



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I383539B1

(45) 公告日：中華民國 102 (2013) 年 01 月 21 日

(21) 申請案號：098127509

(22) 申請日：中華民國 98 (2009) 年 08 月 14 日

(51) Int. Cl. : **H01Q1/38 (2006.01)**(71) 申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號

(72) 發明人：陳富強 CHEN, FU CHIARNG (TW)；高誠隆 KAO, CHENG LUNG (TW)

(74) 代理人：黃于真；李國光

(56) 參考文獻：

US 2009/0033558A1

"Simple-design and compact MIM CRLH microstrip 3-dB coupled-line coupler", in Proc. IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., San Francisco, USA, June 2006, 1733-1736.

審查人員：謝裕民

申請專利範圍項數：22 項 圖式數：8 共 0 頁

(54) 名稱

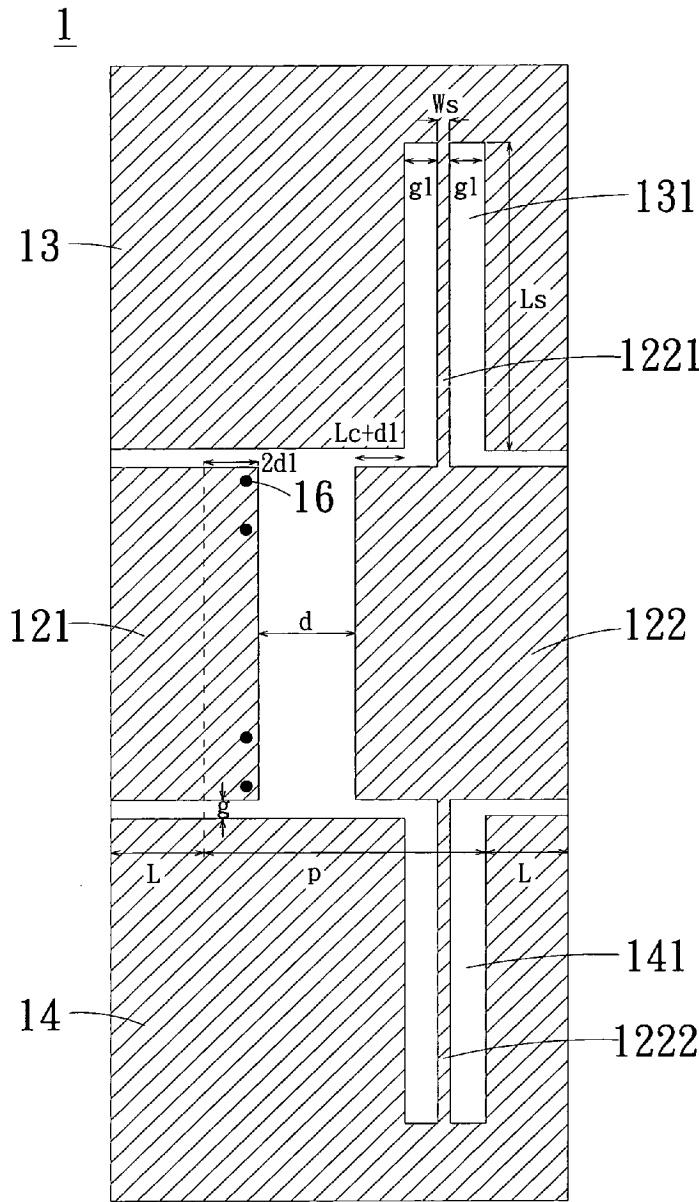
共平面天線單元及共平面天線

COPLANAR ANTENNA UNIT AND COPLANAR ANTENNA

(57) 摘要

本發明係揭露一種共平面天線單元及共平面天線。其中利用獨特的後設材料(meta-material)性質，設計一個平衡式一維複合左右手(CRLH)洩漏波天線。以共平面波導為架構，利用金屬-絕緣體-金屬(Metal-insulator-Metal, MIM)電容及接地傳輸線來設計出共平面天線單元並實現一維縮短化複合左右手洩漏波天線。所設計的天線係採用平面印刷電路板技術所實現，且有輕薄短小與低姿態的潮流以及良好的天線輻射特性。

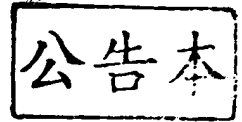
The present invention is related to a coplanar antenna unit and a coplanar antenna. By utilizing the unique properties of meta-material to design 1-D balanced CRLH leaky-wave antenna. The antenna can be realized with the coplanar antenna unit consisting of MIM capacitor and grounded inductor. In this invention, all proposed element is implemented by planar print circuit board, so the full-space switched beam scanning antenna has shorter length of leaky-wave antenna and good radiation performance.



- 1 . . . 共平面天線單元
- 121 . . . 饋入平面
- 122 . . . 輸出平面
- 1221 . . . 第一延伸部
- 1222 . . . 第二延伸部
- 13 . . . 第一接地面
- 131 . . . 第一鏤空部
- 14 . . . 第二接地面
- 141 . . . 第二鏤空部
- 以及
- 16 . . . 穿孔

第 2 圖

發明專利說明書



(本申請書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：98121509

※ 申請日：98 8 14 ※IPC 分類：H01Q1/38 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

共平面天線單元及共平面天線/COPLANAR ANTENNA
UNIT AND COPLANAR ANTENNA

二、中文發明摘要：

本發明係揭露一種共平面天線單元及共平面天線。其中利用獨特的後設材料(meta-material)性質，設計一個平衡式一維複合左右手(CRLH)洩漏波天線。以共平面波導為架構，利用金屬-絕緣體-金屬 (Metal-insulator-Metal, MIM) 電容及接地傳輸線來設計出共平面天線單元並實現一維縮短化複合左右手洩漏波天線。所設計的天線係採用平面印刷電路板技術所實現，且有輕薄短小與低姿態的潮流以及良好的天線輻射特性。

三、英文發明摘要：

The present invention is related to a coplanar antenna unit and a coplanar antenna. By utilizing the unique properties of meta-material to design 1-D balanced CRLH leaky-wave antenna. The antenna can be realized with the coplanar antenna unit consisting of MIM

capacitor and grounded inductor. In this invention, all proposed element is implemented by planar print circuit board, so the full-space switched beam scanning antenna has shorter length of leaky-wave antenna and good radiation performance.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1：共平面天線單元；

