ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), algumas destas ligações são rompidas (ionização térmica), produzindo elétrons livres. O átomo que perde tal elétron se torna ionizado positivamente. Ocasionalmente um outro elétron também escapa de outra ligação e, atraído pela carga positiva do átomo ionizado, preenche a ligação covalente, cancelando a carga total. Desta maneira tem-se uma movimentação relativa da “carga positiva”, chamada de lacuna que, na verdade, é devida ao deslocamento dos elétrons que saem de suas ligações covalentes e vão ocupar outras.

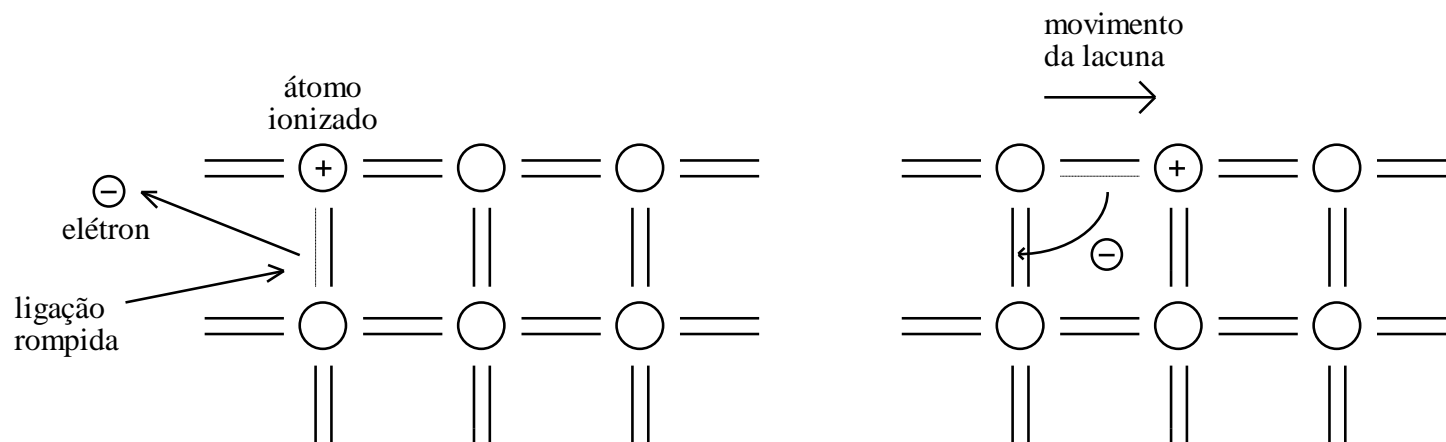


Figura 4.2 – Movimento de elétrons e lacunas em semicondutor

4.1.2 Semicondutores dopados

Quando se faz a adição à estrutura dos semicondutores de átomos de materiais que possuam 3 (como o alumínio ou o boro) ou 5 elétrons (como o fósforo) em sua camada de valência, os átomos vizinhos a tal impureza terão suas ligações covalentes incompletas ou com excesso de elétrons, como mostra a figura 4.3

