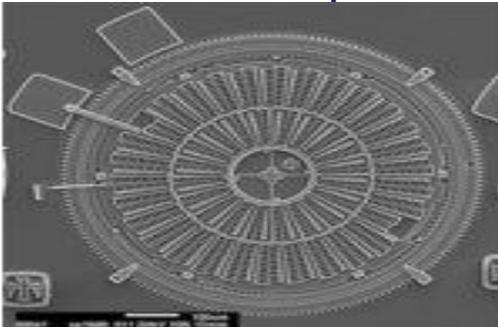


# Ch.III. Les actionneurs électrostatiques

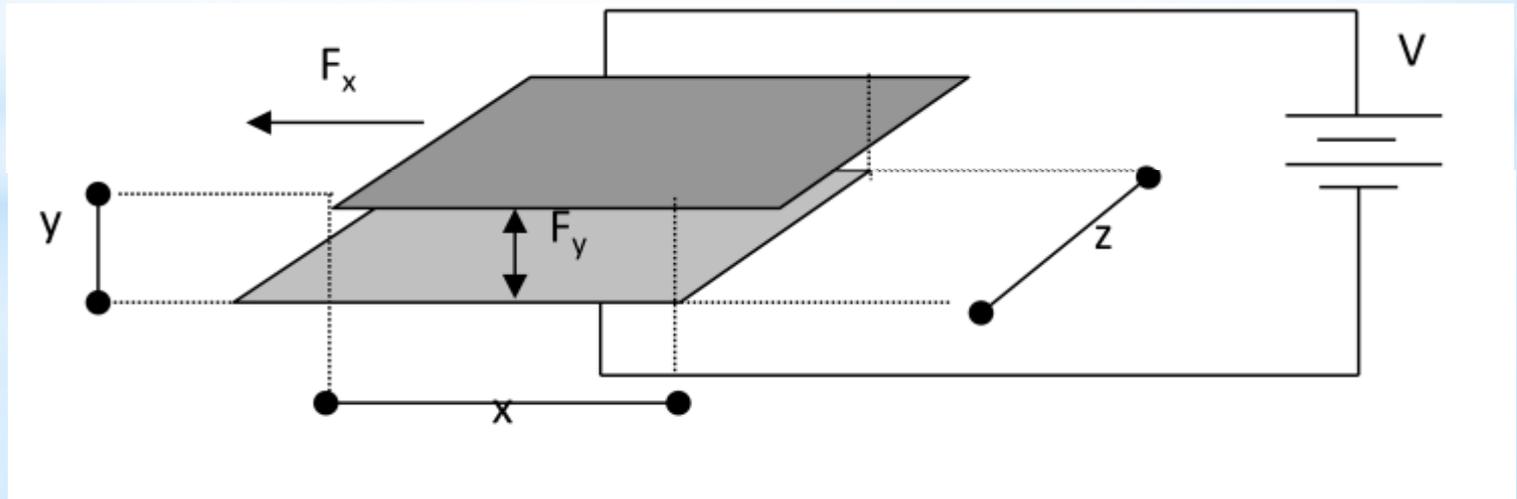
# I. Introduction

- Les actionneurs sont des exemples pour expliquer les différences qui existent entre les micro-mécanismes et les macro-structures.
- Un actionneur utilise un système pneumatique ou hydraulique, voire un moteur électrique.
- Ces systèmes ne sont pas toujours possibles à l'échelle du micromètre.
- Ils dépendent des forces massiques et sont difficiles à fabriquer et certains ne fonctionnent pas.
- Les actionneurs présents dans les MEMS font appel aux forces électrostatiques ou les variations thermiques.

