

光彈調變器之線上校正 及橢圓偏光參數量測

研究生：蔡斐欣

指導教授：趙于飛

國立交通大學

光電工程研究所

摘要

本文主要是校正光彈調變式橢圓偏光儀中的光彈調變器，又由於光彈調變器也可用在偏光儀上，故在此提出一個不需改變任何裝置的線上校正法。 本法是利用數據擷取卡量取光彈調變器之多倍頻信號，進而換算光彈調變器的相位調變振幅及其內稟相位延遲。 利用多倍頻信號比我們量出光彈調變器的相位調變振幅偏移了 0.020λ ，此偏差並且可以用其數據化之檢波波形加以應證。 本研究並證明數據化之檢波波形的不對稱也因為光彈調變器的內稟相位延遲的存在。 在相位調變振幅及其內稟相位延遲校正後所量出的橢圓偏光參數與商用橢圓偏光儀的量測結果吻合。 為延伸此儀器為一多波長的橢圓偏光儀，在固定調變相位延遲下以 568.2nm 為中心波長，進行五個不同波長光彈調變器的相位調變振幅校正和橢圓偏光參數量測，其結果亦和理論值吻合。 最後在光彈調變橢圓儀系統加入分割器，證實系統每秒可取十點的橢圓偏光參數 和 值，大幅提升橢圓儀的準確性與方便性。

In situ calibration technique for photoelastic modulator and its ellipsometric measurement

Student : Fei-Hsin Tsai

Adviser : Dr. Yu-Faye Chao

Institute of Electro-Optical Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

The photoelastic modulator (PEM) can be used in polarimetric and ellipsometric system for real time/in situ measurements; therefore, we proposed an in situ calibration technique for PEM. This calibration technique is achieved by using the multiple harmonic intensity ratios (MHIR), which are obtained from the Fourier analysis of a data acquisition system (DAQ). One can calculate the phase modulation amplitude and static phase retardation of PEM by MHIR. In this study, we find that the phase modulation amplitudes are almost parallel shifted from its displayed value by 0.020λ . The digitized oscilloscope waveform measured in the transmission style is used to confirm our measurements. In addition to the phase modulation amplitude of PEM, we also confirm the unsymmetrical oscilloscope waveform is caused by the intrinsic static phase retardation of PEM itself. The measured ellipsometric parameters of a standard thin film are consistent with that measured by a commercial ellipsometer, after calibrating the phase modulation amplitude and static phase retardation. In order to develop a spectroscopic-polarimeter/ellipsometer, we determine the phase modulation amplitude and its static retardation under varies wavelength at a fixed modulation amplitude for its centered wave (i.e. 0.383λ , where $\lambda = 568$ nm) by a multi-wavelength tunable laser. These measurements are consistent with our theoretical prediction. Finally, we added a chopper to our system and proved that one can obtain ten pairs ellipsometric parameters in a second from our PEM ellipsometry.

誌謝

碩士班生活即將隨著論文的完成劃上句點，懷著感謝的心，謝謝我的指導教授趙于飛老師在這二年的耐心指導，讓我學習到許多研究學問的方法與態度。而老師親切隨和的領導作風，更使得研究生活愉快而充實，並順利完成此論文，其間過程受益良多。

還要感謝王夢偉學長帶領我作實驗，並隨時提供我許多建議及幫忙，同時也感謝同實驗室的學長、同學和學弟幫助與鼓勵以及同學們平常在生活上、學業上的協助。

最後，我要將此論文獻給在背後默默支持我的父母，感謝父母對我的深情栽培及鼓勵，讓我一路非常順利地完成研究所學業，這不僅是我的成就，更代表您們的驕傲與光榮！還有我的弟弟、妹妹他們使我能全心投入研究，而需要感謝的人、事、物還有許多，但是有一個重要的人是必須提的，就是我的女友郁芸，多謝妳伴我走過這快樂時光，總是能適切的關心及支持我，讓我在競爭的環境中看到真、善、美。

