

再造一個我一似假還真的立體影像



高中組 第二名

縣 市：台中市

校 名：曉明女中

作 者：黃 馥

指導教師：柯閔耀



高一下，受學校老師的鼓勵及對物理光學的興趣，在經過資料的收集和與老師的討論，決定了我的題目，更幸運地得到張冀青教授的指導協助。我在研究中深刻體會到實驗的嚴謹性和研究的方法與精神，也更能掌握未來的方向。

關鍵詞：波前重建、彩虹全像術

一、研究動機

曾在科博館看到大型的全像片，市面上也常見到這種可呈現3-D立體影像的特殊照片，甚至信用卡上也可發現全像的應用，因此引起我去了解它的原理及加以深入討論的興趣，到底全像片是如何拍攝的？有何優缺點？有什麼應用價值？而一般全像片只能記錄物體180°的立體影像，是否能改良成可看到物體360°立體影像的全像片呢？

二、研究目的

- 1.瞭解全像片的基本原理與拍攝方法。
- 2.利用單光束法、雙光束法及彩虹全像術等方法拍攝全像片，並比較其影像重現效果。
- 3.探討狹縫的裝置位置對拍攝彩虹全像片的影響，並分析其對影像重現的成效。
- 4.利用筒狀及錐狀底片拍攝360°的全像片，並比較其影像重現效果。

三、研究原理

- 1.全像術是一種在感光底片上以二道同調光(一道為物光，另一道為參考光)產生干涉，並記錄其干涉條紋。經顯影、定影後，用參考光以繞射方式重建物光 (為第一階繞射)，以得到物體立體影像的照像術。
- 2.圖1可表示全像攝影中，底片的記錄方式與影像重建方法。圖1(a)是全像攝影時，參考光與物光在底片上產生干涉的示意圖。經適當的曝光後，加以顯影、定影，再如圖1(b)，以原參考光照射底片，則會以繞射方式重建物光，觀測者可透過全像片看見物體在原拍攝位置的虛像，而在觀測者的同側2 處(為參考光與物光的夾角)為物體實像成像處。若以一道逆參考光(參考光的共軛光)重建物光，則物體實像會在原物體拍攝位置成像。因此如圖1(c)，若將底片翻轉180°再以原參考光照射底片，對底片來說，此參考光相當於逆參考光，則物體實像成像於底片另一側與參考光夾角處。

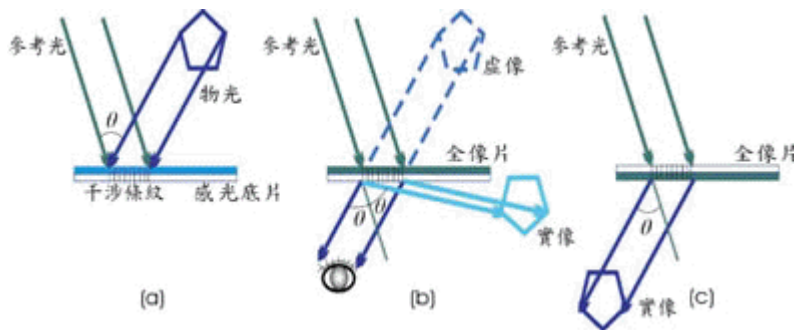


圖1

3.一般來說，得到立體影像的方法有兩種，一種為光學方式，另一種為數位方式。光學方式就是全像術，因為目前同調性最好的光源為雷射光，所以全像片是將同一束雷射光以分光鏡分為兩束雷射光進行拍攝，由於重建物光需要與拍攝時條件一致的參考光，若以傳統全像術的拍法來說，只能用雷射光重建，因此實用性不高。針對這個缺點，有人提出彩虹全像術(於研究方法5中詳述)加以改進。

4.一般拍攝全像片時，底片為一平面，而物體面對底片另一側的物光無法到達底片處，因此只能看見物體180°的影像。之後有人提出以許多長條形底片分別拍攝物體各角度的全像片，再組合成一圓筒或圓錐，可獲得物體360°的立體影像；但因為用來重建物體影像的底片為許多底片組成，不但有組合上的困難，也會有由底片接合處產生的柵欄效應，而導致重建效果不佳。因此，我們提出直接以一長條底片捲成筒狀或錐狀進行拍攝的改良方法。

