

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：951067173

※申請日期：95.2.24

※IPC 分類：G01B 9/02, 11/02

一、發明名稱：(中文/英文)

光反射外差式薄膜厚度計及其方法/ Heterodyne reflectometer for film thickness monitoring and method for implementing

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商梅瑞堤儀器公司/ Verity Instruments, Inc.

代表人：(中文/英文) 麥克.威廉/ Mike WHELAN

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國德州卡洛頓市艾森霍爾街 2901 號/ 2901 Eisenhower Street,
Carrollton, Texas 75007, USA

國 籍：(中文/英文) 美國/ U.S.A.

三、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 艾倫.安納斯.艾兒 / Arun Ananth Aiyer

2. 馬克.梅隆尼/ Mark A. Meloni

3. 肯那斯.哈維/ Kenneth C. Harvey

4. 安德魯.維克斯.庫尼/ Andrew Weeks Kueny

國 籍：(中文/英文)

1. 美國/ U.S.A. 2. 美國/ U.S.A.

3. 美國/ U.S.A. 4. 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、 2005/02/25、 11/066,933

2.美國、 2005/07/10、 11/178,856

☐ 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。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種反射儀(reflectometry)與光柵干涉儀(grating interferometry)。

【先前技術】

一般的晶片(chips)、微晶片(microchips)以及積體電路(integrated circuits)等半導體元件(semi-conductor)係由大量的微型電晶體(transistors)、鋁導線或銅導線(aluminum or copper lines)以及電氣開關(electric switches)所構成，且該電氣開關係用以操作電流的流量。透過包括曝光顯影製程(imaging)、物理或化學沉積(deposition)以及蝕刻(etching)等半導體製程的實施，可在半導體基板上或是在基板上的薄膜形成這類的半導體元件。一般在半導體工業中有一個規律性，那就是積體電路中的電晶體密度每八個月會增加一倍，因此，需要持續地發展更微小之半導體結構的新製程技術，才能跟上這樣的產業趨勢。由於半導體製程中，必須在製程中精密地控制半導體基板上形成的各層薄膜的物理特性，才能達到提高其精確度的需求，並得以使用於大部分的應用領域。其中的一種量測單層或多層薄膜深度或厚度的方法係使用干涉儀，一般的干涉儀係一種用於量測波傳干涉現象的儀器，且其通常係量測光波的干涉現象。

這類干涉儀的原理係兩個具有相同相位的入射波經過待測體而產生相互的光學干涉後，會導致相反相位部分發生相消性的干涉現象。

習知技術中的一種厚度量測系統係利用干涉儀判斷高度資訊，而可進行表面輪廓的測量。在 Hongzhi Zhao 等人所發表的論文中 (“A Practical Heterodyne Surface interferometer with Automatic Focusing,” SPIE Proceedings, Vol. 4231, 2000, p. 301)，其主要係揭露一干涉儀可用以偵測一參考外差訊號與一量測訊號之間的相位差，且其係將強光照射在待測物表面上，並透過演算而判斷高度資訊。雖然該參考外差訊號與量測訊號係光束傳輸經過不同路徑所產生，但這和一般干涉儀是相同的。因為入射光束與反射光束會經過相同的路徑而達到其目標物，且該路徑係垂直待測表面，這類的方法有時會被稱作共軸法 (common-axis approach) 或垂直軸法 (normal-axis approach)。

然而習知這類共軸法之外差式干涉儀技術中，其係透過參考訊號照射一大範圍的面積，在演算該面積中的平均高度而獲得高度資訊，因此，待測物表面的粗糙度對於所獲得之高度資訊的精確度會影響很大。再者，這類共軸法之外差式干涉儀技術的另一個限制係其無法量測或計算薄膜層的實際厚度參數。

美國專利 5,657,124~~X~~ 之透明材料的厚度量測方法(Method of Measuring the Thickness of a Transparent Material)以及美國專利

6,215,556 之使用光源解調之透明材料厚度量測方法及其裝置 (Process and Device for Measuring the Thickness of a Transparent Material Using a Modulated Frequency Light Source) 中，分別揭露了藉由光源解調進行外差而達到膜厚監測的技術。在這些習知技術中，具有一種調制頻率(modulated frequency)的光源直接照射表面，以及可經由偵測分別從上表面與下表面反射的兩道光束而獲得外插的干涉訊號。在經過每個週期中的數次照射，並比較外插的干涉訊號與線性調變強度的光源後，可計算出厚度。這類型式之裝置的缺點係在於其外差計算係透過光源的頻率調變而達成以及其可量測的最小膜厚係受限於光源的頻寬。

其它以兩個不同的光束獲得外差訊號的外差式干涉儀，其兩個不同的光束分別係具有一種頻率與偏極化的第一光束以及具有另一種頻率與偏極化的第二光束。本發明中係以 Haruna 等人所獲得之美國第 6,172,752 號專利為一種非接觸式同步干涉光學特性量測方法及其裝置 (Method and Apparatus for Simultaneously Interferometrically Measuring Optical Characteristics in a Noncontact Manner) 與 Aiyer 所獲得之美國第 6,261,152 號專利為一種干涉式膜厚度量測系統(Heterodyne Thickness Monitoring System)所揭露之干涉儀技術為參考資料者。

圖 1 係顯示兩道不同頻率之光束在一干涉式膜厚度量測裝置中的示意圖，其中這兩道光束係偏極化為相互正交，且在不同的光路徑中傳遞，並事先經過混波與外差，其係和一般化學機械研磨技術

(Chemical Mechanical Polishing, CMP)中所常用的技術相似。因此，外差式厚度量測系統 100 通常包括一化學機械研磨裝置、一晶圓 110 以及一光學量測結構，其中該晶圓 110 係包括基板 112 以及薄膜 114。

該光學量測結構通常包括複數個用以偵測或量測反射光束頻率之都普勒位移(Doppler shift)的元件，這些元件包括雷射光源 140、混和偏極器 143、分光器 144、混和偏極器 145、偏極化分光器 146、光偵測器 147、四分之一波長板 148、光偵測器 149、四分之一波長板 150、反射器 152、以及訊號處理模組 154，且該訊號處理模組 154 係電器連接該光偵測器 147 與光偵測器 149 之輸出端。

在操作過程中，該雷射光源 140 發射出包含以第一波長傳遞的第一線性偏極光分量 102 以及以第二波長傳遞的第二線性偏極光分量 103 之光束，且該第一線性偏極光分量 102 與第二線性偏極光分量 103 的偏極化方向係相互正交。該第一線性偏極光分量 102 與第二線性偏極光分量 103 係以同一直線方向傳遞的方式入射至該分光器 144 而形成一光束分量 1140 以及一光束分量 1150，該光束分量 1140 與光束分量 1150 入射至該混和偏極器 145 而再形成一光束分量 1160 以及一光束分量 1170，該光束分量 1160 以及光束分量 1170 接著又入射至該光偵測器 149 並形成一訊號 I2。

前述該第一線性偏極光分量 102 與第二線性偏極光分量 103 之傳遞至該偏極化分光器 146 而形成一光束分量 104 與一光束分量 105。在該偏極化分光器 146 中，該光束分量 104 依循一第一傳輸路徑而形成一光束分量 106，且該光束分量 106 穿透過該四分之一波長板 148 而入射至該反射器 152，反射的光束分量 106 會再次穿透過該四分之一波長板 148 而形成與該光束分量 106 偏極性正交的一光束分量 122，該光束分量 122 會在該偏極化分光器 146 中反射而入射至該混和偏極器 143 而形成一光束分量 124，該光束分量 124 有入射至該光偵測器 147。

該光束分量 105 所產生的第二偏極光分量依循不同於前述第一傳輸路徑的另一傳輸路徑而形成與該光束分量 104 垂直的一光束分量 107，並反射離開該偏極化分光器 146，且接著穿透過該四分之一波長板 150 而形成一光束分量 109，該光束分量 109 傳遞至一透明旋轉載具 115。該光束分量 109 局部自該透明旋轉載具 115 背部表面反射以及自該基板 112 與該薄膜 114 上表面之間的介面反射，因此分別反射生成一光束 111S、一光束 111T 以及一光束 111B。各個光束 111S、光束 111T 以及光束 111B 往回傳遞穿過該四分之一波長板 150 後，分別在穿透過該偏極化分光器 146 而形成一光束 113S、一光束 113T 以及一光束 113B，且該光束 113S、光束 113T 以及光束 113B 與前述之光束分量 122 以同一直線方向傳遞的方式入射至該混和偏極器 145，而該混和偏極器 145 並輸出該光束分量 124、

一光束 115S、一光束 115T 以及一光束 115B 至該光偵測器 147，同時該光偵測器 147 輸出一對應的訊號 I1。另外必須強調的是，具有一單一頻率且受到該薄膜 114 作用的該光束分量 107 以及具有另一單一頻率且沿著第二傳輸路徑而不受到該薄膜 114 作用的該光束分量 122，係同時影響該訊號 I1 的形成。因此可利用該訊號 I1 以及該訊號 I2 的比較，而量測獲得該薄膜 114 之厚度。

當量測光束經過該第一傳輸路徑的長度改變時，其產生之觸發訊號中的訊號 I1 與訊號 I2 將導致一對應的相位差，如第 2 圖所顯示。其中，該訊號 I2 係標示為曲線 1103，該訊號 I1 係標示為曲線 1105，且該訊號 I1 與訊號 I2 的相位差係表示為 $\Delta\phi$ 。再者，當該薄膜 114 拋光後，使得該薄膜 114 會有不同的厚度，且造成該光束 111T 自該薄膜 114 表面反射的傳輸路徑改變，並進一步導致該觸發訊號中的訊號 I1 相位改變。

在量測光束的路徑中，該光束 111B 傳輸經過該晶圓，並自該晶圓的上表面反射。當該光束經過該晶圓的路徑縮短時，該光束 111B 反射後的光束頻率會發生都普勒位移(Doppler shift)。因此，該光束 111S、光束 111T 與光束 111B 會受到光束照射之標的物的作用，而另外的光束分量 122 的頻率則直接傳輸至不會受到該標的物影響而直接入射至該光偵測器。然而，在這樣的操作架構且分離該參考光束與該量測光束下，該干涉儀的訊號雜訊比會較差，且會降低量測的靈敏度。

一般習知技術之干涉儀的解析度(resolution)係受限於大約 6 埃($\text{\AA}$)的尺寸極限，因此，在習知技術中，干涉儀無法達到薄膜精密量測所需的解析度，也無法在薄膜改變極小厚度下，進行薄膜的厚度量測。

【發明內容】

為了達成本發明上述目的，本發明光反射外差式薄膜厚度計及其方法係包括一用以量測厚度之光反射外差式薄膜厚度計，且該用以量測厚度之光反射外差式薄膜厚度計包括：一光學光源裝置，其係用以產生一雙極化的分裂頻率光束；一分離光束路徑光學元件，其係用以傳遞該雙極化的分裂頻率光束，以一特定的入射角入射至一目標材料；一第一感測器，其係用以接收該雙極化的分裂頻率光束，以及產生一參考值訊號；一第二感測器，其係用以接收該目標材料的一雙極化分裂頻率光束，並產生一量測訊號；一相位移感測器，其係用以接收參考值訊號與該量測訊號，以及偵測該參考值訊號與該量測訊號之間的相位移；以及一資料處理器，其係用以透過該相位移演算該目標材料之厚度。

