

第三章 系統相關元件及參數介紹

3.1 VCSEL 雷射與 DFB 雷射介紹

垂直共振腔面射型雷射(Vertical cavity surface emitting laser ; VCSEL)

VCSEL 雷射是半導體雷射中較新的一種，在 1990 年代的中後期中才開始商用化，對於擁有低成本、高性能的元件而言，它的特性是相當引人注意。在半導體雷射製造中，就屬 VCSEL 雷射是最有機會能降低成本的。由於一般雷射二極體在製成晶圓(Wafer)後，因為是採邊射型發光，所以需將整片晶圓切割成一個個的晶粒(Die)後，再從側邊檢測發光品質是否合格，檢測通過才能進行後續的封裝，此項工作費時費力且成本高昂。但由於 VCSEL 是採取面射型，所以製成磊晶圓後，即可直接從上方檢測整片磊晶圓的品質，而不需檢測每個晶粒，因此可大幅簡化檢測程序，亦可節省後序製程、量測、封裝等許多組裝成本問題。

VCSEL 雷射結構圖如圖 3.1 所示，VCSEL 雷射為面射型雷射，面射型雷射光所發出的光束呈現圓形。在 VCSEL 雷射結構中，藉由上、下兩組分佈布拉格反射鏡面(Distributed Bragg Reflector ; DBR)來形成雷射共振腔；使得光源可經由雷射腔底部反射，造成雷射光源是由晶粒表面頂端垂直發射出來。由於 VCSEL 和 DFB 雷射一樣在內部都設有布拉格光柵(Bragg Grating)，故可控制輸出光源波長的頻譜寬度，也因此 VCSEL 和 DFB 雷射同樣較無色散之現象。另外，由於 VCSEL 雷射具有低功率的優點，使得 VCSEL 雷射的使用壽命也較其它邊射型雷射來的長，所以目前 VCSEL 雷射仍被廣泛的應用在光通訊傳輸系統中 [9]。

綜合以上所述，VCSEL 的優點整理如下：

1. 垂直面發光，便於檢測。
2. 雷射光束極細且不易發散，光束為圓形，易於與光纖耦合。

3. 可調變頻率高，提供高傳輸速率。
4. 低驅動電流，室溫操作，穩定度高壽命長。
5. 良率容易提升，價格低廉。

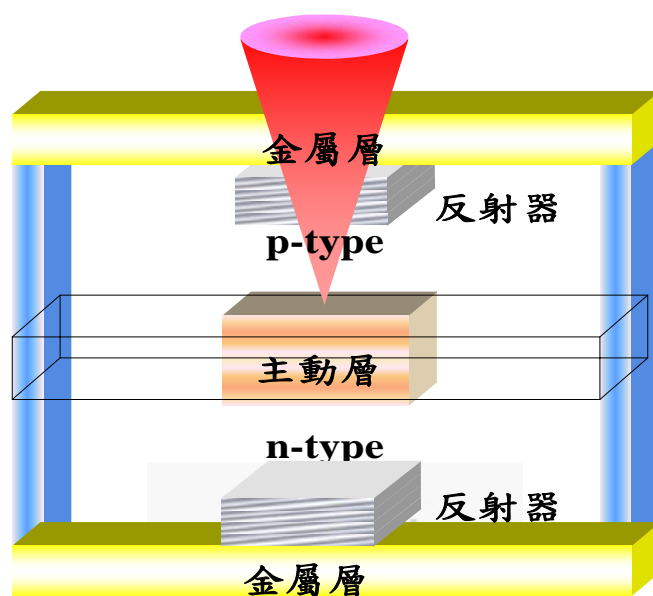


圖 3.1 VCSEL 雷射結構圖

分佈回饋式雷射(Distributed Feedback Laser Diode ; DFB LD)

