

2-621-19-7/1

2-621-19-7/1

**TRAITÉ D'ÉLECTRICITÉ**

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE  
PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE JACQUES NEIRYNCK



VOLUME VII

**DISPOSITIFS  
À SEMICONDUCTEUR**

par Jean-Daniel Chatelain



PRÈSSES POLYTECHNIQUES ROMANDES

## TABLE DES MATIÈRES

	INTRODUCTION .....	v
CHAPITRE 1	PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS	
	1.1 Préambule .....	1
	1.2 Bandes d'énergie dans un semiconducteur .....	1
	1.3 Semiconducteur intrinsèque .....	4
	1.4 Semiconducteur à l'équilibre et niveau de Fermi. Semiconducteur hors équilibre et quasi-niveau de Fermi .....	7
	1.5 Semiconducteur extrinsèque de type n .....	10
	1.6 Semiconducteur extrinsèque de type p .....	13
	1.7 Semiconducteur à dopage non uniforme à l'équilibre thermodynamique .....	15
	1.8 Equation de continuité pour les charges mobiles .....	19
	1.9 Comportement des régions neutres .....	26
	1.10 Exercices .....	34
CHAPITRE 2	JONCTION pn	
	2.1 Structures des jonctions pn .....	37
	2.2 Jonction pn hors équilibre .....	39
	2.3 Zone de charge spatiale dans les jonctions .....	42
	2.4 Capacité de transition .....	49
	2.5 Exercices .....	52
CHAPITRE 3	DIODE À JONCTION	
	3.1 Structure technologique .....	55
	3.2 Caractéristiques statiques de la diode à jonction .....	57
	3.3 Dérogations à la loi théorique pour les faibles niveaux d'injection .....	64
	3.4 Comportement dynamique de la diode à jonction. Modèle à commande par la charge .....	71
	3.5 Diode à jonction en régime d'accroissements. Modèle pour accroissements .....	77
	3.6 Exercices .....	82

CHAPITRE 4	CAS PARTICULIERS DE JONCTIONS	
4.1	Préambule	85
4.2	Claquage d'une jonction par effet tunnel	85
4.3	Diode tunnel	86
4.4	Ionisation par impact et effet d'avalanche	89
4.5	Contact métal-semiconducteur à l'équilibre	93
4.6	Caractéristique courant-tension du contact métal-semiconducteur	97
4.7	Exercices	103
CHAPITRE 5	TRANSISTOR BIPOLAIRE	
5.1	Transistor bipolaire : généralités	105
5.2	Modes fondamentaux de fonctionnement du transistor bipolaire	108
5.3	Caractéristiques statiques du transistor bipolaire. Modèle de Ebers et Moll	118
5.4	Effet d'avalanche dans la jonction base-collecteur des transistors bipolaires	125
5.5	Effet Early	129
5.6	Caractéristiques dynamiques du transistor bipolaire. Modèle à commande par la charge	134
5.7	Modèle de Gummel et Poon	141
5.8	Modèle du transistor bipolaire en régime d'accroissements	155
5.9	Exercices	162
CHAPITRE 6	THYRISTOR	
6.1	Structure technologique	165
6.2	Fonctionnement du thyristor. Caractéristique statique	168
6.3	Thyristor en régime dynamique	175
6.4	Caractéristique de commande	178
6.5	Exercices	182
CHAPITRE 7	TRANSISTOR JFET	
7.1	Transistor JFET : généralités	183
7.2	Caractéristiques électriques du JFET	186
7.3	Modèle du JFET pour accroissements	196
7.4	Considérations sur le comportement du canal d'un JFET saturé	205
7.5	Exercices	208
CHAPITRE 8	TRANSISTOR MOS	
8.1	Transistor MOS : généralités	209
8.2	Régimes de fonctionnement du transistor MOS	212
8.3	Relation entre le potentiel de grille $V_G$ et le potentiel de surface $V_\sigma$	216
8.4	Transistor MOS en régime de faible inversion	218

8.5	Transistor MOS en régime de forte inversion . . . . .	225
8.6	Capacité MOS . . . . .	235
8.7	Modèle du transistor MOS pour accroissements : régime statique . . . . .	240
8.8	Modèle du transistor MOS pour accroissements : régime dynamique . . . . .	244
8.9	Exercices . . . . .	254
<b>CHAPITRE 9 DISPOSITIFS OPTOÉLECTRONIQUES</b>		
9.1	Préambule . . . . .	257
9.2	Notions d'optoélectronique . . . . .	257
9.3	Diodes électroluminescentes . . . . .	262
9.4	Photorésistances . . . . .	268
9.5	Photodiodes et cellules solaires . . . . .	270
9.6	Dispositifs utilisant les propriétés optoélectroniques . . .	276
9.7	Exercices . . . . .	279
<b>CHAPITRE 10 APERÇU DE TECHNOLOGIE DES DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEUR</b>		
10.1	Préambule . . . . .	281
10.2	Diffusion . . . . .	282
10.3	Epitaxie . . . . .	286
10.4	Passivation . . . . .	287
10.5	Procédé planar . . . . .	289
10.6	Exercices . . . . .	294
	<b>TABLE DE CONSTANTES . . . . .</b>	<b>295</b>
	<b>SOLUTION DES EXERCICES . . . . .</b>	<b>297</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE . . . . .</b>	<b>303</b>
	<b>INDEX ANALYTIQUE . . . . .</b>	<b>307</b>