

## 第四章

# 建構於 VCSEL 雷射及 DFB 雷射外部光源注入 技術之雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統

### 4.1 簡介

隨著全球光纖通訊市場的興起，也帶動了高速的寬頻網路服務，像是高品質網路視訊服務、行動學習、遠距教學和網路電話等，使得骨幹網路之傳輸容量須迫切的快速提升。而利用 WDM 傳輸系統使用不同的光通道結合載波信號將有助於一個光纖網路的傳輸，並且可以提高資料量的傳輸速率於存取網路系統中。由於全球各地光纖到家的推動之下，使得被動光纖網路的架構格外受到矚目。在先前的研究中，將 WDM-PON 傳輸系統的結合也已經被廣泛所提出並且採用，因為 WDM-PON 傳輸系統能提供大的傳輸容量、網路安全及具有較佳的彈性管理 [14]-[16]。因此，有效地透過 WDM-PON 傳輸系統的連接將成為未來光纖通訊的發展趨勢。

一般傳統的外部光源注入技術是利用一顆 DFB 雷射(Master)來注入另一顆 DFB 雷射(Slave)，這表示一個 WDM 傳輸系統需利用多顆 DFB雷射來實現。但就實際狀況而言，這樣的架構並不符合經濟效益。在最近的一些研究中，藉由摻鉕光纖放大器所產生出的寬頻ASE光源，由於在某一特定波長範圍內是相當平坦的，因此能提供價格低廉的分波多工傳輸系統光源。再則，利用此特性搭配解多工器及光隔離器的使用就能分割我們所要的光源，也因此能得到類似N顆DFB雷射的光源。對於實際應用上可以說是相當具有彈性，並且能有效地應用在 DWDM-PON 傳輸系統上 [17], [18]。

在本章節中我們提出並證明建構於 VCSEL 雷射及 DFB 雷射外部光源注入技術之雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統，由於雙向式傳輸系統可以有效減少

光纖的使用量，並且相較於單向式傳輸系統也可提供多一倍的傳輸容量，這也使得在系統架設的成本上可以符合經濟效益。在我們的雙向混合式傳輸系統中，經由單一光纖傳送多工信號，這之間經由兩端發射機與兩端接收機相交於不同的服務地方，並且我們使用一個波長載上 2.5 Gb/s 的數位資料信號來傳輸，另一個波長載上 AM-VSB 多頻道類比電視資料信號來傳輸，最後經過 40 公里的標準單模光纖(Standard Single-Mode Fiber；SMF)傳輸後，對於我們所提出的雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統能有較佳的 BER、CNR、CSO 及 CTB 值之效能改善。

## 4.2 實驗架構

圖 4.1 為我們所提出的實驗架構，在光發射端的部份我們利用寬頻 ASE 光源加上外部光源注入技術至 VCSEL 雷射及 DFB 雷射所建構出『雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統』。此一雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統的發射兩端，主要是由 4 顆 VCSEL 雷射、4 顆 DFB 雷射、8 個光隔離器、2 組解多工器、2 組外部注入光源、4 個 2.5 Gb/s 數位資料信號及 AM-VSB 多頻道類比電視資料信號所組合而成的。

寬頻 ASE 光源所分割出來的波長分別為  $\lambda_1$ (1549.32 nm)、 $\lambda_2$ (1550.92 nm)、 $\lambda_3$ (1555.75 nm)、 $\lambda_4$ (1557.36 nm)、 $\lambda_5$ (1552.52 nm)、 $\lambda_6$ (1554.13 nm)、 $\lambda_7$ (1558.98 nm)、 $\lambda_8$ (1560.61 nm)，其中 4 顆 VCSEL (VCSEL1-4)的波長分別是  $\lambda_1$ (1549.32 nm)、 $\lambda_2$ (1550.92 nm)、 $\lambda_5$ (1552.52 nm)、 $\lambda_6$ (1554.13 nm)，波長間距為  $\sim 1.6$  nm( $\sim 200$  GHz)。對於 4 顆 VCSEL 雷射的信號調變我們採取直接調變(Directly Modulated)的方式，使用直接調變  $2^{10}-1$  的隨機二位元處理(Pseudorandom Binary Sequence；PRBS)的方式載上 2.5 Gb/s 的數位資料信號。另外，4 顆 DFB (DFB LD1-4)的波長分別是  $\lambda_3$ (1555.75 nm)、 $\lambda_4$ (1557.36 nm)、 $\lambda_7$ (1558.98 nm)、 $\lambda_8$ (1560.61 nm)，波長間距為  $\sim 1.6$  nm ( $\sim 200$  GHz)。對於 4 顆 DFB 雷射的信號調變我們採取直接調變(Directly Modulated)的方式，使用 AM-VSB 多頻道類

