

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-子計畫三 ※

※

※ 微機電微波衰減器之研究 ※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2218-E-002-047

執行期間：89年08月01日至90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 90 年 10 月 2 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-子計畫三

微機電微波衰減器之研究

計畫編號：NSC89-2218-E-002-047

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：張培仁 國立台灣大學應用力學研究所教授

研究生：李宜音、劉士文

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)

本研究計劃的研究目標為利用微機電技術整合微波電路，進行結構之分析、設計、製作、量測，以期製作出固定相位之多重可調式微波衰減器並希望能夠與現有的CMOS標準製程相容以達低成本高性能的微波元件，期望能夠應用在工業界大量生產，以提升研究成果的商業價值。

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。
3. 完成可調式微波衰減器的分析。

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

The ultimate goal of this proposal is to analyze, design, fabricate, measure the new Multi-tunable-attenuator by MEMS technologies and microwave circuit theory. We wish that combine standard CMOS process to achieve low-cost, high-performance microwave devices and mass-product in industry.

Our goals are :

1. Complete the design of tunable microwave attenuator

2. Complete the process of tunable microwave attenuator

3. Complete the analyze of tunable microwave attenuator

二、計畫緣由與目的

由於台灣在半導體的製作技術上已幾為全球翹楚，而利用半導體技術製作立體與微小結構的微機電系統（Micro Electro Mechanical Systems, MEMS）也已在學術界與工業界上引起廣泛的研究，而微機電在微波通訊上的應用更是如火如荼的展開。若是能將現有的電子電路與微小結構技術整合，將所有的微波通訊主動與被動元件整合在一塊晶片，以實現單晶片(systems on chip)的構想，想必在微波通訊上必能將整體的價格降下來，則必有相當大的市場潛力。利用微機電所製作出來的微波元件諸如有微波開關(RF switches)、可變電容(Tunable capacitors)、高 Q 值電感(High-Q inductors)、機械式振盪器與濾波器(Mechanical resonators and filters)、天線(Antenna)、相位移器(Phase shifter)等。由於加入研究的學術界與工業界越來越多且製作技術越來越精密故元件的性能與 Q 值也越來越好，其中發展最成熟也最快可以上市的產品為(RF switches)[1]，其所須的驅動電壓小於 5 voltages、開關的速度為 50 microseconds、使用壽命約為 100 萬

次、在 2~4GHz 時插入損失與隔絕損失分別為 0.2dB 與 40dB。由於利用微機電技術製作出來的開關具有比電子電路開關更低的插入損失與寄生效應，雖然在開關的切換速度上較之為慢約數十微秒等級，但其可適用於智慧型天線的切換與通訊中的傳送接收系統。因此利用微機電技術整合成單晶片相信在行動通訊、衛星通訊、太空通訊與軍事通訊上必有很大的市場潛力與利基。

三、研究成果

由於我們已經將微波衰減器的設計原理與架構制定好了，接下來我們將對各層材料的選擇與製程的研發做一探討與實現。

3.1 微波衰減器各層材料之選擇

電阻材料的選擇，在考慮製程的整合與可行性後我們選用鎳鉻(80/20)合金為其電阻材料。

由於為使製程簡單化故在傳輸線我們採用共平面波導為其架構，由於 50Ω 的共平面波導經由計算後其集膚深度若取安全係數 3 倍其厚度約為 $1.5\mu m$ ，由於厚度甚厚故我們採用以電鍍鎳的方式來當做其材料，因為其平整度與金屬性質在實驗過後發現並無妨，故採用之。

傳導層的選擇，由於在製做的過程中須要電鍍，故需有一層導電性佳的傳導層使電荷分佈在晶片上，銅與鋁皆為良好的導體，但在考慮製程的整合性後我們決定以銅做為傳導層，其厚度約須要 500Å。

