

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 丹尼式全像術之技術研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 99-2221-E-009-085-  
執行期間：99年08月01日至100年07月31日  
執行單位：國立交通大學光電工程學系(所)

計畫主持人：許根玉  
共同主持人：林烜輝  
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：江昶慶  
碩士班研究生-兼任助理人員：何啟新  
碩士班研究生-兼任助理人員：吳翊生  
博士班研究生-兼任助理人員：劉仁崇

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 100 年 11 月 30 日

中文摘要： 本計劃旨在探討丹尼氏反射全像術應用於展示實務影像的最重要的兩項關鍵技術：光感高分子全像底片製作技術，及 LED 光源重建全像技術，作為發展全像顯示技術的先期基礎研究。

全像底片方面，將以本實驗室研製的高分子體積全像儲存材料為基礎，研發顯示全像片專用的新穎底片，底片的面積以 A-4 尺寸為目標。吾人將以環氧樹脂為基材，而以光感分子均勻摻雜其中，形成光感底片。環氧樹脂基材係由 BADGE 及 3APTS 組成，光感分子則由 HEMA，AA，rgacure784，DI 等構成。吾人研製結果顯示，這種高分子基材堅固，感光之後其收縮係數幾乎可以忽略，因而不會改變體積光柵的布拉格匹配條件。材料的這種低收縮特性對於丹尼氏全像片尤其重要，因為如此，則重建時布拉格條件得以保持不變，因此，不會造成重建影像的顏色偏移，因而得到色彩保真。過去本實驗室研製體積全像資訊儲存材料已有相當經驗，但是，顯示全像底片之要求不同，它的厚度較薄(10~100 微米範圍)，面積較大(20~30 公分)，不需要大的紀錄動態範圍，但是需要很好的感光靈敏度。本研究將針對這些需求，調整材料成分以及製程參數，以建立未來發展全彩全像底片之基礎。

重建光源方面，將測量市售之各種 LED 特性，包含光源尺寸、發光頻譜、光之偏振、發光功率、以及發光角度分布等等特性，探討其時間與空間同調性，推導其對於重建反射式全像片之關係，從而求取光源參數對於重建影像的外型、色彩、視角、景深等等的影響，並以實驗驗證之，進而取得以 LED 光源重建顯示全像片的設計公式。

綜合理論與實驗成果，吾人預期可獲得大面積顯示全像片之光感高分子紀錄底片之設計與製作技術，以及 LED 重建丹尼氏反射全像片的設計準則。以作為後續發展全彩立體顯示之重要基礎。

中文關鍵詞： 全像光學、反射式全像、全像顯示、全像材料、體積全像

英文摘要： The goal of this research is to investigate the Denisyuk holograms for displays. We plan to perform investigations on two of the most important factors for display holograms: design and fabrication of photopolymer plates for holographic recording, and the LED light sources for hologram reconstructions. In the aspect of holographic plates, we shall extend our previous investigation on the low-shrinkage PQ:PMMA photopolymer materials for volume holographic

data storage to the display holograms. Our preliminary studies show that Irgacure 784 doped epoxy resin photopolymer, which consists of an epoxy resin polymer matrix and is uniformly doped with photosensitive elements, is a potential material for holographic recording at 532nm. The recording and reconstruction of display holograms of A-4 size demonstrates the feasibility of fabrication of large size holographic plates. In the research, we shall further investigate the improvement on the material sensitivity by adjusting the photopolymer components and the fabrication technique for large format plates.

In the aspect of the light sources for hologram reconstruction, we plan to characterize LED light sources, including emission spectrum, bandwidth, profile, diversion angle, etc. We shall establish experimental setups to characterize the coherence properties of the light sources, and to investigate the

optical systems for hologram reconstruction. The established techniques will be valuable for the design and application of holographic 3D displays. This technique of system metrics is general and can also be extended to recently developing digital holography.

