

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫一：多頻道多標準天線系統(I)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2219-E-009-021-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程研究所

計畫主持人：林育德

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 10 月 12 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

多頻道多標準無線通訊系統關鍵射頻技術之研發

子計畫一：多頻道多標準天線系統

Multi-Band Multi-Standard Antenna System

計畫編號：NSC 92-2219-E-009-021

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：林育德 ydlin@cc.nctu.edu.tw 國立交通大學電信工程系

一、中文摘要

近年來無線通訊發展極為快速，為了因應大量的資料傳輸與多媒體，新的通訊協定與技術，也隨之發展。根據這個趨勢，射頻元件有必要被設計成能夠操作在不同的頻帶。本計畫目的在研發總計畫所提之多重輸入/多重輸出射頻收發機中之多頻道多標準天線系統，天線要達成多頻操作，有許多設計方式，本計畫將結合多重諧振路徑、多模諧振及外加電路元件之綜合方法來設計。印刷式天線及低溫共燒陶瓷晶片天線（LTCC）均將在本計畫被採用，以達成縮小天線尺寸及降低成本。

本計畫今年成果如下：

第一、將原本 3-D 繞線型結構的天線，有效地應用於低溫共燒陶瓷及多層平面印刷電路板的製程中，以達到體積小又能有效維持該結構工作效能的目的。

第二、在印刷電路板上，設計出折彎摺疊單極天線有雙頻的效果，且利用緩變折彎摺疊的方式來增加頻寬。

關鍵詞：多頻道/多標準天線，低溫共燒陶瓷晶片型天線，折彎摺疊單極天線

Abstract

Recently, wireless communication has drawn a lot of attention. New communication agreements and technologies are proposed to accommodate the transmission of a large quantity of multimedia data. In response to this trend, RF elements are designed to operate at various designated frequencies to coalesce the existing and the emerging communication systems. The purpose of this project is to develop multi-band multi-standard antenna systems for the proposed MIMO RF transceiver in the main project. There are several approaches to achieve multi-band operation for antennas. In this project, we will combine the multiple-resonance-path approach, the multi-mode-resonance approach and the additional lumped-element approach. Multi-band antennas based on both printed-circuit board (PCB) technology and low-temperature co-fired ceramic (LTCC) technology will be designed to provide compact, inexpensive components.

This year, this project has achieved:

1: The proposed multi-band antennas have been successfully implemented in 3D whip structure with low temperature co-fired ceramics (LTCC) technology and multi-layer printed

circuit board technology to achieve small dimensions and maintain excellent performance.

2: Bent-folded monopole antennas have been successfully designed with PCB technology to achieve dual band operations. Tapered structures are also proposed to further widen the operating bandwidth.

Keywords: Multi-band/Multi-standard Antenna, LTCC Antennas, Bent-folded monopole.

二、緣由與目的

行動通訊的需求已由以往單純的語音邁向包含影像、數據等多媒體，各類先進的行動通訊系統，包括高速率 3G 行動通訊系統，寬頻無線接取系統(包括各種 WLAN 系統)，乃至各類 B3G 行動通訊系統，均紛紛被提出、研發。由於多頻道多標準的緣故，其射頻元件想必定複雜且數目繁多，如果同時擺在一個系統內，不但耗費成本龐大，且相互之間的耦合干擾勢將造成系統性能之降低。本計畫之目標即在印刷電路板上設計出多頻道/多標準的天線。

就手機用天線之發展而言，第一代行動電話的天線多是使用外露 1/4 波長的金屬線天線(Monopole)，在接收電話時，使用者必須將天線抽出，操作較不方便。目前第二代的數位式行動電話的手機使用的天線有兩種，分別為將銅線捲繞成螺旋狀，但是長度仍為 1/4 波長的天線(Helical Antenna)，或者是在印刷電路上印製折屈的金屬線，線的總長也是 1/4 波長的天線，這兩種天線有效的減少天線的長度，但是手機上仍看得到一小節的凸出物，並不是很美觀，也容易因掉落而造成天線損毀。近年來高階行動電話，開始廣泛使用隱藏式天線，因此手機沒有天線外露，產品相當具有吸引力。隱藏式天線可以分成兩種，第一種為平面式天線，第二種即為多層陶瓷型式的天線，後者利用 3-維多層電路的結構，可以將天線尺寸進一步縮小。

因此本計畫提出平面印刷式及多層

陶瓷型式的多頻天線。採用印刷式天線的原因為降低成本及利於與其他電路整合。除了印刷式天線外，我們亦採用 LTCC(低溫共燒陶瓷)之製程來實現多頻天線。採用此架構之基本原因為其輕、薄、短小之特性及可與其他被動電路整合成模組之潛力。

三、討論與結果

(一).雙頻螺旋寄生單極天線

1.1、LTCC 螺旋寄生單極天線

為了將天線體積縮小，使用了 LTCC 的製程來達成這種 3D 的繞線型天線結構；而在模擬過程中發現，除了在 H. Nakano 於[1]觀察到的寄生單極天線的位置與雙頻 f_1 與 f_2 的相對關係之外，事實上如果將單極天線固定在同一位置，而改變寄生單極天線的長度，在對於不同系統需求的雙頻相對關係上，也能夠獲得相當不錯的效果。

如圖 1-1 所示，為本節所討論之 LTCC 雙頻螺旋寄生單極天線（線寬 0.5mm），其設計參數如下：

$\epsilon_r=9.1$, Loss $\tan=0.003$, $L_c=10.5\text{mm}$
 $W_c=3.2\text{mm}$, $t_c=0.9144\text{mm}$, $P_h=1.5\text{mm}$
 $W_{\text{mpi}}=1.5\text{mm}$, $Y_{\text{mpi}}=0.5\text{mm}$, $\text{ground}=25\times 25\text{mm}$