比電視資料信號產生器將頻道 2-40 直接調變至 DFB1 雷射及 DFB3 雷射中，頻道 41-78 直接調變至 DFB2 雷射及 DFB4 雷射中，並將光調變指數調整為~3.5%。

對於系統左側光發射端部份， $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 和 $\lambda_4$ 則分別被注入至 VCSEL1 雷射、VCSEL2 雷射、DFB1 雷射和 DFB2 雷射；光被注入是經由 1 個光隔離器(Optical Isolator)和一個光耦合器(Optical Coupler)，以 $\lambda_1$ 光源注入至 VCSEL1 雷射為例， $\lambda_1$ 被耦合進入光隔離器至 VCSEL1 雷射，其使用光隔離器最主要是為了防止光源打回至 $\lambda_1$ ，最後再經由光耦合器將光源送出。值得注意的是注入光源之波長必須正確的選擇，以確保 VCSEL 雷射可以得到最佳頻率響應值。

而多工器/解多工器被使用來發射下行波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 和 $\lambda_4$ 及( $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ 、 $\lambda_7$ 和 $\lambda_8$ )光信號進入光纖路徑中，並且可同時接收上行波長 $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ 、 $\lambda_7$ 和 $\lambda_8$ 及( $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 和 $\lambda_4$ )光信號。光纖的傳輸長度為 40 公里，經過 40 公里的標準單模光纖傳輸後，再經由多工器所結合的波長利用解多工器將波長解出來，並將信號分別送至數位光接收器(Digital Rx)及類比光接收器(Analog Rx)來偵測所接收到的信號，對於數位資料信號的部份，我們利用誤碼率分析儀(Bit Error Rate Tester；BERT)量測其 BER 值，而類比資料信號的部份，我們利用 HP-8591C 有線電視頻譜分析儀來量測其 CNR、CSO 及 CTB 值，並且最後對於我們所提出雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統的 BER、CNR、CSO 及 CTB 等參數值作一個效能的評估。

