

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※ 微機電微波元件之研究-總計畫 ※

※

※ 微機電微波元件之研究總計畫 ※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC90-2218-E-002-034

執行期間：90年08月01日至91年07月31日

計畫主持人：張培仁 國立台灣大學應用力學研究所教授

共同主持人：呂學士 國立台灣大學電機研究所教授

黃榮堂 國立台北科技大學機電研究所副教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學應用力學研究所

中華民國 91 年 10 月 30 日

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總計畫

計畫編號：NSC90-2218-E-002-034

執行期限：90/08/01-91/07/31

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

(關鍵詞：微機電技術、微帶天線、等相位微波衰減器)

本研究計畫之研發目標為利用微機電技術設計、分析、製作及量測微波元件。在三五族方面，我們以掏空矽基板的方式來降低基板耦合所生的損失，進而提升了整體電感的 Q 值，在衰減器方面，我們推導衰減器的電路理論並提出一種以微機電技術可以製作的等相位衰減器，且以微機電開關來切換路徑使在衰減的過程中相位仍可維持一定。在天線部分採用高耦合量的 H 型開槽使天線耦合量增加進而得到較佳的幅射函數，天線增益均有 7dBi 左右，前後主波束功率密度比 (Front to Back ratio) 為 8dB。

Abstract (**Keywords:** MEMS 、 Microstrip patch antennas 、 Microwave Constant Phase attenuator)

The ultimate goal of this proposal is to design, analyze, fabricate and measure microwave devices. We take out the silicon substrate to diminish the substrate loss and enhance Q value of inductor. On the other hand, we deduce the circuit theory and develop the new constant phase that maintain constant phase during attenuating. Moreover, we adopt the high couple amount H slotting to get better radiation function. The gain of the antenna is around 7dBi, and the power front to back ratio of the main beam is 8dB .

二 計劃緣起與目的

隨著通訊的頻率不斷的往高頻

邁進，傳統以矽基板為主的 CMOS 電路面臨著高頻性能不佳的缺點，加上目前各界皆朝向單晶片以求價格降低的驅勢，因此利用微機電技術 (Micro Electro Mechanical Systems, MEMS) 來改良元件高頻性能的研究也就越來越多了，本研究即是利用微機電技術的優點來改良電路的性能以達成所須的訴求。在過去十年，微機電系統在許多領域中有長足的進步，其中 LMDS(Local Multipoint Distribution Service)為一種無線寬頻的區域多點資訊傳輸設備，但是目前所生產的 LMDS 設備皆以非微機電方式製作，倘若能利用微機電的技術來製作便宜的微波元件 (如以矽取代砷化鎵基板)，則可以大量的提供高頻且寬頻的通訊元件。

三 研究成果

3.1 三五族微機電技術研發及應用

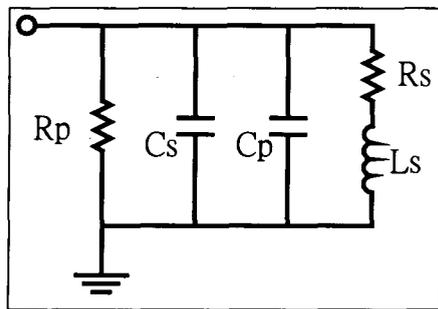
本計劃中，我們成功的利用微機電技術來掏空 IC 電感下方的矽質基板，並利用 Laser Burning 來蝕刻保護層 (passivation layer) 保護金屬層來防止 TMAH 蝕刻時將金屬蝕刻掉以利接下來的量測動作。

電感的性能可由品質因數 Q 來評斷，如下式所示：

$$Q = 2\pi \frac{\text{Peak Magnetic Energy} - \text{Peak Electric Energy}}{\text{Energy Loss in One Oscillation Cycle}}$$
$$= \frac{\omega L_s}{R_s} \times \frac{R_p}{R_p + \left[\left(\frac{\omega L_s}{R_s} \right)^2 + 1 \right] \cdot R_s} \times \left(1 - \frac{R_s^2 C_o}{L_s} - \omega^2 L_s C_o \right)$$

