

一、 實驗儀器與優化流程

本章會簡單介紹實驗上會用到的關鍵儀器，說明其特性與相關設定，並描述元件使用的優化方式與可能造成誤差之原因。

1.1 偽隨機訊號產生器

由於實驗上無法產生真正的隨機訊號，只能使用偽隨機訊號產生器 (Pseudo Random Bit Sequence, PRBS)，儀器型號為 MP1763C (Anritsu)，可以產生 0.5 至 12.5 Gb/s 的偽隨機訊號，裝置如圖 1.1。偽隨機訊號實際上為週期訊號，會重複出現特定的隨機序列，其週期可以調整，為了達到最接近隨機的效果，我們選擇使用最長的隨機序列，一個週期內共有 $2^{31} - 1$ 的隨機位元。

我們實驗上實際使用的偽隨機訊號產生率 10 Gb/s，每秒能產生 10×10^9 個隨機位元，以示波器 (Infiniium DCA-J 86100C, Agilent，使用的模組為 86112A, Agilent) 去測量該訊號的眼圖 (eye diagram) 可以看出訊號的品質，量測結果如圖 1.2，可見實際訊號與理論?? 有很大的差異，實際的訊號會有不小的上升與下降時間，圖形的上下也不太對稱，這都會影響到展頻與壓縮的效果，造成實驗與理論的誤差。



圖 1.1: 高頻偽隨機訊號產生器裝置圖

一、實驗儀器與優化流程

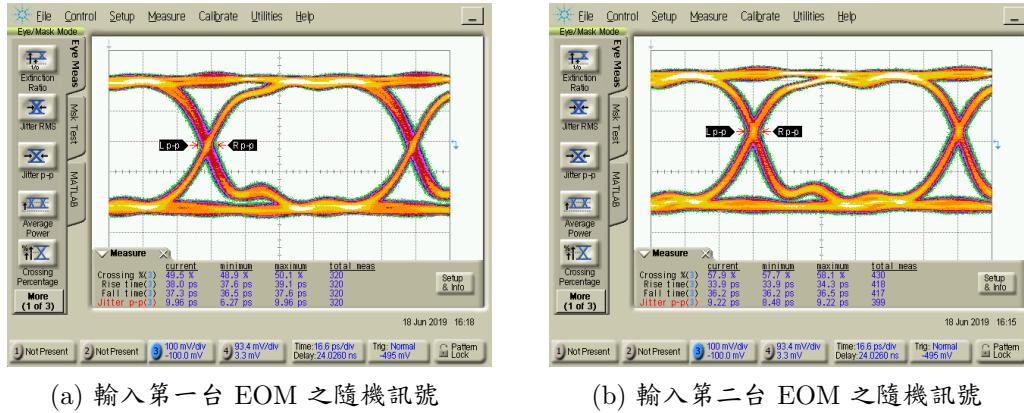


圖 1.2: PRBS 輸出之訊號眼圖（放大前）

1.2 電光調製器

電光調製器 (Electro-Optic Modulator, EOM) 可使用電訊號對光進行調製，一般而言可以分成三種，分別為振幅、相位與偏振的調製，在我們的實驗中需要調製的是相位。使用的儀器為 EOSPACE 的 SN73717 與 SN73718，分別為頻譜的展寬與壓縮用，裝置如圖 1.3。

