

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

反射波抑制微波主動 MEMS 相移器相位掃描天線陣列研製

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-009-051-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：國立交通大學電信工程學系(所)

計畫主持人：周復芳

共同主持人：黃瑞星

計畫參與人員：陳一宇、張博揚、張文明

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 9 月 12 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

反射波抑制微波主動 MEMS 相移器相位掃描天線陣列研製

RF MEMS Phase Scanning Antenna Arrays with Suppression of the Reflected Wave

計畫編號：NSC 94-2213-E-009-051

執行日期：民國 94 年 8/1 至 民國 95 年 7/31

主持人：周復芳 黃瑞星

研究生：陳一字、張博揚、張文明

一、中文摘要

關鍵字：微帶洩漏波天線，槽孔耦合貼片天線陣列，相移器，輻射場型

傳統的微帶洩漏波天線具有高寬頻、窄波束、頻率掃描能力等優點[1]-[4]，因此，常被運用在相位掃描天線陣列上。在此計畫中，經由實驗結果可知此主動掃描天線陣列有許多功能，可以在空間中進行雙波束掃描、降低反射波的回饋式電路以及發展出孔隙饋入式結構以減少主、被動電路間干擾之技術與成果。在可抑制反射波功能的孔隙饋入式 Patch天線與短洩漏波天線之間加入移相器串接在一起，即可分別於上下空間個別產生兩個掃描的發射場型，短洩漏波天線本身隨著頻率改變會有掃描的窄波束，而 Patch天線在移相器相位改變時有掃描寬波束。在過去一年，本實驗室在主動天線陣列方面的研究已有相當的經驗和成果，並在國際期刊上發表[5]。

此主動掃描天線陣列包括洩漏波天線 (LWA)、槽孔耦合天線 (Aperture-Coupled Patch Antenna)及可調變式相移器 (Phase Shifter)，以達到據空間掃描的輻射場型的目標。

Abstract

Keyword : *Microstrip leaky-wave antenna (LWA)* , *Aperture-coupled patch antenna arrays* , *Phase shifter* , *Radiation pattern*

The conventional microstrip leaky-wave antenna has the characteristics of wide bandwidth, narrow beam, and frequency scanning capability [1]-[4]. Therefore, it is widely used on the phase-scanning antenna array. In this project, this active scanning antenna has many special functions known by experimental results. This architecture proposes a technique not only having the advantage of suppressing the back-lobe due to the reflected wave in the short LWA but also producing two separate linearly scanned beams in a different region of space. By tuning the individual phase shifter, the phase of this coupled signal to each antenna element can electronically control the patch antenna main beam on the backside. And by changing the operating frequency, the main beam of the short LWA can be simultaneously scanned on the front side. As a result, the two linear beam-scanning radiation patterns of individual direction can be created independently, including a narrow beam in the elevation plane at the front side and a broadside beam in the cross plane on the backside. This designed array scanning capability is suitable for military application, air traffic control, collision avoidance system, or radiolocation, etc. In the past one year, our laboratory has been researching on active antenna array and obtained extreme experiences and achievements. The results have been published on the international journals [5].

This active beam-scanning antenna array includes leaky-wave antenna (LWA), aperture-coupled patch

antenna and tuning phase shifter. The space-scanning can be achieved by this structure.

二、計畫緣由與目的

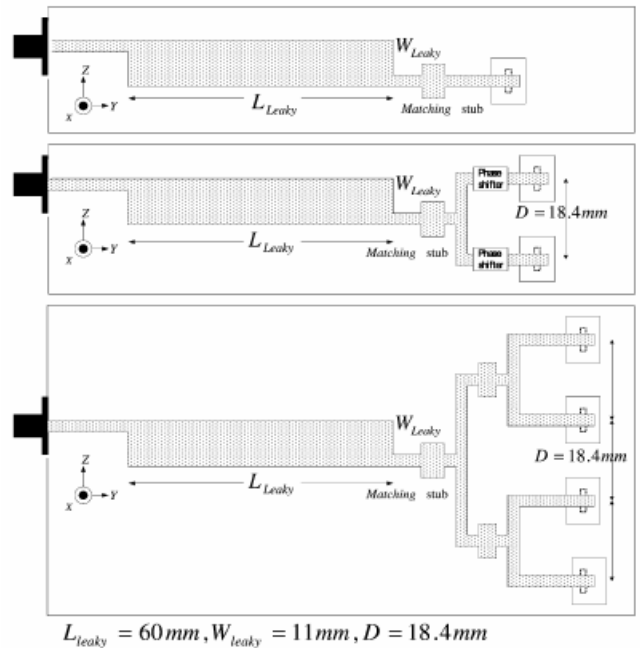
由於主動掃描天線可以在空間中進行雙波束掃描、降低反射波影響的回饋式電路以及發展出孔隙饋入式結構以減少主、被動電路間干擾之技術與成果。我們將秉持過去的經驗與成果，持續發展整合式主動掃描式天線陣列研究，利用製作的MEMS開關與移相器，使其陣列化，配合天線的製作搭配以期完成Smart antenna並針對天線的重點做更深入的探討，期望能更進一步提高天線的效率與掃描角度。