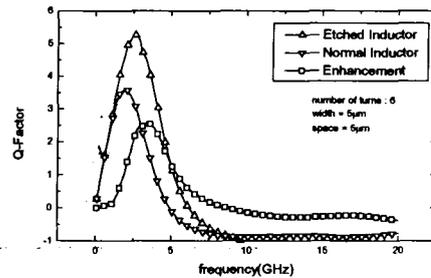
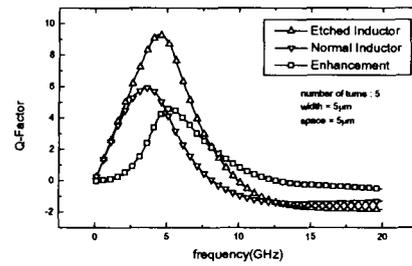
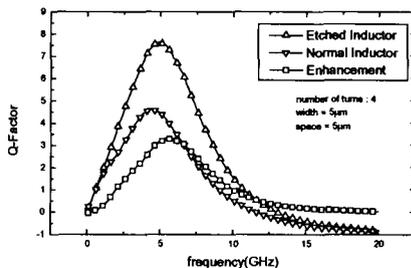
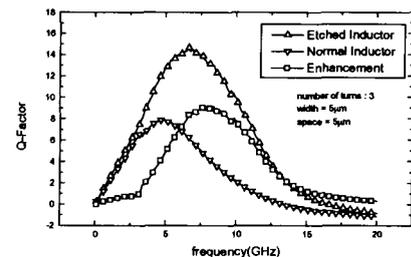
圖一所示為電感的等效模型，其中 Cs 為電感的金屬與金屬之間之等效電容，Cp 為與基板間的耦合電容，Rs 和 Ls 為渦電流 (eddy current) 的效應，經由上式可以看出電感的 Q 值深

受串聯電阻與基板的影響，因為製程中的金屬厚度乃由 IC 廠所限制，因此我們掏空電感下方的矽基板來降低渦電流和基板的效應來提升電感的 Q 值，利用 TMAH 加熱到 92°C 來加快蝕刻速率，由於 TMAH 為一種有機酸，隨著蝕刻的時間增加它亦會將金屬蝕刻掉，致使 pad 被蝕刻掉而不能量測，我們提出的解決方法為將所要的 pad 利用保護層(nitride)保護住，待下方的基板被掏空後再以 laser burning 的方式將保護層拿掉使 pad 露出來以作下面的量測。



(圖一)

圖(二)為製程完成後的量測結果，由圖可以看出在 5GHz 的時後經由微機電製程的改善電感的 Q 質明顯的增加了 60%，由圖也可以觀察到隨著電感繞的圈數越來越多 Q 值卻越變越小，此乃因為電感的金屬與金屬之間之等效電容增加，且與基板的覆蓋面積變大之故。



(圖二)

下表為未經由後製程處理與經由後製程處理後的電感之比較。

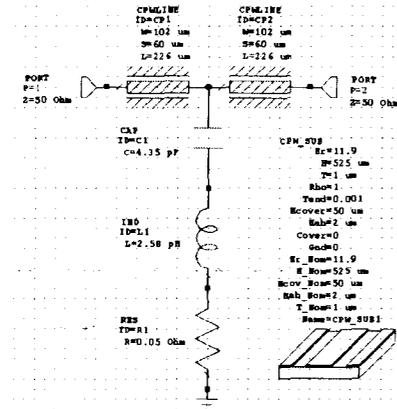
ID	Rs1(ohm)	Rs2(ohm)	Cs1(fF)	Cs2(fF)	Cox1(fF)	Cox2(fF)
L03	323.42	181.39	2.06	2.32	38.1	55.9
L04	204.71	167.73	0	24.49	46	67.3
L05	172.26	293.72	0.11	0	58	74
L06	274.35	198.83	0.48	0.08	86	99
L03_etch ed	open	835.95	0	12.9	38.1	55.9
L04_etch ed	1087.63	566.13	0.03	0.17	46	67.3
L05_etch ed	600	2000	28.25	2.78	58	74
L06_etch ed	793.31	1364.17	0.01	0	86	99

