

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：95102023

※ 申請日期：95.1.19

※IPC 分類：G01N 21/45

一、發明名稱：(中文/英文)

用於檢測物體表面之特性的干涉系統、干涉裝置以及干涉方法
/INTERFEROMETRY SYSTEM, INTERFEROMETRY APPARATUS, AND
INTERFEROMETRY METHOD FOR DETERMINING CHARACTERISTICS
OF AN OBJECT SURFACE

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

賽格股份有限公司/ZYGO CORPORATION

代表人：(中文/英文)

卡爾 A. 薩諾尼/CARL A. ZANONI

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國 06455-0448 康乃迪克州, 密德菲爾得市, 羅瑞爾、布魯克路 21 號

國 籍：(中文/英文)

美國/U.S.A

三、發明人：(共 2 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 塞維爾 柯隆納 迪 雷加/DE LEGA, XAVIER COLONNA

2. 彼得 DE 古魯特/DE GROOT, PETER

國 籍：(中文/英文)

1. 法國/FRANCE

2. 美國/U.S.A

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 美國、2005/1/20、60/645,448

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

一系統被揭露，其包括：(i)一干涉儀，被配置以將測試電磁輻射導至測試面並將參考電磁輻射導至參考面，然後結合電磁輻射以形成一干涉圖案，電磁輻射係來自一共同光源；(ii)一多元件檢測器；及(iii)一或多個光學元件，被配置以將干涉圖案成像於檢測器上，以使得檢測器的不同元件對應於測試電磁輻射對測試面的不同的照明角度。由檢測器元件做的測量提供測試面的橢圓術/反射術資料。揭露的系統可被重新配置以在不同模式(例如，統計模式)中操作，其中，檢測器的不同元件對應於測試面的不同位置。

六、英文發明摘要：

Disclosed is a system including: (i) an interferometer configured to direct test electromagnetic radiation to a test surface and reference electromagnetic radiation to a reference surface and subsequently combine the electromagnetic radiation to form an interference pattern, the electromagnetic radiation being derived from a common source; (ii) a multi-element detector; and (iii) one or more optics configured to image the interference pattern onto the detector so that different elements of the detector correspond to different illumination angles of the test surface by the test electromagnetic radiation. The measurements made by the detector elements provide ellipsometry/reflectometry data for the test surface. The disclosed system can further be reconfigured to operate in a different mode (e.g., a profiling mode) in which the different elements of the detector correspond to different locations of the test surface.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

100：干涉系統；	102：光源；
104：輸入光；	106：干涉物鏡；
108、110：中繼光學元件；	112：分光器；
114：瞳面；	115：孔徑光欄；
116：邊緣光束；	117：主要光束；
118：接物透鏡；	120：分光器；
122：參考面；	124：測試面；
126：測試物體；	128：參考光；
132：結合光；	134：檢測器；
136：中繼透鏡；	138：視場光欄；
140、142、144、146：偏振元件；	
150：傳動平台。	

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於一種干涉儀。

【先前技術】

干涉技術一般被用以測量物體表面的輪廓。為此，干涉儀結合從有關的表面反射的測量波前及從參考面反射的參考波前以產生干涉圖。在干涉圖中的條紋係指示在有關的表面與參考面間的空間變化。

在大約或大於干涉波前的同調長度的範圍內，掃瞄干涉儀掃瞄干涉儀的參考及測量臂之間的光程差(OPD)，以對被用以測量干涉圖之各照相機像素產生掃瞄干涉訊號。例如，經由使用白光光源，其被稱為掃瞄白光干涉(SWLI)，可產生有限的同調長度。典型的掃瞄白光干涉(SWLI)訊號係被局部化以靠近零光程差(OPD)的位置之一些條紋。訊號典型上可由利用鈴形條紋對比波包的正弦載波調變(“條紋”)加以特徵化。傳統上構成 SWLI 的度量衡之概念係使用條紋的局部化去測量表面輪廓。

SWLI 處理技術包括兩個構造趨勢。第一個方式係確定波包的峰值或中心的位置，假定此位置對應於雙光束干涉儀的零光程差(OPD)，其一光束從物體表面反射。第二個方式係將訊號轉換至頻域並計算相位隨著波長的變化率，假定一本質上的線性斜率直接比例於物體位置。例如，參照 Peter de Groot 的美國專利第 5,398,113 號。

後者被稱為頻域分析(FDA)。

掃描干涉可被用以測量具有複雜表面結構的物體之表面形貌(topography)及/或其他特徵，諸如薄膜、不同材料的離散結構、或是由干涉顯微鏡的光學解析度解析中的離散結構。此測量係有關於平面顯示器組件的特徵化、半導體晶圓度量衡、及原位薄膜與不同材料分析。參照 Peter de Groot 等的美國專利公報 US-2004-0189999-A1，名稱為"Profiling Complex Surface Structures Using Scanning Interferometry"且被刊登於2004年9月30日，其內容在此一併做為參考。並參照 Peter de Groot 等的美國專利公報 US-2004-0085544-A1，名稱為"Interferometry Method for Ellipsometry, Reflectometry, and Scatterometry Measurements, Including Characterization of Thin Film Structures"且被刊登於2004年5月6日，其內容在此一併做為參考。

用以光學地決定關於一物體的資訊之其他技術包括橢圓術(ellipsometry)及反射術(reflectometry)。當在例如 60° 的一斜角被照射時，有時係以一可變角或以多波長，橢圓術決定表面之複數反射率。為了達到較傳統橢圓術可達到者更大的解析度，微橢圓儀測量在物體的後焦面，亦即瞳面(pupil plane)，中的相位及/或強度分布，其中不同的照明角度被映射至場位置。此等裝置係傳統的偏振顯微鏡或"錐光偏振儀"的現代化，歷史上被聯結至結晶學及礦物學，其使用交叉的偏振器及博德拉德

(Bertrand)透鏡去分析瞳面雙折射材料。

用於薄膜特徵化的傳統技術(例如橢圓術及反射術)依靠下列事實，及未知的光學界面的複數反射率係同時取決於其本身的特徵(材料特性及各層的厚度)及用以測量反射率：波長、入射角、及偏振狀態的光之三個特性。實際上，特徵化儀器記錄經由在已知範圍中改變這些參數導致的反射率變動。然後，諸如最小平方法等的最佳化程序被用以經由將測量到的反射率數據與從光學結構的一模型導出的反射率函數間的差異最小化而得到對未知參數的估計。

【發明內容】

在至少一個實施例中，干涉方法及裝置被揭露，其在一波長範圍中從一測試面產生被角度地解析的干涉訊號。關於各波長的資訊可被數學地或以硬體擷取。再者，用以獲得來自測試面之被角度地解析的干涉訊號的光學硬體，可與用於其他的表面特徵化工作，諸如傳統的干涉表面輪廓繪製(interferometric surface profiling)，的光學硬體互換。因此，一干涉系統被揭露，其可在一橢圓術模式中操作，用以對一範圍的角度、波長、及偏振，提供測試面之複數反射率資訊，且可在一輪廓繪製模式中操作，用以在一測試面位置的範圍中，提供關於測試面的資訊。

現在概述本發明之特徵與特點。

一般而言，在一特徵中，系統包括：(i)一干涉儀，被配置以將測試電磁輻射導至測試面並將參考電磁輻射導至參考面，然後結合電磁輻射以形成一干涉圖案，電磁輻射係來自一共同光源；(ii)一多元件檢測器；及(iii)一或多個光學元件，被配置以將干涉圖案成像於檢測器上，以使得檢測器的不同元件經由測試電磁輻射而對應於測試面的不同的照明角度。

系統的實施例可包括下列任何特點。

干涉儀包括具有瞳面的干涉物鏡。再者，一或多個光學元件可將瞳面上的干涉圖案成像至多元件檢測器。同時，干涉儀可被配置以將從共同光源發射的 EM 輻射成像至干涉物鏡的瞳面。舉例而言，干涉物鏡可為 Mirau 物鏡或米契爾森(Michelson)物鏡。

一或多個光學元件可被配置以被選擇地調整，以將測試面成像至檢測器或將干涉圖案成像至檢測器，使得檢測器的不同元件對應於測試電磁輻射對測試面之不同的照明角度。換言之，系統中的檢測器可在記錄測試面的光學輪廓與記錄關於測試面之被角度地解析的干涉數據交替。

在某些實施例中，測試 EM 輻射可從測試面被反射。或者，在其他實施例中，測試 EM 輻射可穿過測試面。

干涉儀可包括一掃描平台，當測試及參考 EM 輻射形成光學干涉圖案時，用以調整其間之相對的光學路徑長。

系統可進一步包括共同光源。例如，共同光源可為一寬頻光源。干涉儀也可包括一掃描平台，當測試及參考 EM

輻射形成光學干涉圖案時，用以調整其間之相對的光學路徑長，且掃瞄平台可被配置以在大於共同光源的同調長度之範圍中改變光學路徑長。

干涉儀可進一步包括一或多個偏振元件，被定位以可調整地控制被檢測器測量的干涉圖案的偏振內容。

系統可更包括被耦合至檢測器的一電子處理器，其中，電子處理器被配置以分析關於干涉圖案的資訊，以決定關於具有測試面的一測試物體之被角度地解析的資訊。例如，測試物體可具有鄰接於測試面的至少一層。

一般而言，在另一特徵中，一裝置被揭露，其包括：
(i)一干涉儀，被配置以測試光導至測試面的光，接著並將其與參考光結合以形成一干涉圖案，測試及參考光係自一共同光源導出；(ii)一電子檢測器；及(iii)一或多個光學元件，被配置以將至少部分的結合光導至檢測器，使得檢測器的不同區域對應於測試光對測試面的不同的照明角度。

裝置的實施例可包括下列任何特點。

干涉儀可包括：一分光器，被配置以將從共同光源導出的輸入光分成測試光及參考光；及一參考面，被定位以將參考光在與測試光結合之前反射。測試光被配置以從測試面反射，且干涉儀中的分光器被定位以將測試及參考光在其分別從測試及參考面反射之後再結合。

干涉儀可更包括一透鏡，以將測試光聚焦至測試面。透鏡定義一瞳面且一或多個光學元件將瞳面成像至檢測

器。共同光源被空間地擴展，且輸入光從共同光源被成像至瞳面。一視場光欄可被定位以在測試面上界定測試光的空間範疇。

干涉儀可包括具有一瞳面的干涉物鏡。舉例而言，干涉物鏡可為 Mirau 干涉物鏡或米契爾森(Michelson)干涉物鏡。一或多個光學元件可將瞳面上的干涉圖案成像至多元件檢測器。

檢測器可包括多個檢測器元件，且不同的檢測器元件對應於測試光對測試面之不同的照明角度。

從共同光源導出的測試及參考光可為電磁頻譜中的可見光部分。或者，其可為電磁頻譜的紫外線、近紅外線、或遠紅外線部分。

測試光被配置以從測試面反射。或者，在其他實施例中，測試光被配置以穿過測試面。

裝置可更包括一傳動平台，被配置以當測試及參考光形成干涉圖案時，用以調整其間之相對的光學路徑長。舉例而言，裝置可更包括一基座，用以支撐具有測試面的測試物體，且傳動平台可被配置以相對於基座移動至少部分的干涉儀(諸如干涉儀中的干涉物鏡)。

裝置可更包括共同光源。傳動平台可被配置以在大於共同光源的同調長度之範圍中改變光學路徑長。共同光源可為一寬頻光源，其在半高全寬上跨越超過 50nm(或是超過 100nm，或是超過 200nm)。

在特定實施例中，共同光源可為可調光源。例如，裝

置可更包括一電子處理器，被耦合至檢測器與可調光源，且被配置以對可調光源的不同波長設定，處理由檢測器記錄的影像。在此情況中，干涉儀可包括一參考面，被定位以反射參考光，其中，參考面進一步被定位以在干涉圖案與測試光產生非零光程差。

干涉儀可更包括一或多個偏振元件，被定位以調整由檢測器測量的干涉圖案之偏振內容。例如，一或多個偏振元件可包括第一偏振器，被定位以接受來自共同光源的輸入光，測試及參考光係從共同光源被導出。例如在一情況中，一或多個偏振元件可更包括一第二偏振器，被定位以在其到達檢測器前接收結合光。例如在另一情況中，第一偏振器進一步被定位以在其到達檢測器前接收結合光。此外，一或多個偏振元件可包括四分之一波片，被定位以從共同光源接收輸入光並在其到達檢測器前接收結合光，測試及參考光係從共同光源被導出。

干涉儀可包括一透鏡，以將測試光聚焦至測試面，而一或多個偏振元件可包括第一偏振器，被定位以在被透鏡聚焦前使測試光被線性偏振。例如，第一偏振器可使測試光在測試面上具有偏振，其在 s 及 p 偏振光間方位角地變化。第一偏振器可被定位以同時使結合光在檢測器被線性偏振。或者，一或多個光學元件可更包括第二偏振器，被定位以使結合光在檢測器被線性偏振。例如，第一及第二偏振器可具有一共同配向。

檢測器上的不同位置可對應於檢測器之 s 及 p 偏振光

的夫冉斯納爾(Fresnel)反射係數的不同結合。s 及 p 偏振反射係數的相對的結合可取決於檢測器的方位角座標，而夫冉斯納爾(Fresnel)係數的角度依賴性取決於徑向座標。

干涉儀可包括一分光器，被定位以沿著第一方向從共同光源接收輸入光，並沿著與第一方向不同的第二方向將結合光導向檢測器。

裝置可更包括一電子處理器，耦合至檢測器，其中，電子處理器被配置以處理由檢測器測量的資訊，以決定關於具有測試面的測試物體的資訊。例如，測試物體可包括在基板上的一或多層。在特定實施例中，電子處理器可從檢測器測量中擷取有關測試面的被角度地解析的反射率資訊，並根據被角度地解析的資訊決定有關測試物體的資訊。例如，資訊可包括對部分的測試物體的折射率估計及/或對測試物體中的一層的厚度估計。電子處理器可被配置以根據基於由檢測器測量的資訊及測試物體的模型的數據之間的比較而決定有關測試物體的資訊。例如，模型可將對測量資訊的估計提供為測試物體的一或多個參數的函數，且其中，比較選擇一或多個參數的值以將測量資訊與由模型提供者之間的配適最佳化。

裝置可更包括一傳動平台，被配置以在測試及參考光形成干涉圖案時調整其間相對的光學路徑長，其中電子處理器被配置以分析在檢測器上之多個位置各自被測量且係經由掃描傳動平台而產生的干涉強度訊號。再者，電子

處理器可被配置以根據在檢測器上的不同位置之強度訊號的頻率決定在檢測器的不同區域與測試光對測試面的不同照明角間的對應性。

並且，電子處理器可被配置以根據在整個檢測器上測量的強度訊號擷取關於測試面之被角度地解析及波長解析的資訊。例如，電子處理器可被配置以將檢測器的不同位置上的干涉訊號轉換至頻域，以擷取被角度地解析及波長解析的資訊。

干涉儀可包括一或多個偏振元件，被定位以調整由檢測器測量的干涉圖案的偏振內容。結果，電子處理器可被配置以根據在整個檢測器上被測量的強度訊號擷取關於測試面之被角度地解析、波長解析、及偏振解析的資訊。舉例而言，被角度地解析、波長解析、及偏振解析的資訊可為關於測試面的複數反射率資訊。

