

Introduction générale5

Chapitre I : MICROSYSTEMES ELECTROMECHANIQUES

Introduction.....	7
I.1. Les microsystèmes.....	7
I. 1.1. Généralités.....	7
I.1.2. Microsystème électromécanique (MEMs)	8
I.1.3. Les atouts des microsystèmes.....	9
I.2. Intégration dans les domaines des microsystèmes.....	10
I.3. Principaux types de microsystèmes.....	10
I.3.1. Microcapteurs mécaniques.....	11
I.3.1.1. Régime statique.....	12
I.3.1.2. Régime dynamique.....	13
I.3.2. Micro-actionneurs.....	14
I.3.2.1. Exemples d'actionneurs.....	14
I.3.2.2. Quelques Applications des micro-actionneurs.....	15
I.3.3. Microstructures passives.....	15
I.3.3.1. Microstructures de liaison.....	15
I.3.3.2. Microstructures pour l'extraction de paramètres.....	16
a- Comportement mécanique statique.....	16
b- Comportement mécanique dynamique.....	16
Conclusion.....	16

Chapitre II : PROPRIETES MECANIKES ET ELECTRIQUES DU MICROLEVIER PIEZORESISTIF

Introduction.....	18
II.1. Principe de fonctionnement	18
II.2. Réponse mécanique du microlevier piézorésistif	19
II. 2.1. Modélisation du microlevier - étude du comportement mécanique.....	19
II.2.2. Caractéristiques mécaniques du microlevier utilisé.....	19
II.2.2.1. Système d'axes et repère utilisé.....	19
II.2.2.2. Paramètres géométriques	20
II.2.2.3. Mise en évidence du plan de fibre neutre.....	21
II.2.2.4. Calcul du moment quadratique d'inertie du microlevier.....	22
II.2.2.5. Moment fléchissant.....	22
II.2.3. Déflexion du microlevier.....	23
II.2.4. Etude statique.....	24
II.2.4.1. Équations générales	24
II.2.4.2. Déplacement.....	25
II.2.4.3. Pente.....	26
II.2.4.4. Constante linéaire de raideur.....	28
II.2.4.5. Constante angulaire de raideur.....	28
II.2.5. Contraintes mécaniques au sein des matériaux constituant le microlevier.....	28

Table des matières

II.2.6. Résultats obtenus théoriquement en utilisant matlab.....	31
II.2.6.1. Déplacement.....	32
II.2.6.2. Pente.....	33
II.2.6.3. Constante linéaire de raideur.....	34
II.2.7. Etude dynamique.....	35
II.2.7.1. Généralités.....	35
II.2.7.2. Microlevier en vibration transversale libre et non-amortie.....	36
II.2.7.3. Microlevier en vibration transversale libre et amortie.....	40
II.3. Simulations par éléments finis et modélisation analytique du comportement mécanique du microlevier -utilisation du logiciel ANSYS-.....	41
II. 3.1.Généralités.....	41
II.3.2. Principe des simulations par éléments finis.....	42
II.3.3. Simulation mécanique sur des micropoutres rectangulaires.....	42
II.3.3.1. Procédures analytiques.....	43
II.3.3.2. Etude statique.....	45
II.3.3.3. Etude dynamique.....	55
II.4. Réponse électrique du microlevier piézorésistif.....	57
II. 4.1. Propriétés électriques.....	57
II.4.1.1. Effet de l'orientation cristalline.....	58
II.4.1.2. Effet de la température et du dopage.....	60
II. 4.2. Réponse piezorésistive.....	60
II.4.2.1. Dimensions du microlevier.....	61
II.4.2.2. Sensibilité du microlevier.....	63
II.4.2.3. Calcul du coefficient β	65
II.5. Influence de la température et de la pression.....	65
II. 5.1. Dépendances des divers paramètres vis-à-vis de la température et de la pression.....	65
II. 5.2. Pulsation de résonance.....	66
Conclusion.....	69

Chapitre III : MICROSCOPE A FORCE ATOMIQUE

Introduction.....	70
III.1. Principe de fonctionnement.....	70
III.2. Différents moyens de détection du AFM.....	72
III.2.1. Détection externe.....	72
III.2.1.1. Détection par effet Tunnel.....	72
III.2.1.2. Détection capacitive.....	73
III.2.1.3. Détection optique.....	74
a- Déflexion optique laser.....	74
b- Interférométrie.....	74
III.2.2. Détection intégrée.....	75
III.2.2.1. Détection piézoélectrique.....	76
III.2.2.2. Détection piézorésistive.....	76
III.3. Système microlevier – pointe.....	77
III.3.1. Microlevier.....	78
III.3.1.1. Microlevier à géométrie rectangulaire.....	89
a- Déflexion due à F_z	80

Table des matières

b- Bouclage dû à F_x	81
c- Torsion dû à F_y	85
III.3.1.2. Microlevier en forme de V.....	87
III.3.2. Pointe.....	88
III.3.2.1. Principales caractéristiques.....	88
III.3.2.2. L'usure des pointes.....	88
III.4. Les forces en microscopie à force atomique.....	90
III.5. Différents modes de fonctionnement.....	93
III.5.1. Mode contact.....	93
III.5.1.1 Modes d'imagerie en mode contact.....	93
a- Mode hauteur.....	93
b- Mode force.....	93
III.5.2. Effets modifiant l'image enregistrée en mode contact.....	96
III.5.2.1. Effets de la géométrie de la pointe.....	96
III.5.2.2. Effets du rayon de courbure de la pointe et de la topographie locale.....	96
III.5.3. Mode non contact.....	97
III.5.2. Mode contact intermittent.....	98
III.6. Avantages et inconvénients des modes d'AFM.....	99
III.6.1. Mode contact.....	99
III.6.2. Mode non-contact.....	100
III.6.3. Mode tapping.....	100
III.7. Résolution.....	100
III.8. Applications des AFM.....	101
Conclusion.....	101

Chapitre IV : ETAPES TECHNOLOGIQUES DE FABRICATION DU MICROLEVIER PIÉSORESISTIF

Introduction.....	102
IV.1. Généralités.....	102
IV.1.1. Choix du matériau utilisé.....	102
IV.1.2. Substrat de départ.....	103
IV.2. Techniques de fabrication.....	103
IV.2.1. Implantation ionique.....	104
IV.2.2. Recuits thermiques.....	104
IV.2.3. Photolithographie.....	104
IV.2.4. Techniques de micro-usinage.....	105
IV.2.4.1. Micro-usinage de volume.....	105
a- Gravure sèche.....	105
b- Gravure humide.....	107
IV.2.4.2. micro-usinage de surface.....	109
IV.3. Techniques de fabrication mises en œuvre pour la réalisation du microlevier piézorésistif.....	109
IV.3.1. Nettoyage des plaquettes.....	109
IV.3.2. Réalisation de la pointe.....	110
IV.3.3. Réalisation du microlevier piézorésistif.....	111

Table des matières

IV.3.3.1. Première photolithographie.....	111
IV.3.3.2. Deuxième photolithographie.....	112
IV.3.3.3. Troisième photolithographie.....	112
IV.3.3.4. Quatrième photolithographie.....	113
IV.3.3.5. Cinquième photolithographie.....	114
Conclusion.....	117
Conclusion générale	118
Annexe A :	121
Annexe B :	124
Annexe C :	126
Annexe D :	142
Liste des figures.....	147
Liste des tableaux.....	152
Glossaire.....	153
Bibliographie.....	160