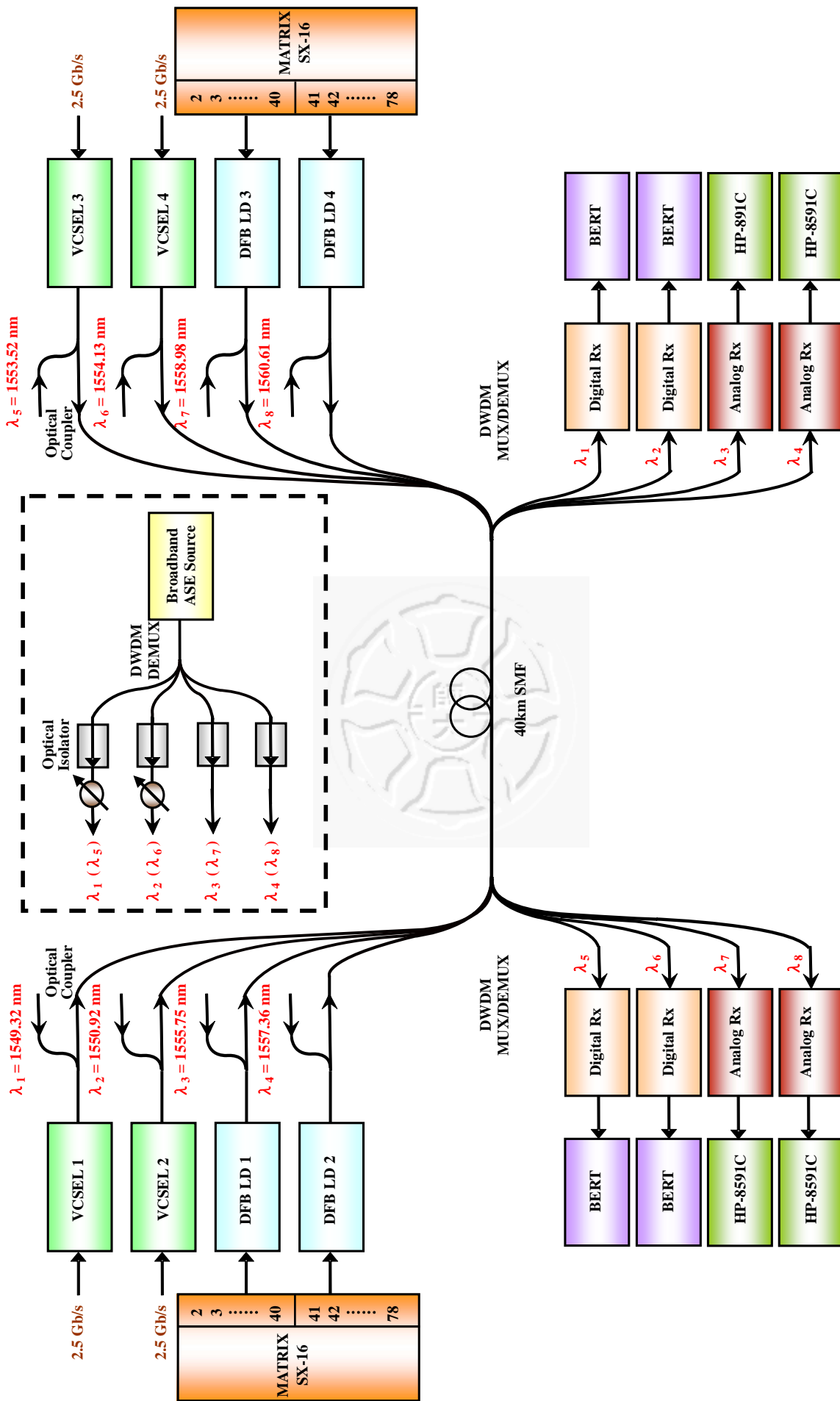


圖 4.1 使用寬頻 ASE 光源外部注入技術至 VCSEL 雷射及 DFB 雷射所建構之『雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統』

至於外部注入光源部份，如圖 4.2 所示為寬頻 ASE 經分割後之外部注入光源結構圖，第一部寬頻 ASE 光源將有效的分割出  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  和  $\lambda_4$  四道光路；同樣的第二部寬頻 ASE 光源將有效的分割出  $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ 、 $\lambda_7$  和  $\lambda_8$  四道光路，其中每道光路所分割出來的 SMSR 皆有  $>40$  dB 的光譜輸出，如 3.2 節所述，這對於我們的系統而言有降低非線性失真及雜訊的效果。而 VCSEL1 雷射至 VCSEL4 雷射沒有使用外部光注入技術時的光功率位準為  $-5$  dBm，驅動電流為  $\sim 3.2$  mA。

