

共面波導方向耦合器 (1/3), (2/3), (3/3)

Coplanar-Waveguide Directional Couplers (1/3), (2/3), (3/3)

計畫編號：NSC 89-2213-E-002-026 (1/3)

NSC 89-2213-E-002-198 (2/3)

NSC 90-2213-E-002-038 (3/3)

執行期限：88年8月1日至91年7月31日

主持人：陳俊雄 國立台灣大學電機系及電信所教授

計畫參與人員：廖俊霖、林祐生、張文華、陳敦士、謝昀容、
張天宇、張振元、嚴育盟、朱立中、張逸

一. 中文摘要 (關鍵詞：共面波導耦合結構， 方向耦合器)

本計畫的目標為：研發數種共面波導方向耦合器，以提升國內微波及毫米波單晶積體電路之技術。本研究將提出一種新型背墊導體之共面波導耦合結構，以提供另一種可用的耦合組件。

本研究的內容包括：設計用電路模型的建立，分析用電腦軟體程式集的完成，再結合理論分析與實驗量測，進行共面波導方向耦合器各種特性之詳盡探討。

第一年度研究，以保角映射法為基礎，進行背墊導體共面波導耦合結構之準靜態分析工作，分別求出奇模態及偶模態對應的電容值及特徵阻抗值，由此進而算出結構的耦合係數，以方便低頻耦合特性的探討。

第二年度研究，進行背墊導體共面波導耦合結構之全波分析工作，藉由譜域分析法的計算，分別求出奇模態及偶模態的等效介電常數、特徵阻抗、及電流分佈等，以明瞭結構之高頻耦合特性。

第三年度研究，以全波分析結果為基礎，建立耦合器設計模型，並由此發展背墊導體之共面波導方向耦合器。本研究藉由改變背墊導體的寬度，設計出具有中等(-6dB)及強烈(-3dB)耦合係數的兩個方向耦合器。實驗結果與理論模擬相較均非常吻合，證實本研究理論的正確性與耦合器設計模型的可靠性。

Abstract (Keywords: Coupled coplanar-waveguide structure, directional coupler.)

The purpose of this investigation is to develop and study coplanar-waveguide (CPW) directional couplers for monolithic microwave and millimeter-wave integrated circuits. The goal is to establish suitable circuit models for practical design and associated computer software for theoretical analysis. In this study, a new CPW directional coupler is proposed by incorporating a backed conductor on the other side of the substrate. Specifically, various properties of CPW directional couplers are carefully examined, both theoretically

and experimentally.

In the first-year research, the conformal-mapping technique is employed to analyze the quasi-static characteristics of several coupled CPW structures. Specifically, the capacitances and characteristic impedances of odd and even modes associated with two conductor-backed coupled CPW structures are computed. Based on these characteristic impedances, the coupling coefficients for the proposed coupled structures may be characterized.

In the second-year research, the fullwave method is employed to analyze the new conductor-backed coupled CPW structures. By the use of spectral-domain approach, the effective dielectric constants and characteristic impedances of odd and even modes are computed, from which the associated coupling coefficients may be characterized.

In the third-year research, two novel CPW directional couplers are implemented, using the coupler design model based on the fullwave results. By changing the width of the finite-extent backed conductor, the couplers can be designed to possess the coupling coefficients of -6dB and -3dB . The theoretical results are compared with the measured ones, and the agreement among them confirms the usefulness of the proposed coupler design model as well as the fullwave approach for the related coupled CPW structures.

二. 緣由與目的

隨著電信產業的快速成長，無線通訊技術的進展甚為迅速，頻帶的需求也更形殷切，促使通訊系統往更高頻段發展，相關硬體電路也朝短小輕薄的目標邁進。

單面單晶微波積體電路 (Uniplanar monolithic microwave integrated circuit) 的構想，首由 Hirota 及 Ogawa 等人提出。單面電路的元、組件及導體，僅佔用基板的單一平面，而具有以下的優點：串聯與並聯主、被動元、組件容易，易於加接直流偏壓，基板不需打洞也不會太薄，因此可簡化積體電路的製程，大幅降低電路的價格。

連接單面電路元、組件的要件為單面傳輸線，依結構可分成：共面波導 (Coplanar waveguide)、槽線 (Slotline)、及共面帶線 (Coplanar stripline)。共面波導、槽線、及共面帶線之導體部分均共用同一平面，三者經適當組合，可簡化積體電路架構及製程，也可改善電路特性，因此於單晶微波積體電路的發展過程中，頗受世人的注意。

