

TABLE DES MATIERES

1. MATIERE ET MATERIAUX.....	1
1.1 Structure atomique.....	1
1.2 Energie d'ionisation, affinité électronique, masse atomique.....	3
1.3 Liaisons des atomes.....	3
1.3.1 Formation de molécules.....	3
1.3.2 Liaison covalente.....	5
1.3.3 Liaison ionique.....	6
1.3.4 Liaison métallique.....	9
1.3.5 Les liaisons secondaires ou faibles.....	10
1.3.6 Les liaisons mixtes.....	11
1.4 Les matériaux de l'électronique.....	13
2. LES CRISTAUX SEMICONDUCTEURS.....	15
2.1 Notions de cristallographie.....	15
2.1.1 Postulat de Bravais.....	15
2.1.2 Les réseaux cristallins.....	16
2.2 Le réseau réciproque.....	23
2.2.1 Définition.....	23
2.2.2 Propriétés du réseau réciproque.....	23
2.3 Les cristaux réels.....	26
2.3.1 Les défauts ponctuels (0D).....	26
2.3.2 Défauts linéaires (1D) : dislocations.....	27
2.4 Elaboration des cristaux de semiconducteur.....	27
2.5 Mesure des paramètres de maille des cristaux.....	29
2.5.1 Diffraction des rayons X par un cristal parfait.....	29
2.5.2 Relation de Bragg.....	32
2.5.3 Méthode du cristal tournant.....	33
2.5.4 Méthode des poudres ou Debye-Scherrer.....	35
3. LES SEMICONDUCTEURS.....	37
3.1 Electrons dans un solide cristallin.....	37
3.1.1 Probabilité de présence de l'électron.....	38
3.1.2 Equation de Schrödinger.....	38
3.1.3 L'électron dans un cristal.....	39
3.1.4 Modèle de Kronig-Penney.....	43

3.2 Bandes d'énergie dans un cristal	49
3.3. Propriétés dynamiques des électrons	51
3.3.1 Energie et vecteur d'onde	51
3.3.2 Electrons dans la bande de conduction	53
3.3.3 Masse effective de l'électron	54
3.3.4 Notion de trous.....	57
3.3.5 Densité d'états d'énergie.....	58
3.3.6 Niveau de Fermi E_F	63
3.4 Statistique des électrons dans un semiconducteur	64
3.5 Etude des semiconducteurs intrinsèques	68
3.5.1 Expressions des concentrations d'électrons et de trous	69
3.5.2 Détermination du niveau de Fermi intrinsèque.....	71
3.5.3 Concentrations intrinsèques d'électrons et de trous.....	72
3.6 Etude des semiconducteurs extrinsèques	76
3.6.1 Dopage du silicium	76
3.6.2. Niveau de Fermi E_F dans les semiconducteurs extrinsèques	80
3.6.3 Equation de neutralité électrique.....	84
3.7 Les semiconducteurs hors équilibre thermique	91
3.7.1 Processus de recombinaison.....	92
3.7.2 Recombinaison directe.....	93
3.7.3 Recombinaison indirecte.....	96
3.8. Les quasi-niveaux de Fermi	101
3.9 Choix et emplois des semiconducteurs	104
4. TRANSPORT DANS LES SEMICONDUCTEURS.....	107
4.1 Conduction par déplacement des charges	107
4.1.1 Conduction électrique dans les métaux.....	107
4.1.2 Conduction électrique dans les semiconducteurs.....	112
4.1.3 Effet Hall.....	115
4.2 Diffusion des porteurs de charge	119
4.2.1 Phénomène de diffusion.....	119
4.2.2 Courant d'électrons et courant de trous dans un semiconducteur	120
4.2.3 Relation d'Einstein.....	121
4.3. Conductivité électrique en température	122
4.3.1 Semiconducteurs intrinsèques.....	123
4.3.2 Semiconducteurs extrinsèques	123
4.4 Equation de Boltzmann : forme générale	128
4.5 Défauts et conductivité électrique.....	129
4.5.1 Classifications	129
4.5.2 Défauts et conductivité électrique.....	131
4.5.3 Semiconducteur hors équilibre : équation de continuité	134