121：饋入平面；

122：輸出平面；

1221：第一延伸部；

1222：第二延伸部；

13：第一接地面；

131：第一鏤空部；

14：第二接地面；

141：第二鏤空部；以及

16：穿孔。

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種共平面天線單元及共平面天線，特別是有關於一種洩漏波天線之共平面天線單元及共平面天線。

【先前技術】

洩漏波天線對於無線系統的發展有著重要的貢獻，而一個能整合複合左右手材料 (composite right/left-handed material) 的無線通信之天線更是近年來熱門的研究項目之一。因此，複合左右手架構能便是此類熱門應用的最佳技術之一。目前已知洩漏波天線 (leaky-wave antenna) 之設計方法大致可分為下列幾種：

1. 利用週期性結構；藉由週期性的影響所產生之空間諧波所造成。如：介電格柵、金屬板格柵以及在金屬片的槽狀格柵。

2. 利用開放式波導；係操作於高階模態使其達到洩漏波天線的功用，如：溝紙式波導、非放射性介質波導以及微帶線。

3. 結合後設材料 (meta-material) 使得在一般模態下也具有輻射區及導波區，當操作頻率在輻射區時，即為洩漏波天線。

已知的技術雖然可以達到洩漏波天線的目的，但是為了使在結構中的大部分能量洩漏至空間中，以達到高

增益及天線效率。為了達到此目標，而其現有利用週期性結構、開放式波導或後設材料的洩漏波天線之長度，則需夠長才能將在上述架構中之大部分傳遞能量洩漏至空間中，因應目前縮小化的主流且對於整合通訊系統的需求，所以洩漏波天線之體積縮小化是很重要的一種趨勢。

【發明內容】

有鑑於上述習知技藝之問題，本發明之目的就是在提供一種共平面天線單元及共平面天線，設計出一個縮小化的複合左右手洩漏波天線。對通訊系統而言，使其天線可易於整合於無線通訊之應用中，用來提升現今的無線通訊產業對於整合型通訊系統技術的發展，也為未來的通訊科技帶來進步。

根據本發明之其中一目的，提出一種共平面天線單元，其包含：基板、輻射平面、第一接地面、第二接地面和金屬片。輻射平面設置於基板之一側，其包含饋入平面和輸出平面。饋入平面用以接收饋入訊號，且饋入訊號於饋入平面產生輻射訊號。輸出平面與饋入平面具有間隔，輻射訊號耦合至輸出平面，使輸出平面輸出輻射訊號，且輸出平面具有第一延伸部和第二延伸部。第一接地面設置於基板之一側，且位於輻射平面之一側，第一接地面具有第一鏤空部，且第一延伸部設置於第一鏤空部中，第一延伸部之一端連接第一接地面。第二接地面設置於基板之一側，且位於輻射平面之另一側，第

二接地面對應第一鏤空部位置處具有第二鏤空部，第二延伸部設置於第二鏤空部中，第二延伸部之一端連接第二接地面。金屬片設置於基板之另一側，且對應輻射平面設置金屬片。

其中，輻射平面與金屬片形成電容結構。電容結構係提供等效左手電容。

其中，輻射平面、基板和金屬片形成金屬-絕緣-金屬(Metal-Insulator-Metal, MIM)電容結構。

其中，與複數個共平面天線單元以串聯方式相互連接。

其中，共平面天線單元具有平衡頻率，平衡頻率由第一延伸部、第二延伸部或金屬片之尺寸所決定。

其中，饋入平面和金屬片係包含一穿孔(via)。

其中，金屬片形狀為方形、三角形、圓形、五邊形或六邊形。

其中，第一延伸部或第二延伸部之等效電路為電感，此電感為左手電感。

根據本發明之另一目的，提出一種共平面天線，其包含複數個共平面天線單元，每一共平面天線單元相互串接，每一共平面天線單元包含：基板、輻射平面、第一接地面、第二接地面和金屬片。輻射平面設置於基板之一側，其包含饋入平面和輸出平面。饋入平面用以接收饋入訊號，且饋入訊號於饋入平面產生輻射訊號。輸

出平面與饋入平面具有間隔，輻射訊號耦合至輸出平面，使輸出平面以輸出輻射訊號，且輸出平面具有第一延伸部和第二延伸部。第一接地面設置於基板之一側，且位於輻射平面之一側，第一接地面具有第一鏤空部，且第一延伸部設置於第一鏤空部中，第一延伸部之一端連接第一接地面。第二接地面設置於基板之一側，且位於輻射平面之另一側，第二接地面對應第一鏤空部位置處具有第二鏤空部，第二延伸部設置於第二鏤空部中，第二延伸部之一端連接第二接地面。金屬片設置於基板之另一側，且對應輻射平面設置金屬片。

其中，輻射平面與金屬片形成電容結構。電容結構係提供等效左手電容。

其中，輻射平面、基板和金屬片形成金屬-絕緣-金屬(Metal-Insulator-Metal, MIM)電容結構。

其中，與複數個共平面天線單元以串聯方式相互連接。

其中，共平面天線單元具有平衡頻率，平衡頻率由第一延伸部、第二延伸部或金屬片之尺寸所決定。

其中，饋入平面和金屬片係包含一穿孔(via)。

其中，金屬片形狀為方形、三角形、圓形、五邊形或六邊形。

其中，第一延伸部或第二延伸部之等效電路為電感，此電感為左手電感。

其中，串接數目大於或等於四個共平面天線單元。

其中，串接數目為 5 個共平面天線單元時，則共平面天線之洩漏能量係為 90%。

其中，串接數目係為 5 個共平面天線單元時，則共平面天線之平衡頻率係為 3.5GHz。

根據本發明之又一目的，提出一種共平面天線單元和共平面天線，設計出縮小化洩漏波天線達成易於整合無線通訊之應用，來解決傳統與現今一維複合左右手洩漏波天線需要冗長的結構來輻射能量之問題。複合左右手洩漏波天線之縮小化的設計概念也可推廣至其他通信規格頻率。縮小化滿足無線通訊系統以及未來整合於通訊系統的要求。

