



Eletrônica Analógica

Semicondutores

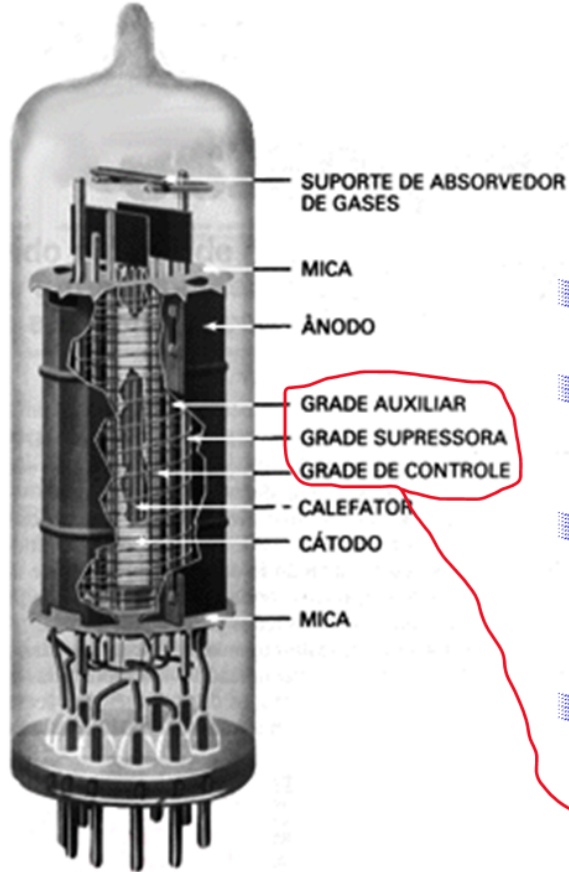
Parte I

© Prof. Eng^o esp Luiz Antonio Vargas Pinto
www.vargasp.com
Ver. Ago/2025



A válvula termoiônica

- ▣ Desenvolvida por John Ambrose Fleming em 1906
- ▣ Permite controlar o fluxo de elétrons pela temperatura
 - ☒ Razão do termo TERMOIÔNICA
- ▣ A eletrônica foi alavancada com essa descoberta e muitos avanços foram alcançados



Análise

- ❏ O problema mais difícil de resolver estava na própria tecnologia.
- ❏ Para obter calor é necessário trabalhar com correntes elevadas e estas exigem transformadores pesados e grandes
- ❏ A fragilidade do invólucro de vidro – considere que na época (1906) era necessário o uso de vácuo para ter os elétrons livres obtidos pela temperatura.
- ❏ Evitando detalhes, o fluxo podia ser controlado pela tensão aplicada em sua grade.

Uma escalada de tempo

- Parando o tempo, recuando alguns anos atrás, a válvula inventada por John Ambrose Fleming (1849-1945) passou a ser aplicada para **retificação de corrente alternada** (LUZ; ALVÁRES, 2006, p.299).
- Entretanto, o **diodo de junção** foi criado pelo cientista Russell Shoemaker Ohl (1898-1987) em **1940**, algumas décadas depois do diodo de Fleming (Válvula).
- De um modo ou de outro, o destino final, sem sobra de dúvida seriam os componentes em **estado sólido** (ou Solid State).



Solid State



Marketing para
informar o uso de
componentes
eletrônicos de estado
sólido – leves e
inquebráveis

O princípio do semicondutor

- ▣ Agora o caminho está traçado. Os semicondutores são a razão de ordem do dia.
- ▣ De modo estranho, considerando que o efeito do semicondutor é permitir fluxo de elétrons em um único sentido, não se trata de uma propriedade geral de qualquer material.
- ▣ "No ano de 1869, Dimitri Mendeleev iniciou os estudos a respeito da organização da tabela periódica dos elementos através de um livro sobre os cerca de 60 elementos conhecidos na época, cujas propriedades ele havia anotado em fichas separadas"

(<https://www.infoescola.com/quimica/tabela-periodica/>)

Da tabela periódica

- Os elementos das colunas **IIB** até **VA** são os que intrigaram os cientistas por suas propriedades.
- Dentre estes, o **Si** e o **Ge** presentes na coluna **IVA**
- Pode parecer coincidência, mas não é. Ambos tem **4 elétrons** na última camada.

