



EGEM

électronique – génie électrique – microsystemes

Conception des microsystemes sur silicium

*sous la direction de
Salvador Mir*

Hermes

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	15
Salvador MIR	
Chapitre 1. Introduction aux microsystèmes sur silicium	19
Salvador MIR et Sergio MARTÍNEZ	
1.1. Intérêt et définition	19
1.1.1. Intérêt des microsystèmes	20
1.1.1.1. Miniaturisation	21
1.1.1.2. Multiplicité	22
1.1.1.3. Micro-électronique	22
1.1.2. Inconvénients des microsystèmes	22
1.2. Architecture générale d'un microsystème.	23
1.3. Classification des microsystèmes.	25
1.4. Evolution des microsystèmes	27
1.4.1. Brève histoire des applications.	27
1.4.1.1. Capteurs mécaniques	27
1.4.1.2. Capteurs thermiques.	28
1.4.1.3. Capteurs magnétiques.	28
1.4.1.4. Capteurs chimiques	29
1.4.1.5. Capteurs de rayonnement.	29
1.4.2. Evolution technologique.	30
1.4.3. Evolution de l'architecture	33
1.5. Bibliographie.	35
Chapitre 2. Les domaines d'applications des microsystèmes	39
Benoît CHARLOT	
2.1. Introduction	39
2.2. Les applications des microsystèmes dans l'automobile.	39

2.3. Les applications des microsystèmes dans l'aérospatial 42

2.3.1. Les micro et nanosatellites 43

2.3.1.1. Les micropropulseurs 44

2.3.1.2. Les systèmes de positionnement par visée de la terre 45

2.3.1.3. Les gyromètres 45

2.3.1.4. La micro-instrumentation 46

2.3.2. Les applications des microsystèmes dans l'aviation 47

2.4. Les applications des microsystèmes dans le biomédical 49

2.4.1. Les systèmes de mesure pour le diagnostic et le monitoring 50

2.4.2. L'instrumentation de microchirurgie et de micromanipulation 51

2.4.2.1. Les microscalpels et les micropréenseurs 51

2.4.2.2. L'instrumentation d'endoscope et d'imagerie 51

2.4.2.3. Les micro-aiguilles pour l'injection hypodermique 52

2.4.3. Les systèmes actifs implantables 53

2.4.4. L'analyse biomédicale 54

2.4.4.1. Les puces à ADN 54

2.4.4.2. Les microTAS et Lab-on-Chip 55

2.5. Les applications des microsystèmes dans l'électronique et les télécommunications 57

2.5.1. Les composants électroniques 57

2.5.1.1. Les résonateurs et les filtres 57

2.5.1.2. Les microrelais 58

2.5.1.3. Les capacités variables 59

2.5.1.4. Les bobines et transformateurs suspendus 60

2.5.2. L'optique et l'optoelectronique 60

2.5.3. L'électronique grand public 61

2.5.3.1. Les têtes d'imprimantes à jet d'encre 61

2.5.3.2. Les écrans plats à micropointes 62

2.6. La microgénération de puissance 63

2.6.1. Les piles à combustible 64

2.6.2. La téléalimentation 64

2.6.3. L'alimentation à partir des sources d'énergie ambiantes 64

2.7. Conclusion 65

2.8. Bibliographie 65

Chapitre 3. Les technologies de fabrication des microsystèmes 69

Benoît CHARLOT

3.1. Introduction 69

3.2. Les procédés de fabrication de la micro-électronique 70

3.2.1. Introduction au procédé CMOS 70

3.2.2. La lithographie 71

3.2.3. L'oxydation 71

3.2.4. Le dépôt 72

3.2.4.1. Le dépôt chimique en phase vapeur 72

3.2.4.2. L'évaporation 74

3.2.4.3. La pulvérisation cathodique 74

3.2.5. La gravure 75

3.2.5.1. La gravure humide 75

3.2.5.2. La gravure sèche 76

3.2.5.2.1. La gravure RIE profonde 76

3.2.5.2.2. La gravure XeF₂ 77

3.2.6. L'implantation ionique 77

3.3. Les matériaux pour les microsystèmes 78

3.3.1. Le silicium monocristallin 78

3.3.2. Le silicium polycristallin 79

3.3.3. Les métaux 79

3.4. Les technologies de micro-usinage en volume 80

3.4.1. La gravure anisotropique du silicium 80

3.4.2. Le micro-usinage en volume face avant 82

3.4.3. La gravure face arrière 84

3.4.4. Le micro-usinage en volume avec arrêt électrochimique 85

3.5. Les technologies de micro-usinage en surface 86

3.5.1. Principe du micro-usinage en surface 86

3.5.2. Micro-usinage en surface intégré au procédé micro-électronique 88

3.5.3. Micro-usinage en surface postérieur au procédé micro-électronique 89

3.5.4. Micro-usinage en surface antérieur au procédé micro-électronique 89

3.6. Le micro-usinage à partir de techniques de gravure RIE 90

3.6.1. Micro-usinage à partir de substrat SOI 90

3.6.2. Micro-usinage à partir de substrat CMOS 91

3.7. Les technologies basées sur la croissance électrolytique 91

3.8. La mise en boîtier des microsystèmes 92

3.8.1. Le packaging conventionnel des circuits intégrés 93

3.8.1.1. La soudure thermosonique 93

3.8.1.2. La soudure ultrasonique 94

3.8.2. Les boîtiers spécifiques 94

3.8.3. La micro-encapsulation 95

3.8.4. Le collage de plaquettes 96

3.8.4.1. Le collage anodique du silicium et du verre 96

3.8.4.2. Le collage direct par fusion du silicium sur du silicium 96

3.8.5. Le flip chip 97

3.9. Conclusion 98

3.10. Bibliographie 99

14 Conception des microsystèmes sur silicium

6.6.3. Filtrage	204
6.6.4. Contrôle du gain et du décalage	205
6.6.5. Conversion analogique/numérique	207
6.6.6. Mesure de fréquences	209
6.6.7. Interface avec un bus de données	210
6.7. Etalonnage, calibrage et autocontrôle	211
6.7.1. Etalonnage	211
6.7.2. Autocontrôle.	213
6.8. Bibliographie.	215
Index	217

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.