

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微機電微波元件之研究-子計畫三

微機電微波衰減器之研究

計畫編號：NSC89-2218-E-002-019

執行期限：88/08/01-89/07/31

主持人：張培仁 國立台灣大學應用力學研究所教授

一、中文摘要：(關鍵字：微機電系統、微波通訊、可調式微波衰減器、固定相位)

本研究計畫之研發目標為利用微機電技術設計、分析、製作及量測微波衰減器，並期望能將其製程與現有 CMOS 標準製程相容，提昇研究成果的產業價值。

本研究計劃所預期達成的成果有：1. 完成可調式微波衰減器之設計。
2. 完成可調式微波衰減器之製作。

Abstract:(keyword: MEMS, Microwave Communication, Tunable Microwave Attenuator, Constant Phase)

The ultimate goal of this proposal is to design, fabricate, measure and analyze the all-new microwave attenuators by MEMS technologies. Furthermore, we will try to make the process of the novel conceptual microwave attenuators fully compatible

with standard CMOS process. The microwave attenuator proposed herein has a monolithic integration capability with MMIC and is highly promising for future applications in communications.

Our goals are :

1. Complete the design of tunable microwave attenuator
2. Complete the process of tunable microwave attenuator

二、計畫緣由與目的

隨著電子業的蓬勃興起，各種相關的工程技術也隨之提昇，於是出現一種結合半導體、機械、化學、材料與生物等技術的新領域——微機電系統 (Micro Electro Mechanical Systems, MEMS)。在過去十年，微機電系統在許多領域中有長足的進步，如：微感測器、微機械、微結構、控制元件等，有些成功的產品甚至已經被導入廣大的消費市場，如整合式加速度計及壓力計。

近幾年來微機電技術的日益精進，其可應用的範圍不再侷限於上述

的領域，在無線通訊領域中也漸漸嶄露頭角，如高 Q 值機械式共振器（high-Q on-chip mechanical resonators）的出現，可以與現有微波電路結合，改善傳統上必須再外加石英共振器所造成體積較大的缺點；電壓控制可調式電容（voltage-tunable on-chip capacitors）除可當作可變電容使用外，還可以應用於電壓控制震盪器（voltage-controlled oscillator, VCO）；低損失電感（isolated low-loss inductors），此種立體電感可改進目前平面電感 Q 值太低的缺憾，或是取代電路中外接的線圈式電感；低損失微機構式開關（low loss micromechanical switch）有較小的寄生電容電感效果（parasitics），及低耗損、開關機構易控制等優點，唯一美中不足的是開關速度（switching speed）的受限，最佳只可達毫秒（mil second），但仍適用於傳送/接收（transmit/receive）開關系統及部分相位天線陣列（phased antenna arrays）中等，利用微機電技術可使現有微波元件的體積大幅縮小、單晶整合性提高及提昇現有的功能。配合近來的行動通訊、衛星通訊及網路通訊等蓬勃發展，微機電系統在無線通訊領域將有很大的市場發展潛力。

三、研究成果

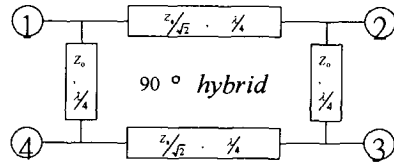
3.1. 微波衰減器架構選定：

傳輸線之型式選用共面波導（CPW），而基板選用高阻質的矽基板。在傳統的微波元件中以微帶線較常被使用，然而在考量微機械加工的製程技術與機械式開關的原理，傳輸線之

型式最後決定採用共平面波導。微機械加工中的曝光顯影技術具有精準複製平面圖型的能力，然而製程中各薄膜層厚度之控制準度則不及之。就傳輸線而言，不同的幾何尺寸及代表不同的阻抗，而精確的控制阻抗是電路設計中基本的一環，因此捨傳統之微帶線而採用共平面波導。

在傳輸線的型式決定後，面臨電路模擬的問題，由於能直接共平面波導的模擬軟體並不常見，因此在設計上同時採用 Applied Wave Research 開發的 *Microwave Office* 與 Ansoft 出品的 *HFSS* 兩套模擬軟體，以互補之。*Microwave Office* 軟體能快速的模擬傳輸線之電路，但未提供共面波導型式之傳輸線模擬；而 *HFSS* 則能模擬實際三度空間模型之電磁場效應，唯其耗時甚巨。因此在電路設計時，先在 *Microwave Office* 中以理想傳輸線模擬，再利用 *HFSS* 之三維空間模擬軟體，求得對應之幾何及材料參數下的電路特性。