其中可進一步包括一相位移校正器，該相位移校正器係用以校正該相位移中的誤差，其中該資料處理器接收該校正的相位移，並透過該校正的相位移而演算出該厚度。

再者可進一步包括：一光柵，其係用以折射該雙極化的分裂頻率光束，該雙極化的分裂頻率光束係作為一第一級光束；一第三偵測器，其係用以接收該第一級光束以及產生一光柵訊號；以及一第

二相位移感測器，其係用以接收該光柵訊號以及該量測訊號，且偵測一光柵導致於該光柵與量測訊號之間所產生的相位移，其中該資料處理器係透過該相位移與該光柵導致的相位移而演算出該厚度。

本發明光反射外差式薄膜厚度計及其方法係可包括一光反射外差式薄膜厚度計，其係用以量測厚度參數，且該光反射外差式薄膜厚度計包括：一光學光源裝置，其係用以產生一雙極化的分裂頻率光束，該雙極化的分裂頻率光束具有一第一偏極化光束分量與一第二偏極化光束分量，該第一偏極化光束分量係以一第一頻率作震盪，該第二偏極化光束分量係以一第二頻率作震盪，且該第一頻率係不同於該第二頻率；一分離光束路徑光學元件，其係用以傳遞該雙極化的分裂頻率光以一特定的入射角束入射至一目標材料，該目標材料具有一表面與一本體部；一第一感測器，其係用以接收該雙極化的分裂頻率光束，並產生一參考值訊號；一第二感測器，其係用以接收來自該目標材料之一雙極化的分裂頻率光束並產生一量測訊號，該雙極化的分裂頻率光束係包括自該目標材料表面反射的一第一偏極化光束分量與一第二偏極化光束分量，以及其它自該目標材料表面下方該反射反射的該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量；以及一相位移感測器，其係用以接收參考值訊號與該量測訊號，且偵測該參考值訊號與該量測訊號之間的相位移，該相位移係該目標材料體的厚度所導致。

本發明光反射外差式薄膜厚度計及其方法係包括一反射儀厚度參數量測方法，且該反射儀厚度參數量測方法包括：提供一光學光源裝置用以產生一雙極化的分裂頻率光束以一特定的入射角入射至一目標材料，該雙極化的分裂頻率光束具有一第一偏極化光束分量與一第二偏極化光束分量，該第一偏極化光束分量係以一第一頻率作震盪，該第二偏極化光束分量係以一第二頻率作震盪，且該第一頻率係不同於該第二頻率，該目標材料具有一表面與一本體部；透過外差該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量而產生一參考值訊號，該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量係分別以一第一頻率與一該第二頻率作震盪；接收來自該目標材料的一雙極化的分裂頻率光束；透過外差該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量而產生一量測訊號，該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量係分別以一第一頻率與一該第二頻率作震盪；以及偵測該參考值訊號與該量測訊號之間的一相位移，該相位移係該目標材料體的厚度所導致。

本發明光反射外差式薄膜厚度計及其方法係包括一厚度參數量測方法，且該厚度參數量測方法包括：提供一光學光源裝置用以產生一雙極化的分裂頻率光束以一特定的入射角入射至一目標材料，該雙極化的分裂頻率光束具有一第一偏極化光束分量與一第二偏極化光束分量，該第一偏極化光束分量係以一第一頻率作震盪，該第二偏極化光束分量係以一第二頻率作震盪，且該第一頻率係不

同於該第二頻率，該目標材料具有一表面與一本體部；透過外差該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量而產生一參考值訊號，該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量係分別以一第一頻率與一該第二頻率作震盪；接收來自該目標材料的一雙極化的分裂頻率光束；折射作為一第零級光束與一第一級光束之該雙極化的分裂頻率光束，該第零級光束係包括一第一第零級偏極化光束分量與一第二第零級偏極化光束分量，且該第一級光束係包括一第一第一級偏極化光束分量與一第二第一級偏極化光束分量；接收該第零級光束；透過外差該第一第零級偏極化光束分量與該第二第零級偏極化光束分量，以產生一量測訊號；偵測該量測與參考值訊號之間的一量測相位移；接收該第一級光束；透過外差該第一第一級偏極化光束分量與該第二第一級偏極化光束分量，以產生一光柵訊號；偵測該光柵與量測訊號之間的一光柵導致的相位移；以及透過該光柵導致的相位移與該量測相位移，以計算該目標材料體之厚度。

為使熟悉該項技藝人士瞭解本發明之目的、特徵及功效，茲藉由下述具體實施例，並配合所附之圖式，對本發明詳加說明如后。

【實施方式】

本發明係有助於半導體製程之薄膜沉積監測部分，因此，可使沉積工具與擴散爐結合，此外，本發明提供簡單且有效的方法，以

利用延續可見光反射儀量測薄膜 $10 \text{ \AA} \sim 2000 \text{ \AA}$ 的厚度範圍，使用本發明藉由大量的(MTBF)以使用單色光源可得最佳的結果及簡單的探測圖解，傳統的先前技術光譜反射儀延伸進入此厚度層需要複雜的遠紫外線光源以及反射或反射折射的光學，同時，與先其技術不同的，本發明不需要如先前技術中上層膜需幾 $\text{\AA}$ 厚度，此外，感應器於本發明使用的成本也可比傳統的遠紫外光光譜反射儀的先前技術還低，且本發明需要更少的量測過程，本發明的運用及技術之揭露使處理處能夠精準而無誤差的監測在薄膜可感應表面上一區域或一點的厚度，或大區域尺寸。

在邁克遜 (Michelson) 外差干涉儀中，妨礙涉及或量側光束分量有微小的光學頻率不同，傳統上有幾千赫茲到幾兆赫茲，兩者之間的干涉藉由方程式被表現出來：

$$I = A + B \cos(\Delta\omega t + \phi) \quad (1)$$

A：直流電分量；

B：訊號分量，其係顯示干涉條紋可見度；

ϕ ：參考光束分量及量測光束分量之間的相位差；以及

$\Delta\omega$ ：指兩訊號角頻差，且兩訊號之間的干涉係可作為一觸發訊號，該觸發訊號具有一角頻等於該角頻差 $\Delta\omega$ 。

當量測光束分量經過一光學路徑長度改變(Δd)，圖 2 之表中該觸發訊號將經歷結合相移動被描述出的模擬結果，如：
 $\Delta\phi = (4\pi \times \Delta d)/\lambda$ 此，量測觸發訊號103的相位被描述為 $\Delta\phi$ 係改變從涉及觸發訊號在光學路徑的該量測光束分量長度。

本發明下提供簡單的外差反射儀薄膜量測的方法對應於先前技術之缺失，提供可將薄膜精確的量測出 Å 單位膜的厚度之方法，此外，因為正弦波被使用，相移轉量測可即時的被了解，圖 3A 中係描述本發明的特徵，使本發明能更完全的被了解外差反射儀運用於量測薄膜厚度。

圖 3A 係一外差反射儀運用於量測薄膜厚度符合本發明最佳實施例之圖表，如本發明需要描述可靠觀點，區域 301 將被描述如圖 3B，係光束分量到薄膜的相互作用的放大示意圖，一外差反射儀 300 包含的光學機制，係作為以一入射角 α 入射至一薄膜 314 與一底層 312 的一光束分量 303。

該光束分量 303 於分開光頻中包含有兩相互成正交態樣之線性偏極化光分量，如，在 ω and $\omega + \Delta\omega$ 分頻中各別為 s 和 p 偏極光束分量， $\Delta\omega$ 在此大概為接近 20 兆赫茲，其不僅可被效仿且在本發明之範圍外其他分裂頻率可適用，為了產生此光束分量可能的光源 320，如，則曼效應分匣氦-氖雷射，單一模式雷射源的光束分量可選擇性的被分開成兩分離之光束分量或是兩個分離的光束分量之

頻率變成到一預定之頻率，例如，Acousto 光學調節器，該分裂頻率光束分量可在有薄膜 314 的影響下重新結合，用任何合適的光學元件改變先所提及光束分量的路徑，如圖上所描述，一對三角菱形柱（光束 332 及光束 334）入射光束分量 303 直接入設至薄膜 314，並且從薄膜接收到反射光束分量 305，但，可任意地可保留光束分量的極化之時指導這條輕路徑的任何合適光學元件，例如，光源 320 可被引導在一個入射平面（在入射角為 α 下），使用鏡面或其他反射光學元件，或選擇性地保存那時定位以發動預定極化纖維結合光束分量的入射角。

然而，在先前技術的刻板對比中，兩個光學頻率路徑係沿著單一路徑與薄膜相互作用，即，量測光束分量的該 S 偏極化光分量與 P 偏及元件大致是同一光束分量且幾乎為同軸的，此外，從 S 偏極化光分量與 P 偏極化光分量照亮範圍在薄膜 314 的這目標位置大約是同時的。

本發明之外差反射儀之主要功能是從一量測相位移 $\Delta\phi_m$ 計算實際的相位移 $\Delta\phi$ ，該量測相位移 $\Delta\phi_m$ 是參考相位訊號 I_{ref} 與量測相位訊號 I_{het} 兩者間的相位差，即，該觸發訊號之觸發從非反射路徑（該參考訊號）及反射路徑獲得，為了量測出可避免誤差和精確的薄膜層厚度 d_f ，該相位差 $\Delta\phi$ 是有必要得知的，因此，需要兩個訊號檢測器來測出量測相位移 $\Delta\phi_m$ ，一個係用以偵測/產生偵測/產生入射訊號 I_{ref} 及另一個係用以偵測/產生偵測/產生量測訊號 I_{het} 。

一訊號感測器 340 從混合偏光板 504 自動檢測該分匣光束分量 304（參考光束分量），該混合偏光板 504 係混合有 S 及 P 極化的光束分量 304 元件，該光束分量 304 先前係由薄膜 314 反射出的，且產生參考訊號 I_{ref} 342，以指示出光束分量 304 這階段的相位為 ϕ ，感測器 340 可以是正負二極體感測器（PIN 感測器）或反應有觸發頻率的光感感測器，及產生具有 $|\omega - (\omega + \Delta\omega)|$ 觸發頻率的參考訊號 I_{ref} 342。

另一方面，訊號感測器 350 從混合偏光板 355 讀出反射光束分量 356，該混合偏光板 355 混合有光束分量 305 的 S 及 P 極化元件，在和薄膜 314 交互作用後從反射光譜 334 傳播，訊號感測器 350 產生有量測訊號 I_{het} 352，以指示處光束分量 356 這階段的相位為 $\phi + \Delta\phi$ ，且從參考訊號 I_{ref} 的相位得知相位差 $\Delta\phi$ ，感測器 350 可以是監測反射光束分量 356 及產生外差量測訊號 I_{het} 的正負二極體感測器，此時也具有 $\Delta\omega$ 的一個外差角頻率，量測訊號 I_{het} 及參考訊號 I_{ref} 分別可描述於如圖 18 的訊號區 1802 及 1804，連同外差相位差 $\Delta\phi_m (= \Delta\phi_{\text{het}})$ 。

在 $\Delta\phi_m$ 量測相位差感測器 362 收到訊號 352，該相位差感測器 362 與量測具有參考訊號 I_{ref} 的外差量測訊號 I_{het} 比較決定出量測相位移 $\Delta\phi_m$ ，由薄膜 314 厚度決定向位移 ϕ ，且相位移的總數量與幾個因素(校正參數)有關，包含有薄膜 314 的厚度，被監測的薄膜折射率及較高的相位移。這些因素之間的相關性將更具體的討論，無論

如何，從正確的相位移 $\Delta\phi$ 經由資料處理器 360 而決定一個準確的薄膜厚度 d_f ， $\Delta\phi$ 是可從量測相位移 $\Delta\phi_m$ 獲得。然而，由於量測相位移 $\Delta\phi_m$ 有固有誤差，至少於更高相位移時，必須再透過校正測量相位移，才可獲得其精確的厚度量測結果。

