

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫二：飛秒級雷射光電技術應用於過渡金屬氧化物薄膜 物理特性之研究(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2112-M-009-014-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系(所)

計畫主持人：吳光雄

計畫參與人員：林博瑛、施伯宗、石訓全、林明炎、黃正馨

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 31 日

中文摘要

關鍵詞：超快光電技術、過渡金屬氧化物超快行為、超快激發-探測、泰拉電磁輻射、高頻響應、超快脈衝雷射蒸鍍

在本三年計畫中，我們將延續前面幾年有關利用超快技術量測高溫超導體物理特性的研究和脈衝雷射蒸鍍薄膜的經驗，繼續研究過渡金屬氧化物薄膜(包含鈣鈦礦超導薄膜、鈣鈦礦磁性薄膜、半金屬氧化物薄膜等)的超快光學反應，並評估利用超快雷射蒸鍍的可行性。

在時間解析的激發-探測研究方面，我們將建立高頻調制時間解析激發-探測光學測量系統，以便能定量分析上述樣品的超快弛緩行為，包含電子與聲子作用、載子弛緩行為、超導能隙與虛能隙的弛緩行為、電子自旋、電荷和軌道弛緩行為等，並希望藉此系統量測同調聲子的振盪行為。

在泰拉電磁輻射之產生與應用方面，我們將建立高頻自由空間電光取樣系統，來量測上述強關聯電子材料產生泰拉電磁輻射源的特性與其載子非平衡動力行為的關連。我們也將建立頻率可自數GHz調至數十THz的電磁輻射源，用來研究上述樣品及鐵電薄膜(如鈦酸鋇、鈦酸鋇鉍等)的高頻響應隨頻率與溫度變化的情形等，並與現有理論和整合計畫中的微波量測結果比較。

在超快脈衝雷射蒸鍍薄膜方面，我們擬利用高能量鎖模脈衝雷射蒸鍍各種材料的薄膜，研究超快脈衝雷射蒸鍍薄膜之最佳參數條件和對薄膜品質與成長機制的影響，以評估建立超快雷射分子磊晶成長技術的可行性。

英文摘要

Key words: ultrafast technique, ultrafast response of transition-metal oxides, ultrafast pump-probe, THz radiation, high frequency response, ultrafast laser deposition

There are two main subjects in this three-year project. One is to extend the previous investigation of the ultrafast response of high Tc superconductors to study the ultrafast behaviors of transition-metal oxides (including perovskite oxides such as high-Tc superconductors, colossal magnet resistive magnets and half-metal material, etc). On the other hand, the past experience on pulsed laser deposition will be further developed and the possibility of growing thin films by using ultrafast laser deposition will be executed.

For the case of time-resolved pump-probe experiments, a high frequency modulated pump-probe system will be installed to measure the ultrafast dynamics, such as electron-phonon interaction, relaxation dynamics of carriers, superconducting gap (pseudogap), spin, charge, and orbital ordering, of transition-metal oxides quantitatively. We also expect to observe the oscillation of coherent phonon of these materials.

For the case of THz generation and applications, a high frequency modulated free-space electro-optic sampling system will be built to measure the characteristics of THz radiation generated from the strongly correlated electron materials and to study the nonequilibrium processes of these materials. In addition, a tunable THz source (from several GHz to tens of THz) will be built to measure the high frequency response of transition-metal oxides and ferroelectric films (such as SrTiO₃ and Ba_{1-x}Sr_xTiO₃). These measuring results will be compared with those measured by the traditional microwave technique in our group.

As to the ultrafast pulsed laser deposition, a high energy, mode-locked laser will be used to deposit thin films. The optimum deposition conditions and the effects of short pulses on growth mechanism and the quality of thin films will be investigated. We shall estimate the possibility to establish the ultrafast laser MBE technique.

I. 報告內容

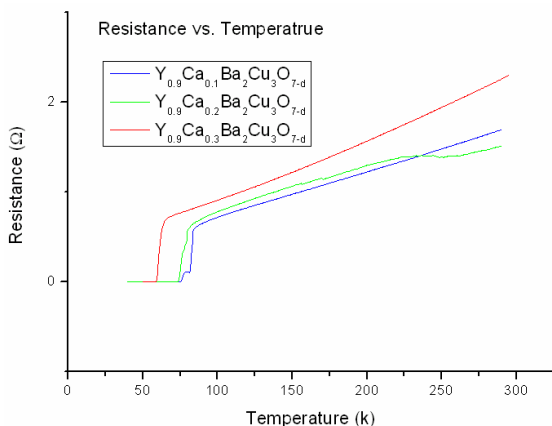
本年度計畫精簡報告分下列數項說明:

1. 利用時間解析激發-探測研究過摻雜的鈣鈣鈣銅氧($Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_7$)高溫超導薄膜的超導能隙和偽能隙的對稱性問題
2. 時空解析不足摻雜的鈣系高溫超導薄膜的光激載子遲緩動力時間問題
3. 建立固態雷射光激鎖模鈦藍寶石雷射和高頻調制時間解析激發-探測光學測量系統
4. 利用各種半導體材料產生兆赫電磁輻射之研究
5. 時域泰拉赫茲頻譜量測—鈣鈣銅氧超導薄膜的高頻響應特性
6. 時域泰拉赫茲頻譜量測—鑰鑰錳氧薄膜的高頻響應特性