DFB 雷射結構圖如圖 3.2 所示，DFB 雷射為邊射型雷射，邊射型雷射光所發出的光束呈現橢圓形。當 DFB 雷射注入正向電流時，此時主動區內的電子-電洞複合，將輻射出相對應的能量光子，這些光子會受到每一條光柵的反射而形成光回授，反射是藉由週期波紋光柵所造成的材料折射率週期變化，對主動層中傳播的光產生干擾現象，此種光柵條間的反射，稱為布拉格(Bragg)反射。在 DFB 雷射中，光回授作用是為了使主動區中的正向波與反向波發生耦合，至於雷射模式的選擇是藉由布拉格光柵所決定，即兩束反射波之間，只有滿足布拉格條件的波長才會出現耦合。其布拉格的條件可表示為 [10]：

$$\Lambda = m \left(\frac{\lambda_m}{2} \right) \quad (3.1)$$

其中 Λ 為光柵週期；

λ_m 為介質中的光波長；

m 為整數，由光柵所引起的布拉格反射階層。

在光纖通訊傳輸系統中，一般所使用的 DFB 雷射規格及特性如下：

1. 使用傳輸波長 1550 nm 為主。
2. 波長變化與溫度漂移之間的關係為 $0.08 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 。
3. 驅動雷射電流為 50 - 60 mA。
4. 旁模抑制比大於 40 dB 以上。
5. 雷射線寬為 0.8 - 0.08 pm(10 - 100 MHz)。
6. 傳輸距離可達 200 公里以上。

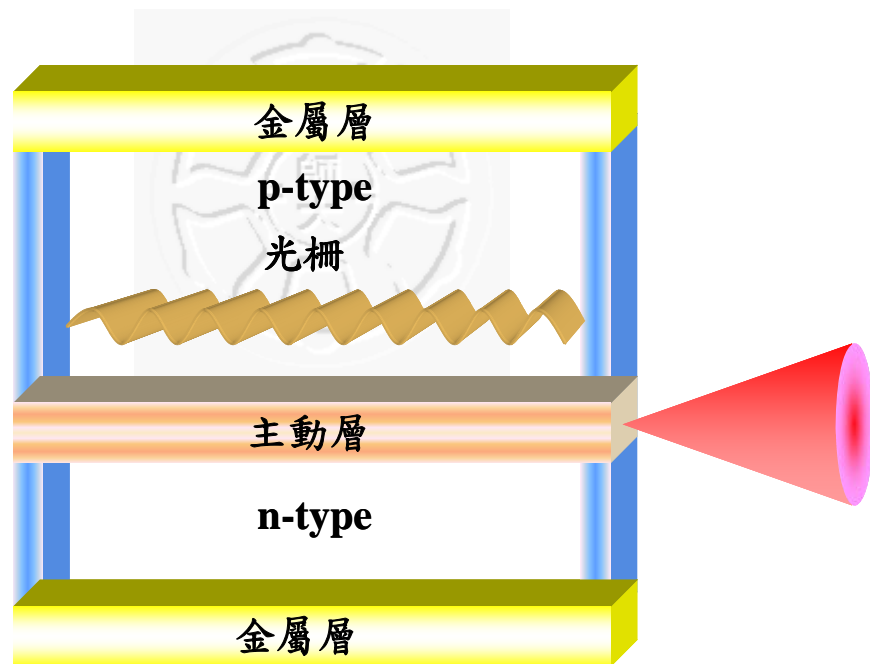


圖 3.2 DFB 雷射結構圖

3.2 旁模抑制比

旁模抑制比(Side Mode Suppression Ratio；SMSR)的觀測，在本論文中為很重要的數據。一個好的鎖模方法能使半導體雷射有較大的信號強度，較低的雜訊，並且會有較大的旁模抑制比。在本論文中我們發現旁模抑制比的影響因素甚多，像是RF信號的頻率及強度、反射率及損失係數比等等。在許多文獻中我們整理出旁模抑制比的公式可表示為 [11]：

$$SMSR = \frac{I_1}{I_2} = \frac{g_1}{(\Gamma'_1 - g_1)} \times \frac{(\Gamma'_2 - g_2)}{g_2} = \frac{\frac{g_1}{\left(1 + \frac{I_1}{I_s(1)}\right)}}{\Gamma'_1 - \frac{g_1}{\left(1 + \frac{I_1}{I_s(1)}\right)}} \times \frac{\Gamma'_2 - \frac{g_1}{\left(1 + \frac{I_1}{I_s(2)}\right)}}{\frac{g_1}{\left(1 + \frac{I_1}{I_s(2)}\right)}} \quad (3.2)$$

$$\text{又 } (1 - \rho_1 \xi_1) \Gamma_1 = \Gamma'_1, \quad (1 - \rho_{21} \xi_2) \Gamma_2 = \Gamma'_2$$