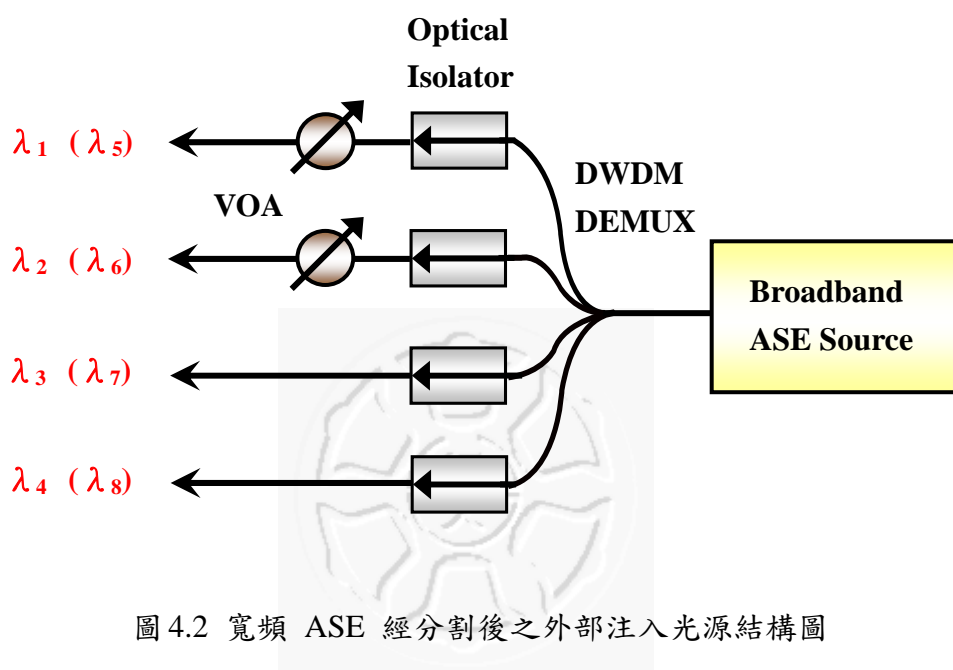


圖 4.2 寬頻 ASE 經分割後之外部注入光源結構圖

### 4.3 實驗結果與討論

當有外部光源注入至雷射時，對於所注入之雷射將產生“注入鎖模 (Injection-Locked)”現象，其邊界條件為 [19]：

$$d < \pm \frac{k_c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_i}{S} (1 + \alpha^2)} \quad (4.1)$$

其中， $d = f_{inj} - f_{free}$  ( $f_{inj}$  為 Master 雷射頻率， $f_{free}$  為 Slave 雷射頻率)

$k_c$  為耦合係數；

$\frac{S_i}{S}$  為雷射光源注入比值；

$\alpha$  為線寬改進因子。

雷射最佳的注入條件為：當注入 Master 雷射頻率低於被注入 Slave 雷射頻率時也就是所謂的負微調(Negative Detuning)。若在注入鎖模範圍內時，Slave 雷射的頻率將會相當接近 Master 雷射的頻率。反之，若不在注入鎖模範圍內時，此時被注入之雷射會有震盪情況產生，同時也將造成傳輸系統品質的劣化。因此，在本實驗中我們發現最佳的外部光源注入鎖模發生條件在當注入與被注入光源波長值相差為 0.14 nm 時系統可獲得最佳的傳輸性能，並且可達到最佳情況。

圖 4.3 所示為 VCSEL1 雷射光信號  $\lambda_1$  經過 40 公里的標準單模光纖後於光接收端所量測到的 BER 與接收光功率的關係曲線圖。由圖可看出當傳輸信號經過 40 公里的標準單模光纖傳輸後，在 BER= $10^{-9}$  的條件下；當系統接收端沒有使用外部光源注入技術時，其接收端所接收到的光功率約為 -22.3 dBm；而使用 -5 dBm 的外部光源注入技術時，最後接收端所接收到的光功率約為 -24.8 dBm。由實驗的結果可知，我們於系統發射端利用 -5 dBm 的外部光源注入技術，對於雙向混合式 DWDM-PON 傳輸信號其接收光功率在 BER= $10^{-9}$  時，可以大大的提升約 2.5 dB 的效能改善。