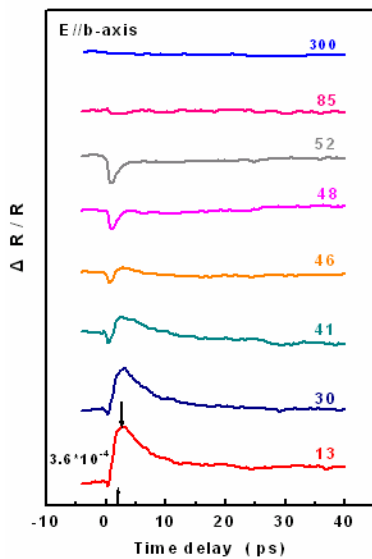
一、利用時間解析激發-探測研究過摻雜的鈣鈣鈣銅氧高溫超導薄膜的超導能隙和偽能隙的對稱性問題

在本年度計畫中，我們製備不同摻鈣量之鈣鈣銅氧($Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_7$, $x = 0.1, 0.2, 0.3$)高溫超導薄膜，其典型 R-T 圖如圖一所示，由於不同摻鈣量(0.1-0.3)之鈣鈣銅氧靶材成分不易控制，使製備的薄膜品質亦不易控制，故我們目前以 $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 為主要的樣品，包含 a 軸(100) ($T_c = 62$ K)及 c 軸(001) ($T_c = 61$ K)的薄膜。利用這些薄膜，我們延伸前面不同摻雜量對高溫超導能隙影響的研究，進一步研究過摻雜(overdoped)的鈣系高溫超導薄膜的超導能隙和偽能隙的對稱性問題。實驗上，我們利用極化激發-探測量測技術，來量測 $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 超導薄膜，受飛秒級脈衝光激發後，其載子弛緩的行為。

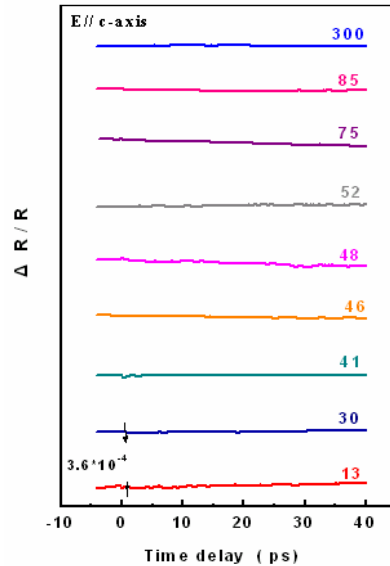
對於平面高度有序的 a 軸薄膜而言，在膜的表面，其 b 軸與 c 軸可明顯區分；再利用激發-探測光的偏振方向可調的特點，我們可以在激發-探測光平行於 b 軸與 c 軸的條件下，量測 $\Delta R / R$ 在不同溫度下，隨時間延遲的變化情形，其結果如圖二及圖三所示。對於 c 軸的薄膜而言，因為薄膜表面無方向性的差別，所以我們選用探測光與激發光之電場互相垂直來入射基板，這樣可以減少激發光與探測光的干涉效應，更利於結果數據的分析。其 $\Delta R / R$ 在不同溫度下，隨時間延遲的變化情形，如圖四所示。



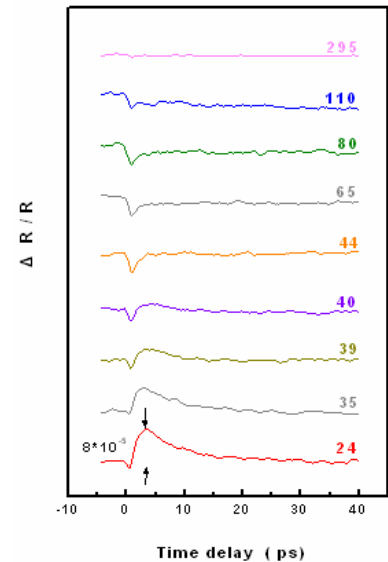
圖一 不同鈣摻雜鈣鈣銅氧薄膜樣品之電阻
隨溫度變化關係圖



圖二 (100) $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 薄膜當光電場平行於 b 軸 (垂直 ac 面) 時, 瞬時反射率變化($\Delta R/R$) 在不同溫度的變化情形

