

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

鈮銀銅氧化物薄膜物理與元件研究(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2112-M-009-030-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系

計畫主持人：郭義雄

共同主持人：莊振益，林俊源，溫增明，吳光雄

計畫參與人員：賴良星，鄭慧愷

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 93 年 5 月 31 日

國科會 92 學年度計劃進度報告

一、摘要

本計劃為利用微波量測研究高溫超導體之物理機制及其元件之特性。我們在本學年度內已完成摻鈣的鈮系薄膜($Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$) 環形共振器及微帶線共振器的製備，對於實驗條件的掌控已完全了解，實驗結果顯示出藉由控氧技術，我們控制電洞濃度 p 從 0.218 至 0.088，量測到超流體密度(ρ_s)對臨界溫度(T_c)的關係滿足 Uemura 關係式，在 T/T_c 小於 0.6 時，不同的電洞濃度其歸一化超流體密度對歸一化溫度的關係顯示在相同的曲線上，代表超導體機制完全發生在銅氧面上，在 $p < 0.16$ ，費米液體修整因子 α^2 約為 0.5，在 $p > 0.16$ ，費米液體修整因子 α^2 小於 0.5 且隨著 p 增加而減少，顯示在過摻雜區更不適合用費米液體來描述超導機制。而由 $2\Delta(0)/k_B T_c$ 之值皆具有約略相同性質，我們認為超導機制中古柏對之形成與費米液體與否只是充分而非必要者。以上這些實驗結果將有助於我們檢測正確的超導機制。

二、計劃執行進度與結果

(一) 高溫超導物理

我們利用脈衝雷射蒸鍍法(PLD)在鋁酸鐳(LAO)基板上、下兩面蒸鍍摻鈣的鈮系薄膜($Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$)，經由 X-ray 繞射實驗(如圖 1)，得知薄膜對基板的方向為 c 軸，因此，我們利用微波環形共振器

量測到的穿透深度為在 a-b 平面上的平均穿透深度，並且，我們利用控氧系統對同一個樣品改變其氧含量以控制其電洞濃度，圖 2 即為電洞濃度 $p=0.218$ 、 0.207 、 0.188 、 0.121 、 0.111 及 0.088 其共振頻率(f)對溫度(T)的關係圖，圖中顯示出 $p=0.218$ 在 5K 時其共振頻率為 3.62037GHz ，當 p 從 0.218 減至 0.188 時，在 5K 時的共振頻率漸漸增加，而後 p 從 0.188 減至 0.088 時，在 5K 時的共振頻率逐漸減少，此現象乃是因為超導體具有 Meissner 效應，超導電流只會在穿透深度的範圍內流動，而穿透深度又和共振頻率有關，從實驗上我們得到 $p=0.218$ 、 0.207 、 0.188 、 0.121 、 0.111 及 0.088 對應出在 5K 時的穿透深度分別為 210 、 165 、 155 、 170 、 200 及 250nm ，此穿透深度隨 p 的變化跟共振頻率隨 p 的變化是一致的。進一步的，經由共振頻率對溫度的變化，我們得出不同電洞濃度 p 之穿透深度的變化 $\Delta\lambda(T)=\lambda(T)-\lambda(5\text{K})$ 對溫度的關係(如圖 3)，在 $p=0.207$ 、 0.188 及 0.121 ，其溫度低於 30K 時， $\Delta\lambda(T)$ 對溫度的斜率約為 4 \AA/K 左右，而在 $p=0.218$ 及 0.111 時， $\Delta\lambda(T)$ 對溫度的斜率約為 6.5 \AA/K 左右，在 $p=0.088$ 時， $\Delta\lambda(T)$ 對溫度的斜率為 11.12 \AA/K ，再根據 d-wave 模式，對不同電洞濃度 p 算出其能隙 $2\Delta(0)/k_B T_c$ ，結果顯示能隙 $2\Delta(0)/k_B T_c$ 其值大小在 $6\sim 7$ 間，而與銅氧面上之氧含量沒有明顯的關係。這也顯示高溫超導機制古柏對之形成與 doping 或 underdoping 是有一致性的。表一即列出一些重要的實驗結果。