在這裡可以理解資料處理器 360 可以根據特定的運用採取許多的形式，反射儀感測器 340 及 350 或 $\Delta\phi_m$ 量測相位移感測器 362 經常被電性連結在一電腦上，以即刻處理同軸晶片處理的資料，然而，依據其他代表實施的反射儀系統為了即時儲存及處理監測資料有內部資料處理器和/或分離的記憶資料可先被安裝，根據剩餘的代表實施未藉由一常駐在該晶片處理設備的資料處理系統掌握量測反射儀的資料，在這情況下，晶片處理固定件執行包括厚度計算的全部資訊處理，照樣，資料處理器 360 描述一般的資料處理器 360，其可包括有離散固件和硬體的部分，這些部分通常包含有量測相位移校正器 366 和厚度計算器 368，資料處理器 360 可選擇性的包含誤差修正資料儲存器，將在下面討論其操作。

更特別地， $\Delta\phi_m$ 相位移感測器 362 從該外差感測器及量測相位移 $\Delta\phi_m$ 兩者間得知參考訊號 I_{ref} 342 及外差量測訊號 I_{het} 352，相位移感測器可為發現探查相位探測參考訊號及量測訊號的任何相對點適當機制，然而，此等蓋善之處分別揭露於圖 25 及 26A-26D。

雖然沒在圖表上描述，但是相位移感測器 362 也可配置具有進入波長輸出輸入介面和/或有利於訊號發現的震盪頻率資訊設備

一旦量測相位移 $\Delta\phi_m$ 被檢測出，為誤差修正傳給 $\Delta\phi_m$ 量測相位移校正器 366，在量測相位移 $\Delta\phi_m$ 方面的誤差可許處於更高的相位移，但修正該誤差被是能夠把一個具有適當的校正參數條件之多項式功能應用於 $\Delta\phi_m$ ，當討論相對應的圖 7-圖 10 將變的淺顯明白，為特別的薄膜折射率取得該校正參數，再者， $\Delta\phi_m$ 校正器 366 為完成誤差修正計算需要某參數資料，這些資料包括源波長，該表面薄膜的折射率 n_f ，和該入射角 α ， α 將典型的襲擊一個條件， $\alpha = 60^\circ$ ，勝於精確的在布魯斯特角度的源波長和薄膜折射率 n_f ，其將在下面討論原因。

最後， d_f 厚度計算器 368 從 $\Delta\phi_m$ 校正器 366 得到修正相位移和計算有被診測薄膜（如薄膜 314）的一修正薄膜厚度。

d_f 厚度計算器 368 可選擇性的從 $\Delta\phi_m$ 相位移感測器 362 直接的得知量測相位移 $\Delta\phi_m$ 於是從儲存器 364 代數的拿具有薄膜厚度修正資料修正該量測該量測厚度，該薄膜誤差修正資料或一對照表（look-up table；LUT），薄膜 314 基於折射率 n_f 預先載入於儲存器 364。

儘管另一個選擇在離散量測相位移值做索引的儲存器 364 中要儲存修正厚度值 d_f 的表，在這種情況下，當從相位移感測器 362 得

知 $\Delta\phi_m$ 時，厚度計算器 368 從儲存器 364 重新得到一修正的厚度值及輸出值。

目前的方法從薄膜的表面依靠輻射性的各向異性反射，因此，該外差反射儀設備最理想的配置其入射角是接近於布魯斯特角（Brewster's angle），如下所述，在個別薄膜的折射率檢查下，布魯斯特角達到對薄膜相位移的最大靈敏度，在布魯斯特角情形下，薄膜表面反射的 p 偏極光數量是零或者最小限度的，因此，從感測器 350 的訊號 I_{het} 352 具有豐富的薄膜厚度資訊。

然而，當一個實際的事情，可為了與一特定處理設備合作半永久設置在一監測系統的光學部分（例如：目前入射角為 $\alpha = 60^\circ$ ），在那些系統中，對精確角度調整也許是困難或不可能的，然而，如下所顯示揭露，將描述本發明的優點是在大約為布魯斯特角的範圍中為特定薄膜的折射率可量測高精確度的厚度量測法。

此外，除從薄膜表面的各向異性反射外，反射各向異性現象在薄膜本身和底部的薄膜表面或底層被呈現出，其以被假設該薄膜材質和較低的介面就 s 和 p 偏極而言各向同性，然而，這假設就每一薄膜類型不一定是正確的，可參考 T. Yasuda, 「Optical Anisotropy of Singular and Vicinal Si-SiO₂ Interfaces and H-Terminated Si Surfaces」, J. Vac. Sci. Technol. A 12(4), 1994 年 7 月/8 月, 第 1152 頁 和 D. E. Aspnes, "Above-Bandgap Optical Anisotropies in Cubic Semiconductors: A Visible-Near Ultraviolet Probe of Surfaces," J. Vac. Sci. Technol. B 3(5), 1985 年 9 月/10 月, 第 1498 頁，因此，再這些

情況下該薄膜表面和/或該底層呈現重要的各向異性的反射比，完美的入射角度係介於法線入射角和布魯斯特入射角之間。

更特別地，在薄膜全部的範圍下有上表面，薄膜介層和/或表面底層可各向異性的反射/吸收，在薄膜的表面上，由於菲涅耳（Fresnel）反射在量測訊號中引起一相位移，基本上為推理及基本討論有關依靠布魯斯特角的一偏極優先的反射超過另一個偏極，一般而言，其可直接適用於多數的薄膜及提供大訊號的干涉，然而，在薄膜表面上刮傷也許可促成各向異性的反射而提高相位移，該薄膜介層也可引起相位移，尤其是具有磁性區域的薄膜，例如：磁碟儲存裝置和鐵電的薄膜（如 CMOS 的電容器），在薄膜表面的底層，例如介於薄膜與底層之間，除鐵電的薄膜外，藉由水晶方向或著色於水晶晶格結構而引起相位移。

透過例子，在法線入射角中就 s 和 p 偏極的各相異性反射而言已經呈現 SiO_2/Si 薄膜的一個較低介面，假設一表面上和大量的 SiO_2 傳導體在法線入射角是等向的，基於薄膜的厚度在量測訊號中可引起相位移，然而，在這種情況下，該位移的引起是藉由從較低介面的各向異性反射而非薄膜表面，在這雖然光束分量可到表面是直接正常的，而非這以固定的角 60° ，描述的方法將應用吸收和反射，此外，適用於掃描一晶片經過一表面產生一圖像，如一個半導體晶片的表面。

從薄膜表面關於各相異性反射回到更一般的情形，從下面討論將理解，為外差反射儀系統 300 聯繫外差反射移入射角，和改變在檢視下的薄膜折射率 n_f ，光源的波長 λ ，因不同的薄膜有不同的折射率，該角度 α 可被調整符合改變的索引，如果這希望，為了修正外差反射儀系統 300 的入射角，基於各被檢視的薄膜折射率，是必須提供一方法，可由操作平台 310 完成和/或完成光束 332、334，例如，光譜 332 及 334 可配置於具有兩自由度，一是關於與由光束分量 303、305 和薄膜 314 的法線向量形成垂直入射平面的軸心，和平行法線向量表面成平移運動方向，光譜 332、334 可選擇性的對於一方向為垂直的入射平面有一個旋轉自由度且此時平台 310 在法線向量上有一個平移運動自由度，該光譜 332、334 和平台 310（此描述的是平台 315，薄膜 314 及底層 312）隨剖面線起運作將被描述於最後的實施例，該剖面元件呈現入射光束分量 303 和對改變不同的入射角 α 得知的反射光束分量 305，反應於在折射率質的改變，然而，如同在上面和在下面，使用一個允許的入射角度（ $\alpha = 60^\circ$ ）是有利於在布魯斯特角為薄膜及光源配置精確的入射角。

請觀看圖 3B，相位移 $\Delta\phi$ 的來源是由於薄膜 314，為透明度從 p 偏極光束分量被描述分離於 s 偏極光束分量，入射光束分量 303 由 s 偏極光束分量 303s（有一光學角頻為 ω ）和 p 偏極光束分量 303p（有一光學角頻為 $\omega + \Delta\omega$ ）形成相互垂直之態樣，兩部分 303s、303p

以對於薄膜法線向量角度 α 為入射角，在薄膜 314 的表面，光束分量 303s 的一部分作為反射光線 305-1s (如下所提： $r_{1s}(\omega)$)，而另一光束分量 303s 的其他部分在折射角 ρ 為折射於薄膜 314，然後折射離開底層 312 和作為折射光線 305-2s (如下提及： $t_{2s}(\omega)$) 折射離開薄膜，同樣的，光束分量 303p 分成反射光線 305-1p (如下提及： $r_{1p}(\omega + \Delta\omega)$) 及反射光線 305-2p (如下提及： $t_{2p}(\omega + \Delta\omega)$)。

計算基本的薄膜厚度用薄膜更加敏感最優化的輕交互作用，以提升外差相位移 $\Delta\phi_m$ ，目標在於從參考訊號盡可能增加外差訊號的相位移，即，增加 $\Delta\phi_m$ ，在本發明中，為同向的薄膜和底層，藉由有效的入射角完成，因反射光束分量由反射和折射的 s 和 p 部分光線組成，有利於一偏極部分從另一個薄膜表面有較大的反射光線部份，因為把分裂頻率的 s 和 p 偏極光用作量測，可能修正入射角 α 以得到此結果，隨著技術被了解，線性偏極光將呈現為源波長設定從入射角到布魯斯特角的結果，在布魯斯特角狀態下，事實上整個 p 偏極入射部分光束分量 303p 有微量的光線 305-2p 折射進入薄膜，即便要，當光線 305-1p 被反射，相反地，處於布魯斯特角，s 偏極入射部分光束分量 303s，觀察重要的反射當光線 305-1s 具有輕易穿透薄膜如反射光線 305-2s 一般，因此，角度 α 可被適應的以致於更多的偏極光部分不反射，但幾乎在薄膜中折射，因此，混合這光線後，隨之而來的光束分量由於從薄膜表面反射 s 偏極光束分量不均射部分必要時間以增加路徑距離的移動， $\Delta d = 2d_f \sqrt{n_f^2 - \sin^2 \alpha}$ 。

為了同相的薄膜和底層，最理想用於光束分量 303 的偏極部分是線性和其他已遍及討論的互不相關，然而，橢圓形偏極部分也將產生類似的厚度引起相位移，雖然有些減少，因此，依據本發明的其他實施例，光束分量 303 的分裂頻率是橢圓形偏極。

根據本發明，高敏感厚度測定藉由使用偏軸照明接近外差偏極訊號來實行，本明的這方面當反射角接近布魯斯特角時從薄膜的表面上依靠電磁輻射各向異性反射，將提出先前技術通常或正常軸心利用這個方法的原因直接在下面，但是，底層呈現在法線入射角中重要的各向異性的反射比時，入射角可能在法線向量入設的情況應該被判別出。

$$r_s = \frac{r_{1s} + r_{2s}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1s}r_{2s}e^{-i2\delta}} \quad (2)$$

為單一薄膜堆，該 s 偏極反射比為

$$r_s = \frac{r_{1s} + r_{2s}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1s}r_{2s}e^{-i2\delta}} \quad (2)$$

$$r_p = \frac{r_{1p} + r_{2p}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1p}r_{2p}e^{-i2\delta}} \quad (3)$$

