

Table des matières

Avant-propos	15
Salvador MIR	
Chapitre 1. Introduction aux microsystemes sur silicium	19
Salvador MIR et Sergio MARTÍNEZ	
1.1. Intérêt et définition	19
1.1.1. Intérêt des microsystemes	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 microsystemes	22
1.2. Architecture générale d'un microsysteme	23
1.3. Classification des microsystemes	25
1.4. Evolution des microsystemes	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 microsystemes	39
Benoît CHARLOT	
2.1. Introduction	39
2.2. Les applications des microsystemes dans l'automobile	39

2.3. Les applications des microsystemes dans l'aérospatial	42
2.3.1. Les micro et nanosatellites	43
2.3.1.1. Les micropropulseurs	44
2.3.1.2. Les systemes 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 microsystemes dans l'avionique	47
2.4. Les applications des microsystemes dans le biomédical	49
2.4.1. Les systemes 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 micropréhenseurs	51
2.4.2.2. L'instrumentation d'endoscopie et d'imagerie	51
2.4.2.3. Les micro-aiguilles pour l'injection hypodermique	52
2.4.3. Les systemes 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 microsystemes 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'optoélectronique	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 microsystemes 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 XeF ₂	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

Chapitre 4. La modélisation des microsystèmes électromécaniques 29

Libor RUPP

4.1. Introduction	29
4.2. Modélisation des microsystèmes	30
4.3. Systèmes à constantes localisées	35
4.3.1. Représentation des systèmes par les réseaux de Kirchhoff	35
4.3.2. Analogie électromécanique	38
4.3.3. Analogie électroacoustique	39
4.4. Systèmes à propagation	101
4.4.1. Systèmes unidimensionnels	105
4.4.1.1. Vibrations longitudinales d'un barreau	105
4.4.1.2. Vibrations transversales d'un barreau	107
4.4.1.3. Propagation des ondes acoustiques dans un tube	107
4.4.2. Systèmes bidimensionnels	111
4.4.2.1. Vibrations longitudinales dans une plaque	111
4.4.2.2. Vibrations transversales des plaques	112
4.4.3. Systèmes à trois dimensions	115
4.4.3.1. Élasticité des matériaux solides	115
4.4.3.2. Ondes de volume	116
4.4.3.3. Ondes de surface	117
4.5. Modèles réduits	117
4.6. Bibliographie	121

Chapitre 5. La CAO des microsystèmes 121

Benoît CHARLOT, Sergio MARTÍNEZ, Salvador MÍLE

5.1. Introduction	121
5.2. Le flot de conception	121
5.2.1. Structure du flot de conception microsystème	121
5.2.2. Les étapes du flot de conception microsystème	121
5.3. Le dessin de masques	121
5.4. La simulation des procédés technologiques	121
5.5. L'analyse en éléments finis	121
5.5.1. Principe de l'analyse en éléments finis	121
5.5.2. Analyse structurelle	121
5.5.3. Analyse modale	121
5.5.4. L'analyse électromagnétique	121
5.5.5. L'analyse thermique	121
5.5.6. Les analyses couplées	121
5.5.6.1. Analyse couplée directe : l'actionneur thermique à filame	121
5.5.6.2. Analyse couplée séquentielle	121
5.6. La simulation comportementale des transducteurs	121

5.6.1. Simulateurs de circuits	352
5.6.2. La modélisation par langage comportemental	355
5.6.2.1. Structure d'un modèle en VHDL, ABIS	355
5.6.2.2. Structure d'un modèle en VHDL77, ABIS	358
5.7. La génération et la réduction de modèles	361
5.7.1. Génération de modèles comportementaux	361
5.7.1.1. Modèle analytique	362
5.7.1.2. Saisie de schéma et modélisation textuelle	365
5.7.2. Réduction de modèles	367
5.7.2.1. La sous-structuration	368
5.7.2.2. Génération de modèles HDL à partir de simulation HDL	369
5.8. La simulation au niveau système	370
5.9. Bibliographie	373

Chapitre 6. Les interfaces micro-électroniques

Salvador MIR et Fabien PARRAIN

6.1. Introduction	377
6.2. Les fonctions des interfaces micro-électroniques	378
6.3. Alimentation et polarisation	379
6.4. Interfaces de mesure	379
6.4.1. Architectures de lecture de capteurs matriciels	379
6.4.2. Capteurs résistifs	381
6.4.2.1. Diviseur de tension	382
6.4.2.2. Pont de Wheatstone	382
6.4.3. Capteurs capacitifs	386
6.4.3.1. Amplificateur de charge	385
6.4.3.2. Suiveur de tension	386
6.4.3.3. Amplificateur de transimpédance	387
6.4.3.4. Boucle oscillante	388
6.4.3.5. Pont capacitif	389
6.4.4. Interfaces de mesure à capacités commutées	389
6.4.4.1. Amplificateur de charge à capacités commutées	389
6.4.4.2. Interface générique pour des capteurs capacitifs	392
6.4.5. Interfaces de mesure avec asservissement	393
6.4.6. Interfaces de mesure de capteurs autogénérateurs	396
6.4.6.1. Annulation automatique du décalage	396
6.4.6.2. Amplificateurs à double échantillonnage corrélé	397
6.5. Interfaces de contrôle	398
6.6. Traitement du signal	399
6.6.1. Notion de bruit en micro-électronique	399
6.6.2. Préalimentation	202

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