三、研究成果

· 短洩漏波天線整合槽孔耦合天線之設計 (Design of short LWA integrated with an aperture coupled antenna)

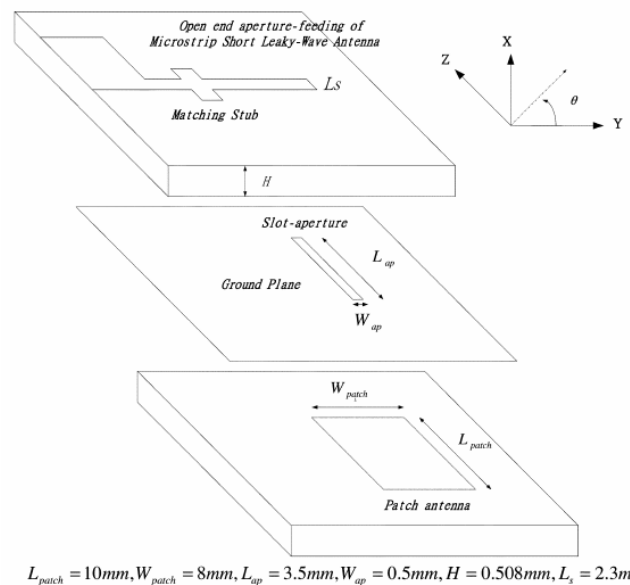
Fig. 1 為短洩漏波天線整合槽孔耦合相位陣列天線之架構。此頻帶掃描洩漏波天線模組包括了三個部分：微帶洩漏波天線、槽孔及 Patch 天線陣列，而整體電路設計在 RT/Duroid 基板上，其介電係數為 2.2、基板厚度(H)為 0.508 mm。

微帶洩漏波天線的長度(L_{leaky})與寬度(W_{leaky})分別為 60 mm 及 11 mm，如此，此洩漏模態可以在 9.0GHz 到 10.5GHz 被激發。另外，洩漏波天線的饋入阻抗被設計在 50 ohms 的特性阻抗以便與量測系統的特性阻抗作匹配。槽孔耦合 Patch 天線之電路圖示於 Fig. 2。為了使 Patch 天線擁有最佳的功率輻射，我們分別將 Patch 天線的長度(L_{patch})與寬度(W_{patch})設計在 10 mm 及 8 mm。每個 Patch 天線皆由一條具 50 ohms 特性阻抗的微帶線經槽孔耦合饋入；在微帶線上皆額外增加一開路殘支，此殘支主要是在降低由相互耦合所造成的阻抗不匹配。這槽孔式饋入架構主要是將洩漏波天線的功率耦合至 Patch 天線[6]。經實驗結果，槽孔的最佳長度(L_{ap})與寬度(W_{ap})為 3.5 mm 與 0.5 mm。而每個 Patch 天線間的距離(D)為 18.4 mm。



$$L_{leaky} = 60\text{ mm}, W_{leaky} = 11\text{ mm}, D = 18.4\text{ mm}$$

Fig. 1 Configuration of the short leaky-wave antenna integrated with the 1-, 2-, and 4-element aperture-fed patch antenna arrays [5].



$$L_{patch} = 10\text{ mm}, W_{patch} = 8\text{ mm}, L_{ap} = 3.5\text{ mm}, W_{ap} = 0.5\text{ mm}, H = 0.508\text{ mm}, L_s = 2.3\text{ mm}$$

Fig. 2 Geometry and coordinate system for the aperture-coupled patch antenna [5].