承上所述，依本發明之共平面天線單元及共平面天線，其可具有一或多個下述優點：

(1) 此共平面天線單元及共平面天線具有掃頻特性，且會從後向(backward)至垂向(broadside)再到前面(forward)做連續性的掃描，並且擁有兩個主波束方向。

(2) 此共平面天線單元及共平面天線利用後設材料(meta-material)的金屬-絕緣體-金屬電容與接地傳輸線，來分別設計左手材料中的串聯電容及並聯電感。

(3) 此共平面天線單元及共平面天線透過共平面波導及在相同面積下可得到較大電容值的金屬-絕緣體-金屬電容，以解決傳統低洩漏常數的問題。

(4) 此共平面天線單元及共平面天線利用共平面波導另一層達到金屬-絕緣體-金屬電容的效果，不需要額外多加基板，以達到低姿態(low profile)。

【實施方式】

請參閱第 1 圖，其係為本發明之共平面天線單元之側視圖。圖中，共平面天線單元 1 包含基板 11、輻射平面 12、第一接地面 13、第二接地面 14 和金屬片 15。輻射平面 12、第一接地面 13 和第二接地面 14 係設置於基板 11 之一側，而金屬片 15 係設置於基板之另一側，且對應輻射平面 12 的位置。

請參閱第 2 圖，其係為本發明之共平面天線單元之俯視圖。請參閱第 3 圖，其係為本發明之共平面天線單元之仰視圖。圖中，輻射平面 12 具有饋入平面 121 和輸出平面 122。饋入平面 121 用以接收饋入訊號，且饋入訊號於饋入平面 121 產生輻射訊號。當饋入訊號於饋入平面 121 累積一定的輻射能量時，即在邊緣產生輻射訊號。輸出平面 122 與饋入平面具有間隔 d ，因此輻射訊號藉由耦合方式耦合至輸出平面 122，藉此，輸出平面 122 即可輸出輻射訊號。輸出平面具有第一延伸部 1221 和第二延伸部 1222。第一接地面 13 設置於輻射平面 12 之一側，且第一接地面 13 具有第一鏤空部 131。第二接地面 14 設置於輻射平面 12 之另一側，且第二接地面對應第一鏤空部 131 具有第二鏤空部 141。第一延伸部 1221 設置於第一鏤空部 131 中，且第一延伸部 1221 之一端連接

第一接地面 13，第二延伸部 1222 設置於第二鏤空部 141 中，且第二延伸部 1222 之一端連接第二接地面 14。

輻射平面 12 設置於基板 11 之一側，而金屬片 15 設置於基板 11 之另一側時，且基板 11 之材料為介電材料時，可發現此結構為金屬-絕緣層-金屬結構，因此在等效電路上亦可稱為 MIM(Metal-Insulator-Metal)電容。在一實施例中，可選用 RogersRT/Duriod5880 基板，此基板介電係數為 2.2，其損耗正切(loss tangent)為 0.0009，表示損耗相當低。

在饋入平面 121 和金屬片 15 上設置有穿孔 16，其穿孔相互對應，因此饋入訊號可藉由穿孔 16 傳送至金屬片 15。在此實施例中，其穿孔有四個，但不以此為限，穿孔的數目和穿孔的大小亦影響平衡頻率。輻射平面 12 和金屬片 15 在等效電路上為一電容結構。當輻射平面 12 和金屬片 15 選用後設材料(meta-material)時，此電容結構具有左手性質，可稱為一左手電容。

在輸出平面 122 上，其具有第一延伸部 1221 和第二延伸部 1222，其等效電路為一電感，因此藉由調整第一延伸部 1221 和第二延伸部 1222 的尺寸，可改變共平面天線單元 1 的特性，當選用輸出平面 122 之材料為後設材料時，其電感具有左手性質，因此在等效電路上可為一左受電感。

共平面天線單元 1 具有一平衡頻率，其平衡頻率由第一延伸部 1221、第二延伸部 1222 或金屬片 15 之尺寸

決定。如第 2 圖所示之第一延伸部 1221 和第二延伸部 1222 的寬度 W_s ，同理，其鏤空部的大小亦受到第一延伸部 1221 和第二延伸部 1222 的長寬度而受影響，因此改變鏤空部的大小 (L_s 、 W_s) 亦可決定平衡頻率。對於金屬片的尺寸而言，亦可改變其長寬值 (例如： d_1 ， d ， L_c) 和幾何形狀，亦可改變其平衡頻率。金屬片 15 的形狀可為方形、三角形、圓形、五邊形或六邊形，但不以此為限，可為任意之幾何形狀。

請參閱第 4 圖，其係為本發明之共平面天線之俯視圖。請參閱第 5 圖，其係為本發明之共平面天線之仰視圖。圖中，共平面天線 4 可包含 5 個共平面天線單元，每一共平面單元係透過串接方式相連接，共平面天線單元之敘述，可參閱前面說明，在此不再贅述。在此共平面天線中，可進一步包含 SMA (Sub Miniature version A) 接頭，使第一個共平面天線單元透過 SMA 接頭以接收饋入訊號，並透過 SMA 接頭使最後一個共平面單元輸出輻射訊號。

請參閱第 6 圖，其係為本發明之洩漏常數對應不同數目之共平面天線單元示意圖。圖中，當平衡頻率為 3.5GHz，且設定條件為末端之剩餘能量與輸出端之能量相比要小於 0.1，且不會過小的情況下，可發現串聯數目為大於或等於 4 個共平面天線單元時，洩漏常數才會趨於收斂。因此 4 個或 5 個串接而成的共平面天線將會是較佳的選擇。

請參閱第 7 圖，其係為本發明之反射損耗(return loss)與頻率響應關係圖。圖中，包含兩條曲線，一條為模擬值，另一條為實際測量值，當操作頻率為約為 3.5GHz 時，可發現其反射損失約為 -26dB。當操作頻率約為 3.9GHz 時，其反射損失約為 -29dB。