其中 I_j 為光的強度；

g_j 為增益係數；

Γ_j 為損失係數；

$I_s(j)$ 為飽和強度；

ρ_j 為傳播損失；

ξ_j 為不同量子效率。

根據旁模抑制比的理論，此比值是要越大越好，從3.2式子中我們得知要使旁模抑制比越大，則必須使 $\frac{I_1}{I_2}$ 也越大，又 $\frac{I_1}{I_2}$ 可表示為：

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{C_1(\Gamma'_2 - C_2\Gamma'_1)}{\Gamma'_1} = \frac{C_1\left(1 - \frac{C_2\Gamma'_1}{\Gamma'_2}\right)}{\frac{\Gamma'_1}{\Gamma'_2}} = \frac{C_1\left[1 - \frac{C_2 \ln(R'_{eff,1})}{\ln(R'_{eff,2})}\right]}{\frac{\ln(R'_{eff,1})}{\ln(R'_{eff,2})}} \quad (3.3)$$

其中 C_j 為常數；

R'_{eff} 為有效反射率。

由3.3式子中若要使 $\frac{I_1}{I_2}$ 越大，則 $\frac{\Gamma'_1}{\Gamma'_2}$ 必須越小，其中 $\frac{\Gamma'_1}{\Gamma'_2} \cong \frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} = \Delta\Gamma$ 可表式為：

$$\Delta\Gamma = -\frac{\partial}{\partial R} \left[\frac{\ln(R'_{eff,1})}{2L} \right] \cdot \Delta R = -\frac{\Delta R}{2LR'_{eff}} \quad (3.4)$$

其中 ΔR 為反射變化；

$\Delta\Gamma$ 為損失變化。

最後由 3.4 式子中我們得知若要使旁模抑制比越大，則必須在 $\Delta\Gamma$ 越小， ΔR 越大之條件之下，才能符合我們所要的旁模抑制比越大之期望，並且如圖 3.4 所示為旁模抑制比模擬圖，從圖 3.3 所示更確定理論與旁模抑制比模擬圖之正確性。

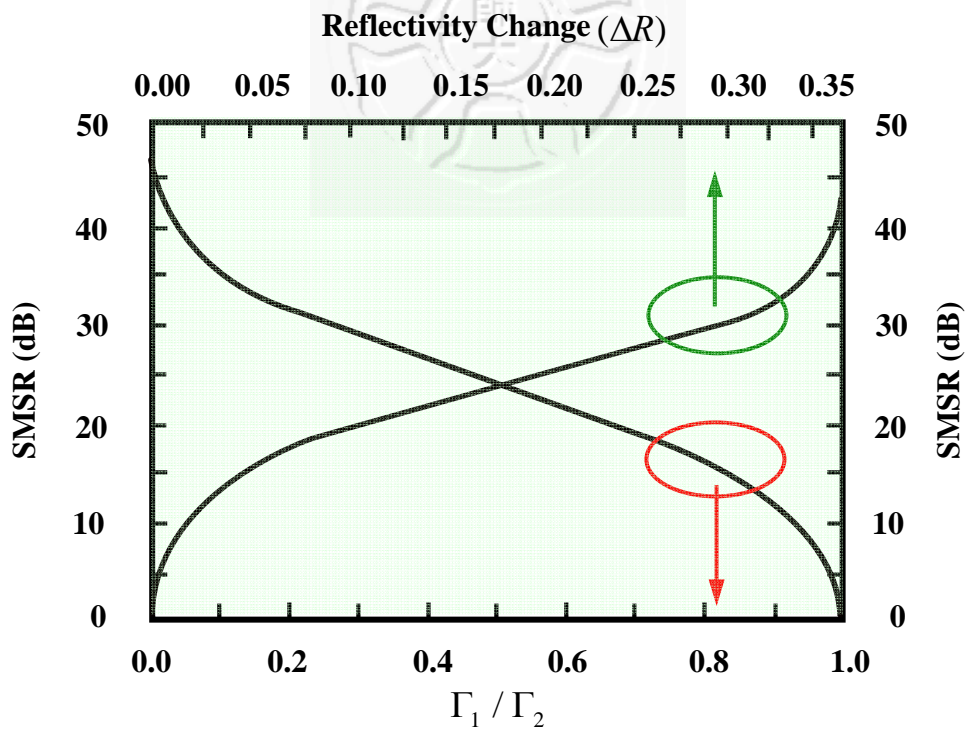


圖 3.3 旁模抑制比模擬圖

3.3 誤碼率

在傳輸通信系統中，主要有四大因素是影響系統信號品質，像是符元間干擾 (Intersymbol Interference ; ISI)、串音現象(Cross-Talk)、雜訊(Noise)及 BER，這些因素在電與光的傳輸系統中都是不可避免的。在本論文中是針對 BER 作一個探討，信號位元碼在傳輸過程中，因傳輸通道不理想以及系統中的雜訊干擾，導致接收端在判斷上產生位元碼錯誤，稱為誤碼(Error Code)。其中在數位通信傳輸系統上，主要是針對 BER 的改善去決定通信系統品質的好壞，因此，在數位通信傳輸系統中 BER 的計算被表示為：