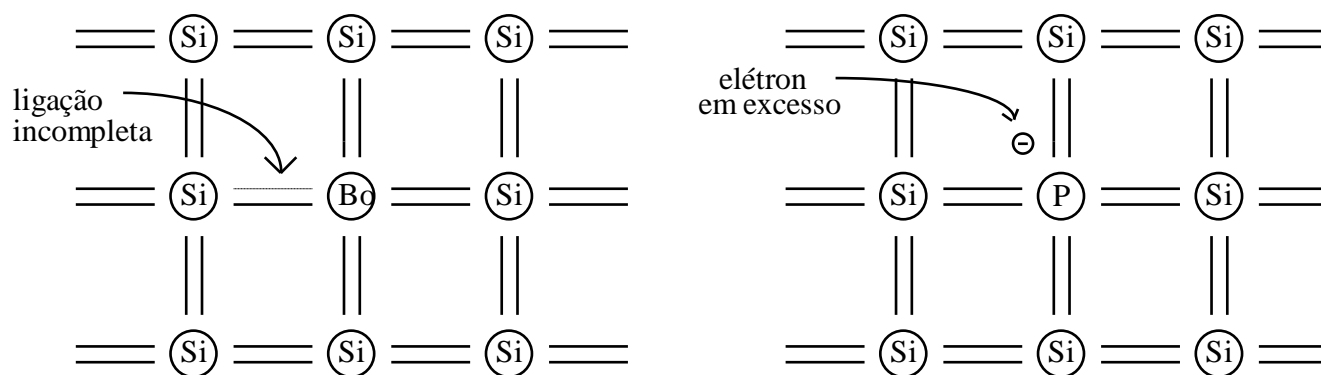


Figura 4.3 – Semicondutores dopados

As dopagens das impurezas ($10^{19}/\text{cm}^3$ ou menos), tipicamente são feitas em níveis muito menores que a densidade de átomos do material semicondutor ($10^{23}/\text{cm}^3$), de modo que as propriedades de ionização térmica não são afetadas.

4.1.3 Recombinação

Uma vez que a quantidade de portadores é determinada apenas por propriedades do material e pela temperatura, é necessário que exista algum mecanismo que faça a *recombinação* do excesso de portadores à medida que novos portadores são criados pela ionização térmica.

Tal mecanismo inclui tanto a recombinação propriamente dita de um elétron com uma lacuna em um átomo de Si, quanto a captura dos elétrons pela impureza ionizada ou, adicionalmente, por imperfeições na estrutura cristalina. Tais imperfeições fazem com que os átomos adjacentes não necessitem realizar quatro ligações covalentes.

Pode-se definir o “tempo de vida” de um portador como o tempo médio necessário para que o elétron ou a lacuna sejam “neutralizados” pela consecussão de uma ligação covalente. Em muitos casos pode-se considerar o “tempo de vida” de um portador como uma constante do material. No entanto, especialmente nos semicondutores de potência, esta não é uma boa simplificação.

4.1.4 Correntes de deriva e de difusão

Quando um campo elétrico for aplicado em um material semicondutor, as lacunas se movimentarão no sentido do campo decrescente, enquanto os elétrons seguirão em sentido oposto. Esta corrente depende de um parâmetro denominado “mobilidade”, a qual varia com o material e tipo de portador. A mobilidade dos elétrons é aproximadamente 3 vezes maior do que a das lacunas para o Si em temperatura ambiente. A mobilidade diminui aproximadamente com o quadrado do aumento da temperatura.

Outro fator de movimentação de portadores é por “difusão”, quando existem regiões adjacentes em que há diferentes concentrações de portadores. O movimento aleatório dos portadores tende a equalizar sua dispersão pelo meio, de modo que tende a haver uma migração de portadores das regiões mais concentradas para as mais dispersas.

4.2 Diodos de Potência

Um diodo semicondutor é uma estrutura P-N que, dentro de seus limites de tensão e de corrente, permite a passagem de corrente em um único sentido. Detalhes de funcionamento, em geral desprezados para diodos de sinal, podem ser significativos para componentes de maior potência, caracterizados por uma maior área (para permitir maiores correntes) e maior comprimento (a fim de suportar tensões mais elevadas).