請參閱第 8 圖，其係為本發明之共平面天線於 X-Z 平面之遠場輻射場型模擬圖。其操作頻率分別為 2.75GHz、3.5GHz 及 3.9GHz。當操作頻率為 2.75GHz 時是工作在左手洩漏波區，其模擬的主波束方向在 24 度及 155 度，增益值分別為 4.5dBi 及 4.8dBi。當操作頻率在 3.5GHz 時是工作在平衡頻率點之洩漏波區，其模擬的主波束方向在 -1 度及 179 度，增益值分別為 4.9dBi 及 5.6 dBi。操作頻率在 3.9GHz 時是工作在右手之洩漏波區，其主波束方向在 -39 度及 -142 度，模擬增益值分別為 7dBi 及 7.1dBi。

本發明操作頻率在 2.75 GHz、3.5GHz 及 3.9GHz 時，在基板下方之主波束方向分別 155 度、179 度及 -142 度，基板上之主波束方向分別 24 度、-1 度及 -39 度，這也是掃頻特性，這特性即是洩漏波天線所具有的獨特之特性，所以我們確定此天線即是洩漏波天線且是由複合左右手傳輸線之輻射特性所造成。其總共可掃描角度為 63 度；而在基板上之掃描之角度其總共可掃描角度為 63 度。

現今的一維複合左右手洩漏波天線長度仍與傳統洩

漏波天線長度都需要 4~5 波長，皆因洩漏常數(leakage constant)較低的關係，而本發明即是針對此點進行設計長度較短之縮小化複合左右手洩漏波天線，即為本發明之共平面天線。之前的應用皆使用微帶線結構使得洩漏常數低，乃因只有一輻射面且大部分之能量儲存在介質不易洩漏至空間中的緣故。故本發明提出之共平面天線單元(unit cell)具有洩漏常數較高的特性。

共平面天線單元是使用共平面波導(coplanar waveguide, CPW)之傳輸結構及整體電氣長度較短的共平面天線單元來實現洩漏常數較高的特性。且因共平面天線單元之洩漏常數較高的原故，而等效電路中的串聯電阻及並聯電導均不可忽略。本發明所揭露的共平面天線以達到高洩漏常數為目標，透過共平面波導及 MIM 電容來改善傳統與現有一維複合左右手洩漏波天線之長度過長的缺點。

以上所述僅為舉例性，而非為限制性者。任何未脫離本發明之精神與範疇，而對其進行之等效修改或變更，均應包含於後附之申請專利範圍中。

【圖式簡單說明】

- 第 1 圖 係為本發明之共平面天線單元之側視圖；
- 第 2 圖 係為本發明之共平面天線單元之俯視圖；
- 第 3 圖 係為本發明之共平面天線單元之仰視圖；
- 第 4 圖 係為本發明之共平面天線之俯視圖；

第 5 圖 係為本發明之共平面天線之仰視圖；

第 6 圖 係為本發明之洩漏常數對應不同數目之共平面天線單元示意圖；

第 7 圖 係為本發明之反射損耗(return loss)與頻率響應關係圖；以及

第 8 圖 為本發明之共平面天線於 X-Z 平面之遠場輻射場型模擬圖。

【主要元件符號說明】

1：共平面天線單元；

4：共平面天線；

11：基板；

12：輻射平面；

121：饋入平面；

122：輸出平面；

1221：第一延伸部；

1222：第二延伸部；

13：第一接地面；

131：第一鏤空部；

14：第二接地面；

141：第二鏤空部；

15：金屬片；以及

16：穿孔。

七、申請專利範圍：

1. 一種共平面天線單元，其包含：

一基板；

一輻射平面，係設置於該基板之一側，其包含：

一饋入平面，係用以接收一饋入訊號，且該饋入訊號係於該饋入平面產生一輻射訊號；以及

一輸出平面，係與該饋入平面具有一間隔，該輻射訊號耦合至該輸出平面，使該輸出平面輸出該輻射訊號，且該輸出平面具有一第一延伸部和一第二延伸部；

一第一接地面，係設置於該基板之一側，且位於該輻射平面之一側，該第一接地面具有一第一鏤空部，且該第一延伸部設置於該第一鏤空部中，該第一延伸部之一端係連接該第一接地面；

一第二接地面，係設置於該基板之一側，且位於該輻射平面之另一側，該第二接地面對應該第一鏤空部位置處係具有一第二鏤空部，該第二延伸部係設置於該第二鏤空部中，該第二延伸部之一端係連接該第二接地面；以及

一金屬片，係設置於該基板之另一側，且對應該輻射平面設置該金屬片。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之共平面天線單元，其中該輻射平面與該金屬片形成一電容結構。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之共平面天線單元，其中該電容結構係提供一等效左手電容。
4. 如申請專利範圍第 1 項所述之共平面天線單元，其中該輻射平面、該基板和該金屬片形成一金屬-絕緣-金屬 (Metal-Insulator-Metal, MIM) 電容結構。
5. 如申請專利範圍第 1 項所述之共平面天線單元，其中與複數個該共平面天線單元以串聯方式相互連接。
6. 如申請專利範圍第 1 項所述之共平面天線單元，其中該共平面天線單元係具有一平衡頻率，該平衡頻率係為由該第一延伸部、該第二延伸部或該金屬片之尺寸所決定。
7. 如申請專利範圍第 1 項所述之共平面天線單元，其中該饋入平面和該金屬片係包含一穿孔(via)。
8. 如申請專利範圍第 1 項所述之共平面天線單元，其中該金屬片形狀係為方形、三角形、圓形、五邊形或六邊形。
9. 如申請專利範圍第 1 項所述之共平面天線單元，其中該第一延伸部或該第二延伸部之等效電路係為一電感。
10. 如申請專利範圍第 9 項所述之共平面天線單元，其中該電感係為一左手電感。
11. 一種共平面天線，係包含複數個共平面天線單元，

每一該複數個共平面天線單元係相互串接，每一該共平面天線單元係包含：

一基板；

一輻射平面，係設置於該基板之一側，其包含：

一饋入平面，係用以接收一饋入訊號，且該饋入訊號係於該饋入平面產生一輻射訊號；以及

一輸出平面，係與該饋入平面具有一間隔，該輻射訊號耦合至該輸出平面，使該輸出平面輸出該輻射訊號，且該輸出平面具有一第一延伸部和一第二延伸部；

一第一接地面，係設置於該基板之一側，且位於該輻射平面之一側，該第一接地面具有一第一鏤空部，且該第一延伸部設置於該第一鏤空部中，該第一延伸部之一端係連接該第一接地面；

