

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫三：蝕刻製程橢圓儀線上即時量測系統之研製

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2623-7-009-001-NU

執行期間：92年01月01日至92年12月31日

執行單位：國立交通大學光電工程研究所

計畫主持人：趙于飛

計畫參與人員：郭俊儀，柯凱元，王夢偉

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 20 日

低溫電漿蝕刻製程與電漿診斷技術之開發研究(1/2)-子計畫三

蝕刻製程橢圓儀線上即時量測系統之研製

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2623 - 009 - 001 - NU

執行期間：92年 1月 1日至92年 12月 31日

計畫主持人：趙于飛

共同主持人：柳克強，林滄浪

計畫參與人員：郭俊儀 國立清華大學工科學所碩士

王夢偉，柯凱元 交通大學光電所博士，碩士

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫

及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，v 一年 二年後可公開查詢

執行單位：交通大學光電所

中 華 民 國 年 月 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

低溫電漿蝕刻製程與電漿診斷技術之開發研究(1/2)-子計畫三

蝕刻製程橢圓儀線上即時量測系統之研製

計畫編號：NSC 92 - 2623 - 009 - 001 - NU

執行期間：92 年 1 月 1 日至 92 年 12 月 31 日

主持人：趙于飛 交通大學光電所

email:yschao@cc.nctu.edu.tw

計畫參與人員：郭俊儀 國立清華大學工科學所碩士

柯凱元 交通大學光電所碩士

中文摘要

本研究分別在清華與交大執行：清華作光彈調變式橢圓偏光儀在蝕刻製程的即時監控。本研究將探討未校正過的光彈調變器的相位調變振幅的影響。由於觀察橢圓偏光參數在電漿蝕刻過程中的變化正如預期，故確實已經可以達到監控蝕刻率及預測蝕刻終點的能力；交大則用數據擷取卡取代傳統以鎖相放大器建構光彈調變式橢圓偏光儀量測系統。以同步量取多倍頻訊號即時量測光彈調變器的相位調變振幅，進而求出橢圓偏光參數 Δ 和 Δ_0 。我們引入一套多波長的量測方法，可當作未來發展多波長即時量測的工具。

英文摘要

This research is carried out by two laboratories: one in NTHU for in situ/real time monitoring the plasma etching process. This research analyzes the ellipsometric parameters changes in the processes of etching to calibrate the intrinsic phase retardation, the measured ellipsometric parameters are fitted to our theoretical expectation; while in NCTU, we use a DAQ system to analyze its multi-harmonics for calibrating its amplitude modulation in real time, as well as find its multiwavelengths measurement technique. We find it is more effective in time if one use the corresponding modulation amplitude for different wavelength instead of using 0.383λ for every wavelength one use.

研究背景

在目前半導體和液晶產業中，電漿蝕刻和薄膜沈積是半導體製程中相當重要的一環，尤其在面對元件尺寸的縮小，我們希望在蝕刻或沈積過程中能夠直

接監測晶圓上厚度的變化，以取代傳統光譜儀和質譜儀藉觀察電漿光譜的變化間接瞭解晶圓表面狀況的方法，而達到精準的控制蝕刻或沈積的厚度，故即時監控便成了橢圓儀的重要應用之一。相位調變式橢圓儀優點在於利用光彈調變器，可以避免機械式轉動光學元件造成寄生誤差 (parasitic error)，缺點在光彈調變器本身存在的殘存雙折射 (Δ_i) 會對測量結果造成影響，也為此篇文章主要探討的重點。清大蝕刻研究室利用量測及計算膜厚所需之模型兩方面同時進行比對和修正，以達到量測之膜厚具所需要的可信度，目前已在偵測蝕刻終點方面有所突破，並可由橢圓參數的穩定變化驗證電漿蝕刻控制能有效的控制蝕刻速率。交大光電所偏光量測室則以數據擷卡(Data Acquisition Card) 取代傳統的鎖相放大器(Lock-in Amplifier) 建構而成的橢圓偏光儀量測系統。本系統以同步量測多倍頻訊號，由於所須參數均由雙或奇倍頻對比而得，故可濾除非同倍調頻的雜訊。發現相位調變振幅值 (Δ_0) 須一時段方會趨於平衡且並非其面板上的設定值，故改變其設定值並不適合即時量測橢圓偏光參數 Δ 和 Δ_0 因此我們建議以固定面板上波長為 568.2 nm 及 Δ_0 在 0.383，只改變雷射的波長。由於光彈調變器的厚度固定，故理論上實際 Δ_0 應該為定值，本文將以實驗證明此理論同時量測一標準薄膜各波長的 Δ 和 Δ_0 。