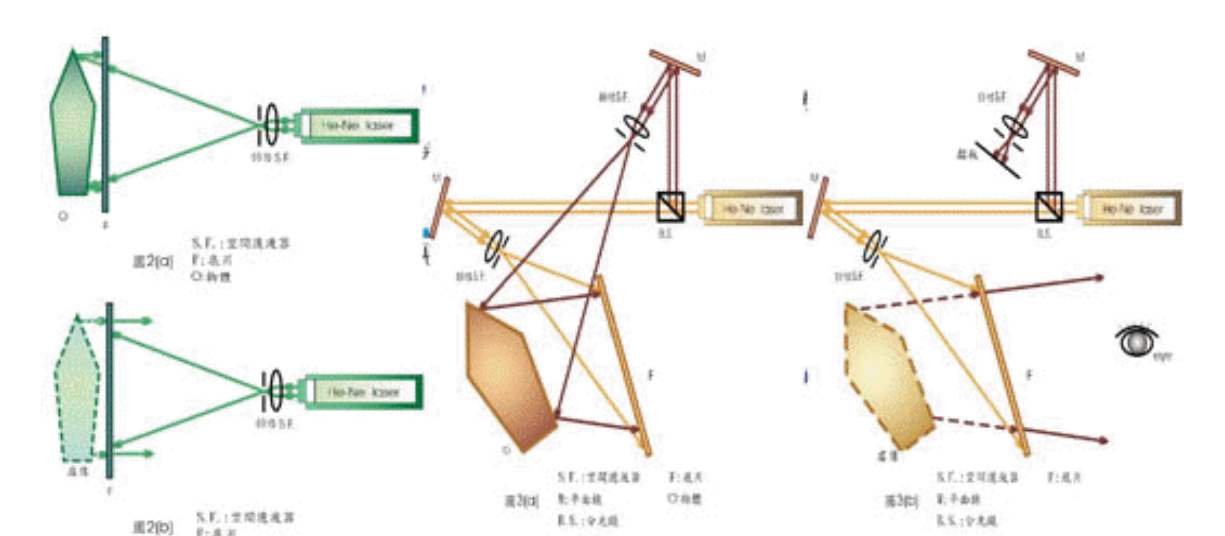
5.光學干涉實驗中，震動會造成干涉條紋晃動，在用感光底片記錄時，無法記錄清楚的訊息，拍攝的效果就會不好。簡單的避震系統是將桌腳加上避震墊，光學桌與桌之間加入橡皮內胎。在拍攝過程中，同時必須注意聲音與空氣流動所造成的擾動，所以拍攝時必須將冷氣或電風扇之類的東西關掉，甚至要停止呼吸。

6.我們拍攝全像片必須以雷射光為光源，因為雷射光具有很高的同調性，其同調範圍與雷射管內之共振腔的長度成正比，所以參考光與物光之光程差應控制在同調範圍內，如此才能記錄其干涉之結果。

四、研究方法

1.單光束拍法:

單光束法(反射式)是最原始的拍攝方法，裝置圖如圖2(a)，感光底片在欲拍物與雷射之間，雷射光射出後經由空間濾波器擴束成適當的光束(足以蓋過整個物體)，打在物體上反射於底片，是為物光。與參考光(同一束光)在底片上產生干涉。再經過顯影、定影，以同一束雷射光重建即可得一虛像於底片後(如圖2(b))。



