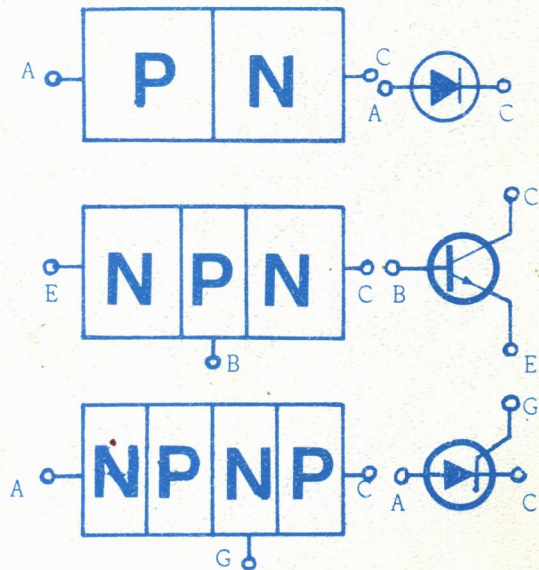


A. SAIDANE

# PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS

TOME II

LA PHYSIQUE  
DES  
COMPOSANTS  
ELECTRONIQUES  
DE BASE



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

## Table des constantes physiques

désignation	symbole	valeur
Charge de l'électron	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$ C
Masse de l'électron au repos	$m_0$	$9,11 \cdot 10^{-31}$ Kg
Masse du proton au repos	$M_p$	$1,67 \cdot 10^{-27}$ Kg
Constante de Boltzmann	k	$8,62 \cdot 10^{-5}$ eV/°K
Constante de Planck	h	$6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s
Constante de Rydberg	R	$1,097373177 \cdot 10^7$ m <sup>-1</sup>
Perméabilité du vide	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7}$
Permittivité du vide	$\epsilon_0$	$8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m
Rayon de Bohr	$r_0$	0,53 A
Vitesse de la lumière	c	$2,998 \cdot 10^8$ m/s
Nombre d'Avogadro	N	$6,023 \cdot 10^{23}$ /mole
Magnéton de Bohr	$\mu_B$	$9,274 \cdot 10^{-24}$ J/°K

### CONVERSION

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ A} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm}$$

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-4} \text{ cm}$$

$$h = h/2\pi = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Propriétés physiques du Ge, Si et AsGa à 300°K

Propriétés	Ge	Si	AsGa
Masse atomique (g)	72,6	28,09	144,63
Nombre d'atomes (cm <sup>-3</sup> )	4,42.10 <sup>22</sup>	5.10 <sup>22</sup>	2,21.10 <sup>22</sup>
Structure du réseau	diamant	diamant	zincblende
Constante du réseau (Å)	5,66	5,43	5,65
Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	5,32	2,33	5,32
Eg (eV)	0,67	1,12	1,43
Affinité électronique (eV)	4	4,05	4,07
Densité d'états effective (cm <sup>-3</sup> )			
* dans B.C ; Nc:	1,04.10 <sup>19</sup>	2,8.10 <sup>19</sup>	4,7.10 <sup>17</sup>
* dans B.V ; Nv:	6.10 <sup>18</sup>	1,04.10 <sup>19</sup>	7,0.10 <sup>18</sup>
Concentration intrinsèque (cm <sup>-3</sup> )	2,33.10 <sup>13</sup>	1,6.10 <sup>10</sup>	1,3.10 <sup>6</sup>
Mobilité intrinsèque (cm <sup>2</sup> /V.s)			
* des électrons, μ	3900	1350 à 1500	8400 à 8500
* des trous, μ	1900	480 à 600	250 à 400
Masse effective des électrons (m*/m <sub>0</sub> )			
* longitudinale	1,58	0,98	0,668
* transversale	0,082	0,19	-
Masse effective des trous (m*/m <sub>0</sub> )			
* trous légers	0,04	0,16	0,12
* trous lourds	0,3	0,5	0,15
Constante diélectrique (ε/ε <sub>0</sub> )	16	11,8	10,9 à 12
Tension de claquage (V/μm)	10	30	40
Température de fusion (°C)	937	1420	1235
Conductibilité thermique (W/cm°K)	0,6 à 0,64	1,45 à 1,5	0,35
Coefficient de dilatation linéaire ΔL/L ΔT (1/°C)	5,8.10 <sup>-6</sup>	2,6.10 <sup>-6</sup>	5,9.10 <sup>-6</sup>
Degré d'ionisation	0	0	0,32
Facteur de dégénérescence			
* atomes donneurs	2	2	2
* atomes accepteurs	4 <sup>-3</sup>	4 <sup>-3</sup>	4 <sup>-8</sup>
Durée de vie minoritaires (s)	10	2,5.10 <sup>-3</sup>	10
Energy des phonons Raman (eV)	0,037	0,063	0,035
Chaleur spécifique (J/°K.g)	0,31	0,7	0,35
Coefficient de diffusion thermique (cm <sup>2</sup> /s)	0,36	0,9	0,44
Work fonction (eV)	4,4	4,8	4,7
Pression de vapeur (Torr)	10 <sup>-3</sup> à 1270°C 10 <sup>-8</sup> à 800°C	10 <sup>-3</sup> à 1600°C 10 <sup>-7</sup> à 930°C	1 à 1050°C 100 à 1220°C

