

## 一．前言：

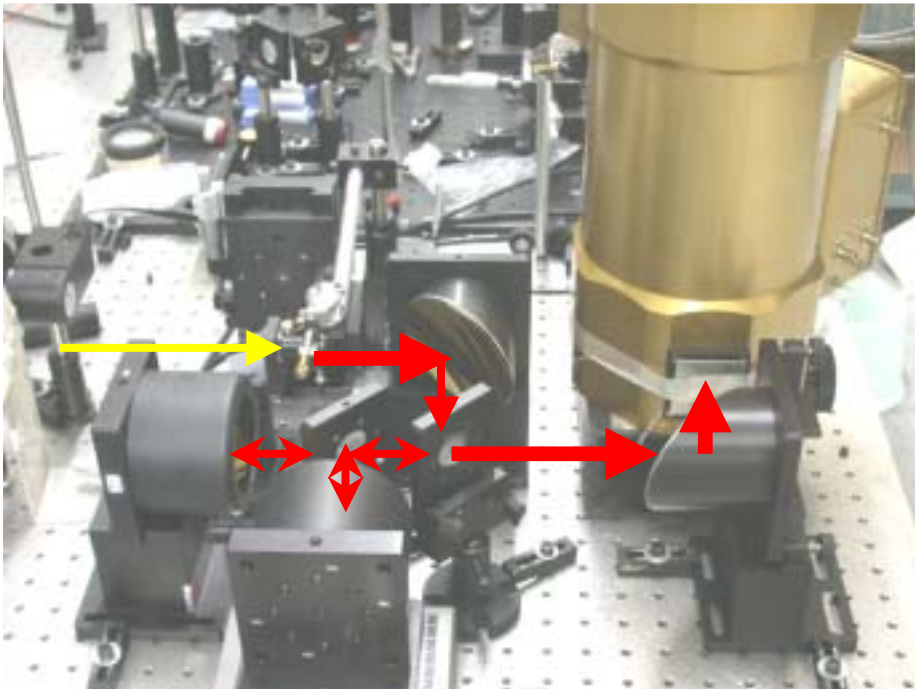
有鑒於高效率,寬頻可調之連續波 THz 輻射器已成為下一世代 THz 感測,通訊,顯像等應用不可或缺的前瞻組件,我們將建立一個緊緻(~幾公分見方大小)室溫狀態下同調 THz 輻射源與偵測器,預期輸出輻射功率達 1mW 等級,可調頻寬達 10THz

## 二．工作進度:

在第一年計劃中,我們已初步完成雙波長雷射系統之架設,THz 輻射源的部分也幾乎完成而正在測試輻射特性, THz 輻射偵測器(bolometer)與干涉儀也正在架設與測試中. 在第二年計劃中,我們已完成了進行中的工作包括:

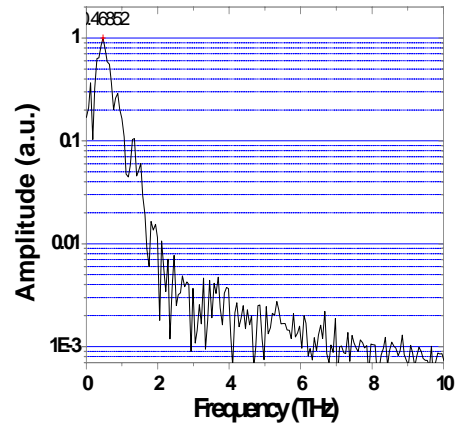
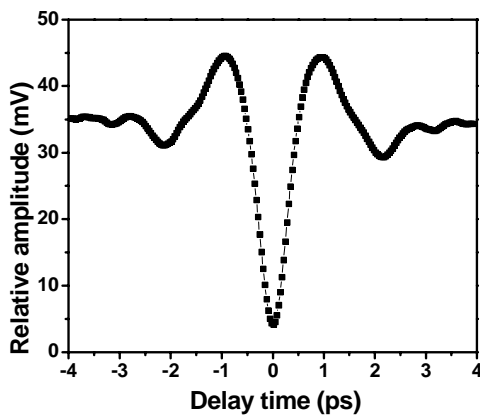
### 1.輻射量測系統

由於 CW THz 輻射功率比脈衝 THz 輻射小了將近 4 個數量及以上,因此我們採用 Martin-Puplett 干涉儀來偵測 CW THz 輻射的波形與強度.