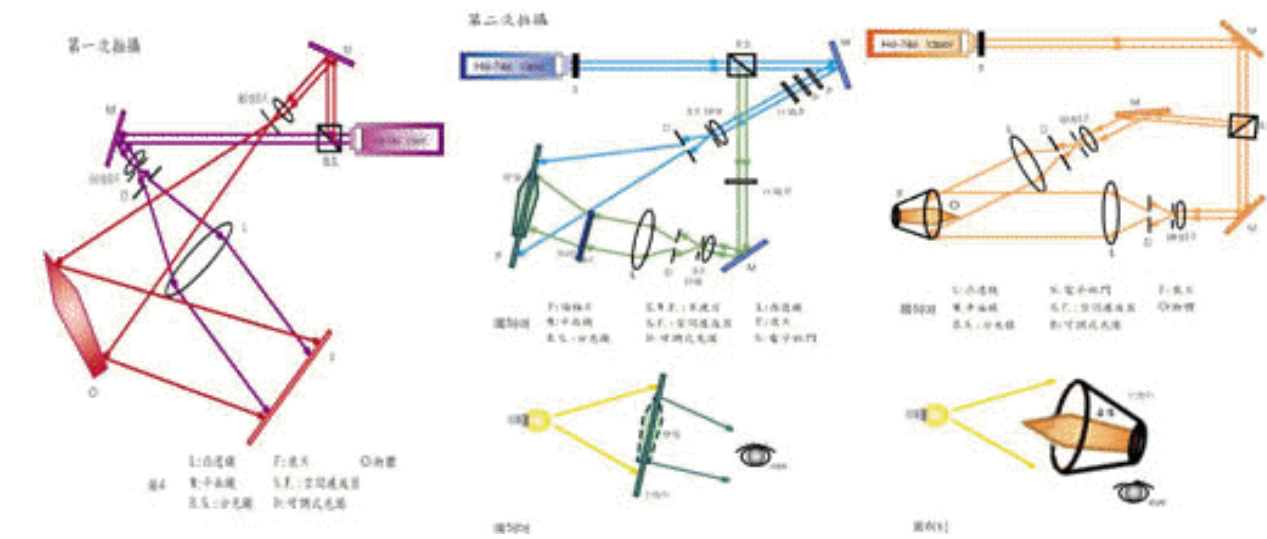
2.雙光束(穿透式)拍法:

如圖3(a)，雷射光射出後，經分光鏡分為二束光，分別經平面鏡反射至安排好的角度，由空間濾波器擴束後，其中一道光打在物體上反射或散射於底片上，是為物光，另一道光直接打在底片上，為參考光。參考光與物光所夾角設為h，二道光產生干涉後，底片經過顯影、定影後，將其擺回原底片位置，以原來的參考光重建可得物體的立體虛像(如圖3(b))。

3.彩虹全像術的拍攝方法:

(1)如圖4，先依雙光束方法(但此時參考光要用凸透鏡調成平行光)拍攝一張穿透式全像片H1。

(2)如圖5(a)，依研究原理3，將H1翻轉180°後，用一道平行光以原入射角度(拍攝H1時)照射H1，可使物體實像成像於底片另一側。將一狹縫置於H1上 (理論上需緊貼H1)，再將另一張底片置於實像成像處，引另一參考光與實像光干涉，經顯影、定影，即可在白光下重建物體立體影像 (如圖5(b))。



(3)在彩虹全像片第二次拍攝時，我們嘗試不加狹縫拍攝來比較以及改變狹縫的方向(垂直或水平)與寬度(0.5cm、0.25cm、0.125cm)來拍攝，希望得到最好的拍攝條件。又因要將狹縫緊貼於H1上有困難，所以我們將狹縫移於底片前或後一段距離(0.7cm、0.3cm)來拍攝，以了解狹縫是否必須緊貼H1。

(4)在彩虹全像片第二次拍攝時，因H1上加有狹縫，由1的原理，使用白光重建時，在不同的位置角度觀察，物體影像的顏色也會隨之改變，因此稱之為彩虹全像術。彩虹全像術的優點在於每一位置的觀察點只有一種色光的重建影像。能避免色光重疊造成影像模糊，缺點為必須犧牲垂直狹縫方向的視差。

4.筒狀及錐狀底片的拍攝方法:

(1)如圖6(a)(以錐狀底片為例)，雷射光射出經面鏡反射成垂直方向後，以分光鏡分光成二束(因顧慮到光程差的關係，分光鏡稍微傾斜以增加物光的光程)，分別經空間濾波器擴束(若為錐形底片，需再以凸透鏡調成平行光)，一束光入射底片作為參考光，另一束光照射物體作為物光。曝光後經顯影、定影，以原參考光(雷射光)或白光光源即可重建物體360°的立體影像(如圖6(b))。

(2)在底片的切割方面：錐形底片因考慮到底片大小、拍攝物底座大小及經濟效益，我們將底片裁成一半徑12cm的圓，並在中心剪掉一半徑2cm的圓，再將其裁成兩半，每一半即可捲成一個頂角60°、上底半徑1cm且下底半徑6cm的錐狀底片。而筒狀底片則是剪一段長20cm寬7cm的底片，即可捲成一個高7cm筒半徑3cm的筒狀底片。