章節目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	
章節目錄.....	
表目錄.....	
圖目錄.....	
第一章 前言.....	1
第二章 原理.....	4
2.1 偏振光的型態與表示法.....	4
2.2 Stokes Parameters 和 Mueller Matrix.....	6
2.3 橢圓特性參數 α 和 β 之定義.....	7
2.4 光彈調變系統之相位調變振幅(α) 和內稟相位延遲(β)校正與橢圓參數 α 和 β 值量測原理.....	11
2.4.1 反射式系統：相位調變振幅定量量測校正原理.....	11
2.4.2 穿透式系統：相位調變振幅定量量測校正和內稟相位延遲量測原理.....	13
2.4.3 穿透式系統：定性量測校正原理.....	15
2.4.4 反射式系統：橢圓參數 α 和 β 值量測原理.....	17
2.4.5 反射式系統：多波長相位調變振幅和橢圓參數 α 和 β 值量測原理.....	19
2.4.6 反射式系統：即時量測橢圓參數 α 和 β 值量測原理.....	19
第三章 倍頻信號的優化.....	22
3.1 穿透式系統.....	22
3.2 反射式系統.....	24
第四章 實驗步驟.....	28
4.1 反射式：相位調變振幅定量量測校正.....	28
4.2 穿透式：相位調變振幅定量量測校正.....	29

4.3 穿透和反射式相位調變振幅定量量測比較.....	29
4.4 穿透式：相位調變振幅定性量測校正.....	29
4.5 穿透式由波形推算內稟相位延遲和相位調變振幅.....	30
4.6 穿透式：內稟相位延遲量測.....	30
4.7 反射式：橢圓參數 ϵ 和 η 值量測.....	30
4.8 反射式：多波長相位調變振幅和橢圓參數 ϵ 和 η 值量測.....	31
4.9 反射式：即時量測橢圓參數 ϵ 和 η 值.....	32
第五章 實驗結果與討論.....	33
5.1 反射式：相位調變振幅定量量測校正.....	33
5.2 穿透式：相位調變振幅定量量測校正.....	37
5.3 穿透和反射式相位調變振幅定量量測比較.....	40
5.4 穿透式：相位調變振幅定性量測校正.....	40
5.5 穿透式由波形推算內稟相位延遲和相位調變振幅.....	42
5.6 穿透式：內稟相位延遲量測.....	44
5.7 反射式：橢圓參數 ϵ 和 η 值量測.....	47
5.8 反射式：多波長相位調變振幅和橢圓參數 ϵ 和 η 值量測.....	48
5.9 反射式：即時量測橢圓參數 ϵ 和 η 值.....	52
第六章 結論.....	54
參考文獻.....	56
附錄 A：LabVIEW 程式在資料擷取卡上應用.....	58
A.1 LabVIEW 基本介紹.....	58
A.2 資料擷取 (DAQ) 卡基本介紹.....	58
A.3 LabVIEW 由資料擷取卡取得倍頻信號程式.....	60
A.4 LabVIEW 由資料擷取卡即時量測橢圓參數 ϵ 和 η 值.....	74
附錄 B：使用最小平方法算 ϵ 和 η，MATLAB 程式.....	77
附錄 C：使用 LabVIEW 算 ϵ 和 η 方塊流程圖.....	79
附錄 D：Mathematica 算 SiO₂/Si 厚度程式.....	80
附錄 E：chiNKlamda.m 算多波長的 ϵ 和 η ?	81

表目錄

表 5-1：反射式反射式校正 θ_0	34
表 5-2：穿透式反射式校正 θ_0	37
表 5-3：經由擬合(Fit)後所算出參數(程式見附錄一)	43
表 5-4： θ_0 計算.....	45
表 5-5： θ_0 、 θ_1 和厚度計算(程式見附錄三)	48
表 5-6：多波長 θ_0 計算.....	49
表 5-7： θ_0 、 θ_1 和 θ_2 對各波長量測值.....	51
表 5-8： θ_0 、 θ_1 和厚度平均值和標準差.....	52

