

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



Materiais semicondutores e junções P-N

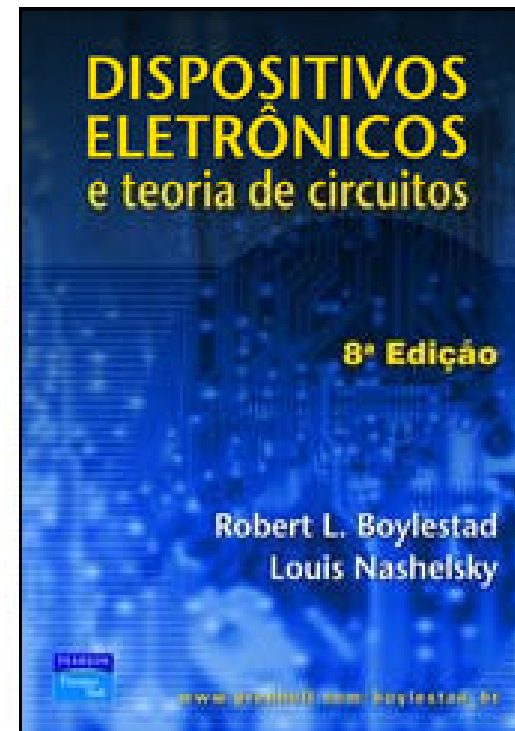
Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, outubro de 2007.

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

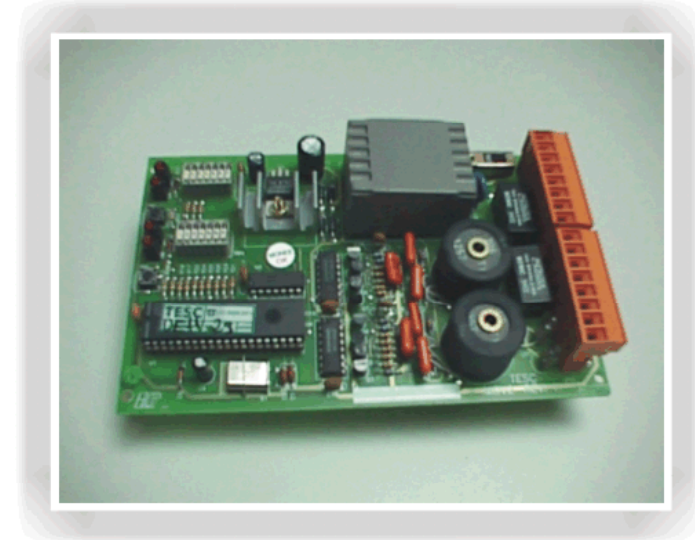
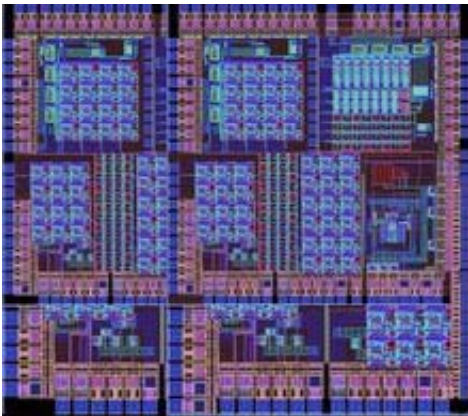
Capítulo 1