電子處理器可被配置以選擇一子集的各干涉強度訊號，並處理子集的干涉強度訊號以決定與被選擇的界面相關的測試物體之資訊。子集對應於測試物體中的一選擇的界面。

電子處理器可儲存有關干涉儀的光學特性的校準資訊，並使用校準資訊及由檢測器測量的資訊以決定關於測試物體的資訊。

裝置可被配置以可調整地切換第一操作模式，其中結合光被導至檢測器以使得檢測器的不同區域對應於測試光對測試面的不同照明角度，及第二操作模式，其中檢測

器的不同區域對應於測試光對測試面照明的不同區域，以致能一輪廓繪製模式。

例如，裝置可更包括一平台，被配置以調整相對於一或多個光學元件的檢測器的位置，以切換第一及第二操作模式。裝置可包括一電子控制器，被耦合至檢測器平台且被配置以可調整地使平台在第一及第二操作模式間切換。

在另一例子中，一或多個光學元件可包括第一組的一或多個光學元件，用以在第一操作模式中操作，及第二組的一或多個光學元件，用以在第二操作模式中操作。裝置可包括一多位置光學元件支架，支撐第一及第二組光學元件，並被配置以在被導至檢測器的結合光之路徑中可調整地定位第一及第二組中之一組而非另一組，以在第一及第二模式間切換。多位置光學元件支架可被機動化，且裝置可更包括一電子控制器，被耦合至機動化多位置光學元件支架以選擇地使多位置光學元件支架在第一及第二操作模式間切換。

在另一例子中，裝置可更包括第二組的一或多個光學元件、一分光器，被定位以將結合光的第一部分導至第一組光學元件並將將結合光的第二部分導至第二組光學元件、及一第二電子檢測器。第二組光學元件被配置以將結合光的第二部分導至第二電子檢測器，使得第二檢測器的不同區域對應於由測試光照明的測試面之不同區域，而對應於第二模式。

裝置可更包括電子處理器，耦合至檢測器並且被配置

以在各操作模式中處理由檢測器測量的資訊，以決定關於具有測試面之測試物體的資訊。電子處理器被配置以使用在一操作模式中得出的資訊，以在使用其他操作模式時協助決定有關測試物體的進一步的資訊。

例如，在第一模式中得出的資訊可對應於部分測試物體的折射率，且電子處理器可被配置以根據折射率決定反射之相位變化(PCOR)以在第二模式中操作時協助決定形貌的資訊。在另一例子中，在第二模式中得出的資訊對應於對測試面的表面粗糙度的估計，且電子處理器可被配置以使用表面粗糙度的估計去處理在第一模式中由檢測器測量的資訊，以決定關於測試物體的資訊。

干涉儀可包括多位置底座(例如一轉台)，被配置以支撐多物鏡並將被選擇的物鏡定位於來自共同光源的輸入光之路徑中，多物鏡包括至少一干涉物鏡。多位置底座可被機動化，且裝置可更包括電子控制器，被耦合至多位置底座以選擇性地使底座在物鏡間切換。例如，多物鏡可包括兩個不同的物鏡，只有一個包括偏振光學元件。多物鏡也可包括一或多個非干涉物鏡，其當被定位於輸入光的路徑中時各自使裝置能在一非干涉的顯微鏡模式中操作。

一般而言，在另一特徵中，一干涉方法被揭露，包括：
(i)將測試光在一範圍的照明角中導至測試面；(ii)接著將測試光與參考光結合以形成干涉圖案，其中測試與參考光係從一共同光源得出；及(iii)將至少部分的結合光導至多元件檢測器，使得檢測器的不同元件對應測試光對測

試面的不同的照明角。

方法的實施例可包括下列任一特點。

結合光可經由對測試光將瞳面成像至檢測器而被導至檢測器。

方法可更包括在檢測器的多個元件的各個元件上測量一干涉訊號，做為改變在測試及參考光間的光程差之函數。

測試光、參考光及結合光可被選擇地偏振。

方法可更包括根據在不同的檢測器元件測量的訊號決定關於具有測試面的測試物體之資訊。例如，決定關於測試物體的資訊可包括關於不同的照明角及波長決定測試面的反射率。反射率可為，對於一選擇的偏振態，關於不同的照明角及波長之複數反射率。決定有關測試物體的資訊可更包括將測量的反射率與對根據測試物體之模型的反射率的估計比較。

做為校準步驟的部分，方法可更包括根據在不同的檢測器元件之干涉訊號的頻率決定在測試光對測試面的不同照明角與檢測器的不同元件間的關係。同時，方法可更包括根據在不同的檢測器元件之干涉訊號的頻率決定在檢測器上結合光之光軸的位置。另外，方法可更包括根據在不同的檢測器元件之干涉訊號的頻率以決定光程差變化的速率。

做為進一步校準的部分，測試面可具有已知的反射特性，且方法可更包括被用以根據在不同的檢測器元件測量

的訊號及已知的測試面之反射係數導引測試光並將其與參考光結合的干涉儀之校準反射參數。方法可更包括以具有已知的反射特性之第二測試面重複這些步驟，且更包括根據在不同的檢測器元件測量的訊號及已知的測試面之反射係數的干涉儀之校準反射參數。

方法可更包括對應於對上述裝置所列舉者的特點。

一般而言，在另一特徵中，裝置被揭露，包括：一干涉系統，被配置以在第一模式及第二模式其中之一操作。第一模式係在一範圍的角度與波長測量測試面的反射率，第二模式係在一範圍的測試面位置測量測試面的一或多個特性。

裝置的實施例可包括下列任何特點。

裝置可被配置以選擇地在第一及第二模式間切換。或者，裝置可被配置以同時在兩模式中測量。

干涉儀可包括至少一電子檢測器，且於第一模式在干涉系統中檢測器的不同元件對應於測試光對測試面的不同照明角。第一模式可對應於一橢圓術模式，其對一或多個選擇的偏振在一範圍的角度與波長測量測試面的反射率。或者，第一模式可對應於一反射術模式，其對非偏振光在一範圍的角度與波長測量測試面的反射率。為了在第一模式中操作，干涉儀可將對被導至測試面的測試光之瞳面成像至檢測器。

在第二模式中，於干涉系統中檢測器的不同元件對應於由測試光照明之測試面的不同位置。特別，干涉儀被配

置以將測試面成像至檢測器。第二模式可為一輪廓繪製模式。

裝置可更包括電子處理器，被耦合至干涉系統且被配置以處理在各操作模式中由干涉系統測量的資訊以決定有關具有測試面的測試物體的資訊。再者，電子處理器可被配置以使用在一操作模式中得出的資訊以協助當使用其他操作模式時決定有關測試物體的進一步的資訊。

干涉系統可進一步被配置以選擇地在非干涉顯微鏡模式中操作以測量測試面的非干涉光學影像。

一般而言，在另一特徵中，一方法被揭露，包括：(i) 使用干涉系統以在一範圍的角度與波長測量測試面的反射率之第一操作模式中測量一測試面；及(ii)使用相同的干涉系統以在干涉地繪製測試面的形貌之輪廓的第二操作模式中測量測試面。

方法可更包括使用相同的干涉系統以在產生測試面的一或多個非干涉的顯微鏡影像之第三操作模式中測量測試面。

如在此使用者，”光”不限於可見光區域中的電磁輻射，更一般的是在任何的紫外線、可見光、近紅外線、及遠紅外線中電磁輻射。

除非另外定義，在此使用的所有技術及科學名詞跟一般熟知本發明之技術者瞭解的意義相同。若與任何參考的文獻相抵觸，則以本揭露為準。

本發明之其他特點、目的、及優點由下列說明將更加

清楚。

【實施方式】

傳統被用於薄膜特徵化的技術係依靠下列事實，即一個未知的光學界面的複數反射率係取決於其內在特徵和被用於測量反射率：波長、入射角、和偏振狀態的光的三種特性。實際上，橢圓術儀器記錄在已知範圍改變這些參數導致的反射率波動。然後，經由將測量到的反射率數據與從光學結構的模型得到的反射率函數間的差異最小化，諸如最小平方法之最佳化程序被用以得到未知參數的估計。

在此揭露的實施例提供一干涉系統及方法，用以對於探測光的三種光學特性（亦即，波長、入射角、及偏振狀態）及對測試面的選擇的區域在寬廣的範圍上快速地收集大量的反射率數據點。再者，相同的儀器可從此橢圓術操作模式切換至輪廓繪製模式以提供有關測試面的被側向地解析的資訊。此外，在橢圓術模式中決定的資訊可被用以改善在輪廓繪製模式中獲得的資訊的精確性。例如，橢圓術模式可提供有關具有測試面之測試物體的材料特性之資訊，以創造各種光學界面，例如特別重要的上表面（空氣界面），之更精確的形貌圖。

例示之裝置

圖 1 係干涉系統 100 的圖式。一空間延伸的光源 102 經由中繼光學元件 108 及 110 與分光器 112 將輸入光 104

導至干涉物鏡 106。中繼光學元件 108 及 110 將來自空間延伸的光源 102 的輸入光成像至干涉物鏡 106 的孔徑光欄 115 及對應的瞳面 114(如由虛線的邊緣光束 116 及實線的主要光束 117 所示)。

在圖 1 之實施例中，Mirau 型的干涉物鏡 106 包括一接物透鏡 118、分光器 120、及參考面 122。分光器 120 將輸入光 104 分成測試光 122，其被導至測試物體 126 的測試面 124，及參考光 128，其自測試面 122 反射。接物透鏡 118 將測試及參考光分別聚焦至測試及參考面。支撐參考面 122 的參考光學元件被鍍成僅將聚焦的參考光反射，使得大部分的輸入光在被分光器 120 分光前通過參考光學元件。

在從測試及參考面反射之後，測試及參考光由分光器 120 再結合以形成結合光 132，其由分光器 112 及中繼透鏡 136 傳送以在電子檢測器 134 上(例如多元件 CCD 或 CMOS 檢測器)形成一光學干涉圖案。在整個檢測器上的光學干涉圖案的強度輪廓係由檢測器的不同元件測量並被儲存於電子處理器中(未顯示)用以分析。不像測試面被成像於檢測器的傳統輪廓干涉儀，在本實施例中，中繼透鏡 136(例如，博德拉德(Bertrand)透鏡)將在瞳面 114 上的不同點成像於檢測器 134 上的對應點(再次由虛線的邊緣光束 116 及實線的主要光束 117 繪示)。

因為繪示瞳面 114 的各光源點產生繪示測試面 124 的測試光之平面波前，在瞳面 114 中的光源點的徑向位置定

義關於物體法線的照明光束之入射角。位於光軸的一給定距離處的所有光源點對應於一固定的入射角，由其接物透鏡 118 將測試光 122 聚焦於測試面 124。被定位於中繼光學元件 108 及 110 的視場光欄 138 定義由測試光 122 照明的測試面 124 之區域。在從測試及參考面反射之後，結合光 132 形成在接物透鏡的瞳面 114 處的光源之副像。因為瞳面上的結合光被中繼透鏡 136 再次成像於檢測器 134 上，檢測器 134 的不同元件對應於在測試面 124 上的測試光 122 之不同照明角。

偏振元件 140、142、144 及 146 定義分別被導至測試及參考面的測試及參考光的偏振狀態，及被導至檢測器的結合光之偏振狀態。依照此實施例，各偏振元件可為一偏振器（例如線性偏振器）、一延遲板（例如半波片或四分之一波片）、或影響入射光束的偏振狀態的類似的光學元件。再者，在某些實施例中，可不使用一或多個偏振元件。此外，依照本實施例，分光器 112 可為偏振分光器或非偏振分光器。這些偏振元件的不同實施例詳述如下。一般而言，因為存在偏振元件 140、142 及/或 146，在測試面 124 的測試光 122 之偏振狀態可為瞳面 114 中的光之方位角位置的函數。

在此說明的實施例中，光源 102 在整個寬頻的波長上提供照明（具有超過 50nm，或者最好是超過 100nm 的半高全寬之發射光譜）。例如，光源 102 可為一白光發光二極體（LED）、鹵素燈的鎢絲、諸如氙弧燈之弧光燈、或使

用光學材料之非線性效應以產生非常寬的光源譜(>200nm)的所謂超連續光源。寬頻的波長對應於限制的同調長度。如同傳統的掃瞄干涉儀，一傳動平台 150 調整在測試及參考光間的相對的光學路徑長以在各檢測器元件產生光學干涉訊號。例如，在圖 1 的實施例中，傳動平台 150 係被耦合至干涉物鏡 106 的壓電換能器，以調整測試面與干涉物鏡間的距離，藉以改變在檢測器上之測試及參考光間的相對的光學路徑長。

圖 2 顯示當傳動平台改變測試及參考光間的相對的光學路徑長時由檢測器元件之一測量的例示的干涉訊號。干涉訊號係由對應於光源的同調長度之對比封包調變。參考面被定位於干涉儀，使得測試及參考光間的零光程差對應於測試面的位置，其係關於接物透鏡 118 被對準焦點。如此，最大值的對比一般是在測試面相對於干涉物鏡係位於此對準焦點的位置時被觀察到。經由在大於同調長度的範圍掃瞄傳動平台執行測量，使得對比封包以在檢測器被測量的強度圖案之順序被記錄。

在各檢測器元件被測量的干涉訊號被電子處理器分析，其係電子地耦合至檢測器 134 與傳動平台 150。在此說明的實施例中，電子處理器經由例如傅立葉(Fourier)轉換將干涉訊號轉換成頻域，以對光源的不同波長成分擷取相位及振幅資訊。最好，光源頻譜寬廣，使得多個獨立的頻譜成分可以此程序計算。如同在後面詳加說明，振幅及相位數據直接相關於測試面的複數折射率，其可被分析

以決定有關測試物體的資訊。通常，電子處理器使用來自不同的校準之資訊以修正參考鏡之反射率的測量及干涉儀之其他光學特徵。因為干涉系統 100 的排列，電子檢測器 134 的各檢測器元件，對於特定的入射角及偏振狀態，提供在由光源 102 產生的多數個波長之反射率測量（根據偏振元件 140、142、144、及/或 146 的配向）。如此，收集檢測器元件涵蓋一範圍的入射角、偏振狀態、及波長，其使儀器適當地特徵化未知的光學結構的能力極大化。

一些校準程序可被用以從測量到的干涉訊號得到測試面的複數反射率。例如，校準測量可以由已知的塊材材料（不透明或透明）構成的平面鏡做為測試物體而完成，且一光譜濾鏡可被用以從光源隔離選擇的波長。在檢測器上測量的干涉訊號可被處理以決定對應於各檢測器元件的入射角及被用以數據採集的掃描平台之速度。後者的資訊有助於適當地將干涉訊號光譜成分匹配於其各自的波長。使用已知的光學特性的物體之額外的測量也可被用以一個像素一個像素地得出干涉儀及成像系統的特性。例如，校準可包括對於各波長及在各檢測器的位置計算系統傳輸的步驟。相似地，若需要的話，諸如被導入正交的偏振狀態間的相位偏移的偏振效應也可對於各檢測器元件及對於各波長而被測量。對於校準之特定實施例在下面更詳細地說明。

將干涉系統 100 從用以決定測試面的複數反射率的橢圓術模式切換至用以決定例如測試面的形貌之輪廓繪製

模式，足以改變成像系統的特性，使得此部分的影像聚焦於檢測器上以取代光源的影像。如圖 3 所示，這可經由例如以另一透鏡 236 替換中繼透鏡 136 並使檢測器的位置保持固定而完成。在此情況中，來自光源 102 的輸入光繼續被成像於瞳面 114，不過，在測試面 124 上的點係被成像於在檢測器 134 上的對應的點（如由來自光源 102 的邊緣光束 116 及主光束 117 所指示者）。