儘管單面微波積體電路的發展潛力，已受微波學界的注意，並開發出一些關鍵性的單面元、組件，但研發工作仍待開展。回顧過去有關單面元、組件方面的研究，僅有一些原型結構的提出，且大部分研究工作均以實驗為主，故仍有眾多理論分析工作尚待進行，尤其尚缺各種單面元、組件的設計用軟體工具，這些是單面微波積體電路之開發過程中，急待解決的課題。

方向耦合器 (Directional coupler) 是微波及毫米波電路中不可缺少的組件。到目前為止，已

開發之方向耦合器，依耦合方式可分為：開口耦合(Aperture-coupled)型、邊緣耦合(Edge-coupled)型、及側面耦合(Broadside-coupled)型等三類。若依結構又可分為：矩型波導(Rectangular waveguide)之耦合、帶線(Stripline)之耦合、微帶線之耦合、以及共面波導之耦合等。

文獻上報導之共面波導方向耦合器，共有邊緣耦合型及側面耦合型兩類。邊緣耦合型結構[1]之所有導體均在同一平面，因此耦合係數較小；而側面耦合型結構[2]，其導體放在基板之兩邊且面面相對，故可得較大的耦合效應。

共面波導具有表面波漏失的缺點，其中之背墊導體式共面波導(Conductor-backed coplanar waveguide)，甚至在低頻波段也有漏失的現象。本研究將應用局部表面波的漏失現象，來形成耦合的機制，進而提出新型的「背墊導體共面波導耦合結構」(Conductor-backed coupled coplanar-waveguide structures)[3]-[8]，並利用背墊導體結構之可調性，來控制方向耦合器的耦合特性。

本計畫的目標為：完成各種「共面波導方向耦合器」的設計、研製、及分析工作，特別把重點放在新型「背墊導體共面波導方向耦合器」的開發，期能提供另一種可用的耦合組件。

三. 研究方法與結果

第一年度研究以準靜態分析理論為基礎，並使用「保角映射法」，來計算「背墊耦合型」及「邊緣/背墊耦合型」兩種共面波導結構的各種耦合特性。

由耦合理論得知：二傳輸線間的耦合係

數，與其偶模態與奇模態所對應的特徵阻抗值相關。而特徵阻抗值又與結構的電容值有關。為提出一簡便的公式，方便耦合結構之設計，本研究特應用保角映射法，求出兩種結構其奇、偶模態之電容值，及其所對應的特徵阻抗與耦合係數。

本研究提出兩種新型的共面波導耦合結構(即背墊耦合型與邊緣/背墊耦合型)，其結構圖顯示於圖 1(a)與 1(b)。由於電場分佈的對稱及反對稱性，在計算偶模態與奇模態時，可於結構中央處，分別置放完全導磁體及完全導電體。

圖 2 顯示以「共面波導背墊耦合結構」(圖 1(a))的奇模態為例，來說明經由兩個映射函數的計算過程。先將原結構圖映射至 t -平面，繼而再映射至 ω -平面中之平行平板結構。將 ω -平面之結構，分段求其電容值並求其和，即為原結構圖之電容值。

本研究依次以類似方法，來求算圖 1(a)與 1(b)兩種耦合結構的電容值與特徵阻抗值，並進而求得對應之耦合係數。

圖 3 與圖 4 分別顯示此兩種耦合結構的代表性特徵阻抗值與對應的耦合係數。

準靜態分析法雖然簡單方便，但是僅能適用在低頻的區域。為探討結構的高頻耦合特性，第二年度特以全波分析法為基礎，來分析背墊導體共面波導耦合結構。對於層狀結構的計算，譜域分析法(Spectral-domain approach)是一個很適當的方法。本研究以此方法，計算耦合結構中奇模態及偶模態的傳播常數；再由不同模態的電流及電壓值，求算所對應的特徵阻抗值與耦合係數。

本全波分析法亦探討兩種新型的共面波導耦合結構(即「背墊耦合型」與「邊緣/背墊耦合型」)，其結構圖顯示於圖 1(a)與 1(b)。藉由改變背墊導體寬度(L)，將可改變結構中奇模態與偶模態所對應的特徵阻抗值，從而改變其耦合係數。

圖 5 顯示未加背墊導體時，傳統「共面波導邊緣耦合結構」的耦合特性。藉由拉近傳輸線距離 d 的方法，雖然可以提高其耦合係數，但是由於製作上線寬的限制，很難將之提升至-3dB 的強烈耦合效果。

圖 6 顯示背墊導體寬度 L 對「共面波導背墊耦合結構」(圖 1(a))的影響，藉由適當調整 L 參數，將可拉大奇模態與偶模態的特徵阻抗比值，從而增大其耦合係數。

