

第一章

緒論

全像術(Holography)起源於西元1948年，由Dennis Gabor提出『波前重建(wavefront reconstruction)』的概念，利用一道物體光與另一道參考光相交而產生干涉，並利用記錄介質將此干涉條紋記錄下來，此種方法可記錄下物體光的全部資訊，包括光振幅及相位分佈，不同於一般只記錄光強度分佈的拍攝方式。而在重建時，只需照射原來的參考光於全像片即可重建出原來記錄的物體光。

1.1 研究動機及目的

由於一般的照相術或攝影術只記錄光資訊的振幅部分，並沒有紀錄到相位的資訊，因此記錄的資訊僅限於二維的平面資訊，儘管現在的平面顯示技術不斷地進步，所呈現的影像品質越來越好，但是我們的世界是屬於立體的世界，我們的雙眼接受的也是立體的資訊，所以為了讓物體影像更真實的呈現在我們眼前，立體影像顯示技術的發展是不可或缺的。而現今的立體影像顯示技術中，全像術是少數可以從不同角度看到不同物體資訊的立體技術。因此本論文將就傳統全像術討論，在不同的光學系統中，我們可以拍攝穿透式、反射式、複製全像片及彩虹全像片，並以發光二極體(LED)光源重建反射式全像片，製作方便觀察之裝置，最後再使用液晶空間光學調制器當作輸入，即時切換輸入影像，拍攝角度多工之連續影像。

1.2 全像術的基本條件

全像術的記錄方式，是記錄物體光與參考光相交而產生的干涉條紋，因此全像在記錄時必須架設穩定的光學系統，然而，架設光學系統並不容易，例如：對光、控制參考光與物體光的相位在同調範圍內、參考光與物體光的夾角或者是參考光與物體光的強度比例等，都會影響到全像片的拍攝品質；另外光學系統需要極高的穩定性，干涉條紋才可被記錄下來。因此，一張高品質的全像片，重建時的光波繞射效率要好，則干涉條紋的清晰度要好。而干涉條紋的清晰度取決於[1]

$$V = \frac{2|\mu_T(\tau)|\sqrt{R} \cos(\Omega)}{R+1} \quad (1-1)$$

其中 τ 是指光源之同調時間，即在 τ 時間範圍內為理想弦波，而 $|\mu_T(\tau)|$ 為光源之同調程度； R 為參考光與物體光之光強比； Ω 為參考光與物體光之偏振態夾角。所以由上式可知，記錄光源之同調性、參考光與物體光之光強比及偏振態夾角皆會影響干涉條紋之清晰度。

a. 同調性

光源的同調性對干涉條紋的影響很大，一般同調性分成空間同調與時間同調。空間同調是指空間中不同位置光的相關性，單色光的點光源即為空間同調。而時間同調是指同一位置的光時間不同時的相關性，式子(1-1)中的 $|\mu_T(\tau)|$ 即是考慮時間同調，因為在單頻單一模態的雷射通常有很好的空間同調，因此干涉條紋的品質就和時間同調性有較大的關聯。好的時間同調性的雷射不僅會有品質較好的干涉條紋外，也會有較長的同調長度，較方便於系統光路之設計。所以在拍攝

全像時，對於記錄光源的同調性很要求，因此自雷射發明之後，全像術才有很大的突破。

b. 光強比

參考光與物體光的光強比也會影響干涉條紋的清晰度，理論上來說，當 $R=1$ 時，(1-1) 式中的 $\frac{\sqrt{R}}{R+1}$ 有最大值，也就是干涉條紋有最好的清晰度，但實際在拍攝時，如果物體光太複雜容易產生自相干的現象，降低重建品質，因此一般會減少干涉時的物體光強度，選用參考光：物體光光強約 2:1~5:1 不等。

c. 偏振態夾角

干涉時的參考光與物體光之偏振態控制在相同方向，即夾角 Ω 為零度，這樣 $\cos(\Omega)$ 有最大值，所得到的干涉條紋之清晰度為最佳。一般選用出射為線性偏振態的雷射當光源，只需使用半波板和偏振片即可調控所需之偏振方向。此外，拍攝全像時選用物體光與參考光之偏振態為垂直光學桌面的線偏振態干涉效果較佳，因為此時的偏振態在空間中是沒有夾角的，若選用平行光學桌之線偏振態干涉，雖然是同一平面入射，但線偏振態之間還是有夾角，如圖 1-1 所示：

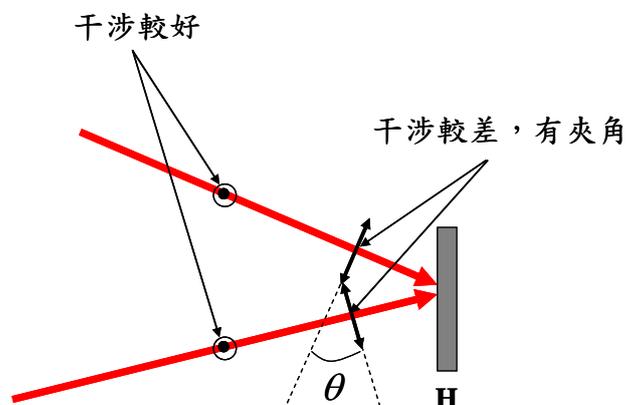


圖 1-1 干涉時之偏振態比較

d. 底片特性

除了上述所需注意的條件外，底片的特性也會影響到拍攝的結果。目前市售的全像底片有很多種類，不同的底片有不同的特性，在拍攝前需先瞭解底片的特性，拍攝時要調整好曝光強度，並計算曝光時間。以 Slavich 的 VRP-M 和 PFG-01 全像底片為例：