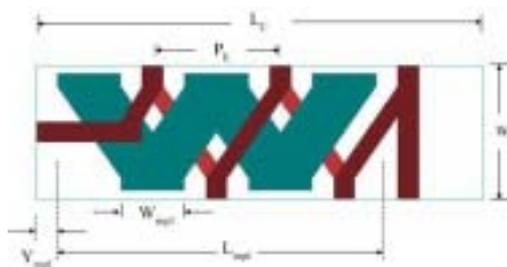


圖 1-1(a)LTCC 雙頻螺旋寄生單極天線

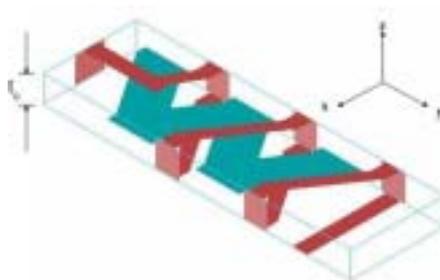


圖 1-1(b) LTCC 雙頻螺旋寄生單極天線



$L_{mpi}=7.5\text{mm}$ $L_{mpi}=6.0\text{mm}$ $L_{mpi}=4.5\text{mm}$

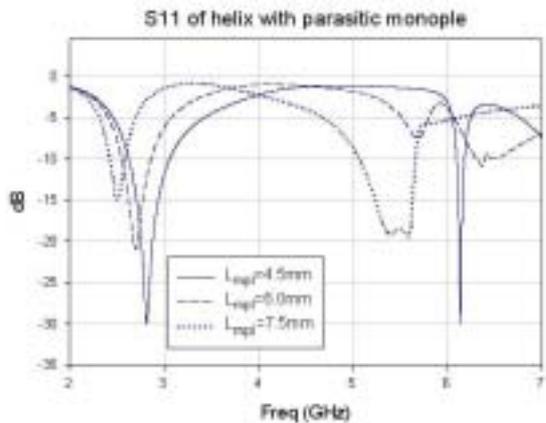


圖 1-2 不同寄生單極天線長度對頻率響應之影響（模擬結果）

如圖 1-2 所示,模擬的結果可以看出, 當寄生的單極天線長度增加, 第二頻往低頻移動的情況較第一頻為明顯, 且第二頻頻寬亦跟著變寬, 但卻也壓縮第一頻的頻寬, 因此在設計上, 這必須因使用需求而作取捨; 在多種嘗試的情形之下 L_{mpi} 的最佳值為

1.5mm, BW1 : 2.43 ~ 2.58 GHz, BW2 : 5.07 ~ 5.65 GHz ($S_{11} < -10\text{dB}$)

除了由不同的寄生單極天線長度, 可以調整所需的 f_1 與 f_2 相對位置之外, 如果此時探討調整不同寄生單極天線的線寬, 對於頻寬效果的影響可發現 (如圖 1-3 所示), 在 f_2 附近會產生另一共振頻 f_3 , 因寬度增加而往 f_2 靠近, 因此如果能夠將 f_3 的阻抗與頻段作適當的調整, 使 f_3 的工作頻段與 5.725 ~ 5.825 GHz 匹配, 將使得單一的 LTCC 天線即可滿足 IEEE 802.11a/b 的所有工作頻段。



$W_{mpi}=1.5\text{mm}$; $W_{mpi}=1.0\text{mm}$; $W_{mpi}=0.5\text{mm}$

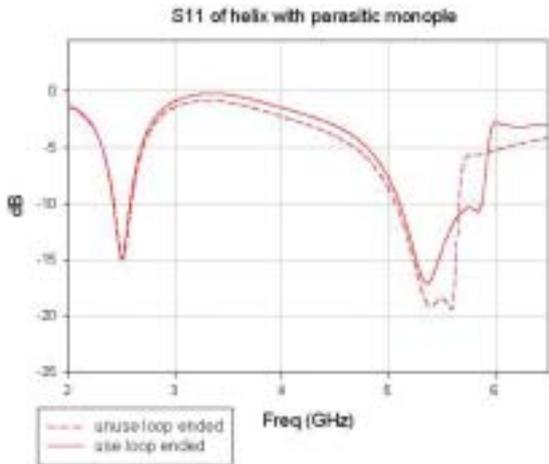


圖 1-4、將螺旋天線的尾端做成迴圈形式可有效將 f_2 調整到欲求的頻寬

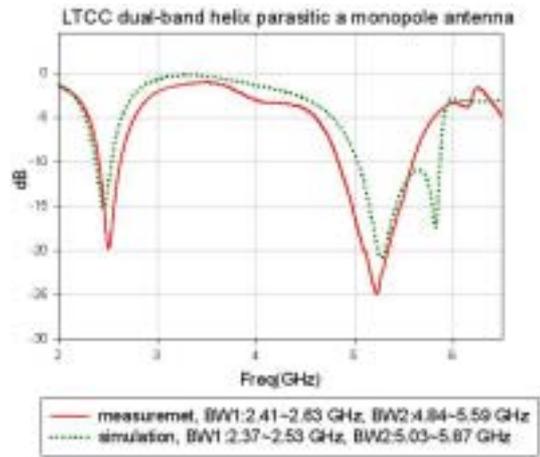


圖 1-6、(a)S11 量測與模擬之比較

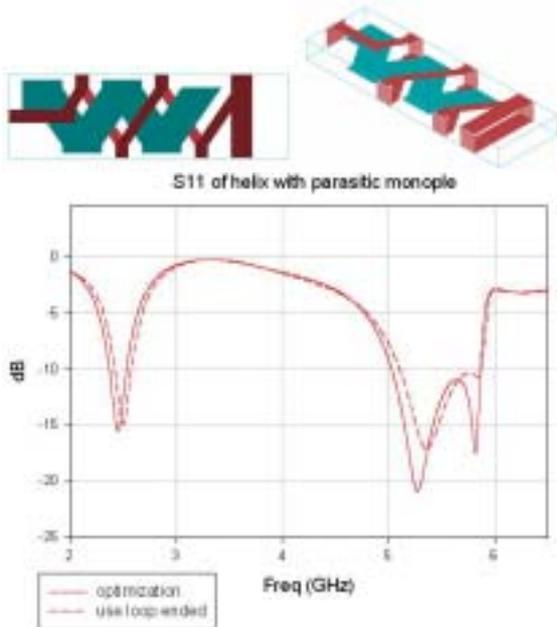


圖 1-5、將寄生單極天線最佳化之後，所得之頻率響應(BW1 : 2.37~2.53 GHz、BW2 : 5.03~5.87 GHz)

