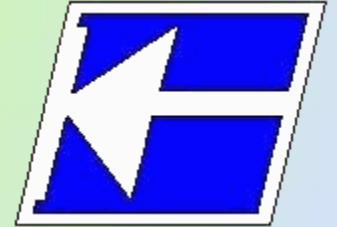


Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Retificadores



Materiais semicondutores e junções P-N

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, outubro de 2008.

Bibliografia para esta aula

Capítulo 1: Diodos semicondutores

1. Características dos diodos.



Nesta aula

Seqüência de conteúdos:

1. Introdução;
2. Diodo ideal;
3. Materiais semicondutores;
4. Níveis de energia;
5. Materiais extrínsecos dos tipos N e P;
6. Diodo semicondutor.

Introdução

A importância da eletrônica:

1. Telecomunicações e entretenimento;
2. Computadores e calculadoras;
3. Sistemas de controle automático;
4. Instrumentação;
5. Eletrônica automotiva;
6. Geração e distribuição de energia;
7. Radar;
8. Circuitos integrados;
9. Entre outros

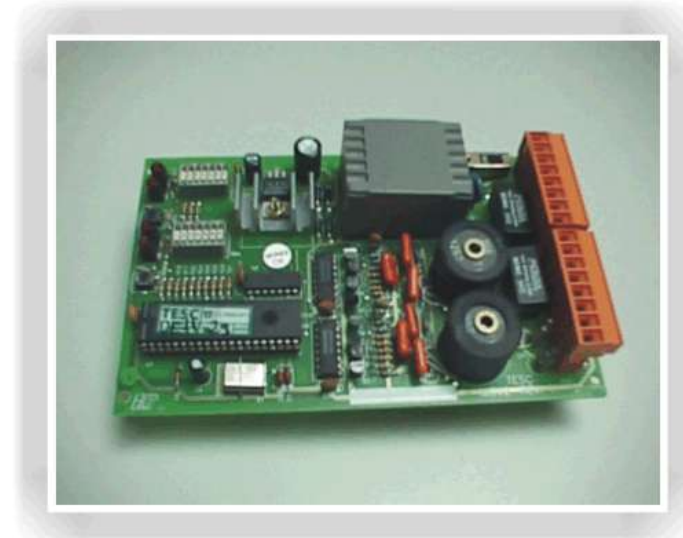
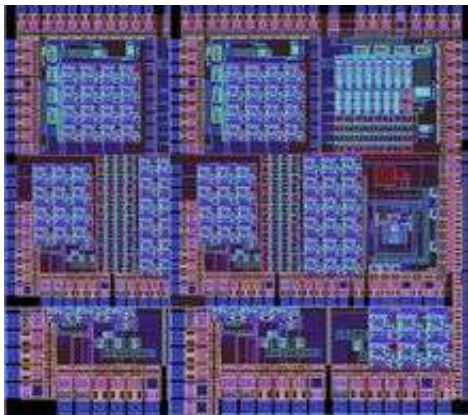
Capítulo 1



Introdução

Projeto de circuitos eletrônicos:

Um dispositivo eletrônico é um componente que utiliza alguma fonte de energia, tal como tensão elétrica ou luz, para controlar o fluxo da corrente eletrônica.



Introdução

Breve história dos semicondutores

1748	Motor elétrico por Thomas Alva Edison
.... 1880	Estudo de métodos de retificação
1880	George Stanley implementou o transformador
1883	Diodo de selenium por C. T. Fritts
1883	Efeito termiônico
1888	Motor de indução por Tesla
1891	Geração hidrelétrica por Siemens
1900	Lâmpadas de vapor de mercúrio por P. Cooper-Hewitt
1901	Explicação do efeito termiônico por O. W. Richardson
1903	Diodo de tubo de vácuo
1903	Previsão de controlar o retificador de mercúrio por Cooper-Hewitt
1904	Retificação com o efeito termiônico por J. A. Fleming

Disponível em:

www.cefetsc.edu.br/~petry



Pesquisa



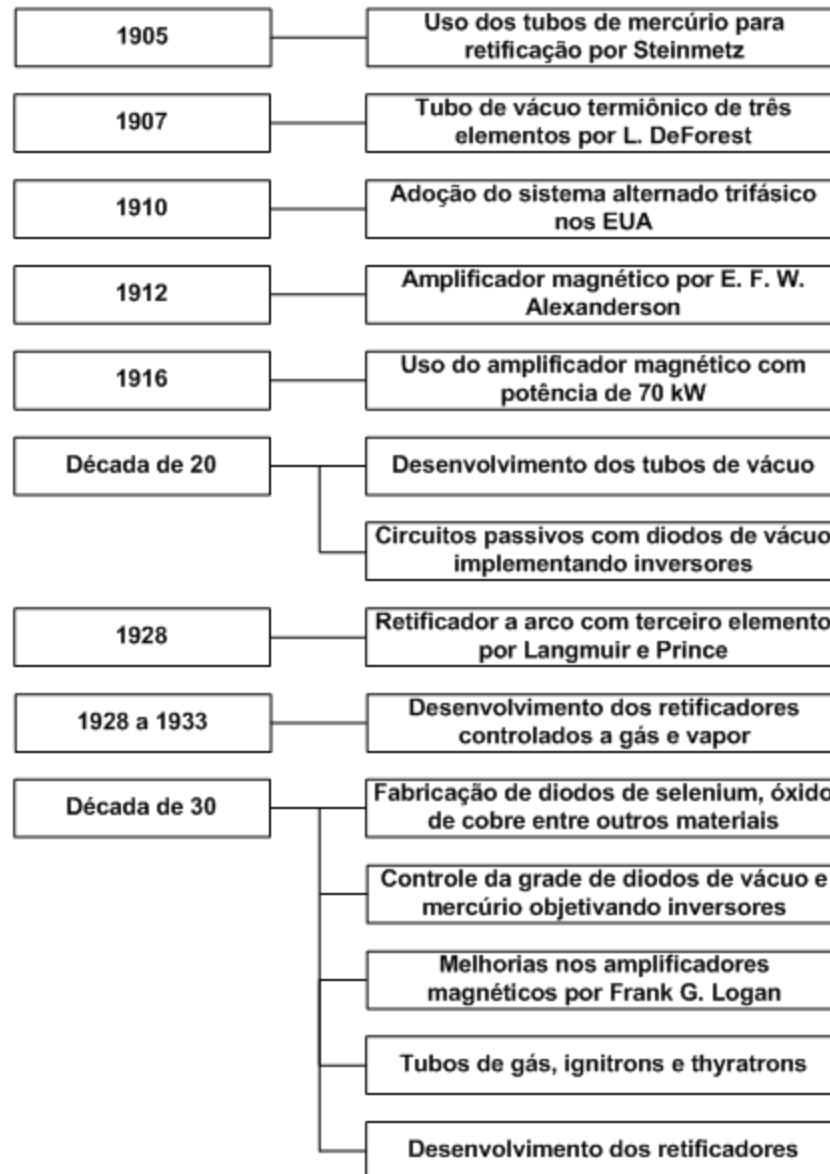
Divulgação



Exame de qualificação

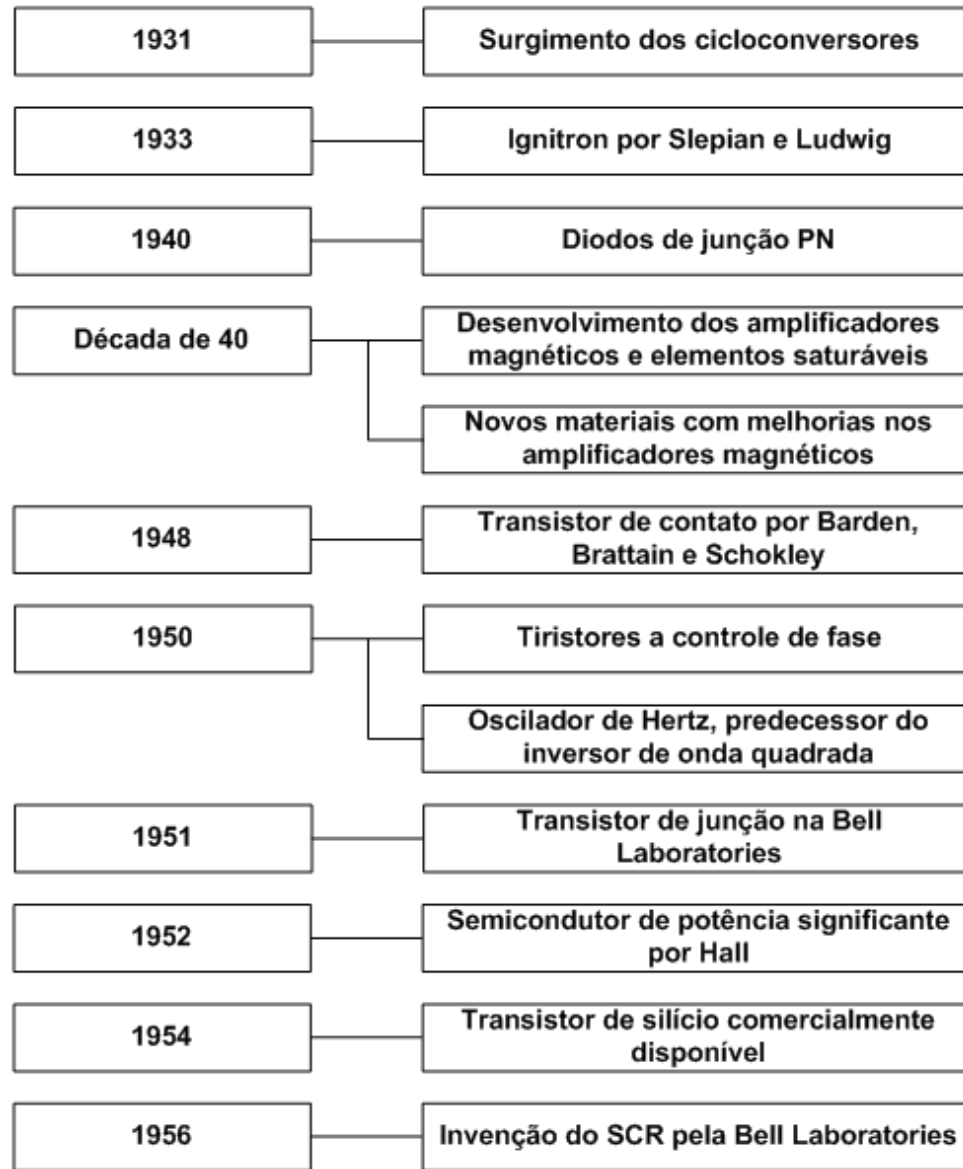
Introdução

Breve história dos semicondutores



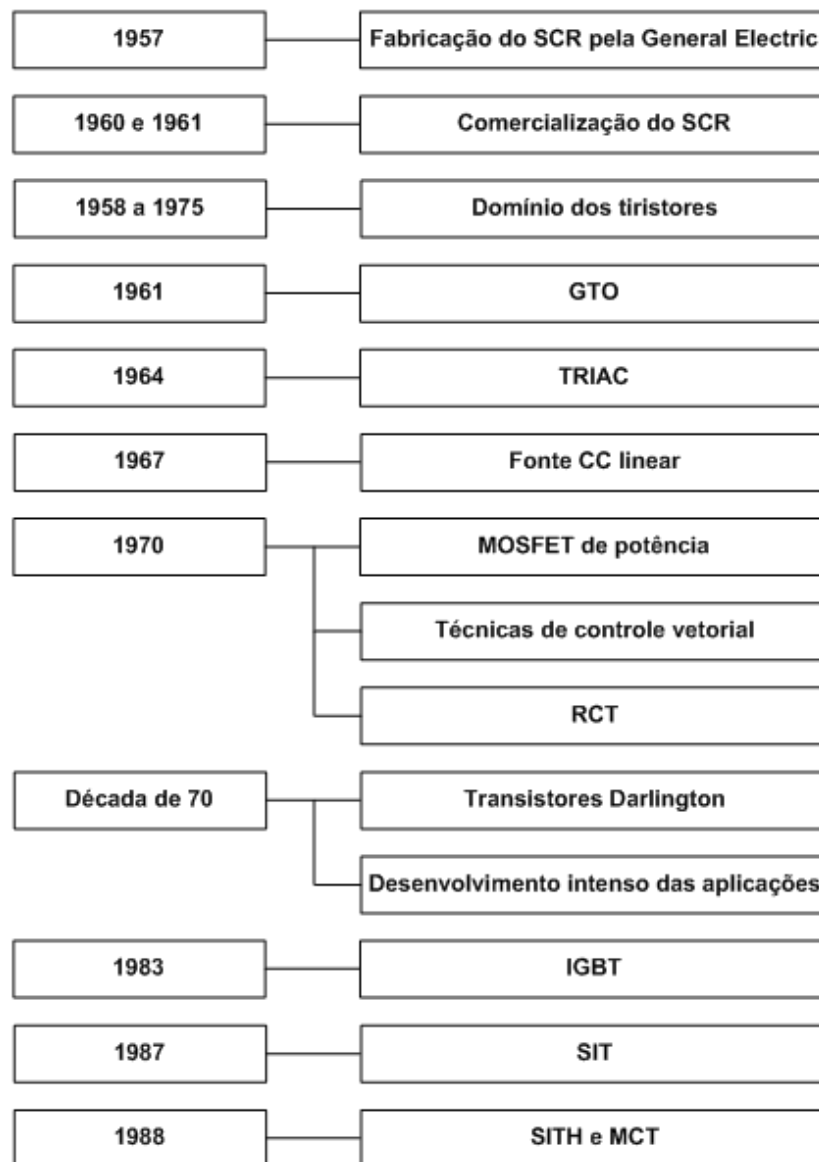
Introdução

Breve história dos semicondutores



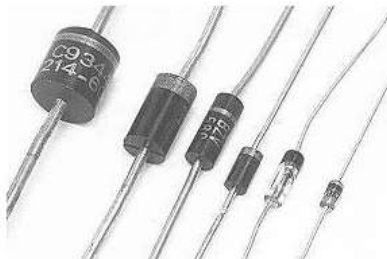
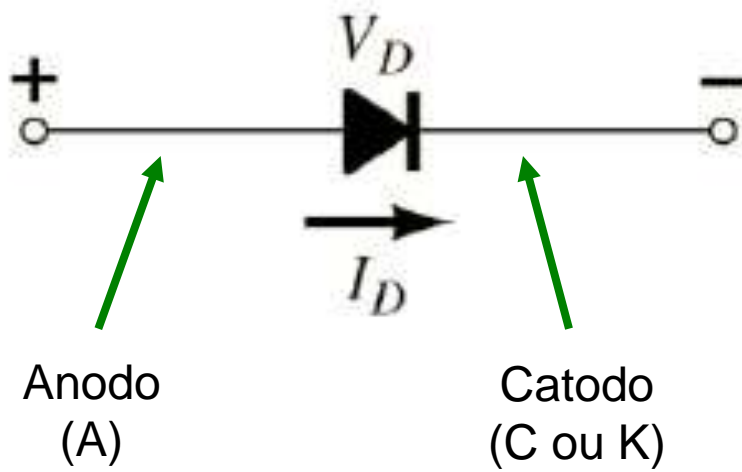
Introdução