測試模型

為了說明由干涉系統 100 獲得的干涉訊號之分析，考慮一實施例，其中偏振元件 140 及 144 被線性偏振，沒有偏振元件 142 及 146，且分光器 112 為一非偏振分光器。線性偏振器 140 的效用係在瞳面 114 中的每個點上產生相同的線性偏振狀態。結果，入射至測試面 124 的光之偏振是線性的，但其關於入射面的配向係在瞳面之光源點的方位角位置的函數。例如，屬於與瞳面中的線性偏振方向平行的孔徑的光源點會產生照明光，其在測試面的入射面中係被線性偏振（這被稱為 P 偏振狀態）。相似地，屬於與瞳面中的線性偏振方向垂直的直徑之光源點會產生照明光，其垂直於入射面被線性偏振（這被稱為 S 偏振狀態）。不屬於此二直徑的光源點會在測試面上產生照明光，其具有混合的 S 及 P 偏振狀態。這是因為對測試面的反射率係數對 S 及 P 偏振光不同而相關的。

兩個線性偏振器可具有一些相對的配向，其支配由檢測器檢測的干涉訊號的內容。例如，若偏振器平行，則測

量到的干涉訊號將完全取決於對瞳面的一直徑被入射至測試面的 S 偏振測試光，及完全取決於對瞳面的正交直徑被入射至測試面的 P 偏振測試光（且對於入射至參考面的參考光亦相似）。因為在 S 及 P 反射率的大小及相位間的差異係橢圓術的基礎，這是引人注意的。因此，若有需要，數據的簡化處理可被限制於這兩個直徑。另一方面，使用在整個瞳面上的數據需要考慮兩個偏振狀態的混合，而提供更多的數據點，因而增加測量的解析度。

下列的分析適用於兩個線性偏振器彼此平行地對準的排列。在此情況中，通過第二線性偏振器（偏振元件 144）被傳送至檢測器 134 的測試光的量可被表示為：

$$E_{out} = \frac{1}{2} (\cos(\theta)^2 rp \cdot tp - \sin(\theta)^2 rs \cdot ts) E_{in} \quad (1)$$

其中， θ 係關於偏振器的方向測量到的方位角， rp 及 rs 係對 P 及 S 偏振狀態之物體表面的複數反射係數（已知為“夫冉斯納爾(Fresnel)反射係數”）， tp 及 ts 係對於通過干涉物鏡 106 及主分光器 112 的來回路徑之 P 及 S 偏振狀態的穿透係數，且 E_{out} 係電場的複數振幅。此模型假定光學元件沒有雙折射且物體表面的反射率也沒有混合 S 及 P 偏振狀態的機制。例如，其軸係沿著局部表面法線的單軸材料可以此脈絡被特徵化，不過，具有面內雙折射的材料要求不同的模型。

實際上，相同的模型取得沿著干涉儀的參考臂傳播之參考光，不過，反射及穿透係數係自明的不同：

$$E'_{out} = \frac{1}{2} (\cos(\theta)^2 rp' \cdot tp' - \sin(\theta)^2 rs' \cdot ts') E_{in} \quad (2)$$

對於在瞳面上之一給定的光源波長 λ 及給定的光源點於檢測器上被測量的干涉圖案包含比例於 $E_{out}E_{out}^*$ 的調變項目：

$$Intensity(k, \alpha, z) = |E_{out}|^2 + |E_{out}^*|^2 + 2|E_{out}||E_{out}^*|\cos(2k\cos(\alpha)z + \phi(k, \alpha)) \quad (3)$$

其中， $k=2\pi/\lambda$ ， λ 係光的波長， z 係相對於在測試及參考光間的零光程差之機械掃瞄期間之測試面的垂直位置， α 係在測試面之光之入射角（其取決於在光瞳的光源點位置），且 ϕ 係測試及參考電場間的相位差。實際上，在給定的檢測器位置被測量的訊號係由出現在光源頻譜的各種波長產生的所有此種訊號的和。結果，訊號的傅立葉(Fourier)轉換使這些貢獻可被分開成對應於非常窄的波長範圍之複數光譜成分。注意為了將計算的光譜成分指定於特定的光源波長，應考慮修正因子 $\cos(\alpha)$ ，其移動這些光譜成分的位置。此修正因子需要知道在檢測器之各像素的光之入射角。光學系統的校準可被用於此工作且在下面進一步討論。

圖 4(上圖)顯示當測量在矽上的一 1003nm 厚的二氧化矽膜時由檢測器 134 的一給定的檢測器元件測量的典型的干涉訊號(對應於瞳面之一給定的位置)。圖 4(下圖)顯示將干涉訊號傅立葉(Fourier)轉換以產生做為波長(或對應的波數 k)的函數之光譜的大小及相位之結果。在光譜的大小及相位中的變化係夫冉斯納爾(Fresnel)反射係數的變化之結果，其做為波長(或波數)的函數。

在特定實施例中，頻率轉換處理被適用於檢測器上之

瞳面的影像中之感興趣區域。例如，感興趣區域可為一環狀物，其定義在測試面之一給定範圍的入射角。在此環狀物中的像素（亦即檢測器元件之一）的方位角位置定義混合的 S 及 P 偏振，其照明測試面，而像素至光軸的徑向距離定義入射角。再者，其可有助於在感興趣區域中的多個圓圈上擷取（可能使用內插）如上述的光譜成分。在一個此種圓圈上計算的這些成分可被寫成：

$$Z_{\alpha\lambda\theta} = L_{\lambda} I_{\alpha\lambda\theta} \exp(i\varphi_{\alpha\lambda h}) (\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda} - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}) \quad (4)$$

$$\text{其中，} \rho_{\alpha\lambda} = \frac{rp_{\alpha\lambda}}{rs_{\alpha\lambda}} \text{ 且 } \tau_{\alpha\lambda} = \frac{ts_{\alpha\lambda}}{tp_{\alpha\lambda}}$$

其中，下標表示函數依賴， α 係對應於在瞳面之圓圈的半徑的入射角， λ 係光的波長， θ 係關於線性偏振器測量的方位角， h 係物體表面的高度偏移， L 係有關光源強度或訊號強度的實數換算因子，而 I 係表示在整個光源上的光強度之變化以及發生於光學元件中的相位及振幅變化的複數函數。

電子處理器可使用上述公式以做為測量程序的重要模型。例如，處理器可傅立葉(Fourier)轉換由檢測器記錄的干涉訊號以產生不同波長及入射角的分量 Z 且經由反向擷取有關測試面的複數比率 rp/rs 被特徵化（例如，根據方程式 4）。此比率被稱為橢圓比率且可被表示為：

$$\rho_{\alpha\lambda} = \frac{rp_{\alpha\lambda}}{rs_{\alpha\lambda}} = \tan(\Psi_{\alpha\lambda}) \exp(i\Delta_{\alpha\lambda}) \quad (5)$$

其中， Ψ 及 Δ 係兩個眾所周知的橢圓參數。標準橢圓演算法可被用以計算測試物體的一些光學特性，例如，透明薄膜

的厚度及折射率。

例如，對於沒有薄膜的均質測試面的情況，電子處理器可根據下式容易地計算材料的複數折射率：

$$n(\lambda) = n_0 \tan(\alpha) \sqrt{1 - \frac{4\rho_{a\lambda}}{(1 + \rho_{a\lambda})} \sin(\alpha)^2} \quad (6)$$

其中， n_0 係周遭介質，通常係空氣，的折射率。在此情況中於整個光源頻譜上提供複數的折射率。在多個入射角上計算的數據可被平均以改善測量解析度。

在另一例子中，對於具有未知厚度 t 及周遭、薄膜及基板材料的已知折射率 n_0 、 n_1 、 n_2 的透明單層的情況，電子處理器可根據下列方程式決定未知的厚度 t ：

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \alpha, & \alpha_1 &= \frac{n_0(\lambda)}{n_1(\lambda)} \sin(\alpha_0), & \alpha_2 &= \frac{n_1(\lambda)}{n_2(\lambda)} \sin(\alpha_1) \\ r_{01p} &= \frac{\tan(\alpha_0 - \alpha_1)}{\tan(\alpha_0 + \alpha_1)}, & r_{12p} &= \frac{\tan(\alpha_1 - \alpha_2)}{\tan(\alpha_1 + \alpha_2)} \\ r_{01s} &= \frac{\sin(\alpha_0 - \alpha_1)}{\sin(\alpha_0 + \alpha_1)}, & r_{12s} &= \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \\ A &= r_{01p}, & B &= r_{12p} + r_{01p}r_{01s}r_{12s}, & C &= r_{12p}r_{01s}r_{12s} \\ D &= r_{01s}, & E &= r_{12s} + r_{01p}r_{01s}r_{12p}, & F &= r_{01p}r_{12p}r_{12s} \\ X &= \frac{-(B - \rho_{a\lambda}E) \pm \sqrt{(B - \rho_{a\lambda}E)^2 - 4(C - \rho_{a\lambda}F)(A - \rho_{a\lambda}D)}}{2(C - \rho_{a\lambda}F)} \\ t &= \frac{i\lambda}{4\pi n_1(\lambda) \cos(\alpha_1)} \log(X) \end{aligned} \quad (7)$$

其中， $\log$ 係複數自然對數函數， $i = \sqrt{-1}$ 且在 X 的計算中之符號係根據 t 的結果值而被選擇，其須為正實數。因為測量係對 α 及 λ 的多個值被執行，由干涉系統 100 獲得的數據的處理提供 t 的多個估計。此多個估計可被用以解與在方程式 7 的 X 項有關的薄膜厚度中的可能模糊點及改善測量解析度。在其他實施例中，電子處理器可根據類似的一組

方程式而從測量數據得到測試物體的一或多個折射率。

對於更普遍的情況，電子處理器可使用例如“散射矩陣”方法來計算測試面的反射係數，做為其未知參數(折射率、薄膜厚度、層粗糙度、折射率梯度等)的函數。反射係數函數被應用以對未知參數的推測值計算橢圓參數 Ψ^{model} 及 Δ^{model} 。然後，為了使測量的橢圓係數及對應的模型係數間的平方差總和最小化，一迭代演算法被用以改變這些參數：

$$\chi^2 = \sum (\Psi_{\alpha\lambda} - \Psi_{\alpha\lambda}^{\text{model}})^2 + \sum (\Delta_{\alpha\lambda} - \Delta_{\alpha\lambda}^{\text{model}})^2 \quad (8)$$

選擇的優化函數可被定義為對於不同的波長及入射角包括例如加權因子。此種方法被說明於例如 R.M.A. Azzam 及 N.M. Bashara 的“Ellipsometry and Polarized Light”，Elsevier Science B. V., ISBN 0 444 87016 4(平裝本)，1987。

系統校準

在特定實施例中，系統校準的第一步驟包括根據在瞳面中的光源點的位置，計算在測試面的光束的入射角。換言之，我們希望指定入射角 α 至對應於瞳面的影像之檢測器中的各像素。舉例而言，這可經由以一窄頻濾波器執行測量，使得由檢測器檢測的光實質上係單色且具有一已知的波長。在此情況中，方程式(3)顯示干涉訊號的頻率以 $k\cos\alpha$ 的關係比例於光源波長及入射角。訊號頻率可由訊號的傅立葉(Fourier)轉換加以計算，且入射角可由對傳動平台的掃瞄率及光源波長的瞭解而得出。

此外，甚至傳動平台的掃描率開始時未知，其可由將像素設置於檢測器上而被決定，其干涉訊號具有最大的頻率。根據對 $k\cos\alpha$ 關係的頻率依存性，此像素對應於法線入射（即 $\alpha=0$ ），因此平台速度可直接從測量頻率及對光源波長的瞭解而取得。

注意在顯微物鏡將物體空間的角度映射至瞳位置的途中之事前資訊也可被以改善校準品質。例如，典型的物鏡被修正慧差（幾何像差），其意味映射至瞳的射線表面上應遵循所謂的“阿貝正弦條件”。此條件表示光源點距瞳之光軸的徑向距離係比例於物體空間的入射角之正弦。如此，可計算每個像素的入射角，然後使從正弦條件得出的通用函數適合於提供將瞳位置映射至入射角的分析函數。

在特定實施例中，上面概述的程序可對不同的光源波長被重複，使得角映射的色變化被考慮。適配程序的副產品是瞳之光軸的像素位置。該資訊也被記錄為波長的函數且稍後可被用以對入射角計算施以修正。

對於特定的實施例，校準的第二平台需要計算各種系統參數的值，其將在方程式(4)中表示之顯著的 Z 關聯至橢圓比率。

舉例而言，此可由測量具有已知光學特性的兩個樣本，例如典型上與橢圓儀一起使用的校準晶圓，而被完成。對於感興趣的各入射角及波長，電子處理器對於兩個樣本決定光譜成分 Z ，其做為如方程式(4)中的方位角 θ 的函數。然後，這些成分的比率被計算，產生複數比率 Z ，

其為 θ 的函數。

$$z_{\alpha\lambda\theta} = \frac{Z_{\alpha\lambda\theta}^a}{Z_{\alpha\lambda\theta}^b} = \frac{L_{\lambda}^a}{L_{\lambda}^b} \exp(i\varphi_{\alpha\lambda ha} - i\varphi_{\alpha\lambda hb}) \frac{\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^a - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}}{\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^b - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}} \quad (9)$$

或

$$z_{\alpha\lambda\theta} = zS_{\alpha\lambda} \frac{\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^a - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}}{\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^b - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}}$$

其中， $zS_{\alpha\lambda}$ 及 $\tau_{\alpha\lambda}$ 係未知的複數， a 或 b 下標辨別一個或其他的校準樣本。 $\rho_{\alpha\lambda}^a$ 及 $\rho_{\alpha\lambda}^b$ 係使用兩個材料的反射係數的比率而被計算。這些係數本身係使用校準樣本的已知材料特性及已知薄膜厚度(若存在)而被計算。然後，電子處理器可使用一解答器，例如根據拉凡格氏(Levenberg-Marquardt)演算法之最小平方解答器，去找出二未知參數的值，其使在方程式(9)的兩側計算的量間的差異最小化。程序對於其他入射角及波長被重複。

在另外的步驟中，若需要，映射 $zS_{\alpha\lambda}$ 及 $\tau_{\alpha\lambda}$ 被過濾及/或適配至分析函數。然後，可將對各樣本得到的光譜成分再處理，並導出另一校準參數，函數 J ：

$$J_{\alpha\lambda\theta} = \frac{Z_{\alpha\lambda\theta}^a}{\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^a - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}} = L_{\lambda}^a I_{\alpha\lambda\theta} \exp(i\varphi_{\alpha\lambda ha}) \quad (10)$$

或

$$J_{\alpha\lambda\theta} = \frac{Z_{\alpha\lambda\theta}^b}{\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^b - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}} zS_{\alpha\lambda} = L_{\lambda}^a I_{\alpha\lambda\theta} \exp(i\varphi_{\alpha\lambda ha})$$

實際上，方程式(10)中顯示的 J 的二表示式可被平均。然後，做為入射角、波長及方位角的函數之 J 的計算值與函數 $\tau_{\alpha\lambda}$ 的定義以起被電子處理器儲存於一校準檔案中。

注意為了得益於計算中的冗餘，上面概述的程序可被

擴大至多於兩個樣本。

在特定實施例中，計算的另一步驟需要相關於如檢測器所見之瞳的座標系統建立偏振器之精確的角配向。這可經由例如觀察方程式(9)以 θ 而言係週期性的且具有週期 π 。使得比率 z 的傅立葉(Fourier)轉換的偶數成分的相位係對偏振器的角偏移的直接測量。因此，此計算可在決定 $ZS_{\alpha\lambda}$ 及 $\tau_{\alpha\lambda}$ 之前被執行。

未知的測試物體之特徵化

在特定實施例中，使用儲存的校準資訊，電子處理器可特徵化一未知的測試物體如下。對於一未知的物體表面記錄的干涉數據被處理為用於校準且根據方程式(4)產生數據環，其中下標 c 表示未知的測試物體：

$$Z_{\alpha\lambda\theta}^c = L_{\alpha\lambda}^c I_{\alpha\lambda\theta} \exp(i\varphi_{\alpha\lambda hc}) (\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^c - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}) \quad (11)$$