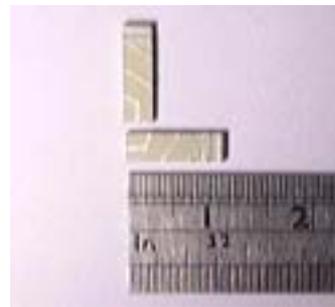


圖 1-6、(b)LTCC 天線實體圖

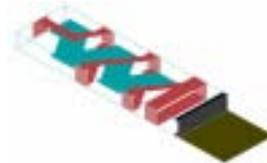
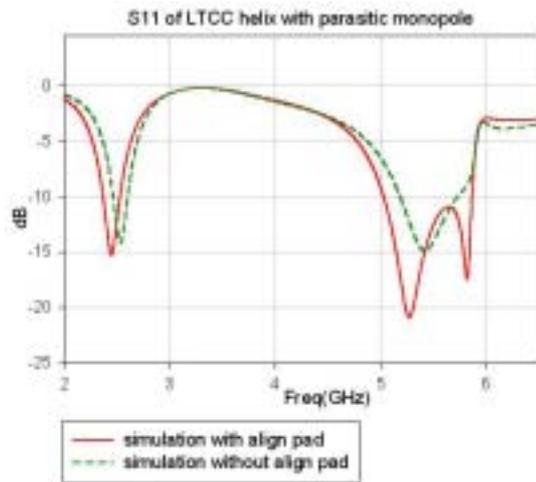


圖 1-7、定位焊點對 LTCC 頻率所造成之寄生效應

1.2、LTCC 螺旋寄生單極天線量測結果與討論

圖 1-6 為 LTCC 螺旋寄生單極天線量測與模擬的頻率響應曲線，而該天線第一頻的中心頻率略高，第二頻的中心頻略低且頻寬不如預期，造成第二頻頻寬不足的主要原因，在於寄生效應所產生的第三共振點無法有效的匹配。

對此，在經由 HFSS 對可能的原因作模擬之後，第三共振點產生匹配的原因，除了天線尾端做迴圈的型式之外，尚需 LTCC 晶片尾

端定位焊點與天線所造成的寄生效應，才能使得頻寬有效加寬（圖 1-7）。由於 LTCC 的陶瓷材料，於燒結時會有收縮的現象，通常會使得實物與設計時的幾何形狀不盡然相同，而此次經華新科所提供的十幾個樣品中，其主要出現的兩種曲線，如圖 1-8 所示，而由其側視圖也大致可看出天線有彎曲變形的現象，因此使得其工作特性受到影響，表 2-1 為其餘量測樣品之第一頻與第二頻之共振頻與頻寬狀況。

為該天線 sample 1 於 2.52 及 5.22GHz 之場型，所顯示之結果與模擬的場型十分相近，在這一方面的表現上，該天線還算理想。

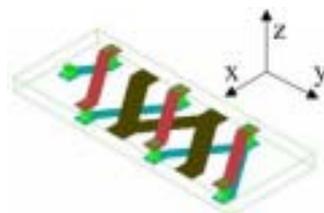
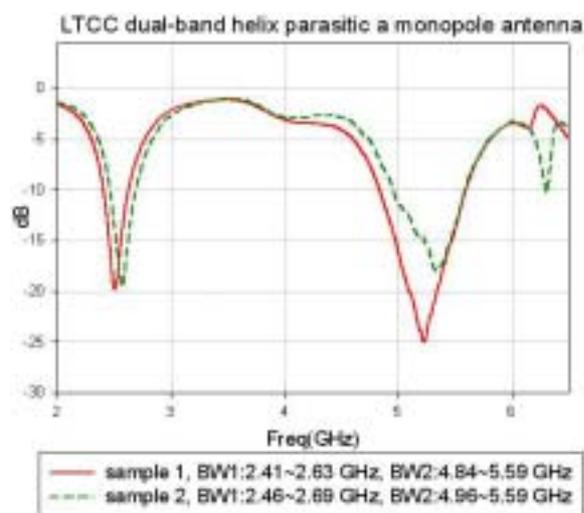


圖 1-9(a)、天線場型量測參考座標



1-8、(a)LTCC 天線樣品主要曲線典型

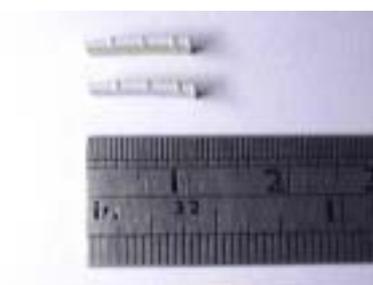


圖 1-8、(b) LTCC 天線實體側視圖

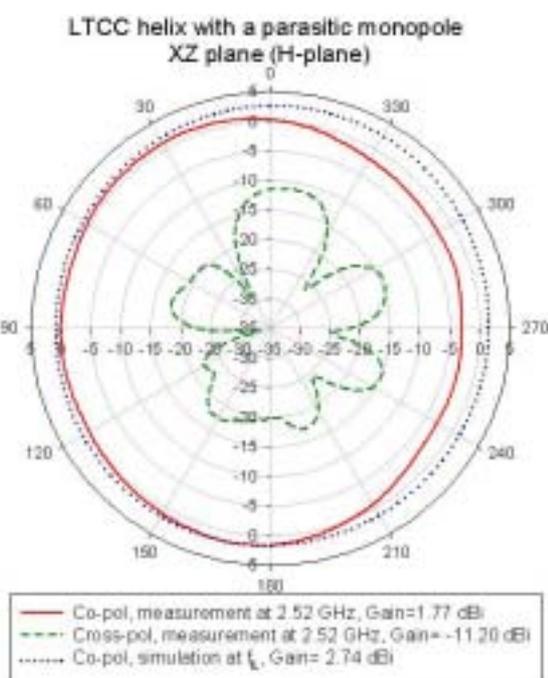


圖 1-9(b)、低頻 xz 平面場型

編號 項次	1	2	3	4	5
BW1(GHz)	2.46~2.69	2.47~2.7	2.46~2.68	2.45~2.7	2.48~2.72
BW2(GHz)	4.90~5.57	4.99~5.77	5.06~5.55	4.90~5.63	5.13~5.58
	6	7	8	9	10
BW1(GHz)	2.46~2.69	2.47~2.69	2.46~2.67	2.41~2.63	2.47~2.70
BW2(GHz)	4.96~5.59	5~5.8	5.03~5.54	4.84~5.59	5.1~5.56