· 可調式電容相移器之設計 (Design of varactor-tuned phase shifter)

為了改變輻射元件間的相位差，一對相移器被設計與製造去調整每個輸入訊號的相位。Fig. 3 為可調式電容相移器的簡易架構圖示，此構造主要是由文獻[7]所提出，在此我們加以改善以便可

整合在我們的天線陣列上。這可調式電容相移器主要是藉由商用軟體 CAD所設計來成，其頻率範圍是從 9.0GHz至 10.5GHz。可調式電容器相移器是透過二極體中的反向偏壓原理進而產生之可變電容，藉由不同的電容值改變電抗值。當 GaAs 電容器 (M/A-COM MA46410)的偏電壓從 0 volts改變至-15 volts時，這二極體的電容值會從最大的 C_{max} 降到最小的 C_{min} ，隨著10:1的電容比，我們可以達到一個最大的相位改變。如預期的，相移器的相位變化隨著偏壓的改變呈一線性曲線。

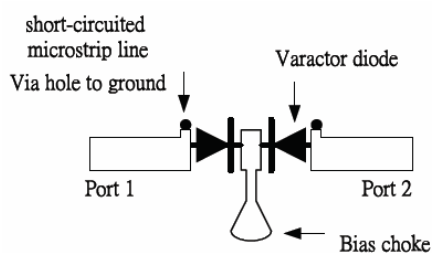


Fig. 3 Schematic diagram of the varactor-tuned phase shifter [7].

•理論與實驗結果 (Theoretical and experimental results)

我們運用了一準確的方法 (Wiener-Hopf solution) [8]去求第一高階模態之正規化的複數傳播常數($\beta/ko - ja/ko$)，其中 β/ko 是一正規化的相位常數，而 a/ko 是一正規化的衰減常數。此外，洩漏波天線在主波瓣方向與 End-fire 方向 (Y-axis direction)之間的掃頻夾角 θ 可利用 $\theta = \text{Cos}^{-1}(\beta/ko)$ 的方程式計算出來。之後根據其結果與[9]的對照，可以發現非對稱饋入可以激發第一高階模。Fig. 4是傳統短洩漏波天線外加一開路殘支之反射損耗的模擬與量測。Fig. 5為一短洩漏波天線整合一槽孔耦合 Patch天線之反射損耗的模擬與量測。在此我們選用 10.5 GHz的反射係數來做比較。從 Fig. 4與 Fig. 5在頻率為10.5 GHz的比較可以發現短洩漏波天線整合一槽孔耦合Patch天線的反射係數可以降至 30 dB以下。這個現象可以證明此天線結構的輻射功率可以經由槽孔傳達到背面。另外，我們也發現此架構可以提高洩漏波天線的輻射效率及達到較寬的阻抗頻寬。在 Fig. 6中，為我們在 10.5 GHz所量測的傳統洩漏波天線與我們提出的天線之 H-plane輻射場型比較圖。傳統洩漏波天線的反射波能量只比主波瓣小 2 dB，但是我們提出的架構至少可以抑制

8dB。而此架構在正面H-plane所量測的LWA掃頻輻射場型則顯示在Fig. 7。藉由量測結果，我們了解到當頻率改變時，主波瓣的位置也會隨之改變。當頻率從9.0 GHz 到 10.5 GHz時，主波瓣會從 38°掃到 58°。另外，單一 Patch天線在 E plane的下方所量測的最大功率比洩漏波天線在 E plane的上方所量測的最大功率小 4.83 dB。而 Patch天線的主波瓣寬度大約為 60°。Fig. 8是短洩漏波天線整合兩個槽孔耦合 Patch天線陣列之反射損耗的模擬與量測，其反射損耗在10.5 GHz 大約為 20 dB。Fig. 9與 Fig. 10分別是短洩漏波天線整合兩個槽孔耦合 Patch天線陣列與傳統洩漏波天線兩者的模擬與量測之 H-plane掃頻輻射場型比較圖。另外當Patch天線元件增加，背向輻射功率的能量大小會與正向輻射功率的能量大小差不多。Fig. 11是兩個槽孔耦合 Patch天線陣列之背向 E-plane的模擬與量測輻射場型圖。從圖中可以發現兩個 Patch天線陣列的最大功率只小於洩漏波天線的最大功率 2dB，而Patch天線陣列的主波瓣寬度大約為 20°。Fig. 12是短洩漏波天線整合四個槽孔耦合 Patch天線陣列與傳統洩漏波天線兩者的量測之 H-plane掃頻輻射場型比較圖。另外，我們從實驗結果可以知道四個 Patch天線陣列在背向 E-plane的最大功率只小於洩漏波天線的最大功率 1.17dB，而Patch天線陣列的主波瓣寬度大約為 10°。

