

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

\*\*\*\*\*

\* X/KU 頻帶 MEMS 四位元移向器研製(2/2) \*

\*\*\*\*\*

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：90-2218-E-009-009-

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

計畫主持人：周復芳 副教授

計畫參與人員：盧仁宸、林稔杰

執行單位：國立交通大學電子研究所

中華民國 91 年 8 月 23 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## X/KU 頻帶 MEMS 四位元移向器研製(2/2)

計畫編號：NSC90--2218-E-009-009

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

主持人：周復芳 國立交通大學電信研究所副教授

研究生：盧仁宸、林稔杰

一. 中文摘要：(關鍵字：微波開關、共平面波導、移相器、微帶線)

本研究計畫應用近年來獲得重大突破的 MEMS 技術在矽基板上製作低損耗高頻通訊用之 Ku Band 微波開關。此 MEMS 技術所製作之微波開關係利用靜電力致動金屬薄板，使微波電路形成接通與開關兩種狀態。此開關可以用來製作低損耗移相器，移相器電路藉由調制微波傳輸路徑以控制微波相位，多組微波開關在移相器中可以利用串聯或是並聯的方式連接，藉由設計可程式化高頻偏壓電路來控制微波信號之傳輸路徑，以達到相位改變。

此外，微波開關得量測系統也是本計畫的重點，我們利用自製的高頻轉換器可以將微帶線轉換成共平面波導，以利微波量測儀器的測量，並配合 TRL 的量測技術可以有效精準的量出元件特性。

Abstract : (Keyword : microwave switch, CPW, phase shifter, micro-strip)

This proposal presented a new prototype of Ku-band microwave switch with low insertion loss, using MEMS technology which has promoted exciting

advancement in the field of microwave switching recently.

This switch can use for microwave phase shifter. The phase shifter can be used to control the phase of RF signal through switching of different transmission paths. RF MEMS switches will be used to replace traditional PIN or FET devices in phase shifter circuit in this project. It can be actuated to ON or OFF state through electrostatic force, and the RF signal path will be connected or disconnected.

The measurement of micro-strip MEMS switch in microwave and optimization of high frequency interconnects on silicon substrates are our emphasis. We use ourselves CPW to micro-strip adapter and TRL measurement technique to make measurement exact.

二. 計畫緣由與目的

有鑒於傳統電晶體用來當微波開關，有較高的功率損耗以及非線性動態響應，對於高頻傳輸系統而言已經無法滿足所要求，因此我們利用微機械結構製作出的微波開關來改善此一問題。