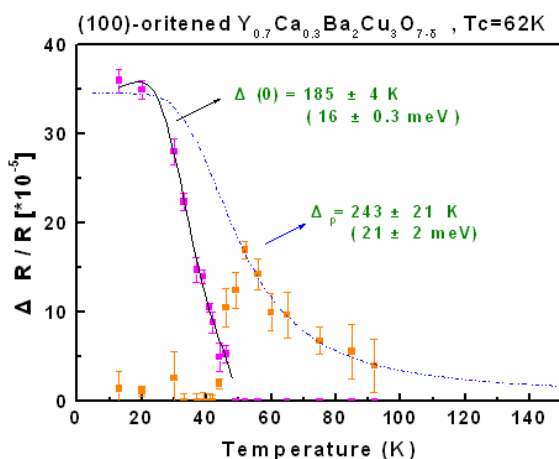


圖三 (100) $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 薄膜當光電場平行於 c 軸時, 瞬時反射率變化($\Delta R/R$) 在不同溫度的變化情形



圖四 (001) $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 薄膜, 其瞬時反射率變化 ($\Delta R/R$) 在不同溫度的變化情形

由圖中每一條曲線, 可分析出 $\Delta R/R$ 隨時間的變化, 在超導態下對應兩個弛緩時間的項, 即 $\Delta R/R(T, t) = A_1(T) \exp(-t/\tau_A) + A_2(T) \exp(-t/\tau_B)$, 依據 V. V. Kabanov *et al.* 的理論, $A_1(T)$ 中含不隨溫度而變的未知數 Δ_p , 即為我們所要求的偽能隙之值, 而 $A_2(T)$ 中含隨溫度而變的未知數 $\Delta(T)$, 即為我們所要求的超導能隙之值。所以我們經由電腦函數適配(fitting), 就可分別求得偽能隙 Δ_p 與超導能隙 $\Delta(T)$ 的值。



圖五 (100) $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 薄膜, $|\Delta R/R|$ 隨溫度變化圖

圖五是(100) $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 薄膜樣品的適配, 其 $\Delta R/R$ 的兩個分量 $A_1(T)$ 和 $A_2(T)$ 隨溫度的變化情形, 我們可以得到其對應的偽能隙 Δ_p 與超導能隙 $\Delta(T)$ 。經由分析計算, 我們得到

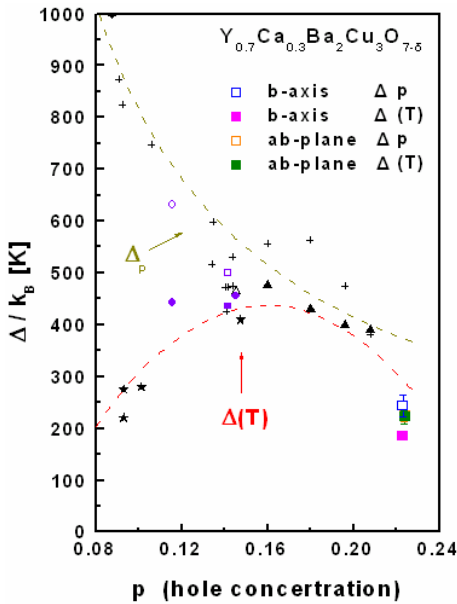
(1) a 軸薄膜($(100)Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$):

超導能隙 $\Delta(T)$ 為 185 ± 4 K (即 16 ± 0.3 meV) 與不溫度而變的偽能隙 (pseudo gap, Δ_p) 為 243 ± 21 K (即 21 ± 2 meV)。

(2) c 軸薄膜($(001)Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$):

超導能隙 $\Delta(T)$ 為 222 ± 13 K (即 19 ± 1 meV) 與不溫度而變的偽能隙 Δ_p 為 225 ± 13 K (即 19 ± 1 meV)。

由摻鈣量 0.3 對超導能隙與偽能隙的影響，加入先前不足摻雜和最佳摻雜的結果，以電洞濃度表示，我們得到如圖六之超導能隙($\Delta(T)$)與偽能隙(Δ_p)的相圖。



圖六 超導能隙($\Delta(T)$)與偽能隙(Δ_p)之實驗所得的相圖

(vs. p)黃鶴色虛線與紅色虛線僅為示意曲線

+ : Mihailovic group Δ_p

▲ : Mihailovic group $\Delta(T)$

★ : microwave $\Delta(T)$

○ : our group (b-axis) Δ_p

● : our group (b-axis) $\Delta(T)$

□ : our group (ab-plane) Δ_p

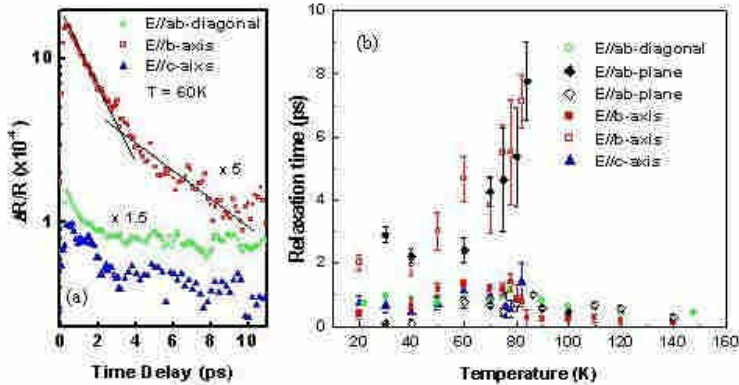
■ : our group (ab-plane) $\Delta(T)$

如前所述，不同摻鈣量(0.1-0.3)之鈮鈹銅氧靶材成分不易控制，使製備的薄膜品質亦不易控制，故我們將採用 $Y_{0.7}Ca_{0.3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 薄膜，並利用控氧方式，來改變其電洞濃度，而得到完整的超導能隙與偽能隙隨電洞濃度變化情況。

