



EGEM

électronique – génie électrique – microsystemes

Dispositifs et physique des microsystemes sur silicium

*sous la direction de
Salvador Mir*

hermes

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	15
Salvador MIR	
Chapitre 1. Les microsystèmes électro-mécaniques	19
Libor RUFER	
1.1. Introduction	19
1.2. Transducteurs piézorésistifs	20
1.2.1. Conversion piézorésistive	21
1.2.2. Applications	26
1.2.2.1. Capteur de pression	26
1.2.2.2. Microphone	29
1.2.2.3. Accéléromètre	30
1.2.2.4. Capteur de déformation et de contrainte	35
1.3. Transducteurs électrostatiques	37
1.3.1. Conversion électrostatique	38
1.3.2. Applications	43
1.3.2.1. Capteur de pression	43
1.3.2.2. Transducteurs acoustiques et ultrasonores avec couplage à l'air	45
1.3.2.3. Accéléromètre	47
1.3.2.4. Autres applications	49
1.4. Transducteurs piézoélectriques	50
1.4.1. Conversion piézoélectrique	51
1.4.2. Applications	56
1.5. Autres formes de transduction	59
1.6. Bibliographie	59

Chapitre 2. Les microsystèmes thermiques	65
Salvador MIR, Benoît CHARLOT, Fabien PARRAIN	
2.1. Introduction	65
2.2. Les grandeurs thermiques	65
2.2.1. Capacité thermique	67
2.2.2. Conductance thermique	68
2.2.3. Transitions de phase	68
2.3. Transfert de la chaleur	69
2.3.1. Conduction	69
2.3.2. Equilibre thermique	70
2.3.3. Convection	71
2.3.4. Rayonnement	71
2.3.5. Récapitulatif des propriétés thermiques	74
2.4. La modélisation et la simulation	75
2.4.1. Microsystèmes thermiques à constantes localisées	76
2.4.2. Microsystèmes thermiques à constantes réparties	80
2.5. Effets thermoélectriques	81
2.5.1. Effet Seebeck	83
2.5.2. Effet Peltier	84
2.5.3. Effet Thomson	85
2.6. Les jauges de température	85
2.6.1. Jauges de température résistives	85
2.6.1.1. Les thermorésistances	86
2.6.1.2. Les thermistances	86
2.6.2. Les thermopiles	88
2.6.3. Les diodes	89
2.6.4. Les transistors	89
2.6.5. Pyroélectricité	90
2.7. Actionneurs thermiques	90
2.7.1. Actionneur thermomécanique	91
2.7.2. Poutre à haute impédance thermique	92
2.8. Applications	92
2.8.1. Capteurs de flux de gaz	92
2.8.1.1. Capteur de flux de gaz à fil chaud	93
2.8.1.2. Capteur de flux de gaz à thermopile	94
2.8.2. Capteurs de rayonnements infrarouges	96
2.8.2.1. Les photodétecteurs à semi-conducteur faible gap	97
2.8.2.2. Les photodétecteurs à puits quantiques	97
2.8.2.3. Les détecteurs pyroélectriques	97
2.8.2.4. Les détecteurs à bolomètre	98
2.8.2.5. Les détecteurs à thermopiles	99
2.8.2.6. Les détecteurs capacitifs à bilames	99
2.8.3. Convertisseur électrothermique	100

65	2.8.4. Capteurs d'humidité	101
	2.8.5. Accéléromètre thermique	102
65	2.9. Bibliographie	104
65		
67		
68	Chapitre 3. Les capteurs magnétiques en technologies microsystemes	105
68	Fabien PARRAIN	
69	3.1. Introduction	105
69	3.2. Rappels d'électromagnétisme	107
70	3.2.1. Unités utilisées pour quantifier le champ magnétique	107
71	3.2.2. Ordres de grandeur	108
71	3.2.3. Force de Lorentz	108
74	3.2.4. Force de Laplace	108
75	3.3. Les sondes à effet Hall.	109
76	3.3.1. L'effet Hall	109
80	3.3.2. Réalisation de sondes à effet Hall en technologies CMOS	
81	ou BiCMOS	111
81	3.4. Les magnéto-composants.	113
83	3.4.1. Les magnétorésistances	114
84	3.4.2. Les magnétodiodes	115
85	3.4.3. Les magnéto-transistors.	116
85	3.5. Les capteurs de type flux gates.	118
85	3.6. Les capteurs à ondes acoustiques de surface.	121
86	3.7. Les capteurs à structures déformables.	123
86	3.7.1. Les capteurs utilisant des éléments ferromagnétiques	123
88	3.7.1.1. A jauges piézorésistives	123
89	3.7.1.2. A détection par effet tunnel	124
89	3.7.2. Les capteurs utilisant la force de Laplace	126
90	3.7.2.1. A détection capacitive.	126
90	3.7.2.2. A jauges piézorésistives	127
91	3.8. Conclusion.	131
92	3.9. Bibliographie	132
92		
93		
94	Chapitre 4. Les MOEMS et les imageurs CMOS	
94	Sergio MARTÍNEZ et Jérôme GOY	133
96	4.1. Introduction aux MOEMS	133
97	4.2. Micro-optique	134
97	4.2.1. Composants réfractifs	134
97	4.2.2. Composants diffractifs	135
98	4.3. Optique intégrée	137
99	4.3.1. Dispositifs thermo-optiques	137
100	4.3.2. Dispositifs électro-optiques	139
	4.4. Les MOEMS et leurs applications.	141