底片種類	適用波長 (nm)	感光能量密度 ($\mu\text{J}/\text{cm}^2$)	感光介質厚度 (μm)	平均顆粒大小 (nm)	解析度 (lines/mm)
VRP-M	488-532	75	6-7	35-40	3000
PFG-01	633-647	80	7-8	40	3000

表 1-2 Slavich 的全像底片種類及特性

其感光波段曲線及繞射效率曲線可參考圖 1-3：

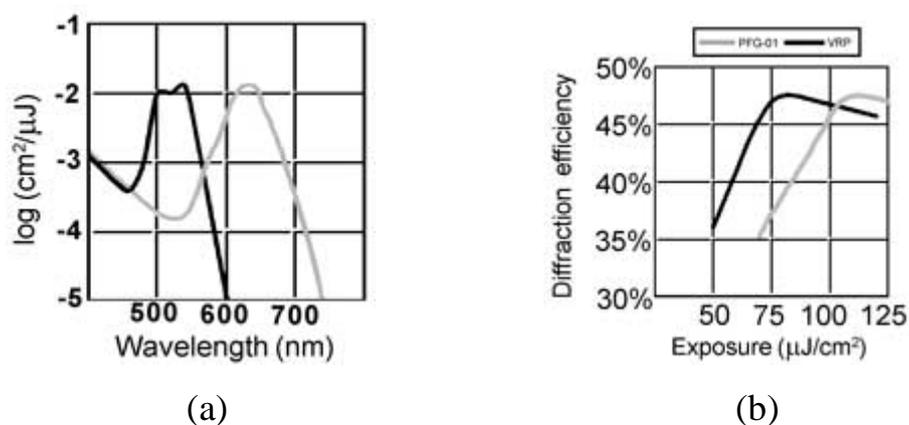


圖 1-3 (a)VRP-M(左)與 PFG-01(右)之感光波段曲線
(b)VRP-M(左)與 PFG-01(右)繞射效率曲線

因此，若要使用 PFG-01 底片記錄，我們可使用波長 632.8nm 之 He-Ne 雷射，控制曝光能量在 $110(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$ ，可得到較高的繞射效率，則曝光時間可經由下式計算得到，

$$\text{曝光時間(s)} = \frac{\text{底片感光能量密度}(\mu\text{J}/\text{cm}^2)}{\text{參考光+物體光光功率}(\mu\text{W}/\text{cm}^2)} \quad (1-2)$$

則曝光時間約為 0.73 秒。所以考慮底片的特性是必要的，這些參數可以幫助我們得到更高品質的全像片。

此外我們還有使用一款大陸天津遠大感光材料公司所生產的三環牌全息感光版之全息 I 型，感光峰值在 630nm。但是這款底片並沒有附詳細規格，因此曝光條件只能用實驗測試，我們設定曝光完成且經相同顯影、定影時間後之全像片的透光率大約為 50%，則此條件下測試出來的曝光強度與曝光時間關係如圖 1-4 所示，將這些曝光強度與曝光時間代入(1-2)式，可推算其感光能量密度約為 4~5 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 。

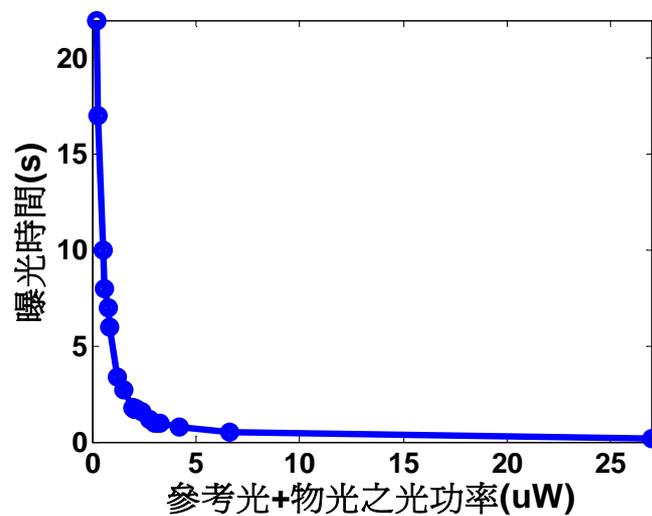


圖 1-4 大陸製底片之曝光強度與曝光時間關係

1.3 論文架構

此外全像術依照系統擺設的方式不同，我們可以得到不同的全像

片，主要可分為穿透式全像片、反射式全像片、複製全像片及彩虹全像片。本論文將探討各種全像系統的記錄方式及特性。是故，本論文的章節分為六大章，第一章緒論是簡介論文的主題，作為研究的動機與目的。第二章為介紹全像理論與全像記錄系統，並模擬記錄與重建影像之關係。第三章為光學實驗系統與拍攝結果。第四章是利用液晶空間光學調制器拍攝角度多工之全像片。第五章是使用發光二極體（LED）光源重建反射式全像片並製作可攜且方便觀察之裝置。第六章為結論與展望。