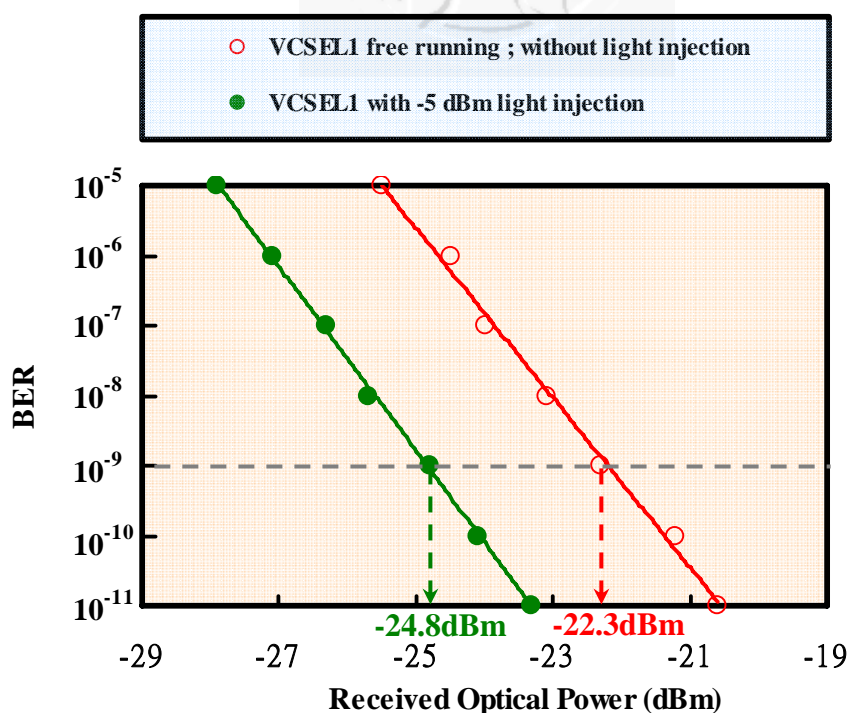


圖 4.3 VCSEL1 雷射之 BER 與接收光功率關係曲線圖

圖 4.4 所示為 VCSEL3 雷射光信號  $\lambda_1$  經過 40 公里的標準單模光纖後於光接收端所量測到的 BER 與接收光功率的關係曲線圖。由圖可看出當傳輸信號經過 40 公里的標準單模光纖傳輸後，在 BER=10<sup>-9</sup> 的條件下；當系統接收端沒有使用外部光源注入技術時，其接收端所接收到的光功率約為 -22.5 dBm；而使用 -5 dBm 的外部光源注入技術時，最後接收端所接收到的光功率約為 -25.2 dBm。由實驗的結果可知，我們於系統發射端利用 -5 dBm 的外部光源注入技術，對於雙向混合式 DWDM-PON 傳輸信號其接收光功率在 BER=10<sup>-9</sup> 時，可以大大的提升約 2.7 dB 的效能改善。

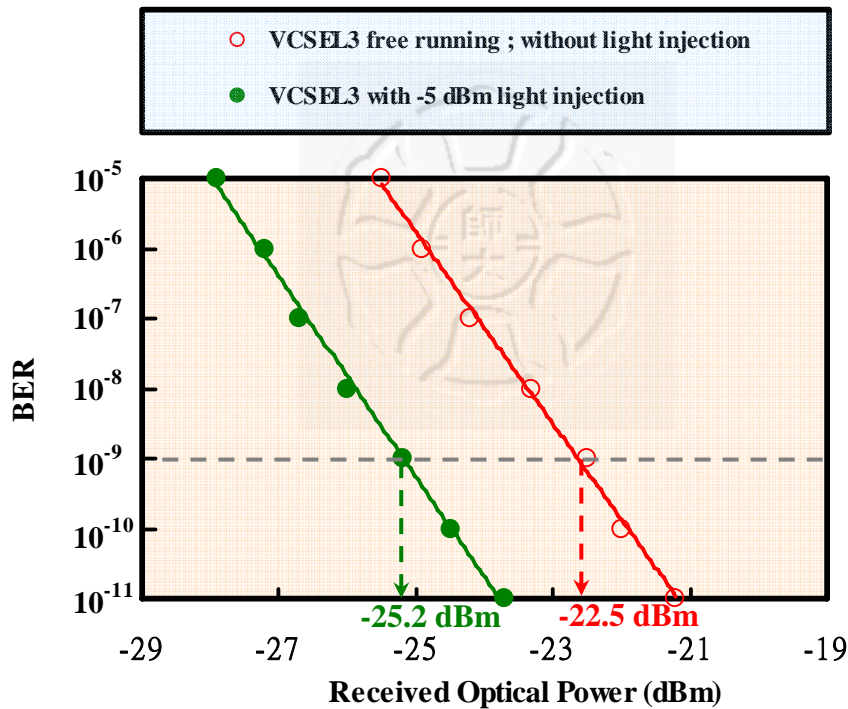
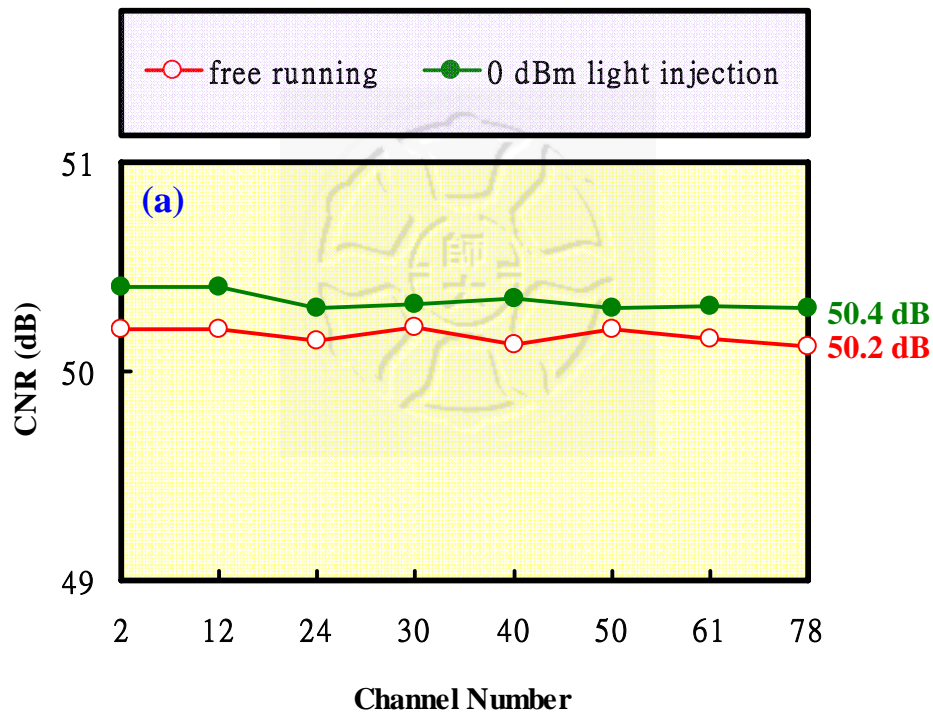