一第二接地面，係設置於該基板之一側，且位於該輻射平面之另一側，該第二接地面對應該第一鏤空部位置處係具有一第二鏤空部，該第二延伸部係設置於該第二鏤空部中，該第二延伸部之一端係連接該第二接地面；以及

一金屬片，係設置於該基板之另一側，且對應該輻射平面設置該金屬片。

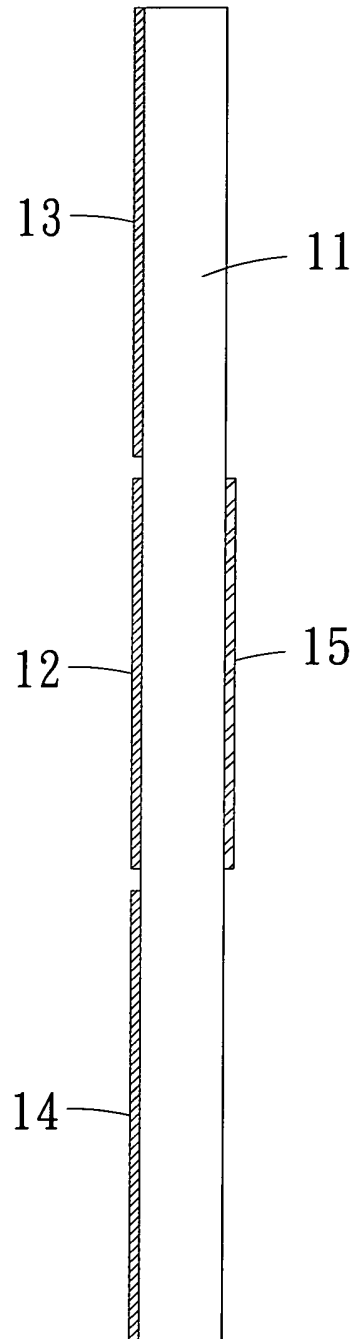
12. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該輻射平面與該金屬片形成一電容結構。

13. 如申請專利範圍第 12 項所述之共平面天線，其中該電容結構係提供一等效左手電容。
14. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該輻射平面、該基板和該金屬片形成一金屬-絕緣-金屬(Metal-Insulator-Metal, MIM)電容結構。
15. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該共平面天線係具有一平衡頻率，該平衡頻率係為由該第一延伸部、該第二延伸部或該金屬片之尺寸所決定。
16. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該饋入平面和該金屬片係包含一穿孔(via)。
17. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該金屬片形狀係為方形、三角形、圓形、五邊形或六邊形。
18. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該第一延伸部或該第二延伸部之等效電路係為一電感。
19. 如申請專利範圍第 18 項所述之共平面天線，其中該電感係為一左手電感。
20. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該串接數目係大於或等於四個該共平面天線單元。
21. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該串接數目係為 5 個該共平面天線單元時，則該共