圖一 Martin-Puplett 干涉儀系統實體圖

圖一為架好的 Martin-Puplett 干涉儀系統實體圖. 包含了天線,輻射干涉系統與 Bolometer 輻射偵測器. 由於 SI GaAs 有比 LT-GaAs 等較好的 mobility, 且較易製備, 而蝴蝶結(bow-tie) 型的天線有較好的輻射效率, 因此我們以 SI-GaAs 製成 Bow-tie 天線,先以 100fs, 50mW 脈衝雷射激發此天線產生脈衝式的寬頻 THz 輻射來測試此系統, 量測之輻射波形與頻譜結果如圖二所示, 中心頻率為 0.43THz, 半高寬約波形相當對稱,其 S/N 可到超過 1000.

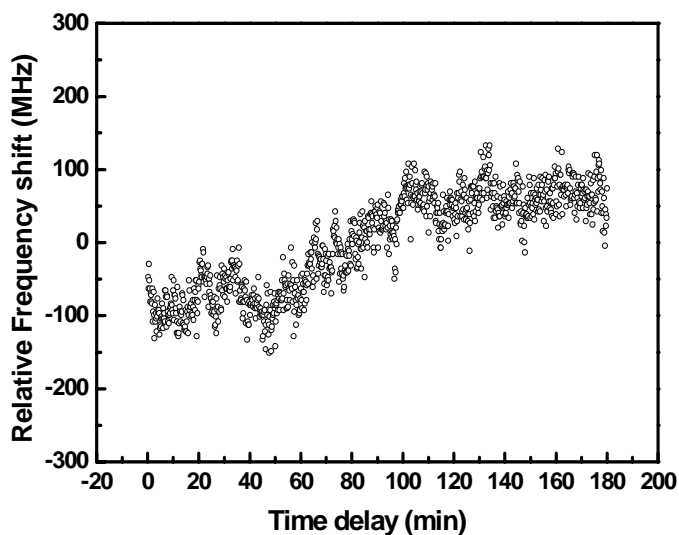


圖二 (a) 脈衝式 THz 輻射干涉圖

(b) 脈衝式 THz 輻射頻譜圖

## 2. CW THz 輻射量測

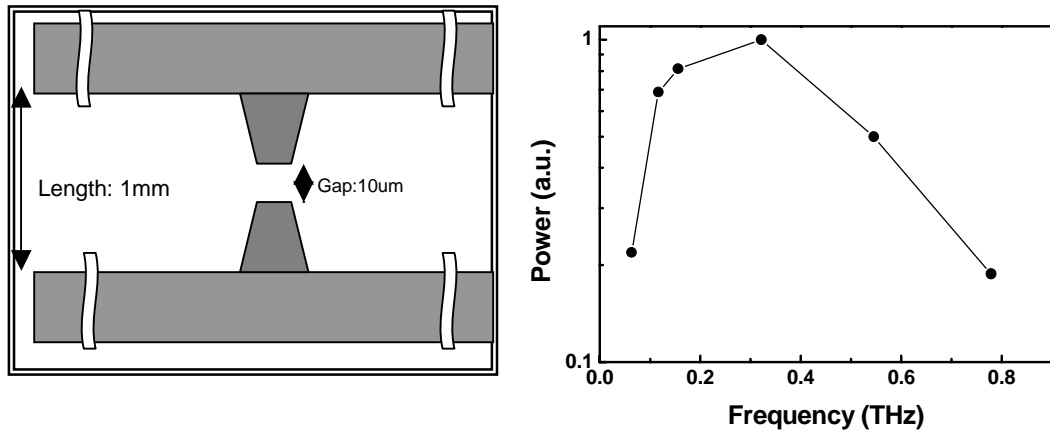
因此利用我們在第一年架好的雙波長雷射來激發天線即可產生 CW THz 輻射。將兩顆單獨的 DBR 半導體雷射,工作波長在 785nm 附近。將約 20mW 的總功率輸出至天線,並控制兩者在天線前空間模的吻合與水平偏振,使兩個不同波長的雷射產生的連續波 THz 效率最高。由於我們量測連續波的波形,頻率解析度是一個很重要的參數,解析度高意味著需要量測較長程的波形,而長時間的量測便會有長程的頻率飄移,此相對頻率漂移量更是決定了輸出 CW THz 輻射頻域上的線寬。我們以 Fabry-Perot 干涉儀量得其在 3 小時內最大頻率飄移量只有約 250MHz,(如圖三所示),可知解析度最小可以到這個值。而同調性更 CW THz 輻射的一個重要參數,其決定了 CW THz 輻射的頻域線寬或純度。因此需要量測其同調長度,並須量測其長程的波形。