在我們過去製作兩元件天線陣列的延遲線，以 10.5 GHz為例，當相位是In Phase時，主波瓣直接指向 Broadside方向；但是，假如相位差相差 45°時，主波瓣會偏移 8°；假如相位差相差 90°時，主波瓣會偏移 Broadside方向 22°。當電容二極體的偏壓改變時，相移器所輸出訊號的相位會隨之改變，而且與輸入之輻射元件訊號的相位差也會被調變。如預期的，相移器的相位傳波變化隨著電容二極體的偏壓改變呈一線性曲線。在 15 V控制電壓時，相移器的相位變化可達 65°，而且此結果也可以每一階提供一個非常好的匹配效果。因此，這相移器可以使我們的天線達到掃頻的功能。Fig. 13是我們量測兩個槽孔耦合 Patch天線陣列分別在控制電壓為 (-15V, 0V)及 (0V, -15V)之背向 E-plane相位掃描輻射場型圖。這 Patch天線主波瓣的掃頻角度為 $\pm 10^\circ$ 。而主波瓣的掃頻方向可以從 260°掃到 280°。根據掃頻角度的實驗結果，意味著相移器的相位差幾乎可達到

65°。在未來，我們將進一步利用MEMS的技術結合一新式推挽式 RF MEMS 開關與 MEMS based true-time 延遲網路設計一新型相移器，由於這一新型的相移器具有尺寸小及特性好，可以取代目前的電容性相移器。

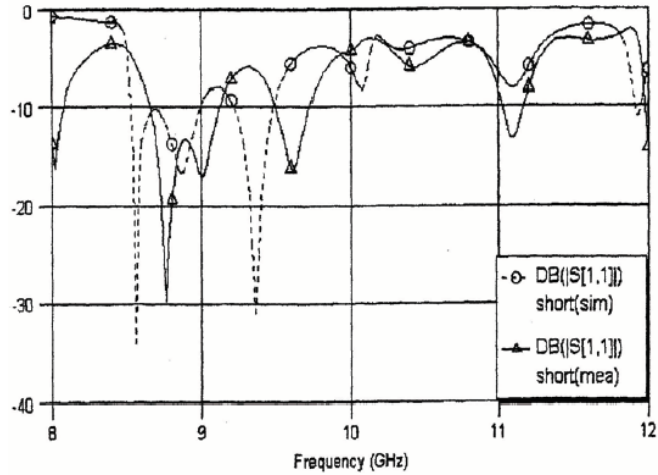


Fig. 4 Simulated and measured return loss of the short LWA with the open end

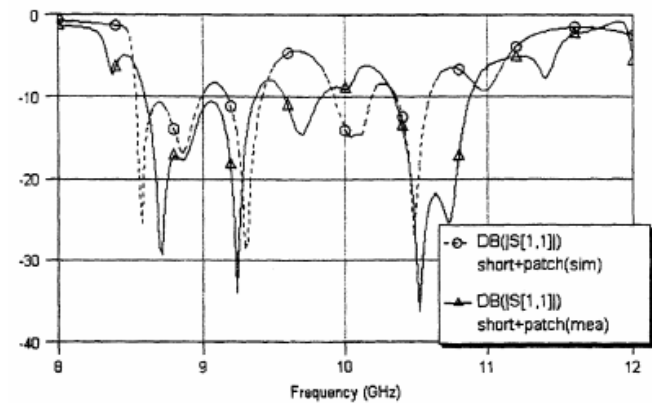


Fig. 5 Simulated and measured return loss of the short LWA integrated with an aperture-coupled patch antenna