圖目錄

圖 2-1 : 旋轉的橢圓偏振.....	4
圖 2-2 : 線性偏振光.....	5
圖 2-3 : 橢圓偏振光.....	5
圖 2-4 : 圓偏振光.....	6
圖 2-5 : 多次反射型態.....	9
圖2-6: 反射式光彈調變量測系統基本架構.....	11
圖2-7 : 穿透式光彈調變定量量測系統.....	13
圖2-8 : 穿透式光彈調變定性量測系統基本架構.....	15
圖2.9 : $\theta_0=0.45$ 、 0.5 和 0.55λ 理論波形.....	16
圖2-10 : 反射式光彈調變即時量測系統基本架構.....	19
圖3-1 : 穿透式系統信號位移例子.....	22
圖 3-2 : 穿透式經過優化和未優化信號比較.....	23
圖 3-3 : 反射式系統信號位移例子.....	25
圖 3-4 : 反射式經過優化和未優化信號比較.....	26
圖 3-5 : 反射式優化和未優化所算出的 θ_0	27
圖 5-1 : 圖解法求 θ_0	33
圖 5-2 : 反射式校正 θ_0	34
圖 5-3 : 反射式量測 θ_0 和析光片方位角的關係.....	35
圖 5-4 : 反射式各倍頻信號對 θ_0 的理論圖.....	36
圖 5-5 : 穿透式校正 θ_0	37
圖 5-6 : 穿透式量測 θ_0 和析光片方位角的關係.....	38
圖 5-7 : 穿透式各倍頻信號對 θ_0 的理論圖.....	39
圖 5-8 : 穿透和反射式綜合比較.....	40
圖 5-9 : 理想 PEM 信號強度對時間訊號的波形.....	41
圖 5-10 : 未校正 θ_0 所推算理論波形和實驗值比較.....	41
圖 5-11 : 校正 θ_0 所推算理論波形和實驗值比較.....	42
圖 5-12 : 非理想 PEM 信號強度對時間訊號的波形.....	43
圖 5-13 : 經由擬合 (Fit) 後理論和實驗波形.....	44

圖 5-14：使用倍頻信號所算出的	45
圖 5-15：穿透式各倍頻信號對 的理論圖()	46
圖 5-16：對 圖	47
圖 5-17：? 對 圖	47
圖 5-17： 對波長的圖	49
圖 5-18：? 對波長的圖	50
圖 5-19：對波長的圖	50
圖 5-20：對 ? 圖	51
圖 5-21：? 對時間圖	52
圖 5-22：對時間圖	53
圖 A-1：前置面板	60
圖 A-2：一個不合適的取樣速率所產生的混疊效應	61
圖 A-3：程式方塊流程圖	63
圖 A-4：第一部分程式方塊流程圖	64
圖 A-5：處理相位虛擬儀表程式方塊流程圖	65
圖 A-6：振幅和相位頻譜 (Amplitude and Phase Spectrum) 程式方塊流程圖	66
圖 A-7：多頻信號取得程式方塊流程圖	67
圖 A-8：倍頻信號由相位判斷正負號程式方塊流程圖	68
圖 A-9：析光片每轉 15 度所取到各倍頻信號	68
圖 A-10：第二部分程式方塊流程圖	69
圖 A-11：第三部分程式方塊流程圖數據處理	70
圖 A-12：? 和 ? 計算程式方塊流程圖	70
圖 A-13：圖解法求 ? ₀	71
圖 A-14：LabVIEW 取 ? 的程式	72
圖 A-15：25 個都算 delta0 程式	72
圖 A-16：在析光片 A 和 A+45 度平方和開根號程式	73
圖 A-17：即時量測前置面板	74
圖 A-18：即時量測方塊流程圖	75