4.6 Mesure de la conductivité.....	136
4.6.1 Méthode de deux pointes de test.....	136
4.6.2 Méthode de quatre pointes de test.....	137
5. JONCTION A SEMICONDUCTEUR.....	141
5.1 Formation et processus de déplacement des charges.....	141
5.1.1 Jonction PN en équilibre thermique.....	141
5.1.2 Potentiel électrique interne ou potentiel de diffusion V_{bi}	143
5.1.3 Caractéristiques électriques de la ZCE.....	144
5.2. Jonction PN sous tension.....	151
5.2.1. Polarisation inverse de la jonction PN.....	152
5.2.2 Polarisation directe de la jonction PN.....	155
5.3 Modélisation de la jonction PN.....	164
5.3.1 Résistance de diffusion.....	164
5.3.2 Circuit équivalent de la jonction PN polarisée.....	165
6. CONTACT METAL-SEMICONDUCTEUR.....	167
6.1 Travail de sortie, affinité électronique et potentiel d'ionisation.....	167
6.2 Jonction métal/semiconducteur en équilibre thermique.....	168
6.2.1 Processus physique de la formation de la jonction.....	168
6.2.2 Contact métal/semiconducteur de type N	169
6.2.3 Contact métal/semiconducteur de type P	172
6.3 Jonction métal/semiconducteur polarisée.....	174
6.3.1 Effet Schottky.....	175
6.3.2 Mécanismes de conduction.....	176
6.4 Influence des états de surface.....	181
6.5 Mesure de la résistance de contact.....	184
6.5.1 Méthode de deux contacts.....	185
6.5.2 Méthode de trois contacts.....	186
6.5.3 Méthode de quatre contacts ou méthode de Kelvin.....	188
7. LES SEMICONDUCTEURS ORGANIQUES.....	189
7.1 Les matériaux organiques semiconducteurs.....	189
7.1.1 Quelques définitions de base.....	189
7.1.2. Caractère semiconducteur des matériaux organiques.....	190
7.1.3 Structure des matériaux organiques.....	191
7.1.4 Les méthodes de dépôt en films minces.....	192
7.1.5 Les matériaux organiques utilisés pour les composants électroniques.....	193
7.2 Propriétés optiques des semiconducteurs organiques.....	195
7.2.1 Absorption de la lumière par le matériau organique.....	195
7.2.2 Diagramme de Perrin-Jablonski.....	195
7.2.3 Notion d'excitons.....	196

7.3 Propriétés électriques des semiconducteurs organiques	199
7.3.1 Types de conduction	200
7.3.2 Mobilité et dépendance de la température	201
7.4 Matériaux composites à base de polymère.....	202
7.4.1 Composites à matrice de polymère et à charges inorganiques	203
7.4.2 Composites à matrice de polymères et aux quantum dots inorganiques	203
7.4.3 Composites à matrice de polymère et aux polysilsesquioxanes	204
7.4.4 Composites à matrice de polymère et nanorods	204
7.5 Mesure de la mobilité des porteurs de charge	205
7.5.1 Méthode SCLC	205
7.5.2 Méthode du temps de vol	206
7.5.3 Méthode de l'extraction des charges par une rampe de tension.....	208
8. ENERGIE ET ENVIRONNEMENT	211
8.1 Les sources d'énergie	212
8.1.1. Les énergies d'origine fossile	213
8.1.2 L'énergie fissile ou nucléaire	213
8.1.3 Les énergies renouvelables	214
8.2 Les stratégies pour une exploitation intelligente des énergies	214
8.3 Les énergies renouvelables	215
8.3.1 L'énergie solaire	215
8.3.2 L'énergie éolienne	216
8.3.3 L'énergie hydraulique	216
8.3.4 L'énergie biomasse	217
8.4 Les matériaux et les technologies pour les énergies renouvelables.....	217
9. LES CELLULES SOLAIRES.....	219
9.1 Les rayonnements solaires.....	220
9.2 Principe de fonctionnement des cellules solaires.....	221
9.2.1. Absorption des photons.....	221
9.2.2 Diffusion des excitons.....	223
9.2.3 Dissociation des charges	223
9.2.4 Transport des charges	223
9.2.5 Collecte des charges aux électrodes.....	223
9.3 Les cellules solaires à jonction PN.....	224
9.3.1 Paramètres d'une cellule solaire	225
9.3.2 Matériaux pour l'absorbeur.....	231
9.3.3 Conclusion	232
9.4 Les cellules solaires organiques	234
9.4.1 Excitons dans les semiconducteurs organiques.....	235
9.4.2 Optimisation des mécanismes	237
9.4.3 Matériaux pour l'absorbeur.....	241