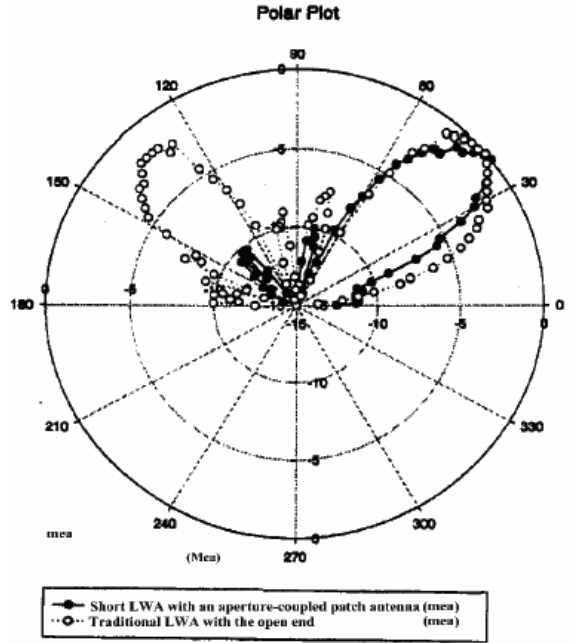


Fig. 6 Comparison of the measured radiation patterns of the proposed

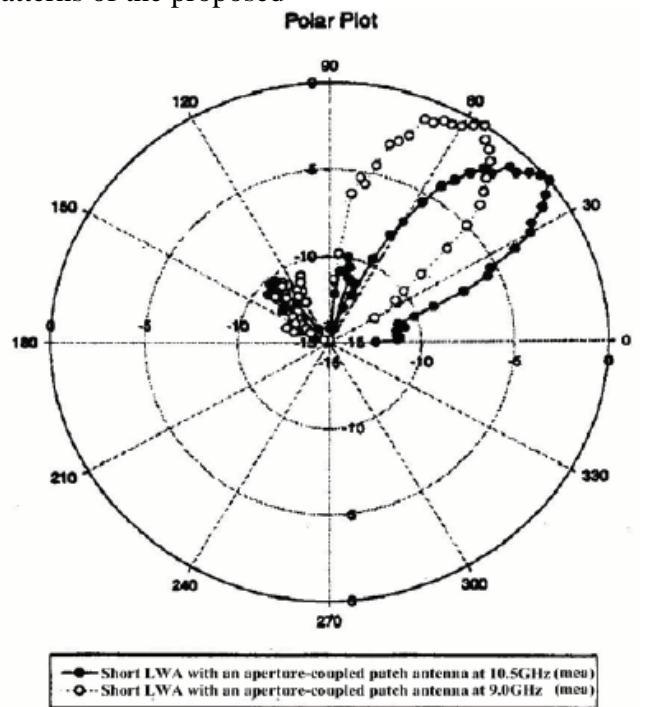


Fig. 7 Measured radiation patterns of the short LWA integrated with an aperture- coupled patch antenna at 9.0GHz and 10.5GHz

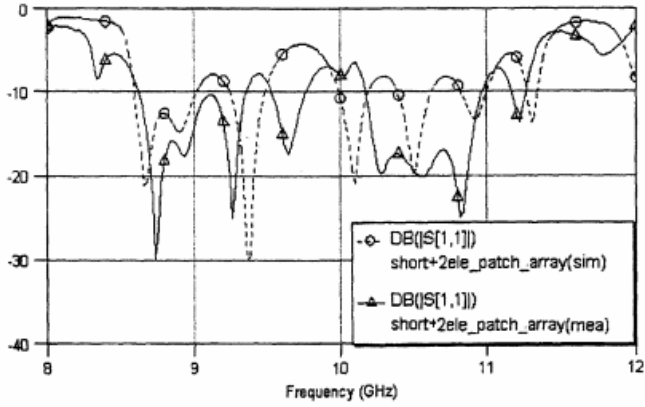


Fig. 8 Simulated and measured return loss of the short LWA integrated with 2-element aperture-coupled patch antenna arrays

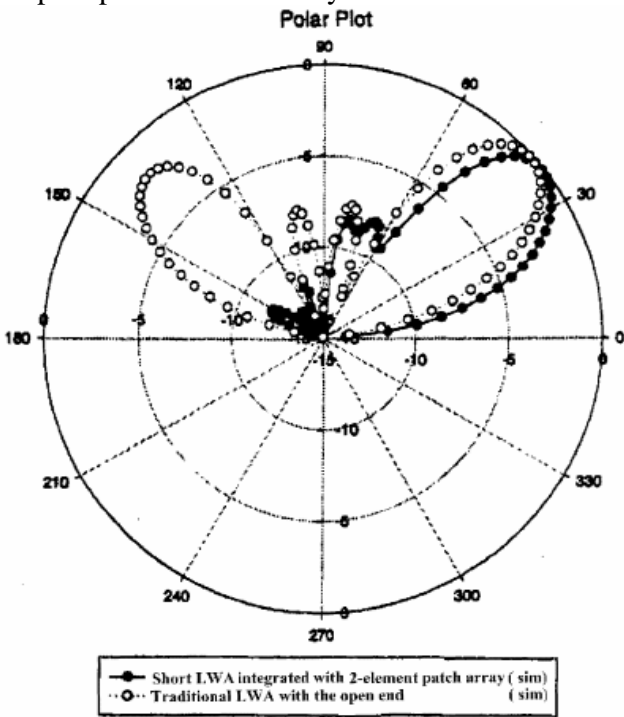


Fig. 9 Comparison of the simulated radiation patterns between the short LWA integrated with the 2-element aperture-coupled patch arrays and the traditional LWA