Camadas e Capacidade Máxima de Elétrons:

- Camada K: 2 elétrons
- Camada L: 8 elétrons
- Camada M: 18 elétrons
- Camada N: 32 elétrons
- Camada O: 32 elétrons
- Camada P: 18 elétrons
- Camada Q: 8 elétrons

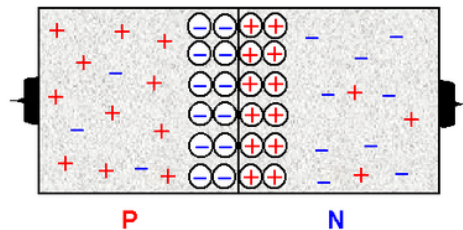
IIIA		IVA		VA		VIA		VIIA	
5 10,811 3 B Boro	6 12,01115 ±4,2 4800 3727g 2,26 C Carbono	7 14,0067 ±3,5,4,2 -195,8 -210 0,81 N Nitrogênio	8 15,9994 -2 -183 -218,8 -14 O Oxigênio	9 18,9984 -1 -188,2 -219,6 1,505 F Flúor					
13 26,9815 3 Al Alumínio	14 28,086 4 Si Silício	15 30,9738 ±3,5,4 280w 44,2w 1,50w P Fósforo	16 32,064 ±2,4,6 44,6 119,0 1,07 S Enxofre	17 35,453 ±1,3,5,7 -34,7 -101,0 1,56 Cl Cloro					
30 65,37 2 Zn Zinco	31 69,72 3 Ga Gálio	32 72,59 4 Ge Germânio	33 74,922 ±3,5 613- 817 5,72 As Arsênio	34 78,96 -2,4,6 85 17 79 Se Selênio	35 79,904 ±1,5 58 -7,2 3,12 Br Bromo				
48 112,40 2 Cd Cádmio	49 114,82 3 In Índio	50 118,69 4,2 2270 231,9 7,30 Sn Estanho	51 121,75 ±3,5 1380 600,5 8,62 Sb Antimônio	52 127,60 -2,4,6 989,8 649,5 3,24 Te Telúrio	53 126,904 ±1,5,7 183 113,7 4,94 I Iodo				
80 200,59 2,1 367 -33,4 13,0 Hg Mercúrio	81 204,37 3,1 1457 303 11,85 Tl Tálio	82 207,19 4,2 1725 327,4 11,4 Pb Chumbo	83 208,960 3,5 1500 271,3 9,8 Bi Bismuto	84 (210) 2,4 254 (1,2) Po Polônio	85 (210) ±1,3,5,7 - (302) At Astató				

Dopagem

- Este comportamento foi quimicamente produzido e mesmo assim, não deixou de assombrar os cientistas.
- Usando basicamente Ge e algum outro elemento como impureza em quantidade menor, geralmente Índio ou Fósforo, que chamamos de dopagem.
- "A dopagem de semicondutores foi desenvolvida originalmente por John Robert Woodyard, a serviço da Sperry Gyroscope Company, durante a 2ª Guerra Mundial. Seu deslocamento para a área de radares impediu Woodyard de prosseguir na pesquisa de dopagem de semicondutores. Entretanto, após o fim da guerra, sua patente foi objeto de extenso litígio com Sperry Rand"

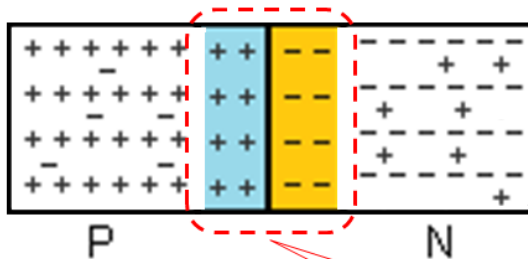
Processo

- Em uma simples explicação, criamos dois tipos de materiais. Um de característica **POSITIVA**, outro de característica **NEGATIVA**.
- Procedendo um processo de dopagem correto, o material **P** e o material **N** ainda possuem propriedades do Ge mas são carregados positivamente ou negativamente. Em outras palavras, temos Ge^+ e Ge^- .
- Fundindo as partes \oplus e \ominus acontece um fenômeno natural: os elétrons livres em Ge^- e as lacunas em Ge^+ são atraídas na divisa do material.



