

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫結案報告

※※※

※

※ 全像光學資訊儲存之高分子材料反應機制 ※

※ 及超快特性研究 ※

※

※ A study on mechanism of photopolymers for ※

※ holographic information storage and its material ※

※ properties under ultra-fast laser pulse ※

※

※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2112-M-009-040

NSC89-2112-M-009-075

NSC90-2112-M-009-032

執行期間：89年1月1日至91年7月31日

計畫主持人：林烜輝 國立交通大學電子物理系

協同主持人：許根玉、謝太炯、黃華宗

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學電子物理系

中華民國 91 年 9 月 15 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫結案報告

全像光學資訊儲存之高分子材料反應機制及超快特性研究

A study on mechanism of photopolymers for holographic information storage and its material properties under ultra-fast laser pulse

計畫編號：NSC89-2112-M-009-040

NSC89-2112-M-009-075

NSC90-2112-M-009-032

執行期限：89年1月1日至91年7月31日

計畫主持人：林烜輝 國立交通大學電子物理系

一、中文摘要

本研究計畫之主旨在探索一種新全像高分子材料 PQ/PMMA 的紀錄機制與特性，並建立超快全像光學記錄理論分析，以此開發超快全像高分子材料，及其在光資訊領域的先導性研究。著重於 PQ/PMMA 全像高分子材料體積化塊材的設計、研製與特性量測，以及探索全像記錄相關之反應機制理論模型建立分析，提供材料製程及改進的準據。

關鍵詞：全像高分子、體積全像、光學資訊儲存及處理

Abstract

In this project, we launch a three-year comprehensive study on PQ:PMMA based photopolymer materials for volume holographic data storage, with their applications for optical information processing.

We success to synthesize bulk PQ/PMMA samples with high optical quality. The chemical analyses have been made to confirm the photo-chemical reactions in our materials. The materials have also been characterized for holographic storage, such as sensitivity, dynamic range, exposure schedule, and thermal stability. In addition, theoretical studies on ultra-fast effects in PQ/PMMA photopolymer for holographic data storage has been also explored.

Keywords: Photopolymer, Volume Hologram, Optical data storage and processing

二、緣由與目的

自1960年代雷射及全像術發明以來，有關全像用於資訊儲存及圖像辨識之研究就已經開始，歷經近四十年來的演進，確實累積許多技術成果，但迄今仍沒有成熟的實用產品，主要係缺乏適用之光電元件，而電腦技術的發展也快得令光學不被看好。1980年代末期以來，由於全像光學材料的發展（如：光折變晶體、高分子材料...等）、半導體雷射技術的成熟、以及高品質的光學空間調制器（如：液晶電視、CCD、CID攝影機...等）之研製上市，使得全像技術用於光資訊處理及儲存之研發再度展現新的希望，其中最重要的一個研究項目就是體積全像光學資訊儲存。經過最近數年來之研究，科學家們瞭解到此科研的關鍵性瓶頸在於全像記錄材料。若沒有高靈敏度、高解析度及高穩定度之記錄材料，則不可製作高品質的全像資訊記憶及處理器，因此實有必要對儲存材料進行基礎性之探討。

高分子感光材料為目前正積極發展的材料之一，由於其折射率動態變化範圍較大且具有製程簡便、組成多樣化、價格便宜...等優點，國際上各科研單位都看好其發展，然而目前高分子材料的光學品質比無機晶體差、長時間保存不易及解析度較差...等缺點，將是此類材料待改進的地方。為此，我們進行 PQ/PMMA 高分子感光材料之研發。原因是橫諸目前文獻及國際會議上已發表的高分子全像材料，若以體積全像儲存的角度來看，我們認為 PQ/PMMA 高分子感光材料是目前最有潛