表 1-1、LTCC 螺旋寄生單極天線量測樣品之第一頻與第二頻之共振頻與頻寬狀況圖 1-9

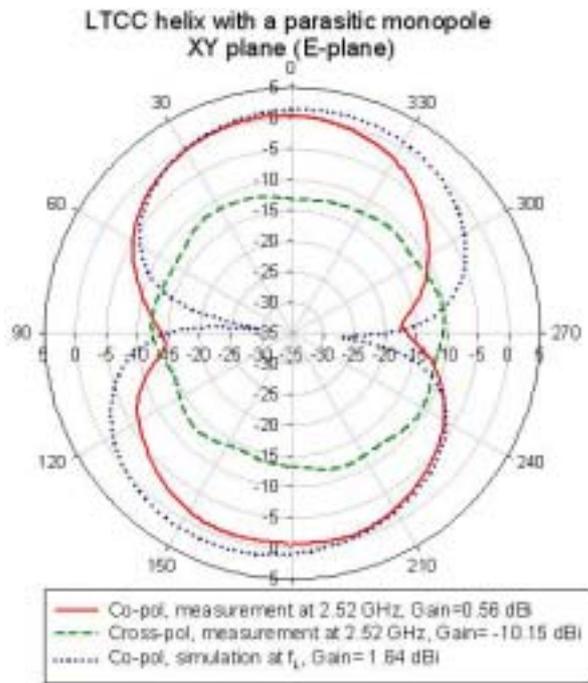


圖 1-9(c)、低頻 xy 平面場型

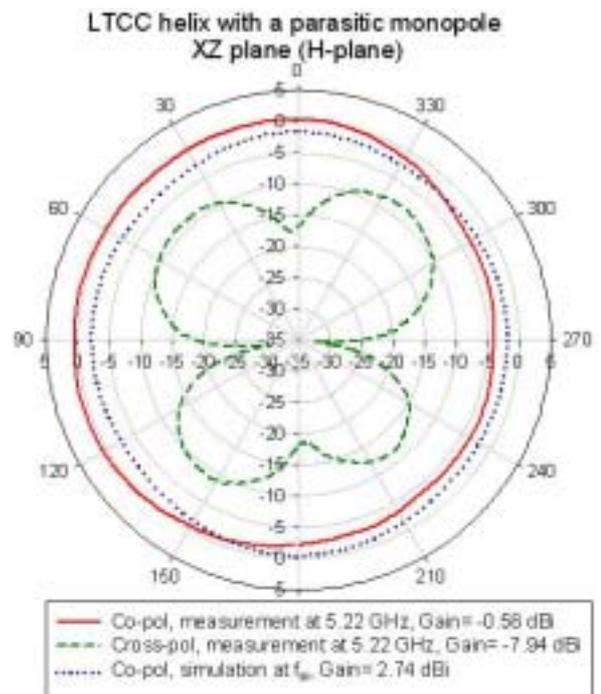


圖 1-9(e)、高頻 xz 平面場型

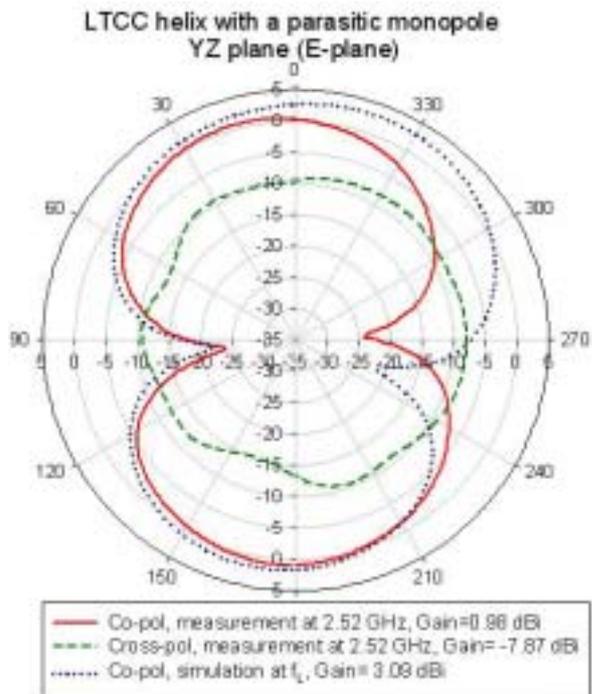


圖 1-9(d)、低頻 yz 平面場型

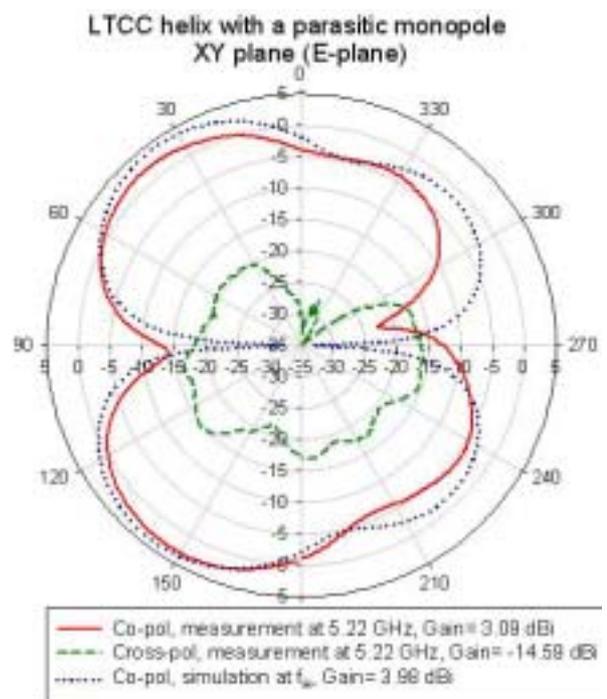
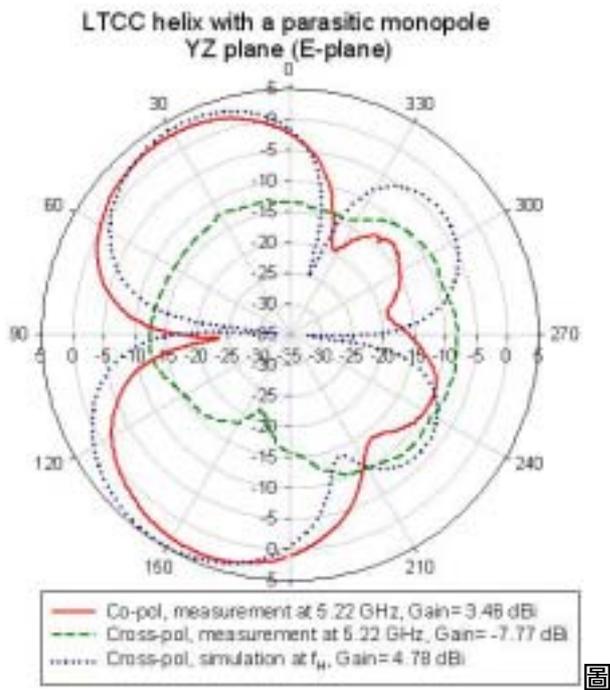