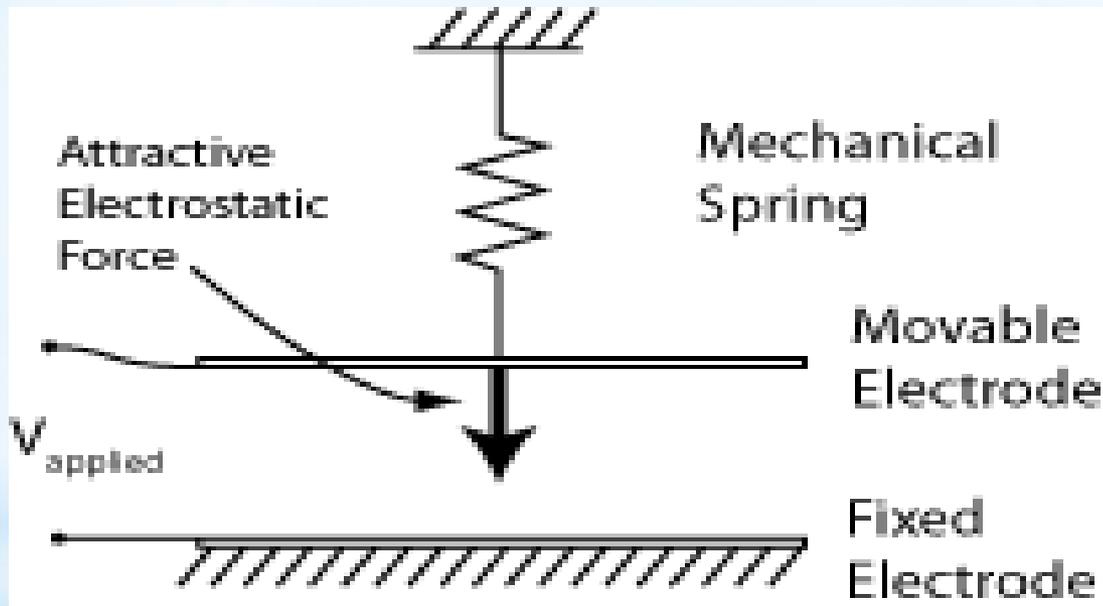


## II. Principe

- Le principe des actionneurs électrostatiques (Fig.1) consiste à appliquer une tension continue entre deux armatures A et B d'un condensateur dont l'une est fixe et l'autre est mobile.
- Cette différence de potentiel génère des forces électrostatiques qui tendent à rapprocher les deux parties de l'actionneur.
- Les déplacements peuvent être verticaux et horizontaux (transversal ou latéral).



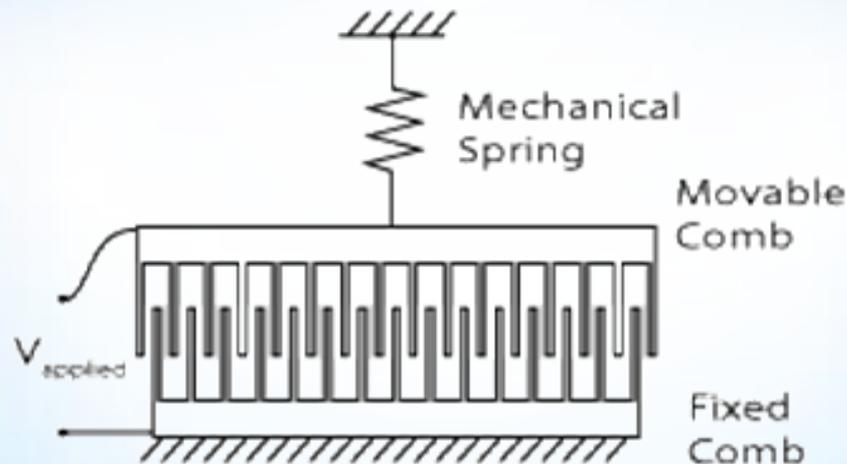
- Les actionneurs les plus simples sont composés de deux électrodes parallèles (fig.2).