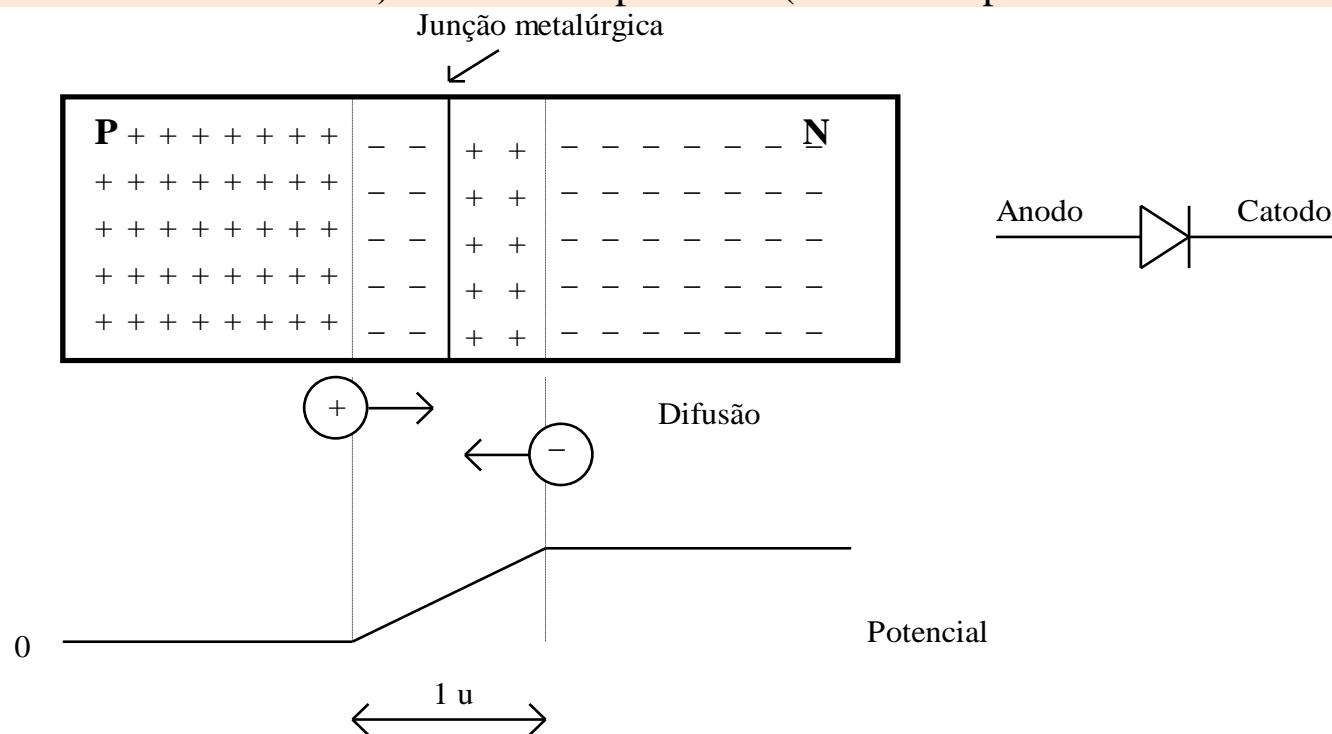


Figura 4.4 Estrutura básica de um diodo semicondutor.

- Quando se polariza reversamente um diodo, tensão negativa no anodo (região P) e positiva no catodo (região N), mais portadores positivos (lacunas) migram para o lado N, e vice-versa, de modo que a largura da região de transição aumenta, elevando a barreira de potencial.
 - Por difusão ou efeito térmico, certa quantidade de portadores minoritários penetra na região de transição. São, então, acelerados pelo campo elétrico, indo até a outra região neutra do dispositivo. Esta corrente reversa independe da tensão reversa aplicada, variando, basicamente, com a temperatura.
 - Se o campo elétrico na região de transição for muito intenso, os portadores em trânsito obterão grande velocidade e, ao se chocarem com átomos da estrutura, produzirão novos portadores, os quais, também acelerados, produzirão um efeito de avalanche. Dado o aumento na corrente, sem redução significativa na tensão na junção, produz-se um pico de potência que destrói o componente.
-
- Uma **polarização direta** leva ao estreitamento da região de transição e à redução da barreira de potencial. Quando a tensão aplicada superar o valor natural da barreira, cerca de 0,7V para diodos de Si, os portadores negativos do lado N serão atraídos pelo potencial positivo do anodo e vice-versa, levando o componente à condução.

A estrutura interna de um diodo de potência é mais complexa. Existe uma região N intermediária, com baixa dopagem. O papel desta região é permitir ao componente suportar tensões mais elevadas, pois tornará menor o campo elétrico na região de transição (que será mais larga, para manter o equilíbrio de carga).

Esta região de pequena densidade de dopante resulta uma significativa característica resistiva quando em condução, mais significativa quanto maior for a tensão de bloqueio. As camadas que fazem os contatos externos são altamente dopadas, para ter um contato com característica ôhmica.

O contorno arredondado entre as regiões de anodo e catodo tem como função criar campos elétricos mais suaves (evitando o efeito de pontas).