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

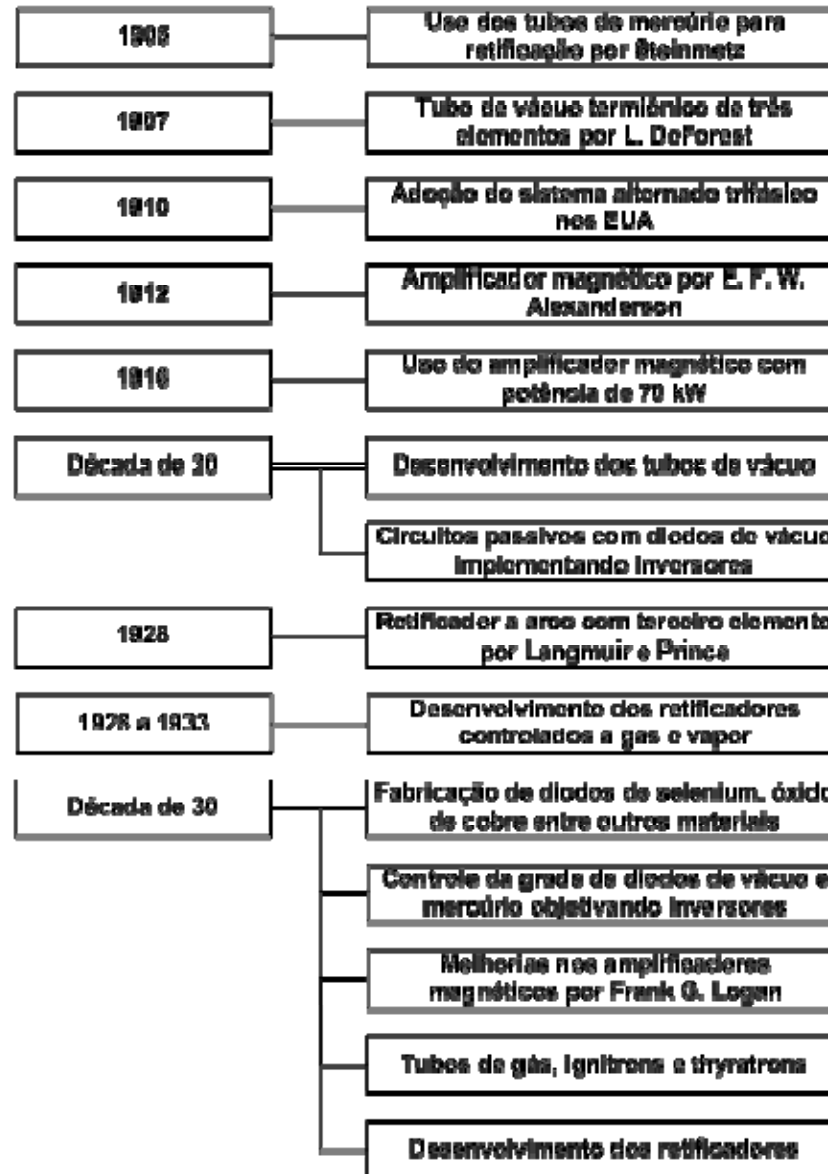
↓
Pesquisa

↓
Divulgação

↓
Exame de qualificação

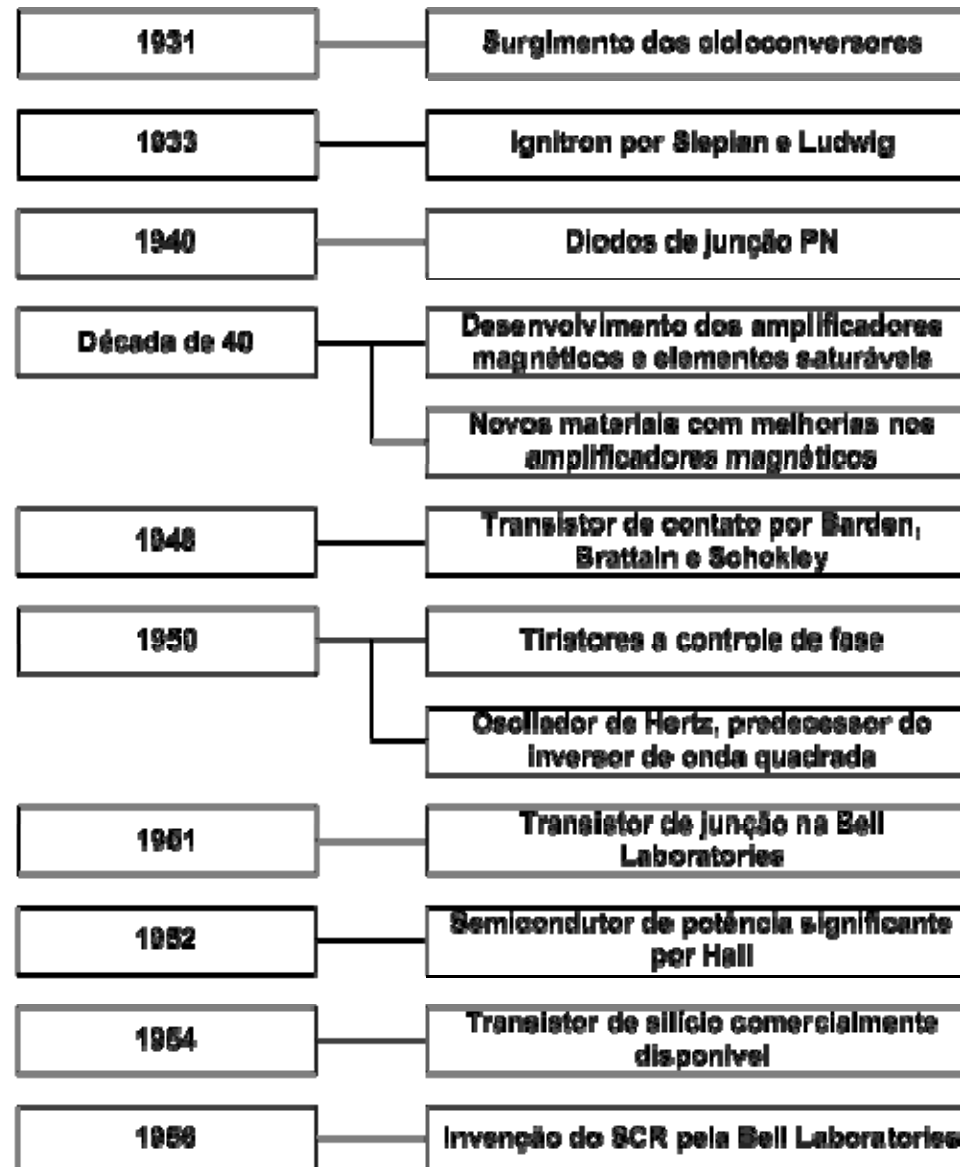
Introdução

Breve história dos semicondutores



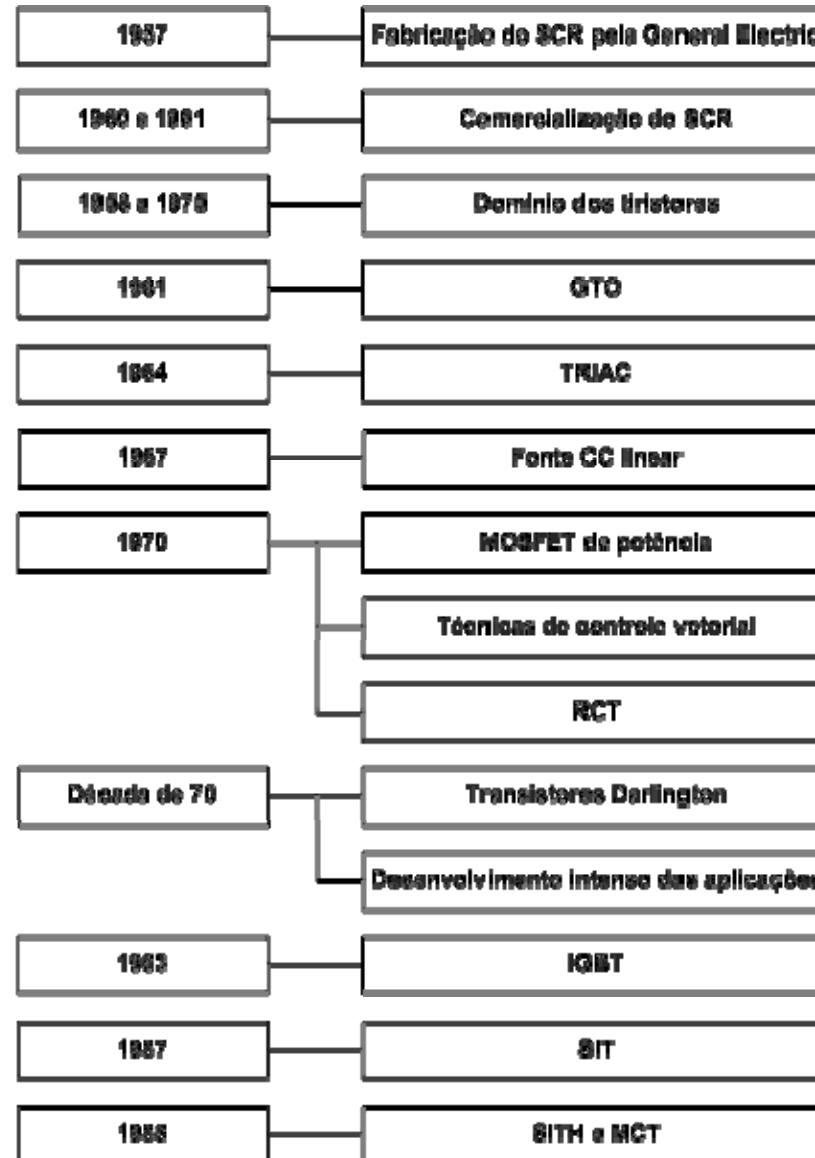
Introdução

Breve história dos semicondutores



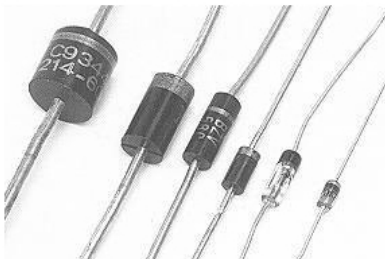
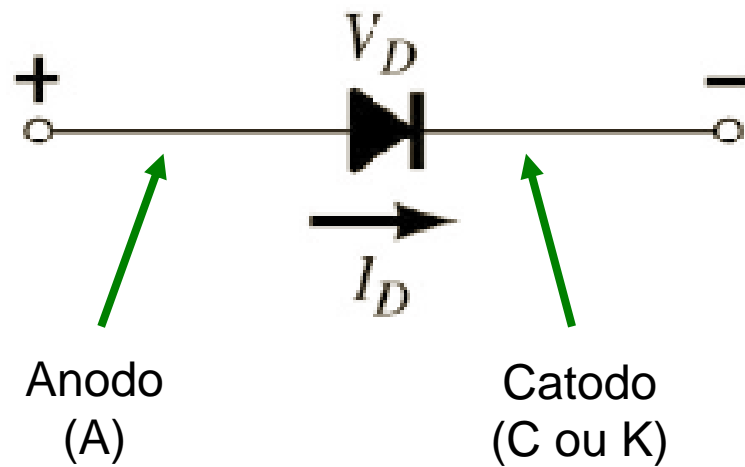
Introdução