同樣的，p 偏極反射比為

$$r_p = \frac{r_{1p} + r_{2p}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1p}r_{2p}e^{-i2\delta}} \quad (3)$$

$$\text{當 } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \times d$$

是薄膜厚度的相位移；

α 是入射角；

n 薄膜折射率；及

d 薄膜厚度。

$$r_{eff} = (r_s e^{i\omega x} + r_p e^{i(\omega + \Delta\omega)t}) \times \cos 45^\circ \quad (4)$$

當混合兩偏極時，由感測器感測的反射量的合成可被寫成：

$$r_{eff} = (r_s e^{i\omega x} + r_p e^{i(\omega + \Delta\omega)t}) \times \cos 45^\circ \quad (4)$$

$$R_{eff} = r_{eff} \times r_{eff}^* \times (\cos 45^\circ)^2 \quad (5)$$

功率反射比為

$$R_{eff} = r_{eff} \times r_{eff}^* \times (\cos 45^\circ)^2 \quad (5)$$

r_{eff} 試感測器的反射量的合成；和

r_{eff}^* 是 r_{eff} 的共軛複數。

$$\begin{aligned}
R_{eff} = & \frac{r_{1s}^2 + r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta}{1 + r_{1s}^2 r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta} + \frac{r_{1p}^2 + r_{2p}^2 + 2r_{1p}r_{2p} \cos 2\delta}{1 + r_{1p}^2 r_{2p}^2 + 2r_{1p}r_{2p} \cos 2\delta} + \\
& \frac{2[(1+ab)g + bc + ad + (1+ab)f] \cos(\Delta\omega t)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2[ag + (1+ab)c + af] \cos(\Delta\omega t + 2\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2[bg + (1+ab)d + bf] \cos(\Delta\omega t - 2\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2ac \cos(\Delta\omega t + 4\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2bd \cos(\Delta\omega t - 4\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} \quad (6)
\end{aligned}$$

其中 $a = r_{1s}r_{2s}$, $b = r_{1p}r_{2p}$, $c = r_{1s}r_{2p}$, $d = r_{1p}r_{2s}$, $f = r_{2s}r_{2p}$,

$g = r_{1s}r_{1p}$

在方程式 (2)、(3) 和 (4) 帶入方程式 (5) 中，可作為這樣的表達：

$$\begin{aligned}
R_{eff} = & \frac{r_{1s}^2 + r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta}{1 + r_{1s}^2 r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta} + \frac{r_{1p}^2 + r_{2p}^2 + 2r_{1p}r_{2p} \cos 2\delta}{1 + r_{1p}^2 r_{2p}^2 + 2r_{1p}r_{2p} \cos 2\delta} + \\
& \frac{2[(1+ab)g + bc + ad + (1+ab)f] \cos(\Delta\omega t)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2[ag + (1+ab)c + af] \cos(\Delta\omega t + 2\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2[bg + (1+ab)d + bf] \cos(\Delta\omega t - 2\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2ac \cos(\Delta\omega t + 4\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} + \\
& \frac{2bd \cos(\Delta\omega t - 4\delta)}{1 + a^2 + b^2 + 2ab + a^2b^2 + 2(a+b+a^2b+ab^2) \cos 2\delta + 2ab \cos 4\delta} \quad (6)
\end{aligned}$$

其中， $a = r_{1s}r_{2s}$, $b = r_{1p}r_{2p}$, $c = r_{1s}r_{2p}$, $d = r_{1p}r_{2s}$, $f = r_{2s}r_{2p}$, $g = r_{1s}r_{1p}$

首先方程式(6)的兩條件藉由 s 和 p 偏極光表示標準的零差反射比，

為了給定波長和薄膜厚度，這些條件提供不變的直流值給功率反射

比，接下五個條件產生於混合偏極時從 s 和 p 偏極光一致增加外差反射比。

相位非藉由厚度的影響，是僅僅藉由 $\Delta\omega t$ 決定第三個條件，另一方面，當薄膜厚度改變時包含 $\cos(\Delta\omega t \pm 2\delta)$ 和 $\cos(\Delta\omega t \pm 4\delta)$ 可使觸發訊號的相位偏移，在傳統的外差干涉儀，量測相位移將與路徑長度或厚度變化直接成比例，然而，因為方程式(6)的非線性自然性質，該量測相位移只是厚度改變的表示而非直接的量測。

有趣地， $+\delta$ 和 $-\delta$ 兩者促成相位移，因此，一零相位移為任何厚度改變出現在法線向量的入射角，此由類比的結果證實，此在法現向量的入射角時藉由證實被推斷（即，先前技術的同軸入射角）， $\cos(\Delta\omega t + 2\delta)$ 的係數是與 $\cos(\Delta\omega t - 2\delta)$ 相同且 $(\Delta\omega t + 4\delta)$ 的係數是與 $\cos(\Delta\omega t - 4\delta)$ 係數相同，因此，一個值藉由被另一個值平衡導致相位移。

圖 4 係強度與類比結果的時間在法線向量入射角($\alpha = 0.0^\circ$)之示意圖，從圖表可知對 100nm 的薄膜而言，大量的訊號曲線 402，以參考訊號校準，參考訊號曲線 404，即，為 10nm 薄膜量測訊號和參考訊號在法線向量入射角是一致的，此外，量測薄膜的厚度不改變這結果，為 50nm 薄膜的大量量測訊號 406 相似於 100nm 的薄膜，也與局部的訊號曲線 404 的平面圖一致，即，為 50nm 的薄膜量測訊號和參考訊號在法線向量入射角是一致的。

相對地以法線的軸心模式，在離開軸心的一對係數($\cos(\Delta\omega t \pm 2\delta)$ 和 $\cos(\Delta\omega t \pm 4\delta)$)是不同的，因此，在等向的材質使用外差反射儀有可能觀察及量測厚度引起的相位差。

圖 5 係強度與類比結果的時間在入射角度取 20.0° ($\alpha = 20.0^\circ$) 之示意圖，由圖可知，為 100nm 薄膜的量測訊號的平面圖 504 是由參考訊號相位移，訊號曲線 502 $\Delta\phi (= \Delta\phi_m)$ 。

然而，在入射角為 $\alpha = 20.0^\circ$ 下，為 100nm 相位移 $\Delta\phi$ 厚度變化是十分小的，因此，該外差反射儀的架構應有效的對厚度更加敏感以更有用於即時薄膜厚度/變化監測。

假設在薄膜表面的入射角度是布魯斯特角，則 r_{1p} 將近近於零，換句話說，藉由選擇入射角以致於 α 在布魯斯特角上，僅僅反射該 s 偏極光束分量，大部分的該 p 部分將折射進入薄膜且於薄膜的底層介面上反射，關於等離子區蝕刻或沉積處理，作為 $\arctan(n_f/n_p)$ 供給布魯斯特角，其中， n_p 是在一個處理過空間的氣體折射率，而 n_f 是薄膜表面上的折射率，在這情況下，方程式 (5) 可重寫誠如：

$$R_{eff} \approx \frac{r_{1s}^2 + r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta}{1 + r_{1s}^2 r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta} + \frac{r_{2p}^2}{1} + \frac{2f \cos(\Delta\omega t)}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta} + \frac{2[c + af] \cos(\Delta\omega t + 2\delta)}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta} + \frac{2ac \cos(\Delta\omega t + 4\delta)}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta} \quad (7)$$

其中， $a = r_{1s}r_{2s}$ ， $b = r_{1p}r_{2p}$ ， $c = r_{1s}r_{2p}$ ， $d = r_{1p}r_{2s}$ ， $f = r_{2s}r_{2p}$ ， $g = r_{1s}r_{1p}$ 。

上所述之等式，有相位資訊的外差條件是由於需要 $r_{ls}(\omega)$ and $r_{2p}(\omega+\Delta\omega)$ 的條件一致增加，這與傳統的外差干涉儀和從該量測光束分量組合分離的參考光束分量有些相似。

圖 6 係強度與類比結果的時間在兩個不同薄膜厚度於入射角度取 $60^\circ (\alpha = 60.0^\circ)$ 之示意圖（這應該可被了解入射角度 α 設定在 60.0° ，即使許多的布魯斯特角更接近於 57° ），從圖中可知量測訊號曲線 602（100nm 的薄膜）和量測訊號曲線 606（50nm 的薄膜）兩者從參考訊號、局部的參考訊號曲線 604 和從兩者是有有效的相位，圖 5 顯示出入射角為 60° 監測相位是有效的大於入射角為 20° ，排除包含 $(\Delta\omega t - \delta)$ 的條件可使技術對薄膜厚度變化更敏感。

一旦外差反射儀架構有效的對厚度更敏感，從相位移決定厚度的計算可以被制定，傳統的外差干涉儀中，測量相位移和在光束分量路徑差 Δd 的對應的變化可用下面的方式被計算出， $\Delta\phi = 4\pi \times \Delta d / \lambda$ (8)

其中， $\Delta\phi$ 是量測訊號 I_{het} 有關於參考訊號 I_{ref} 的相位移； Δd 是相對應的光束分量路徑差；以及 λ 是外差照明光源的波長。因此：

$$\Delta d = \Delta\phi\lambda / 4\pi \quad (9)$$

在外差反射儀中，因 $\Delta\phi = 2\delta$ 和 $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \times d$ ，薄膜的厚度可由下列的等式表達：

$$d = \left(\frac{\Delta\phi \times \lambda}{4\pi \times \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \quad (10)$$

假設使用等式 (6)，從 0 到 100nm(1000 Å)的薄膜厚度相引起對應的外差反射訊號，然後，每一訊號的相位移是那時對參考訊號的參考估計，從估計相位值，使用等式 (10) 是預料/計算相對應的薄膜厚度值。

該量測的厚度被比作為輸入厚度，量測厚度和輸入厚度兩者間的不同是在量測相位移 $\Delta\phi_m$ 的誤差方程式：

$$\Delta\phi_m = \frac{4\pi d \times \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\lambda} \quad (11)$$

其中， $\Delta\phi_m$ 是量測訊號 I_{het} 有關於參考訊號 I_{ref} 的相位移； d 是從量測相位移 $\Delta\phi_m$ 計算薄膜厚度； n 是薄膜的折射率； α 是入射角；以及 λ 是外差照明光源的波長。

圖 7 係在入射角為 60° 時計算出的薄膜厚度與真正的薄膜厚度兩者間的對照示意圖，從對照曲線 702，預先的厚度符合輸入厚度與曲線 702 是呈線性的，薄膜的厚度增加到大約 300 Å 是可被了解的，此外 300 Å 的厚度，誤差在預先值在非線性比例隨著厚度增加，圖 8 係誤差與輸入厚度的示意圖，在一薄膜的真實和量測的厚度兩者間具有大量的誤差描述的誤差曲線 802。

從圖 6 和圖 7，察覺大量的誤差增加到 300 Å 是零或可忽略的，但是除了誤差迅速的增加，然而，為了使這誤差量化和移除誤差計算公式，為了抵銷無差的一個機制是透過誤差曲線 802 適合一更高階

的多項式方程式，藉由使用該多項式方程式的係數導出真正薄膜厚度和計算的厚度，計算出量測相位移 $\Delta\phi_m$ 和真正的相位移 $\Delta\phi$ ，能夠決定在厚度計算出誤差，然後，透過在厚度計算中完全的包含多項式誤差方程式（即，修正的量測相位移 $\Delta\phi_m$ ），薄膜厚度的期望值（即，真正的薄膜厚度）可被得知，可選擇性的，一估計厚度透過代數修正相位移量測法得知直接的增加一厚度誤差修正值至該估計厚度。