理論基礎

橢圓參數 Δ 和 Δ_0 為水平與垂直偏振的反射係數 r_p 和 r_s 的比值：

$$\tan\Psi e^{i\Delta} = \frac{r_p}{r_s}$$

$$I(A) = 0.5I_0[\sin^2 A + \tan^2 \Psi \cos^2 A - \tan \Psi \sin 2A(\cos \Delta \cos \Delta_0 + \sin \Delta \sin \Delta_0)]$$

相位調變式橢圓儀(圖一) 利用光彈調變器 (PEM Photoelastic Modulator) 的光彈效應調變相位延遲來量測橢圓參數。光彈調變器提供一50kHz之調變訊號, 利用一倍頻 I_{1F} 、二倍頻 I_{2F} 和直流訊號 I_{DC} 可推導出橢圓參數 Δ 和 Ψ 。在偵測器所量之亮度為

其中光彈調變器相位延遲

故

$$\begin{aligned} \cos \Delta_p &= \Delta_p = \Delta_o \cdot \sin \omega t + 2J_1(\delta_o) \cdot \cos 4\omega t + \dots \\ \sin \Delta_p &= 2J_1(\delta_o) \sin \omega t + 2J_3(\delta_o) \cdot \sin 3\omega t + 2J_5(\delta_o) \cdot \sin 5\omega t + \dots \end{aligned}$$

代入 (1) 式可得

$$\begin{cases} I_{4n}(A) = 0.5I_o[\sin^2 A + \tan^2 \Psi \cos^2 A - \tan \Psi \cos \Delta J_n(\delta_o) \sin 2A] \\ I_{(2n-1)F}(A) = -I_o[\tan \Psi \sin \Delta J_{(2n-1)}(\delta_o) \sin 2A] \\ I_{2n}(A) = -I_o[\tan \Psi \cos \Delta J_{2n}(\delta_o) \sin 2A] \end{cases} \quad n=1, 2, 3 \dots$$

$$\frac{I_{1F}}{I_{2F}} = \frac{J_1(\delta_o)}{J_2(\delta_o)} \quad \text{及} \quad \frac{I_{2F}}{I_{4F}} = \frac{J_2(\delta_o)}{J_4(\delta_o)}$$

(2)

$$\Delta = \tan^{-1} \left[\frac{I_{1F}}{J_1(\delta_o)} \middle/ \frac{I_{2F}}{J_2(\delta_o)} \right]$$

$$\Psi = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left\{ \left[\frac{I_{1F}}{2J_1(\delta_o)I_{DC}} \right]^2 + \left[\frac{I_{2F}}{2J_2(\delta_o)I_{DC}} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

(3)

故我們將量出的亮度換算成橢圓偏光參數或光彈調變振幅。

實驗裝置

在清大所裝置的橢圓偏光儀 (圖一, 二) 為單波長光源 (632.8nm)、固定入射角 (60 度), 本實驗中使用900 nm 多晶矽於28 nm 二氧化矽上的6 吋晶圓, 蝕刻氣體為95sccm 的氯氣混合 5sccm 的氫氣, 電漿條件為ICP 功率1000W、Bias 功率200W、壓力10mTorr。光彈調變器型號為 Hinds PEM-90 分別以鎖相放大器 (Lock in amplifier) 型號為 EG&G 7220 與 7265 擷取一倍與二倍交流訊號以及直流訊號。交大光電所將一數據截取卡取代二鎖相放大器並量取高頻的信號以量測調頻振幅。

結論

甲 清大蝕刻線上量測:

非理想的光彈調變器會因為晶體結構與壓電材料是以黏膠相連, 以致產生靜態應變(Static strain), 因而衍生出殘存雙折射 Δ_i 而使相位延遲成為

$$\Delta = \tan^{-1} \left[\frac{I_{1F}}{J_1(\delta_o)} \middle/ \frac{I_{2F}}{J_2(\delta_o)} \right] - \Delta_i$$

圖三和圖四分別為橢圓參數 Δ 與 Δ 對厚度的關係圖, 由圖四可看出. 的實驗值與理論計算值差距 6 度左右, 可以反推得知本實驗使用的 PEM 本身有殘存雙折射 $\Delta_i = 6$ 度。在圖五中計算出正確的厚度變化, 並由厚度變化可以知道蝕刻過程蝕刻率穩定的控制在 6.5 ± 0.5 nm/sec。