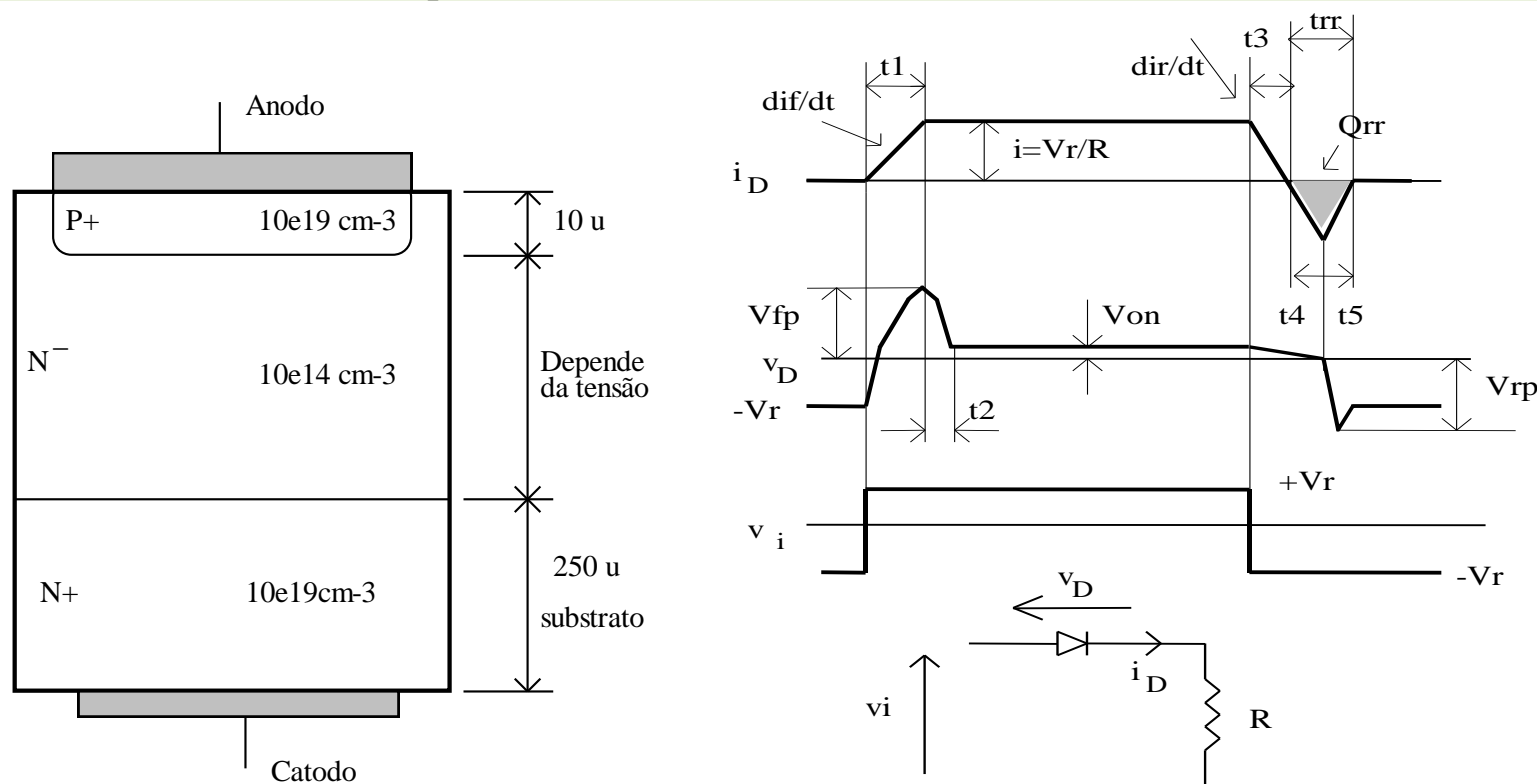
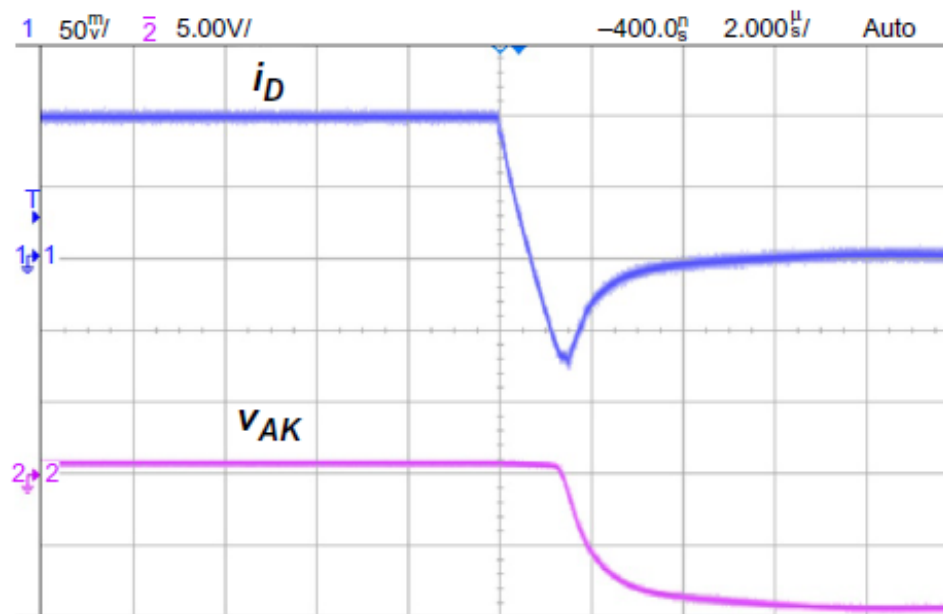
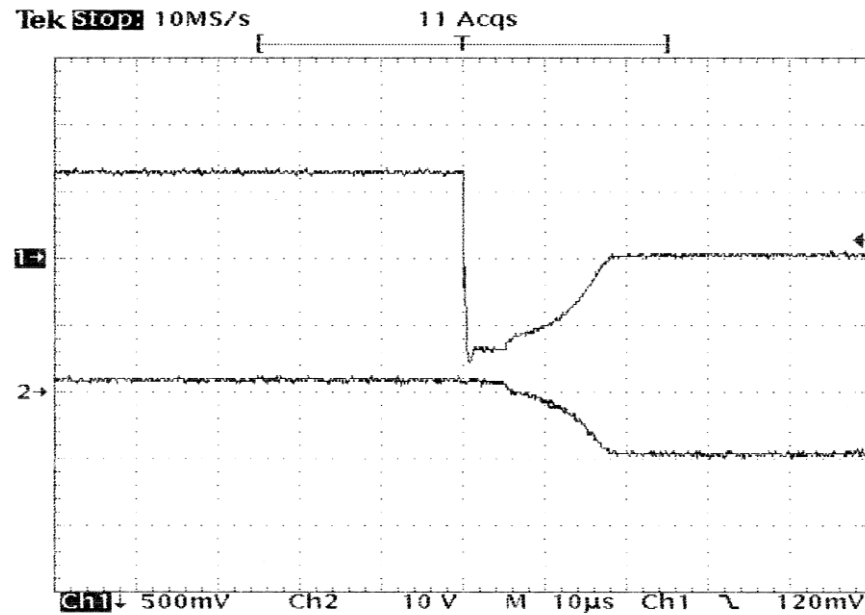