英文關鍵詞： Holography, Denisyuk holograms, Reflection holograms, Holographic displays, Holographic materials, Volume holograms

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告  
 期中進度報告

丹尼式全像術之技術研究

Studies on Denisyuk holograms for display

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 99-2221-E-009 -085

執行期間：99年8月1日至100年7月31日

執行機構及系所：國立交通大學 光電工程學系

計畫主持人：許根玉

共同主持人：林烜輝

計畫參與人員：何啟新

劉仁崇

江昶慶

吳翊生

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

出席國際學術會議心得報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中華民國 100 年 11 月 30 日

## 一、中文摘要

本計劃旨在探討丹尼氏反射全像術應用於展示實務影像的最重要的兩項關鍵技術：感高分子全像底片製作技術，及LED光源重建全像技術，作為發展全像顯示技術的先期基礎研究。

全像底片方面，將以本實驗室研製的高分子體積全像儲存材料為基礎，研發顯示全像片專用的新穎底片，底片的面積以A-4尺寸為目標。吾人將以環氧樹脂為基材，而以光感分子均勻摻雜其中，形成光感底片。環氧樹脂基材係由BADGE及3APTS組成，光感分子則由HEMA，AA，Irgacure784，DI等構成。吾人研製結果顯示，這種高分子基材堅固，感光之後其收縮係數幾乎可以忽略，因而不會改變體積光柵的布拉格匹配條件。材料的這種低收縮特性對於丹尼氏全像片尤其重要，因為如此，則重建時布拉格條件得以保持不變，因此，不會造成重建影像的顏色偏移，因而得到色彩保真。過去本實驗室研製體積全像資訊儲存材料已有相當經驗，但是，顯示全像底片之要求不同，它的厚度較薄(10~100微米範圍)，面積較大(20~30公分)，不需要大的紀錄動態範圍，但是需要很好的感光靈敏度。本研究將針對這些需求，調整材料成分以及製程參數，以建立未來發展全彩全像底片之基礎。

重建光源方面，將測量市售之各種LED特性，包含光源尺寸、發光頻譜、光之偏振、發光功率、以及發光角度分布等等特性，探討其時間與空間同調性，推導其對於重建反射式全像片之關係，從而求取光源參數對於重建影像的外型、色彩、視角、景深等等的影響，並以實驗驗證之，進而取得以LED光源重建顯示全像片的設計公式。

綜合理論與實驗成果，吾人預期可獲得大面積顯示全像片之光感高分子紀錄底片之設計與製作技術，以及LED重建丹尼氏反射全像片的設計準則。以作為後續發展全彩立體顯示之重要基礎。

**關鍵詞：**全像光學、反射式全像、全像顯示、全

像材料、體積全像。

## Abstract

The goal of this research is to investigate the Denisyuk holograms for displays. We plan to perform investigations on two of the most important factors for display holograms: design and fabrication of photopolymer plates for holographic recording, and the LED light sources for hologram reconstructions.

In the aspect of holographic plates, we shall extend our previous investigation on the low-shrinkage PQ:PMMA photopolymer materials for volume holographic data storage to the display holograms. Our preliminary studies show that Irgacure 784 doped epoxy resin photopolymer, which consists of an epoxy resin polymer matrix and is uniformly doped with photosensitive elements, is a potential material for holographic recording at 532nm. The recording and reconstruction of display holograms of A-4 size demonstrates the feasibility of fabrication of large size holographic plates. In the research, we shall further investigate the improvement on the material sensitivity by adjusting the photopolymer components and the fabrication technique for large format plates.

In the aspect of the light sources for hologram reconstruction, we plan to characterize LED light sources, including emission spectrum, bandwidth, profile, diversion angle, etc. We shall establish experimental setups to characterize the coherence properties of the light sources, and to investigate the optical systems for hologram reconstruction. The established techniques will be valuable for the design and application of holographic 3D displays. This technique of system metrics is general and can also be extended to recently developing digital holography.

**Keywords:** Holography, Denisyuk holograms, Reflection holograms, Holographic displays,

## 二、緣由與目的

由於生活內涵以及品質之提升，使得人類對於資訊科技之需求無止境的增加。以美國為例，網路數據通訊量，遠遠超過每秒30兆位元的數量，真是驚人。隨著網路發達而促成視訊服務、書籍、音樂影片、文件分享、醫學影像存取等等新的應用，則不只需要兆位元的儲存能力以及高速存取技術，更需要人性化的人機互動機制，才能達成通順圓滿的系統功能。其中，三維立體顯示，正是身歷其境的最高境界。因此，立體顯示是大家夢寐以求的理想，國內外都有許多科學家進行相關研究，也有許多公司積極從事產品研發。