圖 9 和圖 10 為對於找到薄膜厚度入射角度為 60° 的證明正確的誤差計算，曲線 902 由一 632nm 雷射呈現，該估計厚度結果在該誤差修正後是非常精準的提升 700 Å 和直到 900 Å 範圍，僅僅在估計厚度值後超過 900 Å 厚度誤差修正即中斷，在圖 10 的曲線 1002，對於一 404nm 雷射誤差修正結果仍是精確的甚至超過使用 632nm 雷射的 900 Å 厚度障礙。

從上面的討論，對於薄膜厚度最精確的結果是當對於薄膜層表面的折射率被得知就可明顯的獲得，從上對於假設的結果，可被證明外差反射儀正確的安裝在低能 200nm 區域確定薄膜厚度是非常有用的，在薄膜厚度大於 300 Å 可達到精確的厚度結果，藉由決定一誤差修正從該項位移厚度計算而得的，依照本發明之實施例，前提決定厚度/相位移的誤差，隨著預定的修正，後來在原處監測薄膜厚度可及時完成和在晶圓處理期間的正確厚度。

圖 11 係描述為一相位移修正的多項式方程式決定係數根據本發明的實施例決定外差相位移量測法的流程圖，透過選擇有單一知名的折射率和複數個知名的厚度的複數個標準的晶圓開始流程（步驟 1102），該折射率是公因數且因此對於厚度誤差修正多項式方程式係數將是特定的指數，對於每一標準晶圓的折射率在一生產達到確保精確的厚度計算結果應該是同一個薄膜頂層的指數，傳統地，單一層 NIST 可追蹤氧化晶圓的目的是可利用在各式的折射率和薄膜厚度，但知道膜厚度跟一般知道的折射率將滿足任何晶圓，對於一傳統的晶圓蝕刻或沉積過程，該被選擇出的標準晶圓薄膜厚度從 10 Å 在每 5 Å 增加到 100 Å。

其次，入射角 α 為基於著名的標準薄膜的折射率 n_f 和在照明光源的波長的外差反射儀系統被修正（步驟 1104），對薄膜的反射率，最理想的入射角應該是盡可能的被設定接近於布魯斯特角，然而，可靠的監測系統不能被設置，但是被先前配置一內定入射角（如 $\alpha = 60^\circ$ ），因此，修正該入射角到布魯斯特角是不可能的，不過，已經發現許多商業可用的薄膜有布魯斯特角在不超過內定入射角 $\alpha = 60^\circ$ 的一些度數（傳統地是小於 60° ），因很多系統在內定角度被先前配置，由於訊號干涉的附加誤差可忽視，因此，在預定的內定角度（即 $\alpha = 60^\circ$ ）有利於得到對多項是方程式的係數，而非精確的布魯斯特角的薄膜，在此方面，該係數將合適於先前配置系統有一內定入射角 $\alpha = 60^\circ$ ，且這些結構系統能夠完全的適用入射角度為

60°，的內定值，雖然比為薄膜的布魯斯特角稍微高一些，從誤差地調整該入射角在厚度量測誤差結果以充分地了解更多誤差，或對該入射角使用不適當的多項式方程式，除了從布魯斯特的薄膜的角度離開一點度數。

在操作方面，在該外差反射儀系統中該分裂頻率偏極的光束分量是反射離開薄膜，導致外差量測訊號 I_{het} 的生成，對於每一個 j 晶圓和一參考訊號 I_{ref} （步驟 1106），量測訊號將從透過一總數關於薄膜厚度的該參考訊號形成相位移。該量測相位移 $\Delta\phi_{\text{ml-j}}$ 是從對於每一個該標準晶圓 j 的參考訊號 I_{ref} 的相位和量測訊號 I_{het} 的相位而決定（步驟 1108），隨著量測相位移的資訊，一個 6 次多項式方程式的係數可被決定關於在估計厚度誤差從量測相位移 $\Delta\phi_{\text{ml-j}}$ 到已知的厚度 $d_{\text{kfl-j}}$ 和已知的折射率 n_f 而得知（步驟 1110），使用相位差別法可被完成的，例如等式（11），從晶圓的該已知厚度 $d_{\text{kfl-j}}$ 和已知折射率 n_f 發現真正的 $\Delta\phi$ ，接著，該 6 次多項式方程式對於修改固有的誤差在 $\Delta\phi_m$ 內適用於量測相位移，而找到真正的薄膜厚度。

基本上，該誤差修正多項式方程式可被使用在為獲得一精確的薄膜厚度的一至少三方法，首先，該多項式方程式可直接的被載入資料處理系統和從量測相位移 $\Delta\phi_m$ 實施在靈敏的對誤差修正估算厚度的厚度計算，該多項式方程式可選擇性地為產生一預先設定的厚度誤差為產生一預先設定的厚度誤差修正可使用，可被編輯在一表上和結合具分離的量測相位移值 $\Delta\phi_m$ ，誤差修正厚的的資料設定可隨意

的以多項式方程式產生和一薄膜計算，取代厚度誤差修正，且也再表上作索引給分離量測相位移 $\Delta\phi_m$ 值，假設厚度誤差修正的表被編輯，再操作該資料處理期間從該量測相位移 $\Delta\phi_m$ 計算一量測厚度 d_m ，且在從具有該表的一適當的厚度誤差修正在誤差 $\Delta\phi_m$ 內修正，假設該誤差修正厚度資料可選擇性地被使用，該資料處理器僅僅從每一量測相位移的表獲得該訊號以取出一誤差修正厚度量測法，因此，排除對資料處理器的必要性以執行厚度計算。

這裡修正係數在一物理機器可被取得也是可被理解的，也許不好說明其他設備，即，對於一些範圍誤差修正可真正的被允許，即使兩個被同時的安裝，換句話說，對於該相位移誤差修正多項式取得的係數也是，至少部分地特定的儀器，因此，理想的 $\Delta\phi_m$ 從相同的設備應該被養成對量測薄膜厚度的使用，然而，可由量測一套確認晶圓的薄膜厚度證實對一特定產生設備的該合適的一套係數，具有一薄膜的每一個確認晶圓在監測的薄膜範圍內有共同的折射率和薄膜厚度，確認晶圓的折射率應該與該空空的薄膜相似。

關於該 6 次多項式方程式過程結束開始讀取資料處理器先前的 RAM 儲存器去開始生產運轉，其中為了獲得對於每一量測 $\Delta\phi_m$ 的及時修正 $\Delta\phi$ —薄膜厚度計算器可實施，從產生誤差修正厚度(步驟 1112)，該 6 次多項式方程式為了未來的使用而可選擇性的儲存，因該套係數獲得誤差修正厚度結果的正確性是可依賴折射率 n_f 和該設定參數

使用於量測該標準晶圓（即，該源波長 λ 和入射角 α ），指數資訊應該與該該個別的修正係數而保留。

具有兩者之一可選擇性的厚度誤差修正或物差修正後度的一對照表是為了立即的直接使用儲存或載入於儲存器中（步驟 1112），如同有誤差修正多項式，該參考折射率和架構的參數應該被儲存於該對照表。

如上所述，預計許多的情況的外差監測設備將不被設置，在這情況下，必須定義一適合的多項式方程式基於折射率和在專門的結構上預設的結構參數，雖然預計許多監測系統將有通常值，即 $\alpha = 60^\circ$ 和 $\lambda = 404 \text{ nm}$ 或 632 nm ，其他的也可能存在，就末端來說，將被體會到有一複數套可用的修正係數，是合於普通的結構參數值，到這些系統將大大地增加該外差反射移薄膜後度量測法過程的可應用性，因此，考慮一個選擇的實施例，對於該多項式方程式的複數套修正係數可被獲得，前提，對於一特定的折射率和一結構參數值範圍使用結構監測系統，即，波長和入射角，藉由在圖 11 的流程圖中反覆透過該標準過程描述和除了從薄膜的布魯斯特角以外對角度重新安排是可實現的（參閱步驟 1104），可為每一結構參數值的結合找到對應於多項式方程式的分離設定修正係數，就每一個折射率而論，對於一個特別的生產設備一套適合的係數藉由在一套確認晶圓在前開始一生產流程上量測/證實已知的厚度使用已被證實，以類似的方法，修正係數的裝置可藉由重複的透過該標過程使用光源有不

同的波長證實不同的源波長，因此，不久描述本發明適用在後度量測法中沒有犧牲正確性而可適合不同的系統結構。

本發明在靈敏的透過誤差修正厚度方程式的使用幫助高準確薄膜厚度的計算，如同上述簡短的說明，本發明一非常有用的應用在晶圓蝕刻或沉積過程等等期間完成及時薄膜厚度結果。

圖 12A 跟圖 12B 係依據本發明的實施例從外差反射儀訊號獲得一致的高準確薄膜厚度計算法之流程圖，該方法藉由決定一晶圓的薄膜層表面上的一最初折射率 n_f 開始，即，一生產品圓（步驟 1202），其次，對於該薄膜折射率 n_f 和載入系統儲存器的方程式可定義一套對於 6 次多項式方程式係數（步驟 1204），如果該系統是被先前設定在一已設定的入射角，該套修正係數也必須在該參考入射角的基本上而選擇，因為不能調整該系統入射角。

該多項式方程式在該量測相位移 $\Delta\phi_m$ 而使用修正誤差，曾修正過的，被使用來計算正確的薄膜厚度 d_f ，然而，一般獲得誤差修正薄膜厚度可藉由兩基本步驟之一討論上而決定：藉由使用該多項式方程式敏感的決定該修正薄膜厚度，或藉由前計算厚度誤差修正或以一對照表修正厚度值，該厚度誤差修正是使用至修正量測厚度值 d_m 從該量測相位移 $\Delta\phi_m$ 而獲得，修正厚度值可選擇性地在基於一量測相位移的表可簡單的被對照，在最後任何一種情況中，具修正資料的對照表是適合於該薄膜被載入於系統儲存器的折射率 n_f （步驟

1204)，假設該外差反射儀監測系統可設置，然後可基於結構參數參考方程式而重新設置（即，該光線源波長 λ 和入射角 α ）（步驟1206）。

預計一個傳統的生產流程將組成很多的晶圓，每一個有一合適的薄膜折射率，因此，先前所述步驟在一傳統的生產成流程中需不能重複隨後的晶圓，現下厚度量測法可被進行。

在反射儀表載入一晶圓（步驟1208）和圖3A描述有關上面描述發光於該光束分量，從該薄膜層的該反射參考和量測光束分量是分別的被察覺和改變參考訊號 I_{ref} 和量測外差訊號 I_{het} ，在 $\Delta\phi_m$ （量測相位移）感測器中獲的訊號 I_{het} 和 I_{ref} （步驟1212），其次， $\Delta\phi_m$ 為具有修正係數的誤差使用該多項式方程式而修正（步驟1214），隨著修正相位移 $\Delta\phi$ ，修正薄膜厚度 d_f 可被決定使用一個標準的厚度計算，如同等式（10）（步驟1218），例如，端點演算法和輸出。

回到步驟1212，如同提到步驟1204，量測相位移 $\Delta\phi_m$ 在該厚度計算可取代被使用，但誤差將被完成該結果，量測厚度 d_{fm} ，該厚度誤差可以藉由應用一厚度修正到 d_{fm} 而排除（步驟1216），在此情況下，厚度誤差修正資料設備將被載入儲存器中和分離的厚度修正值重新獲得如必須基於量測相位移 $\Delta\phi_m$ 和修正薄膜厚度那時是輸出，該套誤差修正厚度資料仍可選擇性的載入於儲存器中，基於分離量測相