各環係使用校準資訊被處理。首先，函數 J 係針對特定的入射角及波長而被擷取，且一新的複數比率被計算：

$$z_{\alpha\lambda\theta} = \frac{Z_{\alpha\lambda\theta}^c}{J_{\alpha\lambda\theta}} = \frac{L_{\alpha\lambda}^c}{L_{\alpha\lambda}^a} \exp(i\varphi_{\alpha\lambda hc} - i\varphi_{\alpha\lambda ha}) (\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^c - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda}) \quad (12)$$

或

$$z_{\alpha\lambda\theta} = \frac{Z_{\alpha\lambda\theta}^c}{J_{\alpha\lambda\theta}} = \eta_{\alpha\lambda} (\cos(\theta)^2 \rho_{\alpha\lambda}^c - \sin(\theta)^2 \tau_{\alpha\lambda})$$

其中， $\eta_{\alpha\lambda}$ 及 $\rho_{\alpha\lambda}^c$ 係獨立於方位角 θ 的未知的複數參數。數值解答器再次被適用以找出這些參數的值，其提供在測量的比率 z 及在方程式(12)的右手邊的模型間的最佳匹配。計算的一重要的結果係參數 $\rho_{\alpha\lambda}^c$ ，其係未知的物體表面的橢圓比率。

如同參考例如方程式 6-8 的上述說明，電子處理器可

根據測試物體的模型處理橢圓比率，以獲得關於測試物體的資訊，諸如一或多層的折射率及/或厚度。

圖 5 中的圖式顯示使用對在矽基板上的 675nm 厚的單層 SiO_2 之上述分析得到的實驗數據。圖式顯示對 $\alpha=43^\circ$ 及 $\lambda=576 \text{ nm}$ 被實驗地測量的 $Z_{\alpha\lambda\theta}^c$ (上圖) 及 $z_{\alpha\lambda\theta}$ (下圖) 的實數及虛數部分。如示，得到的比率 $z_{\alpha\lambda\theta}$ 顯示由方程式 (12) 中的模型預期的 π 週期性。

注意為了產生在方程式 (11) 中定義的數據環，在檢測器之光軸的位置需為已知。從校準起此位置可能已改變。例如，因為儀器已從表面特徵化模式切換至形貌模式，無法假定在檢測器之瞳的中心的投影維持固定不變。因此，在特定實施例中，程序的初步可要求計算在各檢測器元件的頻率光譜，得到各像素的名義平均頻率 (例如，平均頻率可被計算為測量的光譜之重心)，並分析平均頻率的圖以找出瞳中心的位置。如在上面的校準部分提及，一給定的光源頻譜的平均頻率被期待以物體空間的入射角的餘弦去衡量。因此，平均頻率為極大值的瞳位置對應於光軸。在某些實施例中，此位置可經由將諸如拋物線的偶數函數適配至平均頻率的圖並將拋物線的頂點定義為光軸的位置。選擇地，初步的測量如同在系統校準中可以被插入系統中的窄頻濾波器實行。

為了簡化及易於解釋，在上述部分中概述的程序係根據關於測試面及光學系統的本質之特定假設。不過，多個先進的模型可被用於多個複雜的情況以從系統 100 測量的

干涉訊號取得關於測試物體的資訊。例如，當測試結構展示雙折射時不同的模式可被使用，同時根據非雙折射校準樣本的校準程序維持相同。

偏振元件的額外配置

上述分析部分係根據一實施例，其中偏振元件 140 及 144 係彼此平行配向的線性偏振器，偏振元件 142 及 146 不存在，且分光器 112 係非偏振化。在另一實施例中，因為其係位於被導至干涉物鏡的輸入光及被導至檢測器的結合光二者的路徑中，一確保線性偏振器的平行之分析地等效的架構需要移除偏振元件 140 及 144，並具有為線性偏振器的偏振元件 142。在另一實施例中，偏振元件 140 及 144 可為彼此正交地配向的線性偏振器，在該情況中從物體回來的光量係方位角位置乘上 S 及 P 反射率之與方位角無關的加權和之周期函數。此資訊也可被處理以決定關於測試物體的資訊。

在另一實施例中，偏振元件 140、144 及 146 不存在，而分光器 112 係偏振型，且偏振元件 142 係四分之一波片。四分之一波片的適當對準且其快軸及慢軸距分光器 112 定義的偏振軸 45° 導致在瞳的每個點的圓形偏振狀態。在檢測的干涉訊號中 S 及 P 偏振的貢獻係與光源點的方位角位置無關的第一階。如此，可能結合在駐在於距光軸固定距離的檢測元件群收集的資訊，以改善整體測量的訊號對噪音比。注意取決於四分之一波片的特性，需要更先進的處理來解釋例如延遲性隨著波長的變化，其引進對

於在瞳上的光源點之偏振狀態的小的方位角依存性。這可使用例如在此技藝中已知的瓊斯(Jones)矩陣及向量而被數學地塑造。

在另一實施例中，偏振元件 140 不存在，分光器 112 係偏振型，偏振元件 142 係一四分之一波片，偏振元件 144 不存在，且偏振元件 146 係依附於干涉物鏡 106 的線性偏振器。因為線性偏振器，此實施例係分析地等效於具有平行的線性偏振器的第一實施例。不過，當不同的顯微鏡物鏡(未附加偏振器)被安裝於系統例如用於輪廓繪製模式的操作中時，增加偏振分光器及四分之一波片改善系統的光效率。如同下面更詳細地說明，在不同的顯微鏡物鏡間來回切換可由一物鏡轉台完成，其可在一生產線儀器的電子處理器的控制下被機動化。

反射術模式

在另一實施例中，偏振元件 140、142、144 及 146 均不存在，且分光器係非偏振型。對於諸如鹵素燈的鎢絲或白光 LED 的發光材料之典型的寬頻光源，照明輸入光未被偏振化，其表示對於在瞳上的每個光源點，偏振狀態可被描述為均等混合的 S 及 P 偏振成分。在此情況中，測量信號預計再次是獨立於從方位角光源位置到第一階。在此情況裡，如同在一反射儀中，系統能對不同的入射角測量由物體反射的光的數量。但是，相對於傳統的反射儀，其一次捕獲光一個波長，干涉系統 100 在單次測量的過程中能捕獲全部的光源波長。這些光譜成分係使用在如上所述的頻域中的

訊號分析而被分開。當這種反射術操作模式不提供如上述橢圓術模式一樣多關於測試面反射率的資訊時。例如，反射術數據可與測試物體的模型比較，以決定在不同的樣本中之一個給定的位置上的材料成分、折射率、厚度、及/或缺陷的存在或不存在。

對於薄膜樣本之選擇的訊號分析

當試驗物體包括一或多個薄膜時，多重界面產生多重反射，其貢獻在各檢測器元件上測量的干涉訊號。對於寬頻光源的情況來說，在瞳面中之各種位置上測量的干涉訊號具有一有限的同調長度，如同由在圖 2 和圖 4(上圖)中之訊號封包所示。當薄膜足夠厚，其來回的光學厚度比同調長度大時，測量訊號由多個可分開的訊號組成，每個訊號對應於兩種材料之間的一個界面。

此種訊號的一個例子被顯示於在矽(Si)上之一 5 微米厚的二氧化矽(SiO_2)薄膜的圖 6 中。這樣的話，對應於空氣/ SiO_2 界面之右邊的訊號越弱，則對應於 SiO_2 /Si 界面的中心內的信號越大。在左邊的弱信號係由於在 SiO_2 層中之光的雙通反射。這樣的話，獨立地處理對應於一給定界面的訊號之各個部分以簡化樣本模型(例如，限制未知參數的數目)是可能的，並因此簡化或者改進分析的穩定性。

例如，在特定實施例中，電子處理器可以處理對應於空氣/上層界面的信號的部分，使得分析成為等效於測量最上層材料的一無限厚的厚板。這樣的話，材料的折射率可使用方程式(6)被容易地計算並且在模型中無需包含諸

如那些在圖案化的半導體晶圓上發現者的基本層及可能複雜之結構的效用。

而且，在特定實施例中，在電子處理器分析對應於上界面的信號的部分之後，該處理經由包括對應於下界面的訊號部分可對整個訊號（或訊號的其他部分）被重複。不過，處理橢圓數據需要的模型在此情況中更複雜，因為最初的處理產生上層的折射率，該處理比其本會缺乏最初處理的情況更簡單。例如，當處理最右邊的訊號時，首先可使用方程式(6)計算厚的單層的折射率。假定基板材料已知，整個干涉訊號的處理使用方程式(7)產生提供薄膜厚度的新的橢圓參數。好處是能夠區別折射率的計算和物理厚度。

對於一個由足夠厚的層做成的多層堆疊的情況來說，可應用從產生第一層的折射率之第一訊號開始的一個引導程式。然後，第一和第二訊號的處理同時產生第一層的厚度和第二層的折射率。然後，第一、第二和第三訊號的處理產生第二層的厚度和第三層的折射率等。再次其好處是不需要使用一次包括所有界面的橢圓模型且所有材料和厚度未知，這在傳統的橢圓儀中很普通。

即使對於使與各界面相關的干涉訊號部分重疊的小的薄膜厚度，仍可能去隔離對應於一給定的界面之干涉訊號的部分並且分別處理該部分。例如，參見美國專利申請序號 10/941,649，名為 "METHODS AND SYSTEMS FOR INTERFEROMETRIC ANALYSIS OF SURFACES AND RELATED

APPLICATIONS" 且 被 刊 登 為 美 國 專 利 公 開 號 碼 US-2005-0078318-A1，其內容被包含於此，其以一種輪廓繪製模式的背景說明此種技術。

輪廓繪製模式分析

如上所述，干涉系統 100 能從用以決定關於測試面的反射率資訊之橢圓術模式切換至用以決定例如測試面的形貌之輪廓繪製模式。如圖 3 所示，舉例而言，這可經由以將測試面成像至檢測器（而非將瞳面成像到檢測器）的的另一透鏡 236 取代中繼透鏡 136 而完成。這個架構對應於用以繪製表面輪廓的一傳統的掃描干涉儀。接下來，說明用於表面輪廓操作的數學形式論。

對於塊材材料的測試對象（亦即沒有薄膜結構），在與試驗臂中的一參考數據面有關的角波數 $k=2\pi/\lambda$ 中之第一階的干涉相位可被表示為：

$$\phi(k) = 2nk(h - \xi) + (\gamma_{part} + \gamma_{sys}) + (\gamma_{part} + \gamma_{sys})(k - k_0) \quad (13)$$

其中， k_0 是名義上的波數， ξ 係傳動平台的掃描座標， γ_{part} 係部分表面的反射相位變化 (PCOR)， γ_{sys} 係可歸因於干涉儀系統的系統相位偏移。 γ_{sys} 的值包括來自干涉儀光學元件的 PCOR 貢獻及例如由掃描的起始位置 ξ 導致的任何固定偏移。線性色散係數 τ_{part} 及 τ_{sys} 分別對應於相位偏移 γ_{part} 及 γ_{sys} 。相位偏移 γ_{part} 、 γ_{sys} 係在名義上的波數 k_0 被評估。空氣的折射率 n 被假設與波數無關。熟知此技藝者可察知本發明可經由考慮與材料折射率有關的波數被延伸至密度比空氣高的透明介質。方程式 (13) 中的所有項目可能係

場位置 x 、 y 的函數，雖然對於後續的說明，變數 n 、 ξ 、 k_0 在視野上係常數。

因為光源的寬頻輻射，干涉條紋僅當在參考及測量臂間的光程差 (OPD) 係在寬頻輻射的同調長度之中時產生。如此，掃描干涉測量可被視為係一種 "同調輪廓繪製" 模式，因為其使用干涉效應的寬頻特性，例如，條紋對比的局部化，或者等效地係具有波數的干涉相位的變化率的測量。結果，由各檢測器元件測量的干涉訊號 I 可被表示為：

$$I = 1 + V \left[h + (\tau_{sys} + \tau_{part}) / 2n - \xi \right] \cos [2nk_0(h - \xi) + \gamma_{part} + \gamma_{sys}] \quad (14)$$

其中， V 係條紋對比封包。封包 V 係比例於光源的光之光譜分佈的傅立葉 (Fourier) 轉換。

對於一對稱的對比封包，條紋對比封包的峰值係由 $d\phi/dk = 0$ 的掃描位置給定。這是固定相位位置，其中干涉相位均與波數無關，且所有的干涉圖案相加成。更普遍地，其顯示固定相位條件 $d\phi/dk = 0$ 對應於條紋對比封包 V 的重心。在固定相位位置及最接近的零相位點 $\phi=0$ 位置間的相位間隙被給定為：

$$G = (\gamma_{part} + \gamma_{sys}) - k_0(\tau_{sys} + \tau_{part}) \quad (15)$$

這是與波數 k 無關的固定相位偏移，但係取決於系統及部分參數。相位 ϕ_0 係在名義波數 k_0 的相位 (關於 $\xi=0$ 之掃描位置)，例如由方程式 (13)，得到

$$\phi_0 = 2nk_0h + (\gamma_{part} + \gamma_{sys}) \quad (16)$$

由方程式 14，可看到最大值或峰值的條紋對比發生在掃描位置 $\xi = h + (\tau_{sys} + \tau_{part}) / 2n$ 。如此，在一數據處理實

施例中，當於輪廓繪製模式中操作時，電子處理器，例如經由電子或數位轉換，對每個檢測器像素決定條紋對比封包 V 為 ξ 的函數。然後，決定掃描位置 $\xi_{\max}$ 其封包 V 達到一特定值，例如，其最大值或峰值。在測試物體上的各位置之對應的高度 h 係此掃描位置減去色散偏移：

$$h = \xi_{\max} - (\tau_{\text{sys}} - \tau_{\text{part}}) / 2n \quad (17)$$

在另一訊號處理方法中，同調輪廓繪製強度信號係關於掃描位置 ξ 被傅立葉 (Fourier) 轉換至頻域 (即，關於頻率波數 k)。轉換數據的相位直接對應於方程式 13 中的相位 $\phi(k)$ 。由此相位，信號處理器計算相位差 $d\phi/dk$ ，並且根據下式決定各檢測器像素的高度 h ：

$$h = \frac{1}{2n} \frac{d\phi}{dk} - (\tau_{\text{sys}} - \tau_{\text{part}}) / 2n \quad (18)$$

其中，微分 $d\phi/dk$ 係對 $\xi=0$ 加以計算。方程式 18 直接遵循方程式 13。

從方程式 17 和 18 可知，根據同調輪廓繪製數據的表面高度測量可經由說明，例如透過校準，干涉系統和試驗部分 (例如，part 和 sys) 的 PCOR 色散被更準確地計算。在一定程度上 PCOR 因子在整個視野中係固定，未說明其僅將全部的偏移引入至表面輪廓中，且導致的形貌是準確的。但是，當因為例如在表面材料方面的變化之 PCOR 因子改變時，其應該被說明以提供更準確的形貌輪廓。

除了同調輪廓繪製外，表面高度測量也能根據干涉相位輪廓繪製數據，其中干涉相位 $\phi(k)$ 直接對一或多個波數 k 被測量。例如，相移干涉 (PSI) 技術可被用於此種測量。

從方程式 13，很清楚若直接干涉相位測量被用以決定高度 h ，說明 PCOR γ_{part} 及 γ_{sys} (且名義上的波數 k_0 外的波數之 PCOR 色散 τ_{part} 及 τ_{sys}) 改善高度測量的準確度。