圖 1-9(f)、高頻 xy 平面場型



2-9(g)、高頻 yz 平面場型

1.3、FR4 多層板螺旋寄生單極天線

應用螺旋寄生單極結構於 FR4 材質的多層板製程中，如圖 1-10 所示。設計的參數如下：

$$\epsilon_r=4.4, \quad \text{Loss tan}=0.02, \quad L_c=15\text{mm}$$

$$W_c=5.6\text{mm}, \quad t_c=0.8\text{mm}, \quad P_h=3.8\text{mm}$$

$$W_{mpi}=1.2\text{mm}, \quad Y_{mpi}=3.4\text{mm}, \quad \text{ground} = 25 \times 25\text{mm}$$

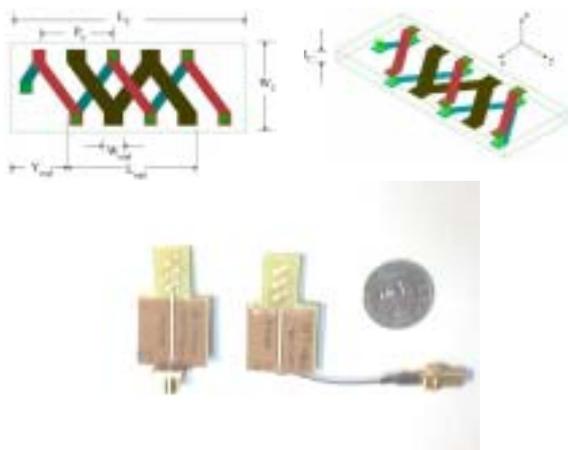


圖 1-10、FR4 雙頻螺旋寄生單極天線實體圖

如圖 1-11 所示，利用不同長度的寄生單極天線，去調整雙頻比例的關係與頻寬的對應。而此天線場型與 LTCC 製程的天線十分相

似，在此就不贅述。

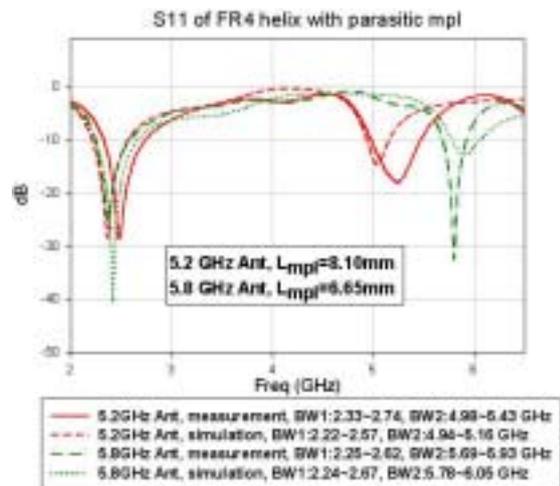


圖 1-11、2.4/5.2, 2.4/5.8 GHz 雙頻 FR4 螺旋寄生單極天線 S11 頻率響應

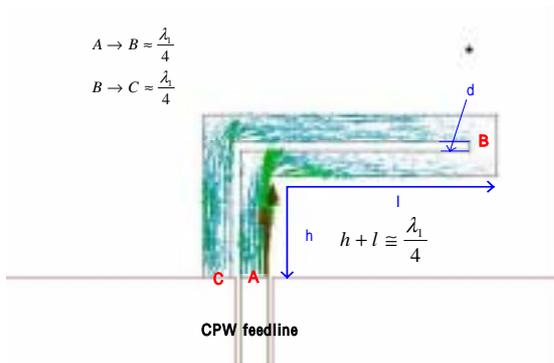
(二). 折彎摺疊單極天線

2.1、折彎摺疊單極天線

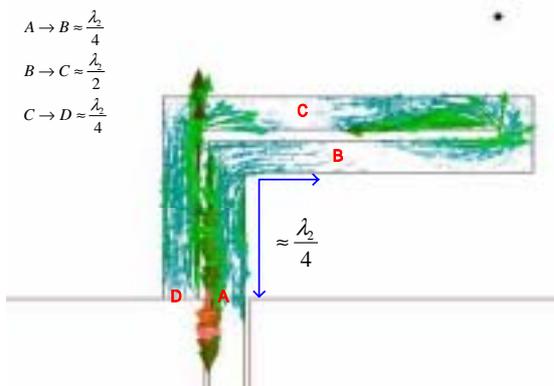
使用的材質為 FR4 基板，其規格如下：
介電常數(Dielectric constant ϵ_r) : 4.4 損耗正切(Loss tangent, $\tan \delta$) : 0.02
導體金屬：銅(copper) , 5.88×10^7
板材厚度：1.58mm
所設計之天線，其工作頻段包含 2.4GHz ISM 頻段與 5.25-5.35GHz 及 5.725-5.825 GHz 供無線資訊傳輸設備 (Unlicensed National Information Infrastructure) 使用之頻段。而天線體積方面，是以盡量縮小體積為設計的原則。

如圖 2-1 所示，為一折彎摺疊單極天線(bent-folded-monopole) [3]，可以被視為兩個倒 L 型天線上下連接，又具有摺疊單極天線的特性，因此阻抗值較一般倒 L 型天線高約四倍，故較易與 50Ω 傳輸線匹配，使其共振良好。