二、時空解析(Time- and spatially-resolved)不足摻雜的鈮系高溫超導薄膜的光激載子遲緩動力時間問題

針對遲緩時間，我們進一步作詳細分析。由對不同軸向的樣品量測的數據，可以清楚地比較準粒子在三個軸向上弛緩的行為，例如我們將 60K 的 $\Delta R/R$ 曲線換成對數座標，則圖七中沿 b 軸的 $\Delta R/R$ 會清楚展現兩個遲緩時間(也就是兩個斜率)，而沿 c 軸或 ab 對角線只有一個弛緩時間。這結果強烈顯示準粒子在 YBCO 中的弛緩過程是有方向性的。圖七(b)清楚的顯示這個現象：當溫度低於 T_c 時，沿 b 軸弛緩的準粒子會比正常態時多出一個較慢的弛緩過程(τ_B 大約數個皮秒，ps)，而且越接近 T_c 時越大。這是由於超導能隙在接近 T_c 時變得比較小，導致準粒子回覆成古柏對的效率變差，因此使這個與超導能隙有關的長弛緩時間在接

近 T_c 時呈現發散的情形。但不管是沿 c 軸或 ab 對角線皆只有一個較快的弛緩時間(τ_A 大約次皮秒, sub-ps)。

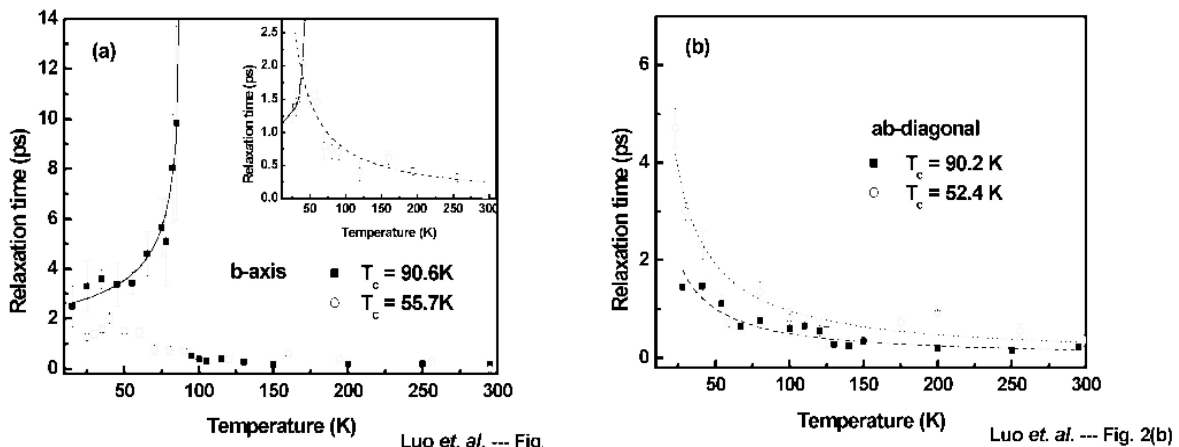


圖七 (a) 在 60K 時不同軸向的 $\Delta R/R$ 。(b) 準粒子在不同軸向之弛緩時間隨溫度的變化，這些弛緩時間是利用公式適配 $\Delta R/R$ 的實驗數據而得。

我們亦分析對(001)YBCO 薄膜的量測結果，在 ab (銅氧)平面上也觀察到類似 b 軸的兩個弛緩時間，因為(001)薄膜的 a 、 b 軸在平行基板的平面上是隨機排列的，沒有特定的方向性，因此無法解析出各個軸向上的準粒子弛緩行為，而只能獲得銅氧平面上各個軸向的平均結果。

另外，我們也對同一片樣品進行控氧的動作，並探討在不同氧含量的情形之下，弛緩時間對溫度的變化情形。對同一片樣品控制不同氧含量來做量測，可以確保弛緩時間變化情形，是因為氧含量的不同所造成，而非其他因素的影響所造成。

在(100) 滿氧樣品的時候，我們將激發探測光束調整平行 b 軸。量測的結果如圖八中實心正方形圖示。我們可以清楚看到，當溫度從低溫往 T_c 逼近時，遲緩時間會有一發散的趨勢。我們並採用 Kabanov 所提出的理論方程式來做適配，發現量測的結果非常接近適配之結果。



圖八

由以上的結果，我們又再次的証實，在 ab 平面上銅氧化物超導體的各向異性特質。並且知道，這些變化是由一個與溫度有關的超導能隙 $\Delta(T)$ 跟一個與溫度無關的偽能隙 Δ_p 所主宰。