圖 7 所示為背墊導體寬度 L 對「共面波導邊緣/背墊耦合結構」(圖 1(b))的影響，此種結構可達到更強烈的耦合效果。適當調整 L 參數，可使耦合係數達到-3dB。

圖 8 所示為頻率對「共面波導邊緣/背墊耦合結構」的影響，頻率越高時，耦合係數將會越大。

圖 9 所示為不同訊號線距離 d 對「共面波導邊緣/背墊耦合結構」的影響。即使訊號線距離拉大，耦合係數的最大值仍幾乎相同。

圖 10 所示為槽線寬度 S 對「共面波導邊緣/背墊耦合結構」的影響。當槽線寬度拉大時，奇模態的特徵阻抗幾乎不變，但偶模態的特徵阻抗卻會大幅上升，此特性在共面波導方向耦合器

的設計時有很大幫助。

圖 11 與圖 12 分別畫出「共面波導邊緣/背墊耦合結構」中，偶模態與奇模態的電場分佈狀況。由場形分佈圖可看出，在加入有限寬度的背墊導體後，奇模態的電場分佈有大幅度的改變，其電容值也因此而改變。

由前述圖形可知，「共面波導邊緣/背墊耦合結構」可藉由調整背墊導體的寬度，而達到-3dB 的強烈耦合效果。在第三年度的研究中，先以全波分析結果為基礎，建立耦合器設計模型，再依據此模型設計了二個共面波導方向耦合器，圖 13 為其佈局圖。由耦合理論可知，圖中的散射參數 S_{31} 即為此方向耦合器之耦合係數。藉由改變背墊導體的寬度 L ，此方向耦合器的耦合係數分別可以達到-6dB 與-3dB 的效果。

圖 14 所示為-6dB 方向耦合器實驗與理論模擬結果比較。其中，在理論模擬部分，除含「耦合器設計模型」之模擬結果外，並加入套裝軟體 "Ansoft Ensemble" 模擬之結果一併比較。圖中可看出實驗與模擬結果均非常接近。

圖 15 所示為-3dB 方向耦合器實驗與理論模擬結果比較。圖中可看出， S_{21} 與 S_{31} 在中心頻率附近相差非常小，顯示在穿透埠與耦合埠間的輸出功率非常接近。

圖 16 所示為-3dB 方向耦合器中 S_{31} 與 S_{21} 間的相位差。由實驗結果可以看出一直到 1.5GHz 時，此二者的相位差均在 $90^\circ \pm 3^\circ$ 之間。

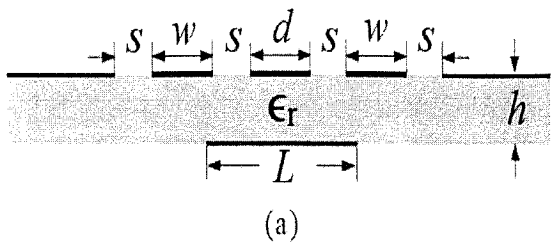
四. 結論

本研究提出兩種新型的背墊導體共面波導耦合結構(「背墊耦合型」及「邊緣/背墊耦合型」),來改善結構的耦合機制,藉由全波分析法的計算發現,適當調整背墊導體的寬度,將可改變其奇模態與偶模態的特徵阻抗,從而改變其耦合係數。其中「邊緣/背墊耦合型」結構(圖 1(b)),更能達到-3dB 的強烈耦合效果。

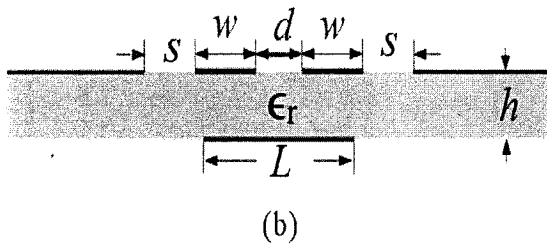
根據全波分析結果所建立之耦合器設計模型,本研究設計了二個共面波導方向耦合器。實驗量測的結果與理論值均非常吻合,證實本研究理論的正確性與耦合器設計模型的可靠性。