犧牲層種類的選擇，犧牲層的主要作用在於墊高沉積平面，待結構長完後即將其蝕刻掉，就目前可選擇的材料有光阻、銅和鋁，但由於光阻不

耐高溫因此對於後續製程受限很多故不採用，而鋁則因為其蝕刻劑氫氧化鉀會侵蝕光阻故在蝕刻擋罩上須另尋材料，而若選用銅的話其可利用熱蒸鍍機沉積且有很好的蝕刻選擇性，故我們採用銅為其犧牲層材料。

開關接觸點的選擇，由於最後蝕刻犧牲層的時後須保留開關，因此對銅必須有很好的蝕刻選擇性，其導電性將會影響開關的性能，因為金具有很好的導電性與接觸性質，故在考量後我們決定採用金為其接觸點的材料。

介電層之選擇，微波開關之介電層主要用來絕緣，在其它電性與硬度並沒有須要特別的要求只須對製程做一考量即可，故我們採用二氧化矽來當做其介電材料，而沉積方法由於射頻賤鍍的方法其腔體易受污染而使其純度不好故我們以電子槍蒸度法來沉積。

上電極材料選擇，其為一夾層結構故其材料選擇與接觸點一樣採用金，在考量結構釋放後的問題後為避免表面張力所生的黏滯效應故在金的上方再加一層鎢。

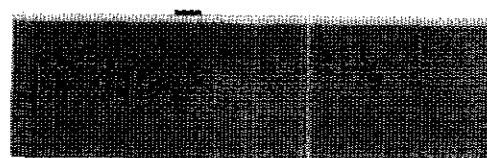
3.2 微波衰減器的製程探討

我們使用高阻質的矽晶圓先後沉積 1000Å 的二氧化矽和 1500Å 的氯化矽，接著以熱蒸鍍機沉積 500Å 的 NiCr 合金，以第一道光罩定義電阻的幾何形狀然後以 Cr-7 將其蝕刻出如(圖一)所示。緊接著以熱蒸鍍機沉積 500Å 的銅如(圖二)所示，以厚光阻定義第二道光罩共平面波導(CPW)的形狀，然後以電鍍的方式沉積 $1.5\mu m$ 的鎳如(圖三)所示，接著再以厚光阻定義第三道

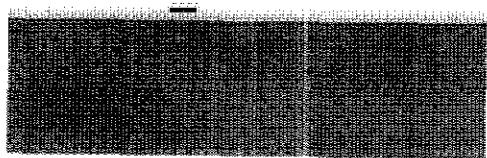
光罩固定層(Anchor)的形狀，以電鍍的方式沉積 $2.5 \mu\text{m}$ 厚的鎳。

進行完電鍍後以去離子水洗淨烤乾後以正光阻定義固定層的形狀並以銅的蝕刻液將其蝕刻之如(圖四)所示，接著以熱蒸鍍機來沉積 $3 \mu\text{m}$ 犧牲層的銅，待蒸鍍完後以正負兩用光阻定義第四道接觸點的幾合形狀，然後以熱蒸鍍機沉積 2000\AA 的金，以丙酮溶解光阻以完成掀舉(lift-off)的步驟將其開關接觸點定義出如(圖五)所示。

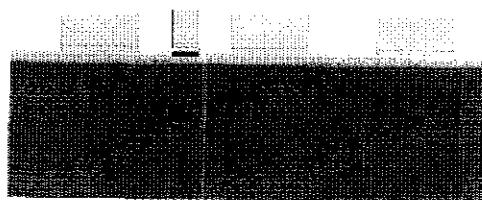
在完成上面步驟後以電子槍蒸鍍機沉積 2000\AA 的二氧化矽來當做微波開關之絕緣層，必須注意的是必須待其自然冷卻至室溫時方可取出以避免殘留應力太大而破裂，然後以第五道光罩定義其幾合形狀然後以反應離子蝕刻機進行乾蝕刻如(圖六)所示，完成後以第六道光罩定義其上電極的幾何形狀，接著以熱蒸鍍機分別沉積 150\AA 的鉻 4000\AA 的金 2000\AA 的鉻 150\AA 的金，然後分別以 Cr-7 與金的蝕刻液分別將其蝕刻之如(圖七)所示，最後再以銅的蝕刻液將其犧牲層掏掉完成微波衰減器的製作如(圖八)所示。