圖三 在 3 小時長時間內量測兩顆半導體雷射相對頻率飄移量

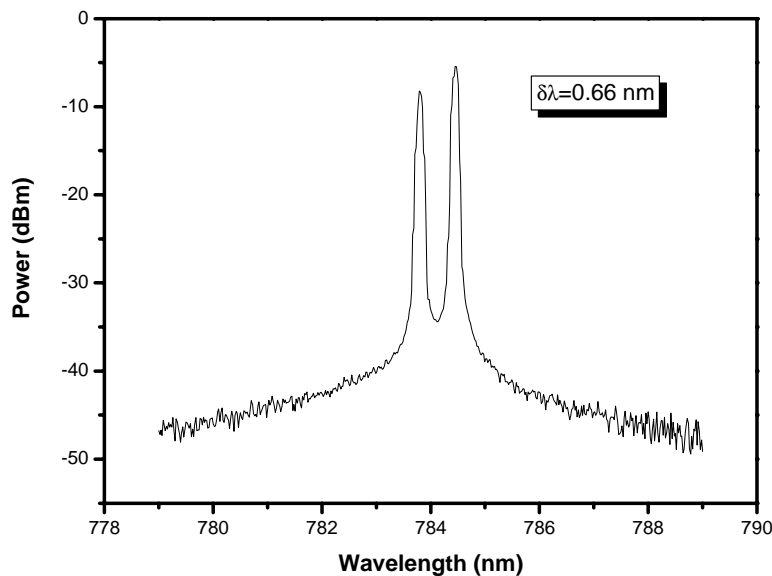
藉由控制兩顆 DBR 半導體雷射的溫度與電流,最大波長差可調至將近 2nm

(即 1THz).以不同的波長差(即不同的頻率差)激發圖四(a)的天線. 利用不同波長在天線上做差頻,可產生各種不同強度的 CW THz 輻射, 而得到如圖四(b)的天線頻率響應圖. 可看出此天線頻率響應最高大約在 0.32THz. 其 3dB 頻寬約 400GHz.