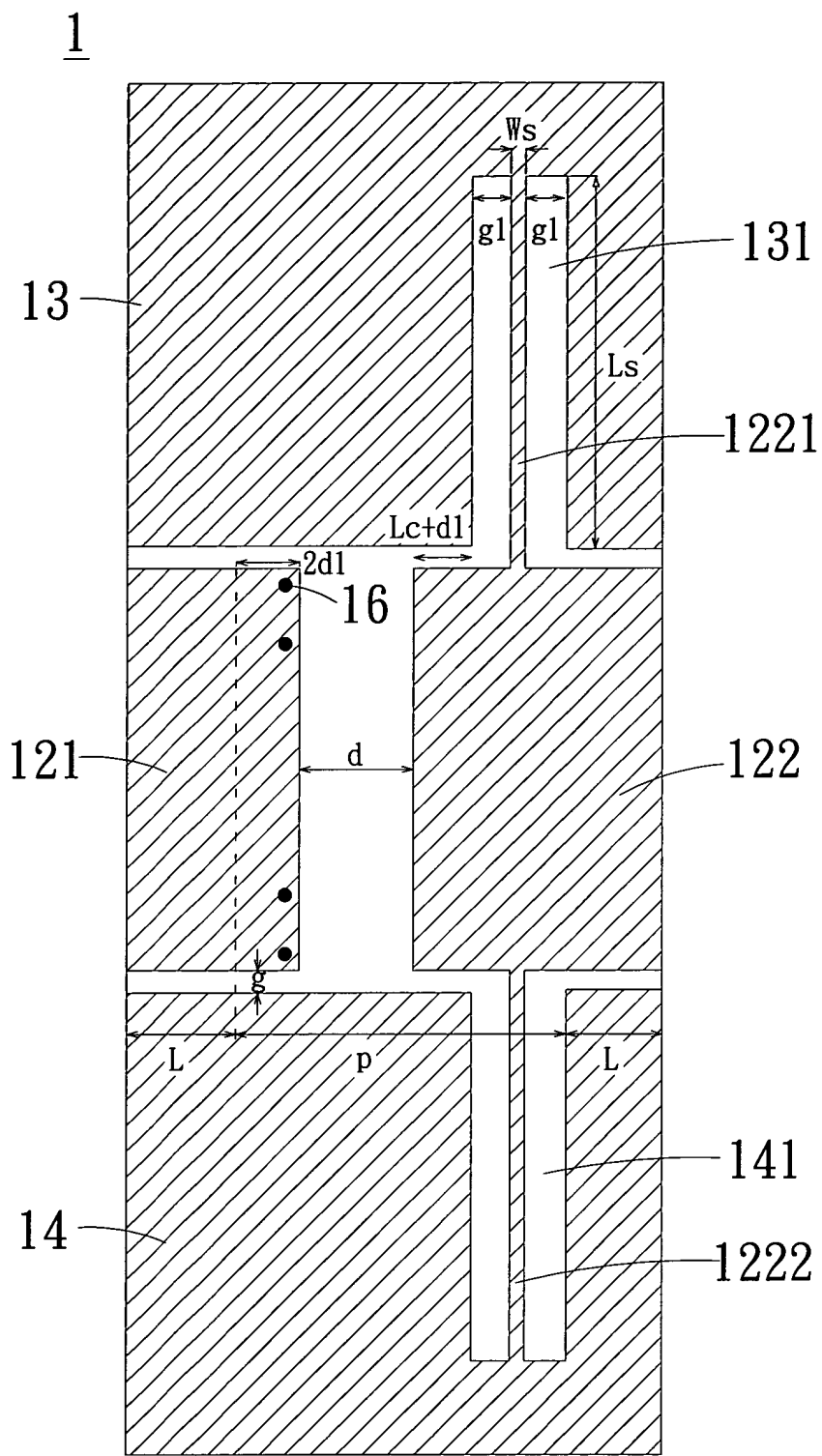
平面天線之洩漏能量係為 90%。

22. 如申請專利範圍第 11 項所述之共平面天線，其中該串接數目係為 5 個該共平面天線單元時，則該共平面天線之平衡頻率係為 3.5GHz。

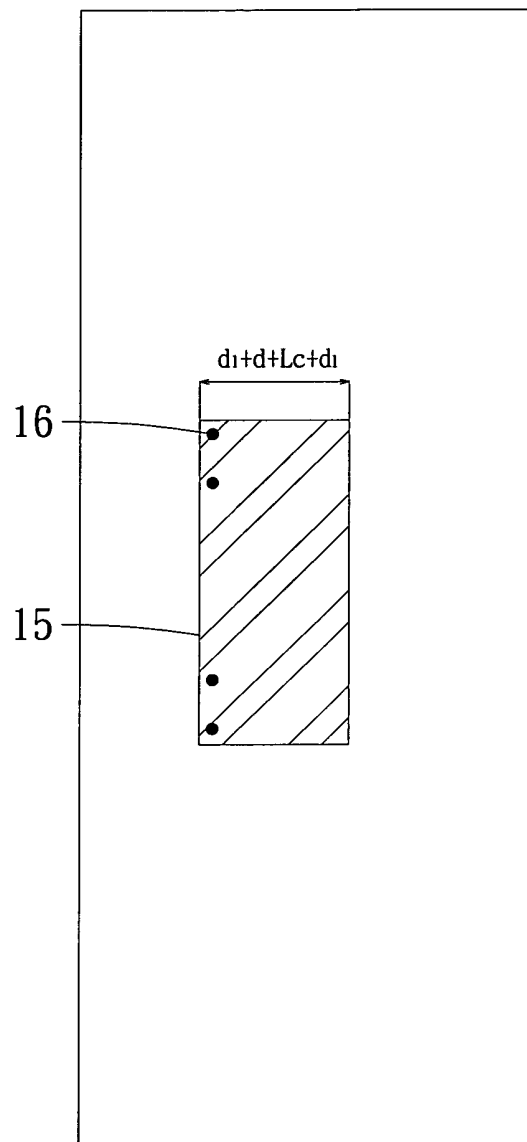
八、圖式：



