

# 以含不對稱十字架孔洞金屬膜實現 兆赫波段相位延遲器

學生：孫仲村

指導教授：顏順通 博士

國立交通大學

電子工程學系 電子研究所碩士班

## 摘要

本論文實現一種兆赫波段的相位延遲器。此元件由不對稱十字架孔洞以正方形陣列排列成一金屬網狀結構。我們利用微機電製程中的電鑄技術來製作獨立型的金屬網狀結構。我們製作兆赫波段的金屬線柵偏振片，以建立一套紅外偏極光譜系統來量測相位延遲器。我們利用史托克向量與穆勒矩陣描述此系統，以分析光源穿透樣品後的強度與相位差的關係。藉由改變十字架的長軸長度與短軸長度，我們可以控制穿透頻譜的峰值頻率並且調變元件的相位差。量測數據與理論計算可在定性上獲得一致結果。

# **Implementation of Terahertz Phase Retarders on Metallic Films Perforated with Asymmetric Cross Shaped Holes**

Student : Chung-Chun Sun

Advisor : Dr. Shun-Tung Yen

Department of Electronics Engineering & Institute of Electronics

National Chiao Tung University

## **Abstract**

We implemented a new kind of phase retarders operating at terahertz frequencies. The retarders were made of a free standing metallic film perforated with arrays of cross-shaped holes with asymmetric arms in a square lattice. We fabricated the devices by electroforming processes. We also fabricated a terahertz wire-grid polarizer to setup a spectropolarimeter for characterizing the phase retarders. We used Stokes vectors and Mueller matrix to describe the measurement system and to analyze the relation between the intensity of transmitted light and the phase shift of the retarders. We adjusted the main peak frequency and the phase shift by changing the length of long arms and of short arms of the cross-shaped holes. The experimental data were in qualitative agreement with theoretical results.

## 誌謝

忙碌且充實的兩年碩士生活終於告一段落。在這一路上我要感謝許多師長、同學以及朋友的提攜與陪伴。

首先誠摯的感謝我的指導教授 顏順通博士，老師悉心的教導使我得以一窺兆赫波領域的深奧，不時的討論並指點我正確的方向，使我在這兩年中獲益匪淺。老師對於學問的嚴謹更是值得我們學習的典範。

本論文的完成另外亦得感謝台師大機電系的楊啟榮教授大力協助。因為有楊老師的體諒及幫忙，使得本論文能夠更趨於完整。

兩年裡的日子，實驗室裡共同的生活點滴，學術上的討論、言不及義的閒扯，感謝各位學長、同學、學弟妹的共同砥礪，你/妳們的陪伴讓兩年的研究生活變得絢麗多彩。

感謝鐘佩鋼、王德賢、李冠成學長們不厭其煩的指出我研究中的缺失，且總能在我迷惘時為我解惑，也感謝謝泓文、蕭晉勛、張皓宇、廖宏韋、謝宗謀、洪唯倫同學的幫忙，恭喜我們順利走過這兩年。實驗室的張廷誠、沈庭宇、簡佳帆學弟、林芳如學妹們當然也不能忘記，你/妳們的幫忙及搞笑我銘感在心。

最後，謹以此文獻給我摯愛的雙親。

# 目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
圖目錄	vi
表目錄	x
<b>第一章 緒論</b>	
1.1 前言	1
1.2 研究背景	3
1.3 研究動機	6
1.4 理論與計算方法	8
1.5 研究項目與參數定義	13
<b>第二章 製程與量測方法</b>	
2.1 偏振片製程	15
2.2 相位延遲片製程	19
2.3 量測架設	34
2.4 量測原理	39
<b>第三章 結果與討論</b>	

3.1 偏振片量測結果與討論	44
3.2 相位延遲片量測結果與討論	49
第四章 結論	64
參考文獻	65
附錄	66
自傳	68



## 圖目錄

圖 1.1	電磁波頻譜。	2
圖 1.2	二分之一波片的示意圖。入射光為正 45 度的線偏振光，透射後變為負 45 度的線偏振光。	5
圖 1.3	分別具有電容性與電感性的金屬網以互相垂直的方式堆疊所形成的相位延遲片示意圖。	7
圖 1.4	Fabry-Perot 共振系統示意圖。	10
圖 1.5 (a)	對稱的十字架結構示意圖	10
(b)	不對稱的十字架結構示意圖。G 為十字架的週期，L 為十字架長軸的長度，S 為十字架短軸的長度，W 為十字架的臂寬。	
圖 1.6 (a)	對稱的十字架結構在 TM 與 TE 入射下的穿透頻譜。	11
圖 1.6 (b)	穿透對稱的十字架結構後，TM 與 TE 的相位改變量。	11
圖 1.7 (a)	不對稱的十字架結構在 TM 與 TE 入射下的穿透頻譜。	12
圖 1.7 (b)	穿透不對稱的十字架結構後，TM 與 TE 的相位改變量。	12
圖 1.8	金屬線柵偏振片示意圖。w 為金屬線寬，g 為金屬線的週期，t 為金屬層的厚度。	14
圖 1.9	不對稱的十字架形狀所構成的金屬網示意圖。W 為十字架的臂寬，G 為十字架的週期，L 為十字架長軸的長度，S 為十字架短軸的長度。	14