Breve história dos semicondutores

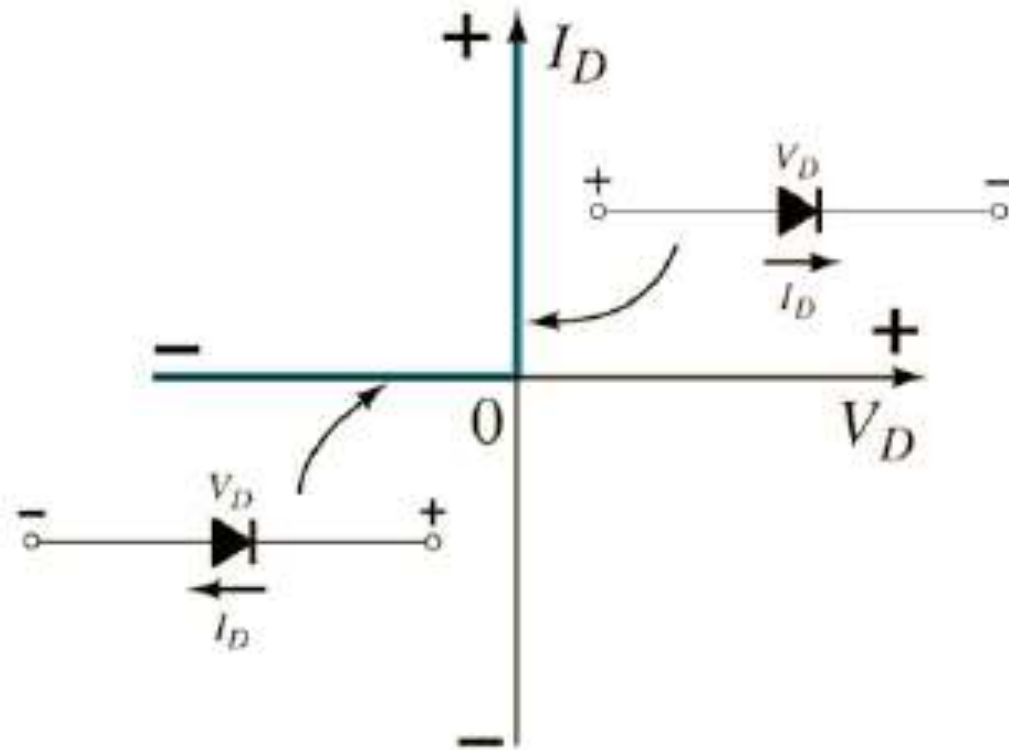


Diodo ideal

Símbolo do diodo

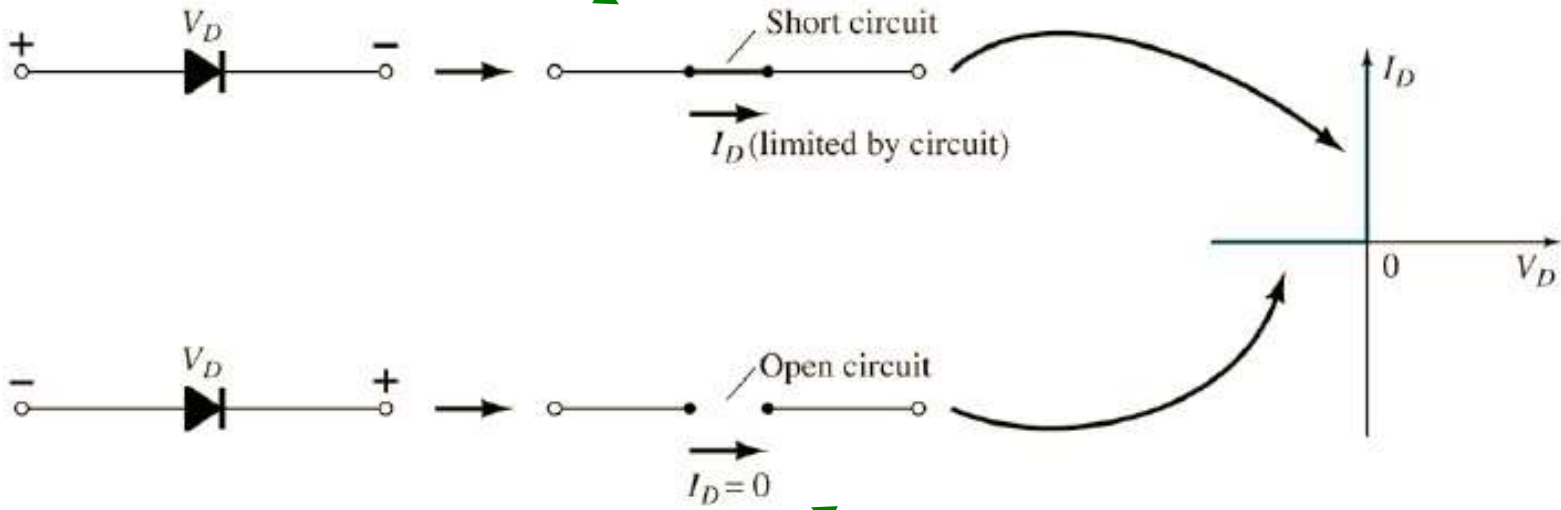


Curva $I_D \times V_D$



Diodo ideal

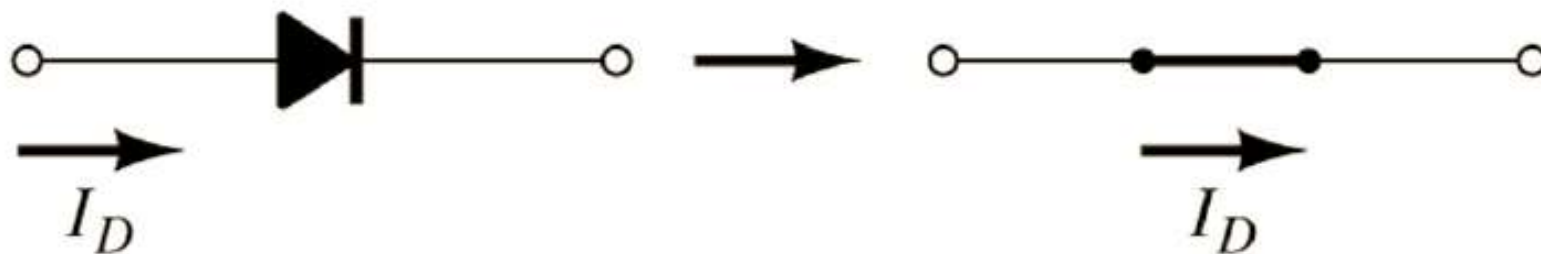
Diodo conduzindo



Diodo bloqueado

Diodo ideal

Diodo conduzindo



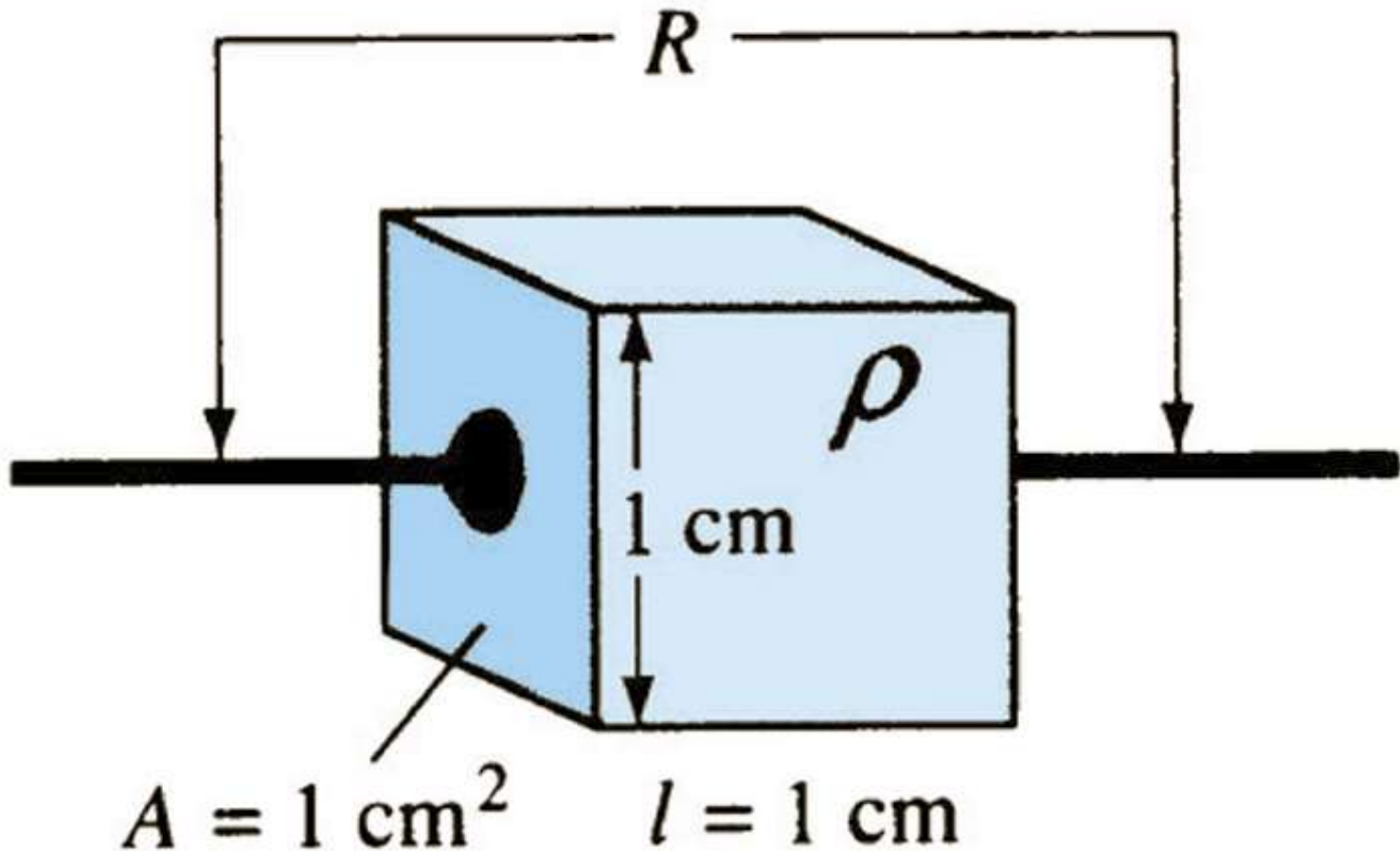
Diodo bloqueado



Materiais semicondutores

Resistividade de um material

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}} = \Omega \cdot \text{cm}$$

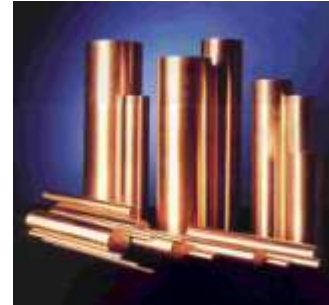


Materiais semicondutores

Valores típicos de resistividade:

Condutor

$$\rho \cong 10^{-6} \Omega cm \text{ (cobre)}$$



Semicondutor

$$\rho \cong 50 \Omega cm \text{ (germânio)}$$

$$\rho \cong 50 \cdot 10^3 \Omega cm \text{ (silício)}$$



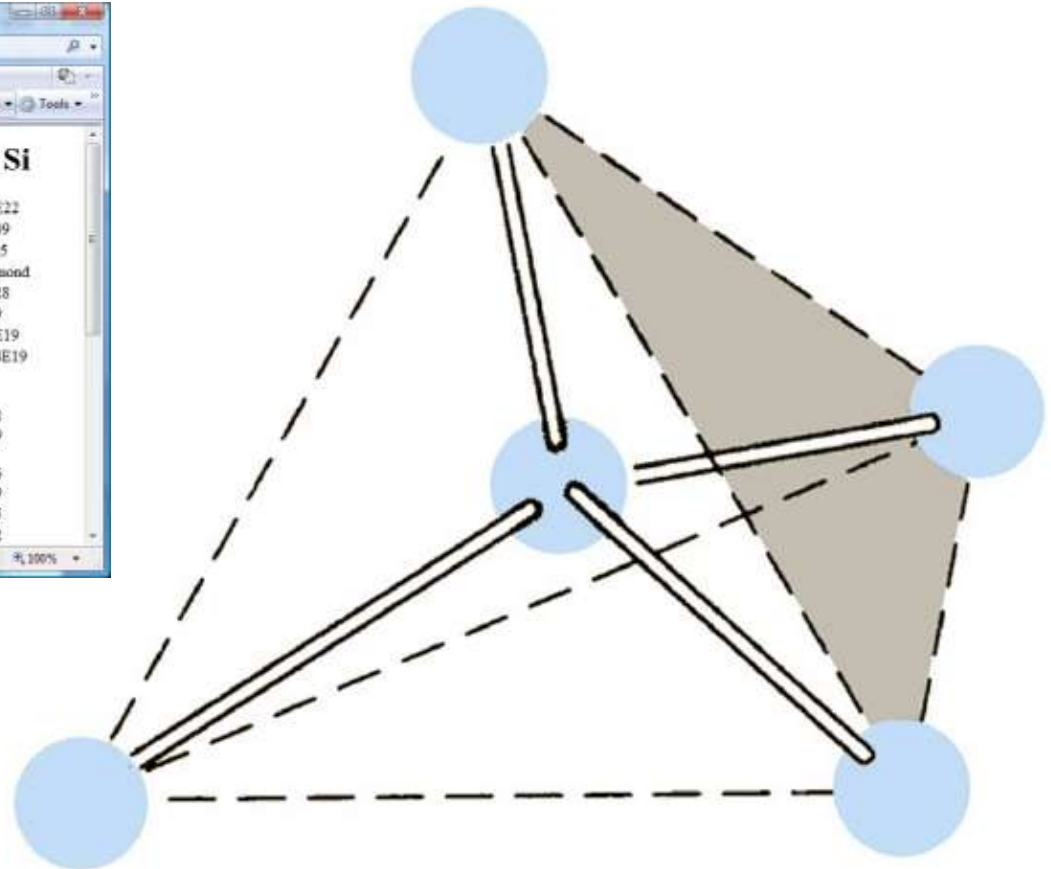
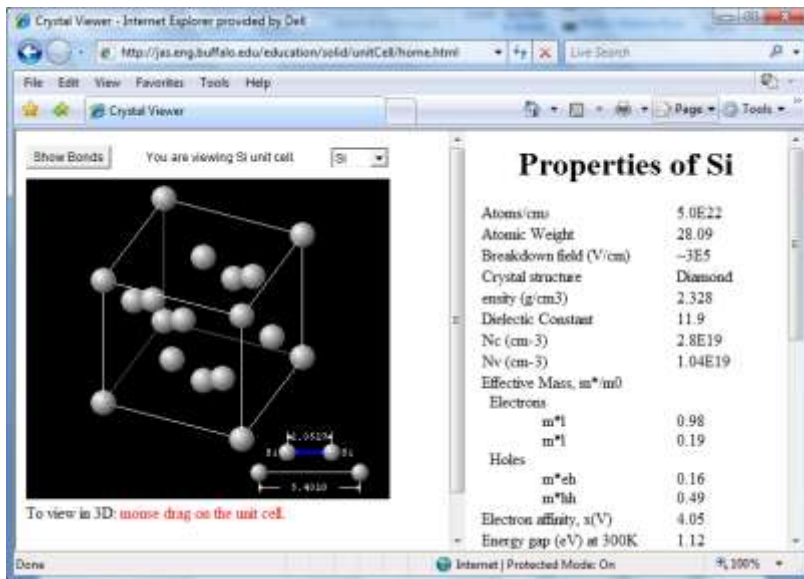
Isolante

$$\rho \cong 10^{12} \Omega cm \text{ (mica)}$$



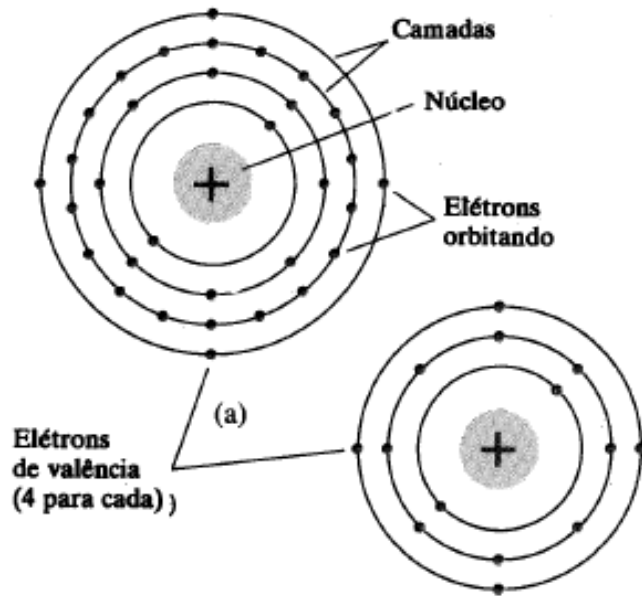
Materiais semicondutores

Estrutura cristalina do germânio e silício:



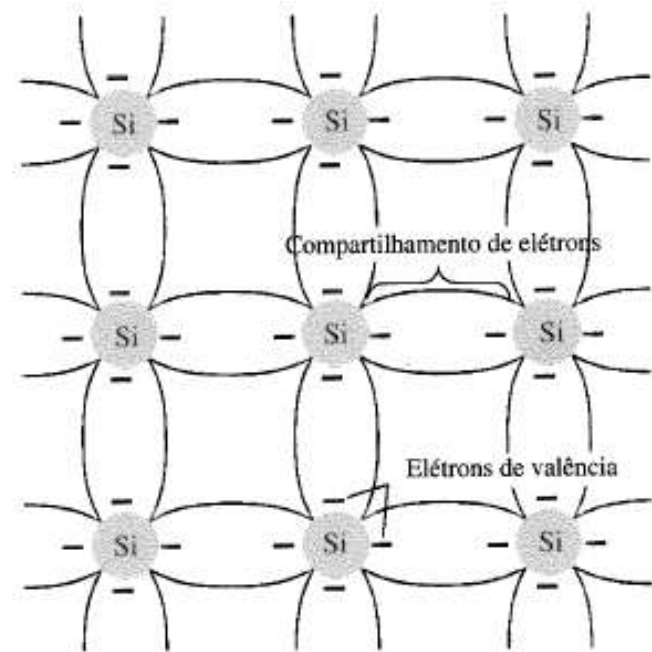
<http://jas.eng.buffalo.edu/education/solid/unitCell/home.html>

Materiais semicondutores



Estrutura atômica do germânio e do silício.