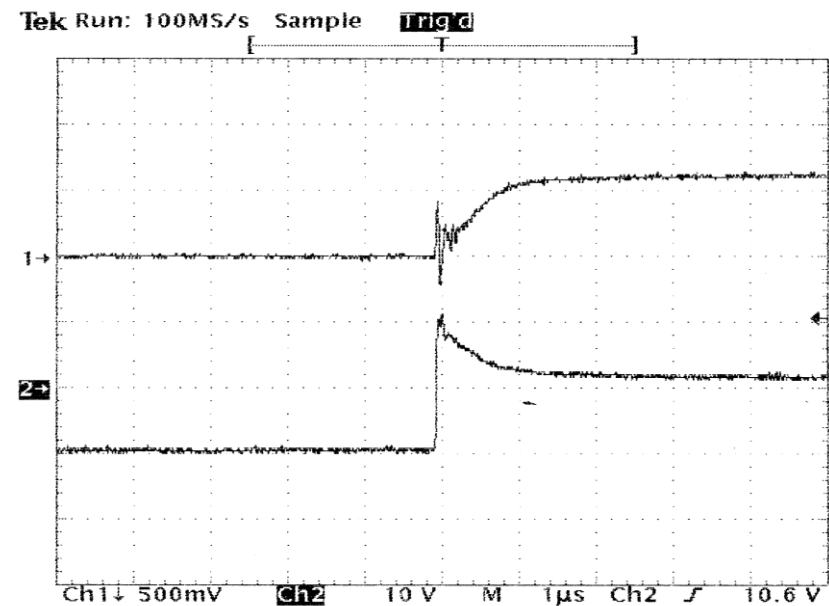
Figura 4.5 - Estrutura típica de diodo de potência e formas de onda típicas de comutação.