通常，對於同調輪廓繪製測量的特別的噪音源的敏感性係不同於相位輪廓繪製測量者，因此一種特別的技術對於特別的應用可能更好，或者其可被用以彼此配合。不過，許多相位輪廓繪製測量的一缺點係測量相位 $\phi(k)$ 包括 2π 條紋模糊。對較光滑的表面來說，在表面上之相對的條紋模糊可從使用標準條紋重建程序的多個檢測器像素的數據插入。不過，更一般地，最好具有一獨立測量，例如同調輪廓繪製數據，以除去此種條紋模糊。因此，為了得到絕對的表面輪廓測量，同調輪廓繪製高度測量可被單獨使用，或者其可被用以從相位輪廓繪製測量除去絕對的條紋模糊，其有時候可能比同調測量更準確。

在一此種實施例中，由一同調輪廓繪製測量決定的高度 h 被用以根據下式計算基於相位 $\phi_0 = \phi(k_0)$ 的相位輪廓繪製數據的一絕對相位輪廓繪製高度測量 h' ：

$$h' = \frac{1}{2nk_0} \left\{ (\phi_0 - \gamma_{part} - \gamma_{sys}) - 2\pi \text{Int} \left[\frac{(\phi_0 - \gamma_{part} - \gamma_{sys}) - (2k_0nh)}{2\pi} \right] \right\} \quad (19)$$

其中， $\text{Int}[]$ 將最接近的整數回歸至其參數。Eq. 19 可被獨立地應用於在部分表面上的每個點 x 、 y 。再次，從 Eq. 19 很明顯地，說明 PCOR γ_{part} 及 γ_{sys} 改善絕對相位輪廓繪製測量的準確性。而且，Eq. 19 通過 h 的同調輪廓繪製的決定暗中取決於 PCOR 色散值 τ_{part} 及 τ_{sys} 。

對於更複雜的樣品來說，諸如具有薄膜者，因為來自

下表面的反射也貢獻干涉訊號，輪廓繪製形式論會更加錯綜複雜。這裡輸入光的有限同調長度相對於薄膜厚度係足夠小，以將干涉訊號分成對應於每個界面的部分，電子處理器能隔離對應於感興趣的界面的干涉訊號的部分，並且使用上述一般的形式論處理它以取得該界面之形貌。而且，即使對於使與每個界面相關的干涉訊號部分重疊的小的薄膜厚度，其仍可隔離對應於一給定界面的干涉訊號的部分，並且分別處理該部分。例如，參見美國專利申請序號 10/941,649，取名為 " METHODS AND SYSTEMS FOR INTERFEROMETRIC ANALYSIS OF SURFACES AND RELATED APPLICATIONS "，且出版為美國專利出版物號碼 US-2005-0078318 A1，一併供做參考如上。在進一步的實施例中，電子處理器可使用以模型為基礎的技術，其被揭露於美國專利申請案序號 10/795,579，取名為 " PROFILING COMPLEX SURFACE STRUCTURES USING SCANNING INTERFEROMETRY "，且出版為美國專利出版物號碼 US-2004-0189999-A1，其內容在此一併供做參考，以決定複雜的表層架構的輪廓資訊。

輪廓繪製的額外實施例

不切換掉中繼透鏡136，在更進一步的實施例中，舉例而言，中繼透鏡可被單獨留下，而檢測器134可被傳送至一個測試面係對準焦點的位置。此被用示意圖顯示在圖7，其顯示檢測器134在電子處理器770的控制下被耦合至機動化的傳動平台760以調整相對於其餘干涉系統700接收結合光

132的檢測器位置。傳動平台使系統可在一對應於橢圓模式的第一位置及一對應於輪廓繪製模式的第二位置間切換，在橢圓模式中瞳面被成像於檢測器，在輪廓繪製模式中測試面被成像於檢測器。

在更進一步的實施例中，用示意圖顯示於圖8，一分光器810可將從其他的干涉系統800接收的結合光132分開到具有兩個對應的多元件檢測器880和890之二通道中，其中，一通道使用中繼光學元件875以將瞳面114成像至第一檢測器880以提供橢圓模式測量，而另一通道使用中繼光學元件885以將測試面成像於第二檢測器890以同時提供輪廓繪製模式測量。兩個檢測器被耦接到電子處理器870，其如上述分析檢測器影像。

這些方法的各種結合也可能。例如，系統可包括將瞳面成像至在一共同的電子檢測器的第一部分並將測試面成像至共同的電子檢測器的第二部分之光學元件。這樣的話，共同的電子檢測器的不同部分可被認為是單獨的檢測器。

多模式操作及應用

圖9顯示在電子處理器970的控制下在干涉系統100中的各種組件如何可被自動化的一示意圖，在目前說明的實施例中，其可包括用以進行數學分析的分析處理器972，用以控制在干涉系統中的各種組件的裝置控制器974，一使用者介面976(例如，鍵盤和顯示器)，以及用以儲存校準資訊、數據檔案、一樣本模型、和/或自動化的協議之一儲存

媒體 978。

首先，系統可包括一機動化的轉台 910，支撐多物鏡 912 並且被配置以將一選擇的物鏡引入輸入光 104 的路徑。一或多個物鏡可為干涉物鏡，不同的干涉物鏡提供不同的放大率。而且，在某些實施例中，一(或多個)干涉物鏡可為了橢圓模式的操作經由使偏振元件 146 (例如，線性偏振器) 依附於它而被特別地配置。剩下的干涉物鏡可被使用於輪廓繪製模式中且，在某些實施例中，可忽略偏振元件 146 以便增加光效率(諸如對上述實施例其中分光器 112 係一偏振分光器且偏振元件 142 係四分之一波片)。而且，一或多個物鏡可為非干涉物鏡(亦即，一沒有參考臂者)，各自具有不同的放大率，使得系統 100 也可在一為收集測試面的光學影像之傳統的顯微鏡模式中操作(在該情況中，中繼透鏡被設定以將測試面成像至檢測器)。轉台 910 係在電子處理器 970 的控制下，其根據使用者輸入或一些自動化協議選擇想要的物鏡。

其次，系統包括一機動化平台 920 (例如，成像透鏡支架)，用以支撐中繼透鏡 136 及 236，並且選擇地將其等的其中之一定位於結合光 132 的路徑中，用以在第一模式(例如，橢圓術或反射術模式)及第二模式(例如，輪廓繪製或顯微鏡模式)間選擇，在第一模式中瞳面 114 被成像至檢測器，且在第二模式中測試面被成像至檢測器。機動化的平台 920 係在電子處理器 970 的控制下，其根據使用者輸入或一些自動化協議選擇想要的中繼透鏡。在其他的實施例

中，其中一傳動平台被移動以調整在第一和第二模式間切換的檢測器位置，傳送係在電子處理器的控制之下。而且，在那些具有兩條檢測通道的實施例中，各檢測器係被耦接至用於分析的電子處理器970。

而且，系統可包括在電子處理器970控制下的機動化孔徑930和932，以分別控制視場光欄138及孔徑光欄115的尺寸。再次，機動化孔徑係在電子處理器970的控制下，其根據使用者輸入或者一些自動化協議選擇想要的設定。

此外，傳動平台150，其被用以改變在干涉儀的測試和參考臂間的相對的光學路徑長，係在電子處理器970的控制之下。如上所述，傳動平台可被耦接以相對於用以支撐測試物體126的底座940調整干涉物鏡的位置。或者，在更進一步的實施例中，傳動平台可相對於底座整體地調整干涉系統的位置，或者傳動平台可被耦接到底座，因此其是移動以改變光程差的底座。

而且，一個橫向的傳動平台950，也在電子處理器970的控制下，可被耦合至支撐測試物體的底座940以在光學檢驗下橫向地傳送測試面的區域。在某些實施例中，傳動平台950也可確定底座940的方向（例如，提供頂端及傾斜），藉以對齊正交於干涉物鏡的光軸之測試面。

最後，一個物體處理站960，也在電子處理器970的控制下，可被耦接至底座940以提供測試樣本的自動化引入及移除至用以測量的系統100中。例如，可使在此技藝中已知的自動化晶圓處理系統被用於此目的。而且，如有必要，

系統100和物體處理系統可被安放在真空或者潔淨室條件下以使測試物體的污染減到最小。

導致的系統為提供各種測量形態和程序提供大的靈活性。例如，系統首先可在具有一或多個選擇的放大率的顯微鏡模式中被配置以對於物體的不同的橫向位置獲得測試物體的光學影像。此種影像可被使用者或者被電子處理器970(使用機器視覺技術)分析，以辨識物體中的特定區域(例如，特定的架構、特徵、地標、基準標記、或缺陷等等)。基於此種辨識，然後樣本之被選擇的區域可在橢圓術模式內被研究以決定樣本特性(例如，折射率、下層薄膜厚度、材料識別等等)。

因此，電子處理器使平台920將中繼透鏡切換至為橢圓術模式而被配置者，且進一步地使轉台910將適合的干涉物鏡引入至輸入光的路徑中。為了改善橢圓術測量的準確性，電子處理器可透過機動化孔徑930減小視場光欄的大小，以隔離物體的一小的橫向均質的區域。在橢圓術特徵化完成之後，電子處理器970可將儀器切換到輪廓繪製模式，因而選擇一具有合適的放大率之干涉物鏡並調整視場光欄的大小。如上所述，允許重建形貌，例如構成物體的一或多個界面，的輪廓繪製模式捕獲干涉訊號。特別是，如下之詳細描述，在橢圓術模式中決定的不同材料的光學特性的知識允許修正薄膜之被計算的形貌或是不同材料效應，否則其將使輪廓變形。例如，參見美國專利申請案序號10/795,579，取名為"PROFILING COMPLEX SURFACE

STRUCTURES USING SCANNING INTERFEROMETRY "，並出版為美國專利出版物號碼US-2004-018999-A1，其一併供做參考如上。若想要，電子處理器也能透過機動化孔徑932調整孔徑光欄的直徑以改進在任何的各種模式中的測量。

當與自動化物體處理系統960一起使用時，測量程序可對一系列的樣本自動重複。這對各種過程控制方案可能有用，諸如監控、測試、和/或優化一或多個半導體處理步驟。

例如，系統可在用於工具特定監控或者用於控制流程本身的半導體製程中使用。在製程監控的應用中，在未圖案化的Si晶圓(監視器晶圓)上，經由對應的製程工具，單/多層的薄膜被成長、沉積、研磨、蝕刻，然後厚度和/或光學特性被使用在此揭露的干涉系統(例如，透過使用橢圓術模式、輪廓繪製模式、或者兩者)被測量。這些監視器晶圓的厚度(及/或光學特性)的平均值，在晶圓均勻度內，被用以決定相關的製程工具是否用目標的規格操作或者應該被重新設定目標、調整、或者得自於生產用途。

在過程控制的應用中，在圖案化的Si生產晶圓上，經由對應的製程工具，後面的單/多層薄膜被成長、沉積、研磨、蝕刻，接著厚度和/或光學特性以在此揭露的干涉系統(例如，透過使用橢圓術模式、輪廓繪製模式、或者兩者)加以測量。用於製程控制的生產測量典型包括一個小的測量位置和將測量工具對齊至感興趣的樣本區域的能力。此位置可由多層薄膜堆疊組成(其本身可被圖案化)，且因此為了得到相關的物理參數，需要複雜的數學模型化。製程

控制測量決定整體流程的穩定性並且決定是否整體的處理應該繼續、被重新設定目標、被重新導向其他設備、或者完全關閉。

特別，例如，在此揭露的干涉系統可被用以監控下列設備：擴散、快速退火、化學汽相沈積工具（低壓和高壓）、介電質蝕刻、化學機械研磨機、電漿沉積、電漿蝕刻、顯影系統、和微影曝光工具。另外，在此揭露的干涉系統可被用以控制下列過程：溝槽和隔離、電晶體形成、以及層間介電質的形成（諸如雙重鑲嵌）。

從不同的模式結合資訊

干涉系統100的一強有力特徵係不僅可對多種測量模式迅速且以自動化的方式收集有關測試物體的資訊，同時由一種操作模式決定的資訊也可用以改進在其他操作模式中測量的準確性。

例如，在橢圓術模式的操作中，電子處理器可決定在一物體（例如，在半導體晶圓上由介電質區域分開的銅線）上的不同位置出現的各種材料的光學特性。在此種情況中，各材料通常需要單獨的測量。一旦這些特性被知道，即可計算由自物體表面反射的光經歷的反射之相位變化（PCOR）。如上在輪廓繪製分析部分中所述，這些相位變化是與材料有關並且影響形貌的測量。例如，關於介電質區域，銅區域顯得比其實際更低。不過，在橢圓術模式中決定的材料相關的相位變化的知識使電子處理器可修正形貌圖以獲得真實的形貌。實際上，對於一給定的入射角及波

長，反射的相位變化影響作為對在方程式20中的參數 ϕ 的貢獻之測定信號。例如，可寫成：

$$\phi_{\alpha\lambda} = \phi_{\alpha\lambda}^{\text{system}} - \phi_{\alpha\lambda}^{\text{pari}} \quad (20)$$

其中， $\phi_{\alpha\lambda}^{\text{system}}$ 係儀器的特徵且 $\phi_{\alpha\lambda}^{\text{pari}}$ 係對於該特別的測量位置之反射的相位變化。就諸如厚金屬膜的塊材材料而論，表面特徵化技術產生例如使用方程式(6)計算的折射率。然後，電子處理器可使用反射的夫冉斯納爾(Fresnel)係數的複數自變量計算在不同的入射角及波長下從金屬反射的光之反射的相位變化值。對於更複雜的表面結構而言，方程式(8)中的優化函數的最佳化產生結構的光學特性。然後，散射矩陣技術計算做為入射角與波長的函數之反射的相位變化。如上在輪廓繪製分析部分中所述，當一個低數值孔徑(NA)的干涉物鏡被用於形貌測量時，對於反射之相位變化的影響之修正簡單地相當於從表面高度減去由被用於表面高度計算(例如，如Eq. 16所示)的波數得出的計算的相位變化。對高NA的干涉物鏡而言，修正起因於干涉儀的模型化：模型將在不同波長由不同的光源點產生的干涉訊號加上對於高度 $h = 0$ 的物體點之合適的加權計算其總和。干涉訊號的總和係以被用於形貌測量的相同的演算法加以分析並且產生有效的高度 h' ，其簡單地係反射的相位變化的結合導致的高度補償。然後，值 h' 從在對應於特別的表面結構之位置的實驗的形貌圖中被減去。

在另一個例子中，當物體表面與干涉物鏡的光軸垂直時，在橢圓術模式中的測量的準確度被改進(即，沒有與干

涉物鏡有關的物體表面的頂端和傾斜)。這可經由將電子處理器切換至形貌模式並在調整部分定向時執行表面頂端及傾斜的重複測量而被完成。如上所述，程序可利用一機動化的頂端/傾斜平台960而被自動化，其使得儀器自我對準。一旦部分係實際上無效，儀器可切換回到表面特徵化模式(例如，一橢圓術模式或者一反射術模式)。

在又一個例子中，測量的形貌模式也可用以測量一個上層的表面粗糙度。然後，此資訊可被歸入表面的橢圓術模型。相似地，上表面的形貌可能提供關於薄膜的厚度均勻性的資訊。此資訊可被用以最好地選擇視場光欄的大小，其定義在表面特徵化模式中的測量面積。例如，可能會想要選擇厚度係名義上固定的一個小的區域。

此外，在那些實施例中，其中干涉訊號的部分被選擇以隔離在測試物體中的一對應的界面，而可能在形貌模式中測量薄膜的光學厚度或是物理厚度(如果折射率已知)。然後，此濃度的事前資訊可被饋送到表面特徵化模式並且對於橢圓術模型提供準確的猜測值。