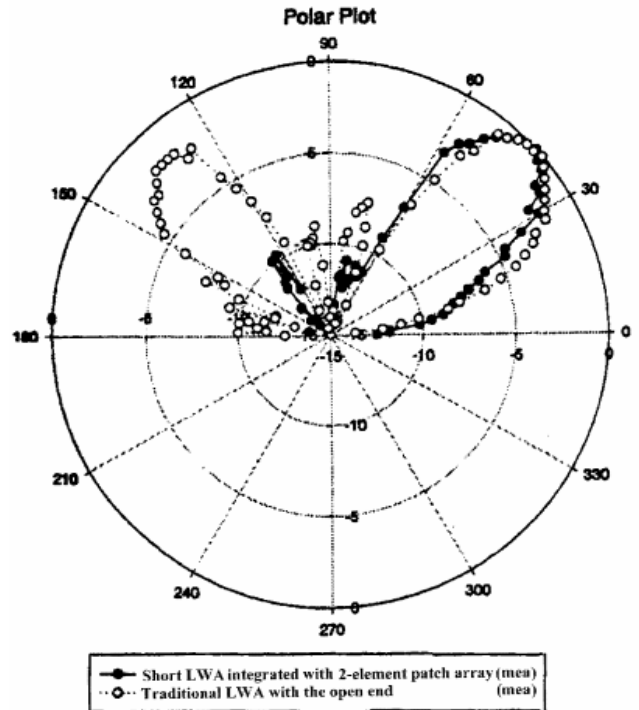


Fig. 10 Comparison of the measured radiation patterns between the short LWA integrated with the 2-element aperture-coupled patch arrays and the traditional LWA.

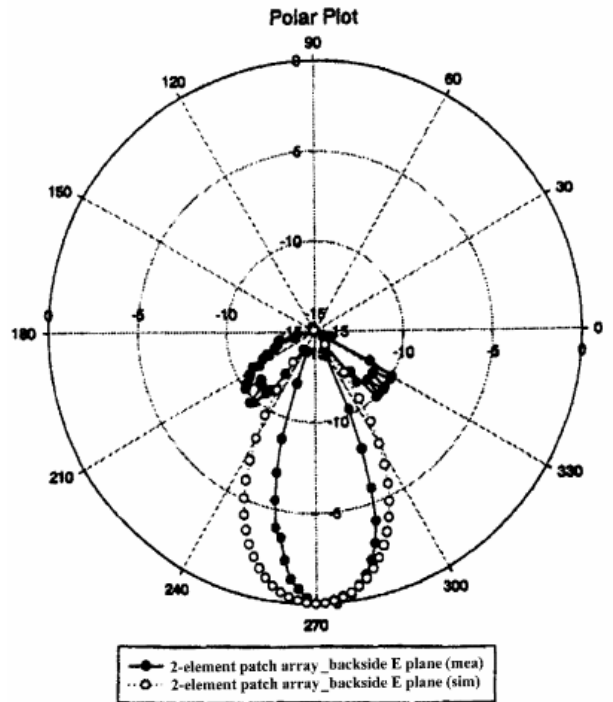


Fig. 11 Simulated and measured radiation pattern of the 2-element aperture-coupled patch antenna arrays

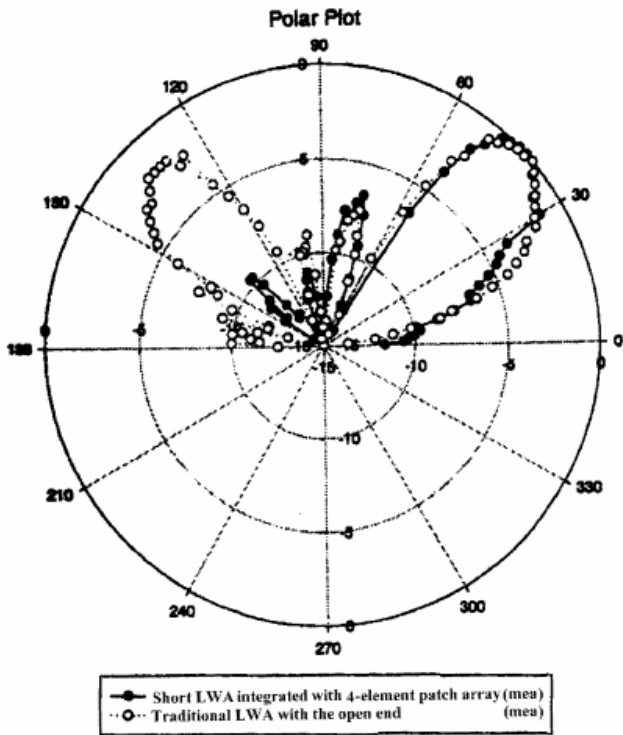


Fig. 12 Comparison of the measured radiation patterns between the short LWA integrated with the 4-element aperture-coupled patch arrays and the traditional LWA

