
Table des matières

Avant-propos	9
Chapitre 1. Des MEMS aux NEMS	11
1.1. Les micro et nanosystèmes électromécaniques : état des lieux	11
1.2. Conclusion	20
Chapitre 2. Transduction à l'échelle nanométrique et notion de bruit.	23
2.1. Fonction de transfert mécanique	24
2.2. Les principes de transduction	30
2.2.1. L'actionnement de nanostructures	33
2.2.1.1. Actionnement magnétique	33
2.2.1.2. Actionnement électrostatique	35
2.2.1.3. Actionnement thermoélastique	37
2.2.1.4. Actionnement piézoélectrique	38
2.2.2. La détection	40
2.2.2.1. Détection magnétique	41
2.2.2.2. Détection capacitive	42
2.2.2.3. Détection par effet transistor : SG-MOSFET	44
2.2.2.4. Détection piézorésistive	46
2.3. Auto-oscillation et bruits	59
2.4. Conclusion	66

Chapitre 3. Intégration monolithique des NEMS avec leur électronique de lecture	69
3.1. Préambule	69
3.1.1. Pourquoi intégrer les NEMS avec leur électronique de lecture ?	69
3.1.2. Quelles différences entre les MEMS-CMOS et les NEMS-CMOS ?	70
3.2. Avantages et principales approches de l'intégration monolithique	71
3.2.1. Comparatif des schémas d'intégration et de leur performance électrique	71
3.2.2. Les oscillateurs NEMS-CMOS en boucle fermée : la brique de base essentielle des capteurs fréquentiels à base de NEMS.	76
3.2.3. Etat de l'art des principales réalisations sous l'angle de la technologie de fabrication	77
3.3. Analyse de quelques réalisations significatives sous l'angle du principe de transduction	81
3.3.1. Exemples de NEMS-CMOS capacitifs	82
3.3.1.1. Auto-oscillateur 8MHz à base de NEMS en Si-mono (travaux du CEA-LETI)	82
3.3.1.2. Auto-oscillateur 11MHz à base de NEMS en polySi (travaux de l'UAB).	86
3.3.2. Exemples de NEMS-CMOS piézorésistifs	87
3.3.2.1. Résonateurs <i>crossbeams</i> 100MHz du CEA-LETI avec procédé CMOS FDSOI	87
3.3.2.2. Transistors à canal résonant du MIT avec procédé CMOS SOI d'IBM	90
3.3.3. Approches alternatives	90
3.4. Conclusions et perspectives futures.	92
Chapitre 4. NEMS et effets d'échelle	95
4.1. Introduction.	95
4.1.1. Pertes intrinsèques	102
4.1.1.1. Interaction phonon/phonon	102
4.1.1.2. Interactions électron/phonon	103
4.1.1.3. Systèmes à deux niveaux	103
4.1.1.4. Effets de surface	103
4.1.2. Pertes extrinsèques	103
4.1.2.1. Interactions fluidiques	103
4.1.2.2. Dissipation de l'énergie mécanique dans le support	107

4.2. Effet de champ proche dans une nanostructure :	
la force de Casimir	108
4.2.1. Explication intuitive de la force de Casimir	108
4.2.2. Position du problème	110
4.2.3. Calcul rigoureux de la force de Casimir entre deux lames de silicium	112
4.2.4. Impact de la force de Casimir dans un nanoaccéléromètre	118
4.2.5. Conclusion	122
4.3. Exemple d'effets d'échelle « intrinsèques » :	
lois de conduction électrique	123
4.3.1. Résistivité électrique	123
4.3.1.1. Appauvrissement en porteurs de charge	123
4.3.2. Effet piézorésistif	131
4.3.2.1. Rappel théorique	131
4.3.2.2. Mesure préliminaire	132
4.4. Nano-oscillateurs optomécaniques et optomécanique quantique	140
4.5. Conclusion	151
Chapitre 5. Conclusion et perspectives applicatives :	
de la physique fondamentale à la physique appliquée	153
5.1. Capteurs de force	153
5.2. Capteurs de masse	155
5.2.1. Capteur de gaz	156
5.2.2. Spectrométrie de masse	160
5.3. Conclusion	167
Annexes	169
Constantes physiques	177
Notations	179
Bibliographie	181
Index	197