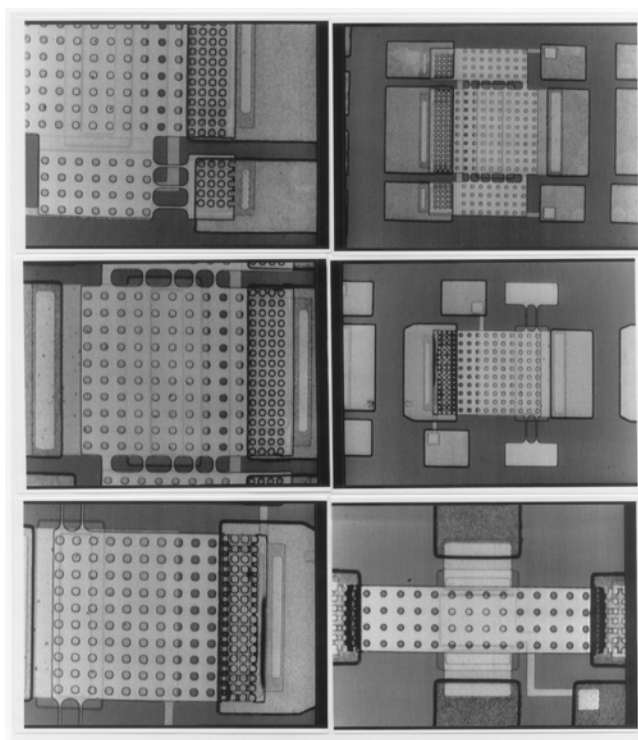
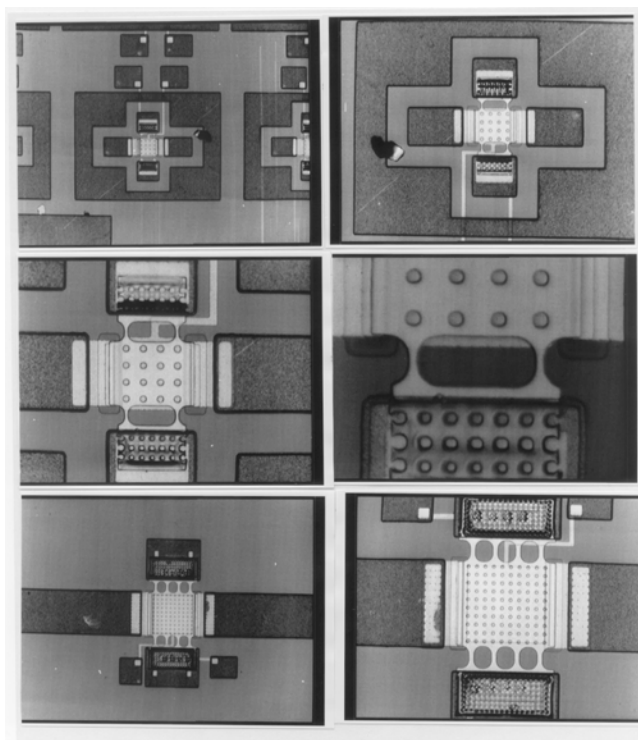
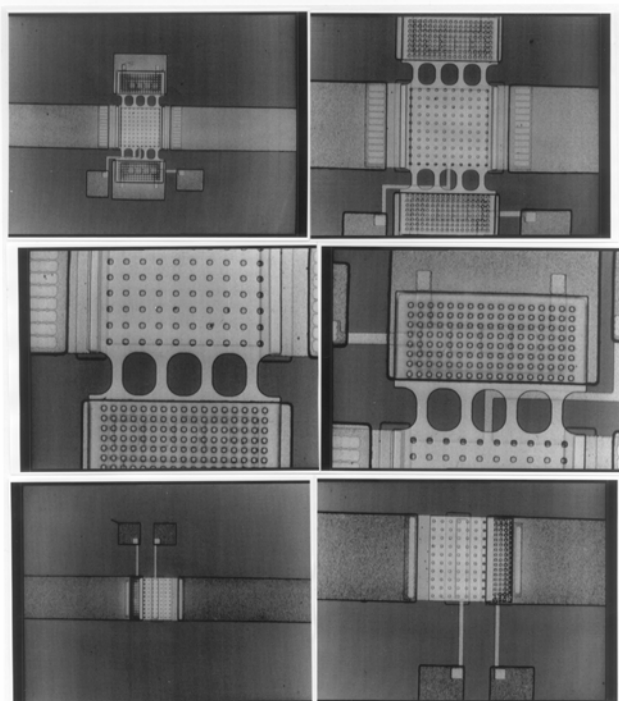
由於半導體產業的蓬薄發展，連帶

使精密機械加工技術也跟著精進，傳統 PCB 無法達到的線寬精準度，在現今已經可以充分利用半導體製程技術達到毫微米級甚至奈米級的程度。對於往高頻通訊甚至到達光學頻段，利用微機電技術將是一個很好的選擇。

### 三. 研究成果

本計畫利用高阻值的晶片當基板，根據文獻記載，當矽晶片阻值高於 3000 歐姆-公分時，基板的損耗可以忽略，而我們選用阻值為 10K 歐姆的矽晶片當基板，同時在矽基板上沉基一層  $\text{SiO}_2$  當 Isolation 用。而我們使用 Aluminum 當 cantilever beam 來傳輸訊號，利用低熱應力 (thermal stress) Polymer 當作犧牲層以及 anchor。利用外加電壓在上、下極板導致 cantilever beam 上翹以及下彎，讓訊號通過與隔絕。