位移取出厚度值，因該厚度資料將被重新處理和指示至量測相位移而該厚度計算不需要被執行。

假設使方法沒有停止，流動從步驟 1210 重複直到所有厚度量測法對於晶圓都完成（步驟 1220），當完成時，可能對其他晶圓的製造檢查（步驟 1224），假如有兩相稱，該過程開始藉由載入新品圓到反射儀表和從那裡接上，因為該指數沒有改變，即不將修正多項式和該系統結構，然而，如果該折射率從該新品圓和先前晶圓不一致，然後目前該套的修正係數事不適合的和選擇一不同的修正多項式方程式，如果該假設一系統是可架構的，該反射儀系統應該為該新折射率而重新配置，因此，該方法再從步驟 1202 開始，不論哪種情況，該量測如同那樣繼續在上面描述直到該最後的後度量測從在流程中最新的晶圓被獲得，此時方法結束。

上面討論在單一層中是有影響力位於中心的，薄膜的應用，然而，如同下所證明，該誤差轉變可被延伸至複數指令，雖然假設最初更多複雜的指令需要兩雷射波長，且兩分離厚度修正對於厚度間距的影響必然地是需要預估正確的厚度，該結果為監測替代 2000 Å 下的薄膜厚度而提供。

圖 13 係具溝狀部之多層堆疊結構之示意圖，藉由與申請在測試制度中類似這些調查，結構 1300 一般包含有光阻層 1314，底部抗反射塗佈層 1316，氧化層 1318 和矽基材 1312，對於假設目的，結構 1300

被分離到 A 和 B 兩區域，區域 B 在溝狀部 1320 側向光阻層 1314 和底部抗反射塗佈層 1316 描述結構 1300 的部分，因此露出氧化層 1318 的表面，區域 A 是結構 1300 的部分在光阻層 1314 的表面被暴露，兩區域廣大的反射能力可被計算使用在獨特的矩陣方法，因目前的外差反射儀使用空間一致的光束分量，為了計算結構的放大反射比這些反射能力清楚的被加起來，當其他兩層的厚度被維持不變光阻層 1314 的薄膜係可不同的從 0 到 2000 Å，當光阻層 1314 的厚度在區域 A 中被改變，在區域 B 中溝狀部 1320 深度相同的也改變。

如上所述，一般地可預計兩個射波長外差反射儀對於估計一厚度間距的影響是必須的，當為了選擇各自的波長使用入射角相同於布魯斯特角，雷射光源使用有 632nm 和 404nm 的波長，為了該厚度間距的影像小心選擇理想的波長，最上層薄膜的厚度可從觸發訊號的相位移被精確的預報，圖 14A 到圖 14D 係描述預告厚度的平面圖當輸入一方程式超過 0 到 2000 Å 的厚度間距，如同從圖上搜集，有最高薄膜層具有該入射角設立在布魯斯特角，厚度間距 0 Å 到 900 Å 和 1600 Å 到 2000 Å 可以被正確的預告使用一源波長 $\lambda = 632 \text{ nm}$ ，但不能正確的在 910 Å 到 1590 Å 區域間預告厚度，對於這厚度間距，源波長 $\lambda = 404 \text{ nm}$ 是被利用完成令人滿意的厚度量測精確性。

因此，隨著布魯斯特角使用如同入射角，兩波長必須正確的預報溝的厚度而察知，複數指令結構，兩相同波長需要兩個分離誤差修正解法，需要四套多項式係數對預告正確的厚度，然而，進一步的電

腦實驗已驗證可在該完整厚度 0 到 2000 Å 範圍被設立在一入射角度可預先僅僅使用單一雷射波長 632nm，對於薄膜樣本測試，實驗性的使用一光源有一波長 362nm 入射角決定在 60°（其中為最上薄膜層的該布魯斯特角對於波長 632nm 是 57.38°），因此，一個算法僅僅需要只有兩套多項式係數，預告薄膜和輸入薄膜的對照結果超過 0 Å 到 2000 Å 的厚度間距可於圖 15A 和圖 15B 看見，因此，符合本發明的實施例，入射角已決定為，因此，排除其必要性對於以量波長設定該外差反射儀。

不久描述本發明提供一不複雜的裝置和對於正確的在即時使用外差反射儀時極薄薄膜的厚度決定方法，然而，如同在相關技藝中了解，傳統的厚度計算是非常依賴對於目標材料的折射率的正確值，對於半導體晶圓生產期間了解真正的厚度是目前的問題，因為該最上層薄膜的折射率經常移動或改變，如同生產過程，因此引入一額外的誤差於厚度計算。

依據本發明的另一實施例，外差反射儀同時與干涉儀對於同樣的決定厚度和薄膜的折射率，此外，厚度計算在及時使用折射率獲得從干涉儀使用資訊是不斷的更新，本發明的這些和其他方面將從系統的描述將理解和下面討論的方法。

圖 16 係為了獲得本發明實施力在一致的薄膜折射率不斷的更新誤差修正薄膜厚度的一結合外差反射儀和干涉儀之示意圖，外差反射

儀/干涉儀系統 1600 (HR/GI 1600) 是對關於圖 3A 外差反射儀系統 300 以上揭露需多方面是近似的，因此，僅僅對這兩實施例作詳細的描述，一個從該光照明先的區別已經更進一步細分外差反射儀局部 1680 是 HR/GI 1600，有感測器 1611 和外差反射儀局部 1680，有零階的光束分量外差反射儀局部 1670 和一階光束分量感測器 1623A，以上描述外差反射儀局部 1670 相同地方程式，具有感測器 1611 生成量測訊號 I_{het} 和感測器 1610 生成參考訊號 I_{ref} (感測器 1610 和 1611 有關於感測器 340 和 350，如同訊號 1620 和 342 與訊號 1621 和 352)，量測訊號 I_{het} 和參考訊號 I_{ref} 通過圖表地被描述如同訊號曲線 1802 和 1804，在圖 18 分別地與該外差相位移 $\Delta\phi_{het}$ 一起，量測外差相位移 $\Delta\phi_m$ 是藉由如上所述的 $\Delta\phi_m$ 感測器 362 而查出，但為清楚的量測干涉相位移 $\Delta\phi_{grtm}$ 如 $\Delta\phi_{hetm}$ 而提及，也將被揭露。

另一方面，外差反射儀局部 1680 利用光柵 1630 得到間隔 p ，為分解光束分量 1640 進入大量的折射條紋，一明亮的主要條紋 (零階光束分量 1642)，位於幾個高階側面 (1、2、3 等等，依次折射條紋)，僅僅使用一階光束分量 1643，干涉的間隔原本基於三個充分的條件，布拉格折射條件為波長的選擇，為厚度量測動態範圍，和干涉儀的結果，短暫的回看圖 17A 和圖 17B，對於干涉操作的原理可以被看見，從何處可查知至少分解光線光束分量的一部份將從藉由額外數量的參考訊號有相位移，即，透過兩分離相位移，該 s 偏極光束分量在這些圖示如同清楚的從該 p 偏極光束分量分離而描述，如

同上所敘述第一相位移從具有薄膜 314 結果有相互影響，入射光束分量 303 被分離違反射光線 305-1s 和折射光線 305-2s 和 305-2p，藉由底層用每一個折射攻陷和反射光線從一其他的透過垂直距離 x 反射，其中，

$$x = 2d_f \tan \rho \cdot \cos \alpha = \frac{2d_f \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\sqrt{n_f^2 - \sin^2 \alpha}} \quad (12)$$

x 是兩鄰近光線的垂直距離；

d_f 是薄膜厚度：

ρ 是反射進入薄膜的角度：

α 是入射角：和

n_f 是薄膜的折射率

第二個階段轉變在僅僅分解的輕帶狀物，一階光束分量 1643，從光柵 1630，上發生(出現)和在僅僅第一次序(訂單,命令)衍射帶狀物上(包括分解的一階光束分量 1643 - 1s，1643 2s 和 1643 - 2p)因而觀察。那裡，由光柵 1630，一階光束分量 1643 - 1s，1643 2s，和 1643 - 2p 產生的第一次序(訂單,命令)光線表現出(陳列)爐柵引起的階段轉變， δ_{gr} ，與一個路徑差別一致，當一致增加時 付訖，定義為：

第二相位移僅僅發生於分離光線條紋，光線 1643 從分離光柵 1630，且必然地被觀察到在 1 階分離條紋（包括分離光線 1643-1s、1643-2s 和 1643-2p），那裡，一階光線藉由分離光柵 1630、光線 1643-1s、1643-2s 和 1643-2p 產生，在一致的附加上顯示一干涉產生相位移 δ_{grt} ，與相符合路徑差 PD ，定義如：

$$PD = \frac{mx\lambda}{\rho} \quad (13)$$

PD 是介於兩相鄰的一階分離光線之間的垂直距離；

m 對於在一階條紋中分離條紋是完整不變的；

$$m = 1;$$

是外差照亮光源的波長；和

是折射在薄膜的角度。

因零階光束分量 1642 是不被分離的，但直接不變的通過折射光柵 1630，干涉生成相位移 δ_{grt} ，從與光柵 1630 相互影響，僅僅在一階光束分量 1643-1s、1643-2s 和 1643-2p 被察知（回憶因為那入射角 α 是選擇接近於布魯斯特角）（內定入射角度為 $\alpha = 60^\circ$ ），缺少反射光線 305-1p，即，BS1632 後的 1640-1p，因 $r_{\text{lp}}(\omega + \Delta\omega) \approx 0$ ），也如同上所提及，相位移歸咎於薄膜在光線 305-2s 和 305-2p 是 $2\delta_{\text{het}}$ ，因此，總相位移在干涉儀上 δ_{GI} ，在一階折射在光線 1643-2s 和 1643-2p 上是 $2\delta_{\text{GI}}$ ，其中 $\delta_{\text{GI}} = \delta_{\text{het}} + \delta_{\text{grt}}$ 。

回到圖 16，外差反射儀局部 1680 為了生成兩分離訊號分別地為零階折射光束分量和一階光束分量而利用感測器 1612 和 1613，因從光柵 1630 的零階光束分量 1642 不被分解，他們的相位不藉由光柵 1630 改變，因此，感測器 1612 生成一外差反射儀訊號 I_{het} 1622 和該相位移對量測訊號 I_{het} 基本上保持在 $\Delta\phi_{het}$ ，從感測器 1610 具有關於參考訊號 I_{ref} ，因此，如同一實際的事情，可除去路徑 356 和感測器 1611，如同 BS1632。

相反地，一階光束分量 1643 從光柵 1630 被分解，從干涉產生在一附加的相位移 δ_{grt} ，由於傅立葉移轉理論，感測器 1613 從一階光束分量生成干涉訊號 I_{GI} 1623，一量測干涉相位移 $\Delta\phi_{GIm}$ ，從訊號 I_{het} 和 I_{GI} 被察覺在同一方法去從訊號 I_{het} 和 I_{ref} 的察覺 $\Delta\phi_{hetm}$ ，量測相位移 $\Delta\phi_{hetm}$ 介於訊號 I_{het} 和 I_{ref} 兩者之間，如上所述，提供資訊有關薄膜的光學厚度，另一方面，干涉相位移 $\Delta\phi_{grtm}$ 介於訊號 I_{GI} 和 I_{het} 兩者之間，在決定薄膜的折射率 n_f 提供額外的資訊是有用的，因此，從訊號 I_{ref} 、 I_{het} 和 I_{GI} 獲得薄膜折射率 n_f 是可能的。