圖 4 為不同電洞濃度 p 之環形共振器之品質因子(Q)對溫度(T)的

關係圖，除了 $p=0.088$ 外，其他電洞濃度 p 在 $T=5K$ 時，其 Q 值皆高達 1.0×10^4 ，若扣除幾何因子的因素，則我們元件的 Q 值和其他研究群最好薄膜的 Q 值相當，代表我們元件薄膜的品質甚至表面的平整度以到達近乎理想的磊晶狀態。

圖 5 為 T_c 對最大 T_c 正規化後對電洞濃度關係圖，顯示摻鈣的鈮系薄膜 ($Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$) 滿足 Uemura 關係，圖 6 為不同的電洞濃度 p 其歸一化超流體密度對歸一化溫度的關係，在 T/T_c 小於 0.6 時，不同 p 其歸一化超流體密度對歸一化溫度的關係曲線座落在相同的曲線上，代表超導體機制從過摻雜區 (overdoped) 至低摻雜區 (underdoped) 皆是發生在銅氧面上，在 $p < 0.16$ ，費米液體修整因子 α^2 約為 0.5，在 $p > 0.16$ ，費米液體修整因子 α^2 小於 0.5 且隨著 p 增加而減少，此種效應顯示在過摻雜區是否適合用費米液體來描述超導機制仍舊有待進一度的釐清。

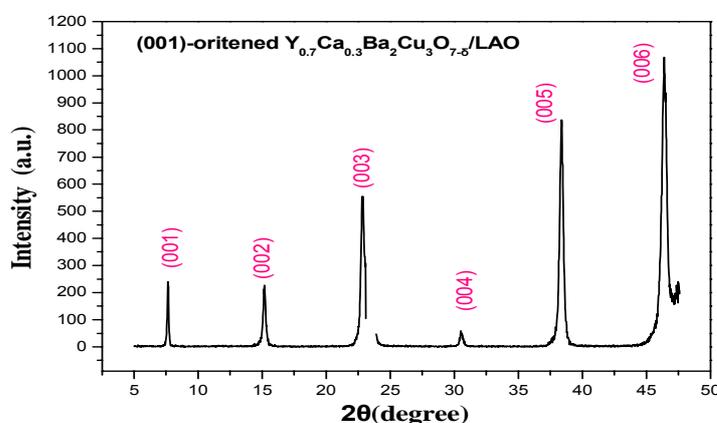


圖 1. $p=0.21$ 之摻鈣的鈮系薄膜 ($Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$) 的 X-ray 繞射結果。