乙 交大由高頻比值所得結論：

由 (2) 式所量出的調變振幅 Δ_0 ，圖六對 PEM 的 Δ_0 由開機後做 6 小時的即時量測，我們發現 Δ_0 並非 PEM 面板上顯示的一直維持在 0.383 的位置，需要開機一個小時之後才趨於穩定的狀態，如圖七。因此由倍頻亮點式的方法可以即時監控 Δ_0 ，去除掉背景干擾，並且可以即時修正 Δ_0 大幅提高系統的準確性。這是傳統 PEM 接鎖相放大器所無法做到的。

將偏光片固定 ± 45 度及光彈調變器光軸方位角調到零度位置，入射角在 70 度，樣品為 366 Å 的 SiO_2/Si 。光彈調變器所顯示的 Δ_0 及波長固定在 0.383 和 568.2 nm，利用 KrAr 以及 HeNe 雷射 488、520.8、568.2、632.8、647.1 nm 五個波長進行 Δ_0 校正，結果如圖三：利用固定相位延遲方式以 568.2nm 為中心波長方式，透過(3)式可畫出理論線，由圖三可發現不同波長所對應相位調變振幅 (Δ_0) 是跟理論值吻合。

結語

本文係結錄自柯凱元¹ 及郭俊儀²投光電年會的論文。

文獻

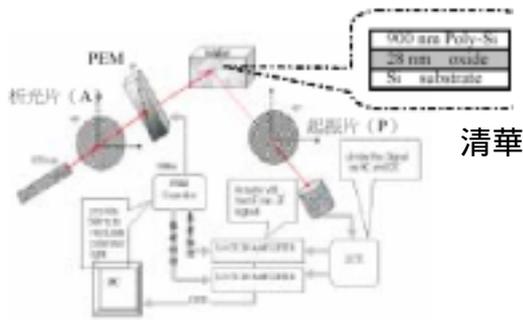
(1) 柯凱元：多波長光彈調變式橢圓偏光儀之即時量測

- [1] S. N. Jaspersen and S. E. Schnatterly, "An Improved Method for High Reflectivity Ellipsometry Based on a New Polarization Modulation Technique," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 40, pp. 761-767, (1969)
- [2] Yu-Faye Chao and Cham-Kuo Wang, "Direct Determination of Azimuth Angles in Photoelastic Modulator System," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, pp. 3558-3562, (1998)
- [3] O. Acher, E. Bigan and B. Drevillon, "Improvements of phase-modulated ellipsometry," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 60, pp. 65-77, (1989)
- [4] Meng-Wei Wang and Yu-Faye Chao, "Azimuth Alignment in Photoelastic Modulation Ellipsometry at a Fixed Incident Angle," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 41, pp. 3981-3986, (2002)
- [5] 蔡裴欣 "光彈調變器之線上校正及橢圓偏光參數量測"，交通大學光電工程研究所碩士論文, (2002)

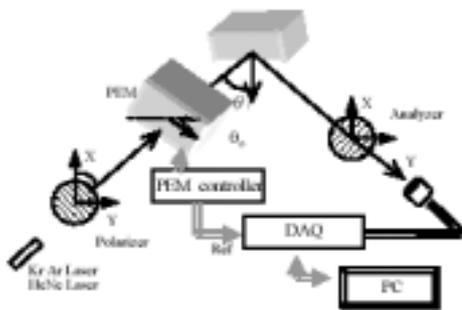
(2) 郭俊儀：光彈調變橢圓儀線上監控電漿蝕刻製程

- [1] Samuel S. SO, "Ellipsometric Analyses For An Absorbing Surface Film On An Absorbing Substrate With Or Without An intermediate Surface layer", *Surface Science* 56(1976)97-108
- [2] D. J. Thomas, P. Southworth, M. C. Flowers and R. Greef, "An investigation of the reactive ion etching of polysilicon in pure Cl_2 plasma by in situ ellipsometry and quadrupole mass spectrometry," *J. Vac. Sci. Technol. B* 8 (5), Sep/Oct 1990