五. 參考文獻

- [1] C. P. Wen, Coplanar-waveguide directional couplers, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 18, pp. 318-322, June 1970.
- [2] S. S. Bedair and I. Wolff, Fast and accurate analytic formulas for calculating the parameters of a general broadside-coupled coplanar waveguide for (M)MIC applications, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, pp. 843-850, May 1989.
- [3] C. L. Liao and C. H. Chen, Coupling of coplanar waveguides through the conductor backing, 1999 Progress in Electromagnetics Research Symposium, p. 814, March 1999.
- [4] C. H. Chen and C. L. Liao, Coupling characteristics of conductor-backed coplanar waveguide structures, 26th General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI), p.41, August 1999.
- [5] C. L. Liao and C. H. Chen, A novel conductor-backed coplanar-waveguide coupled structure," 1999 Asia-Pacific Microwave Conference, pp.299-302, Nov. 1999.
- [6] C. L. Liao and C. H. Chen, Full-wave characterization of an edge-coupled coplanar-waveguide structure with backed conductor, 2000 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, pp. 1089-1092, June 2000.
- [7] C. L. Liao and C. H. Chen, Quasistatic and fullwave analyses of conductor-backed edge-coupled coplanar-waveguide structures, 2001 Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 181--184, Dec. 2001.
- [8] C. L. Liao and C. H. Chen, A novel coplanar-waveguide directional coupler with finite-extent backed conductor," to appear in *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Jan. 2003.



(a)



(b)