Breve história dos semicondutores

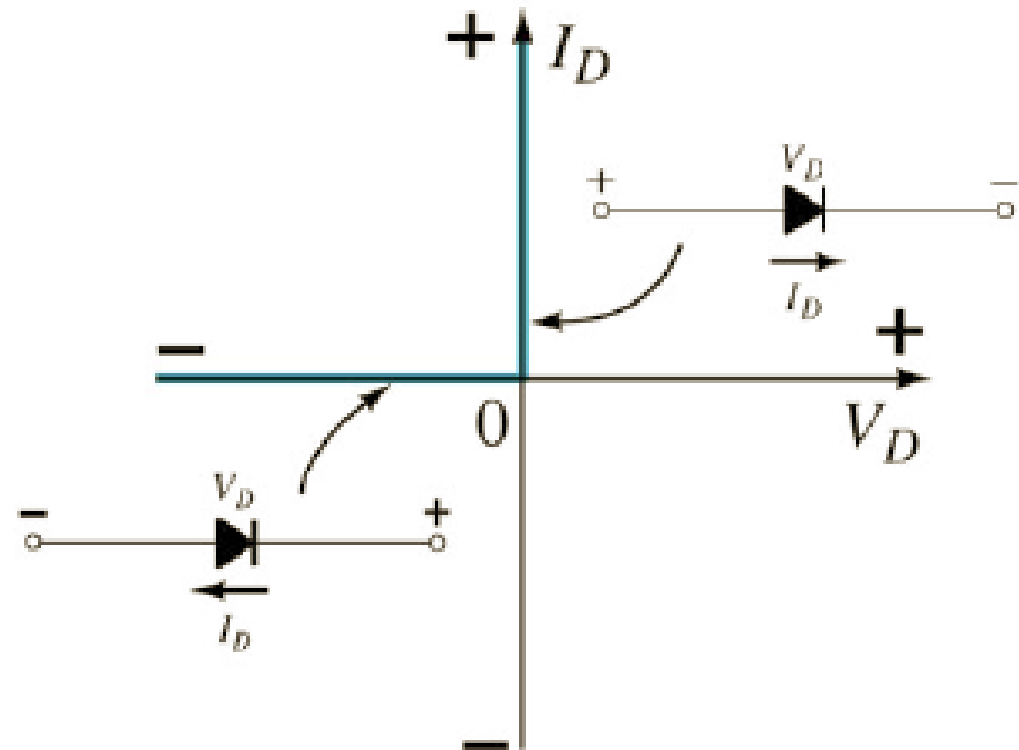


Diodo ideal

Símbolo do diodo

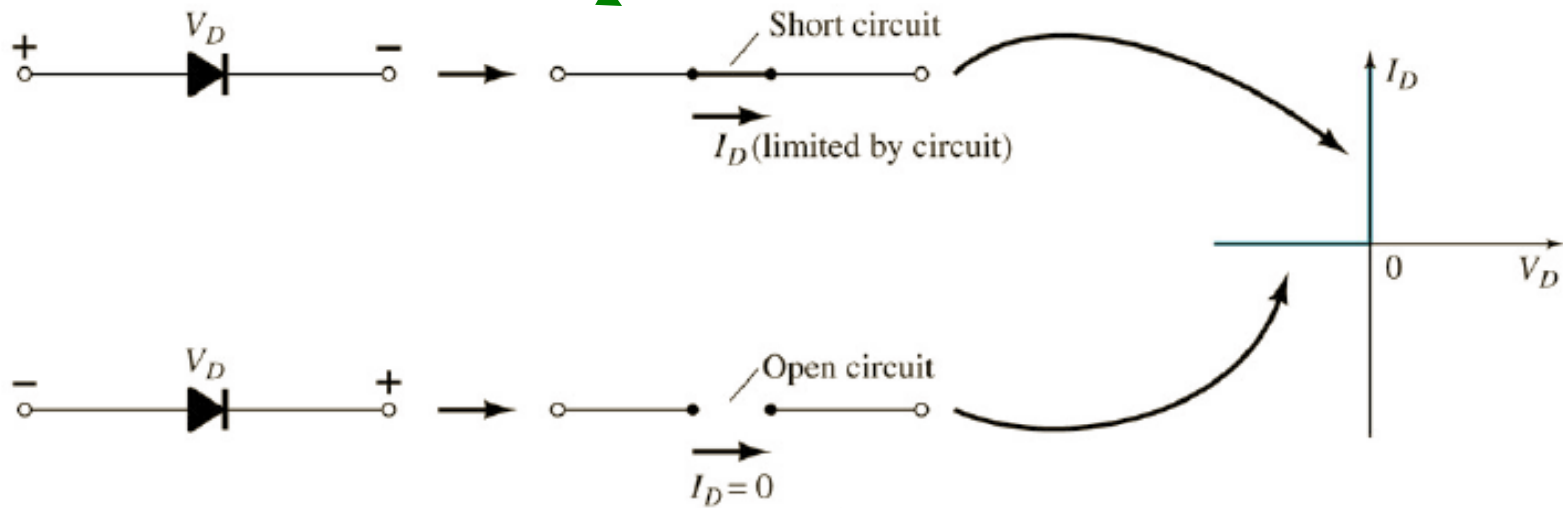


Curva $I_D \times V_D$



Diodo ideal

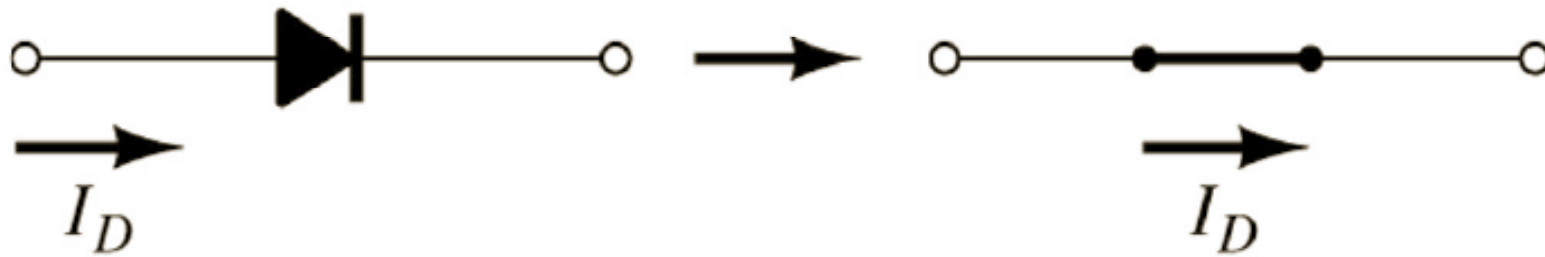
Diodo conduzindo



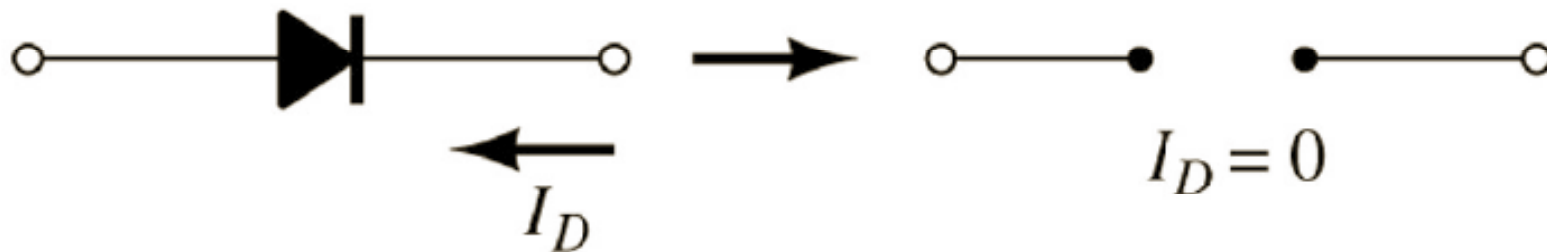
Diodo bloqueado

Diodo ideal

Diodo conduzindo



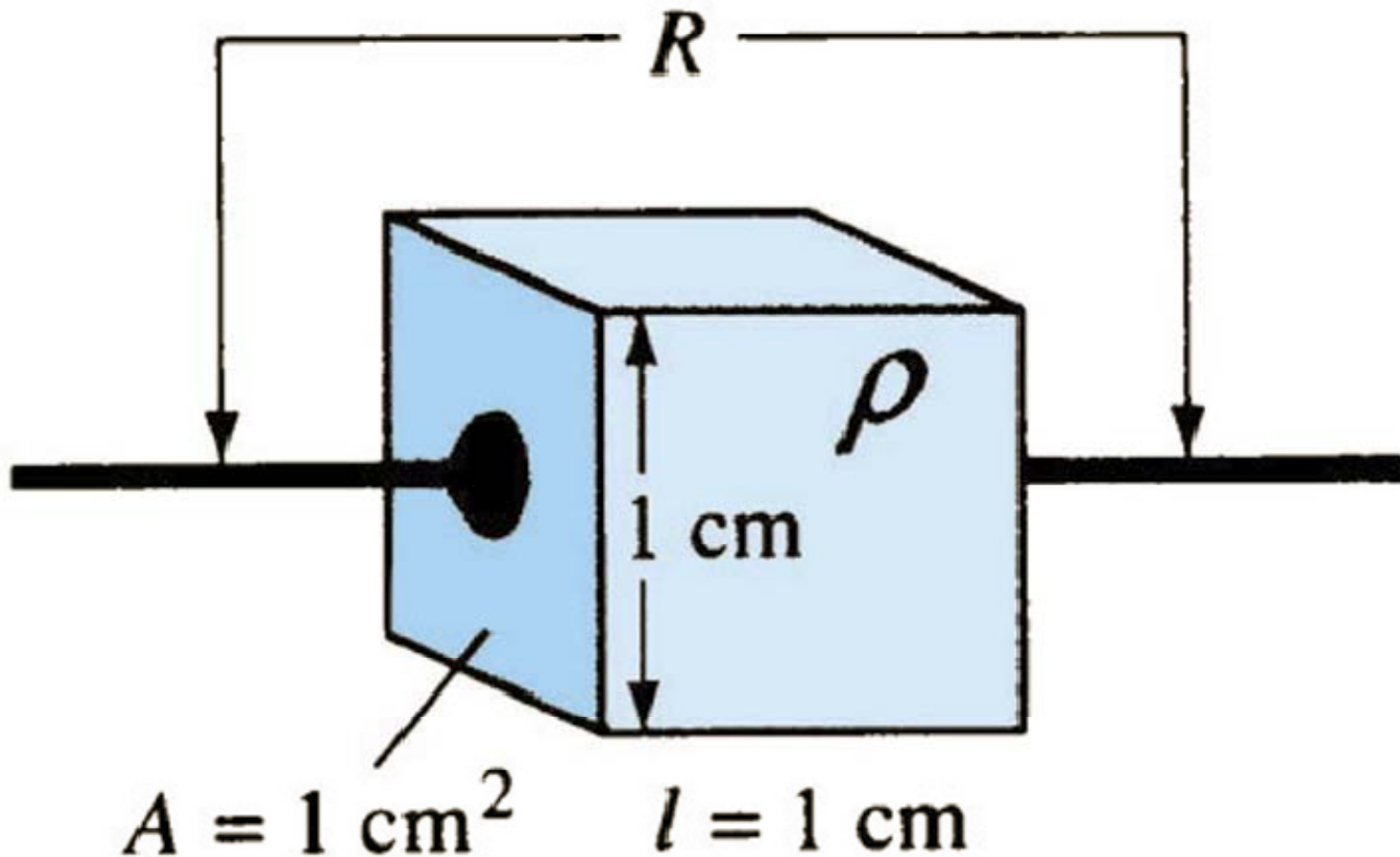
Diodo bloqueado



Materiais semicondutores

Resistividade de um material

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

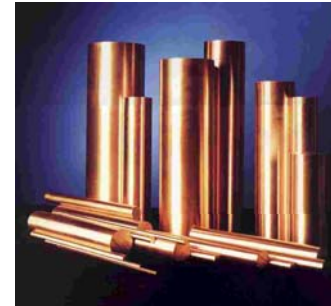


Materiais semicondutores

Valores típicos de resistividade:

Condutor

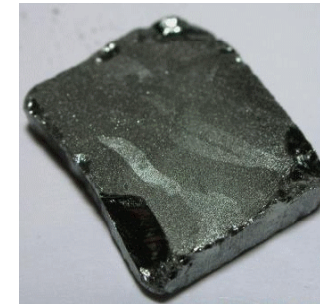
$$\rho \cong 10^{-6} \Omega cm \text{ (cobre)}$$



Semicondutor

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

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



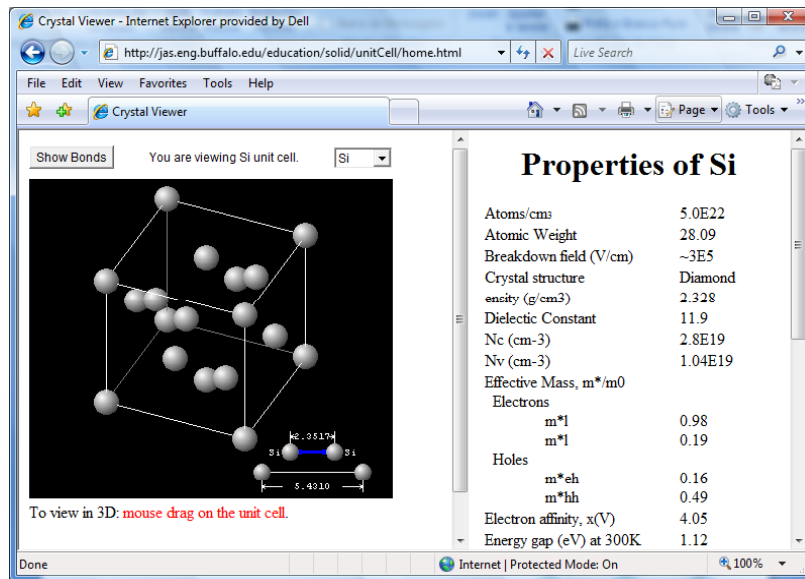
Isolante

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



Materiais semicondutores

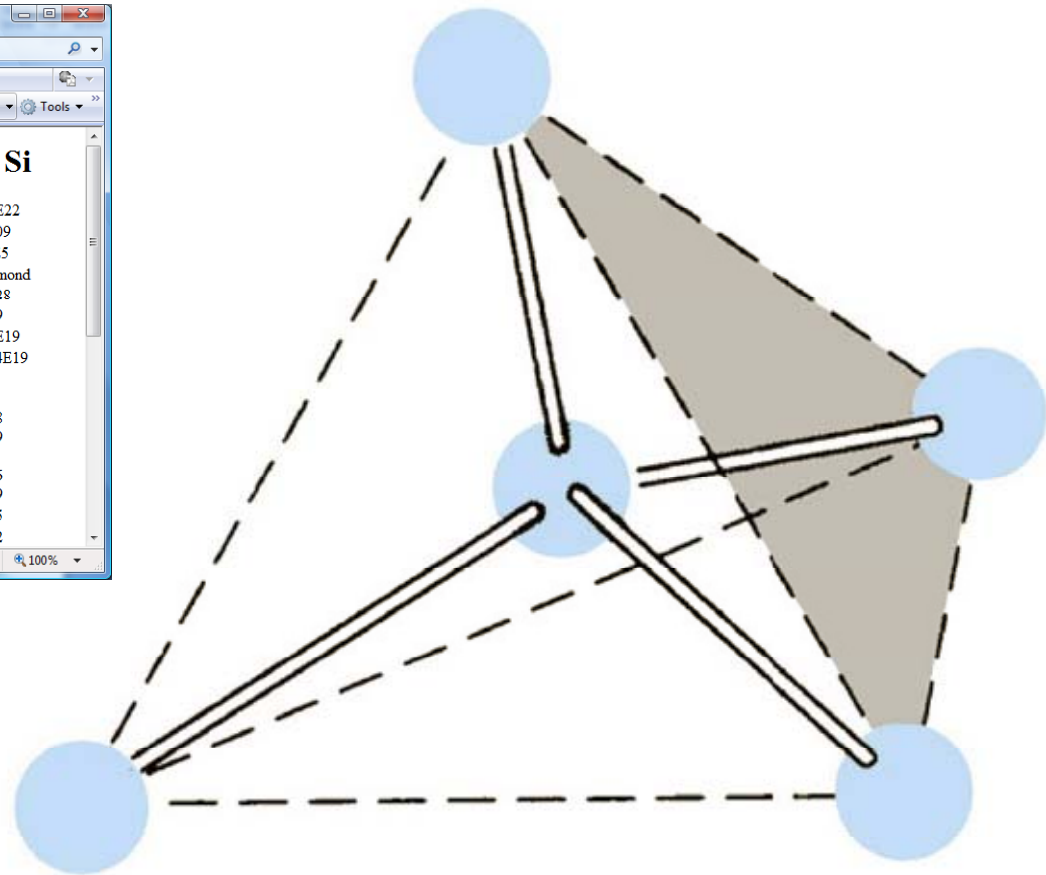
Estrutura cristalina do germânio e silício:



The screenshot shows a web browser window titled "Crystal Viewer - Internet Explorer provided by Dell". The address bar displays the URL <http://jas.eng.buffalo.edu/education/solid/unitCell/home.html>. The page content includes a 3D model of the Silicon unit cell on the left and a table of properties on the right.