5.曝光時間的控制：

全像記錄材料有鹵化銀類的底片、重鉻酸明膠類之相位式全像片、熱塑性材料之相位式及全像片光折變晶體材料(非線性光學材料)。而曝光時間必須依底片種類與物光和參考光之強度而定，通常將底片放置好後30秒才打開雷射，目的是讓光學桌穩定後再進行拍攝，以避免震動造成的干擾。曝光時間為0.5~1.5秒之間(以PFG-01的底片與5mW的雷射光源為例)。

6.顯影與定影的時間：

顯影的時間最好在20~40秒之間，太長或過短皆不宜，室溫控制在22°C左右，這些都會影響繞射效率。定影時間大約20秒，對全像片的效果影響較小。

五、研究結果與討論

1.以單光束拍攝的全像片，因為景深淺，可用白光重建，但因實像和虛像重疊，使得影像有模糊的缺點。

2.雙光束拍攝的全像片改善了單光束的缺點，可得到清晰的影像，但是因為景深較深，只能用雷射光重建物體影像，並不實用。

3.彩虹全像術:

(1)因為需要利用H1重建的實像進行第二次拍攝，所以必須拍攝一張繞射效率非常好的H1，以提供實像光強度及清晰度良好的物光。

(2)因物光稍弱，拍攝時，參考光可加偏極片來削弱光強度，但因使用的雷射光偏振方向固定，若參考光減弱太多(也就是幾乎與物光偏振方向垂直)，干涉效果會不佳，而影響全像片的效果。因此我們使用偏極片及半波片來改善這個問題：在這個實驗中，變化較大的是物光(因為會改變狹縫的寬度)，所以參考光必須配合物光而減弱，我們在參考光的光路上先放置一具偏極片及一具半波片(偏極片在半波片之前)，利用半波片將參考光的偏振方向轉成垂直方向，而偏極片則是確定通過的皆是同偏振方向的光，再把另一具偏極片放於此偏極片前，就可用來減弱參考光，又可確定參考光的偏振方向為垂直方向，之後再放置一具半波片於物光的光路上，將物光的偏振方向轉成垂直方向，則物光與參考光的偏振方向即為平行。

(3)如圖7所示，(a)為參考光與物光從水平方向入射底片的情形，而干涉條紋為垂直方向。(b)則為參考光與物光從垂直方向入射底片的情形，而干涉條紋為水平方向。由於我們在拍攝彩虹全像片時，參考光與物光是以水平方向入射的，因此狹縫方向若為水平，重建物光時雖然仍有彩虹的效果，但因干涉條紋為垂直方向而和狹縫的方向垂直，使得彩虹的效果只在一狹縫寬度的範圍明顯清楚。所以狹縫的方向應和參考光與物光入射方向垂直，而參考光與物光的偏振方向也為垂直入射方向效果最好。

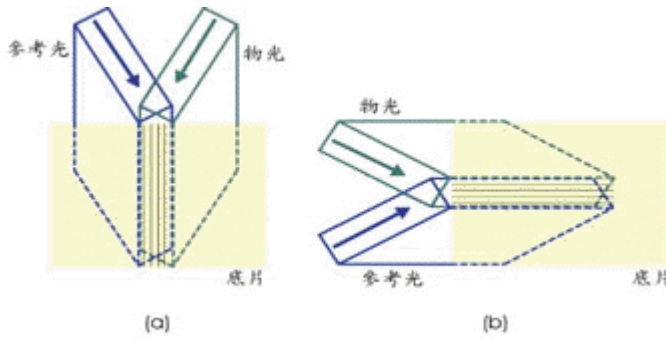


圖7

(4)拍攝出來的全像片會有些黑影條紋，且隨著狹縫寬度的縮小而更明顯也更密集。因為狹縫寬度縮小時，物光強度會減弱，使得參考光也必須減弱，相對地，曝光時間必須加長，而震動對全像片的干擾會更嚴重，因此這些黑影條紋可能是震動造成的。