$$\text{誤碼率(BER)} = \frac{\text{錯誤率(Error Count)}}{\text{比較位元總數(Total Count of Compared bits)}} \quad (3.5)$$

由 3.5 式子中我們得知若要得到一個低 BER 的數位通信傳輸系統，則必須大量的資料被傳送或是有較低的錯誤率(Error Count)，如此亦可以提高量測 BER 的正確性。

3.4 光纖有線電視系統參數

目前有線電視皆用調幅殘旁波帶(AM-VSB)調變的方式來傳送影像訊號，其在發射訊號時，是將整個上旁波帶再加上部分的下旁波帶發射，大部分的下旁波帶訊號被去除，以節省頻寬。我國於有線電視系統工程技術管理規則中，對於系統的傳輸品質有明確的定義與規範，通常由下列這三個參數來決定接收訊號的品質：

1. 載波雜訊比(Carrier-to-Noise Ratio ; CNR)。
2. 載波合成二次拍差比(Composite Second Order ; CSO)。
3. 載波合成三次拍差比(Composite Triple Beat ; CTB)。

在有線電視系統用戶端技術規範中，影像載波的最佳規範值為 0 ~ 14 dBmV，而聲音載波應低於影像載波 13 ~ 17 dB，且載波訊號位準太強或太弱都不行。因為前者會造成鄰近頻道間的互相干擾、電磁波輻射或畫面扭曲變形；後者會造成畫面有雪花，而影響收訊品質，甚至無法收視的情況。因此，CATV 必須要有一個最佳規範值，以便於系統的規劃 [12]。

3.4.1 載波雜訊比

光纖有線電視傳輸系統中的雜訊，多半來自主動元件，少數由被動元件所產生，此雜訊會對系統性能造成嚴重的影響。因此在有線電視系統參數量測上，通常採用載波雜訊比來分析其傳輸訊號品質特性。如圖 3.4 所示為有線電視載波雜訊比示意圖，其中載波雜訊比的定義如下：

$$CNR \equiv 10 \log \frac{\text{影像載波位準}}{\text{雜訊位準}} \quad (3.6)$$

在 SCM 光波傳輸系統中，排除光纖色散所造成的影響外，載波雜訊比也可表示為 [13]：

$$CNR = \frac{\frac{1}{2}(mI_0)^2}{B_e(2eI_0 + n_{th}^2 + RIN \times I_0^2)} \quad (3.7)$$

其中 $(mI_0)^2/2$ 為每個頻道的信號功率；

m 為每個頻道的光調變指數(Optical Modulation Index；OMI)；

I_0 為平均接收的光電流；

B_e 為雜訊頻寬；

$B_e n_{th}^2$ 為接收機的熱雜訊(Thermal Noise)；

$2B_e e I_0$ 為散彈雜訊(Shot Noise)；

e 為電荷；

RIN(dB/Hz)為雷射的相對強度雜訊(Relative Intensity Noise ; RIN)。

由(3.7)式中可以得知，載波雜訊比值會受到接收機的熱雜訊、散彈雜訊以及雷射的相對強度雜訊所影響。另外，接收機的雜訊和量子效率可以決定滿足載波雜訊比要求所需的接收光功率大小。其接收光功率(P_0)與光電流的關係如下：

$$P_0 = \frac{h\nu}{\eta e} I_0 \quad (3.8)$$

其中 $h\nu$ 為光子能量；

η 為檢光二極體的量子效率。

由(3.7)及(3.8)式中便能決定所需的光功率大小，來達到要求的載波雜訊比值。其中一般載波雜訊比對於電視畫面品質的影響如下：載波雜訊比值越高越好，表示畫面越清晰；而載波雜訊比值偏低會降低解析度，如果過低的話，則畫面會出現『雪花』，若載波雜訊比值劣化過於嚴重時，會造成畫面無法收視。依照有線電視工程技術管理規範中規定，所測量的載波雜訊比值應 ≥ 50 dB。