圖 1. 共面波導耦合結構 (a) 背墊耦合型
(b) 邊緣/背墊耦合型。

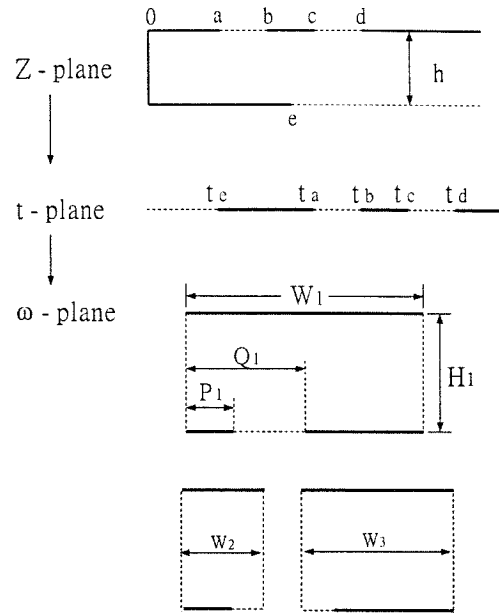


圖 2. 共面波導背墊耦合結構(圖 1(a))之保角
映射過程(奇模態)。

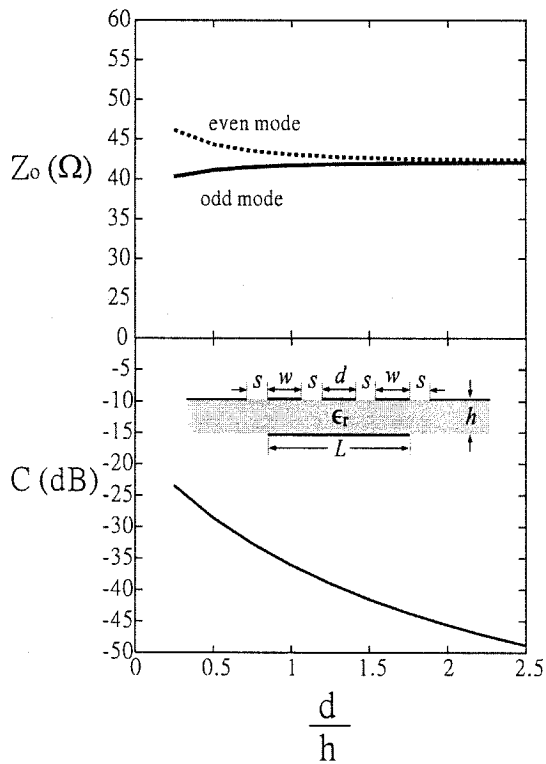


圖 3. 共面波導背墊耦合結構(圖 1(a))之特徵
阻抗 Z_0 與耦合係數 C 。

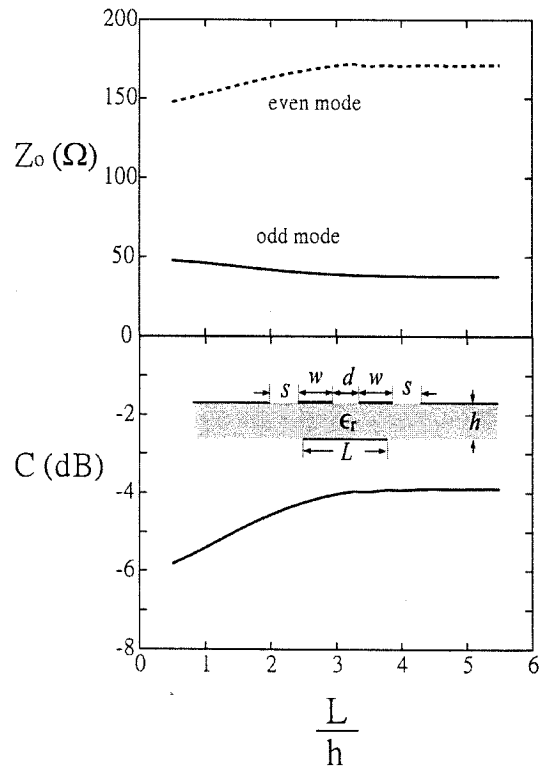


圖 4. 共面波導邊緣/背墊耦合結構(圖 1(b))之
特徵阻抗 Z_0 與耦合係數 C 。