目前3D顯示器產業，正是處於蓄勢待發狀態。國外顯示器大廠不只全力研發3D顯示器之雛形，甚至已有先發產品問世，效果相當吸引人。目前看來，技術可以分成兩大類，一是空間多工，係利用現成的顯示器掃描技術，加上新穎的面板構造以及數位信號處理技術，將具有視差的左右眼影像分別傳到左右眼睛，得到3D效果。第二類是所謂時間多工，係將顯示器掃描速率提高到每秒120個甚至240個畫面，將具有視差的左右影像一個畫面、一個畫面輪流顯示出來，觀看者則戴上具有液晶開關的眼鏡，使左右眼鏡之液晶開關與顯示器之左右畫面顯示時間兩者同步，因此左右眼睛分別看見自己的畫面，因而造成2D效果。這兩種技術都非常接近現有的硬體技術，因此，目前上市產品就以這兩種技術在競爭。

以上兩種方法都是利用人眼視差現象而得到3D效果，並不是真正的實物3D。要重現實物的3D影像，只有全像技術做得到。不過，波前重建需要先以光波干涉方式記錄，然後以同調光源去重建之，這無論是在取像紀錄、或是觀看重建影像都需要特殊環境，難以用於一般攝影。況且，單單是記錄以及顯示干涉條紋其所需器件之解析度，就遠遠超過目前器件的能力以數量級計。因此，雖然全像發明至今已經滿61年，全像電視仍然尚未實現。全像顯示到底有何魅力？它需要何種器件？需要何種光源？如何設計光學系統？重建影像之色彩與形狀如何保真？等等都是還沒有定量

評估的基礎問題，這就是吾人感興趣之問題。

為了易於實驗驗證，提高研究興趣，而又有助於了解問題之本性，本計畫打算以傳統全像底片研究靜態物品的靜態展示，以探討全像顯示的基礎技術。再者，LED固態光源進步，在全像片之重建色彩方面取得優勢。而社會經濟生活提升，創意藝術獲得普遍重視。這些也都是促進全像展示技術研發的有利因素。因此，本實驗室打算以研究全像技術多年之基礎，將全像研究推展到顯示應用方面。

## 三、研究方法與成果

本年度計畫主要致力於探討製作丹尼氏全像片的紀錄材料以及LED重建技術，以研究顯示全像技術。其研究工作分為三部分。一是研製全像紀錄材料，二是以LED光源重建丹尼氏全像片之性能探討，三是丹尼氏全像片應用於複合式全像片之技術探討。各項研究方法以及成果分別說明如下：

### 1. 光感高分子全像紀錄材料之研製與性能探討：

我們在研製PQ/PMMA高分子全像紀錄時，發現這個材料有能力感受入射光的偏振狀態，曝光時產生對應偏振狀態的光致雙折射現象，所以可以在這種高分子材料當中記錄偏振全像片，這是一個重要的發現，因此，我們進行相關研究，並把成果寫成論文投到Optics Letters，已經被接受將刊登於今年12月號。

研究過程中，首先，我們跟交大趙于飛教授實驗室合作，利用光彈調制偏光技術來測量材料曝光時在其中產生的光致雙折射現象(photo-induced birefringence)。經過實驗與分析，發現材料曝光時，接受偏振光之照射而誘發光軸，以至於光學材料從均向性(isotropic)轉變成異向性(anisotropic)。我們分別測量線性偏振光以及圓偏振光所產生的誘發雙折射率 $\Delta n$ 。兩種偏振態的光強相同之條件下，線偏光誘發的雙折射率 $\Delta n$ 變化量是圓偏光誘發的16倍。因此，線偏光是誘發PQ/PMMA材料之線性雙折射效應比較有效

的方法，我們可用此量測結果設計進行偏振全像的記錄實驗。

在偏振全像的記錄實驗方面。首先，先製作 2mm 厚的 PQ/PMMA 樣品，全像光學實驗的紀錄系統，使用波長為 514nm 的氬離子雷射光束，兩道記錄光為空氣中夾角為 30 度對稱入射於樣品中，以記錄穿透式體積全像。這兩道光強度相同。但與傳統全像不同之處是，兩道入射光之偏振態互為垂直。我們採用兩種偏振記錄模式，一是兩道相互正交的線偏光，一是兩道互相垂直的圓偏光。這兩種模式分別會在干涉面上產生週期反應，直到光強度超過 10 mW/cm<sup>2</sup>，材料敏感度才逐漸上升；相反地，光強度太強(>30 mW/cm<sup>2</sup>)也會造成繞射效率的降低，而最佳化的記錄條件約在每道光光強為 26 mW/cm<sup>2</sup>，其繞射效率最高可達 7%。