(5)拍攝結果一覽表：

狹縫寬度	狹縫位置(註)	曝光時間	顯影時間	震動條紋	彩虹效果
無狹縫		35秒	40秒	無	顏色變化為水平方向，由左至右而從紅到紫，可見範圍：無狹縫 >0.5cm >0.25cm >0.125cm，除無狹縫外，背景都有顏色。
0.5cm	H1前 0.7cm	90秒	30秒	輕微	
	H1上	45秒	40秒	無	
	H1後 0.7cm	90秒	30秒	輕微	
0.25cm	H1前 0.7cm	110秒	30秒	中度	
	H1上	110秒	30秒	輕微	
	H1後 0.7cm	110秒	30秒	中度	
0.125cm	H1前 0.7cm	200秒	30秒	嚴重	
	H1前 0.3cm	200秒	30秒	中度	
	H1上	170秒	30秒	無	
	H1後 0.7cm	200秒	30秒	中度	

註：“H1前”表示狹縫在雷射與H1之間；“H1後”表示狹縫在底片與H1之間。

(6)實驗結果中，以0.5cm的狹縫放置於H1上拍攝出的全像片效果最佳。

(7)隨著狹縫寬度的縮小，拍攝時狹縫離開H1一段距離的拍攝效果會愈來愈差。在0.125cm狹縫的拍攝中，我們在狹縫置於H1前的距離上多加入了0.3cm的距離，結果發現0.3cm的效果較0.7cm的好，而每種寬度的狹縫拍攝效果最好的位置皆為置於H1上，由此可知，彩虹全像片的效果會隨著狹縫距底片距離的增大而變差，且狹縫愈窄可容許離開H1的距離愈小。

(8)狹縫放置於H1上、H1前及H1後拍攝出的全像片皆有彩虹的效果，也就是說拍攝彩虹全像片時，狹縫其實並不一定要緊貼H1。但是對同一寬度的狹縫來說，放置於H1上的效果要較其他兩者為佳，因為狹縫放置於H1前一段距離拍攝時，用來重建物體實像的平行光會先經過狹縫繞射，再到H1上重建物體實像，而此平行光波經狹縫後成一柱狀波，對H1並非很好的原參考光，因此影響重建出的物體實像，使得拍攝效果較差；而狹縫放置於H1後一段距離拍攝時，用來重建物體實像的平行光是先重建出物體實像，此物光再經狹縫繞射到感光底片，由於物體實像的光在到底片前有經過繞射而受影響，拍攝出的全像片效果也會較差。比較狹縫放置於H1前及H1後的效果，因為狹縫放置於H1前時，重建H1物體實像的平行光就已不是良好的平行光，對於物體實像的重建影響較大，所以狹縫放置於H1後的效果較放置於H1前的好。

(9)狹縫寬度較小者，彩虹的效果較明顯，但視角較小。因為狹縫寬度愈小，光的繞射愈明顯，但在重建物體的像時，可見的範圍受狹縫限制而愈窄

(10)雖然全像的繞射效率在不加狹縫時最高，但是不加狹縫的全像片在觀察時若左右轉動，物體的像亦會轉動且邊緣呈模糊，造成觀察的不便。加上狹縫後可補償此缺點，物體的像在觀察時，不會因全像片的轉動而模糊，因此隨著觀察角度的變化，物體的像都是清晰的，只有顏色呈彩虹變化。

4.筒狀及錐狀底片拍攝法:

(1)如圖8(a)，由於筒狀底片每一高度部分的曝光量因參考光入射底片的角度不同而不同，只能針對某一範圍的底片進行適當的曝光，因此筒狀底片拍攝出的全像片在重建時，只有某一範圍可看見清楚的影像。如圖8(b)，錐狀底片因為每一部分與參考光(平行光)的夾角皆固定，也就是說，底片上每一部分照射到的光強度一定，拍攝時能得到均勻的曝光，所以拍攝出的全像片重建時可看到物體清晰的立體影像，重建效果較佳。