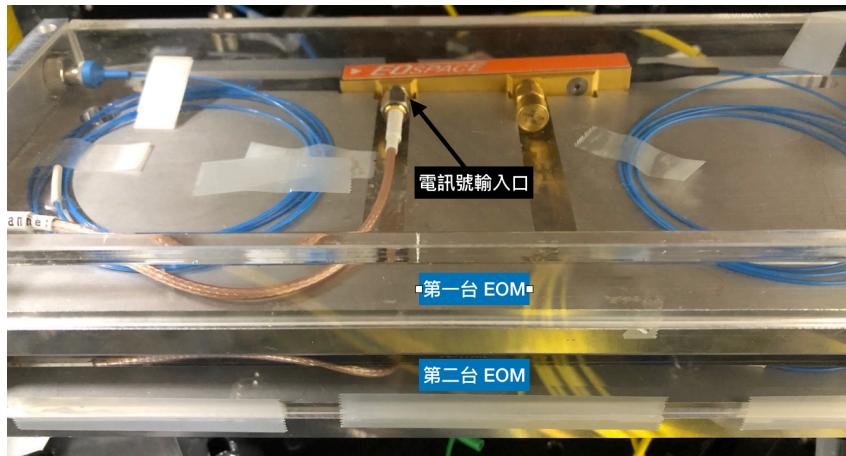


圖 1.3: 我們分別將兩台 EOM 置於盒中提供保護，並以塔狀堆疊節省光路空間。

相位調制器由鋁酸鋰 ($LiNbO_3$) 雙折射晶體製成，因泡克耳斯效應 (Pockels effect)，外加電場能線性的改變作用方向上之晶體折射率，進而達到改變相位的效果，我們定義能入射光相位改變 π 之電訊號電壓為 V_π 。

由上介紹可知，實際使用上需優化進光的偏振以及電訊號的振幅，以達到預期的相位調製效果。所以我們會在 EOM 前放置一個偏極片 (Polarizer) 半波片 (half-wave plate)，如圖 1.4，藉由調整兩者的角度，使光能以最佳的線偏角度入射 EOM。

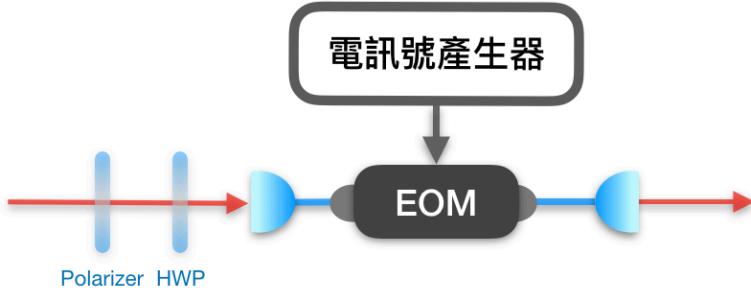


圖 1.4: EOM 及相關元件架設。使用上我們會先讓光通過一偏極片，確定光為線偏振，再以半波片旋轉偏振的角度，優化調製之效果。

1.3 高頻電訊號放大器

由於我們使用的隨機訊號產生器僅能輸出 0.2 至 $2 V_{pp}$ 的訊號，而 EOM 的 V_π 高於 2 V，所以需再經過放大器才能提供足夠的電壓去進行相位調製。

我們使用的放大器型號為 OA3MVM (Centallax)，輸入的訊號會經過三階段的放大，每一階段各需要兩個電壓去驅動，分別為 V_g 與 V_d ，這組電壓的大小會影響放大的大小與速度，因此我們做了一個穩壓電路，能一次輸出 3 個 V_g 與 3 個 V_d ，裝置如圖 1.5。