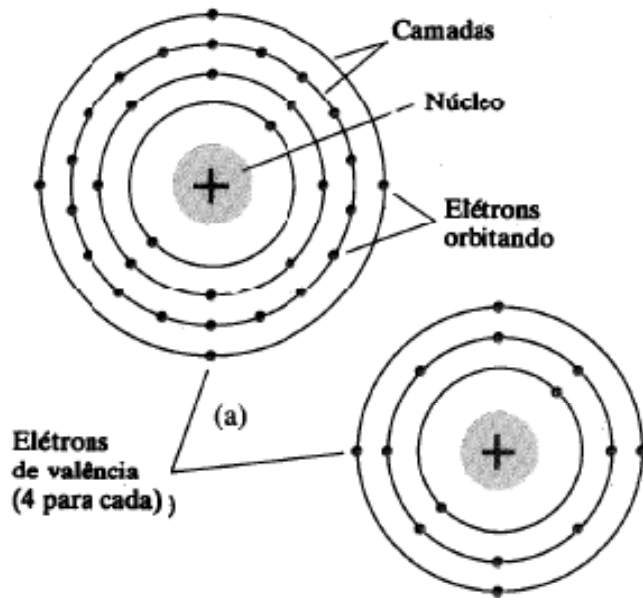
Properties of Si

Atoms/cms	5.0E22
Atomic Weight	28.09
Breakdown field (V/cm)	~3E5
Crystal structure	Diamond
ensity (g/cm ³)	2.328
Dielectric Constant	11.9
Nc (cm ⁻³)	2.8E19
Nv (cm ⁻³)	1.04E19
Effective Mass, m*/m ₀	
Electrons	
m* _l	0.98
m* _t	0.19
Holes	
m* _{eh}	0.16
m* _{hh}	0.49
Electron affinity, x(V)	4.05
Energy gap (eV) at 300K	1.12



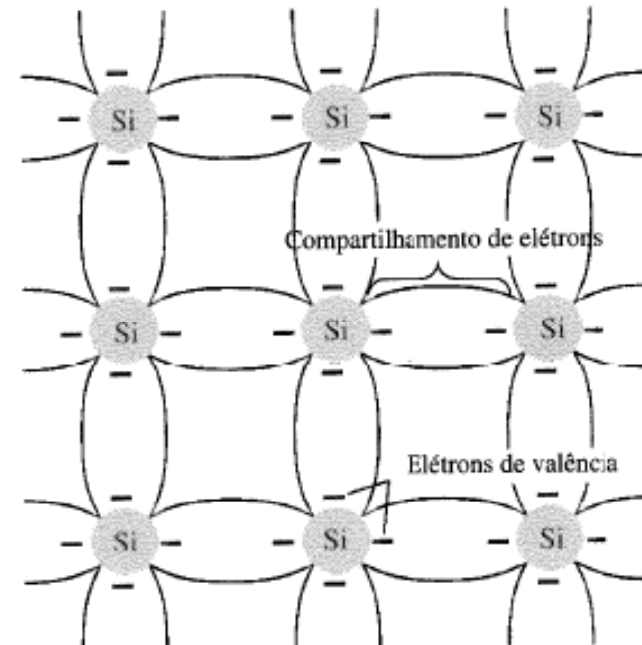
<http://jas.eng.buffalo.edu/education/solid/unitCell/home.html>

Materiais semicondutores



Estrutura atômica do germânio e do silício.

Ligação covalente do átomo de silício.



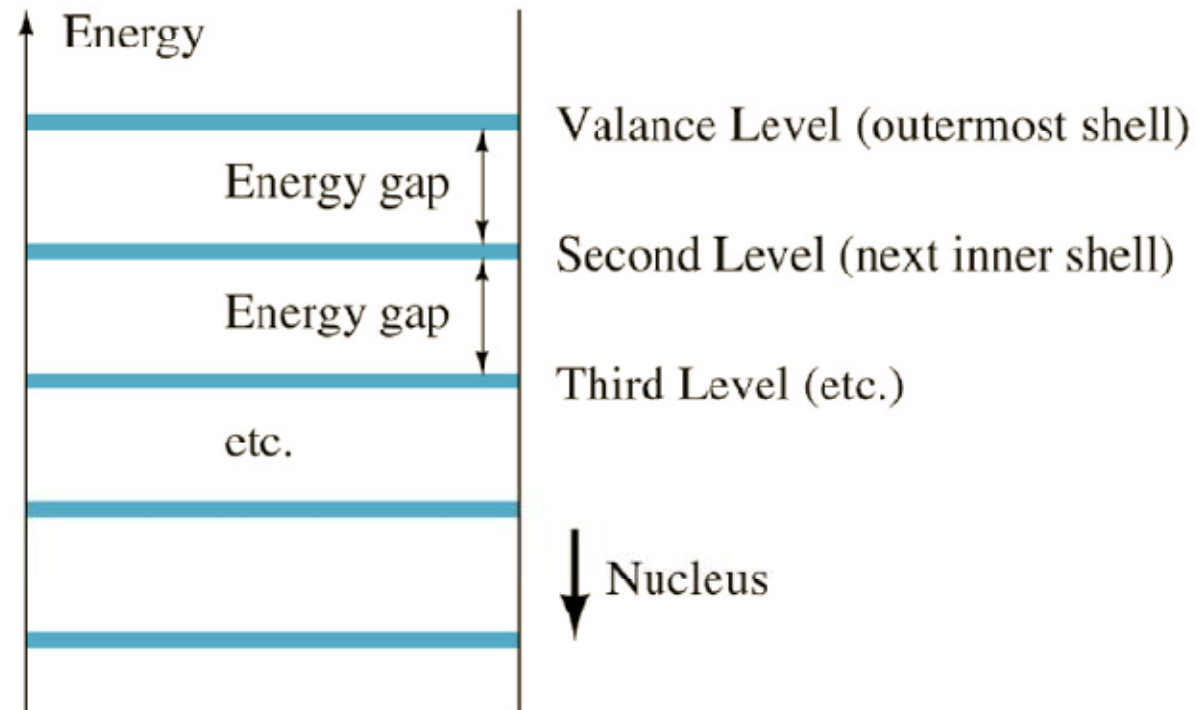
Materiais intrínsecos:

- 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.

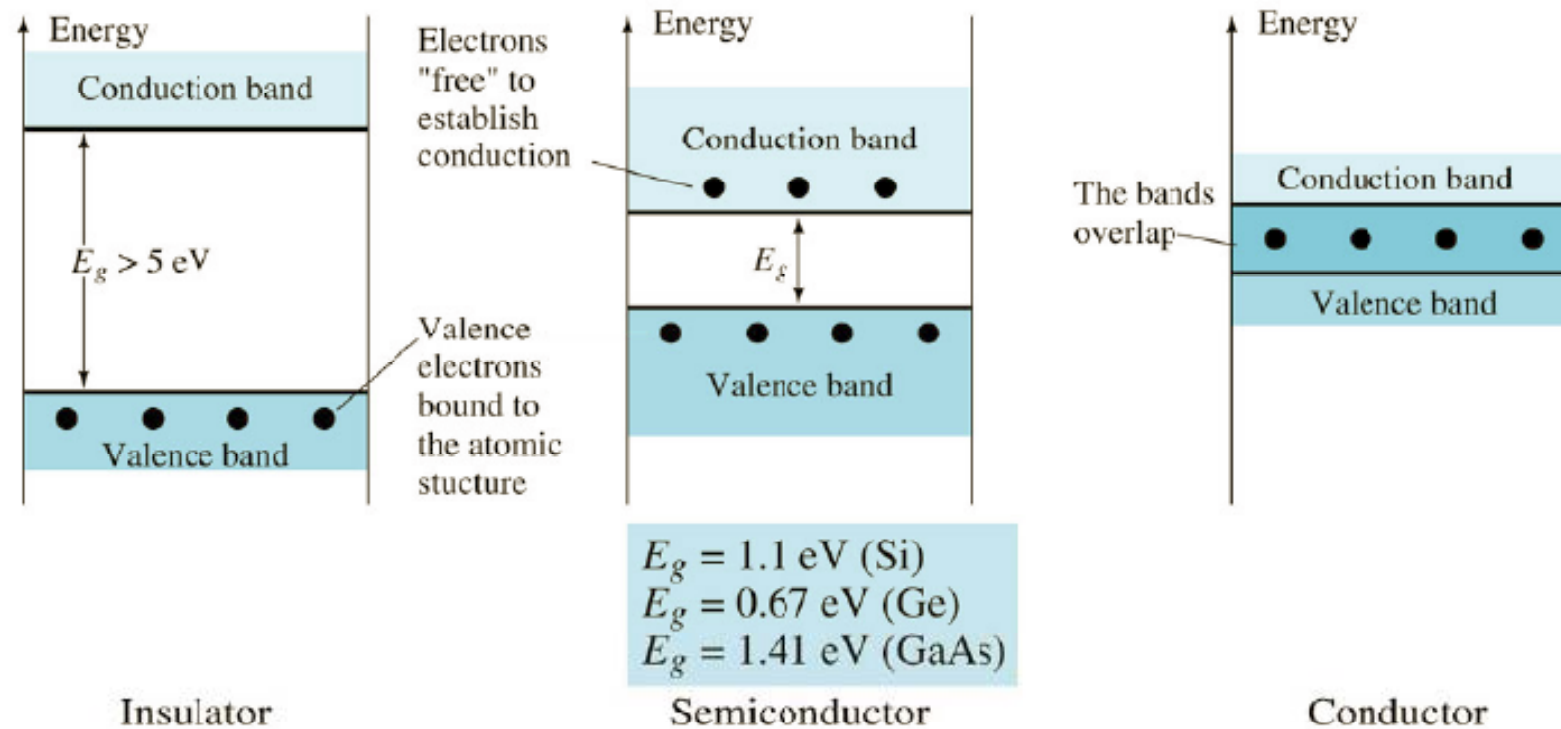
Níveis de energia

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 semicondutor submetido ao processo de dopagem é chamado de material extrínseco.



Antimônio (5 elétrons na camada de valência.)

