

# 全像光學元件於光通訊系統中光延遲線(Photonic Delay Lines)應用之設計與研製 (Holographic Optical Elements for Photonic Delay Lines in Communication Systems)

計劃編號：NSC 89-2215-E-009-012

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：黃遠東 教授

交通大學電子工程系(所)

E-mail: huangyt@cc.nctu.edu.tw

關鍵字：全像光學元件、光延遲線、光極化交換元件、相位陣列天線、微波雷達訊號處理

**Keywords:** Holographic Optical Elements, Photonic Delay Lines, Optical Polarization Switches, Phased-Array Antennas, Microwave Radar Signal Processing

## 1. 摘要

本計畫是研究和設計之全像光學元件(Holographic optical elements) 應用於相位陣列天線中光延遲線。本研究群已發展了全像偏極化分光元件(Holographic polarization beam splitters), 並在光通訊和磁-光讀寫頭的應用之中, 已經使用全像偏極化分光元件(Holographic polarization beam splitters)與電光調制半波片建立的稜鏡光學交換元件所建立的全像光學交換元件(Holographic optical switch)取代稜鏡光學交換元件。在本計畫中, 設計了合適的全像光學元件結構使用於不同延遲範圍的光延遲線配合相位陣列天線的應用, 並探討整個系統的架構。緊密性、容易製造、同軸耦合、容易對準和低價格是使用我們的全像光學元件之優點。

### Abstract

This project is to investigate and design suitable holographic optical elements (HOEs) for photonic delay lines in phased-array antenna applications. Our group have developed holographic polarization beam splitters, and used holographic optical switches built with holographic polarization beam splitters and electro-optic halfwave plates to replace prism optical switches in optical communication and magneto-optic head applications. For phased array antennas we will design suitable structures

for our holographic optical switches to build photonic delay lines with different delay ranges and the structure of the whole system.

## 2. 計畫緣由與目的

微波通訊技術日益成熟與普及, 無論在軍事或民生應用上, 處處都大量使用到微波通訊技術。在微波通訊中, 時常會使用到相位陣列天線(Phased-array antennas)。而於相位陣列天線系統中, 相位偏移元件(phase shifters)或延遲線(delay lines)用以控制陣列天線系統中各陣列元素(elements)間發射訊號的相位關係, 是不可或缺的。這些元件, 除了在微波通訊及雷達系統(radar systems)應用外, 還可應用在微波儀器及量測系統(microwave instrumentation and measurement systems)、與其他工業應用(industrial applications)上。因此, 各種方式的相位偏移元件(phase shifters)或延遲線(delay lines)被逐部步發展出來, 以滿足各種不同的需求。與電子式處理比較, 光延遲線在微波天線訊號處理(Microwave antenna signal processing)的應用上具有即時性、可調整之訊號處理頻寬, 以及對於電磁干擾和電磁脈衝保護等優點。

一般使用於相位陣列天線之光延遲線, 需要使用稜鏡光偏極化分光元件(Prism polarization beam splitters)和電光調制半波片(Electro-optic halfwave plates)建立的稜鏡光學交換元件(Prism optical switches), 其完整系統

如圖一所示。此系統包括三位元(bits)稜鏡光學交換元件組成之光延遲線,其各位元之延遲分別為長時間延遲(long time delay,  $> 5\text{ns}$ )、中等時間延遲(moderate time delay,  $5\text{ns} \sim 0.1\text{ns}$ )、短時間延遲(short time delay,  $< 0.1\text{ns}$ ) ,此三位元之光延遲線,足以提供相位陣列天線系統之各種特性規格。

本研究群已發展了全像偏極化分光元件(Holographic polarization beam splitters),且發展了polarization-dependent及polarization-independent全像光學交換元件(Holographic optical switches),並使用以此全像偏極化分光元件與電光調制半波片建立的稜鏡光學交換元件所建立的全像光學交換元件取代稜鏡光學交換元件,應用於磁-光讀取頭和光通訊中。本計畫即是以近年來的研究成果與經驗,來設計適合於相位陣列天線中光延遲線應用之全像光學元件結構。在本計畫中,將設計合適的全像光學元件結構,以使用於不同延遲範圍,配合相位陣列天線的應用,並探討整個系統的架構。