圖 4.4 VCSEL3 雷射之 BER 與接收光功率關係曲線圖

圖 4.5 (a)、(b)及(c)分別為有無使用外部光源注入技術情況下所量測到的 NTSC 頻道數 CNR、CSO 及 CTB 參數值。由圖可以看出當傳輸信號經過 40 公里的標準單模光纖傳輸後，在 CNR 參數值 > 50 dB 的條件之下；當系統沒有使用外部光源注入技術時，其接收端所接收到的 CNR 參數值 > 50.2 dB，當系統使

用 0 dBm 的外部光源注入技術時，其接收端所接收到的 CNR 參數值  $> 50.4$  dB，很明顯的是符合 CNR 的參數值規範並且對於傳輸品質也有提升。

另外，在 CSO 及 CTB 參數值的部分；當系統沒有使用外部光源注入技術時，其接收端所接收到的 CSO 及 CTB 參數值分別為  $< -64$  dBc 及  $< -63$  dBc；而當系統使用 0 dBm 的外部光源注入技術時，最後接收端所接收到的 CSO 及 CTB 參數值分別為  $< -68$  dBc 及  $< -67$  dBc。由實驗的結果可知，我們於系統發射端利用 0 dBm 的外部光源注入技術時，對於雙向混合式 DWDM-PON 傳輸信號其 CSO 及 CTB 參數值可以大大的提升分別約 4 dB 及 4 dB 的效能改善。