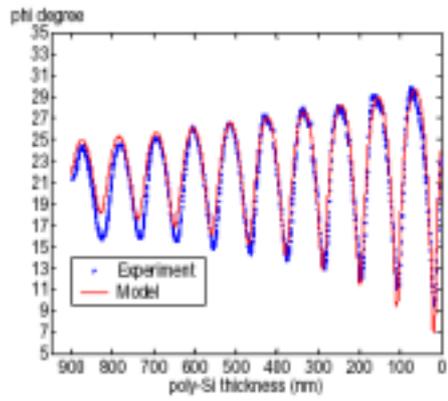
- [3] W. M. Duncan ,S. A. Henck , J. W. Kuehne , L. M. Lowenstein , and S. Maung “High-speed spectral ellipsometry for in situ diagnostics and process control” *J.Vac.Sci.Technol. B* 12 (4), Jul/Aug 1994
- [4] H.L.Maynard, N.Layadi ,and J.T.C.Lee “Plasma etching of submicron devices :in situ monitoring and control by multi-wavelength ellipsometry” *Thin Solid Films* 313-314 (1998) 398-405
- [5] H. L. Maynard , N.Layadi , and J.T.C. Lee “Multiwavelength ellipsometry for real-time process control of the plasma etching of patterned samples” *J.Vac.Sci.Technol. B* 12 (4),Jul/Aug 1994
- [6] S.N.Jasperson and S.E. Schnatterly : *Rev. Sci.Instrum.* 40 (1969) 761
- [7] 陳旭賢 “利用相位調變式橢圓儀進行電漿蝕刻製程之即時監控與量測” 國立清華大學工程與系統科學研究所碩士論文，2000
- [8] 劉育維 “相位調變式橢圓儀應用於電漿蝕刻製程監控” 國立清華大學工程與系統科學研究所碩士論文，2002



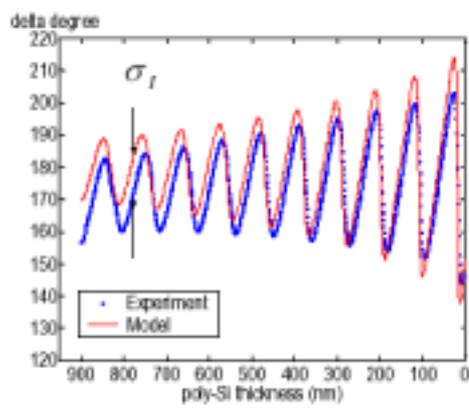
圖一 相位調變式橢圓儀示意圖



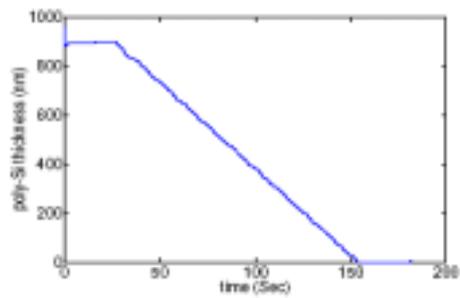
圖二 交大橢圓偏光儀



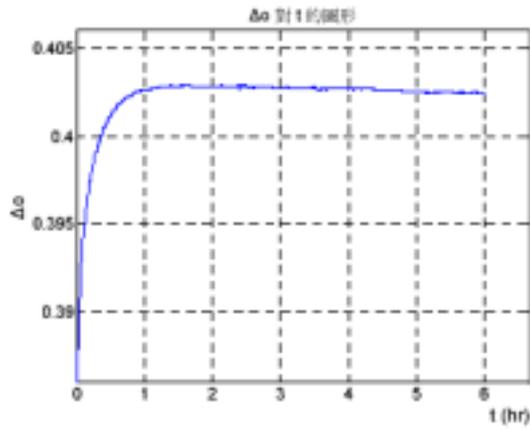
圖三 Ψ 與厚度關係圖



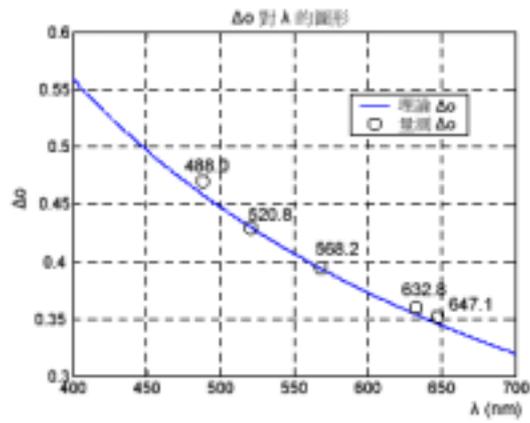
圖四 Δ 與厚度關係圖



圖五 厚度隨時間關係圖



圖六 Δ_o 之時間演變過程



圖七 Δ_o 在各波長下之值