

Résumé

L'objectif de cette thèse est la conception d'un capteur de pression à ondes de surface utilisant le nitrure d'aluminium (AlN). Les études théoriques, la réalisation et la caractérisation du capteur de pression sur différentes structures à ondes de surface sont présentées.

La modélisation du capteur est effectuée en utilisant un circuit équivalent basé sur le modèle de Mason et la méthode des modes couplés. Les paramètres des ondes de surfaces sont obtenus par calcul et analysés pour différentes structures telles que AlN/SiO₂/Si, AlN/Si et AlN/Mo/Si. À partir de ces analyses, nous avons montré que la vitesse des ondes ainsi que le facteur de couplage peuvent dépendre du milieu de propagation. Pour chaque type de structure utilisant l'AlN, nous déterminons la plage d'épaisseur de la couche d'AlN pour laquelle la vitesse des ondes et le facteur de couplage présentent une faible dépendance au regard de l'épaisseur d'AlN. Les dispositifs à ondes de surface doivent être conçus, en particulier pour le choix des épaisseurs de différentes couches, en tenant compte de la précision du procédé de fabrication, afin de réduire les dispersions de caractéristiques des capteurs. En outre, nous avons analysé le comportement mécanique de la membrane en présence d'une pression et nous en avons déduit la sensibilité du capteur. Les effets des variations de température sur une structure à ondes de surface (SAW) sont étudiés. Pour des applications dans le domaine de la mesure de pressions, nous proposons une méthode de réduction des effets des variations de température.

Pour le procédé de fabrication, nous proposons d'utiliser le micro-usinage de surface. Ce type de procédé de fabrication permet d'obtenir exactement les dimensions des membranes utilisées dans les capteurs de pression et il permet aussi de réaliser tout type de géométrie grâce au procédé d'arrêt de gravure du silicium. Les films de nitrure d'aluminium sont caractérisés au cours de la fabrication. Nous avons trouvé que pour améliorer le comportement piézoélectrique de l'AlN, trois voies sont possibles : utiliser une couche de molybdène sous l'AlN, réduire la rugosité de la couche se trouvant sous l'AlN jusqu'à 0,2 nm et augmenter l'épaisseur de l'AlN.

Les pertes acoustiques de propagation, le facteur de couplage, l'effet d'une couche de Mo et l'effet du film mince de polyimide sur la fréquence centrale sont analysés expérimentalement. En conclusion, la sensibilité de pression mesurée de notre dispositif est présentée. Ce dernier résultat est très prometteur.

Mots clés : ondes acoustique de surface, Nitrure d'Aluminium (AlN), micro-usinage de surface, capteur de pression

Abstract

The goal of this thesis is the design of a surface acoustic wave (SAW) pressure sensor using Aluminium Nitride (AlN). Theoretical studies, realization, and characterization of the pressure sensor on different SAW structures are presented.

The modeling of the sensor was performed using an equivalent circuit based on Mason model and Coupling-Of-Mode. The theoretical study, SAW parameters in different structures of AlN/SiO₂/Si, AlN/Si, and AlN/Mo/Si are calculated and analyzed. From these analysis, the wave velocity as well as coupling factor could depend on the wave propagation medium. For each structure using AlN, we establish the range of thickness of AlN layer, in which there is a weak dependence of the wave velocity and coupling factor on the AlN layer thickness. The SAW devices should be designed, in particular for the choice of the thicknesses of the different layers, by taking into account the accuracy of the manufacturing process, to reduce dispersion effects on the sensors characteristics. Besides, we also performed the mechanical analysis of the membrane under pressure and we have deduced the pressure sensitivity. The effect of frequency variation due to temperature change in SAW device using AlN is given. For pressure measurement applications, we propose a method to reduce temperature change effects.

Concerning the fabrication process, we propose to use surface micro-machining. This kind of fabrication process allows to obtain exactly the dimensions of membranes used in pressure sensors and it also allows to have any kind of geometry due to the silicon etch stop wall. Characterizations of AlN film are done during fabrication process. We found that to increase the piezoelectric behavior of AlN, there are three possible ways: using a bottom Mo layer, decreasing the roughness of the layer below the AlN layer up to 0.2nm and increasing the thickness of AlN.

Acoustic propagation losses, coupling factor, effect of Mo layer and the effect of thin polyimide film on the center frequency are experimentally analyzed. Finally, the measured pressure sensitivity of our device is presented. This last result is promising.

Key words: surface acoustic wave (SAW), Aluminium Nitride (AlN), surface micro-machining; pressure sensor