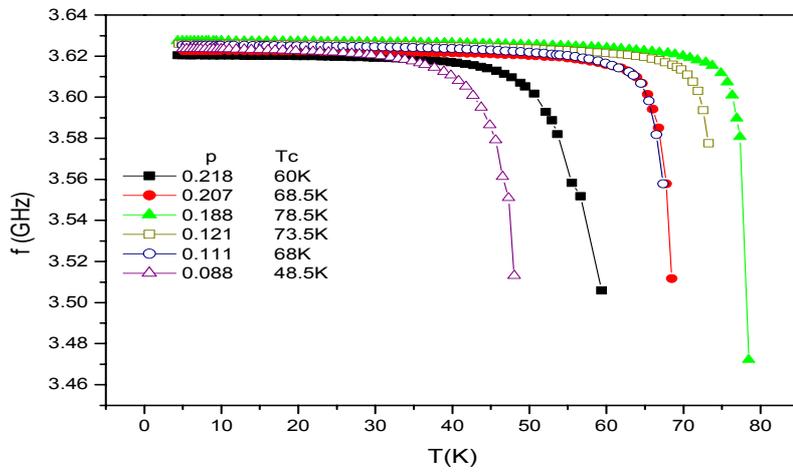


圖 2. 共振頻率對溫度的關係圖。

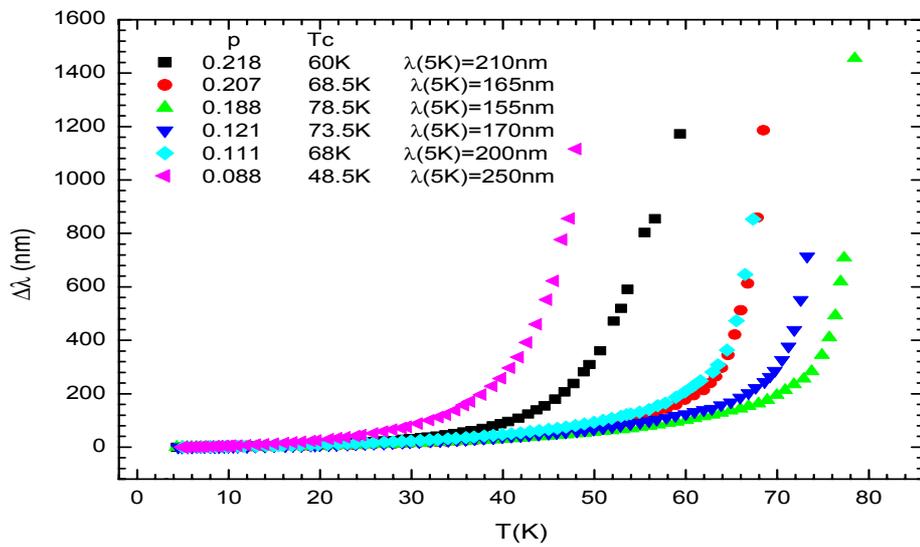


圖 3. $\Delta\lambda$ 對溫度的關係圖。

Hole concentration p	T_c (K)	f (GHz) (5K)	λ (5K) nm	$d(\lambda)/dT$ (A/K)	$2\Delta/k_B T_c$	$-d(\lambda^2(5K)/\lambda^2(T))/dT$ (1/K)	α^2
0.218	60	3.62037	210	6.63	6.18	0.0060	0.269
0.207	68.5	3.62269	165	4.20	6.97	0.0046	0.341
0.188	78.5	3.62740	155	3.74	6.04	0.0041	0.384
0.121	73.5	3.62595	170	4.36	6.41	0.0049	0.516
0.111	68	3.62532	200	6.55	6.91	0.0061	0.493
0.088	48.5	3.62364	250	11.12	6.57	0.0094	0.582

Table 1. Some parameters for $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_y$ thin films from microwave measurements.

