



FERDJANI Kaïs

# Physique des semi-conducteurs et des composants optoélectroniques



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

## Sommaire

<b>Généralités.....</b>	<b>7</b>
<b>Chap I: Théorie des bandes d'énergie dans les solides</b>	
1- Introduction.....	9
2- Modèle des électrons libres.....	9
2.1. Niveaux d'énergie et densité d'états dans un espace à une dimension.....	9
2.2. Niveaux d'énergie et densité d'états dans un espace à trois dimension pluriel..	10
3- Electrons dans un potentiel périodique.....	13
3-1. Modèle unidimensionnel et équation d'ondes de l'électron dans un potentiel périodique.....	13
3-2. Valeurs propres de l'énergie.....	14
3-3. Nombres d'états dans une bande.....	17
3-4. Généralisation.....	18
3.5. Métaux, isolants et semi-conducteurs.....	19
<b>Chap II: Notion de masse effective</b>	
1-Modèle linéaire.....	21
2-Cas tridimensionnel.....	22
3-Détermination expérimentale de la masse effective. Résonance cyclotron.....	23
<b>Chap III: Physique des semi-conducteurs. Phénomènes de transport</b>	
1- Fonction de distribution de Fermi-Dirac.....	25
2- Calcul des concentrations de porteurs.....	25
2.1. Electrons.....	25
2.2. Trous.....	26
3- Phénomènes de conductibilité.....	27
3.1 Notion de mobilité.....	27
3.2 Conductivité d'un semi-conducteur.....	27
3.2.1. Bande faiblement occupée.....	27
3.2.2. Bande presque entièrement occupée.....	28
4-Diffusion- Equation de continuité.....	28
<b>Chap IV: Interaction rayonnement-matière</b>	
1-Phénomène d'absorption de la lumière.....	31
2-Semi-conducteurs hors équilibre - pseudo niveaux de Fermi.....	33
3-Taux net d'émission (différence entre émission et réception).....	33
3.1. Emission spontanée.....	34
3.2 Emission stimulée.....	34
3.3.Régimes de fonctionnement.....	34
4-Recombinaison de porteurs en excès.....	35
4.1.Durée de vie radiative.....	35
4.2.Durée de vie non radiative.....	36
4.3.Voies de recombinaisons non radiatives.....	36
4.3.1.Recombinaisons sur des pièges (défauts) .....	36
4.3.2.Effet Auger.....	36
4.3.3. Recombinaisons de surface.....	37
4.4.Vitesse de recombinaison en surface.....	37
5-Matériaux pour l'optoélectronique.....	37



5.1. Généralités.....	37
5.2. Les semi-conducteurs III-V et II-VI.....	37

## **Chap V : Jonctions et hétérojonctions**

1- La jonction pn.....	39
1.1. Enéralités.....	39
1.2. Détermination du champ et du potentiel électrique.....	40
1.3. Largeur de la zone de charge d'espace (ZCE).....	41
1.4. Jonction polarisée.....	42
1.4.1. Distribution de porteurs aux limites de la ZCE.....	42
1.4.2. Distribution des porteurs dans les régions neutres.....	44
1.4.3. Densités de courant.....	45
1.4.4. Claquage d'une jonction polarisée en inverse.....	46
1.4.4.a. Effet Zener.....	46
1.4.4.b. Effet d'avalanche.....	47
1.5. Jonction Tunnel.....	47
1.6. Capacité de jonction.....	49
1.6.1.Capacité de transition.....	49
1.6.2.Capacité de diffusion.....	50
2- Les hétérojonctions.....	51
2.1.Les hétérojonctions SC-SC.....	51
3- Le contact métal-SC (Diode Schottky).....	53
3.1 Diagramme de bandes d'énergie.....	53
3.2. Etats d'interface.....	57

## **Chap VI: Les photo détecteurs**

1- Processus de photoconduction.....	59
1.1. Distribution de photoporteurs.....	59
1.2. Etude en régime permanent.....	60
2- Les cellules photoconductrices.....	62
3- L'effet photovoltaïque- les photodiodes.....	64
3.1. Définition.....	64
3.2. Cas d'une jonction PN.....	64
3.3. Grandeurs caractéristiques.....	67
3.3.1. Rendement photoélectrique.....	67
3.3.2. Sensibilité.....	67
3.4. Types de photodiodes.....	67
3.4.1. Photodiode PIN.....	67
3.4.2. Photodiode avalanche.....	68
3.4.3. Photodiode Schottky.....	68
3.4.4. Phototransistor.....	68
4- Cellules solaires-photopile.....	68
4.1. Puissance débitée.....	69
4.2. Pertes par résistance série.....	70
4.3. Rendement.....	70
4.4. Matériaux et technologie.....	71

## **ChapVII: LES DIODES ELECTROLUMINESCENTES**

1- Principe .....	73
2- Les processus de recombinaison radiatifs.....	74
2.1. Les transitions inter bande.....	74
2.2. Recombinaison via des impuretés (centres de recombinaison).....	74
2.3. Recombinaison excitonique.....	75
3- Les matériaux pour LED:.....	75
4- Rendements.....	76
4.1. Rendement quantique interne (efficacité radiative).....	76
4.2. Rendement optique.....	76
4.3. Rendement quantique externe.....	77
4.4. Rendement global.....	77
5- Temps de réponse- Fréquence de coupure.....	78
6- Structure de la diode et applications.....	78
7- Brilliance et distribution spatiale.....	80

## **ChapVIII: LES STRUCTURES A PUIITS QUANTIQUES**

1- Généralités:.....	81
2- Spectre d'énergie.....	82
2.1. Puits de profondeur infinie.....	82
2.2. Puits de profondeur finie.....	83
3- Les doubles puits quantiques:.....	86
4- Super réseau.....	87

## **Chap IX: LES LASERS A SEMI-CONDUCTEURS**

1- Historique- Généralités:.....	89
2- Conditions d'obtention d'une émission laser.....	89
3- Gain.....	89
4- Résonateur.....	90
5- Distributions spectrales:.....	91
6- Distribution spatiale du rayonnement.....	93
7- Courant de seuil.....	94
8- Lasers à hétérojonction.....	95
9- Laser à puits quantiques.....	95
10- Adaptation aux fibres optiques.....	95
10.1. Propriétés de la fibre .....	96
10.2. Ouverture numérique.....	96