當樣品是在缺氧的情形時，參考圖八(a)，沿著 b 軸方向的遲緩時間發散情形，變得比滿氧時來得小，而且整體的遲緩時間也比滿氧樣品來得短。經由適配可以得到 $\Delta(0) \sim 560K$ 。另外，比較特別的是，在 $T > T_c$ 的時候。在滿氧樣品中，沿著 b 軸方向的遲緩時間，在 $T > T_c$ 時是趨近一個定值；但在缺氧樣品當中，當 $T > T_c$ 時的情形，與沿著 ab 對角線軸向的情形類似。所以我們可以看出，準粒子的遲緩行為，是同時受到超導能隙與偽能隙兩者的影響。現在我們進一步分析沿著 ab 對角線軸向的樣品，在缺氧時的情形。參考圖八(b)，在缺氧時，沿著 ab 對角線軸向的弛緩時間，還是一樣隨著溫度降低而增加，不過比較特別的是，增加的趨勢比滿氧樣品來得快。

綜合從(110)與(100)鈮鈹銅氧樣品，分別控制其氧含量，量測不同軸向的激發探測實驗數據，由這些數據，我們推測鈮鈹銅氧存在兩個不同機制的序參數(order parameters)，即超導能隙與偽能隙，其對應之載子遲緩行為均不同，量測不同氧含量，不同軸向的超導薄膜的遲緩時間隨溫度的變化情形，我們亦可得到超導能隙與偽能隙隨電洞濃度變化的情況，與圖六非常類似。並且能解釋 Segre et al 使用極低激發功率得到的結果[1]。

三、建立固態雷射光激發鎖模鈦藍寶石雷射和高頻調制時間解析激發-探測光學測量系統

我們所使用的超快光源系統，原來是使用一氬離子雷射(Ar^+ Laser)作為鈦藍寶石雷射之激發光源(Pumping source)。但是，由於氬離子雷射，會產生大量的熱，在長時間的使用之後，會造成光原品質不穩定，進而使得鈦藍寶石雷射出光能量不穩定，甚至無法鎖模之情形。

在經費不允許的情形之下，為解決此一問題，我們便與電子物理學系褚德三老師進行合作。在搬遷至新館舍之後，便重新架設超快光源系統，使用固態雷射為光激發源。

在系統更新之後，我們終於得到了品質較穩定之超快雷射光源。目前，超快雷射光原之輸出能量，在鎖模狀態約為 450mW，比原本使用氬離子雷射的約 350mW 高出不少。並且，由於固態雷射之穩定性，在長時間的使用之後，不再出現出光能量不穩定，甚至無法鎖模之情形產生。

在激發探測系統中，由於所需之信號過於微弱，幾乎為雜訊所埋沒。實驗時為得到良好的 S/N 比，所以在數據量取過程當中必須使用鎖相放大器 (Lock-in amplifier)。

在一般的環境當中，存在著相當多的雜訊。頻率越低，則雜訊越多。而實驗過程當中，最常見之雜訊為儀器所使用之交流電源所產生的 60Hz 雜訊。這些信號皆會造成激發探測過程當中，訊雜比 (Signal to Noise Ratio) 之下降。

使用鎖相放大器，必須先對所要量測之信號做調制 (modulate) 之動作。越高頻的環境當中，存在之背景雜訊越低。因此，若鎖相放大器調制之頻率越高，越能夠濾除環境中之背景雜訊。

近半年，由於電物系系館搬遷，我們亦趁此機會將系統作部份之改進。

a. 更新更高頻之鎖項放大器

舊系統當中，我們所使用的鎖相放大器為 Stanford Research SR830，其最高可調製頻率為 102.4kHz。改進之系統，我們已將其更換為 Stanford Research SR844 鎖相放大器。配合聲光調製器 (AO-modulator) 之使用，可將信號調製頻率提升到 20MHz~40MHz。

b. 時間延遲平移台之更新

我們將激發探測系統當中，用來作為時間延遲的平移台，更新為 Newport PM500。Newport PM500 為高解析度之精密平移台，其解析度可達 0.1 μ m，高於原本就系統使用之平移台解析度 1 μ m。

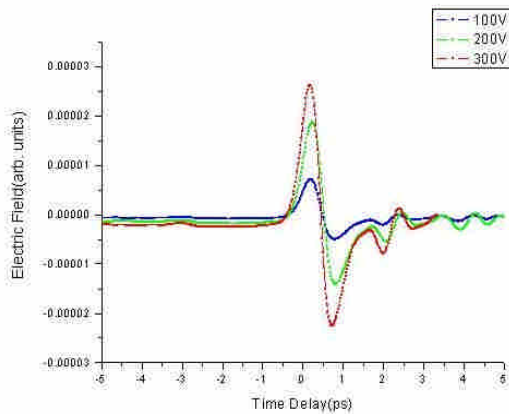
目前，我們已經完成以上兩部份之系統更新，並完成實驗量測所使用之 Labview 儀器控制程式之改寫。完成以上更新，可以大幅提升激發探測系統之訊雜比，降低雜訊對實驗信號之干擾。近期，我們期望能使用新的激發探測系統，觀察到在鈣鋇銅氧高溫超導薄膜中 coherent phonon oscillation 的現象，並對其做進一步之解析。