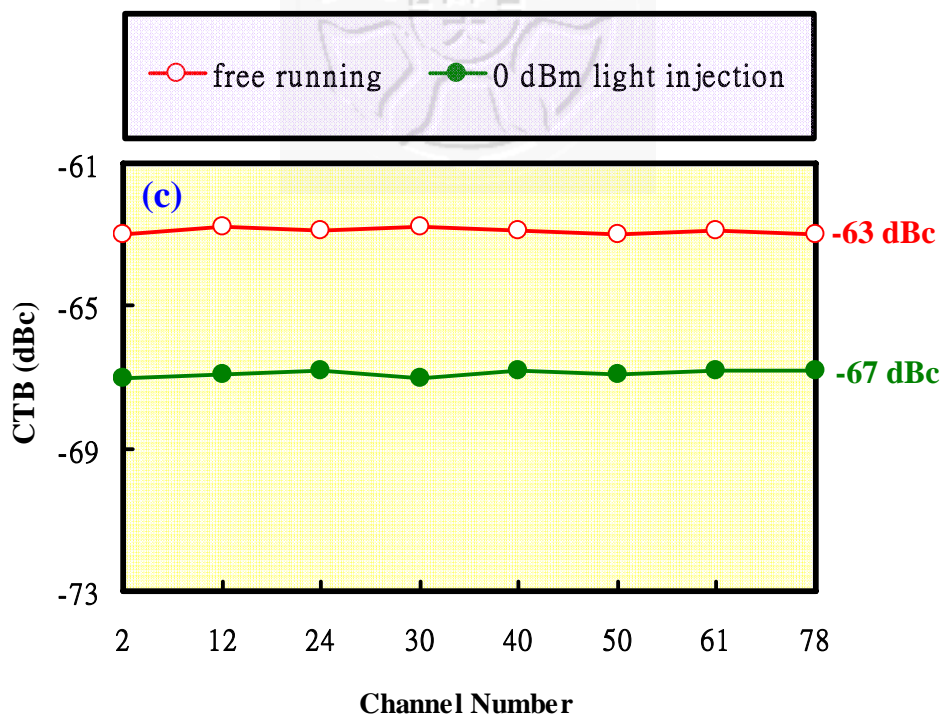
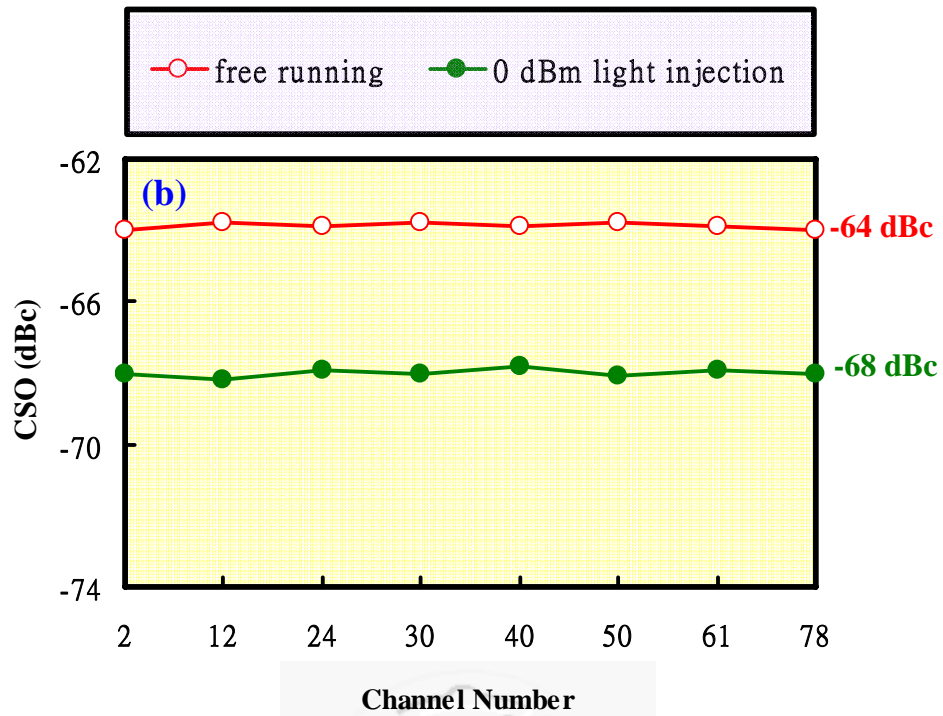


圖 4.5 (a)、(b)及(c)分別為有無使用外部光源注入技術情況下所量測到的 NTSC 頻道數 CNR、CSO 及 CTB 參數值

## 4.4 本章結論

本章節中我們提出並證明建構於寬頻 ASE 外部光源注入技術之雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統。此傳輸系統最主要是利用外部光源注入技術，希望藉由外部光源注入技術有效地增加 VCSEL 雷射的共振頻率，並且使得我們的傳輸系統在效能上能得到提升。

我們成功地藉由外部光源注入技術來增加雷射的調變頻寬及減少雷射的擾頻效應，針對系統所引起的非線性失真作補償，使得系統有較好的 BER 之效能改善，並且可以獲得接收靈敏度的提升。由量測結果驗證，信號在經過 40 公里的標準單模光纖傳輸後，對於數位資料信號的部份，在  $BER=10^{-9}$  之條件規範下，當使用外部光源注入技術時，其有助於系統 BER 值之提升；對於類比資料信號的部份，當使用外部光源注入技術時，則可獲得良好的 CNR、CSO 及 CTB 等有線電視信號參數值，這也說明了利用寬頻 ASE 外部光源注入技術將有利於我們所提出之雙向混合式 DWDM-PON 傳輸系統效能之提升。

另外，由於我們使用寬頻 ASE 當成傳輸系統外部注入光源來取代昂貴的 DFB 雷射光源，因此在實際應用上也提供了一個符合經濟效益且價格低廉的高密度分波多工系統光源。