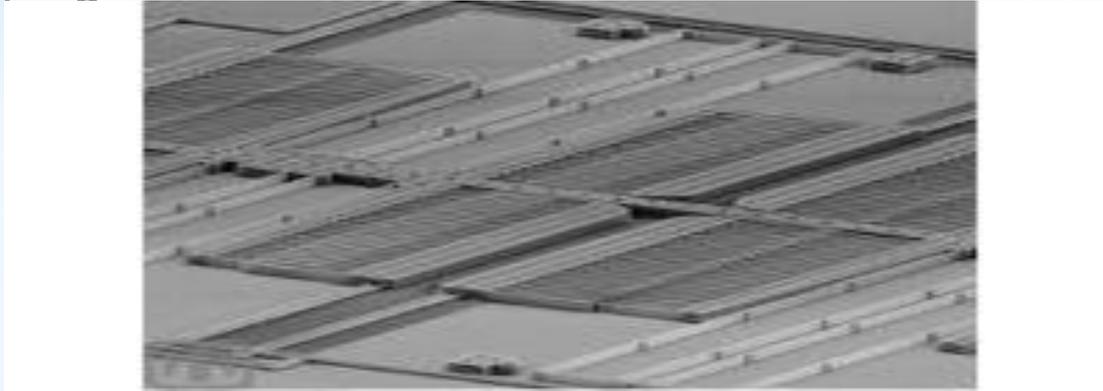
- L'une est fixe, tandis que l'autre est amovible et attachée à un ressort.
- En appliquant une tension différente à chacune des électrodes, on pourra rapprocher la plaque amovible.
- Le ressort rétracte son électrode, quand le courant ne passe plus,.

- Les deux électrodes ne doivent pas se rapprocher trop l'une de l'autre.
- En effet, l'attraction électrostatique augmente lorsque la distance entre les deux électrodes diminue.
- Si elles se rapprochent trop, la force électrostatique sera trop forte et le ressort de l'électrode amovible ne pourra plus retrouver sa position initiale.
- Il y a donc une tension de seuil qu'il ne faut pas dépasser.
- Il est possible de protéger les électrodes à l'aide d'un enrobage isolant qui empêchera l'électrode de descendre en dessous d'un tiers de la distance qui les sépare.
- Il est indispensable que les deux électrodes ne se touchent pas.
- Si elles se contactent, le courant qui va les traverser va engendrer une telle énergie qu'il fera fondre les éléments ou il désintégrera l'actionneur.

- Le fait que l'électrode ne peut pas descendre à plus d'un tiers de la distance qui la sépare de la plaque immobile signifie que les mouvements sont relativement limités.
- Si l'on a besoin de couvrir une distance plus importante, il faut avoir recours à un ressort mécanique et des électrodes qui ressemblent à des peignes.
- On parle de peignes interdigités en silicium.
- Le principe de fonctionnement est le même que précédemment.
- Un peigne est fixe et l'autre est amovible.



- Les deux peignes s'emboîtent l'un dans l'autre.



- On les rapproche ensuite l'un vers l'autre à l'aide des forces électrostatiques.