折彎摺疊單極天線有雙頻的特性[4]。設計時，先取第一共振頻率所對應的四分之一波長，將 $h+l$ 長度定在約四分之一波長的長度，調整適當的 d 值，即能得到雙頻的效果。圖 2-2 為 d 值對頻率響應的影響。



第一共振頻率的電流分佈圖



(b) 第二共振頻率的電流分佈圖
圖 2-1、折彎摺疊單極天線的架構

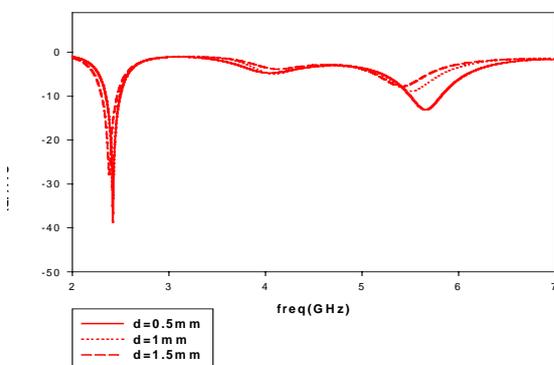
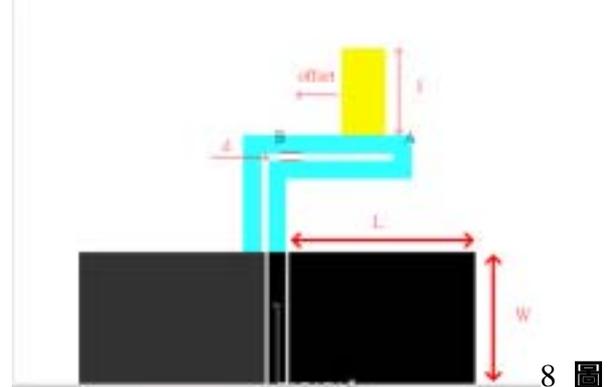


圖 2-2、d 值對頻率響應之影響

如果可以将 4.3GHz 的共振模調整，使之匹配，那即可達到多頻天線的功能。因此我們便嘗試改變結構，結果發現在第二共振頻率的短路端附近，外加一金屬貼片，其用意類似一並聯的開路殘段，即可使原本 4.3GHz 的共振模往高頻移動，且匹配良好，其結構如圖 2-3 所示：

- d(mm)：天線的間隔
- l(mm)：金屬貼片的長度
- Offset(mm)：從 A 點往 B 點移動的距離

L(mm)：地的長度
W(mm)：地的寬度



2-3、多頻天線結構圖

當貼片長度(l)增長時，其頻率響應的變化，如圖 2-4 所示。當貼片長度增長，其共振路徑亦增加，因此其共振頻率應該會往低頻移動。且阻抗匹配的情況亦受金屬貼片的影響而改變。

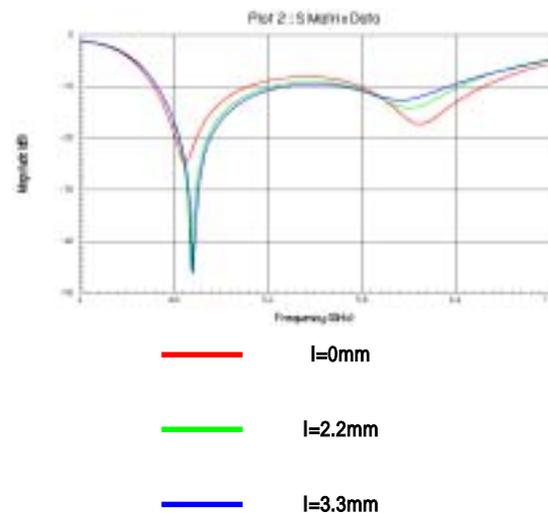


圖 2-4、貼片長度(l)的影響

由於金屬貼片長度(l)超過 $\lambda/4$ ，故可視為一電感性的負載(jX)。而殘段所並聯的負載(ZL)，會隨位置而改變，當位置由短路點移動至開路點，其值會變大，因此其效果等效為串聯電感值增加

2.2、實作與量測的結果

其量測與模擬的頻率響應如圖 2-5 所示，量測到的數值如下：

共振頻率 (GHz)	2.47	5.48
頻寬(GHz)	2.39~2.54	4.75~5.88

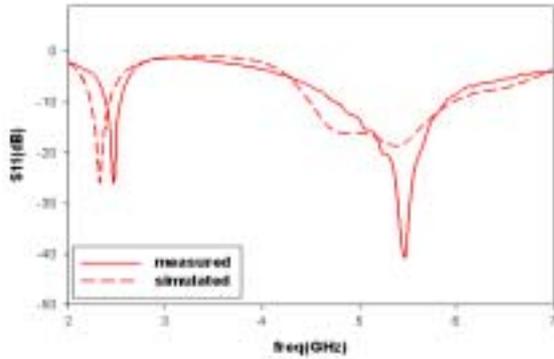
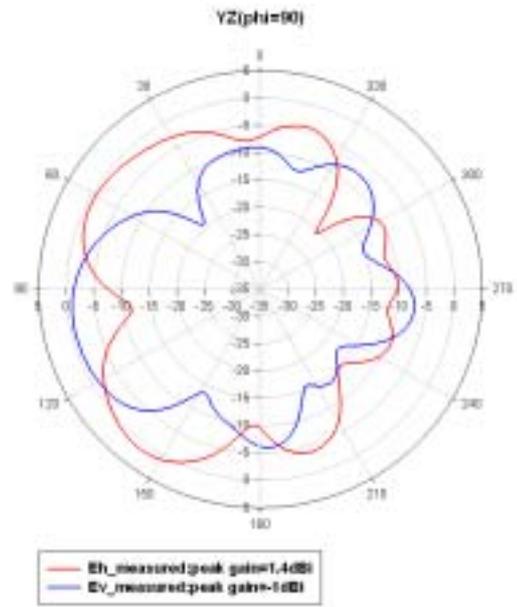
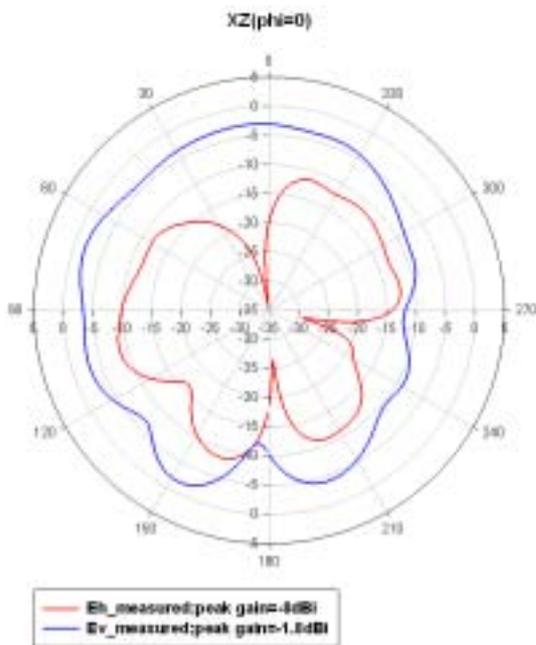