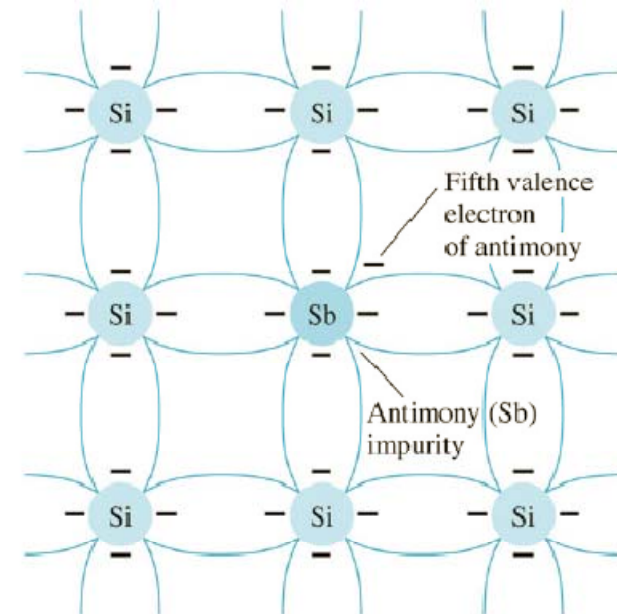
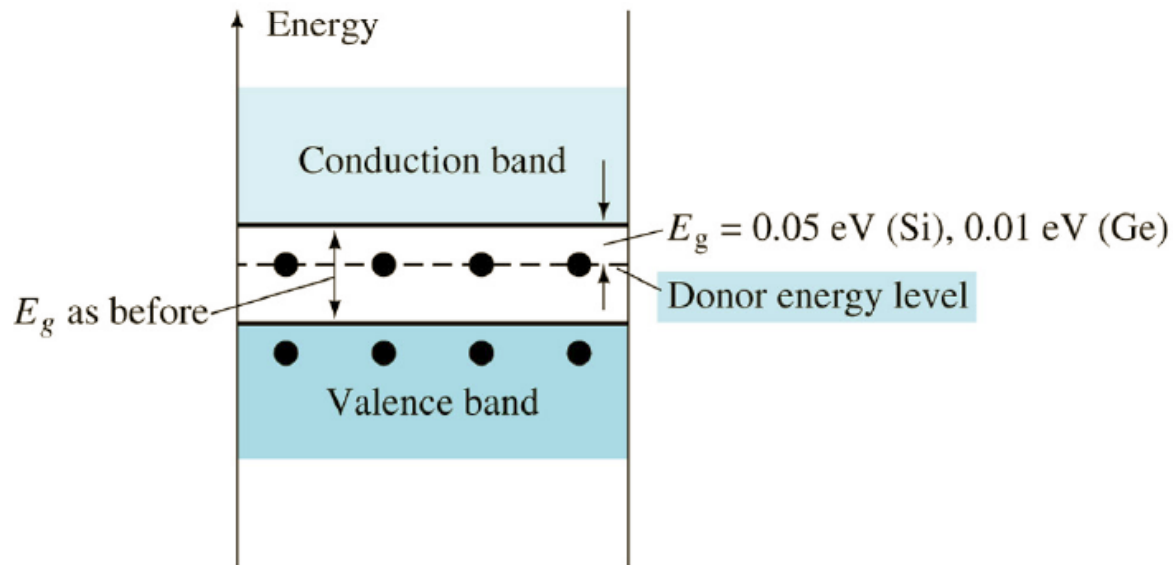


Gálio (3 elétrons na camada de valência.)

Materiais extrínsecos N e P

Material do tipo N:

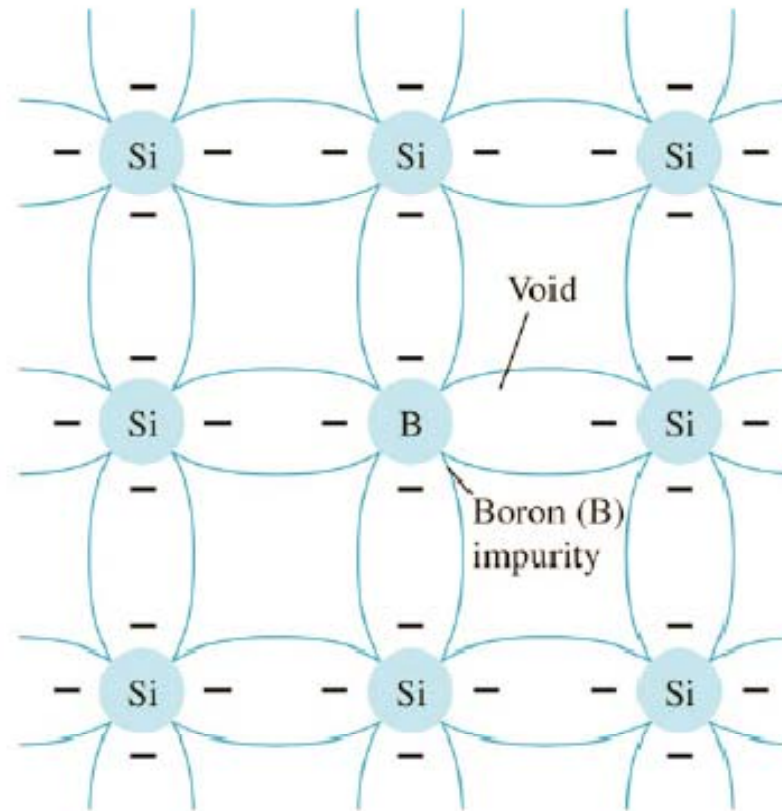
- É um material semiconductor dopado com impurezas com cinco elétrons na camada de valência.



Materiais extrínsecos N e P

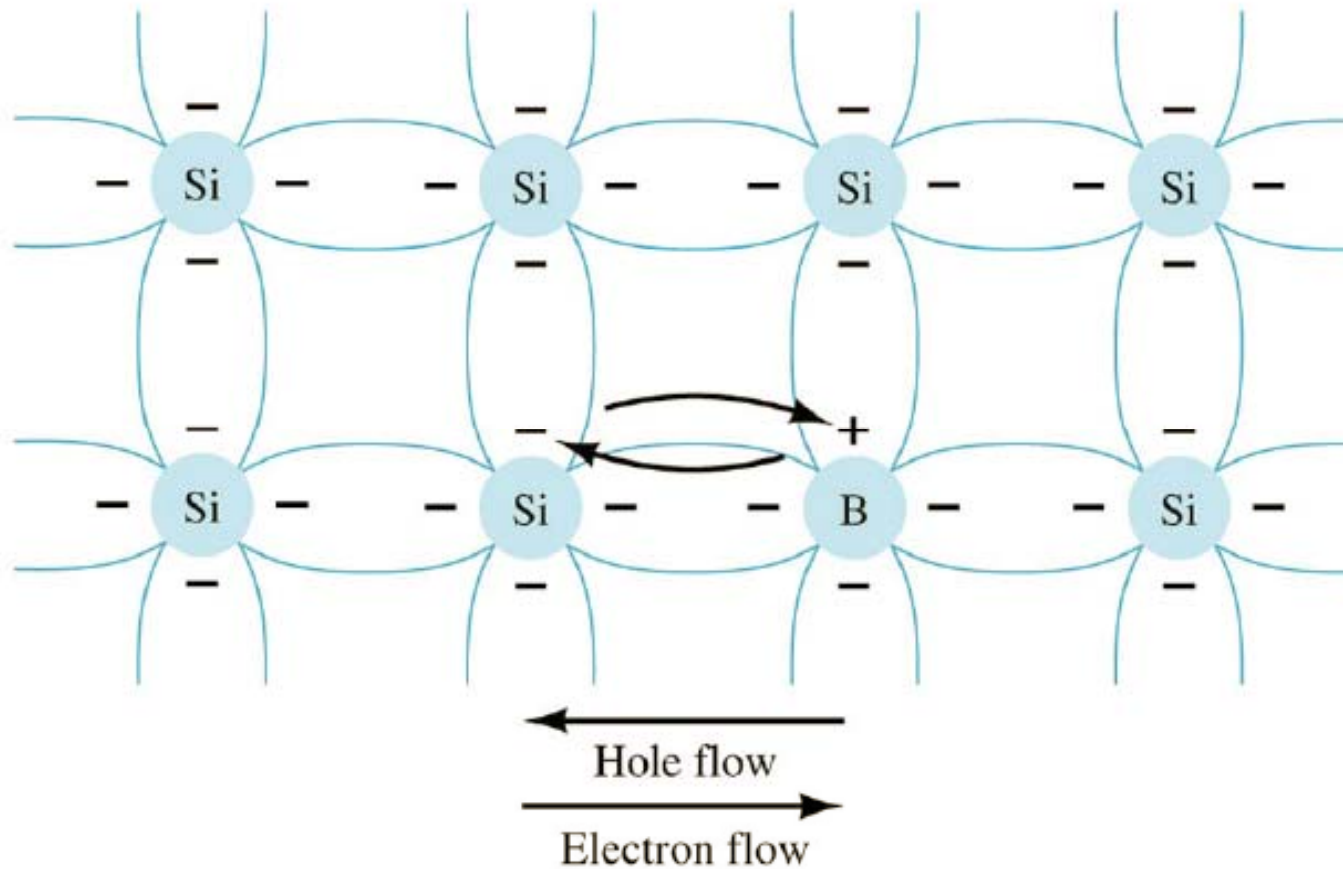
Material do tipo P:

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



Materiais extrínsecos N e P

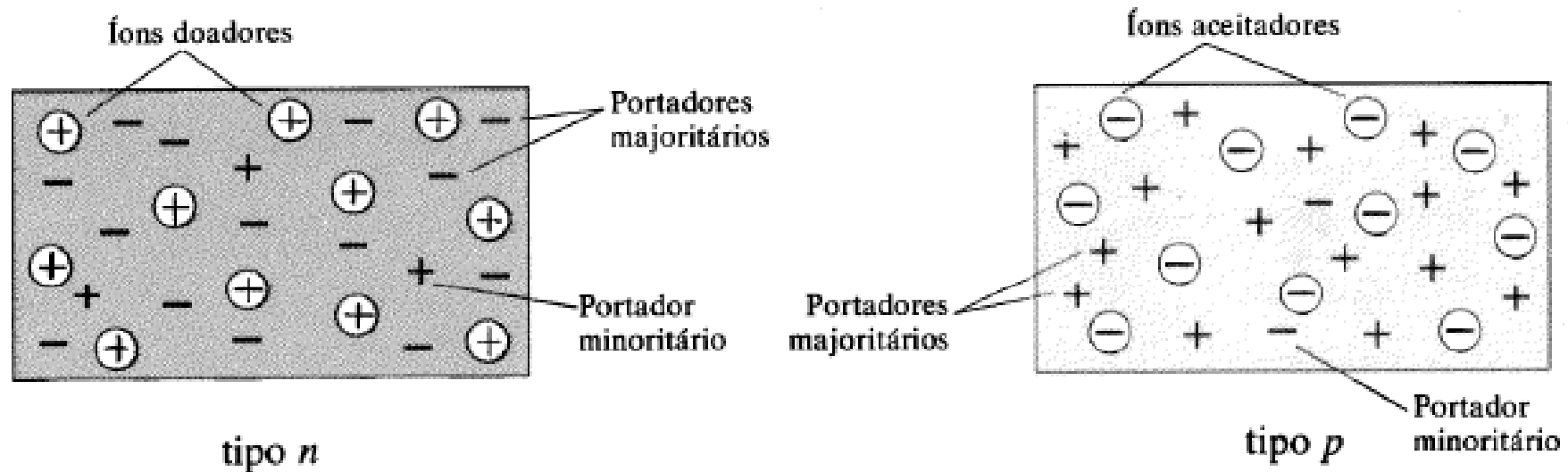
Fluxo de elétrons versus fluxo de lacunas:



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

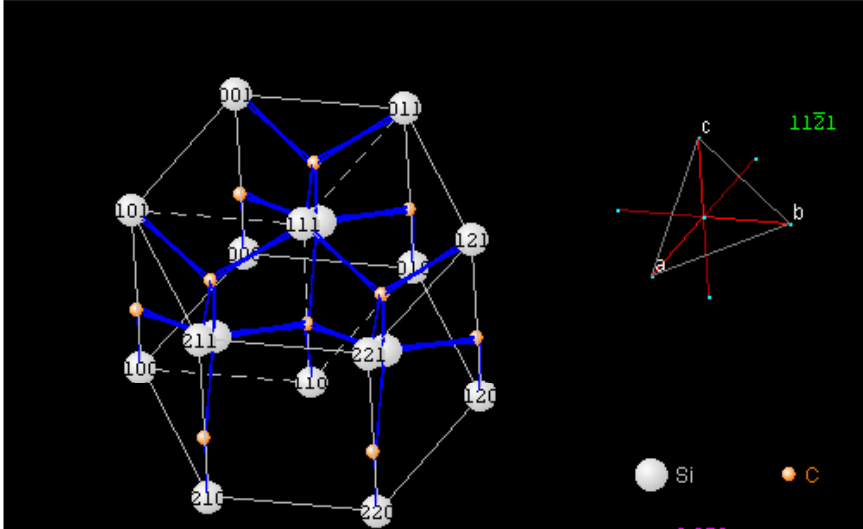
http://jas.eng.buffalo.edu/education/solid/hcp/cell.html

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: $11\bar{2}1$

Select Compound
 CdS GaN SiC
 ZnS ZnSe Other

Cal Plane Distance

Done Internet | Protected Mode: On 100%

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

Fabricação do diodo

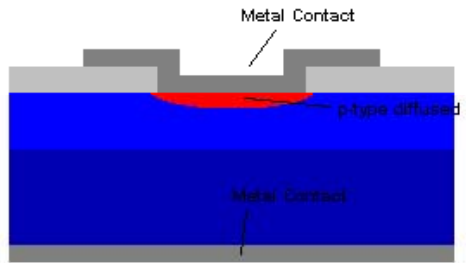
PN Diode Applet - Internet Explorer provided by Dell

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

File Edit View Favorites Tools Help

PN Diode Applet

PNDIODE




■ 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 :



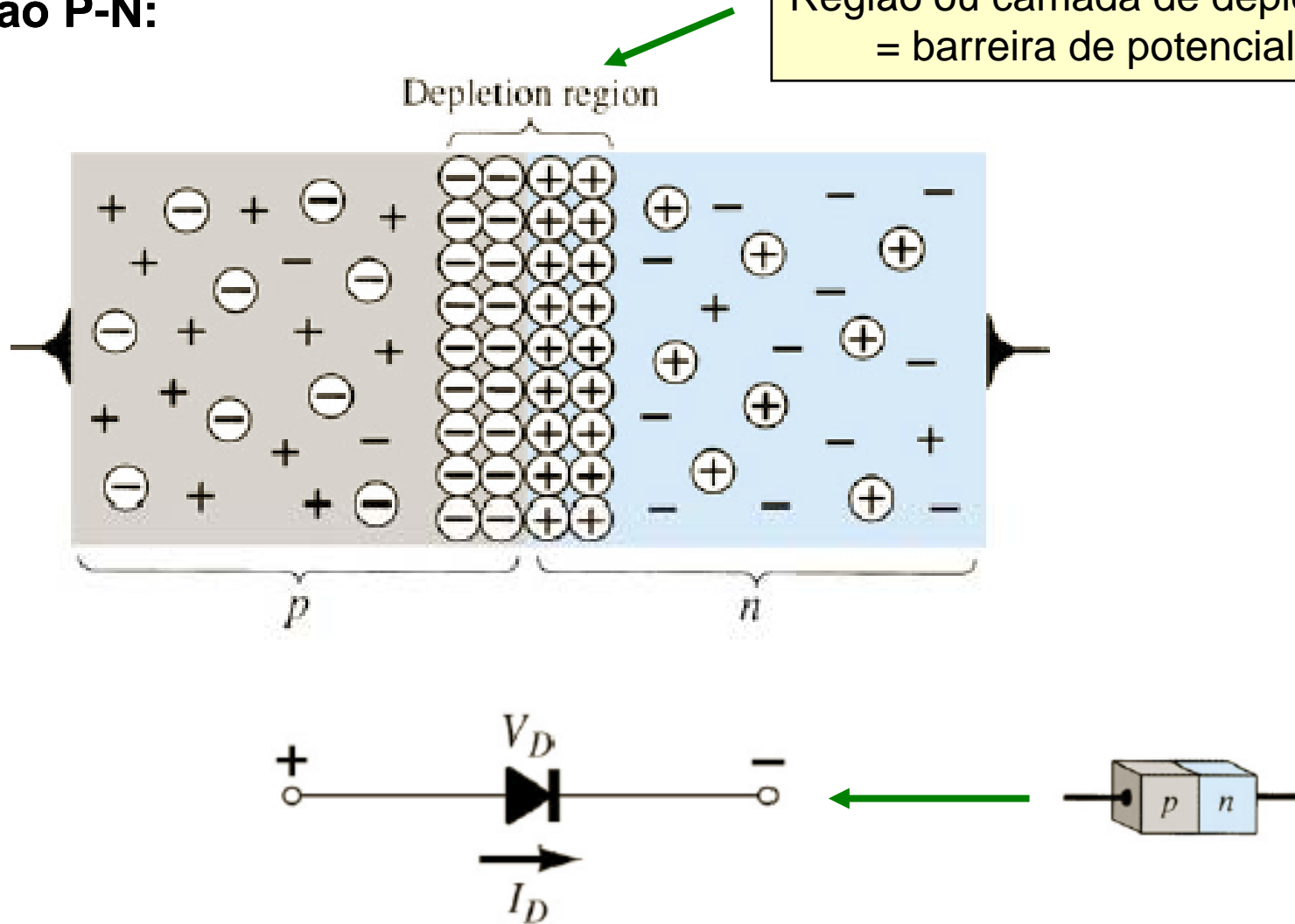
Done Internet | Protected Mode: On 100%

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

Diodo semiconductor

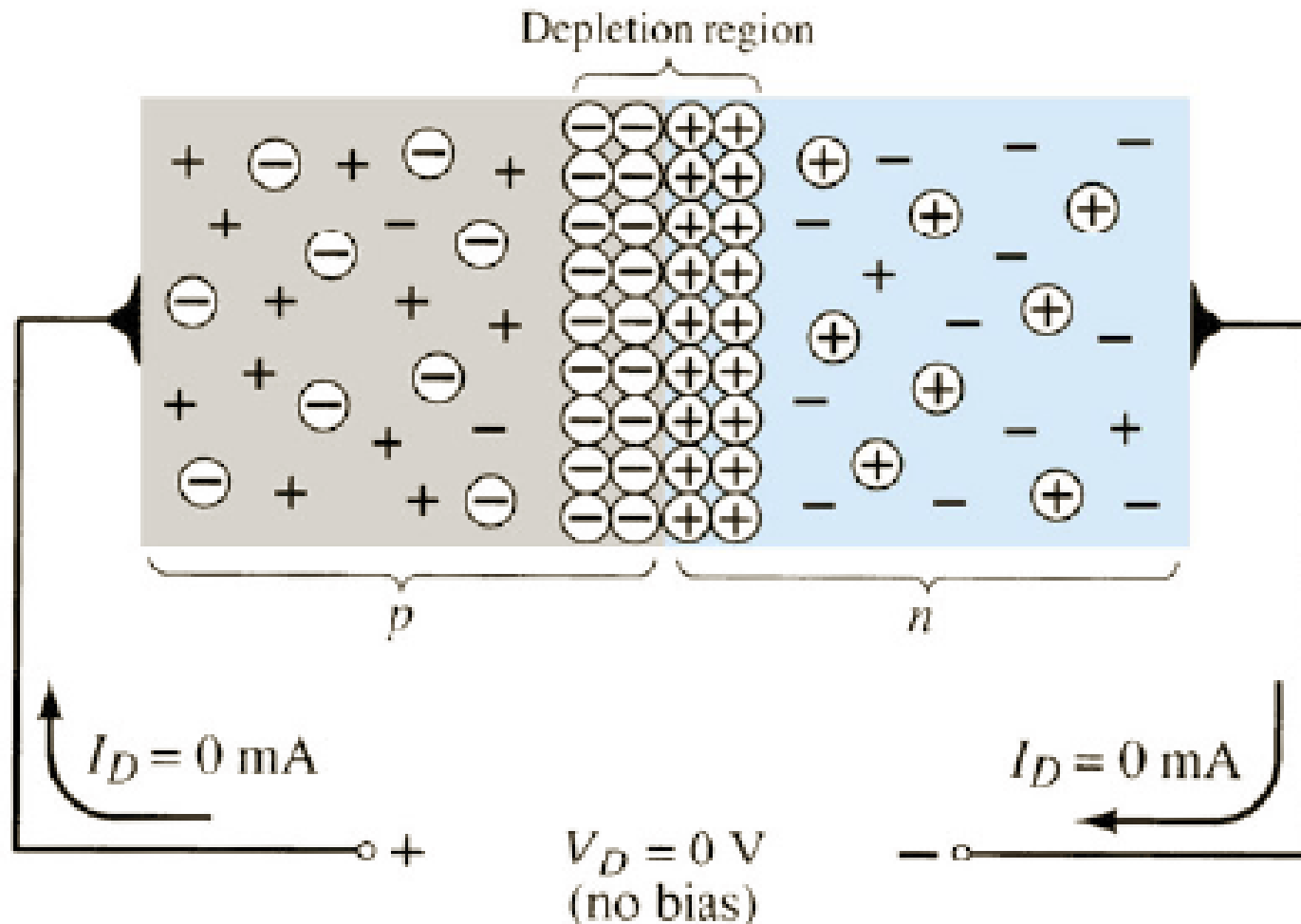
Junção P-N:

Região ou camada de depleção = barreira de potencial



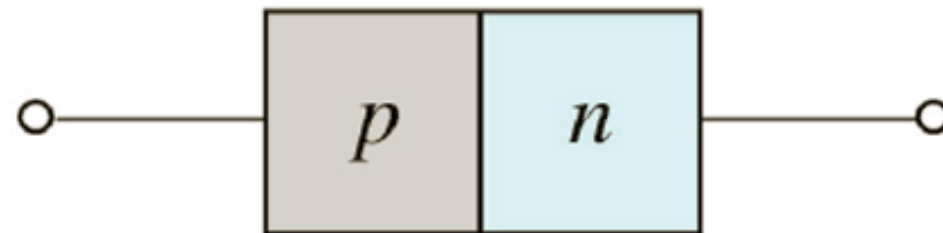
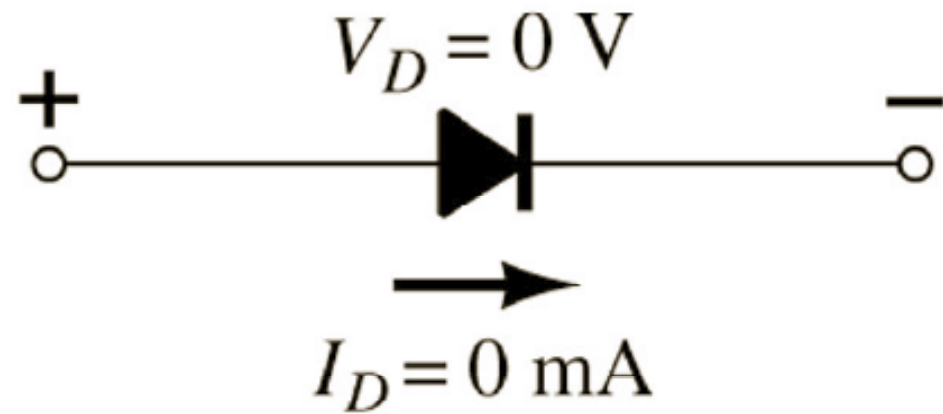
Diodo semiconductor

