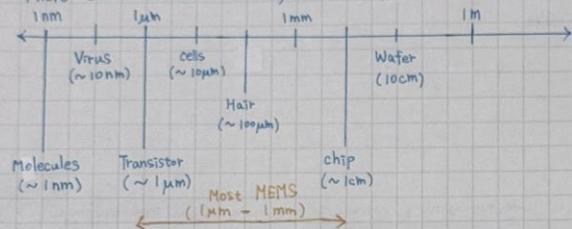


單元：奈微機電系統技術及應用

- Micro Electro Mechanical System



- Surface Micromachining: deposition, lithography, etching + sacrificial release

表面微加工 (Surface Micromachining)△ 演進概念

- 先在 Si wafer 上沉積薄膜 (thin films)。
- 塗佈光阻 (photoresist)，進行光蝕刻 (lithography)。
- 曝光、顯影後，將圖案轉移至薄膜上。
- 透過蝕刻 (etching) 去除不要的區域。
- 去除光阻，最後進行犧牲層 (sacrificial release)，釋放出可動結構。

△ 特質

- 利用「薄膜堆疊 + 犧牲層」的方式製作結構。
- 適合製作微小的機械結構，如齒輪、導管、懸臂梁等。
- 主要材料：多晶矽 (Polysilicon)、 $\text{SiO}_2$  犧牲層。

體微加工 (Bulk Micromachining)△ 製程原理

- 直接利用矽晶片本體 (Si substrate) 進行蝕刻。
- 蝕刻出空腔 (cavity)、通道 (nozzle)、薄膜、懸臂梁。
- 常用蝕刻技術：各向異性蝕刻  
各向異性蝕刻，利用 Si 晶向 (如 (100)、(111)) 的蝕刻速率差。

△ 特質

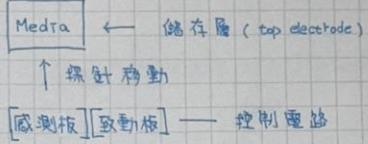
- 不需要堆疊薄膜，直接在矽晶片內部製造結構。
- 可做出深腔體、流體通道、薄膜壓力感測器等。
- 典型結構：膜 (membrane) - 穩 - 噴嘴

比較：表面微加工 vs. 體微加工

	表面微加工 (Surface)	體微加工 (Bulk)
材料來源	薄膜沉積 ( $\text{SiO}_2$ , Poly-Si 等)	直接利用矽晶板
製程方式	堆疊薄膜 + 犧牲層	深蝕刻形成結構
適合結構	微小懸臂梁、微鏡、微齒輪	導管感測器、壓力感測器、流道
特質	平面結構多、層數可控	可做出深度大且機械強度高的結構

## CMOS MEMS

△ Probe-based Data Storage 原理：利用探針在媒體表面進行寫入與讀取，結合微結構的壓電與電容感測  
 - 結構：CMOS 區域：包括控制電路  
 微結構區域：懸臂架、感測板、致動板  
 彈簧與鎖定結構使探針可精確移動  
 應用：高密度儲存、未來儲存技術研究



△ Micro Mirror Array 原理：利用微鏡調整光束方向，多用於光學切換、投影  
 微型反射鏡陣列  
 - 製程：乾蝕刻：精細複雜結構  
 - 湿蝕刻：利用晶格方向差異製作鏡面結構  
 - 結構：微鏡板、固定電極、中央支柱結構  
 應用：光學通訊、投影顯示 (ex: DLP 投影機)

△ Microhotplate 原理：在微小懸浮膜上整合加熱器與溫度感測器，用於氣體感測或微反應器  
 微熱板  
 - 結構：加熱器（線形、矩形）  
 溫度感測器（多點分佈）  
 電極層  
 絕緣膜  
 應用：氣體感測器、材料退火、微加熱系統