圖 2-5、頻率響應圖

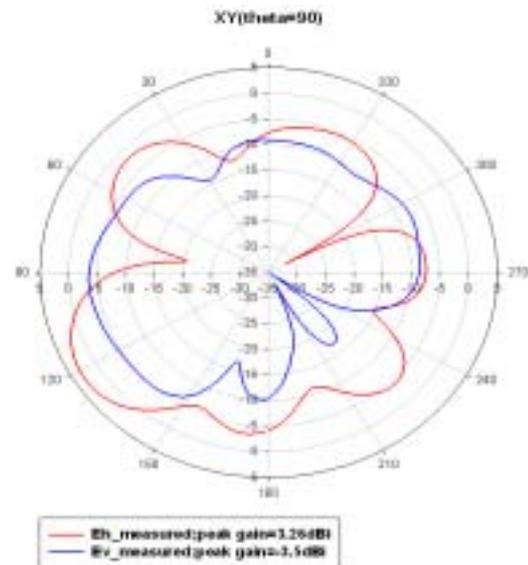


(b)yz 切面

量測與模擬的遠場場型，如圖 2-6、圖 2-7 所示：

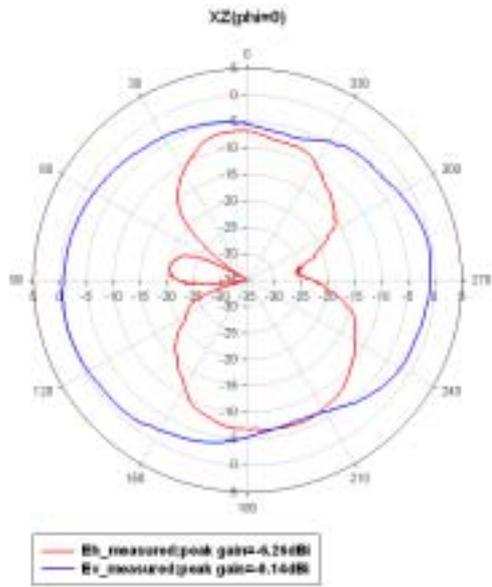


(a)xz 切面

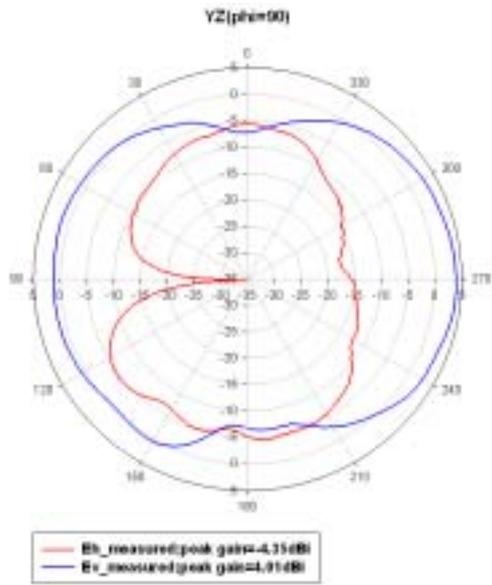


(c)xy 切面

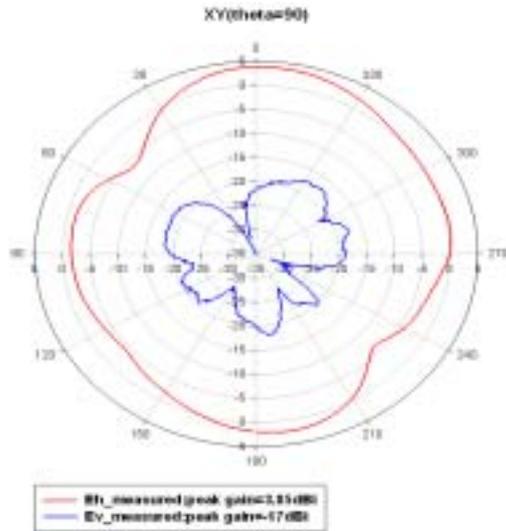
圖 2-6、2.47GHz 各切面的場型



(a)xz 切面



(b)yz 切面



(c)xy 切面

圖 2-7、5.48GHz 各切面的場型

2.3、緩變折彎摺疊單極天線

如圖 2-8 所示，藉由在高頻的共振路徑開路端增加緩變折彎(taper)的程度，來增加頻寬。圖 2-9 為緩變折彎摺疊單極天線之 S11 量測與模擬之比較。明顯的未使用緩變折彎後，高頻的頻寬由 21%增加到 36%。量測的遠場場型，如圖 2-10 所示：