其次，我們以這個最佳化光強度，進行圓偏振模式的全像紀錄，實驗結果顯示圓偏光記錄全像之繞射效率比線偏振模式大約增加了六倍，最

性的偏振調制干涉條紋，如圖 1 所示。圖中表示正交線偏光模式將產生橢圓偏振化調制的型式，而正交圓偏光模式，將產生旋轉線偏極化的調制模式，故可以預期的是第二種偏振態的入射光將會產生較佳的紀錄效果。

為了即時讀取高分子材料紀錄全像光柵之繞射效率，是以 s-偏振光入射，讀取繞射出來的 p-偏振光的光強度，然後計算繞射效率。實驗結果顯示在 PQ/PMMA 樣品中記錄單一偏振全像光柵，其敏感度跟記錄光強度相關。當記錄能量太小，材料對互相干涉的兩道正交偏振光幾乎沒有高數值可以達到接近 40%，如圖 1 所示。這些結果驗證前面所分析的正交圓偏光記錄架構具有較高的材料敏感度。以上結果，對於將來進一步發展高繞射效率之全像材料，以及製做高品質全像片奠定基礎。同時，以不同之偏振態紀錄而互不干擾，也可以使得全像片的影像紀錄與顯示容量倍增。

Writing configuration			Modulation pattern in one pitch					
			$\delta = 0$	$\delta = \pi/2$	$\delta = \pi$	$\delta = 3\pi/2$	$\delta = 2\pi$	
Linear	↑↓	←→						
Circular			←→	↗↘	↖↙	↑↓	↘↗	↖↙

表 1 相互正交之線偏和圓偏光的合成光場在一個光柵週期內的偏振態調變示意圖

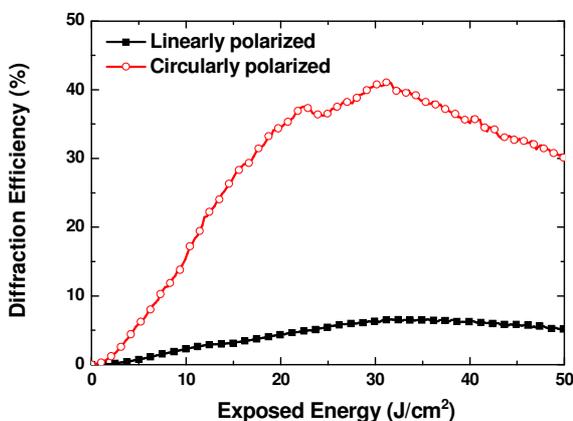


圖 1 兩種偏振全像紀錄之繞射效率動態比較。

## 2. 丹尼氏全像片基本技術探討：

丹尼式全像片是反射是全像片，體積全像之一種，利用體積光柵之布拉格條件來達到選擇繞射波長與角度的功能，因而能以白光重建全像片。根據布拉格條件，體積光柵之布拉格波長選擇範圍大約是反比於全像之厚度，如下式所示：

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2nd}$$

式中  $\lambda$  代表波長， $n$  為折射率， $d$  為厚度。在本研究中，記錄材料的折射率  $n=1.569$ ，感光

膠質厚度  $d=7\mu\text{m}$ ，中心波長  $\lambda=633\text{nm}$ ，得到  $\Delta\lambda\approx 18\text{nm}$ 。

經過挑選，我們得到三組 LED 燈源。編號 S5050-12R 紅光 LED 模組，S5050-12W 白光 LED 模組，以及 MR16-1-01NR 紅光 LED 杯燈。前二者為沒有燈罩之晶片光源，功率 1 瓦，第三者加上聚光燈照，發光 3 瓦。使用 Ocean Optics 公司所出產的 HR2000 光譜儀來量測 LED 的光譜，得到紅光 LED 模組的中心光譜與記錄時的雷射光譜雷同，中心波長約為 633nm，半高寬

偵測器向後移動兩公分，重複量測各角度之光強度，將這些數據經過電腦處理，繪出各距離與各角度的光強度等高線分布圖，量測結果顯示，LED 模組的光強分布與點光源的光強分布相當接近。

以上結果得知，以紅光 LED 重建全像片之光利用效率高；若重建光源之距離近，則需使用 LED 晶片模組，才接近點光源；若重建燈源離全像片較遠，則可使用具有燈杯的高瓦數者。實驗中以氦氖雷射紀錄丹尼式全像片，而以各種燈源在各個不同之位置重建之，圖 2 列出 LED 燈源放在紀錄位置的重建影像。由圖看出，重建影像品質佳且不會有雷射影像之光斑效應。因為 LED 光之效率高，將來若再加上藍光及綠光 LED 則可重建高品質之全彩影像。