Ligação covalente do átomo de silício.



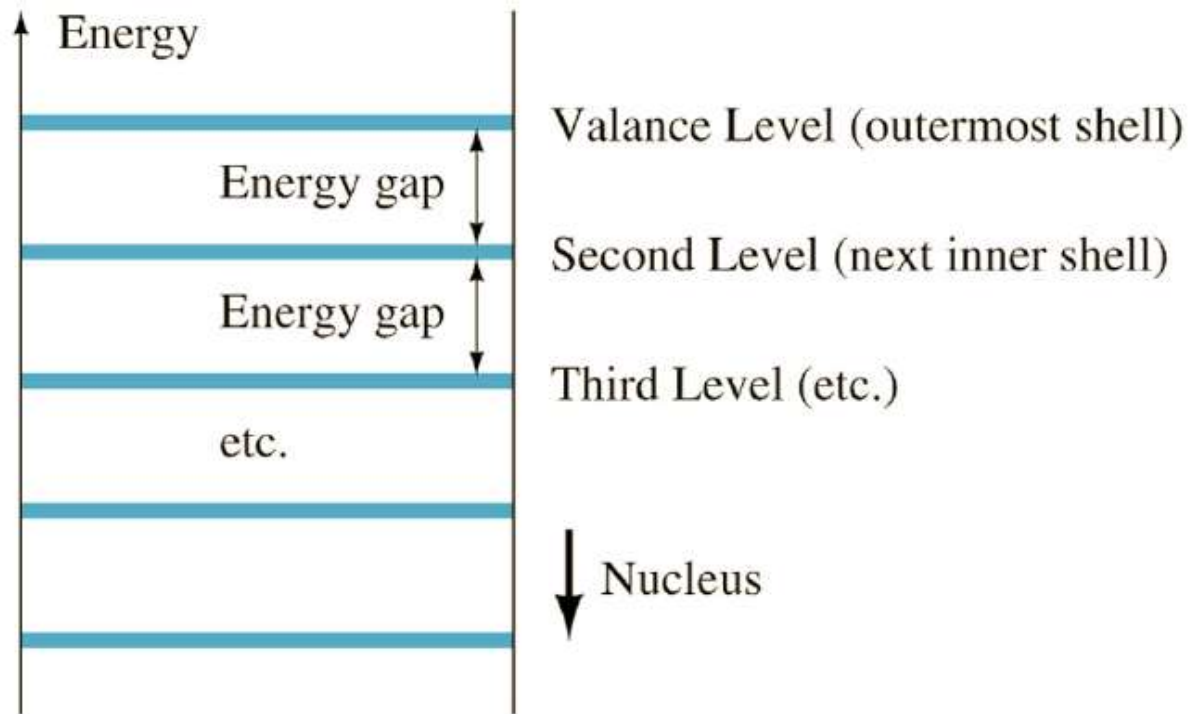
Materiais intrínsecos:

- São semicondutores cuidadosamente refinados para se obter a redução de impurezas a um nível muito baixo – são basicamente tão puros quanto permite a tecnologia moderna.

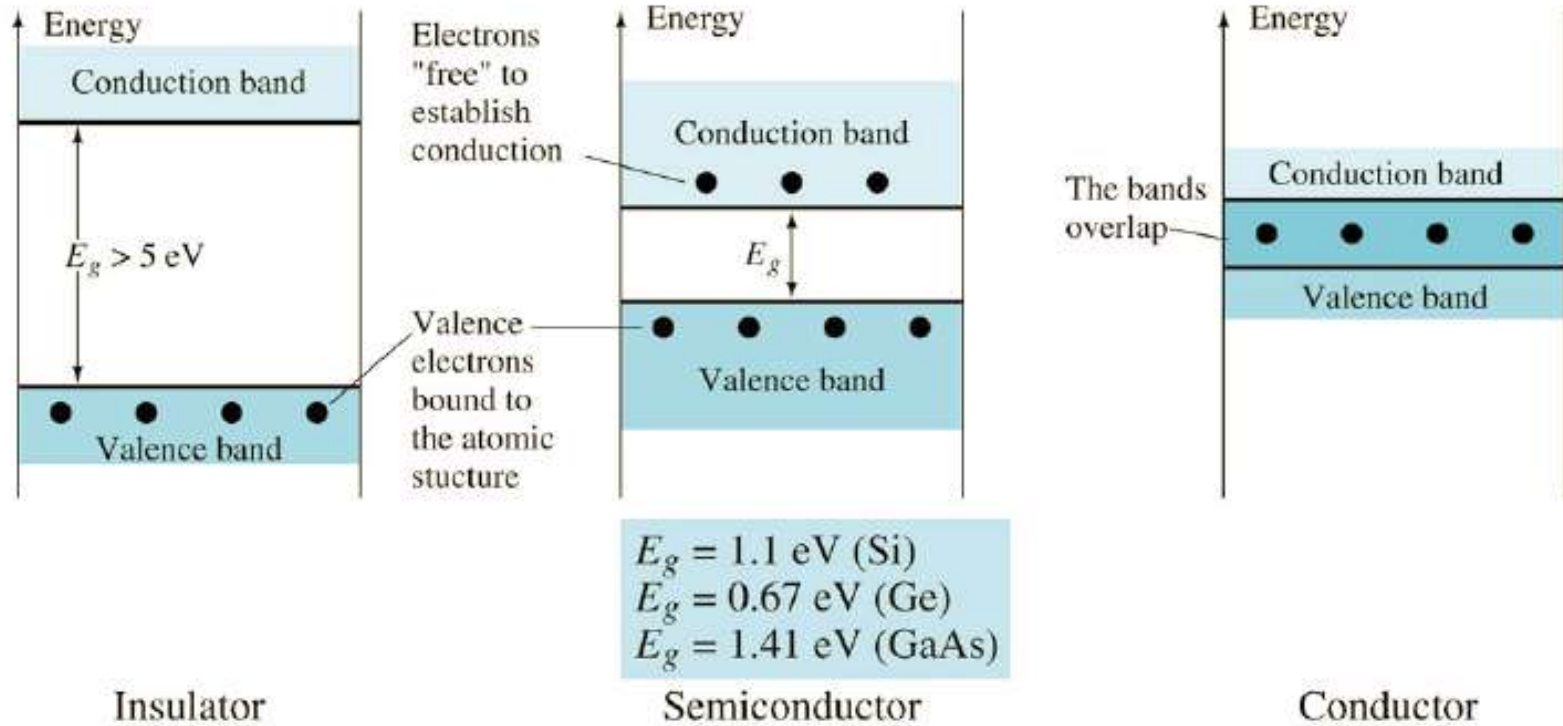
Níveis de energia

Níveis de energia:

- Quanto mais longe o elétron estiver do núcleo, maior será o estado de energia, e qualquer elétron que tiver deixado seu átomo de origem apresentará um estado de energia maior do que qualquer outro na estrutura atômica.



Níveis de energia



Materiais extrínsecos N e P

Materiais extrínsecos:

- Um material semiconductor submetido ao processo de dopagem é chamado de material extrínseco.



Antimônio (5 elétrons na camada de valência.)

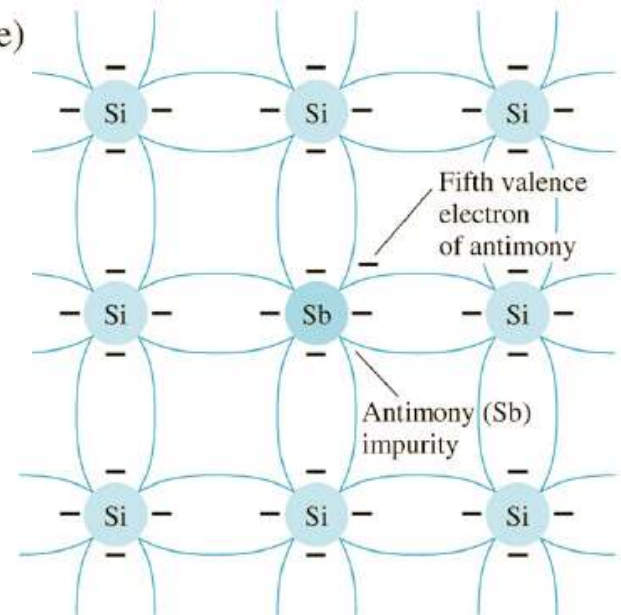
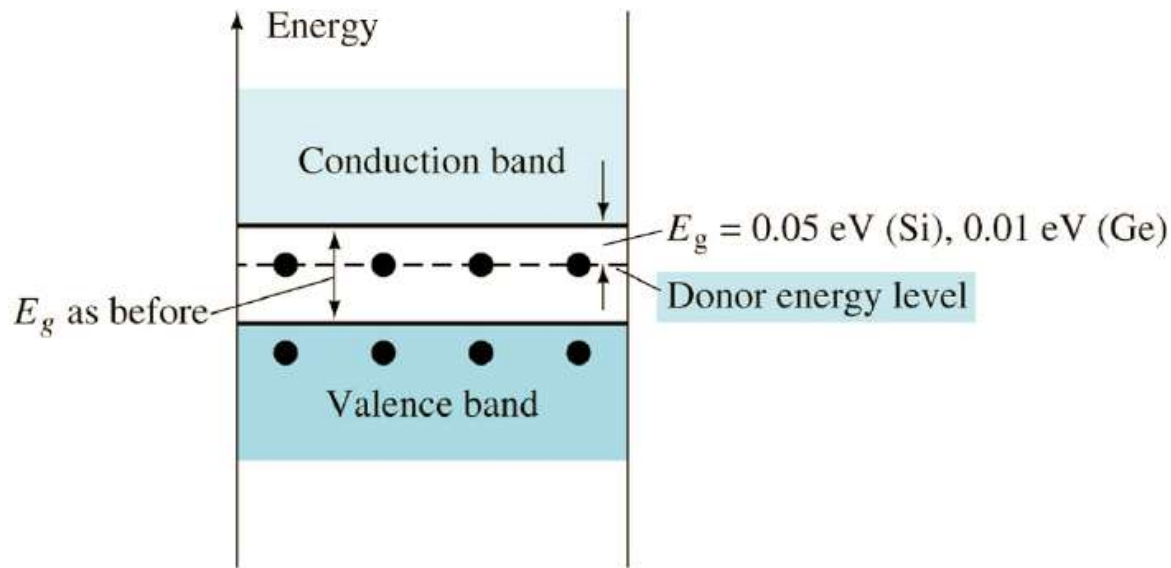


Gálio (3 elétrons na camada de valência.)