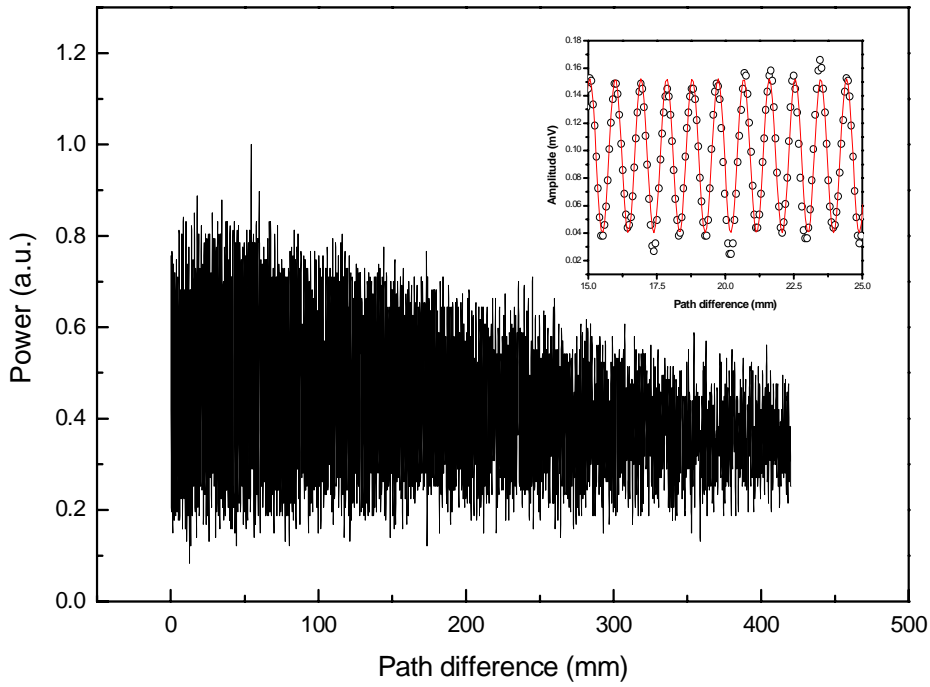


圖四 (a) Bow-tie 天線尺寸示意圖 (b)雙波長雷射在天線所得頻率響應

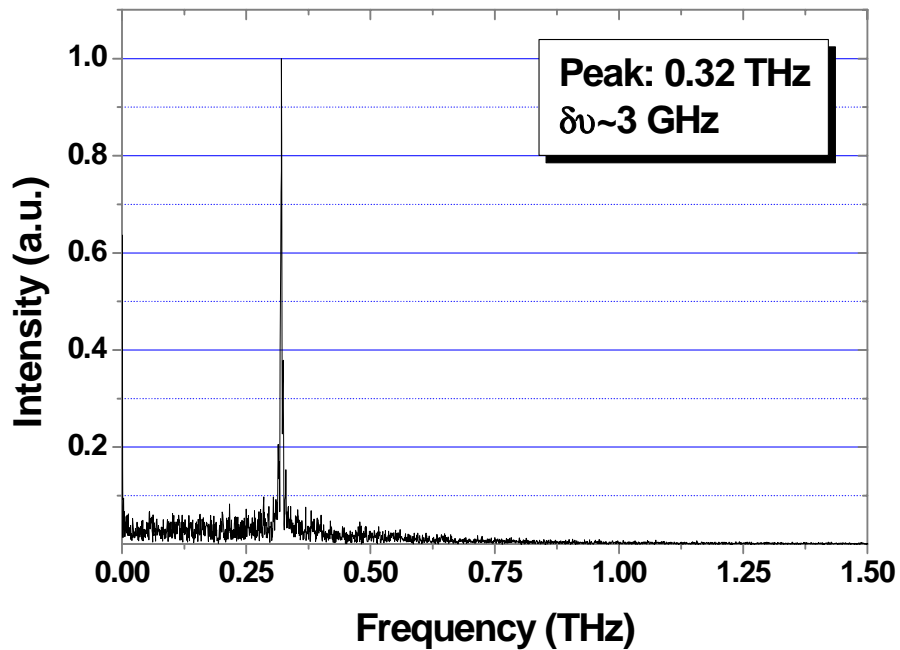
因此我們將兩顆雷射波長差定在約 0.66nm (即 0.32THz), 其輸出光譜如圖五所示. 激發天線之總功率約 20mW. 激發天線產生 CW THz, 並經 Martin-Puplett 干涉儀系統量得 CW THz 輻射波形與頻譜分別如圖六(a)與(b)所示. 量測波形總長約 420mm, 相當於頻率解析度約 0.8GHz.