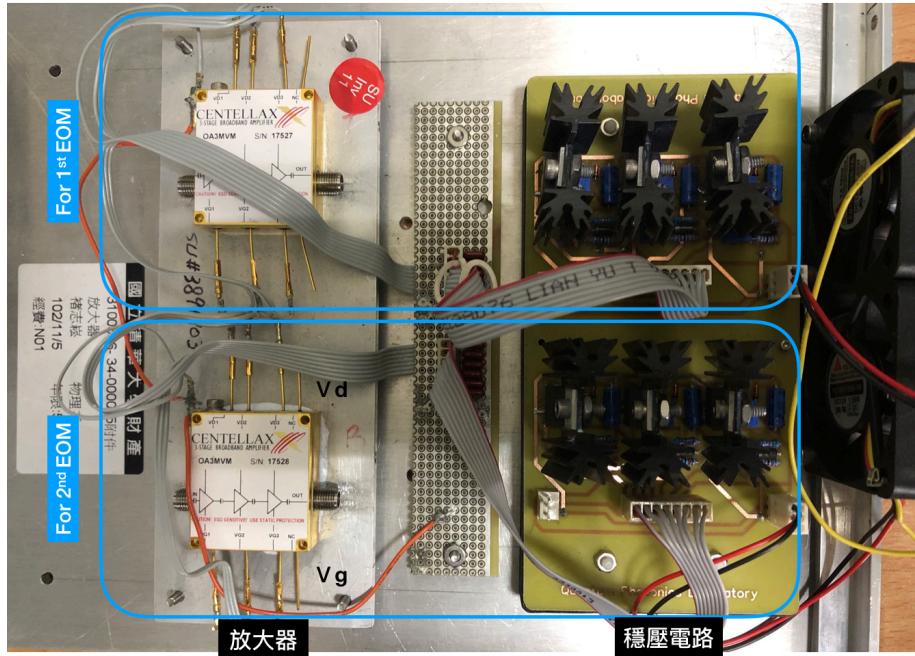


圖 1.5: 放大器與穩壓電路

同樣的，也用示波器去測量眼圖，架設如圖 1.6，觀察經放大後的訊號品質，如

一、實驗儀器與優化流程

圖 1.7，可明顯看出訊號變得更不穩定，且兩台 EOM 使用的電訊號形狀也不同，這是由兩邊使用的 SMA 線的材質與長度均不同，會有不一樣的頻率響應與耗損，使兩個訊號無法互補，這會對頻譜壓縮與還原的效果造成負面的影響。

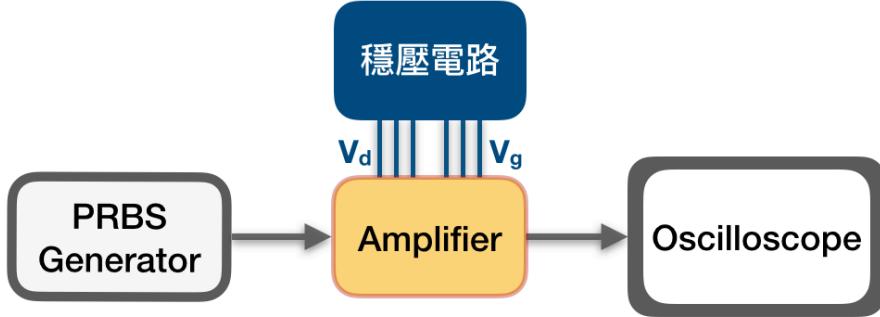


圖 1.6: 將隨機訊號經過放大器並以示波器測量眼圖之電路架設

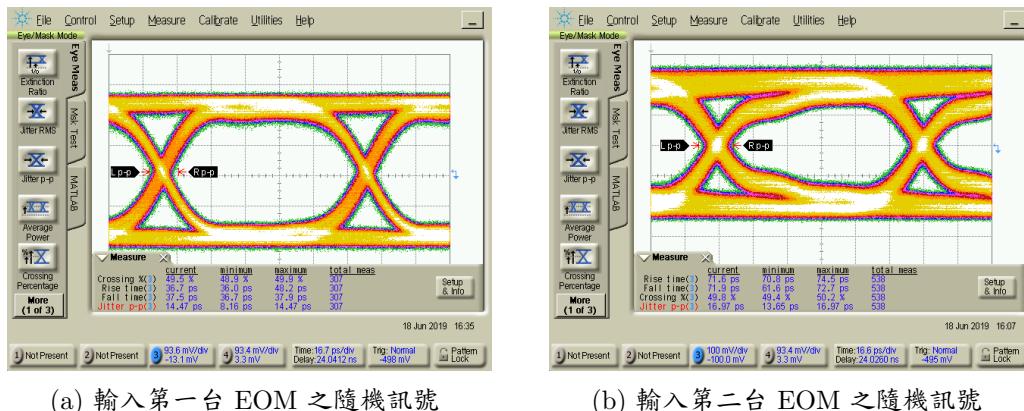


圖 1.7: PRBS 輸出之訊號眼圖（放大後）

我們可從眼圖的測量結果去量化訊號品質，放大前後的比較如表 1.1，從圖和表中能觀察到，輸入第二台 EOM 用的訊號在放大後變得很不穩定，這是因為那端使用的電線長度很長（長邊約 400 公分，短邊約 80 公分），且那條線材已經放了十年，傳輸品質會下降，會有較大的損耗以及較明顯的色散現象，使訊號失真，這會降低我們頻譜壓縮的效果。

表 1.1: 數值模擬參數修正

	jitter	amplitidu	rising & falling
輸入第一台 EOM 用之隨機訊號			
放大前	10 ps	$\pm 5.8\%$	38 ps
放大後	14 ps	$\pm 7.7\%$	38 ps
輸入第二台 EOM 用之隨機訊號			
放大前 1	9 ps	$\pm 6.5\%$	35 ps
放大後	17 ps	$\pm 16.7\%$	74 ps