四、利用各種半導體材料產生兆赫電磁輻射之研究

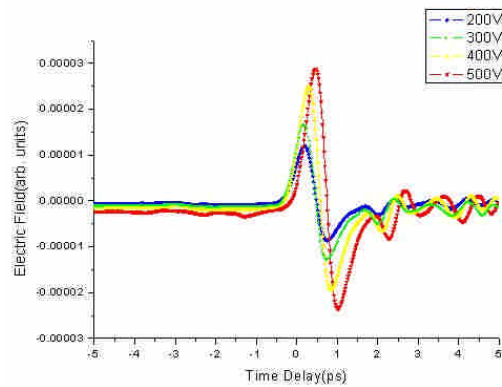
在時域泰拉赫茲頻譜量測鈣鋇銅氧超導薄膜的實驗中，發現在超導態時，穿透的泰拉赫茲波振幅衰減極快，致使後續處理數據的誤差加大，故增加泰拉赫茲波振幅是首要之務，由於我們的雷射系統最高輸出功率僅 400 mW，故只好嘗試改用其它半導體材料和增加偏壓等來增加泰拉赫茲波振

幅，並順便研究泰拉赫茲波源的最佳操作條件，以下介紹半絕緣砷化鎵和磷化銦的實驗結果。

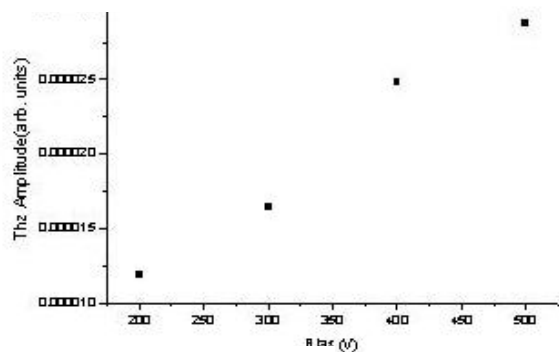
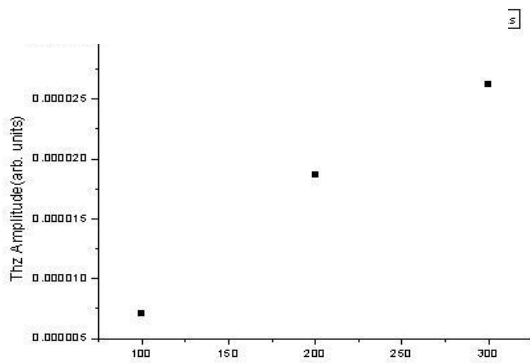
將半絕緣性之砷化鎵半導體微影蝕刻，鍍金後成為光導開關，在外加偏壓下此光導開關受雷射光激發後，由於光電流隨時間的瞬變，將產生高頻之兆赫茲輻射波，利用自由空間電光取樣量測技術來量取空間上傳遞的高頻電磁波，其波段位於兆赫茲(THz)波段。由現今已量取到之 THz 輻射時域暫態波形，來研究元件的輻射機制。經由解析 THz 電場之時域暫態波形，包括振幅大小與相位關係，可知輻射場強度大小與實驗操作參數有關係，但是並不會影響輻射波形的輸出。因此使用不同半導體材料作為 THz 輻射元件，其輻射機制與光電流密度隨時間的瞬變是相關的。圖九和圖十為半絕緣砷化鎵與半絕緣磷化銦外加不同偏壓所得到之兆赫輻射波形，圖十一為偏壓對 THz 輻射場振幅大小的關係圖。



圖九 SI-GaAs THz 輻射時域暫態波形



圖十 SI-InP THz 輻射時域暫態波形



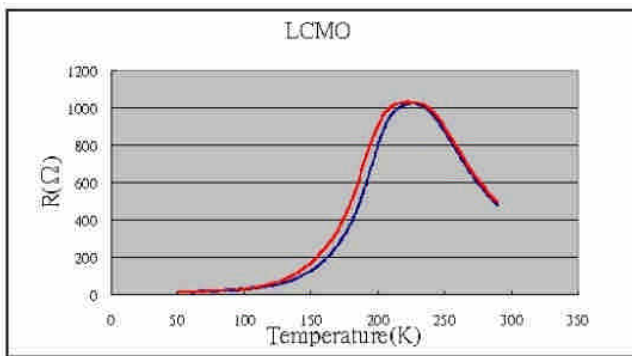
圖十一 偏壓對 THz 輻射場振幅大小的關係圖

對 SI-GaAs 而言，外加偏壓 300V 其 THz 輻射場振幅大小約為 100V 的 6 倍，偏壓大約超過 300V 元件即損毀。對 SI-InP 而言，外加偏壓 500V 其 THz 輻射場振幅大小約為 200V 的 2.5 倍。目前正在進行對兆赫輻射發射器做溫度的控制，以熱電致冷器對半導體材料輻射元件進行溫控動作，期待能藉由改變溫度增強兆赫輻射波振幅大小，以利 THz 時析光譜分析。