窄頻可調光源

在又一個實施例中，圖1的系統100中的光源102在電子處理器的控制下被一個可調的單色光源替換。例如，光源可能是一可調的雷射二極體或是包含一可調的光譜濾波器以產生可調的光譜輸出之寬頻光源(例如，單色儀、一光譜濾波輪、或者一可調的液晶濾波器)。而且，參考鏡122的位置被調整，使得當測試面關於干涉物鏡係對準焦點時在

測試光和參考光之間的光程差非零。檢測器134在光源的波長被掃描時記錄由結合光產生的干涉圖案。在這種情況中沒有與干涉物鏡有關的物體的機械運動。因為參考鏡位置的調整和在干涉儀的測試和參考臂間產生的非零的光程差，光源頻率的掃描產生在各檢測器元件被測量的干涉訊號。此干涉訊號有時被稱為“通道頻譜”。

當在橢圓術模式中操作時(如圖1)，除了“ z ”被固定於非零的光程差，且波數 k 被改變外，在各檢測器元件測量的干涉訊號的強度對應於Eq. 4。在分析期間，電子處理器使用類似於如上所示的分析框架，由Eq. 4中的干涉交叉項決定測試面之波長相關的複數反射率。例如，在各檢測器元件的干涉訊號可被傅立葉(Fourier)轉換、過濾以選擇對應於交叉項之轉換訊號的部分，然後被反向傅立葉(Fourier)轉換以相對於波長產生訊號的大小和相位。然後，此大小和相位可以類似於上述的方式被相關於橢圓參數。當在輪廓繪製模式中操作時(如圖3)，目前的實施例中的干涉訊號可被傅立葉(Fourier)轉換，並且在各種檢測器元件上的轉換中之非零光程差的相位之變化可為在測試面的形貌中之相關的改變。來自在傅立葉(Fourier)轉換中的其他座標的資訊也可被分析以提供形貌資訊。

因此，此窄頻之可調光源實施例也可在各種操作模式中及對上述的各種應用操作。

附加實施例

圖1和3中顯示的實施例提供一Mirau型的干涉物鏡，其

中在干涉物鏡中的分光器沿著測試光的光軸向後導引參考光。在其他實施例中，干涉系統100可改為使用一種不同類型的干涉物鏡，諸如一個米契爾森(Michelson)物鏡，其中分光器將參考光導引離開測試光的光軸(例如，分光器可對輸入光以45度定向，因此測試光和參考光彼此成直角傳播)。在此情況中，參考面可被定位於測試光路徑的外側。

在另一實施例中，干涉物鏡可為Linnik型，其中分光器被定位於測試面的接物透鏡之前(關於輸入光)，並沿著不同的路徑導引測試和參考光。個別的接物透鏡被用以將參考光焦距至參考透鏡。換言之，分光器將輸入光分成測試和參考光，然後個別的接物透鏡分別將測試和參考光焦距於測試和參考面。最好兩個接物透鏡彼此匹配，使得測試和參考光具有相似的像差和光學路徑。

也可能是額外的干涉儀構造。例如，系統可被配置以收集透過測試樣本被傳送且然後在後續與參考光結合的測試光。對於此種實施例而言，例如，系統可在各臂上提供具有雙顯微鏡物鏡的Mach-Zehnder干涉儀。

在干涉儀中的光源可為下列任一種：有或沒有光譜帶通濾波器的白熾光源，諸如一鹵素燈或金屬鹵化物燈；一寬頻雷射二極體；一發光二極體；相同或不同類型的數個光源的結合；一電弧燈；在可見光譜區域中的任何光源；在IR光譜區域中的任何光源，特別是用以觀看粗糙面和使用相位輪廓繪製者；以及在UV光譜區域中的任何光源，特別是對於增大的橫向解析度。對於寬頻應用來說，光源最

好具有比平均波長的5%寬的淨光譜帶寬，或者更好地比平均波長的10%，20%，30%，或者甚至50%更大。對於可調之窄頻應用來說，調整範圍最好較寬（對於可見光，例如，比50nm大、比100nm大、或甚至比200nm大），以在很寬的波長範圍內提供反射率資訊，反之任何特別設定的光譜寬度更好是狹窄的，以將解析度最佳化至，例如，跟10nm、2nm或1nm一樣小。光源也可包括一或多個擴散器元件，以增加從光源被發出的輸入光的空間範圍。

此外，在系統中的各種傳動平台，諸如傳動平台150，可為：由壓電裝置、步進馬達、及一音圈之任一個驅動；被光機械地或光電地提供而非純傳送（例如，透過使用液晶、電光效應、應變光纖、及旋轉波片之任一個）以引進一光程長度變化；任何的具有彎曲底座的驅動器及具有機械平台，例如滾子軸承或者空氣軸承，的任何驅動器。

電子檢測器可為用以測量具有空間解析度的光學干涉圖案的任何類型的檢測器，諸如多元件CCD或者CMOS檢測器。

軟體

如上所述的分析步驟可被在使用標準程式技術的電腦程式中實施。此種程式被設計以在可程式的電腦上或者特別設計的積體電路上執行，各包括一電子處理器、一數據儲存系統（包括記憶體和/或儲存元件）、至少一輸入裝置、和至小一輸出裝置，諸如顯示器或印表機。程式碼被用於輸入數據（例如，來自檢測器的影像）以執行在此描述的功

能，並產生輸出資訊(例如，折射率資訊、厚度測量、表面輪廓等)，其被用於一或多個輸出裝置。各個此種電腦程式可被以一高階程序或物件導向程式語言、或一組合或機器語言實施。此外，語言可為一被編譯或解譯的語言。各個此種電腦程式可被儲存在一電腦可讀的儲存媒體(例如，CD ROM或磁碟)，其當以一電腦讀取時可使電腦中的處理器執行分析和控制在此描述的功能。

本发明的多個實施例已被說明。雖然如此，在未背離本发明的精神和範圍的情況下可進行各種修改。

【圖式簡單說明】

圖 1 係被配置以在橢圓術模式中操作的干涉系統 100 的圖式。

圖 2 係顯示當干涉系統 100 中的測試與參考光間的光程差(“OPD”)變化時，其中 OPD 係由框架數目表示，由檢測器元件測量的干涉訊號的例子之圖式。

圖 3 係被再配置以在輪廓繪製模式中操作的干涉系統 100 的圖式。

圖 4 係繪示由在矽基板上具有 1 微米厚的二氧化矽膜的測試物體之檢測器元件收集的數據之圖式。左圖係顯示由檢測器元件測量的干涉訊號，其為在 OPD 掃描中的框架數目的函數。右圖顯示關於波數的干涉訊號的傅立葉(Fourier)轉換，其中光譜強度係以實線表示，光譜相位係以虛線表示。

圖 5 顯示實驗得到的選擇的入射角(43 度)與選擇的波長(576nm)的複數反射率係數的圖式，其為在矽基板上的 675nm 厚的二氧化矽單層膜的方位角之函數。上圖顯示光譜分量 $Z_{\alpha i \theta}^c$ (上曲線係實數項，下曲線係虛數項)，下圖顯示 $z_{\alpha i \theta}$ 的對應值(上曲線係實數項，下曲線係虛數項)，其係關於系統校準衡量 $Z_{\alpha i \theta}^c$ 。

圖 6 顯示在矽上的二氧化矽的 5 微米厚的膜之干涉訊號以示範部分訊號如何可被選擇以隔離在結構中選擇的界面之圖式。

圖 7 係干涉系統 100 的另一實施例的圖式。

圖 8 係干涉系統 100 的再一實施例的圖式。

圖 9 係干涉系統 100 的圖式，其顯示不同的組件如何在電子處理器的控制下可以自動化的方式被調整。

在不同的圖式中相同的參考數字係標示共同的元件。

【主要元件符號說明】

100、700、800：干涉系統；

102：光源；

104：輸入光；

106：干涉物鏡；

108、110、875、885：中繼光學元件；

112、810：分光器；

114：瞳面；

115：孔徑光欄；

- 116、216：邊緣光束；
- 117、217：主光束；
- 118：接物透鏡；
- 120：分光器；
- 122：參考面；
- 124：測試面；
- 126：測試物體；
- 128：參考光；
- 132：結合光；
- 134：檢測器；
- 136：中繼透鏡；
- 138：視場光欄；
- 140、142、144、146：偏振元件；
- 150、760、950：傳動平台；
- 236：透鏡；
- 770、870、970：電子處理器；
- 880、890：多元件檢測器；
- 910：轉台；
- 912：物鏡；
- 920：機動化平台；
- 930、932：機動化孔徑；
- 940：底座；
- 960：物體處理系統；
- 972：分析處理器；

974：裝置控制器；

976：使用者介面；

978：儲存媒體。

十、申請專利範圍：

1. 一種用於檢測物體表面之特性的干涉系統，包括：
一干涉儀，被配置以將測試電磁輻射導至一測試面並將參考電磁輻射導至一參考表面，然後結合電磁輻射以形成一干涉圖案，電磁輻射係自一共同光源被得出；
一多元件檢測器；及
一或多個光學元件，被配置以將干涉圖案成像於檢測器上，使得檢測器的各不同元件對應於測試電磁輻射對測試面之各不同的照明角。
2. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，干涉儀包括具有一瞳面的干涉物鏡。
3. 如申請專利範圍第 2 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，一或多個光學元件將在瞳面的干涉圖案成像至多元件檢測器。
4. 如申請專利範圍第 2 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，干涉儀將自共同光源發射的電磁輻射成像至干涉物鏡的瞳面。
5. 如申請專利範圍第 2 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，干涉物鏡係一 Mirau 物鏡。
6. 如申請專利範圍第 2 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，干涉物鏡係一米契爾森(Michelson)物鏡。
7. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，一或多個光學元件被配置以被選擇

地調整而將測試面成像至檢測器上或將干涉圖案成像至檢測器上，使得檢測器的不同元件對應於測試電磁輻射對測試面之不同的照明角。

8. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，測試電磁輻射係從測試面被反射。

9. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，測試電磁輻射係傳播穿過測試面。

10. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，干涉儀包括一掃描平台以在測試及參考電磁輻射形成光學干涉圖案時調整其間的相對光學路徑長。

11. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，更包括共同光源。

12. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，共同光源係寬頻光源。

13. 如申請專利範圍第 11 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，干涉儀包括一掃描平台以在測試及參考電磁輻射形成光學干涉圖案時調整其間的相對光學路徑長，且其中，掃描平台被配置以在大於共同光源之同調長度的範圍改變光學路徑長。

14. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，干涉儀更包括一或多個偏振元件，被定位以可調整地控制由檢測器測量的干涉圖案之偏振內容。

15. 如申請專利範圍第 1 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，更包括一電子處理器，被耦合至檢測器，其中，電子處理器被配置以分析關於干涉圖案的資訊，以決定關於具有測試面的一測試物體之被角度地解析的資訊。

16. 如申請專利範圍第 15 項的用於檢測物體表面之特性的干涉系統，其中，測試物體具有鄰接測試面的至少一層。

17. 一種用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，包括：

一干涉儀，被配置以測試光導至測試面的光，接著並將其與參考光結合以形成一干涉圖案，測試及參考光係自一共同光源得出；

一電子檢測器；及

一或多個光學元件，被配置以將至少部分的結合光導至檢測器，使得檢測器的各不同區域對應於測試光對測試面之各不同的照明角度。

18. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀可包括：一分光器，被配置以將從共同光源導出的輸入光分成測試光及參考光；及一參考面，被定位以將參考光在與測試光結合之前反射。

19. 如申請專利範圍第 18 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，測試光被配置以從測試面反射，且干涉儀中的分光器被定位以將測試及參考光在其分別

從測試及參考面反射之後再結合。

20. 如申請專利範圍第 18 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀可更包括一透鏡，以將測試光聚焦至測試面。

21. 如申請專利範圍第 20 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，透鏡定義一瞳面，且一或多個光學元件將瞳面成像至檢測器。

22. 如申請專利範圍第 21 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，共同光源被空間地擴展，且其中，輸入光從共同光源被成像至瞳面。

23. 如申請專利範圍第 22 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，一視場光欄可被定位以在測試面上界定測試光的空間範疇。

24. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀包括具有一瞳面的干涉物鏡。

25. 如申請專利範圍第 24 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，一或多個光學元件將瞳面上的干涉圖案成像至多元件檢測器。

26. 如申請專利範圍第 24 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉物鏡可為 Mirau 干涉物鏡。

27. 如申請專利範圍第 24 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉物鏡可為米契爾森 (Michelson) 干涉物鏡。

28. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，檢測器包括多個檢測器元件，不同的檢測器元件對應於測試光對測試面之不同的照明角度。

29. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，從共同光源導出的測試及參考光係在電磁頻譜的可見光部分中。

30. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，測試光被配置以從測試面反射。

31. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，測試光被配置以傳播穿過測試面。

32. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一傳動平台，被配置以當測試及參考光形成干涉圖案時調整其間之相對的光學路徑長。

33. 如申請專利範圍第 32 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一基座，用以支撐具有測試面的測試物體，且其中，傳動平台被配置以相對於基座移動至少部分的干涉儀。

34. 如申請專利範圍第 33 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀包括一干涉物鏡，且其中，傳動平台被配置以相對於基座移動干涉物鏡。

35. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括共同光源。

36. 如申請專利範圍第 32 項的用於檢測物體表面之

特性的干涉裝置，更包括共同光源，其中，傳動平台被配置以在大於共同光源的同調長度之範圍中改變光學路徑長。

37. 如申請專利範圍第 35 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，共同光源係一寬頻光源，在半高全寬上跨越超過 50nm。

38. 如申請專利範圍第 35 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，共同光源係一可調光源。

39. 如申請專利範圍第 38 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一電子處理器，被耦合至檢測器與可調光源，且被配置以對可調光源之不同波長設定處理由檢測器記錄的影像。

40. 如申請專利範圍第 39 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀包括一參考面，被定位以反射參考光，且其中，參考面進一步被定位以在干涉圖案與測試光產生非零光程差。

41. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀更包括一或多個偏振元件，被定位以調整由檢測器測量的干涉圖案之偏振內容。

42. 如申請專利範圍第 41 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，一或多個偏振元件包括第一偏振器，被定位以接受來自共同光源的輸入光，測試及參考光係從共同光源得出。

43. 如申請專利範圍第 42 項的用於檢測物體表面之

特性的干涉裝置，其中，一或多個偏振元件更包括一第二偏振器，被定位以在其到達檢測器前接收結合光。

44. 如申請專利範圍第 42 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，第一偏振器進一步被定位以在其到達檢測器前接收結合光。

45. 如申請專利範圍第 41 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，一或多個偏振元件包括四分之一波片，被定位以從共同光源接收輸入光，並在其到達檢測器前接收結合光，測試及參考光係從共同光源被導出。

46. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，裝置被配置以可調整地切換第一操作模式，其中結合光被導至檢測器以使得檢測器的不同區域對應於測試光對測試面的不同照明角度，及第二操作模式，其中檢測器的不同區域對應於測試光對測試面照明的不同區域，以致能一輪廓繪製模式。

47. 如申請專利範圍第 46 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一平台，被配置以調整相對於一或多個光學元件的檢測器的位置，以切換第一及第二操作模式。

48. 如申請專利範圍第 47 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一電子控制器，被耦合至檢測器平台且被配置以可調整地使平台在第一及第二操作模式間切換。

49. 如申請專利範圍第 46 項的用於檢測物體表面之

特性的干涉裝置，其中，一或多個光學元件包括第一組的一或多個光學元件，用以在第一操作模式中操作，及第二組的一或多個光學元件，用以在第二操作模式中操作。

50. 如申請專利範圍第 49 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一多位置光學元件支架，支撐第一及第二組光學元件，並被配置以在被導至檢測器的結合光之路徑中可調整地定位第一及第二組中之一組而非另一組，以在第一及第二模式間切換。