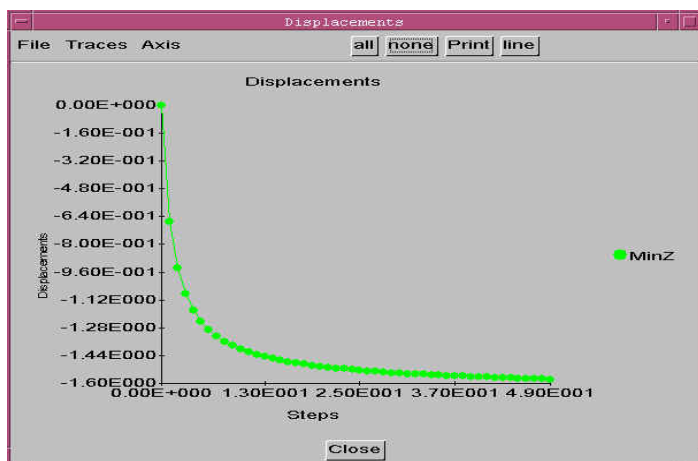
下圖為我們製作出來的微波開關照片：



當我們元件完成最後的 release 犧牲層時 (sacrificial layer)，我們製作出來的 cantilever beam 還能平整，跟去年我們製作出來的懸臂樑往上翹改進了很多，這是因為我們這次使用低熱應力的 polyimide 所造成的改良。由於我們在

Release 階段時使用 Isotropic dry etching，因此當我們把 polyimide 蝕刻掉時，電漿(plasma)的電荷累積會造成溫度的上升，由於 Aluminum、Polyimide、oxide 間的熱膨脹係數差異很大，所以各層間有熱應變產生，必須很小心處理之間的熱應力(thermal stress)，這也是去年為何一直無法突破的地方。此外由於在整個 process 中我們必須蒸鍍三、四微米厚的鋁，由於機台的限制必須分三、四次破真空抽真空才有辦法達成厚膜的鋁，在破真空過程中，鋁會被氧化變成氧化鋁，此物質為一絕緣體，因此對於整個高頻的特性會有重大的影響，如能使用 sputter 或是電子槍一次鍍厚膜，就能解決此一問題。

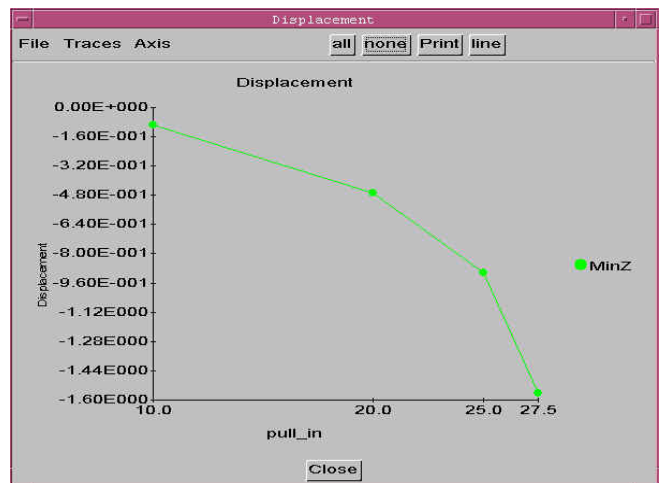
此外，我們也針對微波開關的結構利用 MEMS 模擬軟體來模擬其基本機械及驅動電壓特性，如以下各圖：