A zona de depleção

Aqui vemos que surge uma região onde as cargas se atraem, mas procedendo a dopagem corretamente, estas não tem força para migrarem naturalmente de um lado ao outro e temos o surgimento de uma **DDP** na emenda (ou mais conhecida como **junção**)



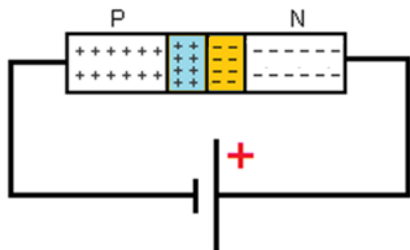
Chamada **Zona de Depleção**.
No diodo de Ge $\cong 0.32V$ e
no Si $\cong 0.65V$

Polarização desfavorável

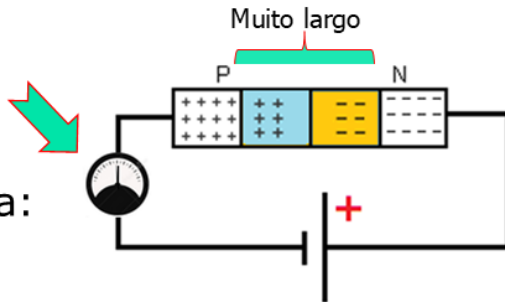
Isto, no entanto, ainda não explica a semicondução.

Vamos então aos fatos:

1. O que acontece se alimentarmos uma carga através de uma bateria da seguinte forma:



Ela distorce as cargas da forma:

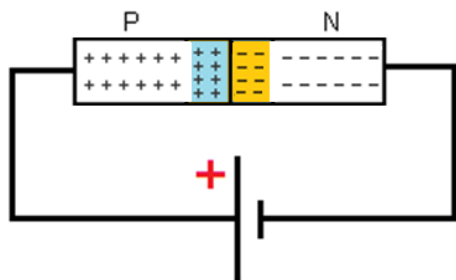


Ela aumenta a região de depleção e afasta os elétrons livres da junção bloqueando a condução.

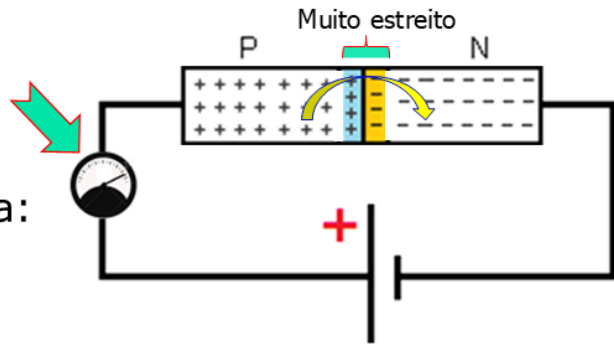
Quanto maior o valor da bateria, maior é o afastamento

Polarização favorável

Vamos então inverter a polaridade da bateria:



que distorce as cargas da forma:

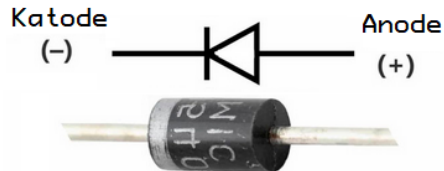


Ela diminui drasticamente a região de depleção forçando o fluxo dos elétrons livres pela junção.