Resultados experimentais de desligamento de diodo rápido



(a)



(b)

Figura 4.6 - Resultados experimentais das comutações de diodo lento (para uso em 50/60Hz): (a) desligamento; (b) entrada em condução. Canal 1: Corrente; Canal 2: tensão V_{ak}

4.3 Diodos Schottky

Em uma junção entre um terminal metálico e um material semicondutor, o contato tem, tipicamente, um comportamento ôhmico, ou seja, a resistência do contato governa o fluxo da corrente. Quando este contato é feito entre um metal e uma região semicondutora com densidade de dopante relativamente baixa, o efeito dominante deixa de ser o resistivo, passando a haver também um efeito retificador.

Um diodo Schottky é formado colocando-se um filme metálico em contato direto com um semicondutor. O metal é usualmente depositado sobre um material tipo N, por causa da maior mobilidade dos portadores neste tipo de material. A parte metálica será o anodo e o semicondutor, o catodo.

Numa deposição de Al (três elétrons na última camada), os elétrons do semicondutor tipo N migrarão para o metal, criando uma região de transição na junção.

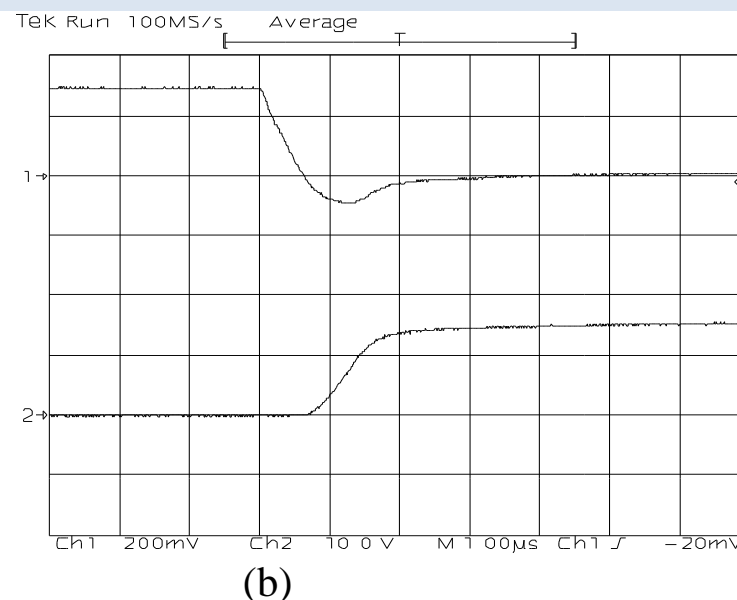
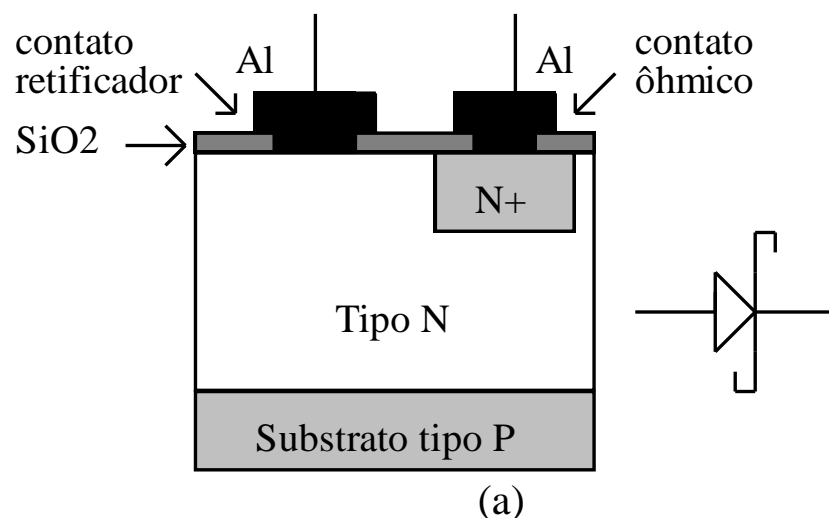


Figura 4.7 - (a) Estrutura de diodo Schottky; (b) Forma de onda típica no desligamento. Canal 1: Corrente; Canal 2: tensão V_{ak}