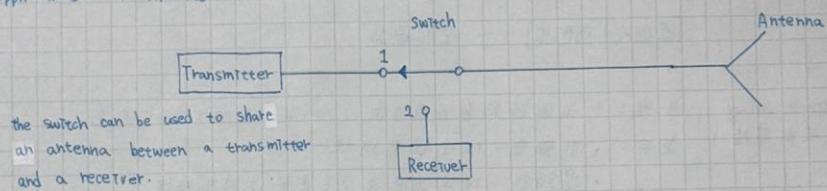
△ CMOS MEMS 整合 原理：先製作 CMOS 薄路，再透過後製程 (Post-IC Process) 加入 MEMS 結構  
 - 優勢：高度整合，訊號處理與感測結合。  
 - 結構：體積小、低功耗  
 應用：智慧感測器、行動裝置

△ Accelerometer 原理：透過 proof mass 在加速度下的位移，改變電容值來測量  
 - 結構：固定電極 (stator) 與可動電極 (rotor)  
 彈簧提供回復力  
 可同時量測 X、Y、Z 三軸  
 應用：手機姿態感測、汽車安全氣囊、穿戴裝置

### Why RF MEMS Switches

Switch Type	Insertion loss	Isolation	Power handling	Power consumption	Switching speed	Cost
PIN diodes	Good	Good	Good	Poor	Good	Good
GaAs FET's	Good	Good	Poor	Good	Excellent	Poor
MEMS switches	Excellent (0.1~0.6 dB)	Excellent (-40~-50 dB)	Excellent	Excellent	Poor	Good

### Applications of RF MEMS Switch



### Electrostatic - type MEMS switches

- Metal contacting
- Capacitive coupling

△ 1979, K.E. Petersen et al.  
(IBM)

- cantilever beam
- bulk micro machining
- ac signal switching arrays

△ 1991, L.E. Larson et al.

- rotary switch, histotrical
- In this design, a rotating t-line was fabricated and exhibited less than -0.4dB insertion loss and an isolation better than -35 dB up to 45 GHz
- On GaAs substrate

△ 2000 : J.Y. Park (LG - Korea)

- Strontium titanate oxide ( $\text{SrTiO}_3$ ) with high dielectric constant
- insertion loss of 0.08 dB at 10 GHz
- isolation of 42 dB at 5 GHz
- On GaAs substrate

△ 2000 , C.Chang et al. (NTU)

- 0.5  $\mu\text{m}$  thick evaporated aluminum cantilever which is covered in part by a 0.1  $\mu\text{m}$  thick evaporated Cr layer
- curls up due to the residual stress difference between the Al and the Cr layers
- The actuation voltage is 26-30 V
- On GaAs substrate

△ 2000 , S. Pacheco et al. (The University of Michigan)

- suspend the membrane using meander support structures
- a pull down voltage of 6-12 V can be achieved (depends on the number of meander bends used and the thickness of the membrane)
- On High-resistivity silicon substrates

△ 2001 , P. Blondy et al. (ST microelectronics)

- Thermal electrostatic
- DC - contact
- On High-resistivity silicon substrates

### △ Previous Work

- GaAs or High-Resistivity Substrates (in excess of  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ )  
→ reduce the substrate losses → high cost
- CMOS compatible → ???

### △ Why CMOS MEMS?

- Predominant fabrication technology over last decades
- Vast fabrication experience, optimized reliability and yield
- Integration MEMS with circuits on chip
- Low cost, low power for electronics

### Result and discussion

#### △ measurement setup for driving voltage

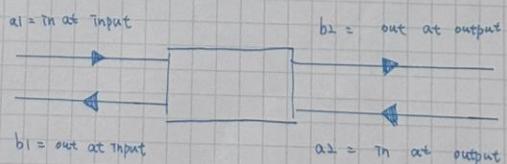
- optical microscope
- charge coupled device camera, CCD
- power supply
- probe station

#### △ On wafer S parameter measurement

#### △ HP8510C (Vector Network Analyzer, VNA)

##### △ S parameter

- insertion loss ( $S_{21}$ , not actuated, up position)  $S_{21} = \frac{b_1}{a_1}$  Input reflection coefficient
- isolation ( $S_{21}$ , actuated, down position)  $S_{21} = \frac{b_2}{a_1}$  Gain / Loss



### △ Why micromechanical resonator?

High performance transducer

Cost low

Easy Integrate with light, electricity, heat and magnet on a chip

Good stability at temperature and ageing

### △ Application:

Wireless communication system