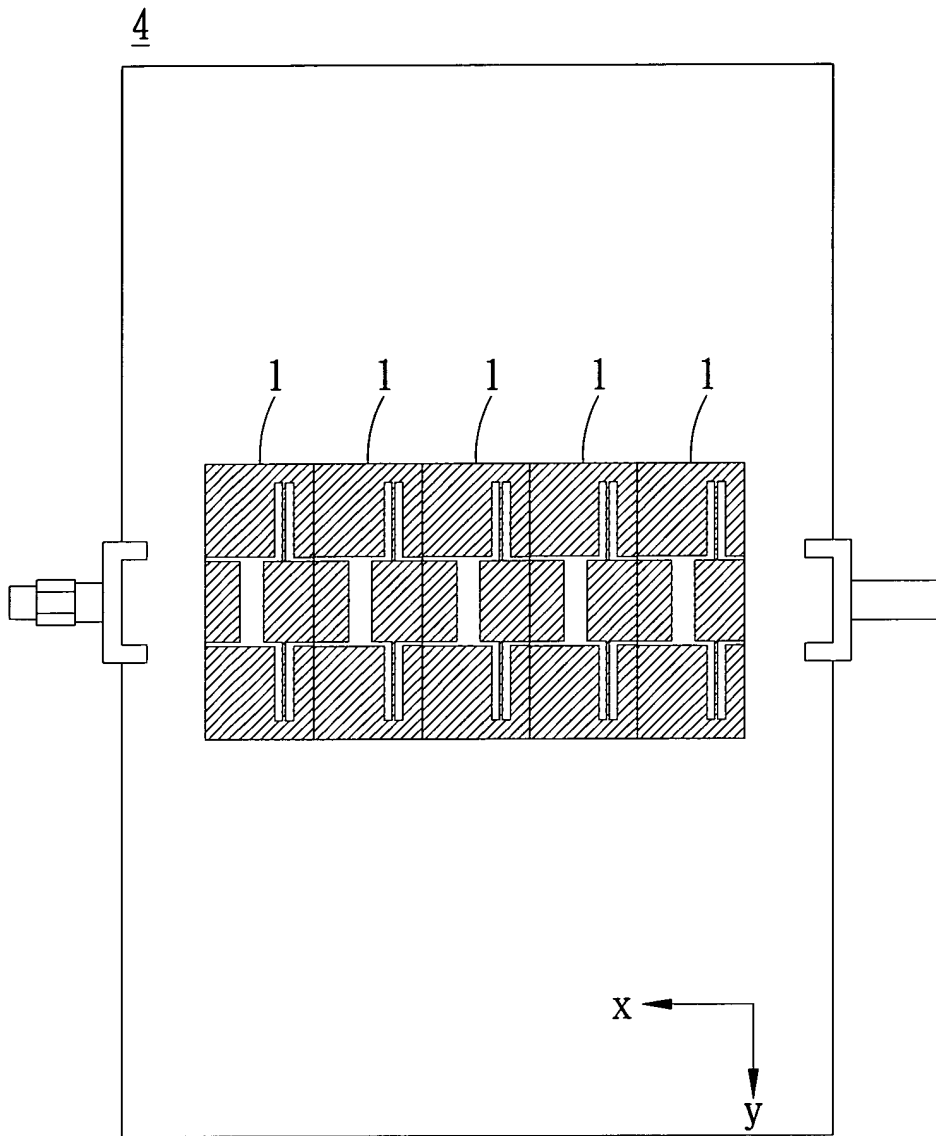
第 1 圖



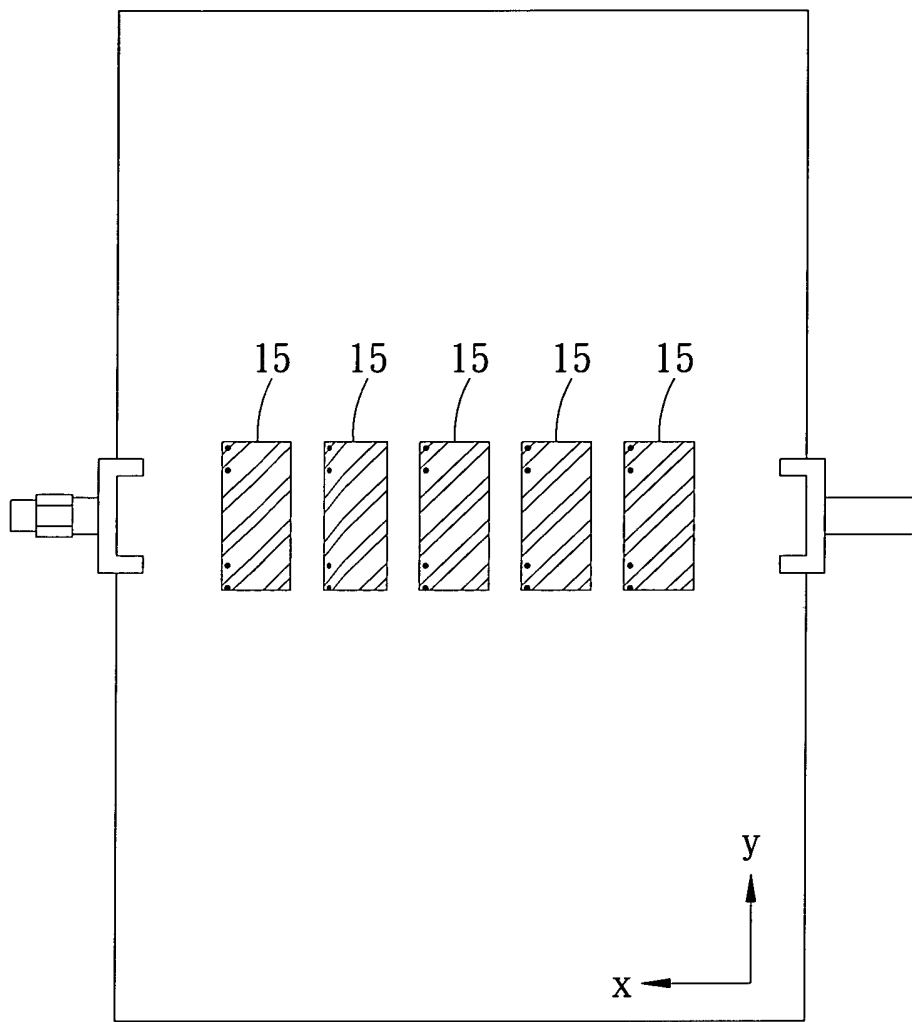
第 2 圖



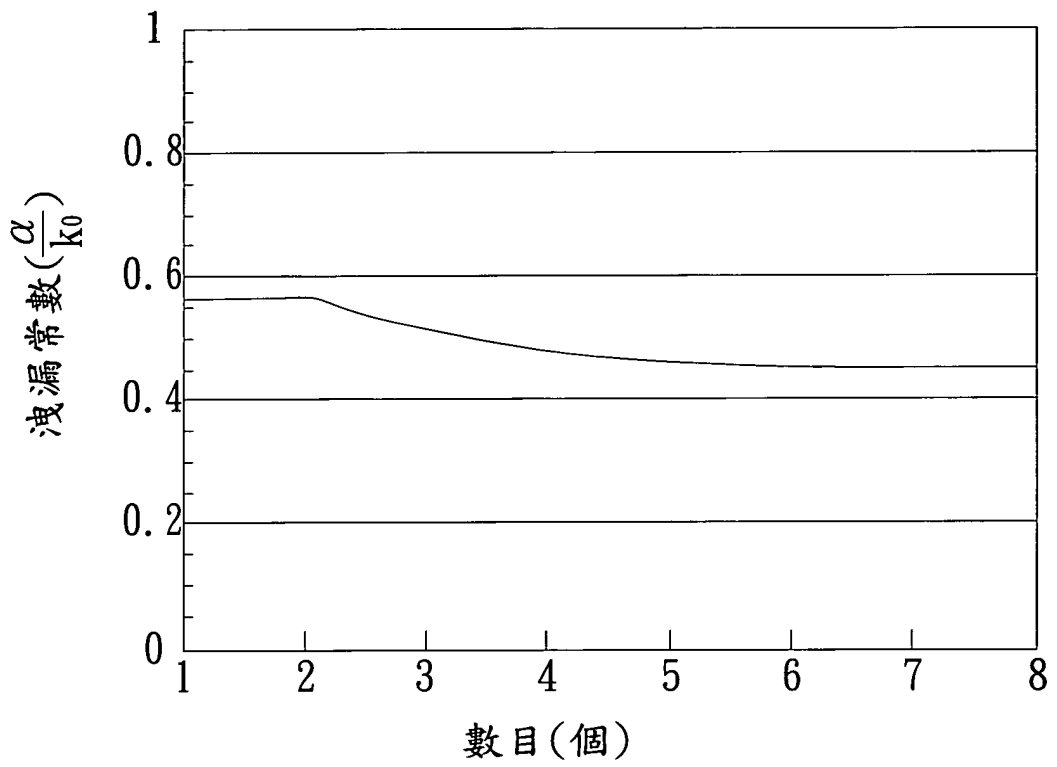
第 3 圖



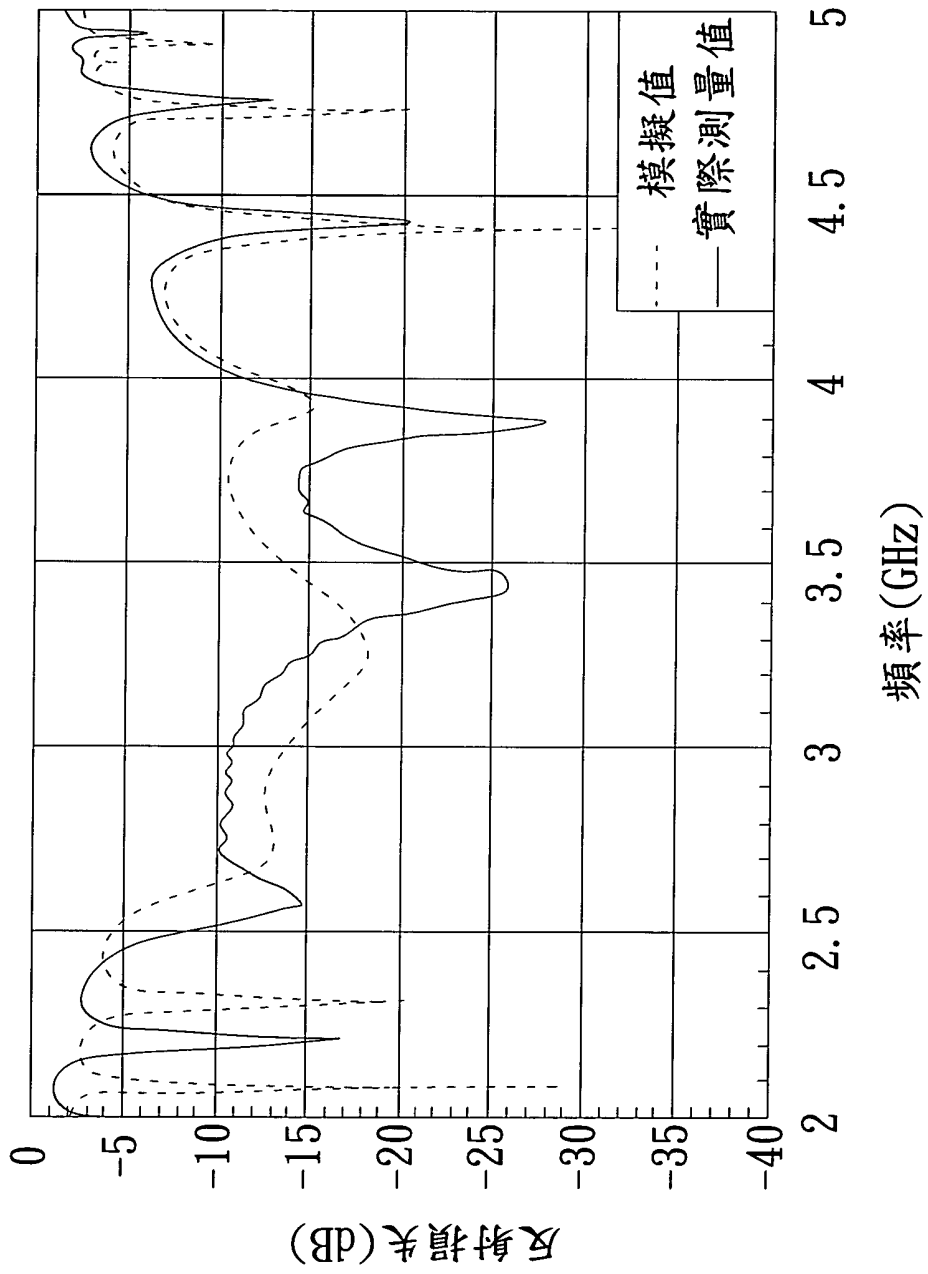
第 4 圖