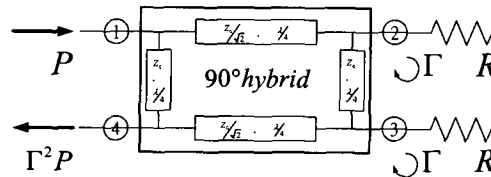
利用九十度耦合器（如圖一）與電阻配合微波開關組成微波衰減器（如圖二、三）。由微波開關控制不同電阻質之切換，可達衰減量之控制而不改變相位。此微波衰減器之衰減量直接與電阻有關，因此若能成功的改變所接之電阻值，則可得到一可調之微波衰減器，而利用微波開關做電阻值的切換，可達成此一目的。再者由模擬可知，在此設計架構下，輸出端之訊號相位並不會隨著衰減量不同而改變，可解決目前大部分的衰減器輸出相位變化的問題。



(圖一)

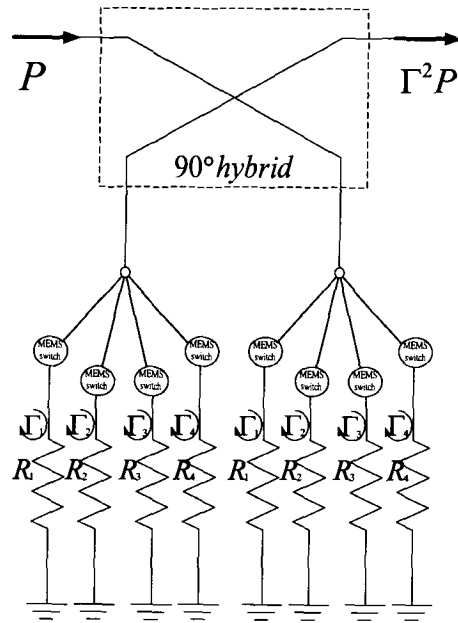
上相同電阻後，其 S 參數矩陣可如下表示：

$$\frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \Gamma \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ j \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ j\Gamma \end{bmatrix}$$



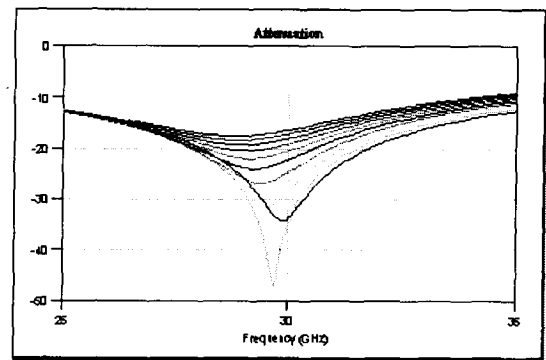
(圖二)

其中 Γ 為 port2 與 port3 之反射量，矩陣運算結果顯示輸出端之 S 參數為 $j\Gamma$ ，可知其 port4 的相位不因反射量而改變。輸出相位固定的特性，對於後級電路之設計及訊號處理，均是相當有利的。



(圖三)

利用 *Microwave Office* 模擬此一電路，其衰減量 (port4 之輸出量) 和相位變化分別如圖四與圖五所示。由此二圖可知，只要適當選取 port2 與 port3 之後的電阻值 R，即可得到相對應之衰減量。若能利用微波開關調整 R 值，則此微波衰減器即成為可調之衰減器。



(圖四)

3.2. 微波衰減器原理分析：

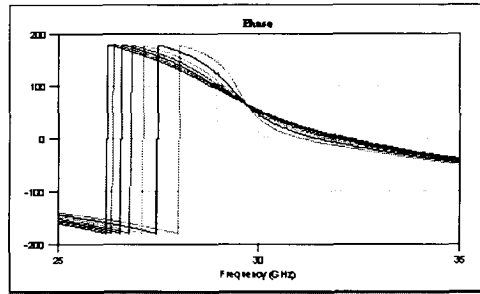
微波訊號衰減及相角變化。

九十度耦合器之 S 參數如下：

下：

$$S = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix}$$

當耦合器之 port2 與 port3 端接



(圖五)

四、結論與展望

在執行此計畫的第一年年，我們決定了微波衰減器之設計架構並在高頻元件、經濟和可行性的考量下選取了傳輸線型式與基板之材料。接來將進行製程的開發，將設計之衰減電路直接做在選定之基上。而後結合實驗室開發之微波開關技術，將衰減電路與開關結合，達到可調衰減量之微波衰減器。

五、參考文獻

- [1]Chienliu Chang, Electrostatic Microactuator, Ph.D. Dissertation, 1998, Institute of Applied Mechanics, National Taiwan University.
- [2] Milanovic et al. ,Micromachined microwave transmission lines in CMOS technology
- [3] David M. Pozar, Microwave Engineering , Wiley
- [4] C. H., Chang, Ph.D. assertion Microwave Micro Actuators , National Taiwan University, Taipei
- [5] K. H., Yen, Study on micromachined microwave switches , National Taiwan University, Taipei.