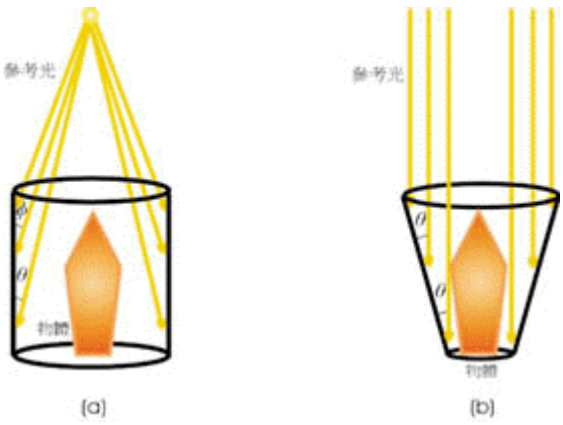


圖8

(2)同2(4)的原因，被拍攝物的材質爲毛玻璃最好。

(3)以錐狀底片拍攝出的全像片，因只有一個接合處，可將柵欄效應減至最低，亦可改善筒狀底片曝光不均勻的缺點，是成功的改良方法。

(4)錐狀底片的頂角應視被拍物的大小而定，若物體小則不宜過大，因頂角太大會使得景深加大，在用白光光源重建時，造成色光的模糊，使得重建效果不佳。所以錐狀底片應隨被拍物的大小調整其頂角，使底片盡量貼緊被拍物。

六、研究結論

- 1.以單光束拍攝的全像片，因爲景深淺，可用白光重建，但因實像和虛像重疊，使得影像有模糊的缺點。
- 2.雙光束拍攝的全像片改善了單光束的缺點，可得到清晰的影像，但是因爲景深較深，只能用雷射光重建物體影像，並不實用。
- 3.彩虹全像術可用白光重建，由於各色光的繞射角度不同，我們可在各個角度的觀察點得到一種色光的清晰物體影像。
- 4.彩虹全像拍攝中，狹縫的方向應和參考光與物光入射方向垂直，而參考光與物光的偏振方向也爲垂直入射方向效果最好。
- 5.這次實驗中，以0.5cm的狹縫放置於H1上拍攝出的全像片效果最佳。
- 6.比較狹縫在H1上、H1前及H1後拍攝出的全像片效果：在H1上的最佳，在H1後的次之，在H1前的最差。
- 7.彩虹全像拍攝中，狹縫寬度較小者，彩虹的效果較明顯，但受狹縫寬度限制，視角較小。
- 8.彩虹全像拍攝中，彩虹全像片的效果會隨著狹縫距底片距離的增大而變差，且狹縫愈窄可容許離開H1的距離愈小。
- 9.筒狀底片因曝光不均勻，在重建時只有某一範圍可看見清楚的影像。
- 10.以錐狀底片拍攝出的全像片，因只有一個接合處，可將柵欄效應減至最低，亦可改善筒狀底片曝光不均勻的缺點，是成功的改良方法。
- 11.錐狀底片應隨被拍物的大小調整其頂角，使底片盡量貼緊被拍物。

七、實用價值

- 1.彩虹全像術拍攝出來的成品，無法影印複製，可用來防止影印偽造。
- 2.幾乎所有我們看到的全像片都是以彩虹全像術拍攝的，如信用卡上的立體影像標誌、科學博物館內的展示品及市面上賣的全像片等。
- 3.全像術其他的應用有：駕駛座的抬頭顯示器、非破壞性檢測、電腦的影像處理等。

八、未來展望

- 1.對於曝光時間加長時，震動造成的條紋，希望能找出改善方法。
- 2.對於拍攝錐狀底片及筒狀底片時，底片定位不精準，以致於底片曝光部分不均的問題，希望能找出改善方法。

九、參考文獻

- 1.Graham Saxby, "Practical Holography," Prentice Hall International (UK) Ltd (1994).
- 2.Tung H. Jeong and Francis E. Lodge, "Holography using a Helium-Neon laser," Metrologic Instruments, Inc. (1980).
- 3.Nils Abramson, "The making and evolution of holograms," Academic Press (1981).
- 4.高級中學物理第三冊,國立編譯館 (1993).
- 5.布蘭德 著,白方平 譯, "MIT媒體實驗室,"天下文化出版社 (1999).
- 6.張冀青, 許民宗, "光折變全像儲存與相位共軛技術之研究," (1998) NSC 87-2815-C014-002-E.
- 7.張冀青, 陳子江, 許民宗, "改良式光學圖形識別系統," (1997) NSC 86-2815-C014-011-E.

評語

本件作品提供一新穎的立體全像片拍攝方法。即將全像底片製成錐形，使平行入射之光線均勻化，而可直接拍攝置於錐中的物體之3D全像片。其構想具有創意，方法可行。相較於傳統方法的需在不同方位拍攝物體後，再予疊置調節成3D全像片更爲直接方便，也具有實用性。本作品也証實彩虹全像術中的狹縫無緊貼重建實像的全像片之必要。作品具有創意實驗方法正確可行。

回到目錄頁../Index.htm