$\Delta\phi_{hetm}$ 感測器 362 收到參考訊號 I_{ref} 1620 和從分別的感測器兩者之一的量測訊號 I_{het} 1621 或 1622 和在這兩者間察覺/量測相位移 $\Delta\phi_{hetm}$ ，如同在其他地方上面討論，量測相位移 $\Delta\phi_{hetm}$ 應該誤差些修正先前去做藉由使用厚度計算，例如，該多項式方程式，因此， $\Delta\phi_{het}$ 感測器 366 從 $\Delta\phi_{hetm}$ 感測器 362 收到量測相位移值 $\Delta\phi_{hetm}$ 和應用該誤差修正

演算法，然後透過 d_f 計算器 368 修正相位移 $\Delta\phi_{het}$ ，但也透過 n_f 計算器 1696，因為原因立即在下面討論。

$\Delta\phi_{grtm}$ 感測器 1690 收到干涉訊號 I_{GI} 1623 和從分別的感測器兩者之一的量測訊號 I_{het} 1621 和 1622 和在這兩這之間察覺/量測相位移藉由單獨干涉在干涉訊號 I_{GI} 1623 引起，即， $\Delta\phi_{grtm}$ 是介於干涉訊號 1623 和量測訊號 1621 和 1622 兩者之一察覺，量測訊號 I_{het} 和干涉訊號 I_{GI} 通過圖表被描述，分別的如同訊號曲線 1802 和 1902，在圖 19 與外差相位移 $\Delta\phi_{grt}$ 一起。

本發明的特點是不斷的更新具符合的厚度計算的能力和及時為薄膜的折射率修正數值，因此，在生產過程中可獲得非常正確的薄膜厚度，不需依靠在薄膜折射的變化，在折射率中的改變可由於從該方法自身在薄膜折射率中的改變，即， SiO_2 的氮化物在習慣的方法中去形成 High-k SiON。

檢查薄膜的折射率可從相位移 $\Delta\phi_{het}$ 和相位移 $\Delta\phi_{grt}$ 被決定，然而，與該量測外差相位移相似的，由 $\Delta\phi_{grtm}$ 感測器 1690 探測的量測干涉相位移 $\Delta\phi_{grtm}$ 有必須修正先前的指數計算的固有誤差，然後修正干涉相位移 $\Delta\phi_{grt}$ 被送至 n_f 計算器 1696， n_f 計算器 1696 為決定 n_f 利用一分離方程式（如下面的等式（24）），然後送至 d_f 計算器 368，薄膜計算器，例如等式（10）上利用 d_f 計算器 368 為計算薄膜厚度 d_f 而運用 n_f 。

薄膜厚度 d_f 可選擇性的從該正確的修正干涉相位移 $\Delta\phi_{grt}$ 和修正外差相位移 $\Delta\phi_{het}$ 而直接的獲得，相位移 $\Delta\phi_{grt}$ 那裡從 $\Delta\phi_{grt}$ 校正器 1692 獲得和 $\Delta\phi_{het}$ 從 $\Delta\phi_{het}$ 校正器 366 如同計算器 370 獲得，該薄膜計算器，例如等式 (23) 上不依靠 n_f 利用計算器計算薄膜厚度 d_f 。

設備安裝有入射角 α ，接近於布魯斯特角 ($\alpha=60^\circ$)，在這角度上，p 偏極光從薄膜上表面有極小的或沒有反射，從感測器 1611 豐富具有薄膜厚度資訊的量測訊號 I_{het} 1621 是可能的，對於薄膜在矽基材上，量測訊號 I_{het} 可從感測器 1611 而被表達：

$$R_{het} \propto \frac{r_{1s}^2 + r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta_{het}}{1 + r_{1s}^2 r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta_{het}} + \frac{r_{2p}^2}{1} + \frac{2f \cos(\Delta\omega t)}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta_{het}} + \frac{2[c + af] \cos(\Delta\omega t + 2\delta_{het})}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta_{het}} + \frac{2ac \cos(\Delta\omega t + 4\delta_{het})}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta_{het}} \quad (14)$$

其中， $a=r_{1s}r_{2s}$ ， $b=r_{1p}r_{2p}$ ， $c=r_{1s}r_{2p}$ ， $d=r_{1p}r_{2s}$ ， $f=r_{2s}r_{2p}$ ， $g=r_{1s}r_{1p}$ 和

$\delta_{het} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \times d$ 需要為了計算薄膜厚度而量測相位移，是為 1nm SiON 薄膜的 25 毫拉德

在等式 (14) 中，有相位資訊的外差條件是由於涉及 $r_{1s}(\omega)$ 和 $r_{2p}(\omega+\Delta\omega)$ 修正附加的條件，薄膜厚度資訊從等式 (18) 的開方在其他處被解釋。

$$r_s = \frac{r_{1s} + r_{2s} e^{-i2\delta_{GI}}}{1 + r_{1s} r_{2s} e^{-i2\delta_{GI}}} \quad (15)$$

干涉儀的目的是提供一交替接近量測薄膜的相位/厚度，藉由結合具外差反射儀的量測法，薄膜的折射率可被決定，隨著外差反射儀的分析，接下來的等式可從干涉儀的一階光束分量而理解，對於單一薄膜指令，該 s 偏極反射係數隨著下列等式而描述：

p 偏極反射係數如等式：

$$r_p = \frac{r_{1p} + r_{2p} e^{-i2\delta_{GI}}}{1 + r_{1p} r_{2p} e^{-i2\delta_{GI}}} \quad (16)$$

其中， $\delta_{GI} = \left[\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \times d + \frac{2\pi (\pm m) \times \sin \alpha \times \cos \alpha}{p \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \times d \right]$ ， $\delta_{GI} = \delta_{het} + \delta_{grt}$ 和 $m=1$ 為一階光束分量。

當混合兩偏極時，由感測器察覺組合的廣大反射係數可被寫成：

$$r_{GI} = (r_s e^{i\omega t} + r_p e^{i(\omega + \Delta\omega)t}) \times \cos 45^\circ \quad (17)$$

隨著放大反射比可被表達如：

$$R_{GI} = r_{eff} \times r_{eff}^* \times (\cos 45^\circ)^2 \quad (18)$$

在等式 (18) 替代等式 (15)、(16) 和 (17) 後，在布魯斯特角於感測器 1613 從 R_{GI} 的訊號 I_{GI} 1623 被表達如：

$$R_{GI} \propto \left[\frac{r_{1s}^2 + r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta_{GI}}{1 + r_{1s}^2 r_{2s}^2 + 2r_{1s}r_{2s} \cos 2\delta_{GI}} + \frac{r_{2p}^2}{1} + \frac{2f \cos(\Delta\omega t)}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta_{GI}} + \frac{2[c + af] \cos(\Delta\omega t + 2\delta_{GI})}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta_{GI}} + \frac{2ac \cos(\Delta\omega t + 4\delta_{GI})}{1 + a^2 + 2a \cos 2\delta_{GI}} \right] \times DE \quad (19)$$

其中， ΔE 是為一階光束分量的反射效率和：

$$\delta_{GI} = \left[\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \times d + \frac{2\pi (\pm m) \times \sin \alpha \times \cos \alpha}{p \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \times d \right] \quad (20)$$

等式 (14) 從感測器 1611 和 1612 是量測訊號 I_{het} 的代表，在干涉儀 1680，藉由監測沒有交集的量測訊號 I_{het} 1622 和干涉訊號 I_{GI} 1623，該干涉引起的相位移 δ_{grt} 可被決定，該干涉引起的相位移 δ_{grt} 也可藉由其他已知的相位量測技術而決定。

藉由比較沒有交集的參考訊號 I_{ref} 1620 和量測訊號 I_{het} 1621 或 1622，相位移 $\Delta\phi_{het}$ 引起由極薄薄膜被決定，外差反射儀也可藉由其他已知的相位量測技術而決定，這外差相位移可被表示：

$$\Delta\phi_{het} = \frac{2\pi \times \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \times 2d}{\lambda} = 2 \times \delta_{het} \quad (21)$$

從量測訊號 I_{het} 1621 或 1622 和干涉訊號 I_{GI} 1623，干涉引起相位移 $\Delta\phi_{grt}$ 可被決定不依靠 $\Delta\phi_{het}$ ，干涉係位移可被表示如：

$$\Delta\phi_{grt} = \frac{2\pi \times \sin \alpha \times \cos \alpha \times 2d}{p \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = 2 \times \delta_{grt} \quad (22)$$

透過等式 (22) 和在簡單的代數後相乘等式 (21)，物理的厚度可被表達如：

$$d = \sqrt{\left(\frac{\Delta\phi_{het} \times \Delta\phi_{grt} \times \lambda \times p}{16\pi^2 \sin \alpha \times \cos \alpha} \right)} \quad (23)$$

透過等式 (22) 和在簡單的代數後除等式 (21)，該折射率 n 可被表達如：

$$n = \sqrt{\sin^2 \alpha + \left(\frac{\Delta\phi_{het}}{\Delta\phi_{grt}} \right) \frac{\lambda}{p} \sin \alpha \times \cos \alpha} \quad (24)$$

因此，目前外差反射儀(HR)與光柵干涉儀(GI)可被獨立地使用而決定薄膜的物理厚度 d_f 和折射率 n_f ，如同在計算器 370 描述於圖 16，從 d_f 輸出 369 取得由計算器 368 而取得 d_f 輸出 371，在柵電解質計量學中這特色是特別有意義的，其中薄膜接受指數改變和厚度改變，例如，在高 K 柵氧化過程，電介質薄膜接受光學厚度改變，這改變的部分是歸咎於薄膜的膨脹和部分指數的改變，對於流程控制能夠分開兩個是重要的，先前技術不能從他們量測的參數分析出兩者的變化有相關性，目前的方法克服這缺點，因為薄膜厚度 d_f 和折射率 n_f 兩者可獨立的決定，使用光柵引起相位移 $\Delta\phi_{grt}$ ，可獨立的決定外差相位移 $\Delta\phi_{het}$ 。

折射率的計算需要精確的外差相位移資訊 $\Delta\phi_{het}$ ，如同精確的光柵相位移資訊 $\Delta\phi_{grt}$ ，因此，修正演算法應該為每一個量測值修正而獲得，方法位獲得外差相位移修正演算法從具有已知的薄膜厚度和已知的反射率被揭露在圖 11 的相關流程圖上的標準晶圓，方法為取得光柵相位移修正演算法從具有已知薄膜厚度和對於在圖 20 中有間隔 p 的光柵已知反射率，如相同的方法獲得相位移修正演算法。

相應地，方法藉由選擇有單一已知的折射率和很多已知的厚度的一些標準的晶圓開始（步驟 2002），假如可能，調整了外差反射儀系統對於一入射角 基於標準的薄膜和外差源波長 λ 的已知折射率 n_{fk}