Materiais extrínsecos N e P

Material do tipo N:

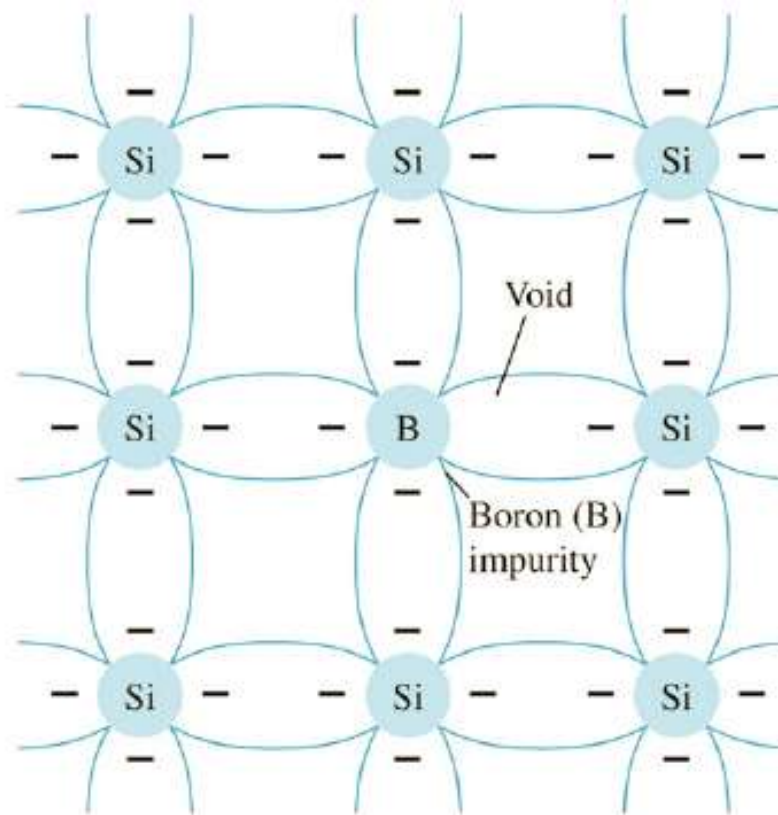
- É um material semiconductor dopado com impurezas com cinco elétrons na camada de valência.



Materiais extrínsecos N e P

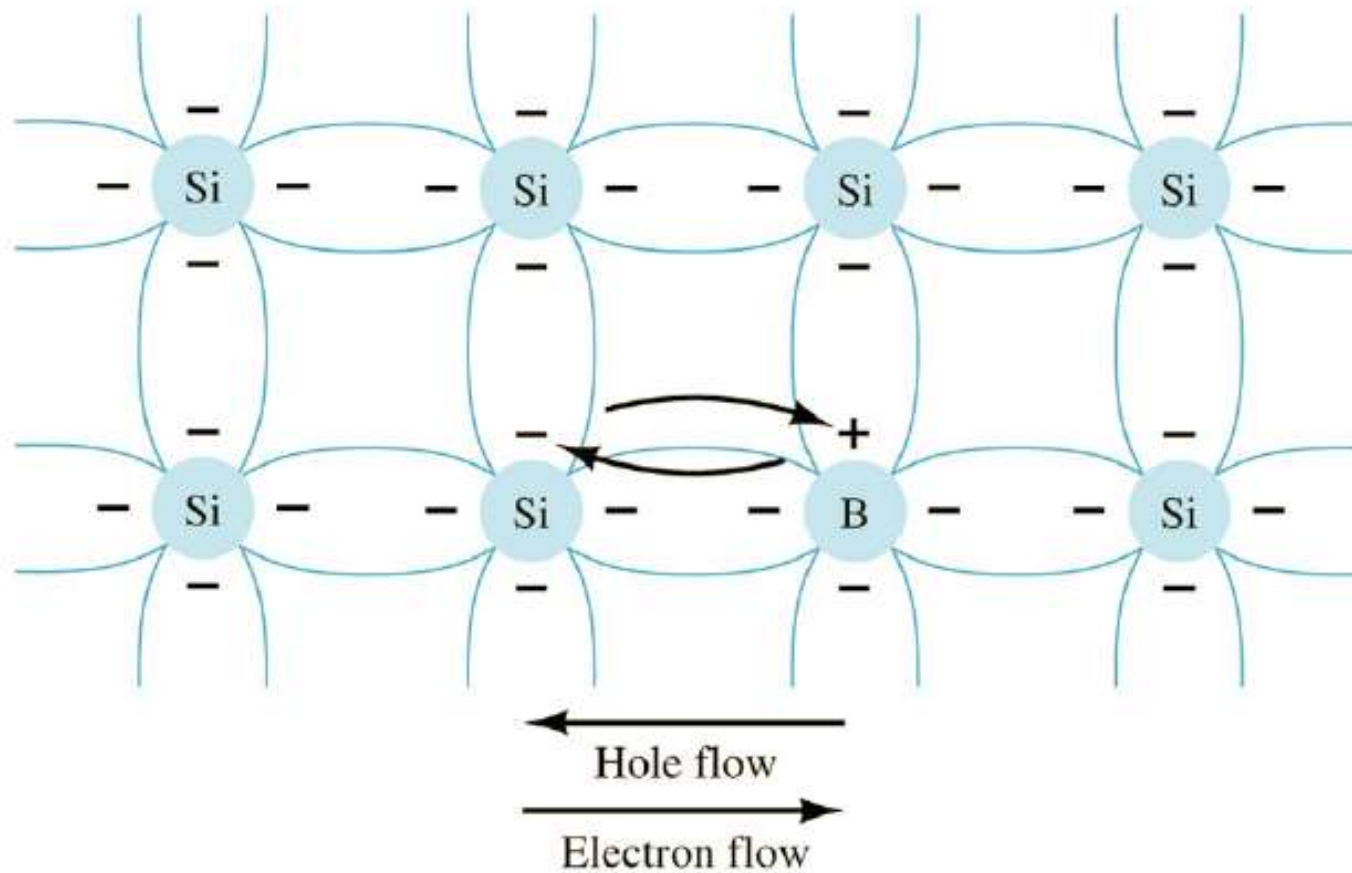
Material do tipo P:

- É um material semiconductor dopado com impurezas com 3 elétrons na camada de valência.



Materiais extrínsecos N e P

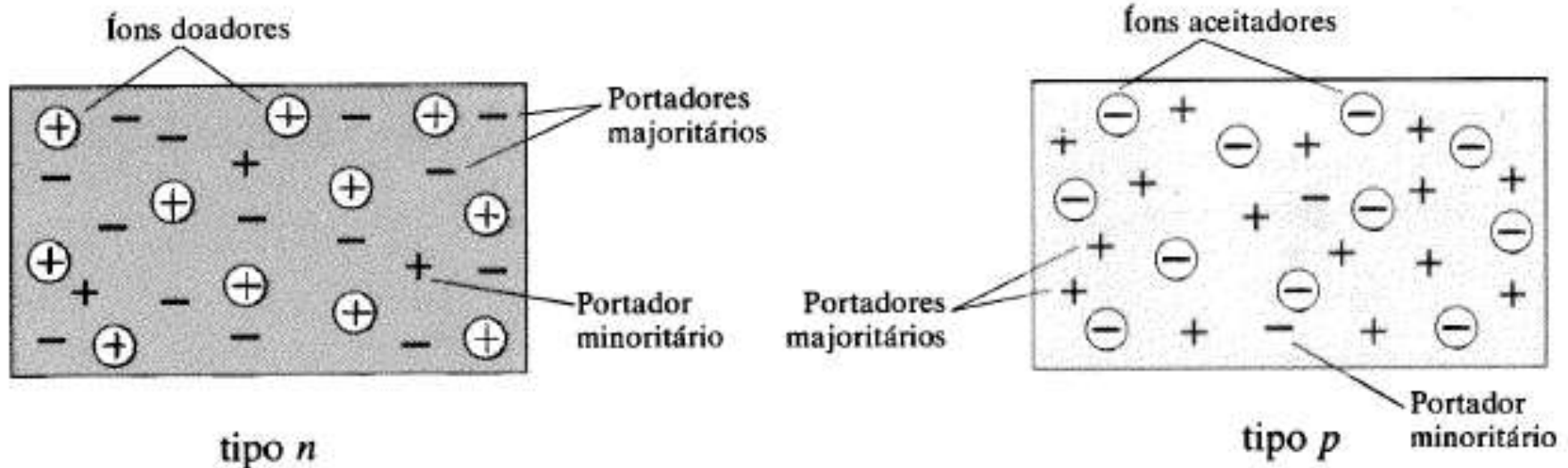
Fluxo de elétrons versus fluxo de lacunas:



Materiais extrínsecos N e P

Portadores majoritários e minoritários:

- Em um material do tipo N, o elétron é chamado de portador majoritário, e a lacuna é chamada de portador minoritário;
- Em um material do tipo P, a lacuna é o portador majoritário, e o elétron é o portador minoritário.



Materials extrínsecos N e P

Hexagonal Closed Packed Crystal Structure Applet - Internet Explorer provided by Dell

http://jas.eng.buffalo.edu/education/solid/hcp/cell.html

File Edit View Favorites Tools Help

Hexagonal Closed Packed Crystal Structure Applet

hcp Crystal Unit Cell Applet

[QuickNote](#) | [Introduction](#) | [App.Tutorial](#) | [Quiz](#) | [References](#) | [Feedback](#) | [HowToPrint](#)

Hide Bonds Hide Axis

Hide Index Hide Plane

Hide Edges Unit Cell

Miller Indices for Lattice Plane

h 1 k 1 l 1 set

Lattice plane: $11\bar{1}$

Select Compound

CdS GaN SiC

ZnS ZnSe

Cal Plane Distance

Done Internet | Protected Mode: On 100%

<http://jas.eng.buffalo.edu/education/solid/hcp/cell.html>

Fabricação do diodo

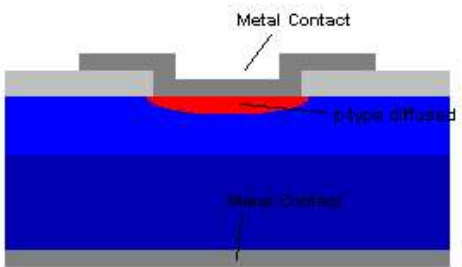
PN Diode Applet - Internet Explorer provided by Dell

http://jas.eng.buffalo.edu/education/fab/pn/diodeframe.html

File Edit View Favorites Tools Help

PN Diode Applet

PNDIODE



Metal Contact

p-type diffused


Metal Contact

- P-type silicon
- N-type silicon
- Silicon oxide
- Aluminum
- Photoresist
- N+ -type silicon

first previous animate-next next last


A second lithography step, using the Photoresist method is used to etch the aluminum. After annealing (baking) at 475 degrees Celsius to improve the aluminum contact with the silicon, the device is ready to be tested.

