

TABLE DES MATIERES

Chapitre I : Rappels sur les semi-conducteurs

1. Généralités	11
2. Bandes d'énergie	14
3. Dopage des semi-conducteurs	17
3.1. Niveaux extrinsèques	17
3.2. Impuretés chimiques	19
4. Conduction dans les semi-conducteurs	21
4.1. Concentrations de porteurs	21
4.2. Conductivité électrique	25
5. Structures	26
5.1. Contact métal-semi-conducteur	26
5.2. Jonction p-n	32

Chapitre II : Principes de base

1. Absorption des rayonnements	37
1.1. Rayonnement électromagnétique	37
1.2. Particules chargées	40
1.3. Electrons	41
1.4. Echappement des rayons X ou γ	41
2. Zone sensible	42
2.1. Compteur homogène	43
2.2. Jonction p-n, diode Schottky	43
3. Collecte des porteurs	49
3.1. Théorème de Ramo	49
3.2. Efficacité de collecte	52
3.3. Dépiégeage des porteurs	56
3.4. Résolution en énergie	57
3.5. Fenêtre d'entrée	61
4. Dégradations induites par les radiations	62
4.1. Durée de vie	62
4.2. Résistivité	63

Chapitre III : Exploitation des données

1. Traitement du signal issu du détecteur	64
1.1. Principe de fonctionnement d'une chaîne de détection	64
1.2. Couplage capacitif	66
1.3. Performances et besoins en électronique	67
1.4. Effet d'empilement. Temps mort	68
1.5. Détection en mode courant	68
2. Spectrométrie X et γ	69
2.1. Problématique	69
2.2. Méthodes de correction	69
2.3. Suppression du fond Compton	70
2.4. Exemple d'utilisation pour l'analyse chimique	71
2.5. Structures particulières	72
3. Spectrométrie des particules chargées	74
3.1. Spécificités de la spectrométrie des particules chargées	74
3.2. Identification des particules chargées	75
4. Reconstruction des traces de particules	76
5. Imagerie des rayonnements γ	77
5.1. Caméra γ	77
5.2. Tomographie à émission de positrons	77
6. Imagerie des rayons X	78
6.1. Problématique	78
6.2. Généralités sur l'imagerie des rayons X	80
6.3. Semi-conducteurs et imagerie des rayons X	83
7. Détection des neutrons	85
8. Dosimétrie	85
8.1. Principe	85
8.2. Exemples de dosimètres à semi-conducteurs	86

Chapitre IV : Matériaux pour détecteurs

1. Critères de choix d'un matériau	87
1.1. Nature des rayonnements	87
1.2. Conditions d'utilisation	88
1.3. Performances recherchées	89
2. Propriétés des semi-conducteurs usuels	90
3. Elaboration des substrats	94
3.1. Cristallogénèse	94
3.2. Préparation de surface	97

3.3. Semi-conducteurs en couches minces	100
3.4. Fabrication des contacts	100
Chapitre V : Détecteurs à base de germanium et de silicium	
1. Détecteurs à base de germanium	103
1.1. Montage d'un détecteur en germanium	103
1.2. Germanium compensé	104
1.3. Germanium de haute pureté	106
1.4. Détecteurs germanium à localisation	110
1.5. Influence de la température. Bolomètres	111
1.6. Résolution temporelle	112
2. Détecteurs à base de silicium	112
2.1. Silicium compensé au lithium	112
2.2. Détecteurs Si à barrière de surface	113
2.3. Détecteurs Si à jonction p-n	114
2.4. Procédé planar	118
2.5. Détecteurs réalisés en technologie planar	121
Chapitre VI : Semi-conducteurs exotiques	
1. Problématique	128
2. Semi-conducteurs monocristallins	129
2.1. Composés II-VI ; CdTe, CZT	129
2.2. Composés III-V	131
2.3. Halogénures métalliques	133
3. Semi-conducteurs en couches minces	136
3.1. Diamant	136
3.2. Silicium amorphe	137
3.3. Matériaux pour écrans plats et imagerie des RX	138
3.4. Semi-conducteurs organiques	142
Chapitre VII : Performances comparées	
1. Dimensions	143
2. Température de fonctionnement	143
3. Efficacité	144
4. Spectrométrie	145
4.1. Rayons X et γ de basse énergie	145
4.2. Rayonnements γ de haute énergie	148
4.3. Particules chargées	148
5. Détecteurs à localisation	149

6. Systèmes d'imagerie 2D	149
7. Dégradation sous irradiation	153
7.1. Germanium	153
7.2. Silicium	154
7.3. Semi-conducteurs exotiques	155
8. Stabilité / Polarisation	156
9. Bilan	157
Chapitre VIII : Méthodes de caractérisation	
1. Caractérisation du matériau	159
1.1. Mesure de résistivité	159
1.2. Mesure des paramètres de transport	161
1.3. Mesure des paramètres de piégeage et de recombinaison	163
2. Caractérisation du dispositif	171
2.1. Caractéristique courant-tension	171
2.2. Caractéristique capacité-tension	172
2.3. Courant induit par excitation électronique	173
3. Caractérisation du détecteur	174
3.1. Performances en détection	174
3.2. Distance de collecte et produit $\mu \cdot \tau$	174
3.3. Détermination de l'énergie de création de paires	175
3.4. Détermination de l'épaisseur de la fenêtre d'entrée	175
Exercices résolus	177
Annexe 1 : Compléments sur la physique des semi-conducteurs	193
Annexe 2 : Compléments sur les méthodes d'élaboration des détecteurs	201
Annexe 3 : Etalonnage en énergie d'un détecteur à semi-conducteur	215
Annexe 4 : Rappel sur les unités employées en dosimétrie	216
Bibliographie	217
Index	218