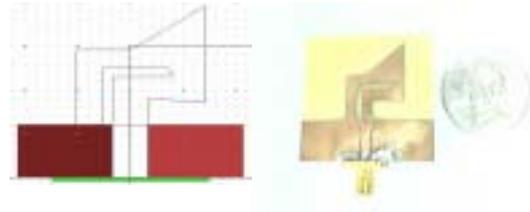


圖 2-8、緩變折彎摺疊單極天線結構

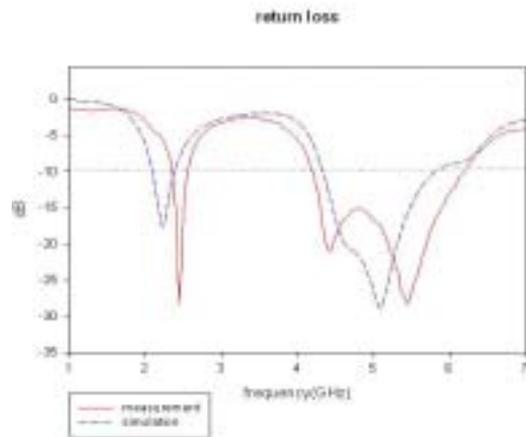


圖 2-9、緩變折彎摺疊單極天線之 S11 量測與模擬之比較

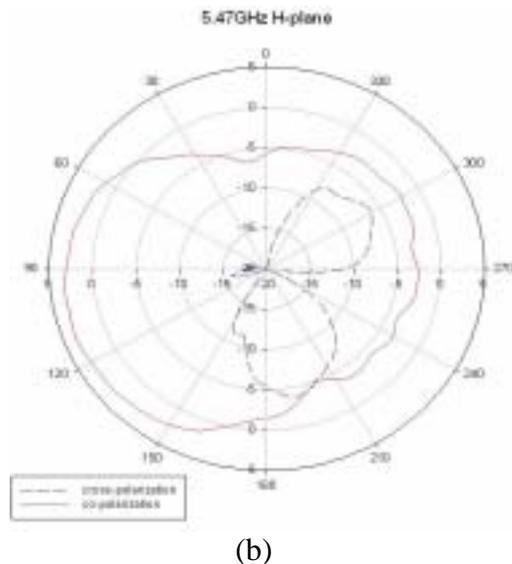
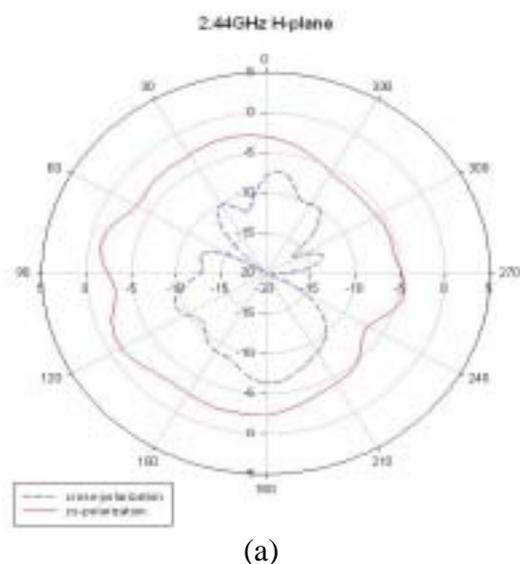
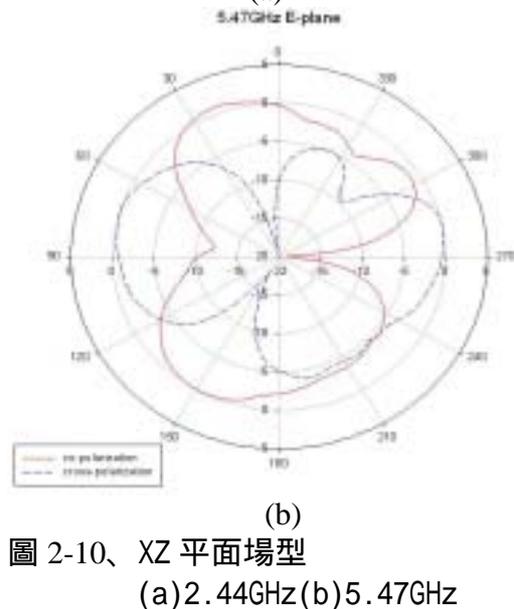
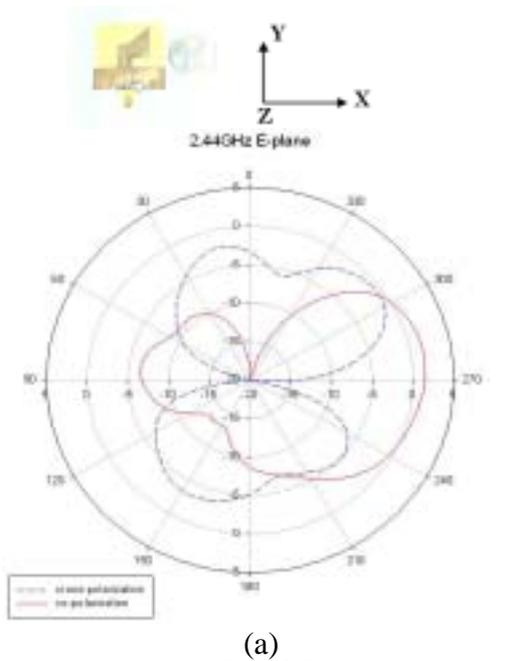


圖 2-11、YZ 平面場型
(a)2.44GHz(b)5.47GHz

四、計畫成果

(一).以 LTCC 及多層印刷電路板的製程實現原本繞線型結構的天線,且其頻段亦有較佳的效果($f_1=2.45\text{GHz}$, $BW_1=6.5\%$; $f_2=5.47\text{GHz}$, $BW_2=14.5\%$)。

(二).設計出折彎摺疊單極天線具有雙頻的效果,頻段上 $f_1=2.47\text{GHz}$, $BW_1=6\%$; $f_2=5.48\text{GHz}$, $BW_2=21\%$,且改良後的緩變折彎摺疊單極天線第二頻率之頻寬可增加至 36%。

五、參考文獻

- [1] H. Nakano, N. Ikeda, Y. Y. Wu and R. Suzuki, "Realization of dual-frequency and wide-band VSWR performances using normal-mode helical and inverted-F antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 788-793, Jun. 1998.
- [2] 黃喬欣, "低溫共燒陶瓷晶片天線之設計," 交大電信工程系碩士論文; 2002.
- [3] European patent application: EP0802577A1.
- [4] Lee, E., Hall, P.S., Gardner, P., "Dual band folded monopole/loop antenna for terrestrial communication system," *IEE Electronics Letters*, Vol. 36, Issue 24, Nov. 2000.

[5] P. Salonen and M. Keskilampi,
“Novel dual-band planar inverted-F
antenna,” 2000 Asia-Pacific
Microwave Conference Digest,
pp.706–710, 3-6 Dec. 2000.