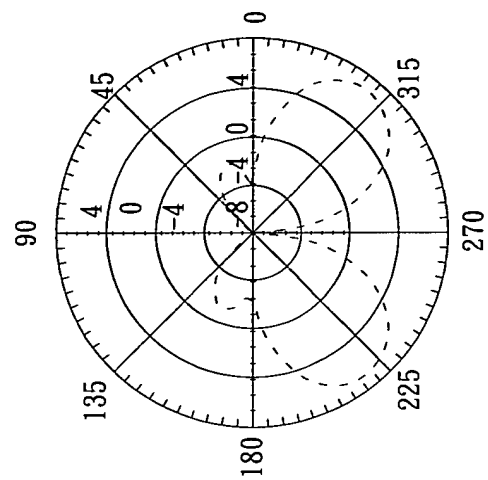
第 5 圖



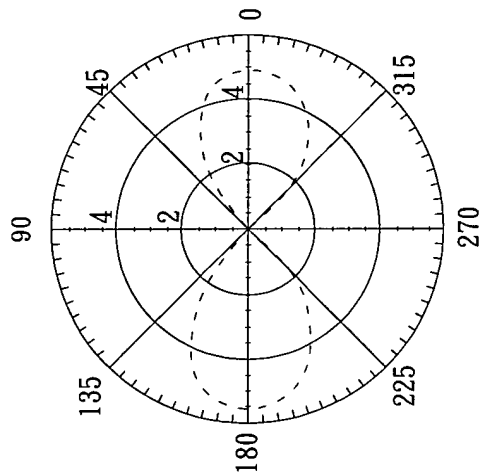
第 6 圖



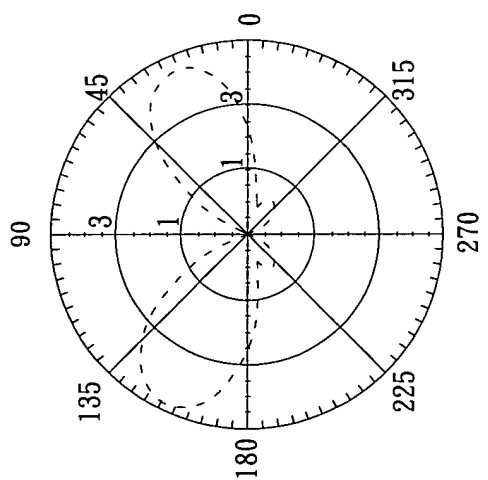
第 7 圖



(a) 2.75GHz



(b) 3.5GHz



(c) 3.9GHz

第 8 圖