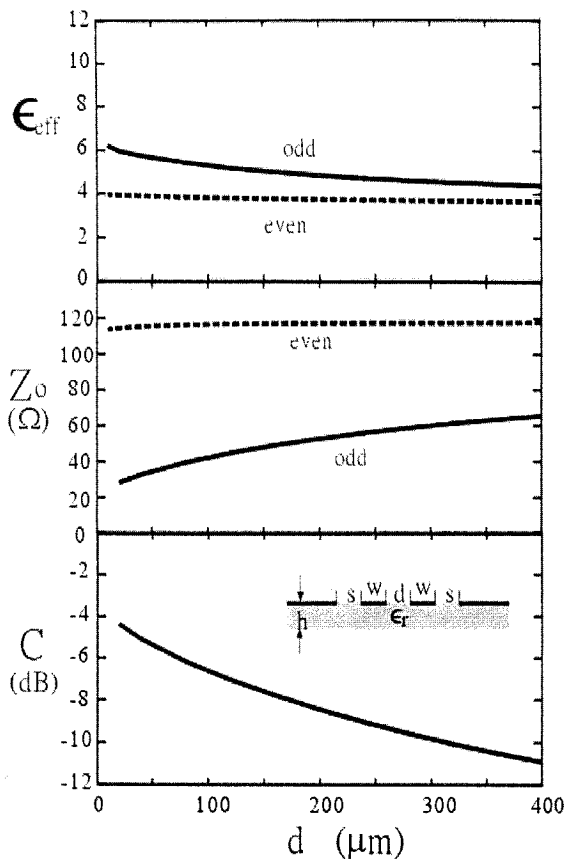


圖 5. 未加背墊導體時，共面波導邊緣耦合結構的特性。

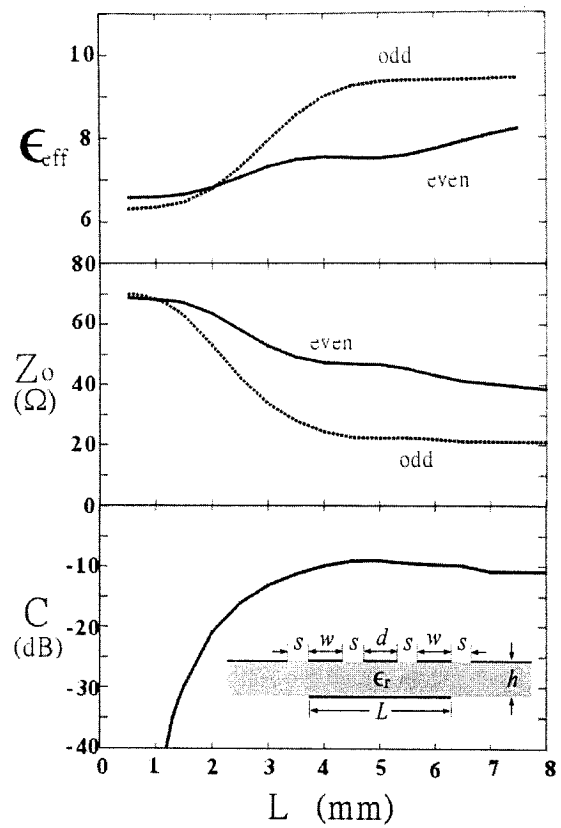


圖 6. 背墊導體寬度(L)對共面波導背墊耦合結構(圖 1(a))的影響。

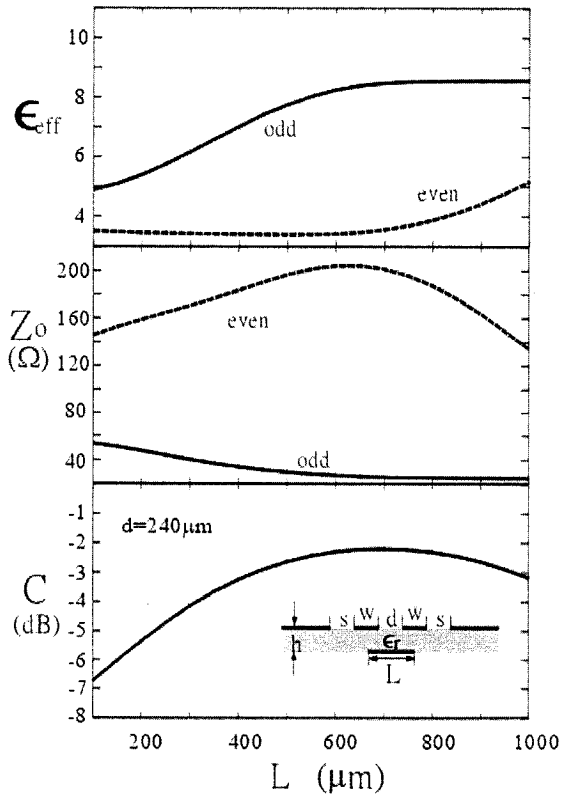


圖 7. 背墊導體寬度(L)對共面波導邊緣/背墊耦合結構(圖 1(b))的影響。

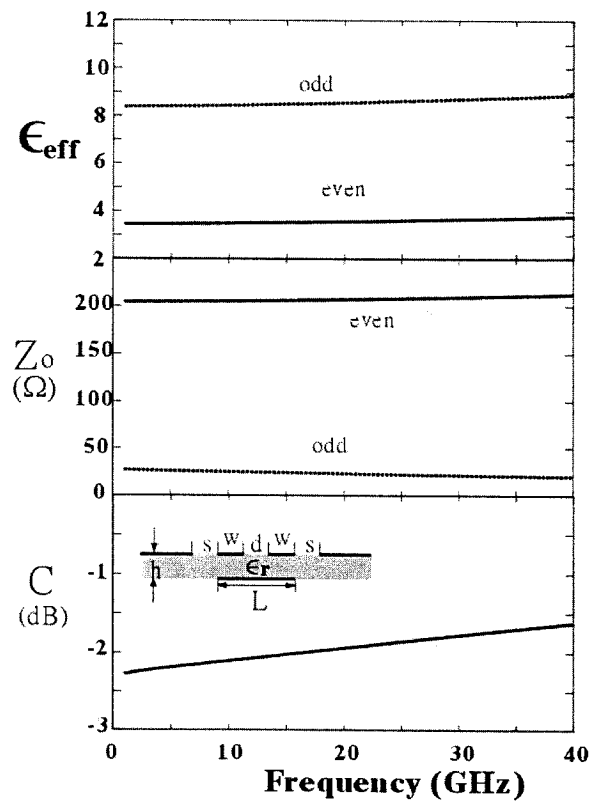


圖 8. 頻率對共面波導邊緣/背墊耦合結構(圖 1(b))的影響。