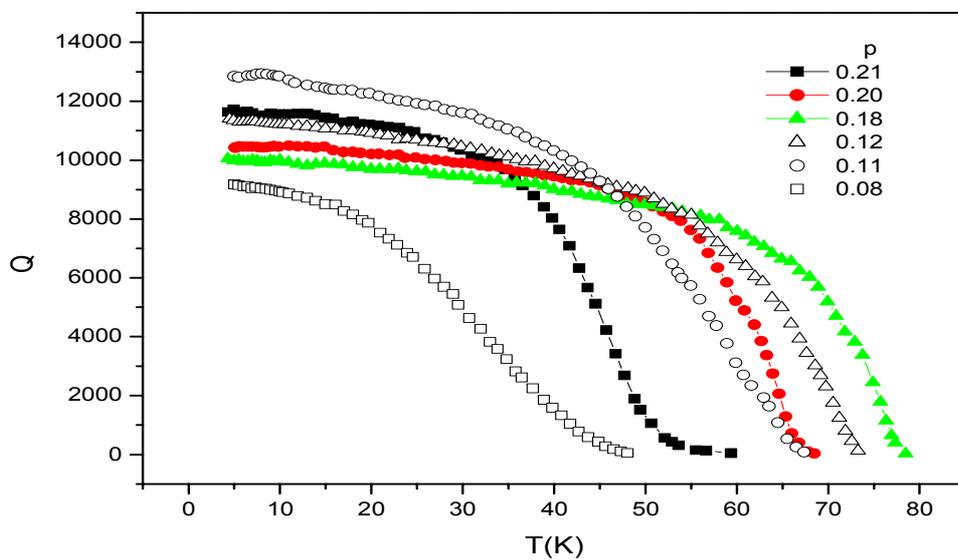


圖 4. 品質因子對溫度的關係圖。

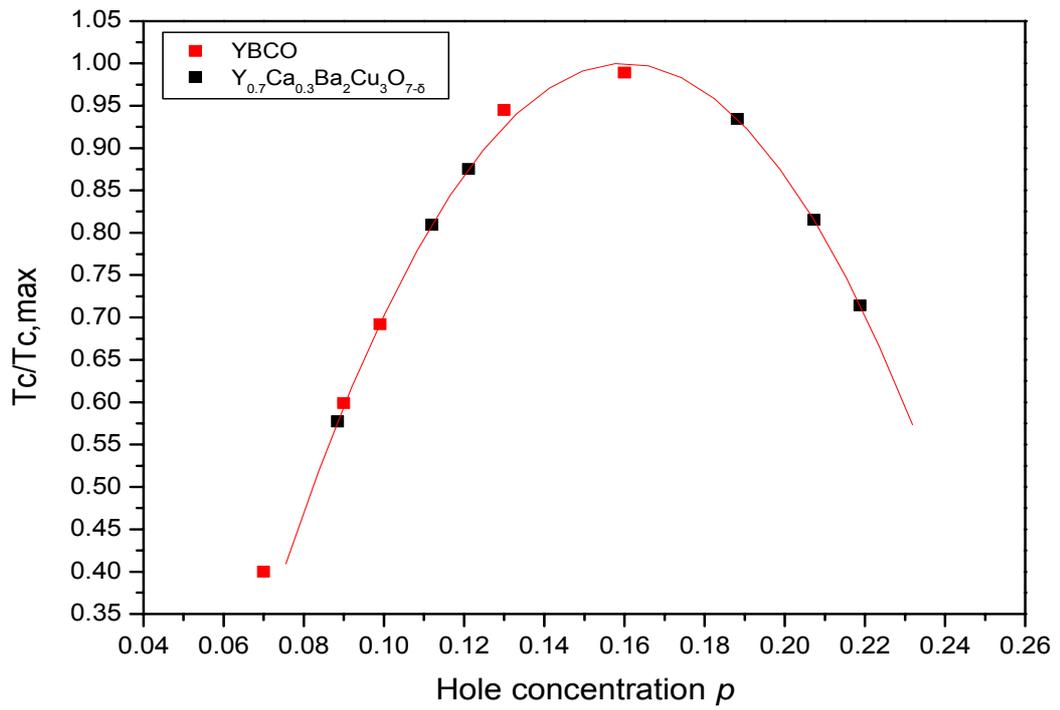


圖 5. (鍾形圖) T_c 對最大 T_c 正規化後與載子(電洞)濃度作圖。

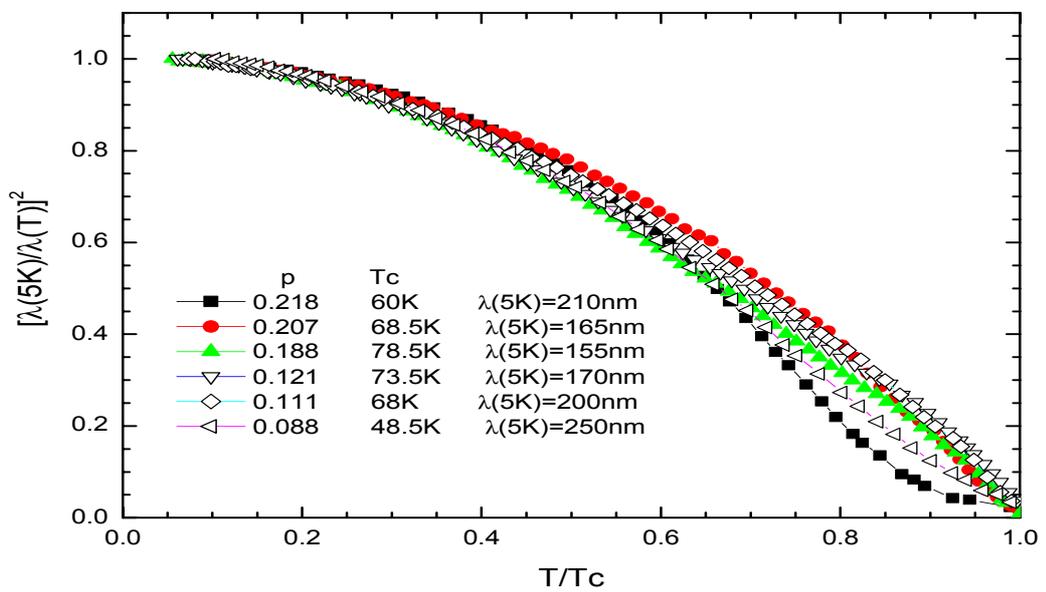


圖 6. $\lambda^2(5K)/\lambda^2(T)$ 對縮減溫度 T/T_c 的關係圖。

(二) 利用不同超導材質結構組成微帶線共振器用以研究高溫超導體之電磁特性

根據電磁學理論，在一個共振腔或傳輸線，只要邊界條件知道，我們就可以知道電磁場的分佈，進而求得共振頻率，再根據傳輸線理論，對於微條微帶線而言，在微帶線上的電磁場分佈是一種偽 TEM 波，然而只要兩傳輸線的阻抗彼此匹配，則信號仍然可以通過。但對超導體而言，由於超導電子對的波函數是很堅固的(rigidity)，因此超導電子對的相位可以形成長程有序(long range order)的結構，特別是高溫超導體，如鈮鉕銅氧薄膜的 T_c 高達 90K，在如此高的溫度下超導電子對在超導態時仍保有相位長程有序(long range order)的結構，我們感興趣的是在有外加電磁場作用下，相位長程有序(long range order)的結構對微帶線電磁傳輸性質的影響。