圖五 兩顆雷射之輸出光譜圖



圖六 (a) CW THz 輻射波形。 附圖為細部的波形，紅色線為模擬的正旋函數曲線



圖六 (b) CW THz 輻射頻譜

其中,圖六(a)附圖為細部的波形,紅色線為模擬的正旋函數曲線, 實驗點為黑色空心圓圈, 可看出實驗與理論上的模擬曲線十分吻合. 而將所量得之 CW THz 輻射波形做富氏轉換後的頻譜, 其中心頻率為 0.32THz,而頻寬約為 3GHz. 然而此頻寬並非 CW THz 輻射真正的頻寬, 因為在長程的掃描下, 越後面則訊號較小,

導致雜訊變大使得輻射波形越不準。不過我們可以藉由同調長度來推出真正的頻寬。由圖六(a)可看出波形大小隨距離的增長而變小，亦即同調性降低。由干涉理論可知干涉訊號為以下公式：

$$\langle I_d(t, \tau) \rangle_i = 2 \langle I(t) \rangle_i [1 + \text{Re} \gamma(\tau)] \quad (1)$$

其中 
$$\gamma(\tau) \equiv \frac{\text{Re} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega I(\omega) e^{-i\omega\tau}}{\int_{-\infty}^{\infty} I(\omega) d\omega}$$

同調時間為：

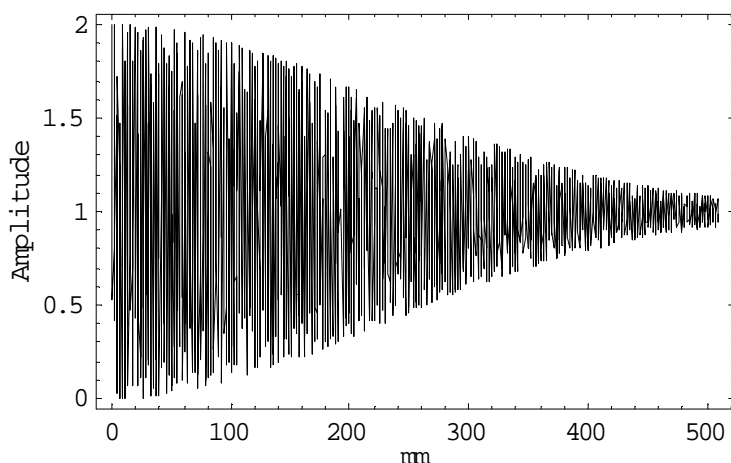
$$\tau_c \equiv \int_{-\infty}^{\infty} |\gamma(\tau)|^2 d\tau = 2 \int_0^{\infty} |\gamma(\tau)|^2 d\tau \quad (2)$$

同調長度為：

$$l_c \equiv c\tau_c \quad (3)$$

我們假設 CW THz 輻射頻譜為：

$$I(\omega) = e^{-\frac{(\omega-\omega_0)^2}{\delta\omega}} \quad (4)$$



圖七 模擬的 CW THz 干涉圖

模擬出 CW THz 輻射波形如圖七所示，與實驗比較得知我們 CW THz 輻射的同調長度約 100cm，對應的頻譜線寬約為 250MHz，與兩個雷射的頻率擾動所造成的頻譜拉寬吻合(~250MHz)

總之，我們已經成功的利用兩顆獨立的 DBR 半導體雷射架設出一個雙波長雷射系統，總系統面積只有 50 cm<sup>2</sup>，搬移方便。它的最大輸出功率約 25 mW，波長差可調範圍為 2 nm，而且長時間的相對頻率漂移量小於 300 MHz。我們使用 Martin-Puplett 偏振式干涉儀和輻射熱偵測器，來量測由做在半絕緣性砷化鎵基板上的蝴蝶結式(Bow-tie)天線產生的連續波(CW)THz 的同調性。此天線的間隙是 10um，長度是 1mm。量測到的連續波 THz 同調長度約為 100 公分，線寬相當於 250 MHz，與雙波長雷射系統所量測到的頻率漂移量相符。若是再對雙波長雷射系統做穩頻的控制，及配合上 THz Fabry-Perot 系統，相信所產生的連續

波 THz 線寬可以小到數十 MHz 到數百 KHz。此窄頻寬的 THz 輻射可以用在光譜學或是成像上，可以得到較高的解析度。