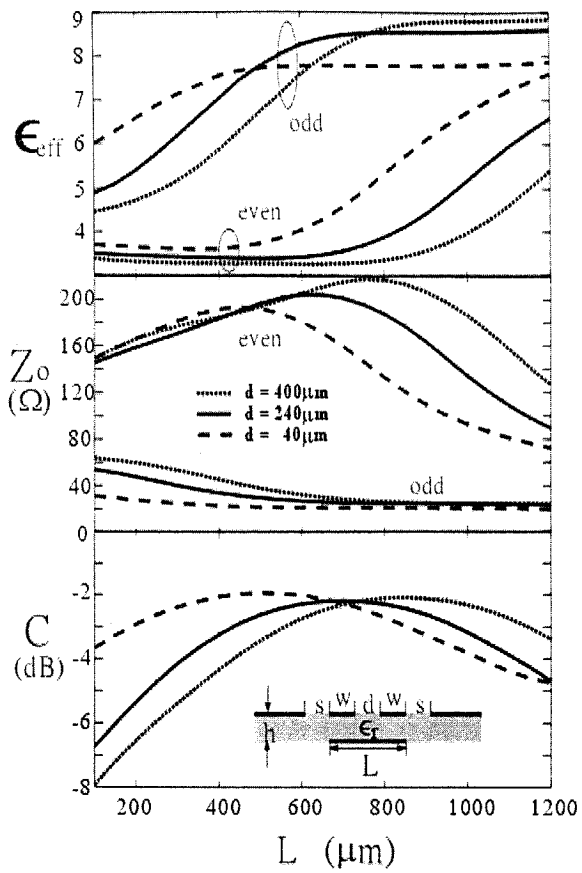


圖 9. 訊號線距離 (d) 對共面波導邊緣/背墊耦合結構(圖 1(b))的影響。

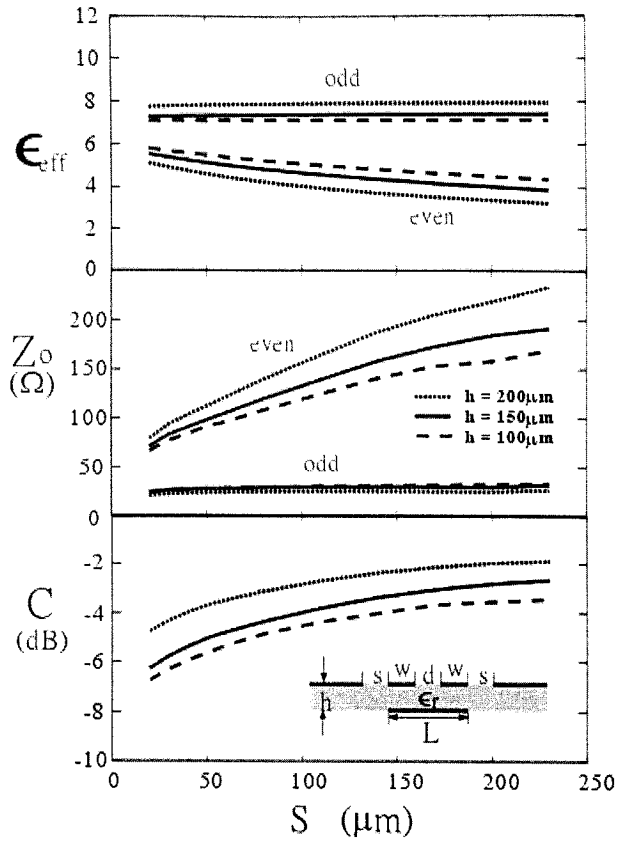


圖 10. 槽線寬度 (S) 對共面波導邊緣/背墊耦合結構(圖 1(b))的影響。

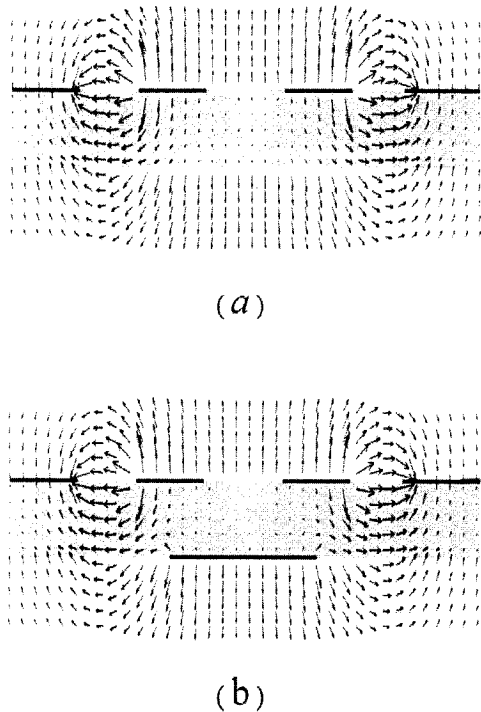


圖 11. 共面波導邊緣/背墊耦合結構(圖 1(b))之偶模態電場分佈。

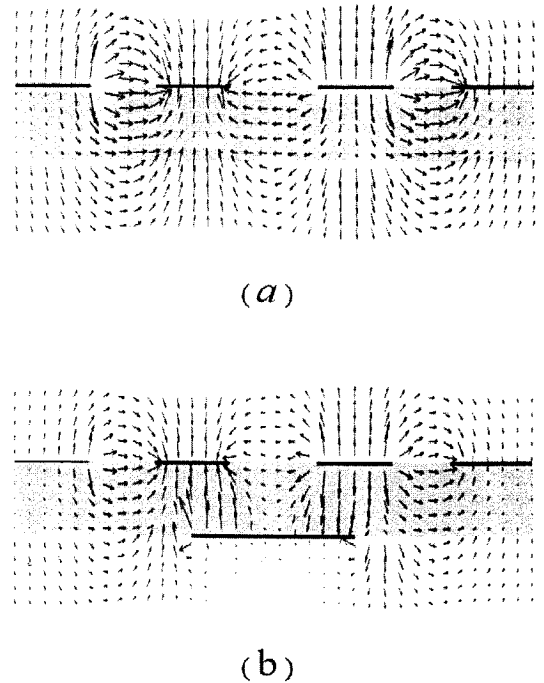


圖 12. 共面波導邊緣/背墊耦合結構(圖 1(b))之奇模態電場分佈。