### 3.結果與討論

所開發的長時間(大於  $5\text{ns}$ )延遲線如圖二所示,這是一個後饋式(Feedback)的光延遲線。這個延遲線是由四個反射鏡、兩個半波片以及一個全像光學交換元件所組成。非延遲路徑(S 極化的路徑)直接通過兩塊半波片及全像光學交換元件,而延遲路徑(P 極化的路徑)則是在繞射之後經過  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$  與  $d_5$ ,再回到全像光學交換元件再繞射回原路徑。因此,四個半波片的位置與距離是用來決定延遲的時間。

中等時間(小於  $5\text{ns}$ )的光延遲線如圖三所示,它也是一個後饋式的光延遲線。但是,它的延遲與非延遲路徑,都是在元件的內部之中構成。所以,這個光延遲線不使用自由空間來決定延遲時間的長短。

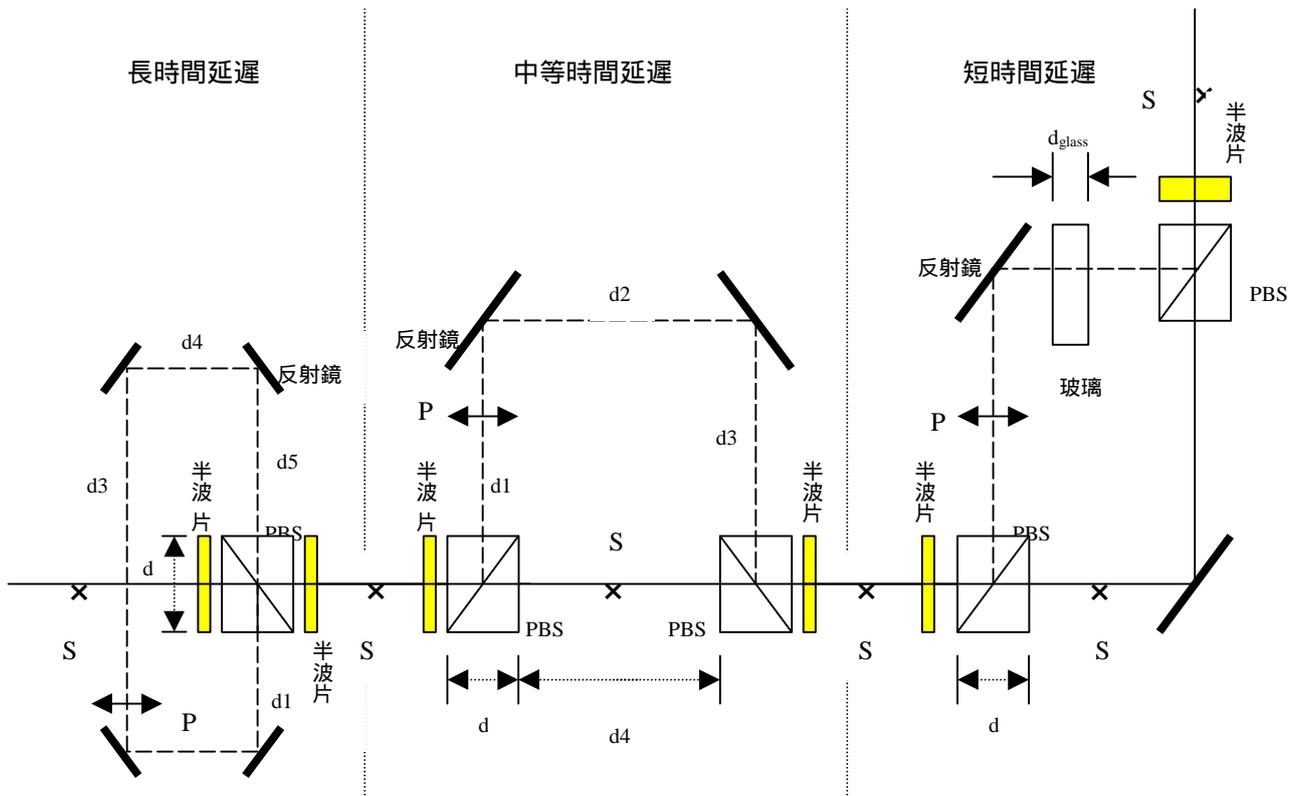
因此,整個延遲的功能都可以在一個元件之中完成。再加上全像光學元件擁有可以緊密靠緊的特性,整個延遲系統就可以在一個元件之中完成。所以,它的穩定性將會比採用三菱鏡來設計要穩定得多。這個中等時間的光延遲線的結構,是由兩塊各貼有一層全像光柵的玻璃與一個半波片組合而成。這兩塊玻璃貼有全像光柵的一面是相鄰的,在這兩層全像光柵的中間夾著一塊半波片。由於非延遲路徑(S 極化的路徑)是直接通過這整個元件,而且延遲的路徑(P 極化的路徑)也包含了非延遲的路徑。所以,延遲時多走的距離為4倍的繞射長度( $1.325d$ )。因此,光束經過這一個距離所需的時間,就是這個元件的延遲時間。如果這個元件所需要的延遲時間為  $1\text{ns}$ ,則玻璃的厚度只需要  $3.8\text{cm}$  即可。