4.4.1. Systèmes de projection	142
4.4.2. Optique adaptative	143
4.4.2.1. Matrice de micromiroirs avec actionneurs électrostatiques.	144
4.4.2.2. Miroir continu avec micro-actionneurs magnétiques.	145
4.4.3. Spectromètres	146
4.4.3.1. Spectromètre à réseau de diffraction	146
4.4.3.2. Spectromètre avec détecteurs à cavités Fabry-Pérot variables	147
4.4.4. Lasers accordables en longueur d'onde	148
4.4.5. Photodétecteurs accordables en longueur d'onde	149
4.5. Commutateurs optiques	149
4.5.1. Avantages des commutateurs à propagation dans le vide	150
4.5.1.1. Pertes d'insertion.	150
4.5.1.2. Diaphonie intercanaux	151
4.5.1.3. Dépendance sur la polarisation et sur la longueur d'onde	151
4.5.1.4. Taille.	152
4.5.1.5. Consommation	153
4.5.1.6. Temps de commutation	153
4.5.1.7. Coût	153
4.6. Fabrication de commutateurs micro-usinés	153
4.6.1. Miroir électrostatique fabriqué par DRIE sur wafers SOI	154
4.6.2. Miroir électrostatique fabriqué par micro-usinage en surface	155
4.7. Imageurs CMOS : principe et applications.	156
4.7.1. Présentation des capteurs d'image intégrés.	156
4.7.2. Fonctionnement d'un capteur CCD	157
4.7.3. Fonctionnement d'un capteur d'image CMOS.	159
4.7.4. Avantages et inconvénients des APS	162
4.7.4.1. Coût de fabrication	162
4.7.4.2. Vitesse de lecture et résolution du capteur	162
4.7.4.3. Fonctionnalités additionnelles	162
4.7.4.4. Facteur de remplissage et rendement quantique effectif	162
4.7.4.5. Bruit et non-uniformités	163
4.8. Propriétés optiques du silicium pour des applications d'imagerie	164
4.8.1. Coefficient d'absorption de la lumière dans le silicium	165
4.8.2. L'élément photosensible : photodiode, phototransistor, photoMOS	165
4.8.2.1. La photodiode	165
4.8.2.2. Le phototransistor	168
4.8.2.3. Le photoMOS ou la photogrille	169
4.8.3. Capteurs d'images couleurs	169
4.8.3.1. Filtres à motifs RVB	169
4.8.3.2. Pixels couleurs par empilement de jonctions p-n.	170
4.9. Bibliographie	171

Chapitre 5. Les capteurs chimiques en technologies microsystèmes 175

Fabien PARRAIN

5.1. Introduction.	175
5.2. Capteurs utilisant des structures de type ISFET	176
5.2.1. Capteurs de pH à structures ISFET	176
5.2.2. Capteurs chimiques à structures ISFET utilisables en milieu liquide	178
5.2.3. Capteurs de gaz à structures ISFET	180
5.2.4. Considérations concernant la réalisation de capteurs à structures ISFET	180
5.3. Capteurs de pH à micropoutres	181
5.4. Capteurs chimiques capacitifs	182
5.5. Capteurs chimiques à structures résonantes	183
5.5.1. Capteurs à structures résonantes utilisant l'actuation thermique	184
5.5.2. Capteurs à structures résonantes à excitation mécanique externe	186
5.6. Microcapteur de type hotplate	187
5.6.1. Microcapteurs de type hotplate à éléments résistifs	187
5.6.2. Microcapteurs de type hotplate à couche catalytique	190
5.7. Puces à ADN	192
5.7.1. Puces à ADN passives	193
5.7.2. Puces à ADN actives	194
5.8. Nez et langues électroniques	196
5.9. Conclusion	197
5.10. Bibliographie	198

Chapitre 6. Perspectives des microsystèmes sur silicium 199

Salvador MIR et Benoît CHARLOT

6.1. Introduction.	199
6.2. Perspectives du marché des microsystèmes	200
6.3. Les SoC avec transducteurs embarqués	202
6.3.1. Les difficultés de la réalisation	202
6.3.2. Perspectives des SoC sur CMOS avec couches microsystèmes	204
6.3.3. Architecture d'un microsystème multinœud	204
6.4. Des applications encore futuristes	206
6.4.1. Le domaine spatial	206
6.4.2. L'énergie portable	207
6.4.2.1. Les piles à combustible	208
6.4.2.2. Les microgénérateurs	209
6.4.3. Les micro-objets communicants	209
6.4.4. La microrobotique	211
6.5. Conclusion	212
6.6. Bibliographie	212

Index	215
------------------------	------------

ÉLECTRONIQUE ET MICRO-ÉLECTRONIQUE

Le traité Electronique, Génie Electrique, Microsystèmes répond au besoin de disposer d'un ensemble de connaissances, méthodes et outils nécessaires à la maîtrise de la conception, de la fabrication et de l'utilisation des composants, circuits et systèmes utilisant l'électricité, l'optique et l'électronique comme support.

Conçu et organisé dans un souci de relier étroitement les fondements physiques et les méthodes théoriques au caractère industriel des disciplines traitées, ce traité constitue un état de l'art structuré autour des quatre grands domaines suivants :

Electronique et micro-électronique

Optoélectronique

Génie électrique

Microsystèmes

Chaque ouvrage développe aussi bien les aspects fondamentaux qu'expérimentaux du domaine qu'il étudie. Une classification des différents chapitres contenus dans chacun, une bibliographie et un index détaillé orientent le lecteur vers ses points d'intérêt immédiats : celui-ci dispose ainsi d'un guide pour ses réflexions ou pour ses choix.

Les savoirs, théories et méthodes rassemblés dans chaque ouvrage ont été choisis pour leur pertinence dans l'avancée des connaissances ou pour la qualité des résultats obtenus.

hermes
Science
publications

www.hermes-science.com

ISBN 2-7462-0507-6



9 782746 205079