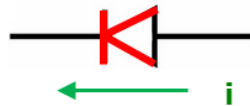
Em outras palavras... a corrente flui

Simbologia e dica

Observe que o símbolo do diodo é uma flecha



E que a ponta da flecha é uma letra **K** de Katode



O qual indica a direção da corrente convencional **i**

Tipos

☐ Existem várias aplicações para o diodo em eletrônica:

☒ Retificador

☒ Zener

☒ LED

☒ LASER

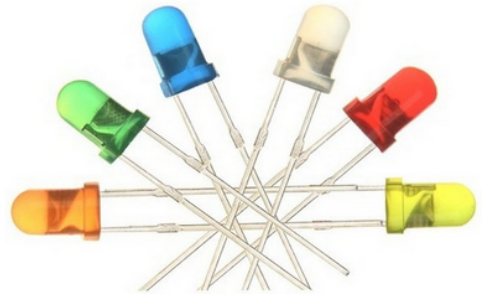
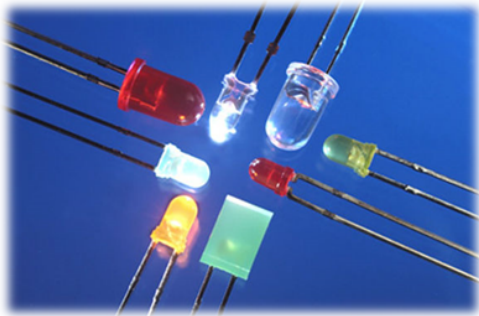
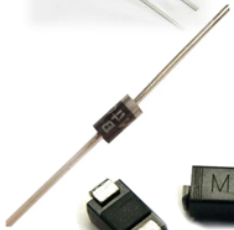
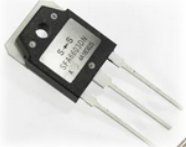
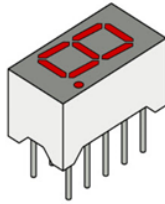
☒ Tunel

☒ High Speed

☒ etc...

☐ É claro que cada um tem seu próprio símbolo elétrico

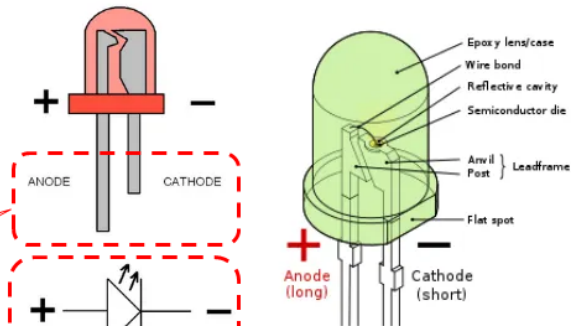
Modelos



LED

De Light Emitting Diode ou diodo emissor de luz

Sua principal característica é emitir Luz quando está conduzindo

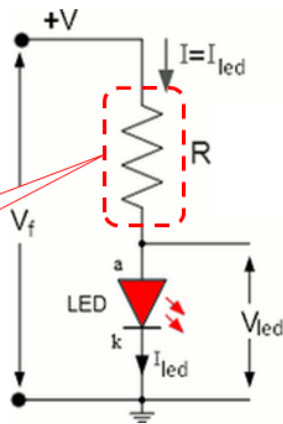


Terminal curto é o catodo

Símbolo

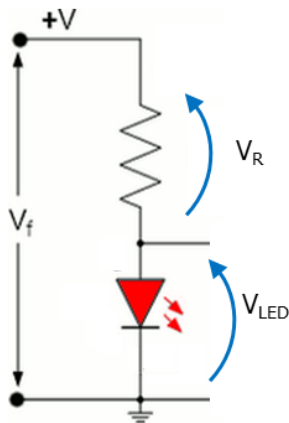
Um LED de uso geral

Este usa corrente baixa, máximo de 20 mA e possui uma queda de tensão constante e cerca de 0.6V . Assim:



<https://www.electronica-pt.com/led>

Resistor em série para limitar a corrente pelo diodo



$$V_f = V_R + V_{LED}$$

$$V_f = R \times I_{LED} + V_{LED}$$

$$V_f = R \times 20 \times 10^{-3} + 0.6$$

$$V_f - 0.6 = R \times 20 \times 10^{-3}$$

$$\frac{V_f - 0.6}{20 \times 10^{-3}} = R$$

Ou seja, o valor de R depende do valor DC aplicado ao LED. E se passar de 20 mA o LED queima

Continuaremos mais a
frente com os demais
diodos importantes



Até mais, a gente se vê