## Table des matières

### III LES SEMICONDUCTEURS INTRINSEQUES ET EXTRINSEQUES

3.1 Les semiconducteurs intrinsèques .....	1
3.1.1 Définitions .....	1
3.1.2 Génération de paires de charge libres .....	3
3.1.3 Evaluation du nombre de porteurs n et p .....	8
3.1.4 Détermination de la position du niveau de Fermi ..	14
3.1.5 Propriétés électriques du semiconducteur intrinsèques .....	15
3.1.6 Durée de vie des porteurs de charge libre .....	18
3.2 Les semiconducteurs extrinsèques .....	22
3.2.1 Définitions .....	22
3.2.2 Le semiconducteur extrinsèque type N .....	25
3.2.3 Le semiconducteur extrinsèque type P .....	28
3.2.4 Evaluation des concentrations dans un semi-conducteur extrinsèque .....	32
3.2.5 Position du niveau de Fermi dans un semiconducteur extrinsèque .....	39
3.2.6 Propriétés électriques du semiconducteur extrinsèque .....	47
3.3 Diffusion et équations de continuité des porteurs minoritaires d'un semiconducteur extrinsèque .....	51
3.3.1 Diffusion des porteurs minoritaires .....	51
3.3.2 Equation de continuité des porteurs minoritaires ..	54
3.3.3 Exemples de diffusion des minoritaires .....	56
3.3.4 Les courants dans un semiconducteur non-polarisé soumis à l'illumination .....	63
Exercices .....	67

### IV LA JONCTION P-N

4.1 Formation d'une jonction P-N .....	77
----------------------------------------	----

4.1.1	Définition d'une jonction P-N .....	77
4.1.2	Formation d'une jonction P-N .....	78
4.1.3	Différents types de jonction P-N .....	81
4.2	Fabrication d'une jonction P-N .....	82
4.3	Calcul du potentiel de diffusion d'une jonction P-N ..	96
4.4	Variation du champ électrique et du potentiel à travers la zone de charge d'espace .....	100
4.4.1	Etude d'une jonction P-N de type abrupte .....	100
4.4.2	Etude d'une jonction P-N graduelle .....	109
4.5	Fonctionnement d'une jonction P-N .....	112
4.6	La caractéristique d'une jonction P-N .....	118
4.6.1	La caractéristique idéale .....	118
4.6.2	La caractéristique réelle .....	129
4.7	La jonction P-N en régime transitoire .....	144
4.7.1	Variation dans le temps de la charge injectée ....	144
4.7.2	Capacité d'une jonction polarisée .....	148
4.7.3	Temps de commutation d'une jonction P-N .....	150
4.8	Etude de quelques jonctions P-N spéciales .....	154
4.8.1	La jonction Zener .....	154
4.8.2	La jonction tunnel .....	159
4.8.3	Les photojonctions .....	162
4.8.4	La jonction électroluminescente .....	175
4.8.5	La jonction LASER .....	181
4.8.6	La jonction IMPATT .....	186
4.9	L'hétérojonction .....	189
Exercices	.....	197
<b>V LES TRANSISTORS</b>		
5.1	La jonction transistor bipolaire (JTb) .....	210
5.1.1	Définitions .....	210
5.1.2	Fabrication des transistors bipolaires .....	213
5.1.3	Montages fondamentaux d'un transistor .....	215
5.1.4	Fonctionnement d'un transistor bipolaire .....	217
5.1.5	Caractéristiques statiques d'un JTb .....	226
5.1.6	Les modes de fonctionnement d'un JTb .....	269
5.1.7	Le JTb en régime variable .....	271

5.2 Le transistor à effet de champ (TEC) .....	282
5.2.1 Constitution et fonctionnement d'un JFET .....	283
5.2.2 Caractéristiques électriques statiques .....	291
5.2.3 Le JFET en régime variable .....	300
5.3 Le transistor à effet de champ à porte isolée .....	306
5.3.1 Constitution et fonctionnement d'un MOSFET .....	306
5.3.2 Caractéristiques électriques d'un MOSFET .....	317
5.3.3 Le MOSFET en régime dynamique .....	325
5.4 Le phototransistor .....	329
5.4.1 Constitution et fonctionnement .....	329
5.4.2 Le phototransistor en régime variable .....	332
5.4.3 Le phototransistor à effet de champ .....	336
Exercices .....	341

## VI LES THYRISTORS

6.1 Introduction .....	353
6.2 Le thyristor SCR .....	354
6.2.1 Structure d'un SCR .....	354
6.2.2 Fabrications des thyristors .....	357
6.2.3 Fonctionnement du SCR .....	359
6.2.4 Caractéristiques électriques du SCR .....	378
6.2.5 Le SCR en régime dynamique .....	387
6.2.6 Quelques applications simples du SCR .....	392
6.2.7 Techniques technologiques pour améliorer les performances d'un SCR .....	397
6.3 Le TRIAC .....	400
6.3.1 Structure d'un TRIAC .....	400
6.3.2 Caractéristiques électriques .....	402
6.3.3 Amorçage d'un TRIAC .....	404
6.3.4 Quelques applications du TRIAC .....	408
6.4 Autres thyristors .....	410
6.4.1 La diode Schockley ou BOD .....	410
6.4.2 La DIAC .....	412
6.4.3 Le GTO .....	414
6.4.4 Le photothyristor .....	419
6.4.5 Le thyristor à effet de champ .....	424
Exercices .....	427
Bibliographie .....	430