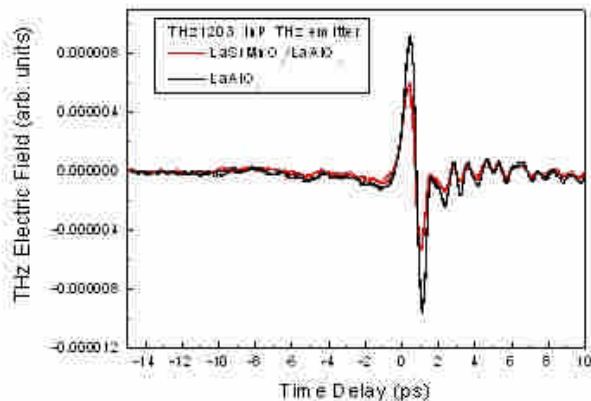
五、時域泰拉赫茲頻譜量測—鏷鋇錳氧薄膜的高頻響應特性

在過去的研究計畫中，我們完成了鈣鋇銅氧(YBCO)高溫超導薄膜元件的兆赫波(THz)輻射相關的量測，得到鈣鋇銅氧(YBCO)高溫超導薄膜在此波段下的高頻電磁特性，包括薄膜複數折射率 n (實部)、 k (虛部)、複數介電常數 $\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2$ 、複數導電率 σ 、穿透深度 λ_L 等。

我們也可以研究鈣鈦礦(Perovskite)磁性薄膜與基板材料在兆赫茲波段之時域頻譜，藉以瞭解材料在此波段下之高頻電磁相關物理特性。利用 THz-TDS 頻譜分析可以直接量取時間相關之輻射波形分佈，經由傅力葉轉換後所得之穿透係數比可同時計算實部與虛部之複數頻譜。圖十二為磁性薄膜 LCMO 溫度對電阻的關係圖由圖中可得知磁性樣品的相轉變溫度約為 240K(絕緣轉金屬)；圖十三為 THz 輻射波經由鋁酸鏷基板及 LaSrMnO₃ 薄膜(以鋁酸鏷為基板)後得到之穿透的輻射波訊號。從結果可知，THz 輻射波經由 LaSrMnO₃ 材料後，訊號有很明顯的變化，從圖中觀察此訊號的改變與訊號的大小及相位有直接的關係，這說明了 LaSrMnO₃ 薄膜材料在 THz 波段的透射率與反射率造成的影響。同樣由前述之理論分析與計算，可從輻射波形的透射係數關係直接求得 LaSrMnO₃ 薄膜 THz 在波段的複數折射率。



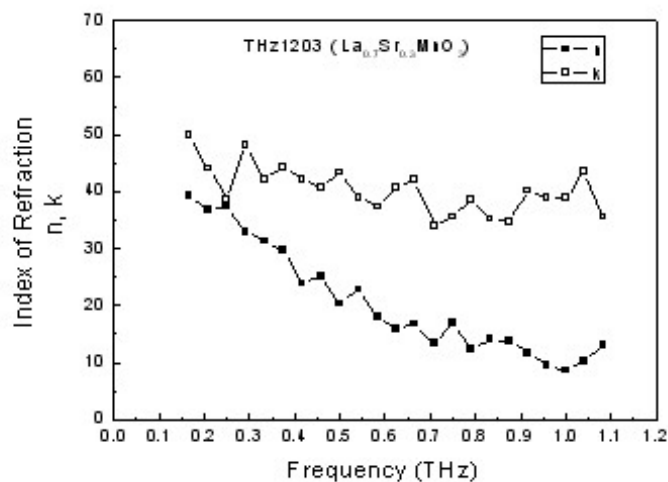
圖十二、磁性薄膜 LCMO 溫度對電阻的關係圖。



圖十三、THz 輻射波經由鋁酸鏷基板及 LaSrMnO₃ 薄膜(以鋁酸鏷為基板)後得到之穿透的輻射波訊號。

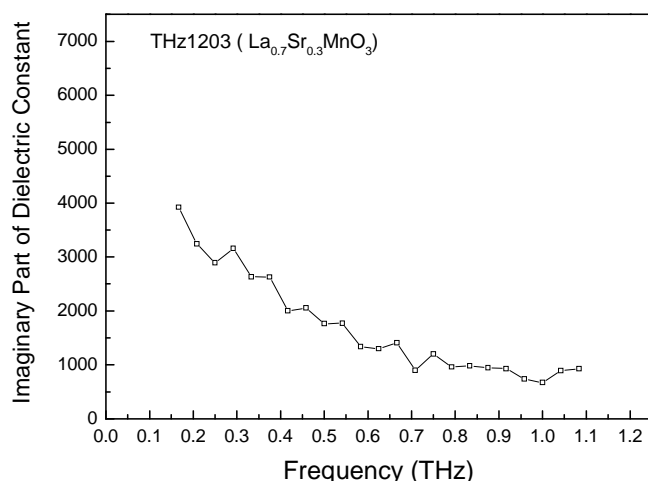
圖十四為 LaSrMnO_3 薄膜其實部與虛部折射率大小隨頻率分佈的結果。在 THz 波段範圍中，實部的值都比虛部較小，且皆隨頻率的增加而變小。實部 n 值隨頻率的改變說明了輻射時間波形其相位的變化造成波形的變化;虛部 k 值的存在造成外加 THz 輻射波在材料傳遞過程中能量的損耗。虛部 k 值大小約為 40 上下;而實部折射率則從低頻值為 40 隨頻率的增加在高頻 1THz 降至 10 左右。