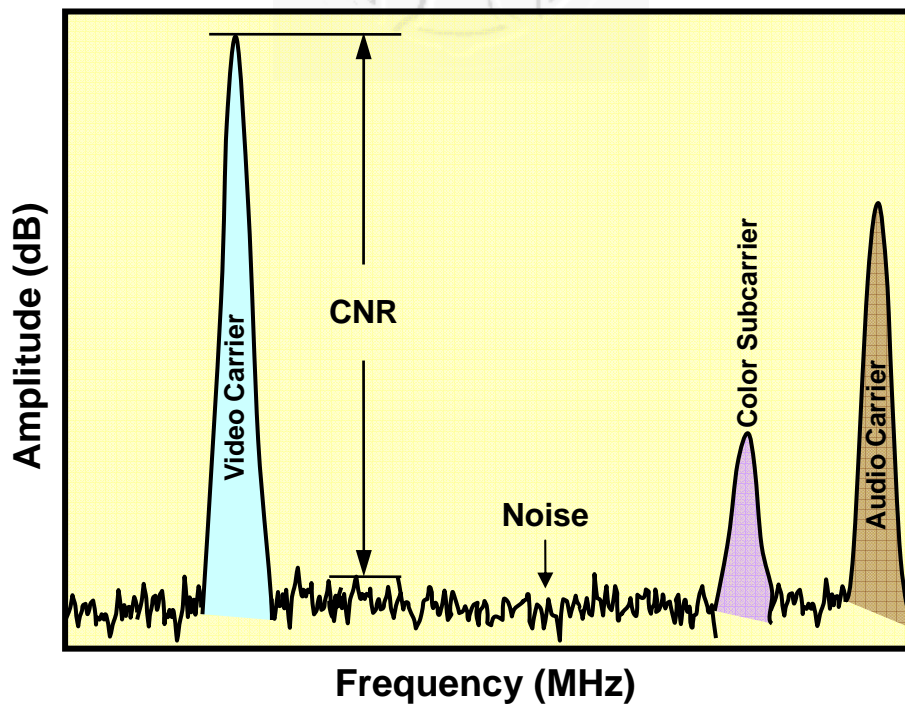


圖 3.4 有線電視載波雜訊比示意圖

3.4.2 載波合成二次拍差比

依有線電視系統載波頻率的指配方式，其載波合成二次拍差比會剛好落在影像載波頻率的 ± 0.75 MHz 或 ± 1.25 MHz 的位置，因此只要量測這四處取其最大的拍差位準即可得到載波合成二次拍差比值，如圖 3.5 所示為有線電視載波合成二次拍差示意圖。載波合成二次拍差比的定義可表示為：

$$CSO \equiv 10 \log \frac{\text{影像載波位準}}{\text{載波合成二次拍差位準}} \quad (3.9)$$

其中一般載波合成二次拍差比對於電視畫面品質的影響如下：載波合成二次拍差比值越高越好，表示畫面受到干擾的成份越少；如果載波合成二次拍差比值偏低的話，會造成畫面中出現『斜條紋』的情況。依照有線電視工程技術管理規範中規定，所測量的載波合成二次拍差比值應 ≥ 60 dB。