圖 2.1 金屬線柵偏振片的製程步驟示意圖。	17
圖 2.2 (a) 金屬線柵偏振片在光學顯微鏡下的照片。	17
圖 2.2 (b) 金屬線柵偏振片在光學顯微鏡下的照片。銀色部分為金屬鋁線，黑色部分為矽基板。	18
圖 2.3 相位延遲片的製程步驟示意圖。	24
圖 2.4 (a) 電子顯微鏡所拍攝的光阻結構俯視圖。	25
圖 2.4 (b) 電子顯微鏡所拍攝的光阻結構俯視放大圖。	26
圖 2.4 (c) 電子顯微鏡所拍攝的光阻結構斜視圖。	27
圖 2.4 (d) 電子顯微鏡所拍攝的光阻結構斜視放大圖。	28
圖 2.5 (a) 電鑄完成後的試片在光學顯微鏡下的拍攝結果。	29
圖 2.5 (b) 電鑄完成後的試片在光學顯微鏡下的拍攝結果。	30
圖 2.6 (a) 脫模處理後的試片在光學顯微鏡下的拍攝結果。	31
圖 2.6 (b) 脫模處理後的試片在光學顯微鏡下的拍攝結果。銀色部分為 Ni-Co 合金，黑色部分為空氣。	32
圖 2.7 以薄膜測厚儀量測樣品實際厚度的結果圖。樣品的實際厚度大約為 $65 \mu\text{m}$ 。	33
圖 2.8 本實驗所使用的 FTIR。	36
圖 2.9 麥克森干涉儀的示意圖。	37
圖 2.10 FTIR 的光路圖。	37

圖 2.11 量測架設示意圖。	38
圖 3.1 金屬線柵偏振片在不同填滿率下偏振度的實驗結果。	46
圖 3.2 (a) 週期為 $24\ \mu\text{m}$ ，填滿率為 0.75 的樣品在 TM 與 TE 下的 穿透頻譜。	47
圖 3.2 (b) 週期為 $24\ \mu\text{m}$ ，填滿率為 0.75 的樣品偏振度的實驗結果。	47
圖 3.3 (a) 週期為 $15\ \mu\text{m}$ ，填滿率為 0.75 的樣品在 TM 與 TE 下的 穿透頻譜。	48
圖 3.3 (b) 週期為 $15\ \mu\text{m}$ ，填滿率為 0.75 的樣品偏振度的實驗結果。	48
圖 3.4 (a) S1 在 TM 與 TE 下穿透頻譜的量測結果。	54
圖 3.4 (b) S1 在 TM 與 TE 下穿透頻譜的模擬結果。	54
圖 3.4 (c) $\theta=45^\circ, \alpha=90^\circ$ 時, S1 的穿透頻譜量測結果。	55
圖 3.4 (d) S1 相位差的模擬結果與量測結果。	55
圖 3.5 (a) S2 在 TM 與 TE 下穿透頻譜的量測結果。	56
圖 3.5 (b) S2 在 TM 與 TE 下穿透頻譜的模擬結果。	56
圖 3.5 (c) $\theta=45^\circ, \alpha=90^\circ$ 時, S2 的穿透頻譜量測結果。	57
圖 3.5 (d) S2 相位差的模擬結果與量測結果。	57
圖 3.6 (a) S3、S4、S5 的 TM 穿透頻譜量測結果。	58
圖 3.6 (b) S3、S4、S5 的 TM 穿透頻譜模擬結果。	58
圖 3.6 (c) S3、S4、S5 的 TE 穿透頻譜量測結果。	59



圖 3.6 (d) S3、S4、S5 的 TE 穿透頻譜模擬結果。	59
圖 3.7 $\theta = 45^\circ, \alpha = 90^\circ$ 時, S3、S4、S5 的穿透頻譜量測結果。	60
圖 3.8 S3、S4、S5 相位差的量測結果。	60
圖 3.9 (a) S4 與 S6 的 TE 穿透頻譜量測結果。	61
圖 3.9 (b) S4 與 S6 的 TE 穿透頻譜模擬結果。	61
圖 3.9 (c) S4 與 S6 的 TM 穿透頻譜量測結果。	62
圖 3.9 (d) S4 與 S6 的 TM 穿透頻譜模擬結果。	62
圖 3.10 $\theta = 45^\circ, \alpha = 90^\circ$ 時, S4 與 S6 的穿透頻譜量測結果。	63
圖 3.11 S4 與 S6 相位差的量測結果。	63
圖 1a 週期為 $24 \mu m$ , 不同金屬線寬 $w$ 的金屬線柵偏振片之 TM 穿透率頻譜。	66
圖 1b 週期為 $24 \mu m$ , 不同金屬線寬 $w$ 的金屬線柵偏振片之 TE 穿透率頻譜。	67

## 表目錄

表 3.1 不對稱的十字架結構之長軸長度(L)與短軸長度(S)的尺寸

對照表。

53