首先，我們利用鈮鉕銅氧薄膜製成微帶線共振器，在中間位置開一空隙，空隙的寬度為 $50\ \mu\text{m}$ (如圖 7(a)、7(b)所示)，該微帶線共振器的頻率響應圖如圖 8 所示，在 $T=5\text{K}$ 時，只有共振模 $n=2$ 才會發生，其共振頻率為 10.3336GHz ， Q 值為 1.8×10^4 ，此鈮鉕銅氧薄膜的 T_c 為 90K，隨著溫度升高該共振頻率的穿透係數(S_{21})減小，直到 90K 該共振頻率才消失。圖 9 至圖 11 為改變空隙寬度之微帶線共振器，並在鈮鉕銅氧薄膜上蒸鍍摻鈣 30%之鈮鉕銅氧薄膜，實驗結果顯示在 $T=75\text{K}$ 時，空隙寬度 1.0mm 之微帶線共振器沒有共振頻率，然而空隙寬度 $50\ \mu\text{m}$ 的微帶線共振器則仍有

共振頻率 $f_2=10.2009\text{GHz}$ (共振模 $n=2$)，並且在 $n=1$ 共振模的位置似乎也有共振頻率，為了進一步確認相位長程有序的影響，所以我們做了一組對照實驗(如圖 12)，該微帶線共振器係在鈮鉍銅氧薄膜上蒸鍍摻鈣 30%之鈮鉍銅氧薄膜而不做任何空隙，圖 12(c)的頻率響應圖顯示共振模 $n=1$ 及 $n=2$ 皆會發生，因此，我們將繼續把空隙寬度做小，若頻率響應圖和圖 12(c)相同，則可確認相位長程有序結構的尺度。