Sem polarização ($V_D = 0$ V):



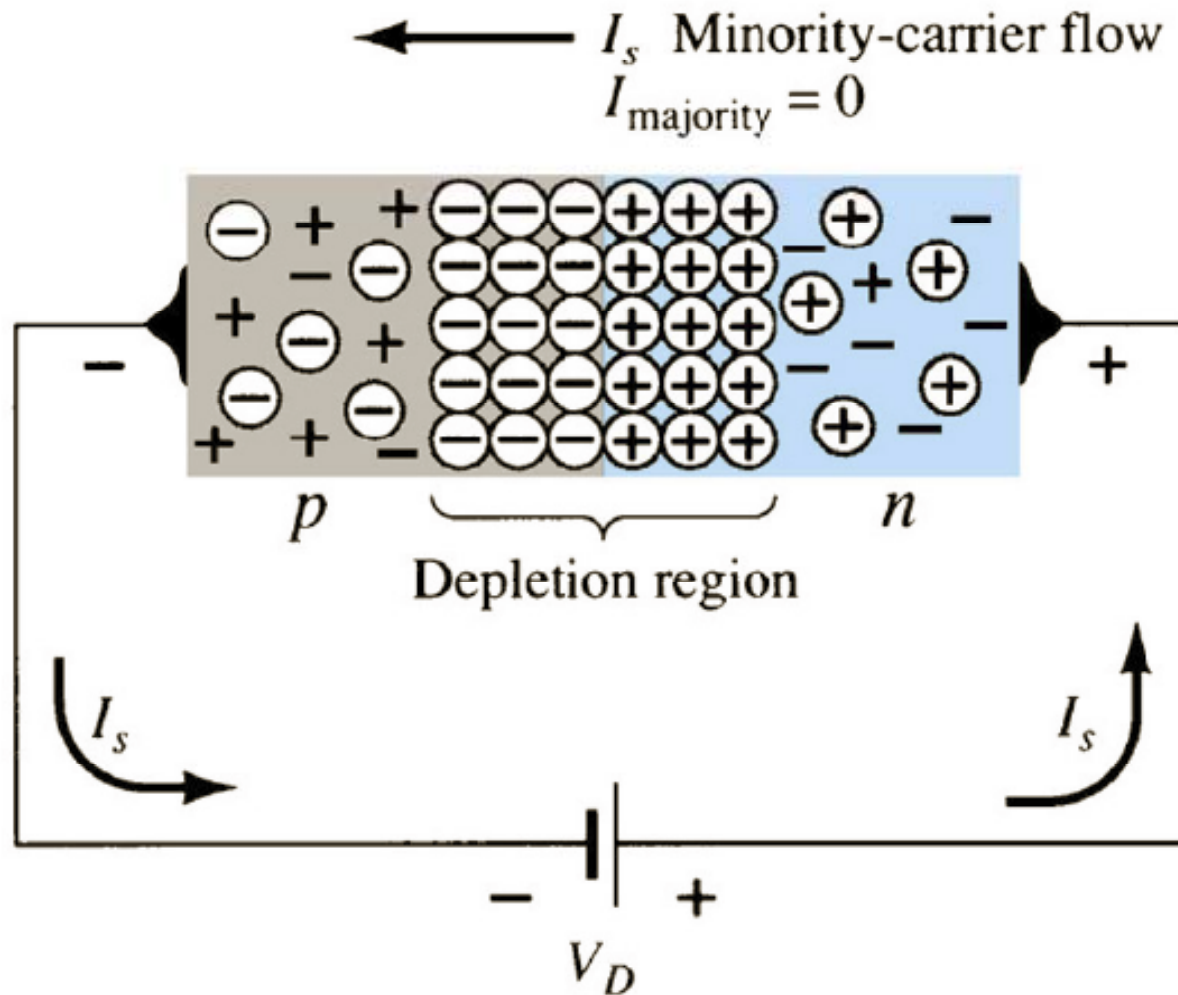
Diodo semicondutor

Sem polarização ($V_D = 0$ V):



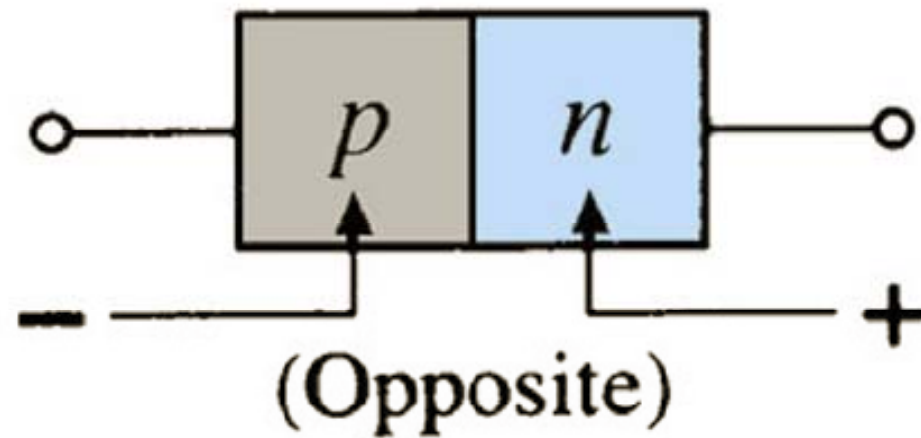
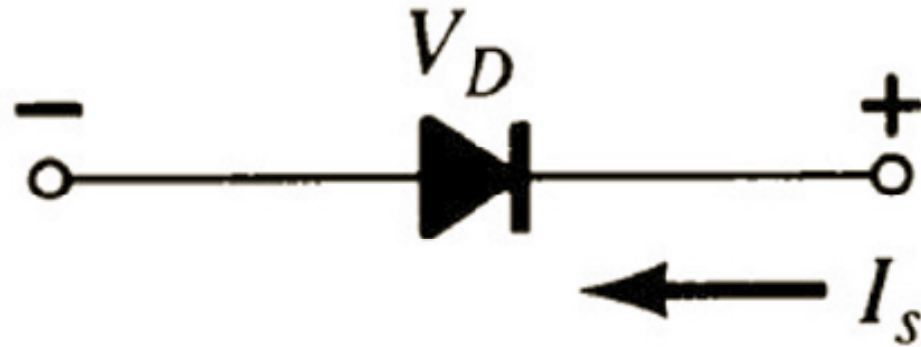
Diodo semiconductor

Polarização reversa ($V_D < 0$ V):



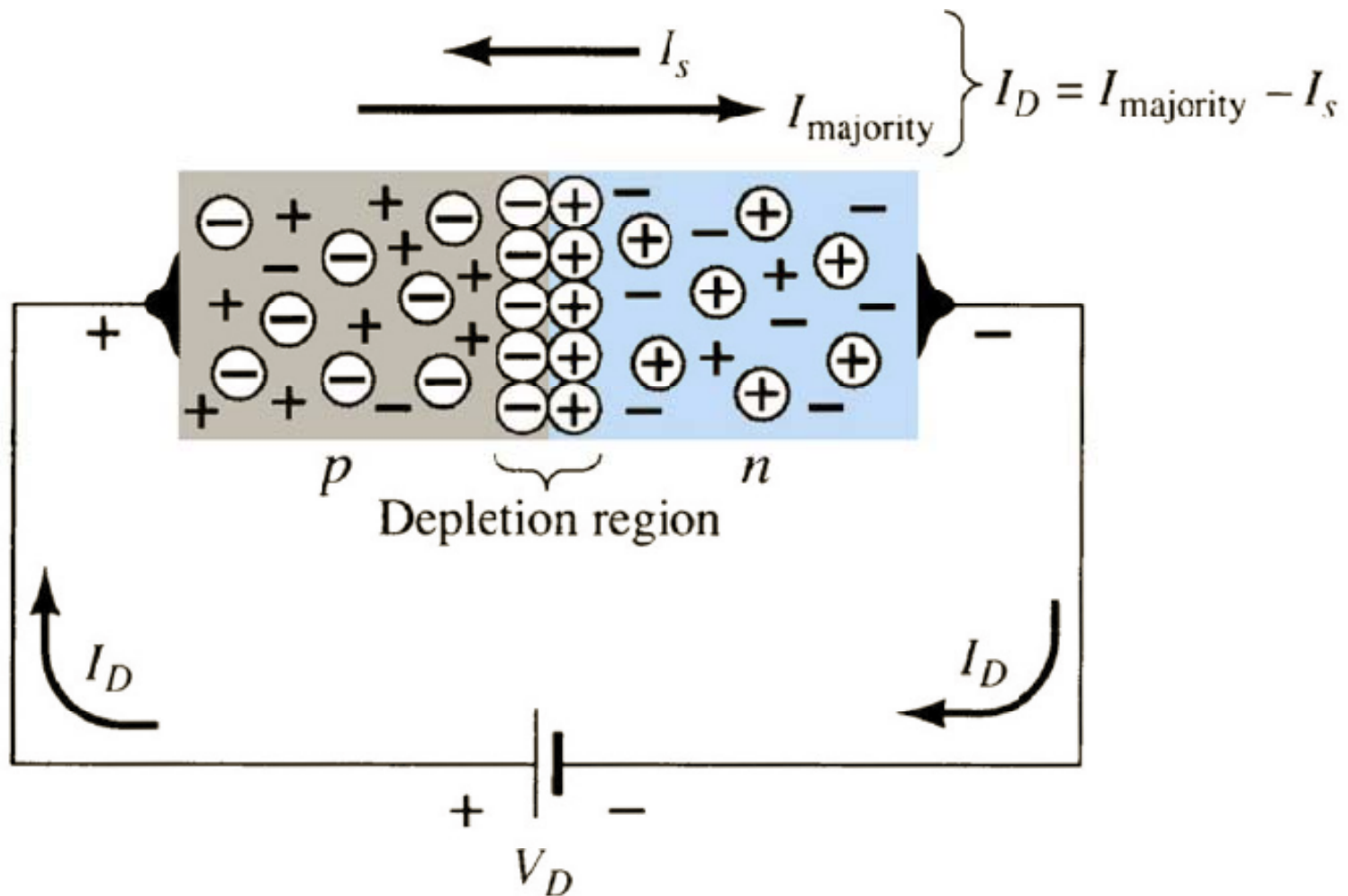
Diodo semicondutor

Polarização reversa ($V_D < 0$ V):



Diodo semiconductor

Polarização direta ($V_D > 0$ V):



Diode semiconductor

Diode - Internet Explorer provided by Dell

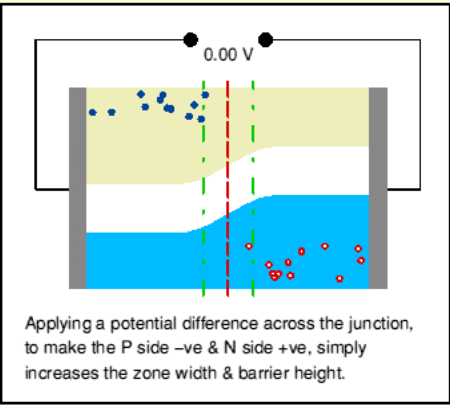
http://www.st-andrews.ac.uk/~www_pa/Scots_Guide/info/comp/passive/diode/diode.htm

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!