另外，從複數折射率的大小可經由 Drude model 的假設下去推算得到頻率相關之 LaSrMnO_3 薄膜材料介電係數的實部與虛部值。其中有兩個參數是值得注意的：一個是電漿頻率(plasma frequency)，另一個是散射率(scattering rate)的大小。這是在利用擬合進而求得光電導率頻譜時將會遇見的。因此，由 Drude model 數學式中，若可以預先知道材料介電係數隨頻率的關係變化，便可經由數學的擬合，進一步可計算得到材料的電漿頻率及散射率。接著再從 Hall 效應所知之載子密度(carrier density, Mn)，由電漿頻率的大小，便可直接估算出有效質量。



圖十四、 LaSrMnO_3 薄膜其實部與虛部折射率大小隨頻率分佈的結果。

在我們初步的研究結果中，如圖十五所示，顯示出 LaSrMnO_3 薄膜之介電係數的虛部值與頻率有明顯的變化趨勢。 k 值隨著頻率的增加明顯的變小。由於我們的實驗結果是在室溫下得到的，無法直接利用 Drude model 去計算數值，未來需要在更低溫的狀態下量測此材料在 THz 波段的電磁響應，以完全瞭解材料在 THz 頻率的載子動力機制。



圖十五、LaSrMnO₃ 薄膜之介電係數的虛部值。

II. 計畫成果自評:

1. 本年度延續上年度計畫之不同摻雜量(從 underdoped 至 overdoped) 鈮系高溫超導薄膜之超快光電技術量測，包含時間解析激發-探測和時域泰拉赫茲頻譜量測。在時間解析激發-探測量測方面，期望能完整得到超導能隙和偽能隙的對稱性問題和隨電洞濃度變化情況；在時域泰拉赫茲頻譜量測方面，期望能得到鈮鈹銅氧超導薄膜的高頻響應特性，如介電係數、光導係數、穿透深度等隨不同摻雜量、不同溫度、頻率的變化情形洞濃度變化的情況。希望能藉這些研究，瞭解高溫超導之物理機制，我們已完成 underdoped 樣品的量測，overdoped 樣品的量測，亦有初步的結果，希望能在本年度計畫結束時，完成此部分的量測工作。下年度起將專注於磁性薄膜的超快光電技術量測。
2. 本系由於搬家事宜，且相關水電空調等設施，無法配合，故約有四個月時間無法實驗，以致進度有所延誤，經費亦非常拮据。我們亦趁搬至新環境時，改裝超快雷射系統和改進激發-探測系統，建立固態雷射光激發鎖模鈦藍寶石雷射和高頻調制時間解析激發-探測光學測量系統，經測試後，系統確實比以前更穩定，訊噪比有顯著改善，但研究進度亦有所延誤，故已申請延期三個月，希望能儘快趕上進度。
3. 由於本計畫經費被大幅刪減，許多實驗裝置無法製作，如超快雷射 MBE 真空室，長行程平移台等，故這方面實驗將無法進行。我們將專注於上述樣品和半導體材料的超快光電技術量測。

III. 已(擬)發表之論文:

1. C. W. Lou , P. T. Shih , Y. -J.Chen , M. H. Chen , K. H. Wu , J. Y. Juang , J. -Y. Lin , T. M. Uen , and Y. S. Gou :“*Spatially-resolved relaxation Dynamics of Photoinduced Qquasiparticle in Underdoped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$* ”, Physical Review B (revised, 2005).
2. C. W. Lou , M. H. Chen , S. P.Chen , K. H. Wu , J. Y. Juang , J. -Y. Lin , T. M. Uen , and Y. S. Gou :“ *Symmetry and doping dependence of the two superconducting gaps of underdoped textured $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films* “ , submitted to Physical Review B(2005)
3. P. I. Lin* , K. H. Wu, J. Y. Juang, J.-Y. Lin, T. M. Uen, and Y. S. Gou, “*Generation of THz Radiation and Its Application in the Studies of Electrodynamics of High-Tc Superconductors in THz Regime*”, 2005 Japan-Taiwan Symposium on Superconductive Electronics, Sapporo, Japan, Feb. 2005.
4. P. I. Lin, C. W. Luo, H. S. Liu, S. F. Chen, K. H. Wu, J. Y. Juang, J.-Y. Lin, T. M. Uen, and Y. S. Gou: “*On the origin of photogenerated terahertz radiation from current-biased superconducting YBCO thin films*”, J. Appl. Phys. 95, 8045 (2004).