51. 如申請專利範圍第 50 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，多位置光學元件支架被機動化，且裝置更包括一電子控制器，被耦合至機動化多位置光學元件支架以選擇地使多位置光學元件支架在第一及第二操作模式間切換。

52. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括第二組的一或多個光學元件、一分光器，被定位以將結合光的第一部分導至第一組光學元件並將將結合光的第二部分導至第二組光學元件、及一第二電子檢測器，

其中，第二組光學元件被配置以將結合光的第二部分導至第二電子檢測器，使得第二檢測器的不同區域對應於由測試光照明的測試面之不同區域。

53. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀包括一多位置底座，被配置以支撐多物鏡並將被選擇的物鏡定位於來自共同光源

的輸入光之路徑中，多物鏡包括至少一干涉物鏡。

54. 如申請專利範圍第 53 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，多位置底座係一轉台。

55. 如申請專利範圍第 53 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，多位置底座被機動化，且裝置更包括一電子控制器，被耦合至多位置底座以選擇性地使底座在物鏡間切換。

56. 如申請專利範圍第 53 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，多物鏡包括兩個不同的物鏡，只有一個包括偏振光學元件。

57. 如申請專利範圍第 53 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，多物鏡包括一非干涉物鏡，其當被定位於輸入光的路徑中時，使裝置能在一非干涉的顯微鏡模式中操作。

58. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一電子處理器，耦合至檢測器，其中，電子處理器被配置以處理由檢測器測量的資訊，以決定關於具有測試面的測試物體的資訊。

59. 如申請專利範圍第 58 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，測試物體可包括在基板上的一或多層。

60. 如申請專利範圍第 58 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，電子處理器從檢測器測量中擷取有關測試面的被角度地解析的反射率資訊，並根據被角度

地解析的資訊決定有關測試物體的資訊。

61. 如申請專利範圍第 58 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一傳動平台，被配置以在測試及參考光形成干涉圖案時調整其間相對的光學路徑長，其中電子處理器被配置以分析在檢測器上之多個位置各自被測量且係經由掃描傳動平台而產生的干涉強度訊號。

62. 如申請專利範圍第 61 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，電子處理器被配置以根據在檢測器上的不同位置之強度訊號的頻率決定在檢測器的不同區域與測試光對測試面的不同照明角間的對應性。

63. 如申請專利範圍第 61 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，電子處理器被配置以根據在整個檢測器上被測量的強度訊號擷取關於測試面之被角度地解析及波長解析的資訊。

64. 如申請專利範圍第 63 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，電子處理器被配置以將檢測器的不同位置上的干涉訊號轉換至頻域，以擷取被角度地解析及波長解析的資訊。

65. 如申請專利範圍第 64 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀包括一或多個偏振元件，被定位以調整由檢測器測量的干涉圖案的偏振內容，且其中，電子處理器被配置以根據在整個檢測器上被測量的強度訊號擷取關於測試面之被角度地解析、波長解析、及偏振解析的資訊。

66. 如申請專利範圍第 65 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，被角度地解析、波長解析、及偏振解析的資訊係關於測試面的複數反射率資訊。

67. 如申請專利範圍第 60 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，關於測試物體的資訊包括對部分的測試物體的折射率估計。

68. 如申請專利範圍第 60 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，關於測試物體的資訊包括對測試物體中的一層的厚度估計。

69. 如申請專利範圍第 61 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，電子處理器被配置以選擇一子集的各干涉強度訊號，並處理子集的干涉強度訊號以決定與被選擇的界面相關的測試物體之資訊。

70. 如申請專利範圍第 58 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，電子處理器被配置以根據基於由檢測器測量的資訊及測試物體的模型的數據之間的比較而決定有關測試物體的資訊。

71. 如申請專利範圍第 70 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，模型將對測量資訊的估計提供為測試物體的一或多個參數的函數，且其中，比較選擇一或多個參數的值以將測量資訊與由模型提供者之間的配適最佳化。

72. 如申請專利範圍第 46 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，更包括一電子處理器，耦合至檢測器並

且被配置以在各操作模式中處理由檢測器測量的資訊，以決定關於具有測試面之測試物體的資訊，且

其中，電子處理器被配置以使用在一操作模式中得出的資訊，以在使用其他操作模式時協助決定有關測試物體的進一步的資訊。

73. 如申請專利範圍第 72 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，在第一模式中得出的資訊對應於部分測試物體的折射率，且其中，電子處理器被配置以根據折射率決定反射之相位變化(PCOR)以在第二模式中操作時協助決定形貌的資訊。

74. 如申請專利範圍第 72 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，在第二模式中得出的資訊對應於對測試面的表面粗糙度的估計，且其中，電子處理器被配置以使用表面粗糙度的估計去處理在第一模式中由檢測器測量的資訊，以決定關於測試物體的資訊。

75. 如申請專利範圍第 39 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀包括一透鏡，以將測試光聚焦至測試面，且其中，一或多個偏振元件包括第一偏振器，被定位以在被透鏡聚焦前使測試光被線性偏振。

76. 如申請專利範圍第 75 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，第一偏振器使測試光在測試面上具有偏振，其在 s 及 p 偏振光間方位角地變化。

77. 如申請專利範圍第 75 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，第一偏振器同時使結合光在檢測

器被線性偏振。

78. 如申請專利範圍第 75 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，一或多個光學元件更包括第二偏振器，被定位以使結合光在檢測器被線性偏振。

79. 如申請專利範圍第 78 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，第一及第二偏振器具有一共同配向。

80. 如申請專利範圍第 76 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，檢測器上的不同位置對應於檢測器之 s 及 p 偏振光的夫冉斯納爾(Fresnel)反射係數的不同結合。

81. 如申請專利範圍第 80 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，s 及 p 偏振反射係數的相對的結合取決於檢測器的方位角座標，而夫冉斯納爾(Fresnel)係數的角度依賴性取決於徑向座標。

82. 如申請專利範圍第 17 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，干涉儀包括一分光器，被定位以沿著第一方向從共同光源接收輸入光，並沿著與第一方向不同的第二方向將結合光導向檢測器。

83. 如申請專利範圍第 58 項的用於檢測物體表面之特性的干涉裝置，其中，電子處理器儲存有關干涉儀的光學特性的校準資訊，並使用校準資訊及由檢測器測量的資訊以決定關於測試物體的資訊。

84. 一種用於檢測物體表面之特性的干涉方法，包

括：

(i)將測試光在一範圍的照明角中導至測試面；

(ii)接著將測試光與參考光結合以形成干涉圖案，其中測試與參考光係從一共同光源得出；及

(iii)將至少部分的結合光導至多元件檢測器，使得檢測器的各不同元件對應測試光對測試面的各不同的照明角。

85. 如申請專利範圍第 84 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，其中，結合光經由對測試光將瞳面成像至檢測器而被導至檢測器。

86. 如申請專利範圍第 84 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，更包括在檢測器的多個元件的各個元件上測量一干涉訊號，做為改變在測試及參考光間的光程差之函數。

87. 如申請專利範圍第 86 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，更包括根據在不同的檢測器元件之干涉訊號的頻率決定在測試光對測試面的不同照明角與檢測器的不同元件間的關係。

88. 如申請專利範圍第 86 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，更包括根據在不同的檢測器元件之干涉訊號的頻率決定在檢測器上結合光之光軸的位置。

89. 如申請專利範圍第 86 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，更包括根據在不同的檢測器元件之干涉訊號的頻率以決定光程差變化的速率。

90. 如申請專利範圍第 84 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，其中，測試面具有已知的反射特性，且方法更包括被用以根據在不同的檢測器元件測量的訊號及已知的測試面之反射參數導引測試光並將其與參考光結合的干涉儀之校準反射參數。

91. 如申請專利範圍第 90 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，更包括以具有已知的反射特性之第二測試面重複步驟，且更包括根據在不同的檢測器元件測量的訊號及已知的測試面之反射係數的干涉儀之校準反射參數。

92. 如申請專利範圍第 84 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，其中，測試光、參考光及結合光被選擇地偏振。

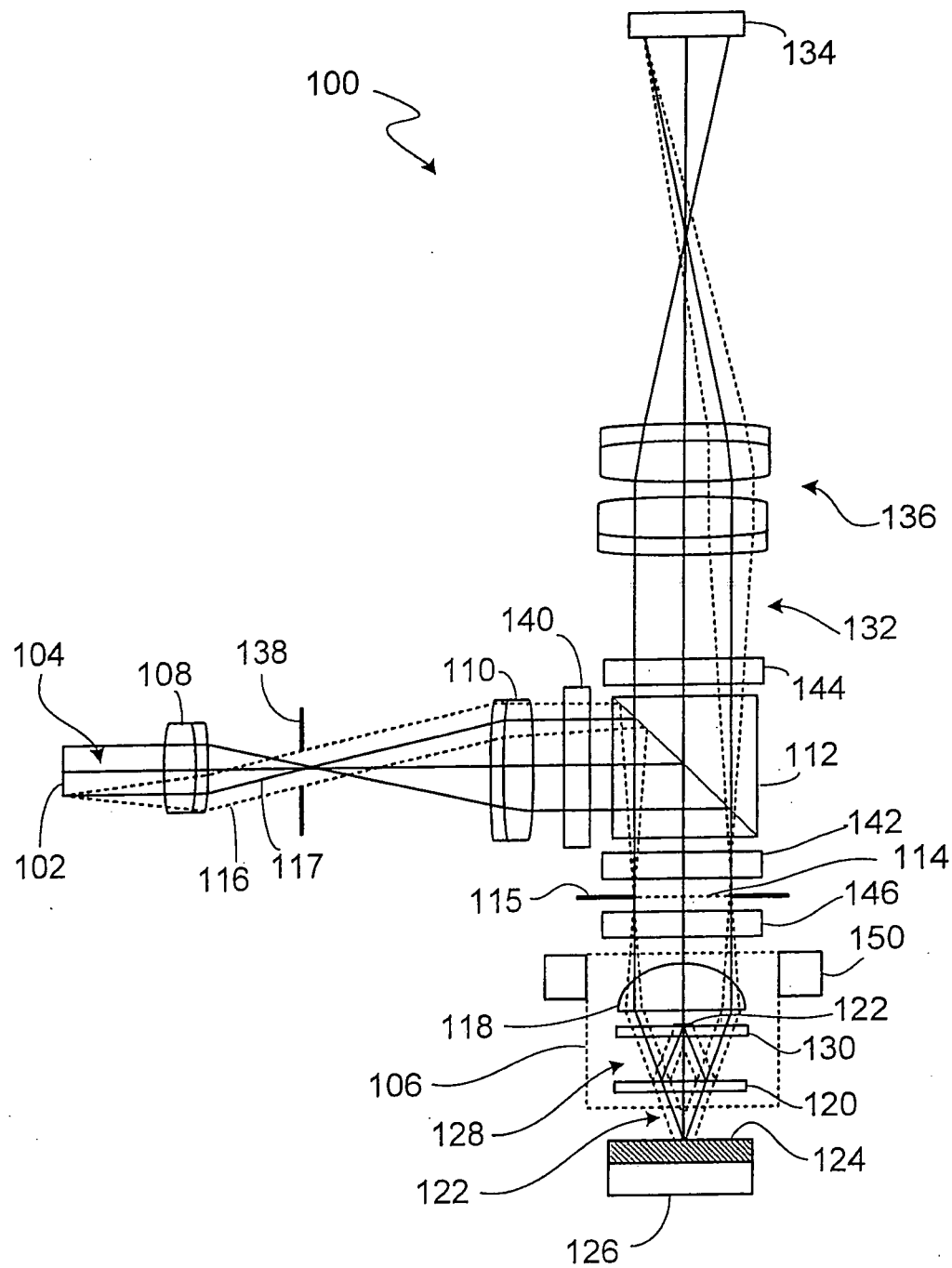
93. 如申請專利範圍第 84 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，更包括根據在不同的檢測器元件測量的訊號決定關於具有測試面的測試物體之資訊。

94. 如申請專利範圍第 93 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，其中，決定關於測試物體的資訊包括關於不同的照明角及波長決定測試面的反射率。

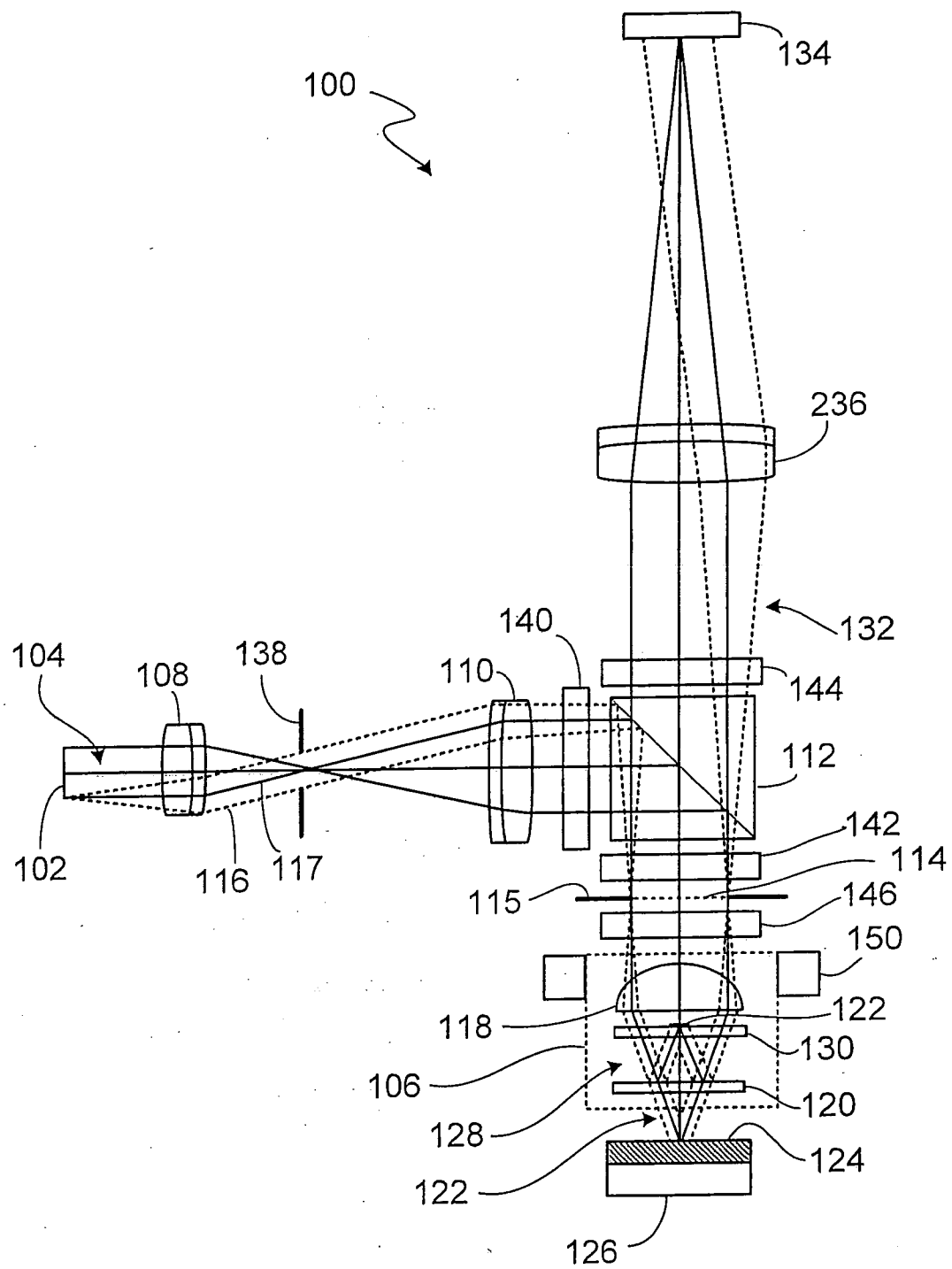
95. 如申請專利範圍第 94 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，其中，反射率係對於一選擇的偏振態關於不同的照明角及波長之複數反射率。