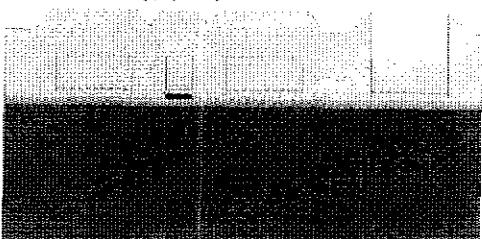
(圖一)



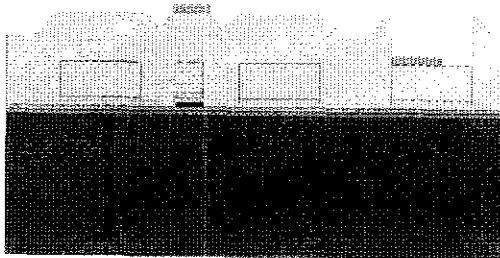
(圖二)



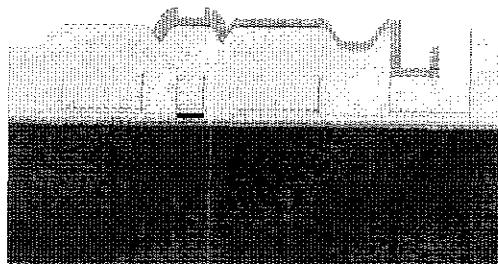
(圖三)



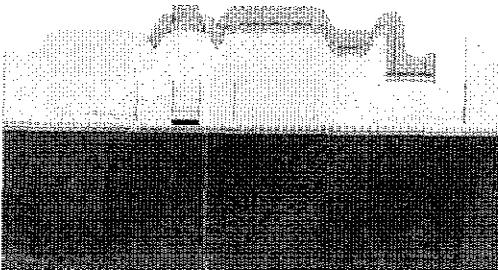
(圖四)



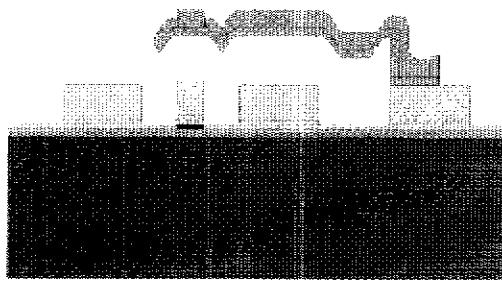
(圖五)



(圖六)



(圖七)



(圖八)

四、結論與展望

在執行計劃第二年中後，我們已經將其各層材料與製程決定之並著手進行製程的研發，我們已完成衰減器的大部份的製作然而在犧牲層的釋放過程中由於銅的應力太大以至於在蝕刻的過程中連帶著將其開關部份的結構也掏掉，因此在接下來的日子裡我們將利用各種方法以鋁取代銅來當作犧牲層並以 PECVD 來沉積二氧化矽以降低其熱應力，以期將微波衰減器製作出並做細部電路的修改與改進。

五、參考文獻

- [1]Tom Campbell, "MEMS Switch Technology Approaches the Ideal Switch," *Applied Microwave & Wireless*, May 2001.
- [2]C.Goldsmith,J.Randall,S.Eshelmann, T.H.Lin, S.Chen, and B.Norvell, "Characteristics of Micromachined Switches at Microwave Frequencies," *Proceedings of the 1996 IEEE MIT-S International Microwave Symposium*, pp. 1141~1145, May 16~20,1996.
- [4]J Jason Yao(2000), "RF MEMS from a Device Perspective," *J.Miromech. Microeng.* 10(2000) R9-R38.