

Christian Ngô
Hélène Ngô

Physique des semi-conducteurs

4^e édition



Écoles d'ingénieurs
Master

DUNOD

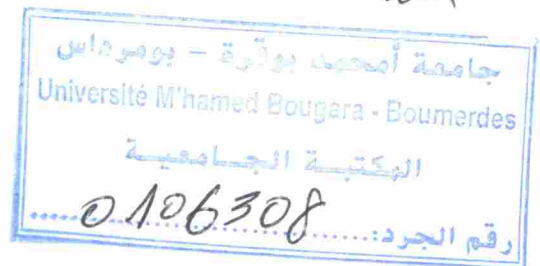
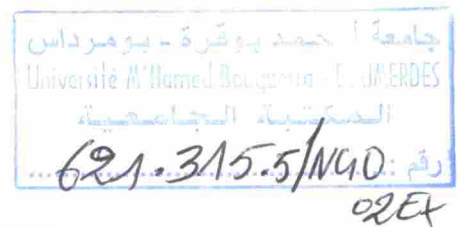
Christian Ngô
Hélène Ngô



Physique des semi-conducteurs

Cours et exercices corrigés

4^e édition



DUNOD

Table des matières

AVANT-PROPOS	xi
RAPPELS UTILES	xiv
CHAPITRE 1 • PHYSIQUE QUANTIQUE	1
1.1 Dualité onde-corpuscule	2
1.2 Relation de de Broglie	3
1.3 Postulats	4
1.4 États stationnaires	6
1.5 Mesures simultanées d'observables	6
1.6 Relations d'incertitude	7
1.7 Nombres quantiques	8
1.8 Spin	8
1.9 Bosons et fermions	9
1.10 Quantique ou classique ?	9
1.11 États liés et états du continu	10
Exercices	15
Corrigés	16
CHAPITRE 2 • PHYSIQUE STATISTIQUE	17
2.1 Postulats	17
2.2 Entropie statistique	18
2.3 Travail, chaleur	20
2.4 Conditions d'équilibre	21
2.5 Ensembles	24
2.6 Théorème d'équipartition de l'énergie	27
2.7 Statistiques quantiques	27
2.8 Gaz parfait de Fermi	29
Exercices	33
Corrigés	34

CHAPITRE 3 • STRUCTURE CRISTALLINE	39
3.1 Le cristal idéal	39
3.2 Réseaux cristallins	40
3.3 Diffraction par un réseau cristallin	49
3.4 Défauts cristallins	54
Exercices	56
Corrigés	57
CHAPITRE 4 • BANDES D'ÉNERGIE	59
4.1 Approximations	59
4.2 Méthode des liaisons fortes	62
4.3 Symétries	65
4.4 Approche des liaisons faibles	67
4.5 Propriétés statiques des électrons	71
4.6 Schéma réduit de Brillouin	72
4.7 L'équation centrale	74
4.8 Surface de Fermi	75
4.9 Métaux, isolants, semi-conducteurs	76
4.10 De l'isolant au métal	79
Exercices	81
Corrigés	82
CHAPITRE 5 • DYNAMIQUE DU RÉSEAU	83
5.1 Vibrations du réseau	83
5.2 Phonons	87
5.3 Propriétés thermiques	88
Exercices	92
Corrigés	93
CHAPITRE 6 • SEMI-CONDUCTEURS À L'ÉQUILIBRE	95
6.1 Notion de trou	95
6.2 Gap	96
6.3 Masse effective	98
6.4 Structure des bandes d'énergie	102
6.5 Densité d'états	104
6.6 Densité d'électrons et de trous	105