3.2 微機電微波衰減器之研究

在衰減器研發方面，由於傳統的電路在衰減訊號的過程中相位也會隨之改變造成相位的不穩定，本研究提出了一種創新的架構，設計概念如下所述，概念為假使可以使操控的參數(本設計為電容值)之最小與最大值之 S21 的相位一樣的話，則必可達成所須的要求。由於設計的衰減器利用開關來當控制元件，因此必須以高頻電路模擬軟體配合等效模型粹取參數再代入衰減器模擬之，我們定義 Φ_{MIN} 為開關關(C_{off})時的相位角， Φ_{MAX} 為開關開(C_{on})時的相位角，如前所述，要得到一等相位的衰減器只要使開關在開與關狀態時的 S21 相等即可，亦即

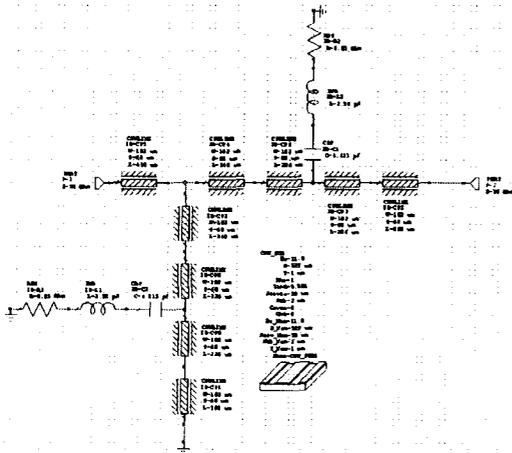
$$\Phi_{\text{MIN}} = \Phi_{\text{MAX}}$$

由於衰減器的主體由開關所構成，故必須先知道開關的相關參數才能帶入衰減器中模擬，利用高頻電路模擬軟體(HFSS)來模擬開關的S參數配合 Microwave office 粹取(fit)開關的等效電路之R、L、C值，其值與模型如圖(三)所示：

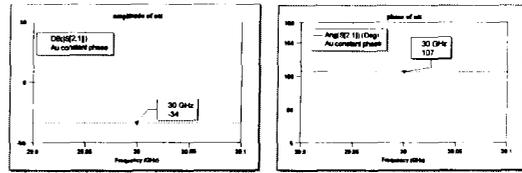


圖(三)

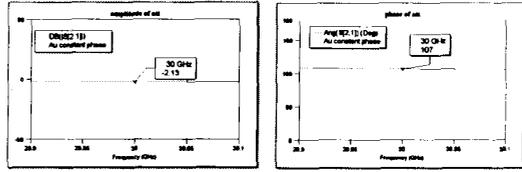
在得知開關的等效阻抗後，接下來即可將所粹取出來的參數配合 Microwave office 進行等相位衰減器的模擬，圖(四)為衰減器的電路圖，圖(五)為開關 ON 時訊號的振幅與相位，圖(六)為 Off 時訊號的振幅與相位，由圖可看出訊號振幅衰減幅度為 32dB，而相位皆保持在 106° ，達成我們所要的特性。



圖(四)



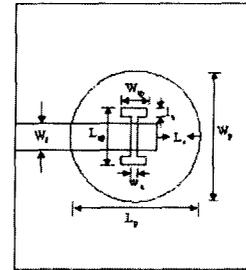
圖(五)



圖(六)

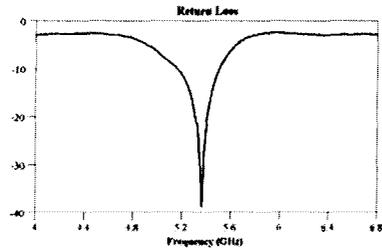
3.3 微機電技術製作智慧型微波天線

本計劃我們完成開槽耦合可控波束微帶天線陣列的製作，在分析上採用精確度較高的全波分析法作探討，加入空氣層之寬頻開槽耦合微帶天線是在傳統的開槽耦合微帶天線結構中加入一層較厚的空氣層，天線結構如圖(七)所示