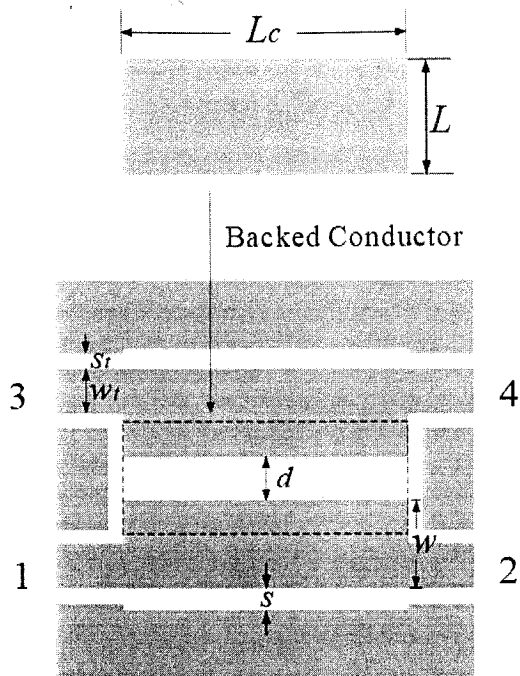


圖 13. 背墊導體共面波導方向耦合器佈局圖。

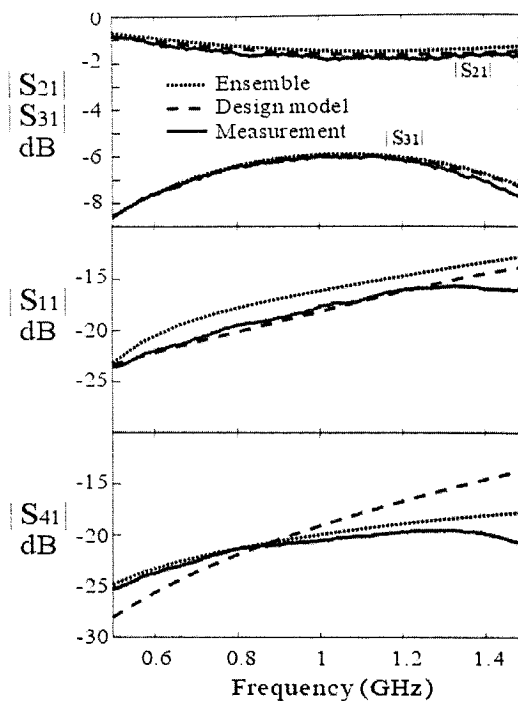


圖 14. -6dB 方向耦合器中理論與實驗模擬比較。

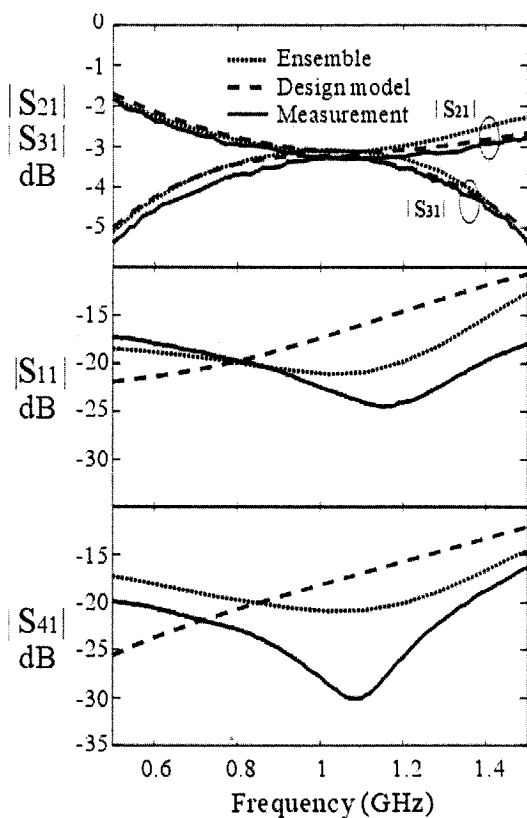


圖 15. -3dB 方向耦合器中理論與實驗模擬比較。

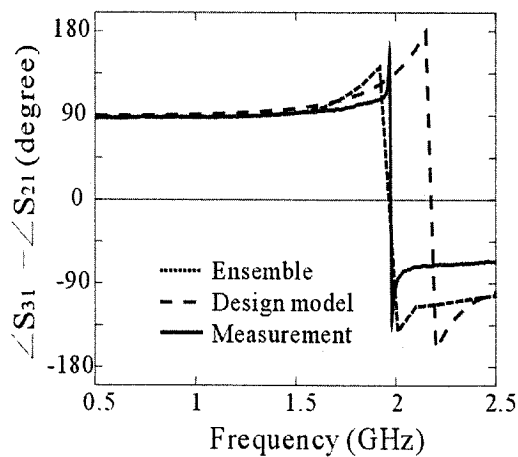


圖 16. -3dB 方向耦合器中 S_{31} 與 S_{21} 間的相位差。