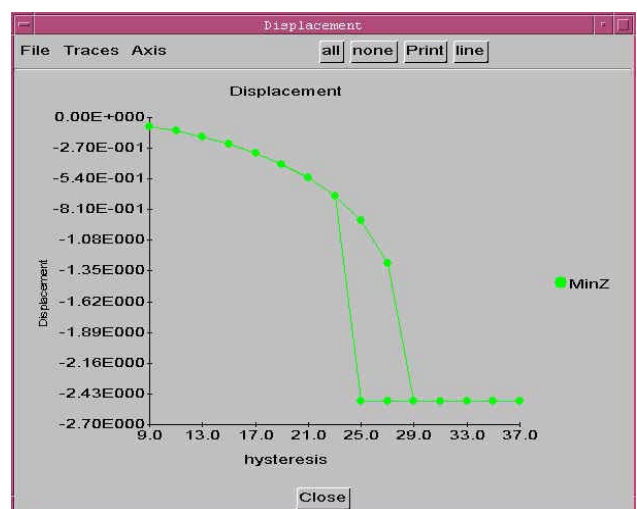
上圖為依據所設計的 switch 結構，利用 MEMS 模擬軟體 Coventorware 計算出 cantilever beam 由起始位置  $0\mu\text{m}$  處被拉下至  $1.6\mu\text{m}$  處而達 pull-in 發生的位置。

下圖為依據所設計的 switch 結構，利用 MEMS 模擬軟體 Coventorware

計算出 cantilever beam 之 pull-in voltage，首先求得 dc 10V 偏壓於浮板上，浮板未達 pull-in 發生的位置，持續求出不同的 dc 偏壓 20V，25V，直到 dc 27.5V 偏壓使浮板位置恰在 pull-in 發生處。



下圖為依據所設計的 switch 結構，利用 MEMS 模擬軟體 Coventorware 模擬 cantilever beam 之 Hysteresis Characteristic，由圖可知，pull-in voltage 約為 dc 27.5V，release voltage 約為 dc 25V。



#### 四. 結論與展望

在執行延續計畫一年中，我們已經成功的將鋁薄膜微波開關製作完成，對

於結構模擬以及電路模擬都有成果，此外量測部分由於有些量測的測試結構尚未製作完成，所以沒有將元件實際的拿去量測，這是我們下一步要進行的主要方向。未來我們將朝三方向去進行：

1. 實際量測元件的高頻特性，並與元件結構與電路模擬比對，找出最佳化的結構參數，以致做更高性能的高頻特性元件。
2. 利用已製作完成的開關，使其陣列化，配合天線的製作搭配以期完成 Smart antenna
3. 利用此 CMOS 製程相容來結合 CMOS 電路與微波元件製作 SOC 系統

Micromachined Switches at Microwave Frequencies,” IEEE MTT-S Digest, Vol.2, June, 1966.

[5]. H Schroder, E Obermier and A. Steckenborn. “Effect of the etchmask properties on the anisotropy ratio in anisotropic etching of {100} silicon in aqueous KOH”, J. Micromech. Microeng. 8(1998) pp.99-103.

[6]. ZR. Hu, Vf. Fusco, Y. Wu, HG. Gamble, BM. Armstrong and JAC. Stewart, “Contact effects on HF loss CPW high resistivity silicon lines,” IEEE MTT-S Digest, 1996.

## 五. 參考文獻

[1]. Charles L. Goldsmith, Zhimin Yao, Susan Eshelman and David Denniston. “Performance of Low Loss RF MEMS Capacitive Switches”. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol. 8, No. 8, August(1998) pp. 269~271.

[2]. R. H. Caverly. “Distorsion in Off State Arsenide MESFET Switches”, IEEE Trans. On Microwave theory and Tech., Vol. 41, No. 8, Aug. 1993, pp. 1323~1328.

[3]. K. W. Kobayashy, A. K. Oki, D. K. Umamoto, S. K. Z. Claxton and D.C. Streit. “Monolithic GaAs HBT p-i-n Diode Variable Gain Amplifiers, Attenuators, and Switches”, IEEE Trans. On Microwave Theory and Tec., Vol. 41, No, 12, Dec. 1993. pp. 2295~2302.

[4]. C.Goldsmith, J. Randal, S.Eshelman, T.H. Lin, D. Denniston, S. Chen, and B.Norvell, “Characteristics of