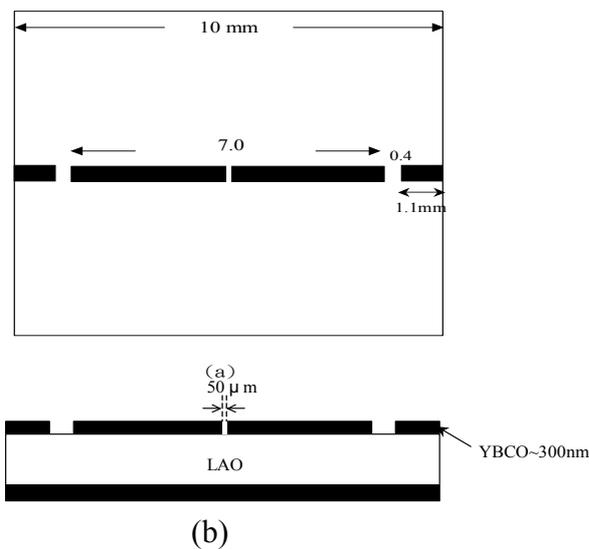


圖 7. 具有一空隙寬度 $50\mu\text{m}$ 之微帶線共振器(a)微帶線共振器之表面圖案(b)微帶線共振器之剖面圖。

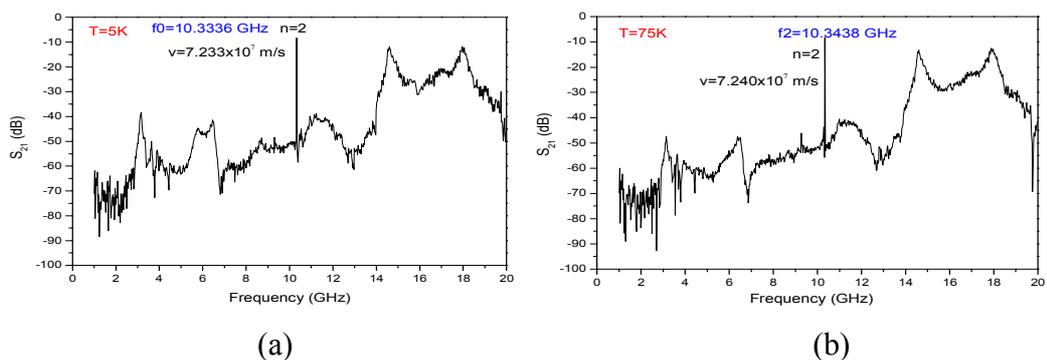
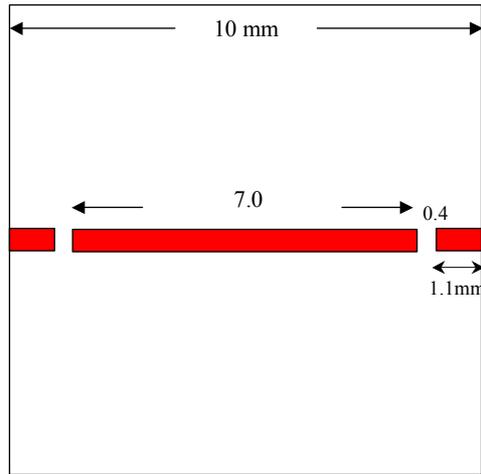
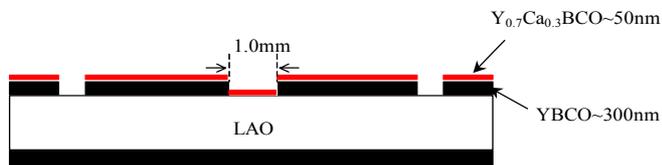


圖 8. 具有一空隙寬度 $50\mu\text{m}$ 之微帶線共振器的頻率響應圖

((a) $T=5\text{K}$ 及(b) $T=75\text{K}$)。



(a)



(b)