The whole Silicon ingot :



Single Crystal Silicon Ingot

Si wafers sliced from ingot :



Done

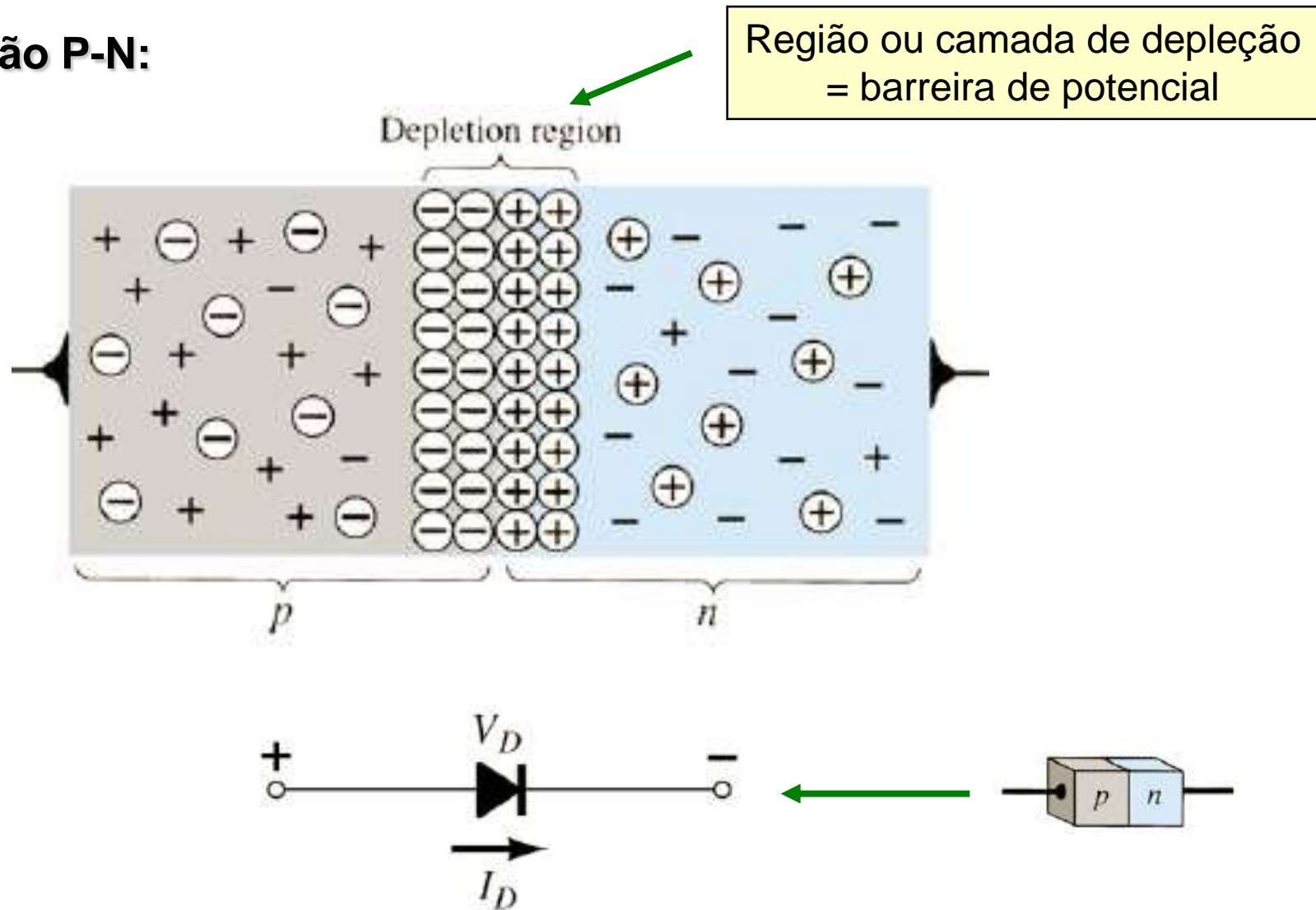
Internet | Protected Mode: On

100%

<http://jas.eng.buffalo.edu/education/fab/pn/diodeframe.html>

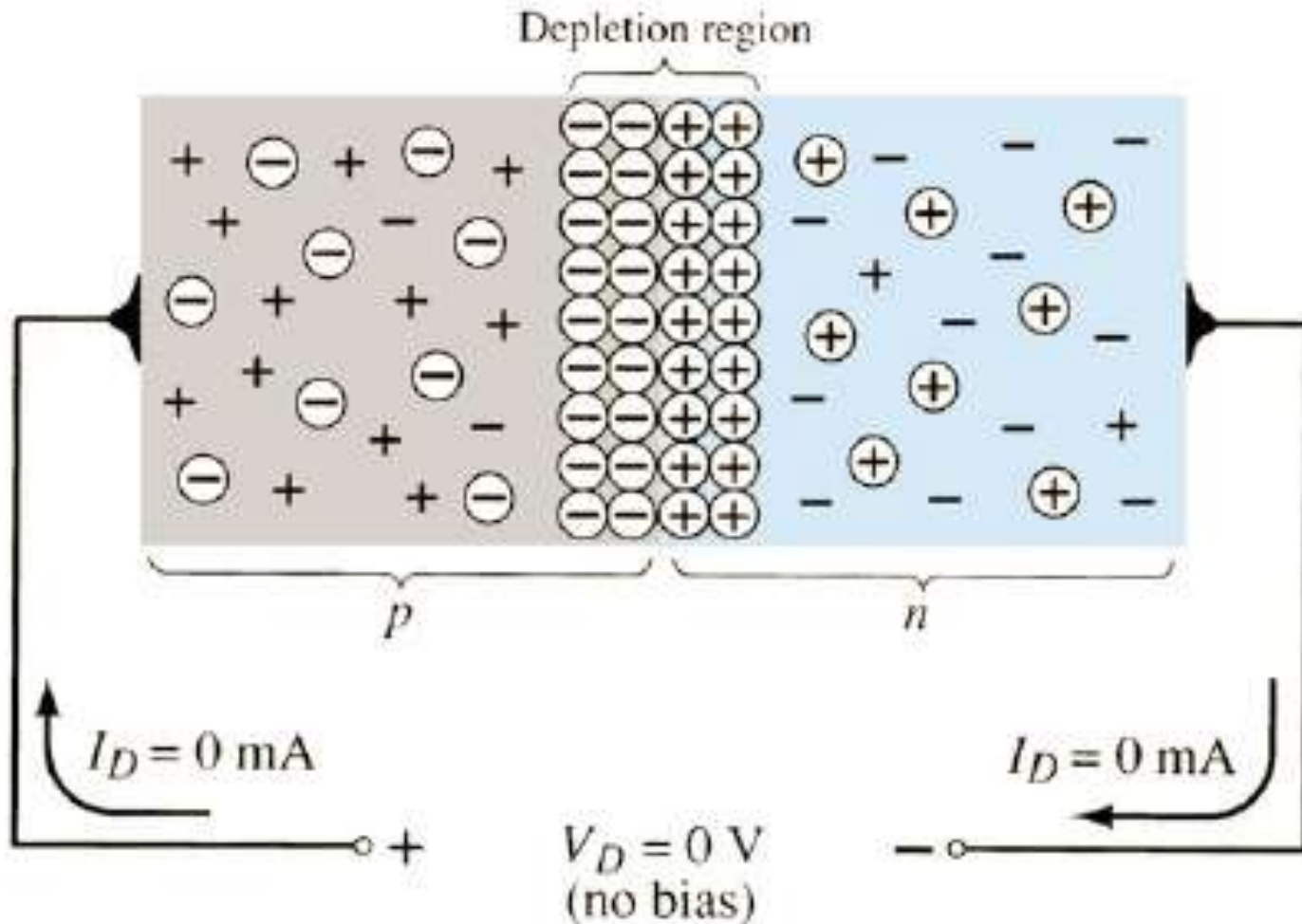
Diodo semicondutor

Junção P-N:



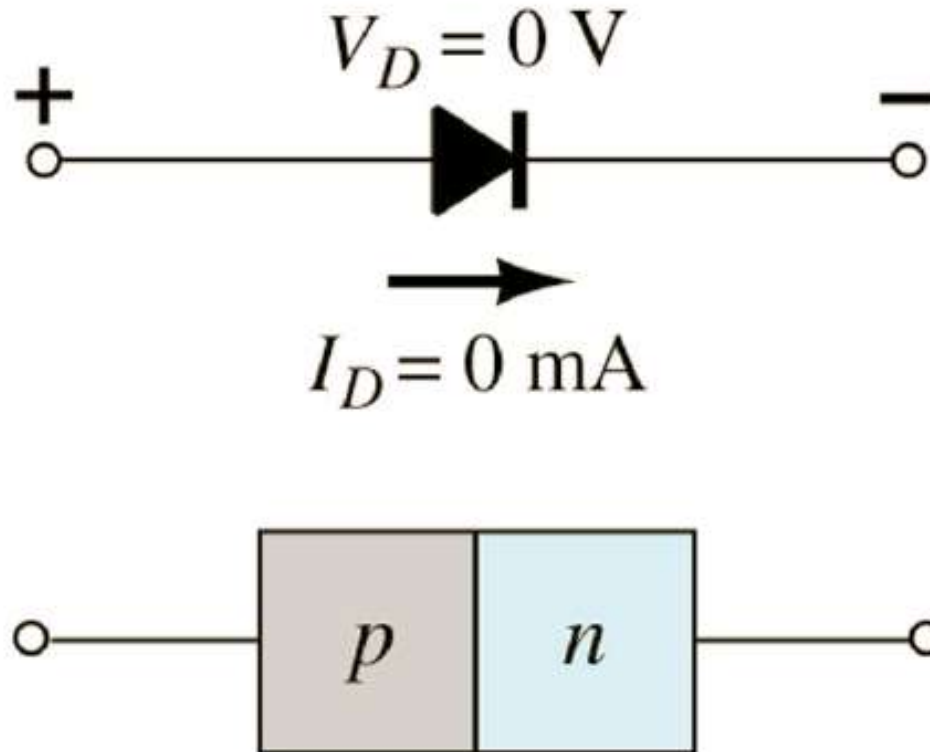
Diodo semiconductor

Sem polarização ($V_D = 0$ V):