圖 2 重建影像: 左圖紅光 LED，右圖白光 LED

### 3. 丹尼氏全像片改進技術探討：

實驗顯示，以多道光束來照明物體可得均勻物光，重建影像品質較佳，物體距離底片較近者其解析度亦較佳。這些現象均可以理論分析驗證。

約為 16nm，頻譜分布從 600nm 到 655nm，幾乎 100% 的光譜都滿足布拉格條件的頻譜範圍。白光 LED 發出的光譜分布大約從 400nm 到 700nm，但只有波長從 615nm 到 651nm 的光才會被繞射出來，光的使用效率較低。MR-16 紅光 LED 杯燈的發光光譜中心波長約為 640nm，半高寬約為 20nm，光譜之使用效率也接近 100%。

其次，測量光強度之空間分佈。將 LED 固定在旋轉平台上，旋轉 LED 每 10 度讀取一次光偵測器上之數據，從 -50 度測量到 +50 度。之後將光

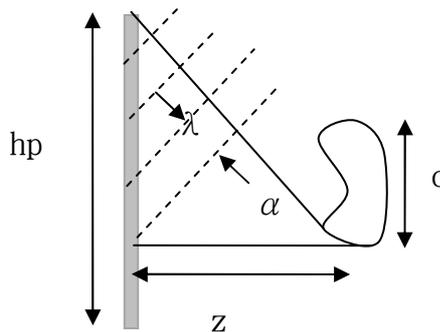


圖 3 用以分析物體與底片距離對影像解析度之關係，圖中  $h_p$  代表底片的長度、 $o$  代表物體的長度、 $z$  代表物體到底片的距離、 $\alpha$  為物體最邊緣到底片另一邊緣之夾角，虛線則是代表波前，分析得知，物體光到達底片的最高空間頻率與底片寬度、物體距離、以及物體大小之間的關係式為

$$u_{max} = \frac{1 h_p + o}{\lambda 2z}$$

上式是個重要的設計公式，可據之設計實驗參數。物體越近，則可紀錄之物體越大，且影像解析度越高。在有限雷射功率之條件下，為達到均勻物光，我們設計柱狀透鏡聚焦打光系統，得

到改良之重建影像。

其次，為了得到重現影像漂浮在全像片之前的實像，我們採取兩種做法，一是以透鏡成像方式來紀錄全像片，二是以翻拍方式先製作母片再以之翻拍。前者較簡單，但是的物體大小受限於成像透鏡的有效視角或孔徑，越大的物體就需要越大孔徑或是 f# 值小的透鏡。翻拍技術所需步驟較多，但其優點是相當於使用一個短焦距且孔徑大的透鏡成像，不但可以讓可視距離縮短，可視角增大，並且也少了成像的像差影響。而且，可以利用前面推導之關係式，調整物體之大小、全像片之尺寸、以及所要求之影像解析度。圖 4 是翻拍全像片之重建影像，影像漂浮在底片之前面 15cm 處，驗證理論分析。



圖 4 紅光 LED 重建之實像

1. 丹尼氏全像片之應用：複合式全像片立體顯示

目前 3D 顯示器產品研發相當熱門，就光學觀點，這些產品只是利用視差產生立體效果，並非真實之 3D，只有全像片才能重現實物的 3D 影像。但是，拍攝全像必需是紀錄同調光干涉，因此，它無法直接拍攝戶外或是大型物體。為達此目的，就必須採用複合全像術，結合一般攝影技術加上全像顯示技術，以求立體顯示效果。複合式全像片跟目前多工顯示技術同樣，利用人眼視差現象來造成立體視覺，它也必須在特定距離位置觀賞，但是，它所顯示的是實物在各個角度的實際影像，與觀看實物一模一樣，而且每個角度觀看的就是真實攝取之影像，並不需要為了多工顯示而分割取樣，因此，影像品質高。

本計畫所研究的丹尼氏全像技術，可推廣應用

於複合式全像片。基本原理如下：(一). 以一般照相機對物體從各個角度取像；(二). 以平面影像為物光，在全像底片上面加上適當之狹縫，將每一張影像依序紀錄成狹長型之全像片；(三). 重建全像片時，移開狹縫，一次重建所有角度之影像，但是由於紀錄時有加上狹縫，以至於只有在適當位置可以看見對應之影像，而由左右眼之視差造成立體感，如圖 5 所示。