圖 9. 具有一空隙寬度 1.0mm 之微帶線共振器，並在钇鉍銅氧薄膜上蒸鍍摻鈣 30%之钇鉍銅氧薄膜(a)微帶線共振器之表面圖案 (b)微帶線共振器之剖面圖。

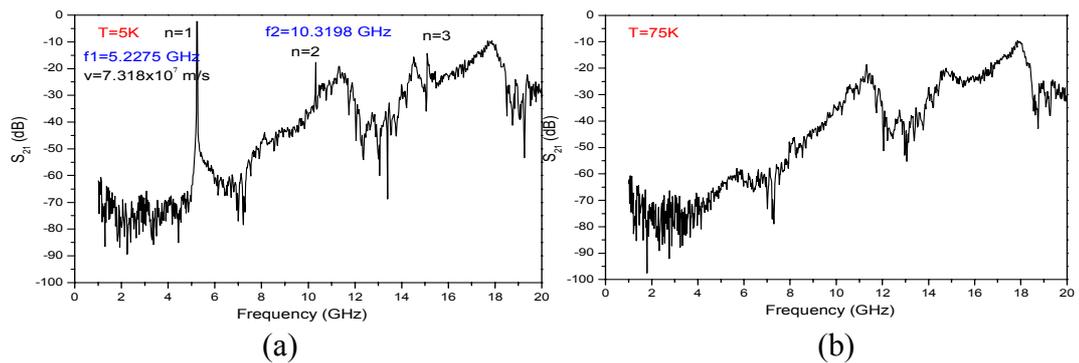


圖 10. 該空隙寬度 1.0mm 之微帶線共振器的頻率響應圖 ((a)T=5K 及(b)T=75K)。

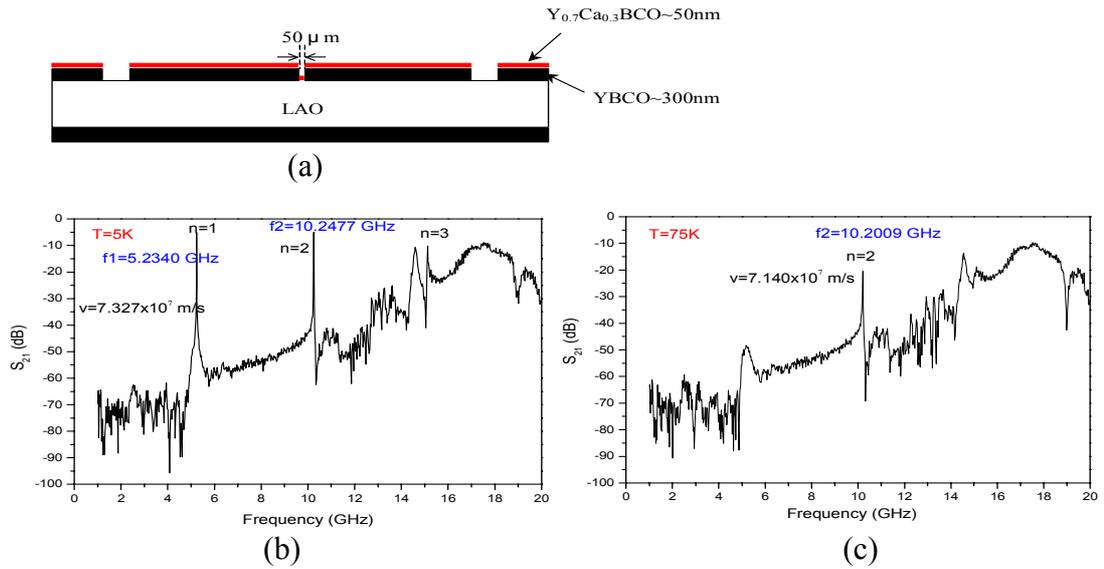


圖 11. (a)具有一空隙寬度 $50\ \mu\text{m}$ 之微帶線共振器之剖面圖，並在鈮鉬銅氧薄膜上蒸鍍摻鈣 30%之鈮鉬銅氧薄膜，(b)、(c)為該微帶線共振器的頻率響應圖，分別為 $T=5\text{K}$ 及 $T=75\text{K}$ 。