1.4 電訊號相位延遲器

如?? 所述，想要對已展頻的光做反向的調製，必須精準的控制兩台 EOM 電訊號的時間差，所以我們會在其中一邊的電路加上一個相位延遲器，其型號為 Model 981 (api technologies corp.)，如圖 1.8，可以藉由調整側邊拉桿的長度來微調電訊號的相位。根據其規格書上的標示，此相位延遲器最多能讓 1 GHz 的訊號延遲 60 度的相位，相當於 1.67 ns 的時間差。若電訊號的傳輸速度以三分之二光速來計算的話，此時間差等同於 3.33 公分的電路長度差。



圖 1.8: 電訊號相位延遲器

1.5 法布立－培若干涉儀

雷射光的頻譜可以用掃描式法布立－培若干涉儀 (Scanning Fabry-Perot Interferometer) 掃出，我們使用的儀器為 SA210-5B (THORLABS)，FSR 為 10 GHz，實際儀

一、實驗儀器與優化流程

器如圖 1.9。



圖 1.9: 實驗使用之 Fabry-Perot 干涉儀

此干涉儀的主體為一個共振腔，由兩個高反射率的凹面鏡所組成。當光正向入射腔體時，須滿足式 (1.1) 之共振條件的光才會產生建設性干涉，而能透射共振腔。

$$4nL = m\lambda \quad (1.1)$$

n 為共振腔的折射率， L 為腔長，頻率與透射率的關係圖 1.10，其中 ν_F 稱為 FSR (Free Spectral Range)，定義如式 (1.2)，此參數決定了這個干涉儀適用的掃頻範圍，調整腔長 L 的長度能改變允許透射的頻率，所以若在其中一面鏡子黏上 Piezo，輸入電壓即可微調腔長，改變允許出光的頻率，達到掃頻的效果。

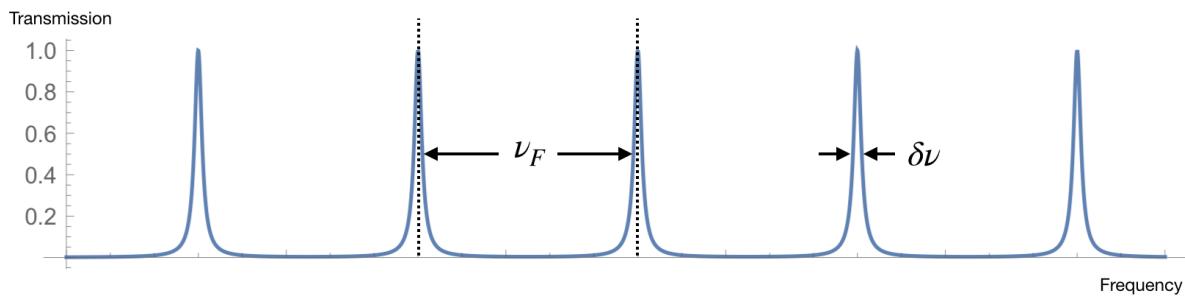


圖 1.10: Fabry-Perot 干涉儀透射頻率

$$\nu_F = \frac{c}{4nd} \quad (1.2)$$

此外，另一個重要的參數為精細度 F (Finesse)，定義如式 (1.3)：

$$F = \frac{\pi R^{1/2}}{1 - R} \quad (1.3)$$

此共振腔的頻寬（解析度） $\delta\lambda$ 與 F 成反比，關係如式 (1.4)，所以鏡面反射率越高， F 越大，解析度越好。

$$\delta\lambda = \frac{\nu_F}{F} \quad (1.4)$$

為了知道此 Fabry-Perot 干涉儀的頻寬，我們在圖 1.11 的光路架設下，以 Fabry-Perot 干涉儀對我們的窄頻雷射（頻寬約 1 MHz）掃頻。使用時要先調整輸入 Piezo 的週期訊號的電壓大小，直到能在一個振盪週期內看到兩個訊號為止，測量結果如圖 1.12，此時兩個訊號的間距即為一個 FSR，也就是 10 GHz。但以示波器（DPO4104B, Tektronix）測得的頻譜橫軸為時間（單位為秒），我們可從測量結果求得間與頻率之對應關係（0.8459 秒對應 10 GHz）。接著放大其中一個訊號，測量結果如圖 1.13，其半高全寬（Full Width at Half Maximum, FWHM）的時間寬度為 0.000498 秒，利用上述之對應關係，即可算出此 Fabry-Perot 干涉儀之頻寬為 58 MHz。