9.4.4 Performances des cellules solaires organiques	241
9.5. Les cellules solaires à base de pérovskite	243
9.6 Perspectives	246
10. LES DIODES ELECTROLUMINESCENTES.....	251
10.1 Rappels d'optique	252
10.1.1 Notions de photométrie.....	252
10.1.2 Notions de couleur	252
10.2 Principe de fonctionnement des diodes électroluminescentes	254
10.3. Les LED inorganiques à jonction PN.....	255
10.3.1 Principe de fonctionnement	255
10.3.2 Physique de l'émission de photons	256
10.3.3 Matériaux émetteurs.....	262
10.3.4 Extraction de la lumière émise.....	264
10.3.5 Rendements et performance.....	268
10.3.6 Stabilité des LED	270
10.4 Les LED organiques (OLED).....	273
10.4.1 Principe de fonctionnement	273
10.4.2 Structure d'une OLED	273
10.4.3 Processus d'injection de charges.....	274
10.4.4 Processus de transport de charges.....	276
10.4.5 Processus de formation et de recombinaison des excitons.....	279
10.4.6 Processus d'émission de lumière - Couplage optique.....	281
10.4.7 Rendements.....	282
10.4.8 Les OLED blanches ou WOLED.....	283
10.4.9 Stabilité des OLED	287
11. LES PHOTOCATALYSEURS.....	289
11.1 Principe de fonctionnement des photocatalyseurs	289
11.1.1 Diffusion et adsorption des réactifs sur la surface du catalyseur	290
11.1.2 Absorption des photons.....	290
11.1.3 Réactions entre les réactifs.....	290
11.1.4 Désorption des produits de réaction.....	291
11.2 Matériaux pour photocatalyseur	292
11.2.1 Qualités requises des photocatalyseurs	292
11.2.2 Le dioxyde de titane TiO_2	292
11.2.3 L'oxyde de zinc ZnO	293
11.3 Optimisation des réactions photocatalytiques	293
11.3.1 Approches pour améliorer l'absorption optique	293
11.3.2 Approches pour améliorer le transport électrique et la séparation des porteurs de charge	296
11.3.3 Approches pour améliorer le contact photocatalyseur/réactifs	297

11.4 Les applications de la photocatalyse.....	298
11.4.1 Purification de l'air	298
11.4.2 Purification de l'eau	298
11.4.3 Quelques polluants usuels.....	299
11.5 Mesures des performances photocatalytiques	300
11.5.1 Facteurs affectant la photoréactivité du catalyseur	300
11.5.2 Forme des matériaux catalyseurs	301
11.5.3 Evaluation de performance photocatalytique.....	301
11.6. Perspectives	304
ANNEXE 1.....	305
Constantes physiques	305
Paramètres des semiconducteurs usuels à $T = 300K$	305
ANNEXE 2.....	307
Liste des acronymes	307
ANNEXE 3.....	309
Références.....	309
INDEX.....	315