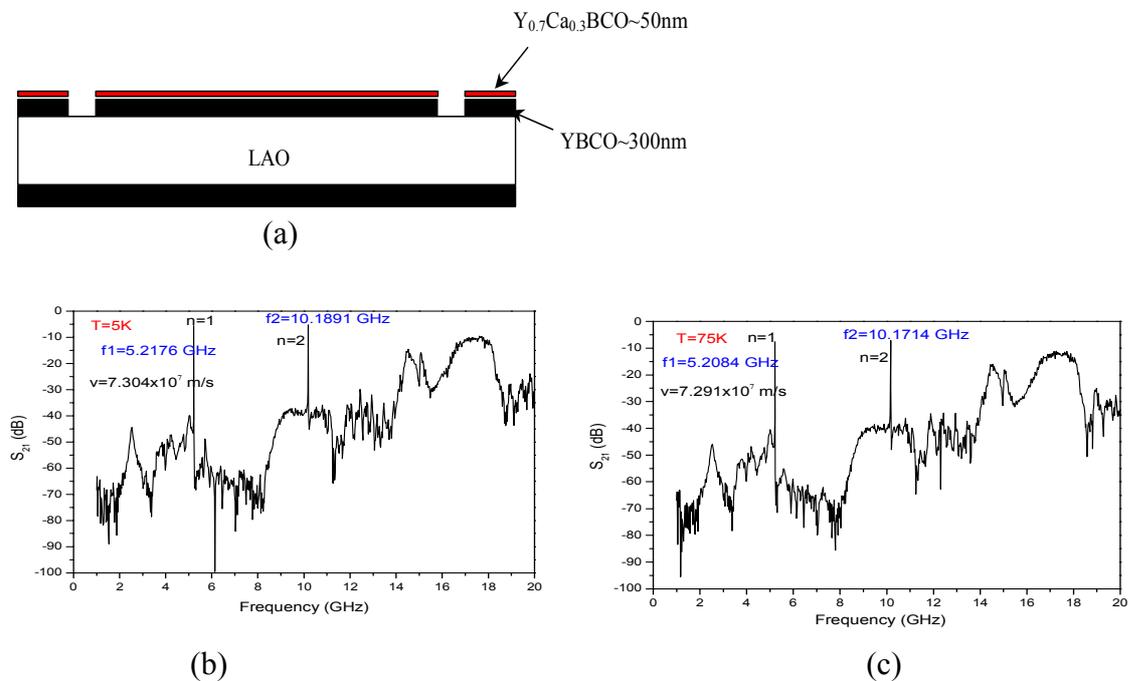


圖 12. (a)微帶線共振器之剖面圖，並在鈮鉬銅氧薄膜上蒸鍍摻鈣 30%之鈮鉬銅氧薄膜，(b)、(c)為該微帶線共振器的頻率響應圖，分別為 $T=5\text{K}$ 及 $T=75\text{K}$ 。

(三) 微波元件研製

我們利用密集化微小型共振電路之交錯耦合型帶通濾波器的架構去設計高溫超導濾波器，目前已成功地設計出中心頻率為 1.8, 2.4 和 3 GHz 的帶通濾波器，已達到我們縮小濾波器尺寸的目的。事實上，這是目前已發表之文獻中，尺寸最小的高溫超導微波濾波器。在應用上，1.8 和 2.4 GHz 的操作頻率可分別適用於 GSM1800 系統之行動電話基地台和寬頻應用上。量測濾波器的中心頻率在 1.82GHz、比例頻寬為 4.8%、通帶的插入損耗為 0.2 dB，此量測的結果與電腦模擬的結果非常的吻合。另外，我們將 S_{21} 的頻率響應做變溫的量測，量測結果顯示當溫度從 77 K 變化到 85 K 時，其濾波器中心頻率會從 1.82 GHz 變化到 1.76 GHz，總共頻移為 55 MHz。因此，只要我們改變系統的溫度，即可輕易的調變濾波器的頻率。

為了讓濾波器的尺寸符合於未來的通訊系統，因此濾波器的微小化是值得去深入探討的一個問題。我們除了利用更密集化電路圖形的設計技術達到縮小濾波器尺寸的目的，在未來還可以朝著設計更多階次的濾波器來發展，階次愈多可以增加通帶邊緣的衰減量，使濾波效果更佳。此外，我們希望更進一步研究利用電性可輕易的調變共振頻率之濾波器。