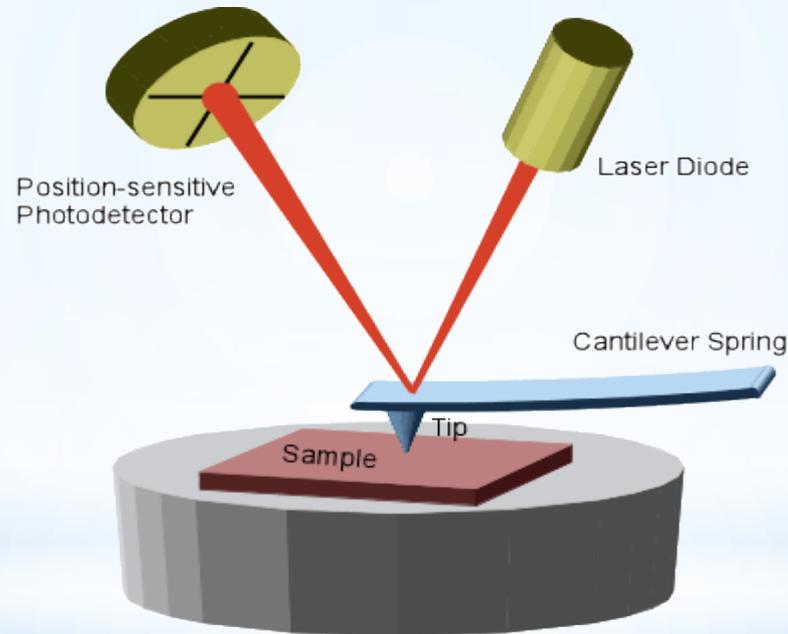
- Ce système offre une plus grande marge de manoeuvre.

- Tant que les deux peignes restent parallèles, les forces d'attraction latérales sont nulles.

- Si les deux peignes sont excentrés durant leurs mouvements, les forces électrostatiques vont plier les branches de peignes, voire carrément tirer le peigne amovible vers un côté et comme auparavant, si les deux électrodes se touchent, l'actionneur sera détruit par le courant qui va le traverser.

## Un exemple type d'actionneur électrostatique : le levier

Le levier ou porte-à-faux (cantilever en anglais) est l'un des actionneurs les plus communs et les plus anciens.



Il fut d'abord utilisé dans le resonistor qui fit l'objet d'un papier chez IBM en 1968.

Il s'agit d'un résonateur dont la partie mécanique est composée d'un porte-à-faux en silicium capable d'osciller à une certaine fréquence.

Dans le resonistor, la partie électronique envoie un signal pour détecter le niveau de stress perçu par le bras mécanique et traduit l'information en un signal électrique interprété par le système.

- Ce porte à faux est aussi au coeur du microscope à force atomique.
- Cet outil utilise un levier en silicium ou en nitrure de silicium disposant d'une pointe au rayon de courbe d'un nanomètre.
- Le porte-à-faux vibre à une fréquence qui lui est propre (quelques centaines de kHz).
- Lorsque la sonde approche de la surface, la fréquence change et un effet de flexion va être détecté par un laser placé au dessus.
- Ce système permet de mesurer de nombreuses forces d'adhésions.
- Un mécanisme limite l'interaction du porte-à-faux avec la surface qu'il mesure pour éviter qu'il l'endommage.

## Avantages et inconvénients des actionneurs électrostatiques

- Les avantages sont :
  - Ils se prêtent bien à la miniaturisation;
  - Leur réalisation est compatible avec la technologie planar (à plat);
  - Elle consiste à protéger le substrat d'une couche d'oxyde de silicium thermique ( $\text{SiO}_2$  silice) et ouvrir des fenêtres dans cet oxyde aux endroits devant recevoir le dopant par diffusion. Ainsi protégé de la pollution le composant au final donne de très bons résultats.
  - Cette technologie remplaça rapidement toutes les autres dans le domaine des transistors bipolaires et la fabrication des autres types de transistors s'en inspirèrent.
  - Elle va permettre de poursuivre le chemin dans la conception des circuits intégrés.
  - Ils sont relativement simples à concevoir et à réaliser;
  - Il n'y a pratiquement pas de courant donc pas de consommation d'énergie.

- Les inconvénients sont :
  - La réponse d'actionnement est non linéaire.
  - En effet la force est une fonction de la tension;
  - On ne peut pas augmenter la tension  $V$  indéfiniment car il y a un risque de collage des armatures et un court circuit en conséquence.
  - Ce type d'actionnement ne permet pas un déplacement important de l'armature mobile.

## Conclusion

- Les actionneurs électrostatiques sont très utilisés dans les MEMS car ils sont plus simples et mieux connus.