96. 如申請專利範圍第 94 項的用於檢測物體表面之特性的干涉方法，其中，決定有關測試物體的資訊更包括

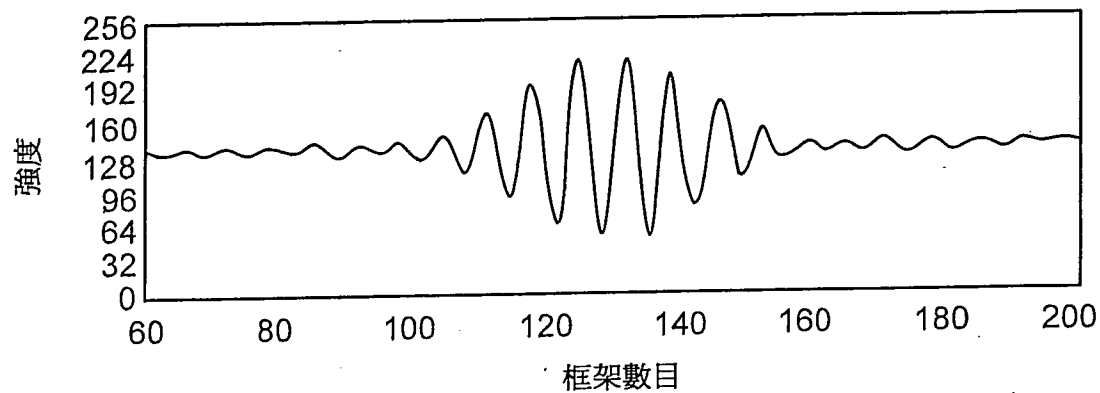
將測量的反射率與對根據測試物體之模型的反射率的估計比較。



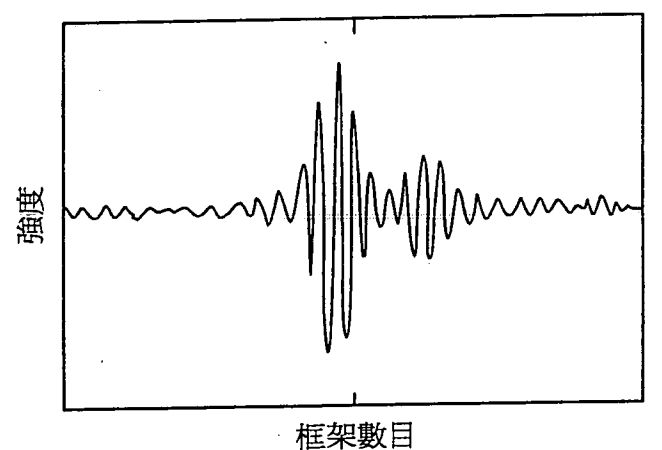
第1圖



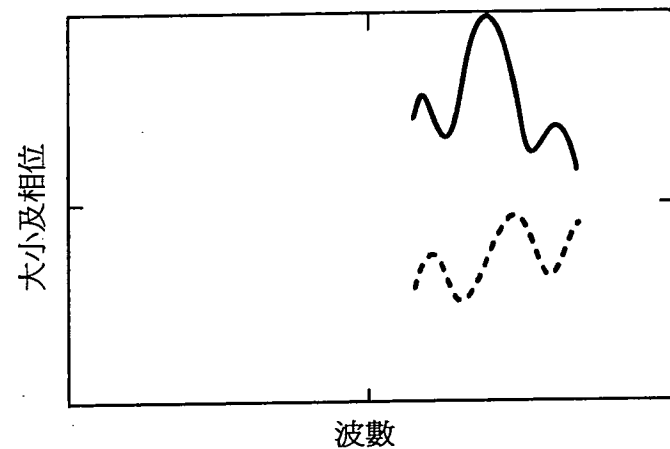
第3圖



第2圖

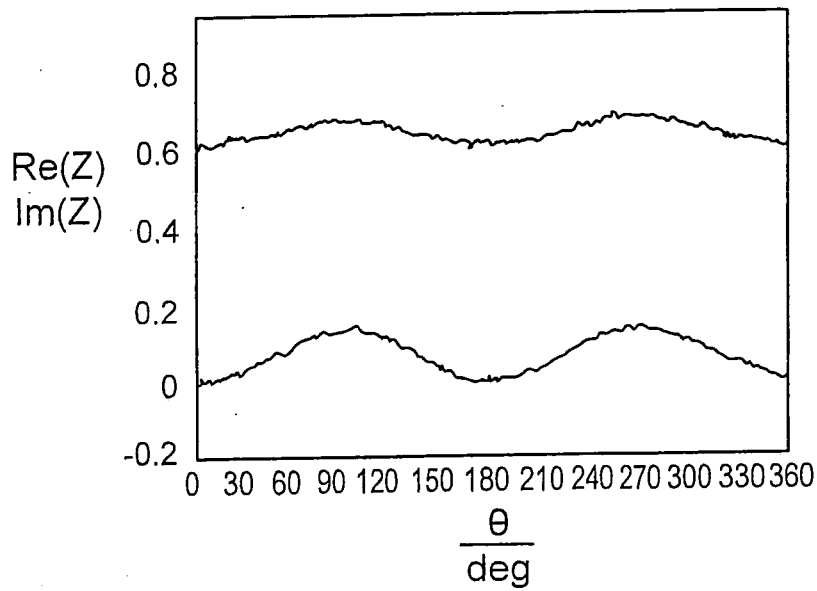
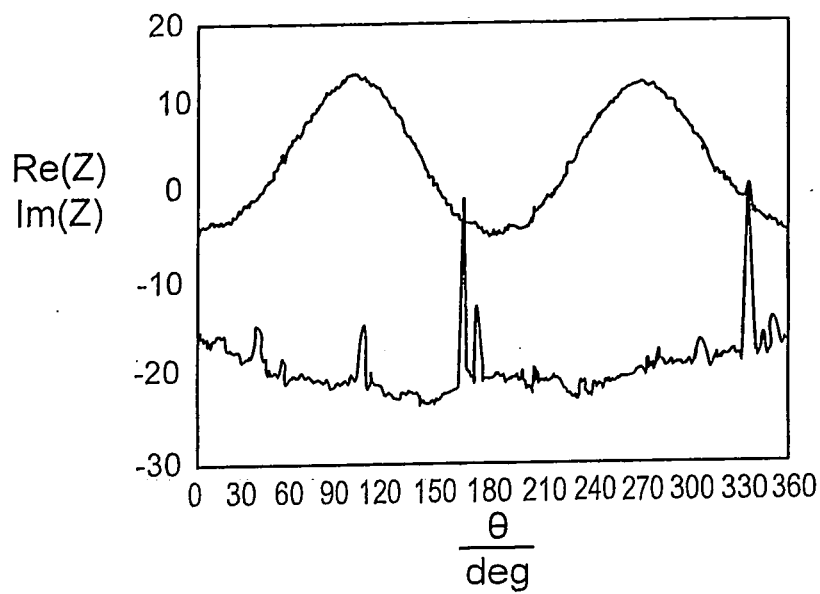


—— 訊號強度

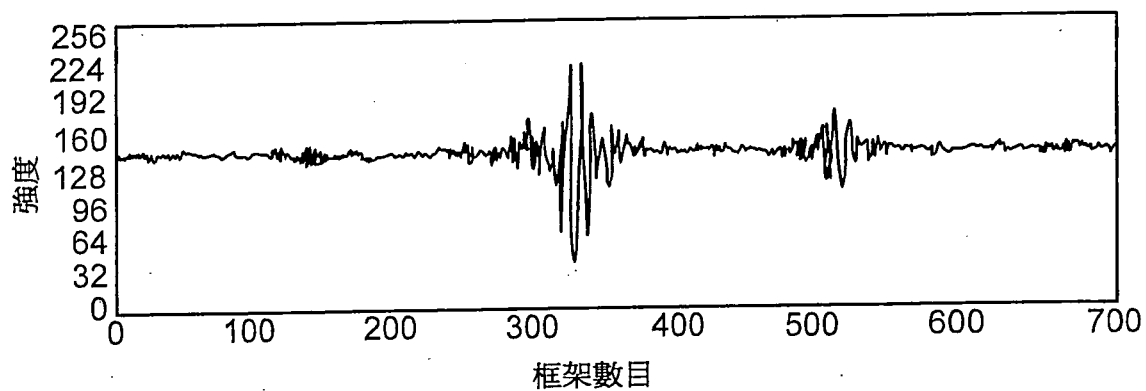


—— 光譜大小
----- 光譜相位

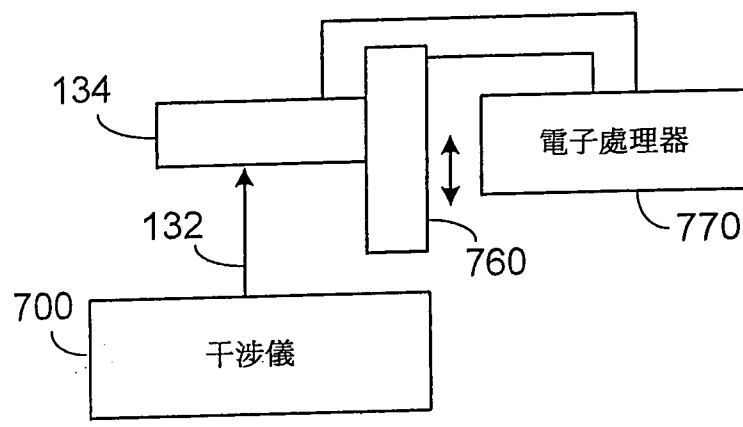
第4圖



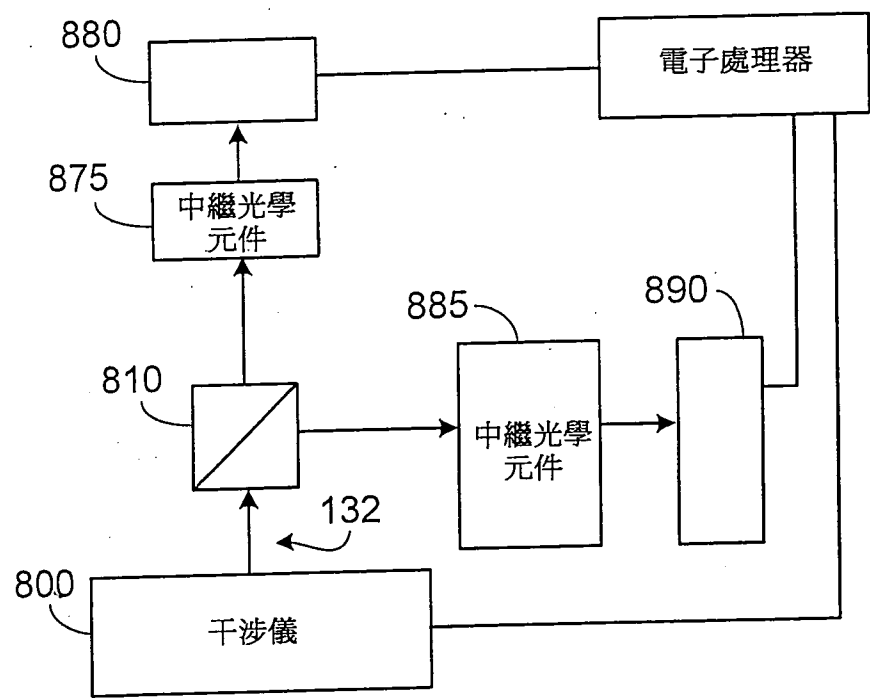
第5圖



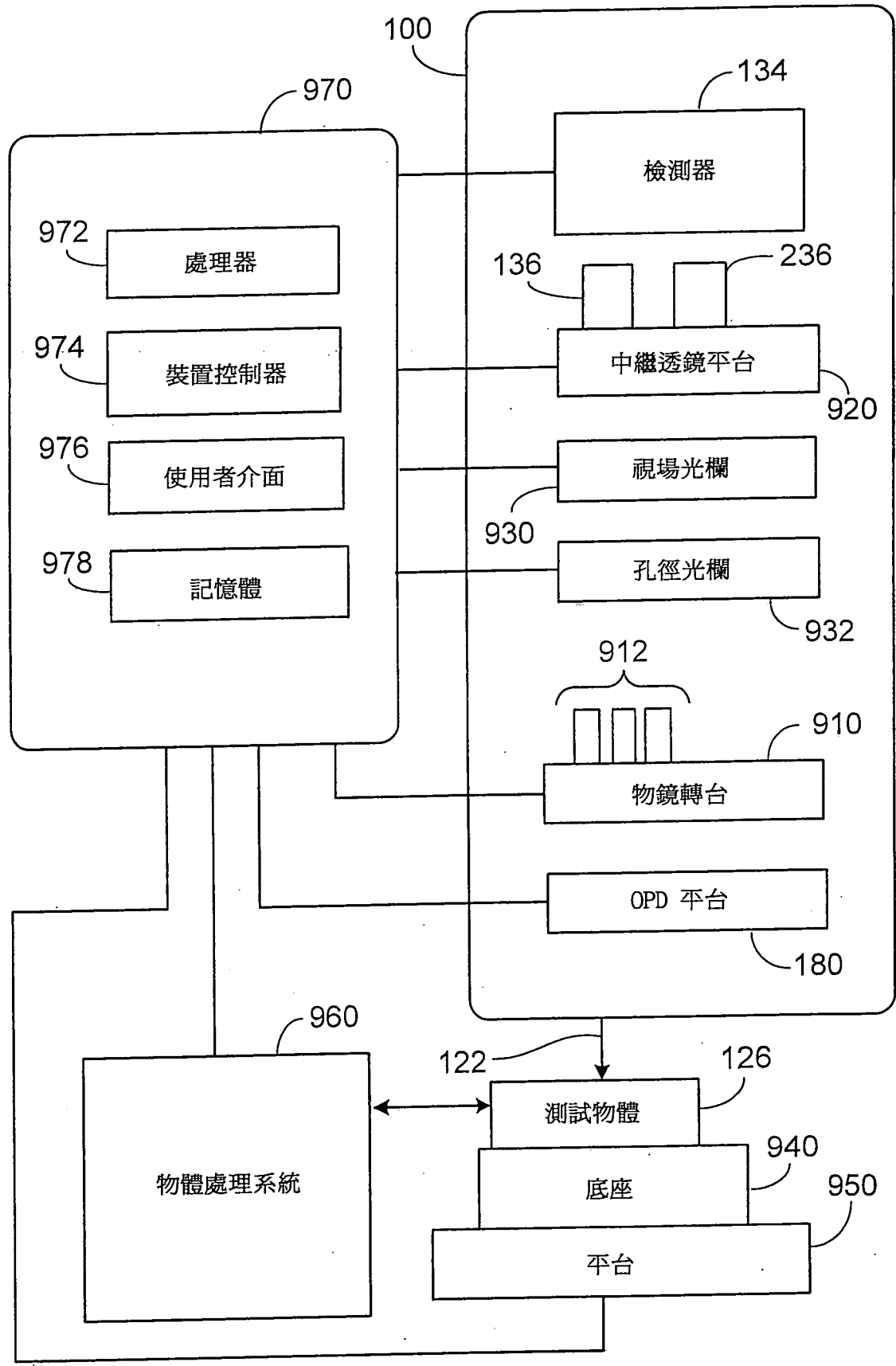
第6圖



第7圖



第8圖



第9圖