6.7	Semi-conducteurs intrinsèques	107
6.8	Dopage	108
6.9	Semi-conducteurs extrinsèques	114
	Exercices	116
	Corrigés	117
CHAPITRE 7 • DYNAMIQUE DES ÉLECTRONS		119
7.1	Dérive dans un champ électrique	120
7.2	Réponse à un champ électrique	123
7.3	Diffusion des porteurs	126
7.4	Potentiel externe et bandes d'énergie	129
7.5	L'effet Hall	129
	Exercices	131
	Corrigés	133
CHAPITRE 8 • DISPOSITIFS ÉLÉMENTAIRES (I)		137
8.1	La jonction pn	137
8.2	Perturbations dues à la surface	144
8.3	La jonction métal-métal	147
8.4	La jonction métal-semi-conducteur	148
	Exercices	151
	Corrigés	153
CHAPITRE 9 • DISPOSITIFS ÉLÉMENTAIRES (II)		157
9.1	Le transistor bipolaire	157
9.2	La diode tunnel	161
9.3	Transistors à effet de champ	162
9.4	Structures MIS et MOS	166
9.5	Le transistor MOS	168
9.6	Hétérojonctions	172
	Exercices	174
	Corrigés	175
CHAPITRE 10 • PROPRIÉTÉS OPTIQUES		177
10.1	Absorption de photons	177
10.2	Émission spontanée de photons	185
10.3	Émission stimulée	187

Exercices	190
Corrigés	191
CHAPITRE 11 • VERS L'ÉCHELLE NANOMÉTRIQUE	193
11.1 Systèmes mésoscopiques	194
11.2 Puits, fils et boîtes quantiques	195
11.3 Densité de niveaux	196
11.4 Puits quantiques	197
11.5 Multipuits quantiques et superréseaux	199
11.6 Transmission résonante sous la barrière	200
11.7 Le blocage de Coulomb	201
11.8 Dispositifs à un électron	204
11.9 Effet Hall quantique	204
11.10 Spintronique	206
11.11 L'électronique moléculaire	208
11.12 La technologie	208
11.13 Conclusion	209
Exercices	210
Corrigés	210
CHAPITRE 12 • DU NANOMONDE AUX APPLICATIONS	211
12.1 La nano-électronique : pourquoi ?	212
12.2 Voir et manipuler l'infiniment petit	215
12.3 Nouvelles formes de carbone	217
12.4 À l'échelle du nanomètre, le monde change	219
12.5 Top-down ou bottom-up ?	221
12.6 La nanomédecine	225
12.7 Nanoparticules et santé	228
12.8 Nano-électronique et libertés individuelles	229
Exercices	230
Corrigés	230
BIBLIOGRAPHIE	233
INDEX	235

Christian Ngô
Hélène Ngô

Physique des semi-conducteurs

Ce livre s'adresse aux étudiants des masters EEA et aux élèves des écoles d'ingénieurs.

Les composants électroniques sont partout (montre, téléphone portable, automobile, etc.). Ils simplifient la vie, améliorent le confort et permettent aux systèmes qui les contiennent des performances nouvelles ou exceptionnelles. Ces composants sont pour la plupart réalisés à partir de semi-conducteurs cristallins, en majorité du silicium.

Cet ouvrage donne les bases nécessaires pour comprendre le fonctionnement microscopique des composants électroniques élémentaires après avoir introduit des notions en physique statistique et quantique. Les semi-conducteurs utilisés en micro-électronique sont des cristaux et cette caractéristique leur confère des propriétés spéciales qui sont étudiées en détail. Cela permet de comprendre le principe de fonctionnement des principaux composants élémentaires (jonctions, diodes, transistors, etc.) et leurs propriétés optiques. Enfin, l'ouvrage aborde de manière simple la nano-électronique, un domaine en pleine expansion.

Des exercices corrigés complètent le cours à la fin de chaque chapitre.

4^e édition

Christian Ngô

a été directeur scientifique auprès du Haut-Commissaire à l'énergie atomique et délégué général de l'association Écrin. Il a créé la société de conseil Edmonium, qu'il dirige aujourd'hui. Il est auteur de nombreux ouvrages scientifiques en français et en anglais.

Hélène Ngô

a été enseignant-chercheur en physique théorique à l'Université d'Orsay (Paris XI). Elle est auteur, chez Dunod, de plusieurs ouvrages scientifiques.

6950992

CAMPUS PHYSIQUE SEI



9 782100 582488

978-2-10-057896-2