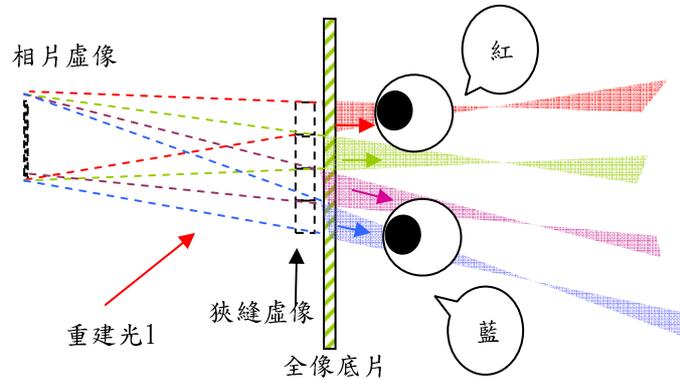


圖 5 複合式全像片重建示意圖

如果把之前建立的丹尼氏全像片以及其翻拍技術應用於此，則可以把複合是全像片翻拍，而得到舒適方便的觀賞系統。在製作複合式全像片時，最重要的是設計狹縫寬度。圖 6 表示複合式全像片觀賞系統式憶圖。根據吾人期望之觀賞距離  $x$ ，以及物體影像構造的最細條紋  $u$ ，可以求得狹縫公式如下：

$$w \geq 2\lambda xu$$

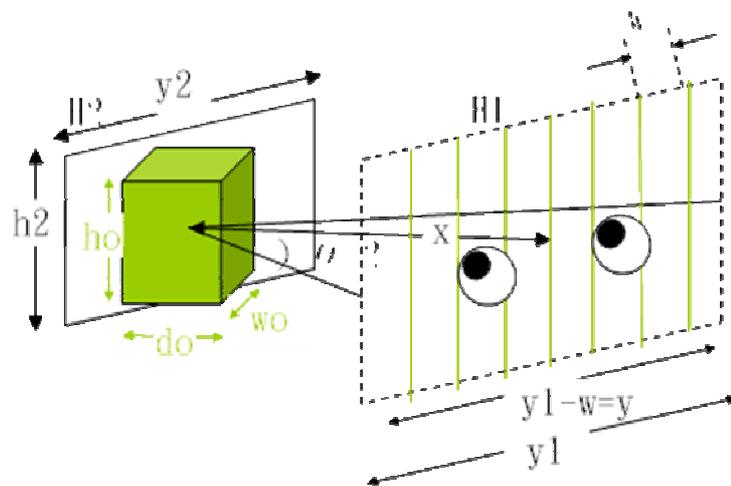


圖 6 複合式全像片觀賞系統示意圖

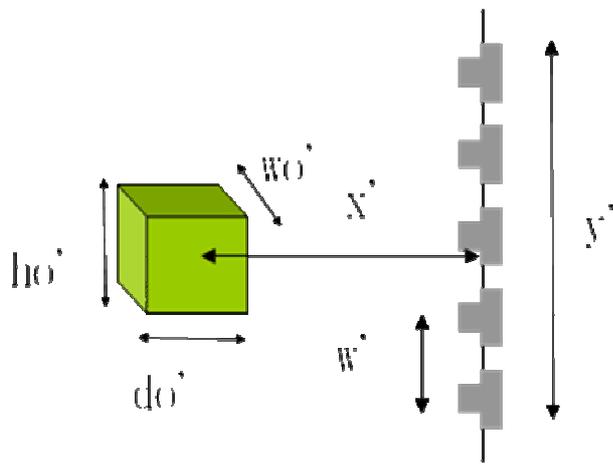


圖 7 平面影像拍攝系統

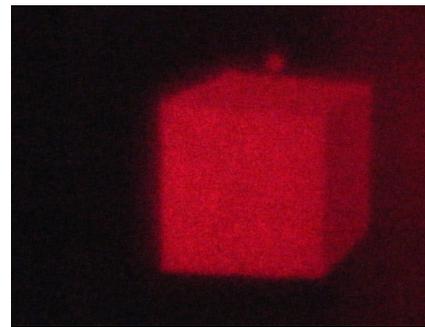
其次，根據狹縫寬度以及全像底片之寬度，求得拍攝實物影像所需之相片數目；再根據實物大小，照相機之位置，以及重建影像之大小比例關係，求得拍攝平面影像時各個相機的位置以及彼此之間隔，而得到平面攝影取像。取像時照相機擺設方法各有不同，為方便起見，採用圖 7 之方法，拍攝各平面影像時，只是平移像機，鏡頭則固定朝著正前方，這時物體位置、相機位置、以及影像位置之間的關係式可表之如下：