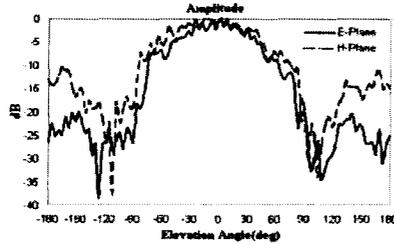


圖(七)

為了使天線有較佳的增益，我們採用具有高耦合量的 H 形開槽，使天線具有足夠的耦合量將能量傳至幅射金屬面，並利用 FR4 玻纖電路板製作可用於 C 頻段的開槽耦合微帶天線、低相位誤差型與反射型相移器。圖(八)與圖(九)所示為實驗結果，我們可以得知天線頻寬為 7%，增益為 7dBi，交叉極化小於 -10dB，前後主波束功率密度比(F/B 比)為 8dB。而低相位誤差型與反射型相移器的插入損失分別為 1.98dB~2.67dB 與 3.11dB~5.07dB 之間，頻寬約為 40%與 20%，且在操作頻率附近，可減少約一半因為頻率升高所產生的相位誤差。

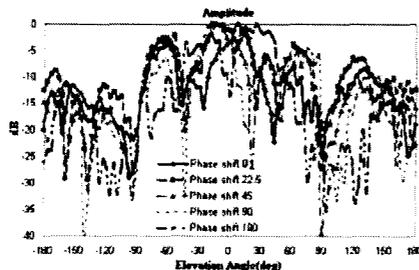


圖(八)

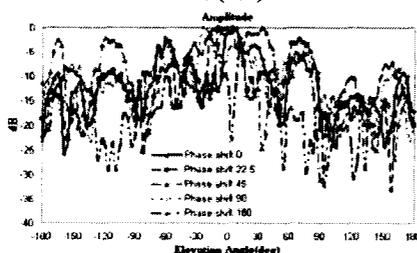


圖(九)

另外，我們將二種相移器與開槽耦合微帶天線結合，設計成 2×2 的開槽耦合可控波束微帶天線陣列，當在天線陣元間饋入 0 度~ 180 度的相位差時，結合相移器的兩種天線陣列，波束可掃描角度在 E 面分別為 ± 31 度與 ± 30 度，F/B 比在 7~9dB 之間，增益則為 8.8 及 9.2 dBi，且均有 1~2GHz 的頻寬，如圖(十)與圖(十一)所示，這是比單一陣元天線大許多的頻寬(360MHz)，理論上使用四分之一波長阻抗轉換的功率分配器(Power Divider)，頻寬會變小，但因使用 FR4 電路板在 C 頻段有較大的損失，使天線陣列的 Q 值降低，頻寬因此變寬許多。



圖(十)



圖(十一)

四 結論與展望

在這一年來，我們已經成功的利用微機電技術使 IC 上的電感 Q 值增加了 60% 左右，並且以理論推導，提出了創新型的等相位微波衰減器，使衰減器在整個衰減的過程中相位仍可維持一定，而天線方面，則提出了以 H 形開槽耦合微帶天線使整個操作的頻寬為 7%，並結合了相移器而做成可控波束微帶天線陣列，整個操作的頻寬可達約 1~2GHz，而增益亦可達到 8~9dBi。

五 參考文獻

- [1] C. Patrick Yue, Changsup Ryu, Jack Lau, Thomas H. Lee, and S. Simon Wang, "A Physical Model for Planar Spiral Inductors on Silicon", *IEEE IEDM*, pp.155~158, 1996.
- [2] Won-tae Kang, IK-soo chang, and Min-soo Kang, "Reflection-Type Low-Phase-Shift Attenuator," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique*, Vol.46, pp.1019-1021, No.7, July 1998.
- [3] Kuniyoshi Nakada, Tusnehis Marumoto, and Ryuichi Iwata, "Stub switched phase shifter", *IEEE Trans.* pp.812-815, 2000.