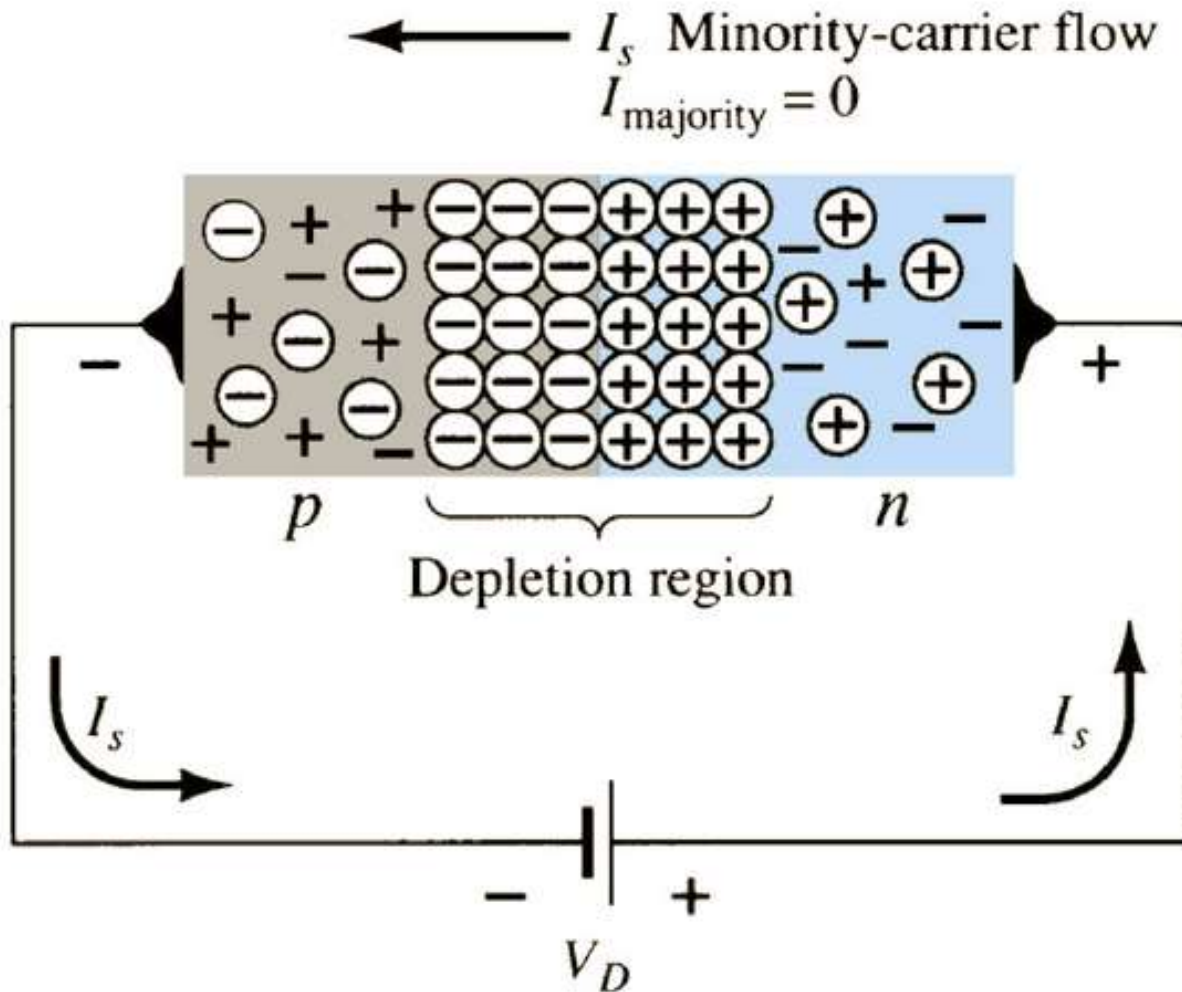
Diodo semicondutor

Sem polarização ($V_D = 0$ V):



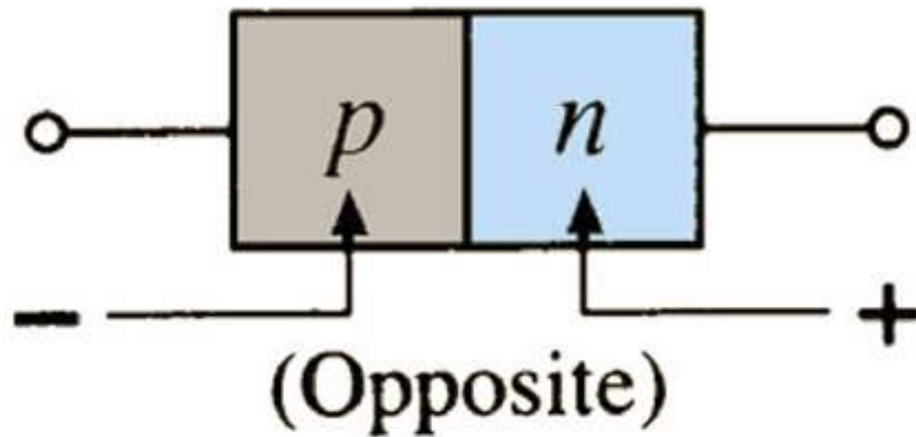
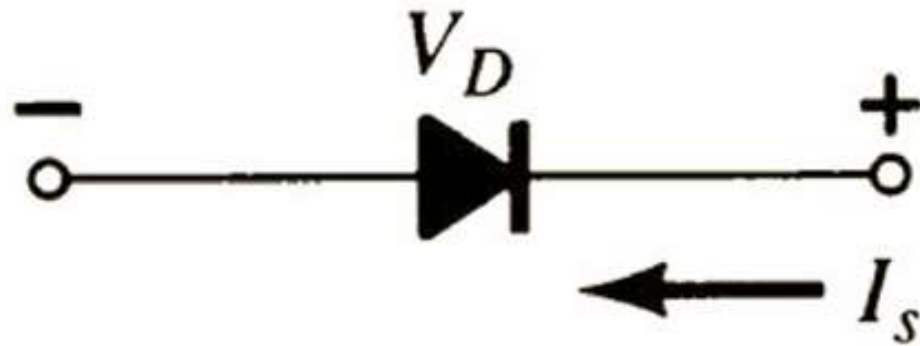
Diodo semiconductor

Polarização reversa ($V_D < 0$ V):



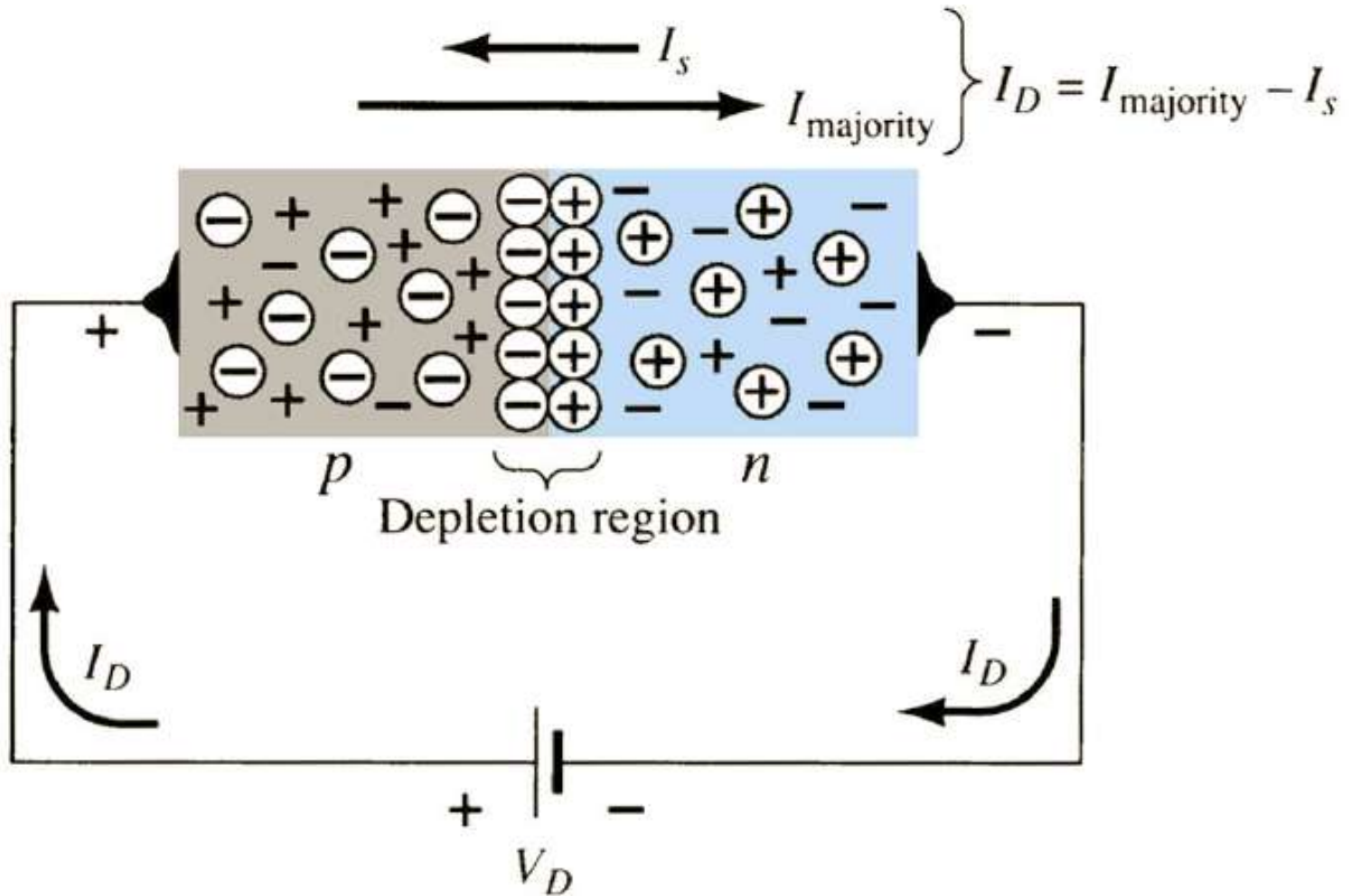
Diodo semicondutor

Polarização reversa ($V_D < 0$ V):



Diodo semicondutor

Polarização direta ($V_D > 0$ V):



Diode semiconductor

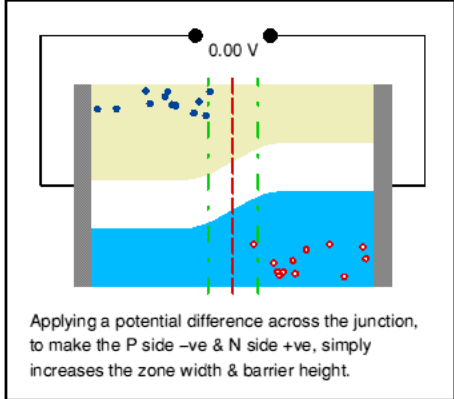
Diode - Internet Explorer provided by Dell
http://www.st-andrews.ac.uk/~www_pa/Scots_Guide/info/comp/passive/diode/diode.htm

File Edit View Favorites Tools Help

Diode


we create a pn-junction by joining together two pieces of semiconductor, one doped n-type, the other p-type. This causes a *depletion zone* to form around the junction (the join) between the two materials. This zone controls the behaviour of the diode.