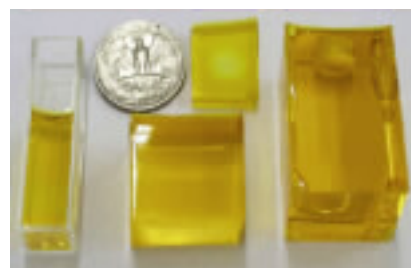
力的記錄材料之一。它的光學品質可與晶體相媲美，而可記錄的光柵動態範圍要比晶體大上一個數量級；更重要的是，在曝光記錄後，它幾乎沒有一般高分子材料常見的光致體積收縮變化效應，所以可製成光資訊系統所需的任意形狀，這對發展高品質、高密度的全像記憶體是一大利器。而材料之研發非一蹴可及，我們將此研究分成三階段進行，第一階段，致力發展此種材料全像光學記錄與材料反應分析的理論基礎，進行高分子材料光學量測分析，為新材料研製提供規範制定、取捨。第二階段，著重於 PQ/PMMA 全像高分子材料體積化塊材的設計、研製與特性量測，並由理論上探索超快相關之反應機制理論模型建立分析，提供材料製程及改進的準據。第三階段為整合階段，結合超快全像記錄量測與基礎模型分析結果，致力於高分子記錄理論模型之建立，並以實驗驗證，再以全像高分子材料，進行快速光學儲存及處理研究。相關研究進度尚佳，也得到一些結果，分述如下。

三、結果與討論

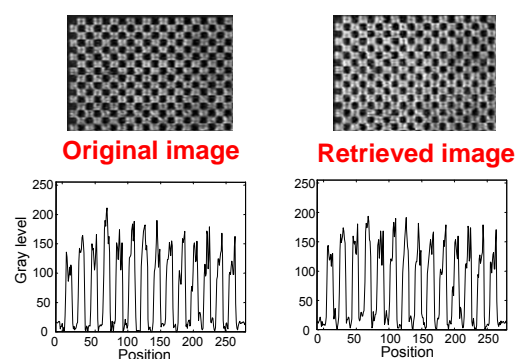
1. PQ/PMMA 感光高分子塊材之製程：

PQ/PMMA 感光高分子材料的製程為此計畫研究的第一步。經詳細的討論與設計後，我們找到了最符合全像資訊儲存應用的高分子塊材合成條件。首先，將 MMA 單體純化以減少其中的雜質純化高分子化反應；其次，將熱敏感分子 AIBN 及光敏感分子 PQ 分別以重量百分比 1.0% 及 0.6% 的劑量，同時溶入 MMA 單體液體中，然後將此溶液注入我們製作的特殊形狀之玻璃容器中，加熱引發高分子化反應。經反覆實驗後，最佳化的高分子反應條件說明如下：首先，將此樣品置於半真空的反應腔爐中，保持腔內在室溫 (26°C)，此時，AIBN 將分解引發 MMA 單體聚合反應產生 PMMA 高分子，直到樣品轉為黏稠狀液體(約 120 小時)；然後將腔內溫度上升至 45°C，以加速高分子反應，約 24 小時後樣品內高分子聚合反應完成，轉為具有良好光學性質的高分子塊材，其面積大小可由 1cm x 1cm 變化到

2.5cm x 2.5cm，而厚度可由 1mm 變化到 25mm，這個數量級是以往高分子材料製程步驟無法達到的體積大小，而非常適用於體積全像資訊儲存的相關應用。圖一為我們製作之樣品照片。其中，熱敏感分子 AIBN 及光敏感分子 PQ 的劑量分別為重量百分比 1.0% 及 0.6%。合成材料後，我們亦進行一系列相關的全像資訊儲存之特性探討及實驗，並將結果整理成論文發表。我們也選用當中 1cm x 1cm x 1cm 的立方體，進行 90° 型式的角度多工全像資訊儲存實驗，在一個位置上儲存 250 張全像，藉此量測我們樣品的曝光收縮效應及記錄特性。圖二為原穿透及重建圖案之照片及灰階分佈圖，可看到重建圖案之對比度幾乎與原圖案完全相同，表示我們的樣品沒有曝光收縮效應，這些結果相當良好，也整理成論文發表[1-4]。



圖一 樣品照片



圖二 原穿透及重建圖案之照片及灰階分佈圖

2. 新型 PMMA 感光高分子之製程：

我們進行材料在照光前後的成分分析，瞭解 PQ/PMMA 高分子全像感光記錄機制中，高分子內部的光敏感分子及單體鍵結之相關反應，以提供分析光柵形成之反應機制的依據，包括：高分子材料的