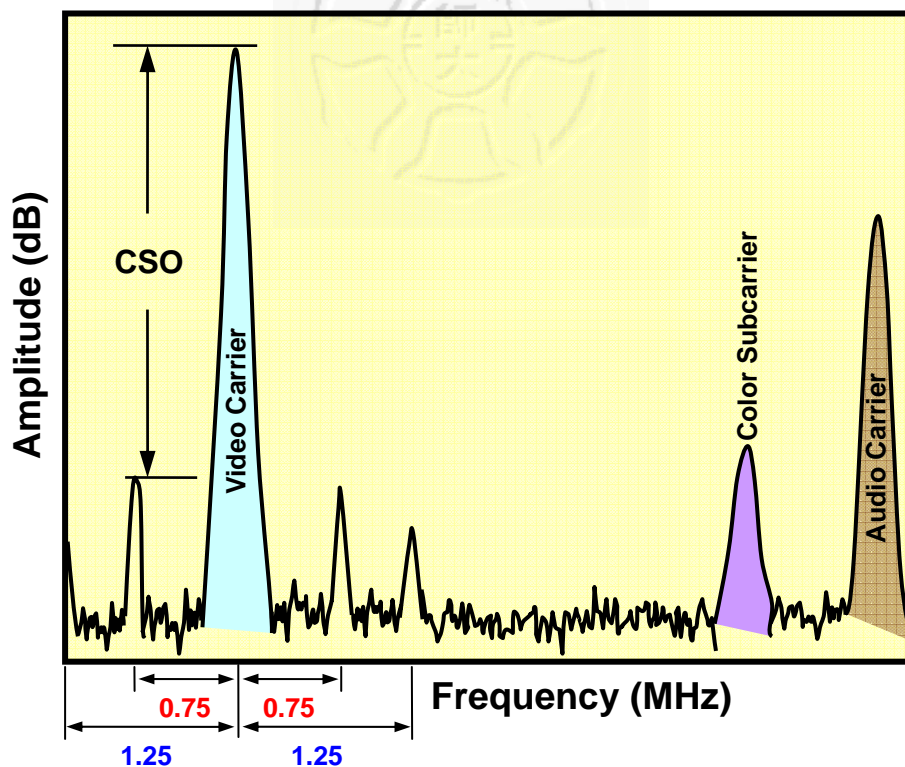


圖 3.5 有線電視載波合成二次拍差示意圖

3.4.3 載波合成三次拍差比

依有線電視系統載波頻率的指配方式，其載波合成三次拍差比為三個載波訊號在非線性元件上混頻產生的一個失真信號，會剛好落在該頻道影像載波頻率的位置，如圖 3.6 所示為有線電視載波合成三次拍差示意圖，因此要量測其拍差位準大小時，必須將該頻道之載波位準關掉，便可測得其載波合成三次拍差比值。載波合成三次拍差比的定義可表示為：

$$CTB \equiv 10 \log \frac{\text{影像載波位準}}{\text{載波合成三次拍差位準}} \quad (3.10)$$

其中一般載波合成三次拍差比對於電視畫面品質的影響如下：載波合成三次拍差比值越高越好，表示畫面受到干擾的成份越少；如果載波合成三次拍差比值偏低的話，會造成畫面中出現『白色橫細條紋』的情況。依照有線電視工程技術管理規範中規定，所測量的載波合成三次拍差比值應 ≥ 60 dB。

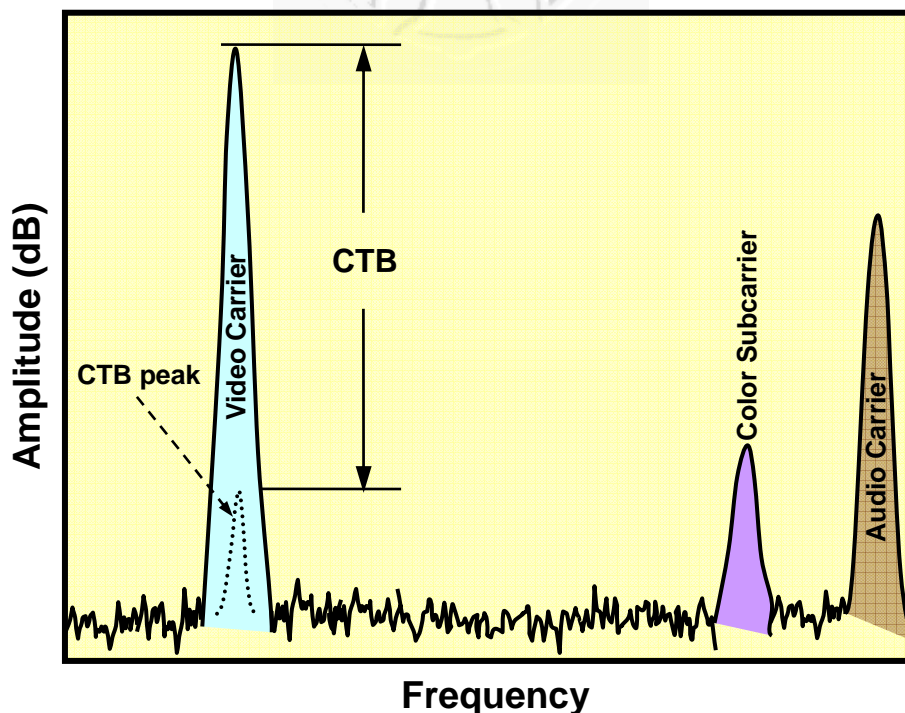


圖 3.6 有線電視載波合成三次拍差示意圖