短時間(小於  $0.1\text{ns}$ )的光延遲線如圖四所示。它具有與中等時間的光延遲線相同的性質。這個光延遲線不使用自由空間來決定延遲時間的長短。因此,整個延遲的功能都可以在一個元件之中完成。這個特性使得它也會具有緊密的完整結構。它的結構是由兩個半波片與兩塊兩側各貼有一層全像光柵的玻璃所組成,每一塊玻璃兩側的全像光柵都成互補的形式。由於非延遲路徑(S 極化的路徑)是直接通過這整個元件,所以路徑長度為  $2d$ 。而延遲的路徑(P 極化的路徑)在元件之中所經過的路徑長度為  $2 \times 1.325d$ 。在延遲的路徑之中多走的距離為  $2 \times (1.325-1) \times d$ ,所以光束經過這一個距離所需的時間,也就是這個元件的延遲時間。如果這個元件所需要的延遲時間為  $10\text{ps}$ ,則玻璃的厚度只需要  $3\text{mm}$  即可。

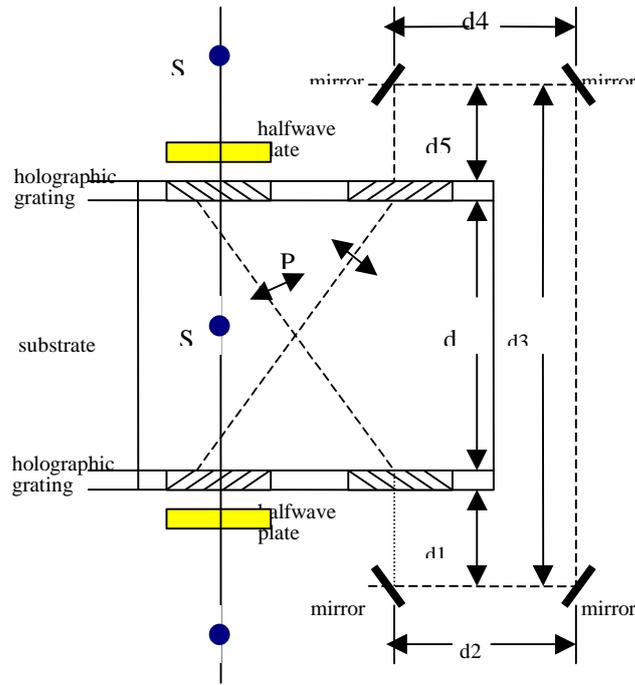
採用全像光學交換元件設計光延遲線時,可以使光延遲現系統具有緊密性、容易製造、同軸耦合、容易對準、低價格和節省大量空間的特性。