FTIR 分析、質譜儀分析、以及熱重解反應分析等相關實驗。發現，照光後 PQ/PMMA 材料中殘餘 MMA 單體分子 (10%) 將與 PQ 光感分子一對一鍵結作用，而引起的折射率變化，為我們高分子塊材主要的紀錄機制。因此，基於此分析，我們藉由改變不同的光感分子(PQ) 即可合成新的高分子樣品，目前我們已經成功製程此樣品塊材，規劃進行一系列之材料化學分析及光儲存實驗，來驗證我們的想法。初步測試結果顯示材料的光敏感度增加，同時折射率變化動態範圍亦可增加[5-6]。

3. 光柵形變效應對光學儲存系統之影響：

PQ/PMMA 高分子材料會引起我們研究的興趣的主要原因，除了在於其可製程塊材外，它的光化學反應所導致的收縮效應相當微小，是另一個主要原因。因此，為了瞭解光聚合物材料之漲縮對全像光學記憶的影響，我們建立純量繞射分析法則，進行光柵漲縮對多工重建影像之作用研究。我們探討在角度多工儲存時，儲存材料的非均向性形變效應，對重建資訊二維分佈的影響，包括：重建圖案之形變及位移、每一圖案間的串音雜訊、以及重建圖案的訊噪比分佈等分析。利用此模型，可針對不同的儲存架構來作理論推導，探討光柵形變效應對儲存系統功能的影響，來尋求最佳化的全像儲存系統，以提高儲存系統的儲存容量[7-11]。

四、計畫成果自評

本研究計畫之各項工作均按預定計畫進行，也都取得相當成果，相關結果也陸續整理成論文發表。唯超快雷射系統之建立，因經費未能核予無法執行，相關實驗部分現正利用其他單位的超快雷射進行。而體積化之材料塊材應用在系統與材料的光學資訊處理等後續研究仍持續在進行中。

五、參考文獻

- [1] S. H. Lin, K. Y. Hsu, W. Z. Chen, W. T. Whang, "Phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) photopolymer bulk for volume holographic data storage," *Optics Letters*, Vol. 25, No. 7, pp. 451-453, 2000.
- [2] S. H. Lin, K. Y. Hsu, W. Z. Chen, W. T. Whang, "Temperature effect in PQ/PMMA photopolymer," *SPIE Proceeding*, **4110-13**, 2000.
- [3] K. Y. Hsu, and S. H. Lin, "Volume Holographic storage for Image Processing", (invited paper) *SPIE Photonics Taiwan on Optical Storage and Optical Information Processing*, July 26-27, 2000.
- [4] Ken Y. Hsu, and S. H. Lin, "Holographic memory for optical interconnections," (invited paper) *Technical Digest Vol. II*, pp. 694-695, *CLEO/Pacific Rim 2001*, **Th13-1**, 15-19 July, 2001, Chiba, Japan.
- [5] S. H. Lin and K. Y. Hsu "Experimental characterization of PQ/PMMA photopolymers for the multiple hologram storage," submitted to *Optical Engineering*, August, 2002.
- [6] S. H. Lin, K. Y. Hsu, Y. Hsiao, W. T. Whang, "Quinone-based molecules doped PMMA photopolymers for volume holographic data storage," (invited paper) *Optical Information Processing Technology, Photonics Asia*, October 14-18, 2002, Shanghai, China.
- [7] S. H. Lin and K. Y. Hsu, "Analysis of Grating Detuning on Volume Holographic Data Storage," *SPIE Proceeding*, **4087**, pp. 1286-1289, 2000.
- [8] S. H. Lin and K. Y. Hsu, "Effect of Grating Detuning on Holographic Data Storage," *SPIE Proceeding*, **4110-12**, 2000.
- [9] C. T. Wang and S. H. Lin, "Analysis of Volume Holographic Memory using Born Approximation Method," 2001 台灣光電科技研討會, **FE1-3**, December 12-14, 2001, 高雄, 台灣.
- [10] S. H. Lin and C. T. Wang, "Effect of Grating Distortion on Volume Holographic Memory due to Temperature Change," *Proceeding, ICO Topical Meeting on Optics in Computing*, April 8-11, 2002, Grand Hotel, Taipei, Taiwan.
- [11] S. H. Lin and K. Y. Hsu, "Effect of Grating Detuning on Volume Holographic Data Storage," to be submitted to *Optical Engineering*.