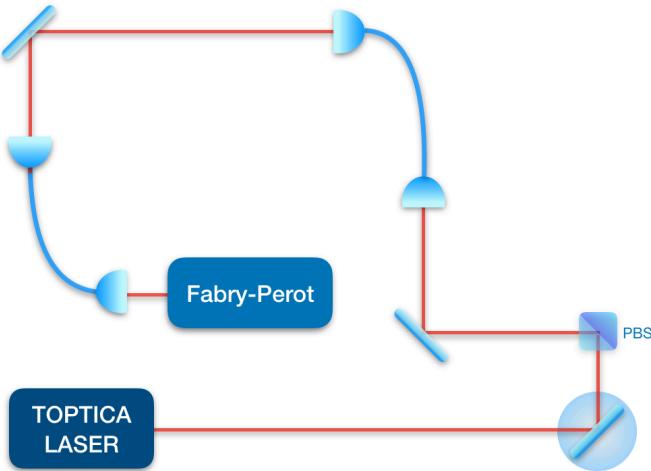


圖 1.11: Fabry-Perot 干涉儀頻寬測量架設圖

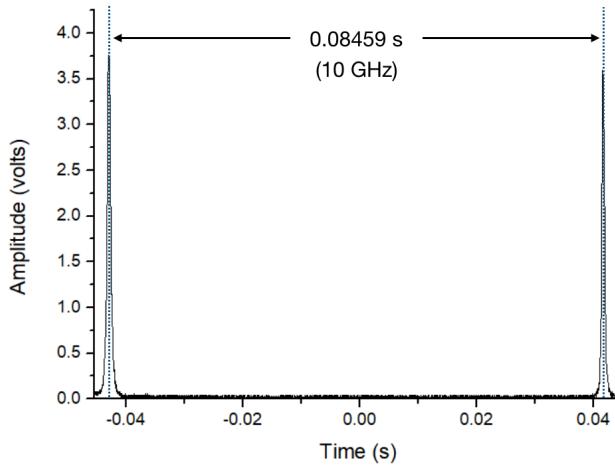


圖 1.12: Fabry-Perot 干涉儀 FSR 測量

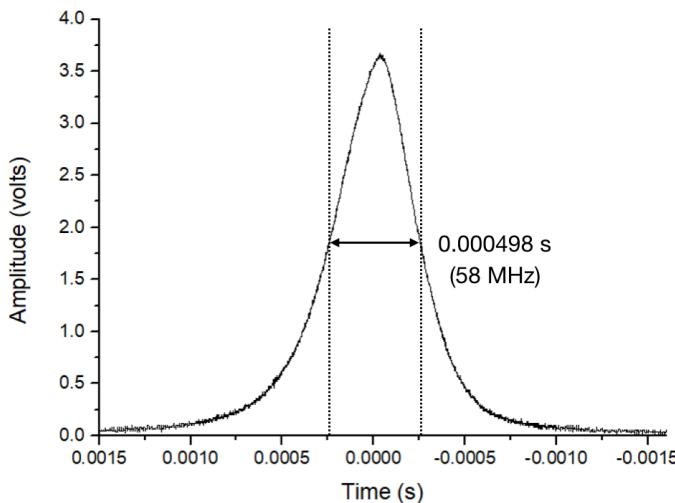


圖 1.13: Fabry-Perot 干涉儀頻寬測量

1.6 Etalon 干涉儀

與 Fabry-Perot 干涉儀為相同的原理，但 Fabry-Perot 干涉儀的共振腔體為自由空間 (free space)，而 Etalon 干涉儀的共振腔體則為一塊雙折射晶體，兩端為布拉格光柵結構，用以反射光形成共振腔，我們可以用 TEC 和溫控器，精準的調控晶體溫度 T 改變腔長 $L(T)$ ，只讓特定中心頻率 ν 附近的光通過。我們實驗使用的型號為 AF023G (MICRO OPTICS, INC.)，頻寬為 60 Hz，FSR 為 13.6 GHz，裝置如圖 1.14。

由於腔體是由雙折射晶體製成，所以不同的偏振在內部會有不一樣的行進速度，而會產生兩組不同的模態，所以在實驗優化上，需要將入射 Etalon 干涉儀的光調成與晶軸方向相同的線偏光，才能最有效率的使用濾波器。



圖 1.14: Etalon 濾波器裝置圖