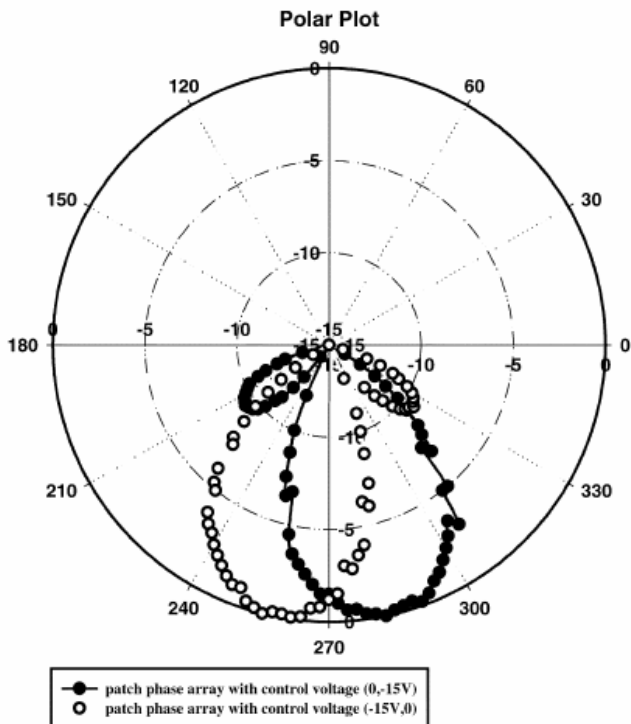


Fig. 13 Measured radiation pattern of the short LWA integrated with 2-element aperture-coupled patch arrays at the bias of -15 V

• 新型 RF MEMS開關及相移器之設計 (Design of the novel RF MEMS switch and phase shifter)

開關 (Switch) 在射頻和微波電路廣泛的被使用。目前，有三種常見的開關：Pin diodes、GaAs FETs與MEMS switches，在前面那部份所運用的是第一種 Pin diodes。在此，我們將利用MEMS的技術設計一種新式蹺翹板式的RF MEMS開關，藉由此結合此開關和非線性延遲線的技術來製作一相移器，再將此新型的相移器取代傳統式相移器(Pin diodes)。我們整合 MEMS switch來設計兩片 MEMS true-time延遲網路，其中是運用兩個不等長的 CPW傳輸線放置在開關的兩側，而此電路主要是設計在 Si 基板上。Fig. 14與 Fig. 15為我們設計的 MEMS開關及CPW式的相移器。MEMS開關之動作原理仍然是以靜電驅動，不同的是其支撐處為扭力臂之設計，當靜電力大於扭力臂之扭力矩時即可使懸浮薄膜動作，而當驅動之靜電力消失後，以機械扭力作為回復力，因而此元件將有較低之驅動電壓。CPW式的相移器主要是藉由開關來控制訊號線，利用此方法可以使其中一條傳輸線傳遞 RF訊號，並且可以利用兩條不同長度的傳輸線產生兩個不同的相位。