0.00 V

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.

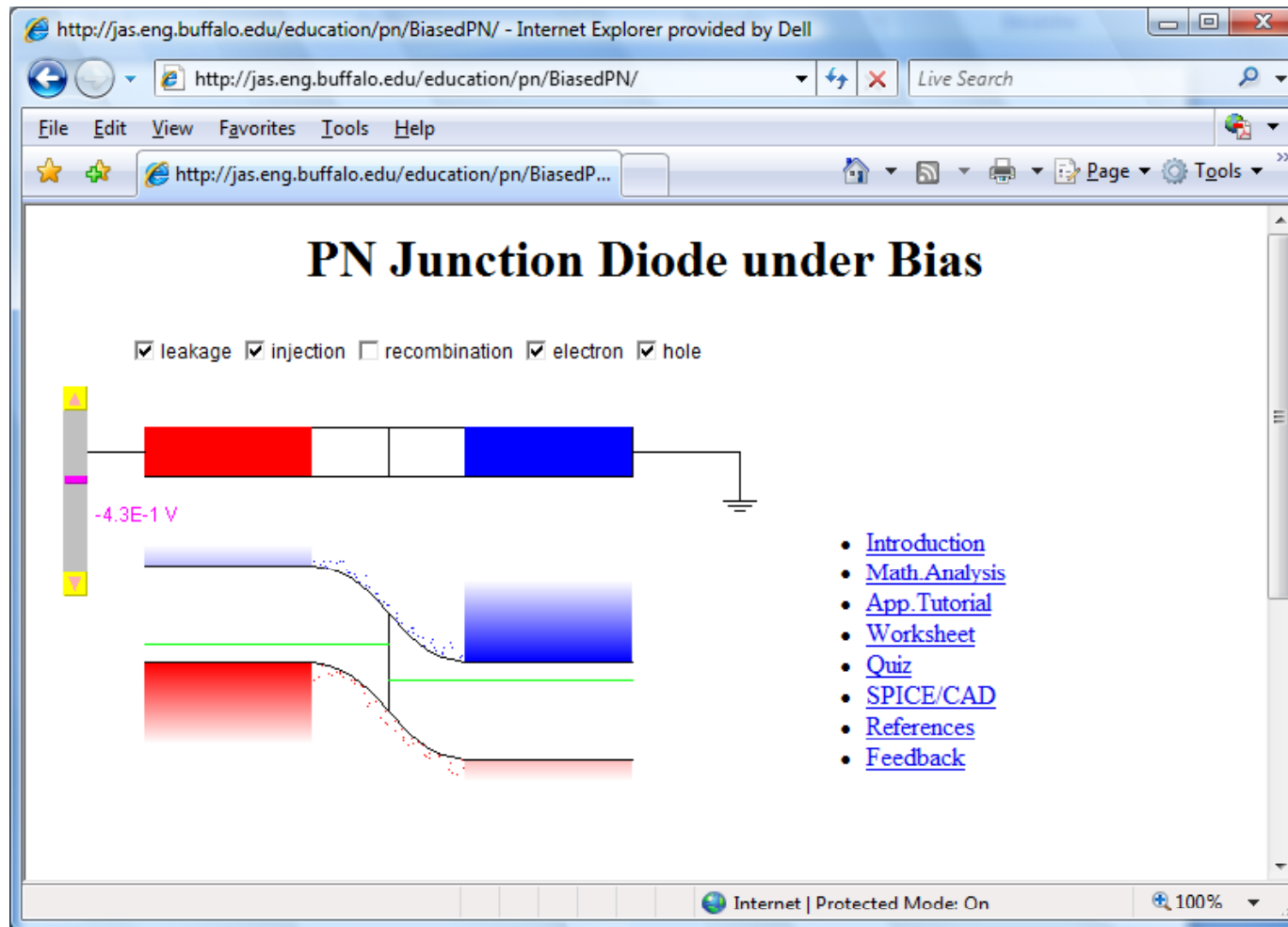
When we apply a potential difference between the two wires in one direction we tend to pull the free electrons and holes away from the junction. This makes it even harder for them to cross the depletion zone.

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/~www_pa/Scots_Guide/info/comp/passive/diode/diode.htm

Diodo semiconductor



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

Diodo semiconductor

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;

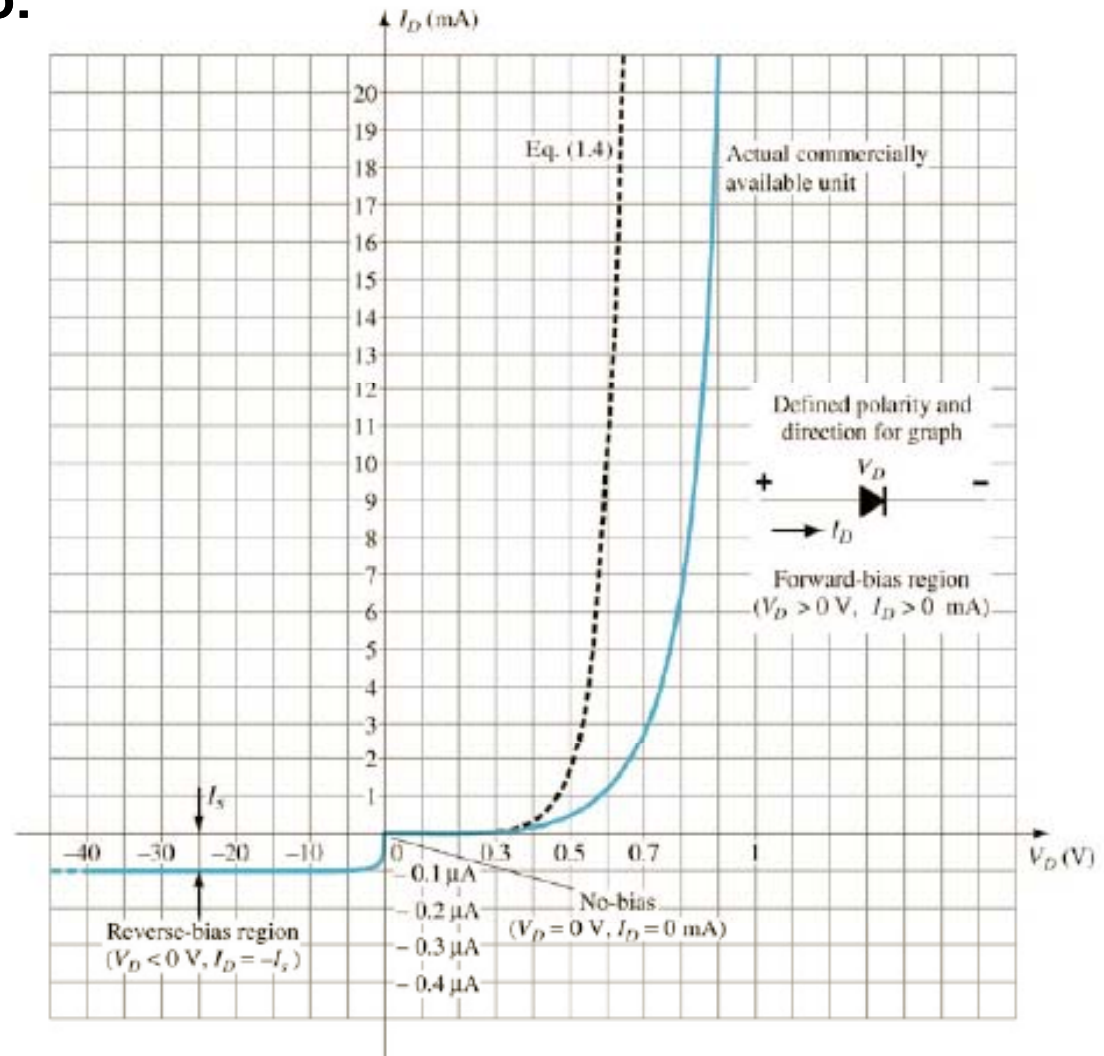
$K = 11600/\eta$ onde $\eta=1$ para Ge e $\eta=2$ para Si;

$$T_K = T_C + 273^0$$

Diodo semiconductor

Modelamento matemático:

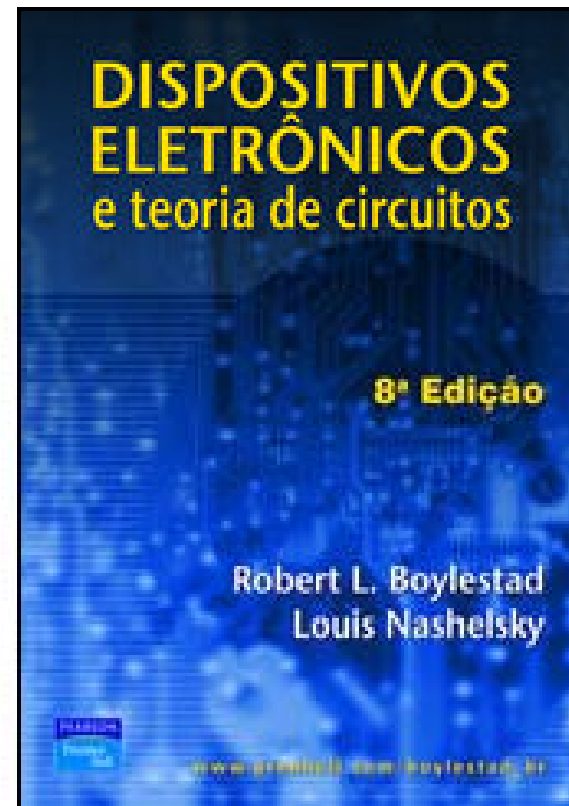
$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{K \cdot V_D}{T_K}} - 1 \right)$$



Na próxima aula

Capítulo 1: Diodos semicondutores

1. Características dos diodos.



www.cefetsc.edu.br/~petry