



複合光學薄膜 應力分析技術

Stress Analysis Technology for Optical Multilayer Thin Films

田春林

逢甲大學
電機工程學系
教授

賴識翔

工研院機械所
先進機械技術組
固態光源機械技術部

林士欽

工研院機械所
先進機械技術組
固態光源機械技術部

王慶鈞

工研院機械所
先進機械技術組
研發副組長

關鍵詞(Keywords)

- 多層薄膜應力 Multilayer Film Stress
- 應力模擬 Stress Simulation
- 殘留應力 Residual Stress

摘要(Abstract)

本文探討濺鍍製程中高品質多層薄膜的應力問題，以硬性玻璃基板的薄膜應力理論為基礎，輔以薄膜鍍膜的技术及應力量測實驗來尋找最佳的製程參數，使單層高、低折射率薄膜為設計基礎之多層膜殘留應力能有效降低，進而探討多層膜疊加後的應力行為。主題為多層膜應力的物理模型建置、量測與模擬分析，根據彈性力學與應

變不匹配等原理，從理論上建立一個包含薄膜本徵應力的薄膜殘留應力分配預測模型，分析薄膜殘留應力以提供一個輔助設計的工具，期使對薄膜製程及應用具有實際的助益。

This work investigates multilayer thin film stress issue on sputtering process. The theory is based on thin films deposited onto glass substrates, and using thin film deposition technology and stress measurement experiment to optimize process parameters. We reduced residual stress on multilayer thin films, which including high and low refractive index layers, and further investigated the stress accumulation behavior on the multilayer stack. The physical model of multilayer films stress was built, measured and simulated according to the principles of elasticity and strain mismatch. The intrinsic prediction model was constructed for the



thin film residual stress distribution and analysis. The model provides a computer-aided design which can benefit thin-film manufacturing processes and applications.

1. 前言：複合光學薄膜/多層膜應力簡介

薄膜應力是光學薄膜重要的品質指標，它對薄膜元件實際的應用影響很大。多層膜殘留應力過大時，嚴重者會影響薄膜與基板間的附著性，造成薄膜產生剝落(peeling)或起皺(wrinkling)的現象。而如何降低應力則是現今所有研究者必須面對的一個挑戰，其中一種解決方法是尋求鍍膜條件的最佳化，因應不同製程的條件及不同需求改變製程參數，以期得到符合所需的低應力及光學特性參數。在 2000 年發表的研究中[1]，發現在多層氧化膜應力量測的實驗裡，不論是 Ta_2O_5/SiO_2 或者是 Nb_2O_5/SiO_2 的堆疊，多層膜堆疊後的應力或者是偏移量，並不會等於單層膜量測值的線性相加，結果顯示出由高、低折射率交互堆疊的多層膜會隨著層數增加而應力值會越來越小，或者曲線更平緩。這其中必然有界面應力造成的影響，所以需朝著找出膜層間產生的界面應力成因和規則，以期能提供消除應力的方法。此外，為簡化問題，忽略基板與薄膜之間的界面效應。

關於薄膜材料結構和電腦模擬的計算模型主要有兩大類：連續體模型和原子級模型。連續體模型就是把薄膜材料看作連續的介質，採用的方法大多是有限元素法，它的研究物件是有限小單

元。原子級模型是把薄膜材料看作由許多單一原子的聚集體，它的研究物件則是單個原子。薄膜材料的各個宏觀量，則由所有原子的統計量得出。目前經常採用的原子級模擬方法有分子動力學方法、蒙特卡羅(Monte Carlo)方法和晶格動力學方法等。利用電腦模擬方式可以獲得更多的資訊，甚至預言發生在薄膜中力學過程的新機制，和一般應用的量測實驗相比，電腦模擬實驗具有幾個優點。第一是模擬實驗可以控制全部輸入資料，和在真實實驗中有時難以具體確定的各種外部影響因素。第二不需要引入任何額外的外部影響因素，便有可能獲得物理模型演算的各項數據。第三電腦模擬對實驗具有重要的互補性意義。電腦程式模擬主要包括三個步驟：(1)根據薄膜模型結構及理論分析建立應力分析模式；(2)利用電腦與程式設計對模型進行計算、求解、分析，並得到相關的結果；(3)將所得結果應用於量測實驗，作為交互參照。對於薄膜材料的研究，研究最多的是薄膜生長機制、薄膜的表面粗糙度、相對密度以及晶粒尺寸等電腦模擬[2-4]。

由於光學元件朝向輕薄短小，且用光學鍍膜技術也可產生偏振以及雙折射現象，於是開發新的薄膜沉積技術及其應用日益受重視。多層膜常採取高、低折射率之堆疊方式製鍍薄膜元件，會因應力問題而使薄膜產生剝落或脆裂的現象，因此本研究旨在探討濺鍍製程中，高品質薄膜的應力問題，以硬質玻璃基板的薄膜應力理論為基礎，輔以薄膜應力量測實驗來尋找最佳製程參數，使單層高、低折射率薄膜之光學性質與應力能同時兼顧。再者，多層膜疊加後的應力行為也是非常值得探討之課題。為瞭解薄膜應力特性並

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】399期・105年6月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌信箱：jmi@itri.org.tw