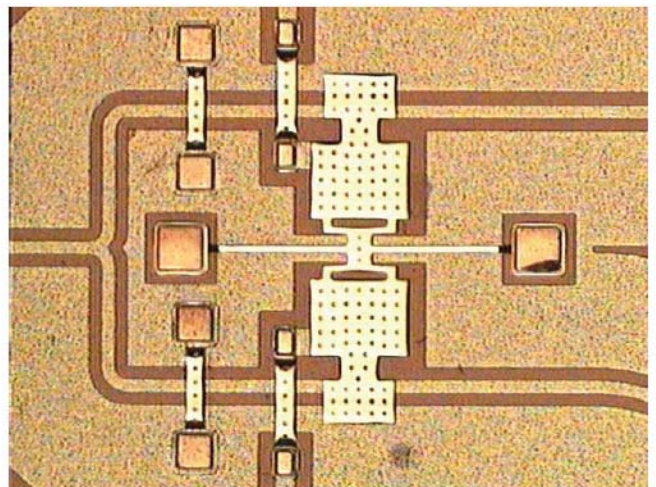


Fig. 14 Layout of torsion RF MEMS switch and CPW circuit

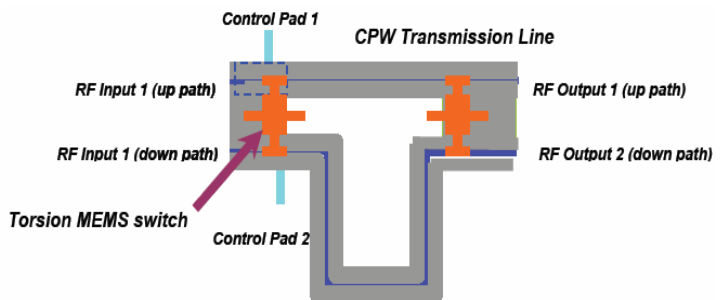


Fig. 15 Schematic of CPW nonlinear delay line

四、結論與展望

本計劃利用本實驗室目前關於天線陣列與 MEMS 方面的研究，在研究過程中，我們整合洩漏波天線、槽孔耦合 Patch 天線及可調變式電容性相移器，設計出反射波抑制微波主動相移器相位掃描天線陣列。現今設計過程中偏重於主動天線陣列部分，未來希望達到將 MEMS 相移器整合在主動天線陣列上，在此部分我們將會在之後的計畫繼續做研究，以達到此計畫的完整性。

五、參考文獻

- [1] W. Menzel, "A new traveling-wave antenna in microstrip," *Archiv. Elektronik. Ubertrag Tech.*, Band 33, pp. 137-140, Apr. 1979.
- [2] G. J. Jou and C. C. K. Tzuang, "Oscillator-type active-integrated antenna: The leaky-mode approach," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 2265-2272, Dec. 1996.
- [3] C. Luxey and J. M. Laheurte, "Dual-beam array of microstrip leaky-wave antennas," *IEE Electronics Letters*, vol. 34, no. 11, pp. 1041-1042, May 1998.
- [4] Chien-Jen Wang, Yu-Hau Sheu and C. F. Jou, "A dual-beam asymmetrically scanning leaky-wave antenna by utilizing a HEMT resistive upconverter," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 12, pp. 492-494, Dec. 2000.
- [5] I-Yu Chen, Chien-Jen Wang, Hua-Lin Guan, and Christina F. Jou, "Studies of suppression of the reflected wave and beam-scanning features of the antenna arrays," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, Vol. 53, No. 7, pp. 2220-2225, July 2005.
- [6] D. M. Pozar, "A microstrip antenna aperture coupled to a microstrip line," *IEE Electronics Letters*, vol. 21, pp.49-50, Jan.1985.
- [7] R. H. Jardin, E. J. Downey, and J. Munushian, "Electronically-Variable phase shifters utilizing variable capacitance diode," *Proc. IRE Letter*, vol. 48, pp. 944-945, May 1960.
- [8] D. C. Chang and E. F. Kuester, "Total and partial reflection from the end of a parallel-plate waveguide with an extended dielectric loading," *Radio Science*, vol. 16, pp.1-13, Jan-Feb. 1981.
- [9] Y. -D. Lin, J. -W. Sdheen, and C. -K. Tzuang, "Analysis and Design of Feeding Structures of Microstrip Leaky-Wave Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 1996,44, (9), pp.1540-1547.
- [10] C. J. Wang, C. F. Jou, J. J. Wu and S. T. Peng, "Radiation Characteristic of Active Frequency-scanning Leaky-mode Antenna Arrays," *IEICE Transactions on Electronics*, vol. E82-C, no. 7, pp. 1223-1228, July 1999.
- [11] Y.C. Shih, S. K. Chen, C. C. Hu, C. F. Jou, "Active feedback microstrip leaky wave antenna-synthesizer design with suppressed back lobe radiation," *IEE Electronics Letters*, vol. 35, no. 7 pp. 513-514, April 1999.
- [12] C. Luxey and J.M. Laheurte, "Simple design of dual-beam leaky-wave antennas in microstrips," *IEE Proc.-Microwave, Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 6, pp.397-401, Dec. 1997.
- [13] C. C. Hu, J. J. Wu and C. F. Jou, "A two-dimensional beam-scanning linear active leaky-wave antenna array," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 9, pp. 102-104, Mar. 1999.
- [14] C. C. Hu, C. F. Jou and J. J. Wu, "An aperture-coupled linear microstrip leaky-wave antenna with two-dimensional dual-beam scanning capability," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 48, no. 6, pp. 909-913, June 2000.
- [15] Hua-Lin Guan, Chien-Jen Wang, C. F. Jou "Suppression of Reflected Wave of Leaky-Wave Antenna By Utilizing An Aperture-Fed Patch Antenna", *Proceeding of APMC 2001, Taipei, Taiwan, ROC*, pp. 996-969.
- [16] De Los Santos, H. J. "Introduction to Microelectromechanical (MEM) Microwave System, Norwood, MA : Artech House, 1999.
- [17] Richards, R. J. and H. J. De Los Santos, "MEMS for RF/Wireless Applications: The Next Wave - Part 1," *Microwave J.* March 2001.