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} + \frac{L}{L-k} \begin{bmatrix} x_0 - x_c \\ y_0 - y_c \\ z_0 - z_c \end{bmatrix}$$

其中座標原點是物體中心，\$(x\_c, y\_c, z\_c)\$ 是相機位置，\$(x\_0, y\_0, z\_0)\$ 是物點位置，其成像位置為 \$(x\_i, y\_i, z\_i)\$，\$L\$ 是相機與其對焦點的向量(平面 \$E\$ 法向量方向)的絕對值，\$k\$ 是物點與相機對焦中心向量與平面法向量內積的值，\$A\$ 是一個常數，相片可以被沖洗為實景的任意倍率。

利用上式求各個位置得左右眼影像，以及其合成圖像，可以預先評估合成圖像以及系統設計之優劣。實驗時，採用丹尼式技術製作複合式全像片並加以翻拍，然後觀賞重建之影像。圖 8 表示實驗結果。其物體係以電腦產生的立體方塊圖案，邊長 4 公分，設計觀賞距離為 40 公分。(a) 圖表示左眼觀看到的重建影像，(b) 圖表示右眼觀看到的重建影像，(c) 圖表示兩眼同時觀看到的合成影像，造成立體效果。(d) 圖表示站在不對的距

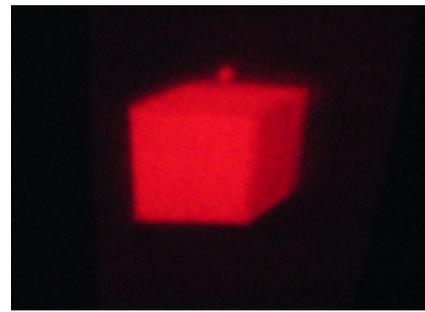
離(這時站在 35 cm 處)觀賞所看到的合成影像，可以很明顯看出左右兩個影像錯開，它們上面的兩個中心標記明顯散開來。因此，實驗結果驗證了複合全像片之設計公式。



(a).



(b).



(c).



(d)

圖 8 複合式全像片重建影像

#### 四、結果與討論

本年度之研究成果使得吾人在丹尼式全像技術方面取得多項成果。首先，對於光感高分子全像儲存材料設計、製作、及測量深入探討，所發

現的 PQ/PMMA 材料之光誘雙折射特性非常有意義，一方面它可以用來感測及記錄光之偏振態，另一方面，正交圓偏振光紀錄之全像產生高繞射效率，對於以後的全像紀錄系統是一個很重要的啟示，而且，利用這種正交偏振紀錄與重建特性，不只可以大大提高重建影像品質，更使得資訊或影像紀錄增加一個維度，而得到兩倍的資訊容量。

其次，吾人探討 LED 燈源重建丹尼式全像片之特性。測量紅光 LED 光譜特性，發現其發光光譜帶寬幾乎全可滿足布拉格條件，因此，光之使用效率近乎 100%。其次，LED 晶片模組的發光圖案近乎點光源，是相當理想之重建全像片的點光源。因此，以固態光源取代傳統光源重建全像片將是一個非常有意義之題目，它將可促進丹尼式全像術之現代化以及普及化。

最後，利用丹尼式全像技術來進行複合式全像片之設計與製作，吾人成功的拍攝以及顯示立體物體。這項技術將可以進一步研究，推展到大型物體以及戶外風景的立體顯示。

## 五、自我評量

本年度研究工作均按計畫進行，也都取得預定成果。執行此計畫，我們取得 PQ/PMMA 光感高分子材料的偏振光紀錄與重建特性，將來可以進一步研製大面積、高繞射效率全像材料紀錄材料，發展顯示全像片。我們取得製作丹尼式全像片的照明與翻拍技術，以及紅光 LED 光源重建技術。將來加入藍、綠光 LED，可進一步發展輕便高品質的全彩全像顯示。我們也取得複合式全像片設計公式，並以實驗驗證。這些成果將可促進全像術在顯示、資訊儲存、處理等領域之進一步發展。

## 六、參考文獻：本研究發表的相關論文及報告：

1. Shiuan Huei Lin, Po-Lin Chen, Chun-I Chuang, Yu-Faye Chao and Ken Y. Hsu, "Volume polarization holographic recording in thick phenanthrenequinone-doped poly(methyl

methacrylate) photopolymer," *Optics Letters*, **36**, No. 16, 3039-3041, 2011.