May take a while to load...
Animation!



Applying a potential difference across the junction, to make the P side -ve & N side +ve, simply increases the zone width & barrier height.

© J. C. G. Lesurf Univ. St. Andrews

 [Characteristic curves](#)
Graph showing how the current through a diode varies with the applied voltage .

 [Follow this link](#)
to see in detail how a diode works.

The animation shows the general behaviour of a pn-junction.

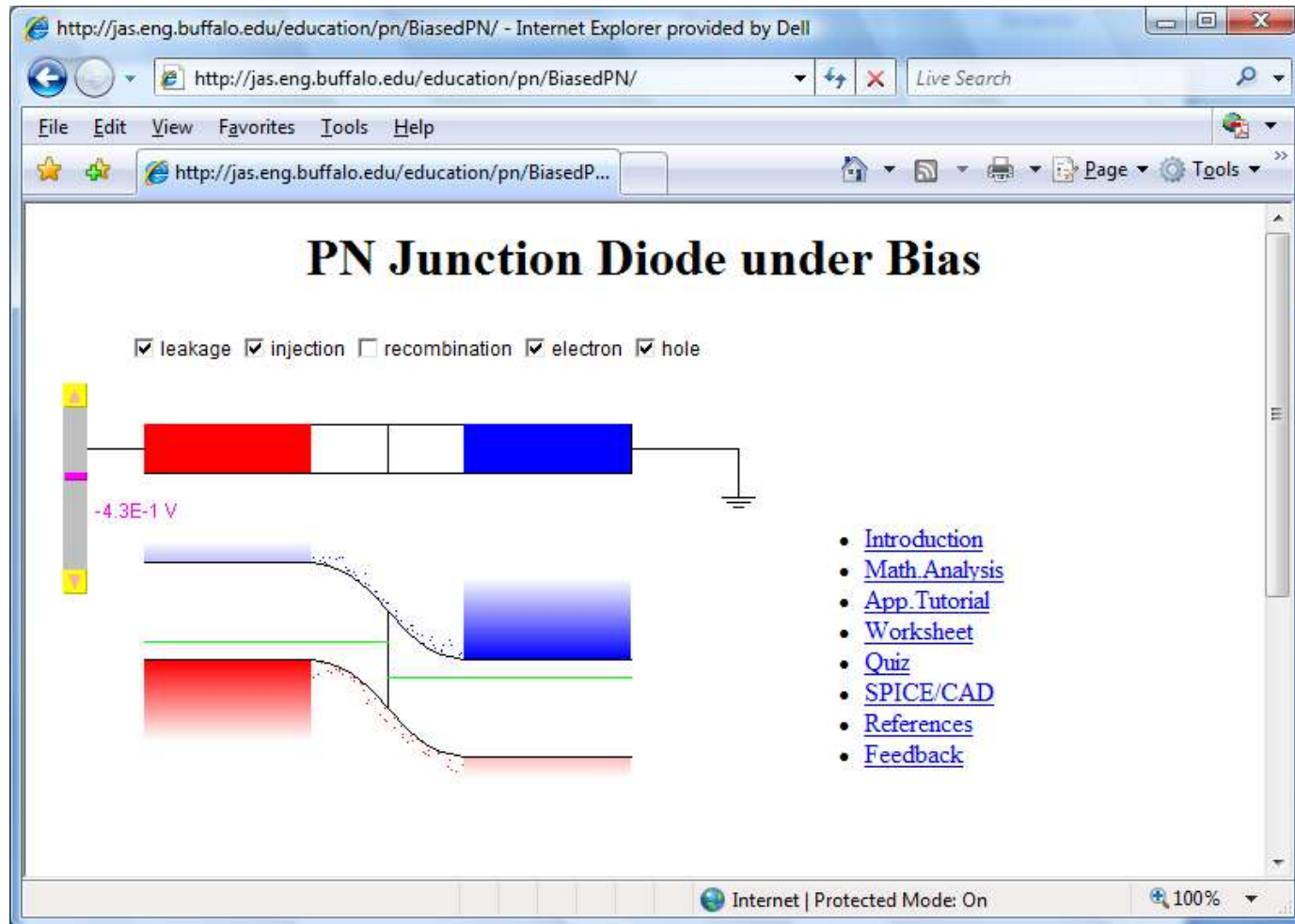
When we apply a potential difference between the two wires in one direction we tend to pull the free electrons and holes away from the junction. This makes it even harder for them to cross the depletion zone.

When we apply the voltage the other way around we push electrons and holes towards the junction, helping to give them extra energy

Internet | Protected Mode: On 100%

<http://www.st-andrews.ac.uk>

Diode semiconductor



<http://jas.eng.buffalo.edu/education/pn/BiasedPN/>

Diodo semicondutor

Modelamento matemático:

$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{K \cdot V_D}{T_K}} - 1 \right)$$

I_D = corrente direta;

I_S = corrente de saturação reversa;

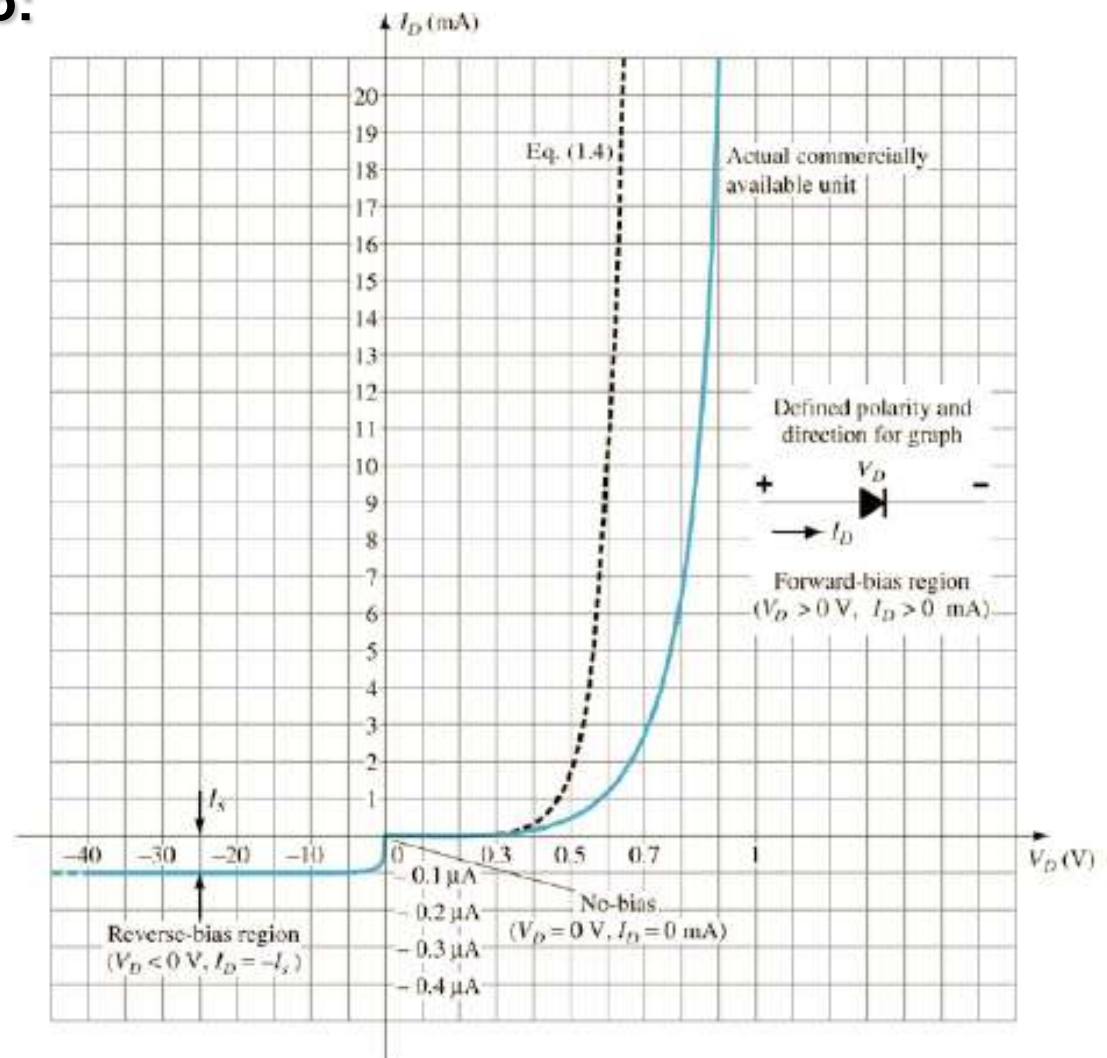
$K = 11600/\eta$ onde $\eta=1$ para Ge e $\eta=2$ para Si;

$$T_K = T_C + 273^0$$

Diodo semiconductor

Modelamento matemático:

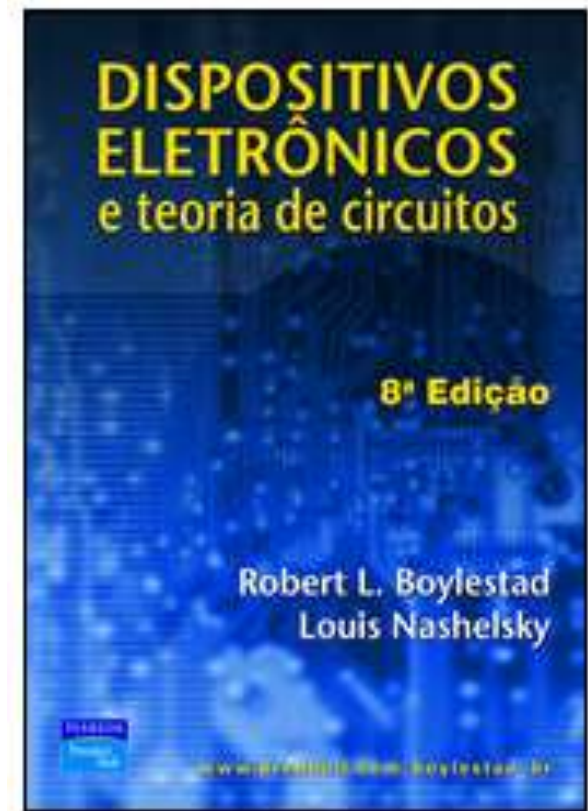
$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{K \cdot V_D}{T_K}} - 1 \right)$$



Na próxima aula

Capítulo 1: Diodos semicondutores

1. Características dos diodos.



www.cefetsc.edu.br/~petry