

Conclusion Générale et Perspectives :

Le développement des nouvelles techniques d'instrumentation dédiées à la caractérisation physique à l'échelle du nanomètre et à la fabrication de microstructures est actuellement un enjeu important qui suscite des recherches intenses.

Les techniques et technologies issues de la microélectronique sur silicium ont ouvert un champ très important d'investigation sur les microsystèmes et ont révolutionné les techniques instrumentales et apporté de nouvelles solutions. Elles permettent de fabriquer collectivement un grand nombre d'instruments parfaitement adaptés à la caractérisation de nanostructures. Elles permettent d'intégrer sur ces instruments des fonctions d'actionnement et de détection.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons modélisé le comportement du microlevier piézorésistif, nous avons étudié une de ces applications : c'est le microscope à force atomique. Enfin, nous nous sommes attachés à concevoir un microlevier piézorésistif pouvant servir de produit consommable pour l'AFM.

Dans le premier chapitre, nous avons rappelé quelques notions de base sur les microsystèmes. Nous avons aussi donné les principaux types de microsystèmes à savoir les microcapteurs, les micro-actionneurs et les microstructures passives ayant comme partie mécanique principale un microlevier.

Le deuxième chapitre a été consacré à la modélisation mécanique, électrique et thermique de notre microlevier. La modélisation mécanique a été subdivisée en trois grandes parties :

- La première partie concerne l'étude statique. Nous avons établi dans le cas des faibles déflexions, l'équation du mouvement. Grâce à cette dernière et aux expressions du moment de flexion et du moment d'inertie quadratique du microlevier encastré à une extrémité et soumis à une force ponctuelle à l'autre, nous sommes arrivés à définir le déplacement, la pente et les constantes de raideur angulaire et linéaire. En traçant la distribution des contraintes à la surface du microlevier, nous avons remarqué que le maximum de ces contraintes est situé au niveau de l'encastrement. Ceci nous a donné, avec précision, l'emplacement des jauges sur le microlevier afin de maximiser leurs sensibilités.
- La deuxième partie concerne l'étude théorique de la mécanique dynamique du microlevier en mouvement de vibration libre transversale. Dans un premier temps, nous avons déterminé le comportement dynamique d'un microlevier en vibration transversale libre et non-amortie. Nous avons donné ainsi la solution générale de l'équation différentielle de mouvement du microlevier à partir de laquelle nous avons déduit les relations permettant de calculer les fréquences de résonance et les différentes formes de modes de vibration. Nous étudierons ensuite le

comportement dynamique d'un microlevier en vibration transversale libre et amortie.

- La troisième partie a été consacrée aux Simulations par la méthode des éléments finis. Nous nous proposons d'étudier le cas d'une micropoutre encastree à une extrémité et libre à l'autre. En appliquant une force ponctuelle sur l'extrémité libre, il est possible de déterminer la déflexion maximale ainsi que la contrainte maximale et de déduire la constante linéaire de raideur. Nous avons effectué des simulations numériques par éléments finis pour différentes forces appliquées à l'extrémité de la micropoutre rectangulaire choisie. En analysant les résultats obtenus, l'étude statique du comportement mécanique du microlevier étudié montre que ces résultats dépendent de la masse volumique et de la valeur de la force appliquée. Pour ce qui est des constantes de raideur, Nous avons vu que l'on a une bonne concordance entre les résultats théoriques et par simulation avec Ansys. Les valeurs obtenues de K_z pour notre microlevier rentre dans l'encadrement souhaité. L'étude de la répartition des contraintes par simulation nous a permis de déduire l'emplacement de la jauge piézorésistive qui sera placée sur la partie encastree du microlevier. L'étude dynamique nous a permis de déterminer les fréquences de résonances et les différents modes de vibration.

Dans l'étude de la réponse électrique, nous avons étudié la variation de la résistance électrique induite au sein de la jauge piézorésistive en fonction des déformations. En fin, nous avons mis en évidence l'effet de la température et de la pression sur les paramètres physiques et géométriques du microlevier. Les valeurs obtenues confirment le fait qu'il est possible de négliger la dilatation du matériau et de ne considérer que les variations des paramètres mécaniques du microlevier.

Le troisième chapitre a été dédié à l'étude du microscope à force atomique. Ce dernier utilise le microlevier comme élément de base pour son fonctionnement. L'objectif de ce chapitre est de décrire les différents modes d'imagerie et de présenter quelques applications marquantes. Le microscope à force atomique possède des atouts considérables pour explorer la mécanique des matériaux à des échelles nanométriques, échelles qu'aucun autre outil ne peut atteindre.

Dans une première partie nous avons présenté le principe de fonctionnement du microscope à force atomique et les différents moyens de détection. Ensuite nous avons justifié le choix de la détection piézorésistive. Enfin, nous avons fait le point sur les principaux types de microlevier et pointes utilisés.

Dans une seconde partie nous avons montré qu'en plus des forces interagissant entre les atomes (attractive et répulsive), il y a aussi des forces dues : à la déflexion, au bouclage et à la torsion du microlevier (F_z , F_x et F_y). L'étude des différents modes d'imagerie donne accès aux propriétés de l'ensemble pointe - surface, qu'il s'agit : de la constante de raideur, de la fréquence de résonance, des forces mises en jeu, de la distance pointe-surface et de la résolution topographique verticale et horizontale.

Nous avons terminé ce chapitre en donnant quelques applications du microscope à force atomique.

Finalemment, dans le quatrième chapitre, les principales étapes de fabrication technologique menant à la réalisation du microlevier piézorésistif sont analysées et décrites. Nous avons choisis pour sa réalisation un substrat SOI de type N.

Les perspectives des travaux présentés dans ce mémoire suivent différents axes de réflexion et se situent dans les différents contextes de recherche.

A court terme, nous espérons dans un prochain avenir développé le présent travail par une étude plus avancée en utilisant la méthode des éléments finis en jouant sur les paramètres géométriques du microlevier : la longueur, l'épaisseur et la largeur et les paramètres mécaniques du matériau : le module d'Young et le coefficient de poisson. La méthode des éléments finis permet aussi d'étudier la dérive thermique de la structure.

A moyen terme, nous nous intéresserons à l'électronique de commande. Celle-ci permet de contrôler les microsystèmes ou de traiter le signal recueilli. Dans le chapitre III nous avons choisi une application du microlevier piézorésistif : c'est le microscope à force atomique. Nous prévoyons d'étudier d'autres applications telles que l'étude du microviscosimètre à partie mécanique active de type microlevier, permettant de mesurer les viscosités de divers fluides, etc...