#### 4. 參考文獻

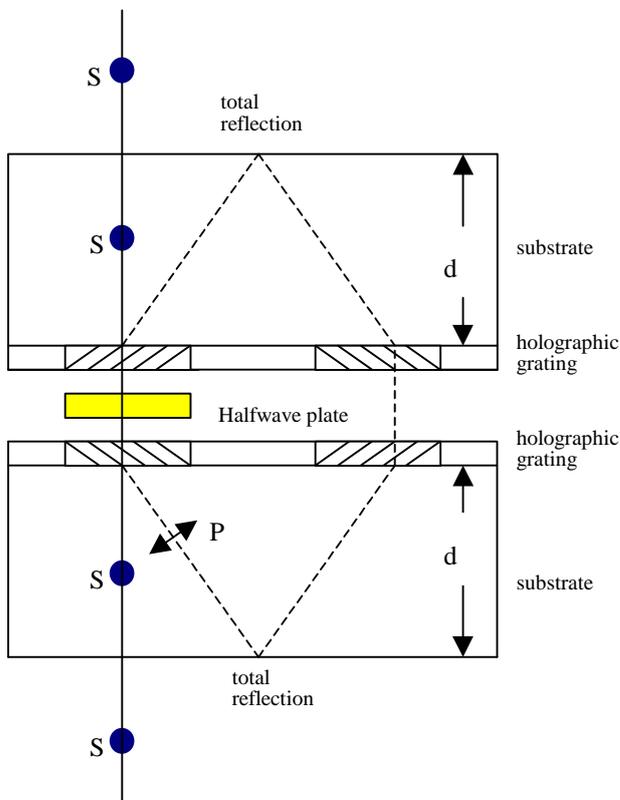
- [1] S. J. Lin and R. S. Boughton, "Acousto-optic multichannel programmable true time delay lines," *Optical Technology for Microwave Applications IV*, S.-K. Yao, ed., Proc. SPIE 1102, pp. 162--173, 1989.
- [2] L. Xu, R. Taylor, and S. R. Forrest, "True time-delay phased-array antenna feed system based on optical heterodyne techniques," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, pp. 160--162, 1996.
- [3] N. Madmopoulos and N. A. Riza, "Directly Modulated Semiconductor-Laser-Fed Photonic Delay Line with Ferroelectric Liquid Crystals," *Appl. Opt.*, vol. 37, pp. 1407--1416, 1998.
- [4] Y.-T. Huang and Y.-H. Chen, "Optical Switches with a Substrate - Mode Grating Structure," *Optik*, vol. 98, no. 1, pp. 41-44, Nov. 1994.
- [5] Y.-T. Huang, "Polarization-Independent Optical Switch Composed of Holographic Optical Elements," *Optics Letters*, vol. 20, no. 10, May 15 1995.
- [6] Y.-T. Huang, "Polarization Beamsplitter with A Substrate-Mode Holographic Structure," Patent, 09/198,176, U.S.A. Sept. 1995.
- [7] Y.-T. Huang, "Reversible Optical Switches Using Substrate-Mode Holograms," Patent, 088818, R.O.C., Jan. 1994.
- [8] J.-S. Deng and Y.-T. Huang, "Moderate- and Short-Time Photonic Delay Lines with Holographic Optical Elements," Appl. No. 038155, R.O.C., Dec. 1999.



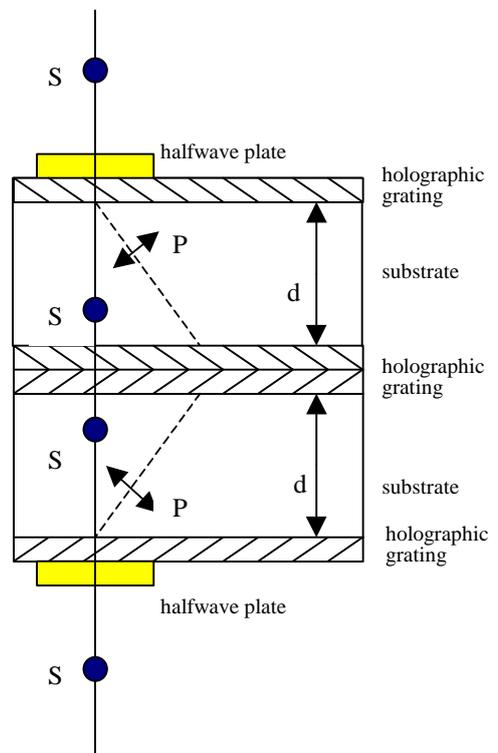
圖一 採用稜鏡光偏極化分光元件設計的完整光延遲線系統圖。



圖二 使用全像光學交換元件設計之長時間光延遲線。



圖三 使用全像光學交換元件設計之中等時間光延遲線。



圖四 使用全像光學交換元件設計之短時間光延遲線。