2. Cheng-Jung Ko, Yeh-Lu Chang, Yi-Nan Hsiao, Po-Lin Chen, Shiuan-Huei Lin, Wha-Tzong Whang, Ken-Y. Hsu, Mei-Hui Tsai, and Wen-Yen Tsang, "Co-doping with polysquaraine enhances the holographic optical data storage of PMMA/PQ photopolymers," *Journal of Modern Optics* **58**, 1215, 2011.
3. Po-Lin Chen, Sheng-Lung Cho, Shiuan-Huei Lin, Ken Y. Hsu and Sien Chi, "Two-wavelength holographic recording in thick phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) photopolymer," submitted to *Optical Engineering*, November, 2011.
4. Shiuan Huei Lin, Po-lin Chen, and Ken Y. Hsu, "Polarization holographic recording in bulk phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) photopolymer," IQEC/CLEO Pacific Rim 2011 Conference, 28 Aug. to 1 Sep. 2011, Sydney, Australia.
5. Kuan-Yu Tung and Ken Y. Hsu, "Design and simulation of multiplexed hologram for 3D display of large objects", Paper # EP-145, 2011 Annual Meeting of the Physics Society of the Republic of China, Jan. 25~27, 2011.
6. Sheng Lung Cho, Po-lin Chen, and Shiuan Huei Lin, "Study on the two-color recording in a bulk phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) photopolymer," Paper OPT4-O-10, 2010 International Conference on Optics and Photonics in Taiwan, Tainan, Taiwan, Dec. 3~4, 2010.
7. Po-lin Chen, Shiuan Huei Lin, and Ken Y. Hsu, "Observation of polarization holographic recording in bulk phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) photopolymer," Paper OPT4-O-04, 2010 International Conference on Optics and Photonics in Taiwan, Tainan, Taiwan, Dec. 3~4, 2010.

8. Shiu-an Huei Lin, Polin Chen and Ken Yuh Hsu, "Holographic recordings and applications in doped poly(methyl methacrylate) photopolymers," (**invited talk**) Paper OPT4-invited talk 5, 2010 International Conference on Optics and Photonics in Taiwan, Tainan, Taiwan, Dec. 3~4, 2010.
9. Shiu-an Huei Lin, Polin Chen and Ken Y. Hsu, "Low-shrinkage doped photopolymer for volume holographic applications: PQ/PMMA phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate)," (**invited talk**) Paper O-7, Asia-Pacific Data Storage Conference, Hualien, Taiwan, Oct 27~29, 2010.

# 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2011/11/30

國科會補助計畫	計畫名稱: 丹尼式全像術之技術研究
	計畫主持人: 許根玉
	計畫編號: 99-2221-E-009-085- 學門領域: 資訊光學
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：許根玉		計畫編號：99-2221-E-009-085-					
計畫名稱：丹尼式全像術之技術研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	5	0	100%		兩個計畫共同成果
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	3	0	100%	人次	兩個計畫共同成果
		博士生	1	0	100%		兩個計畫共同成果
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	2	1	100%	篇	兩個計畫共同成果
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	0	100%		兩個計畫共同成果
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>擔任在澳洲雪梨舉行的 IQEC/CLEO Pacific Rim 2011 會議之 Information Optics Topic 的 Technical Program Deputy Chair</p>
--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本計畫針對丹尼氏全像術及其應用進行基本研究，在全像紀錄材料、全像紀錄與展示技術、以及其應用三方面，進行原理分析與實驗探討，取得計畫預定成果。主要工作內容包含三項，一是反射是全像材料之研發，研發過程吾人發現本實驗室製作的 PMMA 光感高分子全像材料具有偏振紀錄特性，能夠紀錄兩道偏振態互相垂直之入射光的干涉圖案，這一方面能夠減少雜訊，提高重建圖案之品質，同時也能提高儲存圖像之數目，而使資訊容量提升為兩倍。第二項工作是探討以固態光源重建丹尼氏全像片之特性，探討 LED 光源之發光特性以及以其來重建丹尼氏全像片的性能。由於 LED 光源技術日新月異，固態照明光源日趨普遍，這項研究對於丹尼氏全像片的製作與推廣建立良好基礎。計畫的第三項工作是探討丹尼氏全像片應用於製作複合式全像片之特性。目前 3D 顯示技術廣受注目，只有全像才能提供真實立體的終極顯示性能。本研究成果對於未來研發 3D 立體顯示提供一個重要之研究方向。上述各項相關研究成果已發表於國際會議與期刊上，為進一步之研究打下基礎。