(步驟 2004)，入射角 α 可選擇性的設立一以決定的內定角度，即， $\alpha = 60^\circ$ ，在這點上，光柵的間隔 p 也被注意。

在操作方面，分裂頻率偏極光束分量在外差反射儀系統中反射離開薄膜，對於每一個 j 晶圓導引外差量測訊號 I_{het} 和光柵訊號 I_{GI} 的產生(步驟 2006)，這些訊號與對於量測外差相位移 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 以多項式方程式為一套修正係數和對於量測光柵相位移 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ 以多項式方程式為其他套的修正係數決定標準晶圓的已知薄膜參數被使用，量測外差相位移 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 是從為每一標準晶圓 j 的參考訊號 I_{ref} 和量測訊號 I_{het} 決定(步驟 2008)然後和被使用在為相關於誤差在量測訊號 $\Delta\phi_{\text{ml-j}}$ 中 6 次多項式方程式的確定係數(步驟 2010)，以類似的方法，量測光柵相位移 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ 被決定從對於每一標準晶圓的量測訊號 I_{het} 和光柵訊號 I_{GI} (步驟 2012)，然後正確的光柵相位移 $\Delta\phi_{\text{grtkl-j}}$ 從已知的折射率 n_f 和大量已知的薄膜厚度 $d_{\text{fk1-j}}$ (如同在等式(22)所顯示)而取得，然後被使用來取得為關於誤差在量測相位移 $\Delta\phi_{\text{grtm1-j}}$ 的 6 次多項式方程式的一套係數(步驟 2014)，為找到薄膜折射率 n_f (例如使用上面的等式(24))修正光柵相位移和修正外差相位移將重要的使用，然後薄膜厚度計算可從修正相位移而不斷的更新折射率 n_f ，因此，該套修正係數具有為修正量測外差相位移 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 的多項式方程式和第二套修正係數具有為修正量測光柵相位移 $\Delta\phi_{\text{Glm}}$ 的多項式方程式被儲存具有標準晶圓的參考折射率和結構參數。

本發明在靈敏的透過使用誤差修正厚度等式容易使用高精確的薄膜厚度計算，在薄膜層的折射率為改變而不斷的更新，因此，在折射率的生產過程之間的改變將不影響薄膜厚度結果的正確性，一實施的方法在厚度計算的期間為不斷的更新指數是如下所表示。

圖 21A 和圖 21B 係從依據本發明實施例不斷的更新厚度計算折射率不分的外差反射儀訊號獲得修正薄膜厚度方法的流程圖，方法開始為藉由晶圓的上面的薄膜層的決定最初的折射率 n_f ，即，一生產晶圓（步驟 2102），兩適合的多項式方程式使用指數示縮減在量測訊號中修正誤差和載入進系統儲存器 RAM（步驟 2104），第一多項式方程式具有一套合適的修正係數，為在量測外差相位移 $\Delta\phi_{hetm}$ 的修正誤差而確認，第二多項式方程式具有一套合適的修正係數，為在量測光柵相位移 $\Delta\phi_{grtm}$ 的修正誤差而確認，為量測外差相位移 $\Delta\phi_{hetm}$ 以多項式方程式為外差修正係數是使用從量測外差相位移 $\Delta\phi_{hetm}$ 可被使用於產生正確的薄膜厚度決定修正外差相位移 $\Delta\phi_{het}$ ，相反地，為量測光柵相位移誤差以多項式方程式為光柵修正係數是被使用於具有為薄膜以產生正確的折射率 n_f 修正外差相位移 $\Delta\phi_{het}$ 可以被使用從量測光柵相位移 $\Delta\phi_{grtm}$ 決定修正光柵相位移 $\Delta\phi_{grt}$ ，因為正確的厚度計算式依靠著正確的折射率，這新的折射率為薄膜厚度計算的折射率條件不斷的更新使用，例如厚度等式（10）（步驟 2106），在傳統的生產流程中對於後來的晶圓不需要重複此步驟，因為對於個別

的生產品圓薄膜的折射率通常是常數，具不斷更新折射率的後度量測計算現在可被進行。

一晶圓被載入在反射儀表上和被照明，一參考訊號從光源和量測與光柵光束分量從薄膜曾被決定和改變參考訊號 I_{ref} 量測外差訊號 I_{het} 和光柵訊號 I_{GI} ，外差量測訊號 I_{het} 和參考訊號 I_{ref} 在 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 外差相位移感測器上取得，同時地當外差量測訊號 I_{het} 和光柵訊號 I_{GI} 在 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ 光柵引起相位移感測器上獲得（步驟 2110）， $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 感測器從 I_{ref} 和 I_{het} 訊號決定（步驟 2112）。

量測外差相位移 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 是被修正的，為 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 到真正的 $\Delta\phi_{\text{het}}$ 而使用誤差修正多項式方程式（步驟 2114），雖然誤差修正量測外差相位移 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 超過先前技術的方法巨大的增加後度量測的精確度，藉由在薄膜厚度計算中在生產期間改變或堆積獲得更精確的是可能的，最重要的是薄膜的折射率，因此，在平行操作下， $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ 感測器從 I_{het} 和 I_{GI} 訊號決定 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ （步驟 2116），然後量測光柵相位移 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ 是被修正的，為 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ 到真正的 $\Delta\phi_{\text{grt}}$ 而使用誤差修正多項式方程式（步驟 2118）。

透過有真正的修正光柵相位移 $\Delta\phi_{\text{grt}}$ 和修正外差相位移 $\Delta\phi_{\text{het}}$ ，方法值為折射率可被決定使用折射率計算，例如等式（22）（其他必要資訊如同源波長資訊 λ ，入射角 α 和間隔 p ）（步驟 2120），更新折射率 n_f ，然後可在即時的薄膜厚度計算中不斷的被使用更新折射率參

數（步驟 2120）和薄膜厚度 d_f 也從那獲得（當然使用源波長資訊 λ 和入射角 α ）（步驟 2124），然後 d_f 可被輸出使用，例如，末端點決定（2126）。

在步驟 2118 薄膜厚度 d_f 可選擇性地或同時地從真正的修正光柵相位 d_f 移和修正外差相位移 $\Delta\phi_{het}$ 是可被直接地獲得，使用上面的等式（23）（具有源波長資訊 λ 和入射角 α ）（步驟 2123），然後從光柵干涉儀子系統取得 d_f 的值可被與從外差反射儀子系統取得 d_f 的值比較，如品質保證證明和/或直接的使用，例如，末端點決定（步驟 2126）。

流程不斷地從步驟 2110 重複為了通用的晶圓直到方法被終止為止（步驟 2128），其特徵在於其他晶圓為最初的折射率被檢查（步驟 2130 和步驟 2132）和量測過程持續如同上所描述直到最後的後度量測法在流程從最新的晶圓中取得，然後方法結束。

根據本發明另一個實施例，量測訊號 I_{het} 是被增大改變反射光束分量方向回到至薄膜目標在入射角 α ，這雙重通行的方法有優於抑制較多 p 偏極光從上面討論單一通行方法的薄膜表面的。

圖 22 係組合外差反射儀和光柵干涉儀藉由本發明實施例改變反射光束分量方向回到至薄膜目標而利用雙重通行方法，外差反射儀/光柵干涉儀系統 2200 是近似於外差反射儀系統 300 和組合外差反射儀和光柵干涉儀 1600，以上揭露有關於圖 3A 和圖 16，且因此僅僅與

雙重通行方法的方面將被討論，然而，雙重通行方法敏感地討論在任何反射儀實施例提供增大反射儀的量測法應該清楚的。

基本上，量測光束分量的雙重通行藉由從薄膜表面改變光束分量反射方向被完成，在入射角等於第一通行回到薄膜，例如，關於圖 22，入射光束分量 303 通行經過 BS223，在光譜 332 和到目標薄膜 314 上改變方向，反射光束分量 305，包含分裂頻率 s 偏即和 p 偏極光束分量，在光譜 334 取得，有一 HR (high reflection; 高反射) 塗佈在一表面，在薄膜 314 被反射回至目標上如同光束分量 2206，當在本實施例描述，基本上光束分量 2206 折返光束分量 305 的回至目標在入射角 α ，光束分量 2206 與薄膜 314 互相影響且被反社會至光譜 332 當反射光束分量 2208，然後在上面分光器 2233 被反射在外差反射儀部份 1670 和/或外差反射儀光柵外差反射儀局部 1680 上，在如此方面，相位移可歸因於對薄膜有效的增加一倍，因此藉由二的一因素提高反射儀的量測法敏感性，不久描述實施例為改變光束分量路徑的方向利用一塗布光譜，基本上回到自己上，其他光學部分如同鏡面被使用或一套光學部分為在入射的最初平面定義最初的通行改變光束分量方向回至薄膜，或除了最初的入射平面以外在平面上的，此外，在某情況下在薄膜上有多於兩通行的是有利的。

雖然對於光束分量的入境距離增加 d ，由於已經有效的增加一倍的在 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 改變，在相位移增加將符合修正係數至多項式方程式。

在圖 23 說明本實施例的外差反射儀的分析，s-偏極部分當清楚的從 p 偏極光束分量分離而描述，從描述中可察覺兩偏極部分經歷雙重通行薄膜反射比，例如，s 偏極光束分量與薄膜 314 相互影響，生成光線 305-1s 和 305-2s 藉由鏡面 2236 被改變方向回至薄膜 314，然後這些光線再一次的與薄膜相互影響，可被察覺生成雙重通行 s 偏極光束分量 2208s，基本上 p 偏極光束分量 303p 跟隨同一路徑，但如同上面討論，薄膜 314 比 s 偏極光束分量更有不同的相互影響。

為單一薄膜指令，s 偏極光束分量反射比是：

$$r_s = \frac{r_{1s} + r_{2s}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1s}r_{2s}e^{-i2\delta}} \times \frac{r_{1s} + r_{2s}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1s}r_{2s}e^{-i2\delta}} \quad (25)$$

和 p 偏極反射比是：

$$r_p = \frac{r_{1p} + r_{2p}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1p}r_{2p}e^{-i2\delta}} \times \frac{r_{1p} + r_{2p}e^{-i2\delta}}{1 + r_{1p}r_{2p}e^{-i2\delta}} \quad (26)$$

其中， $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \times d$ 和 α 是入射角。

當混合兩偏極時，由感測器感覺組合廣大反射比可被寫誠如

$$r_{\text{eff}} = (r_s e^{i\omega t} + r_p e^{i(\omega + \Delta\omega)t}) \times \cos 45^\circ \quad (27)$$

$$R_{\text{eff}} = r_{\text{eff}} \times r_{\text{eff}}^* \times (\cos 45^\circ)^2 \quad (28)$$

$\cos 45^\circ$ 表示混合在感測器的兩偏極，等式 (4) 的代數運用用手是不便地，生產 324 分子條件和 81 分母條件，因此模仿等式，一對照圖

介於單一通行方法和雙重通行方法者間被表示在圖 24，從那圖表，敏感地差別介於標準單一通行外差反射儀（介於曲線 2402 和曲線 2404 兩者之間的差別）和更高敏感地雙重通行外差反射儀（介於曲線 2402 和曲線 2406 兩者間的差別）兩者間可被察覺，如同期望，因為給定薄膜厚度由雙重通行外差反射儀感覺相位移是單一通行外差反射儀的雙份， $0.7 \text{ \AA}$ 決定方法（具有 10%氮化物的 SiON 薄膜）可被獲得具有感測器能夠解答 0.2° ，這是在現成的電子學範圍內（即，向量電壓）。

儘管雙重通行方法從薄膜表面提供更好 p 偏極光的壓抑，在強烈的 s 偏極光也有一些相對應的減少，在極端的對照這引導到一些簡化如同在假設是被象徵，目前分析假設“駐波”再薄膜內創造再節點和反節點將不促成任何指數差異，考慮到波長利用於此和在外差反射儀中放大層次。

再一次轉向目前反射儀的實施例的圖示，圖 3A、圖 16 和圖 22，正確の後度量測法依賴正確的量測相位移的大範圍決定在相位移感測器 362 和 1690 的了解是重要的，這些部分的操作將被描述，因為本發明的相位移感測器之實施例的操作是適用於外差相位移感測器（為找到介於 I_{het} 和 I_{ref} 相位差別）或光柵相位移感測器（為找到介於 I_{het} 和 I_{GI} 相位差別），將一般地提到該訊號。

然而，在相位差別之前可正確的決定介於之間的訊號，訊號為了相位對照應該被改變至更好的形式，當基本為轉變訊號的一”合適的方程式”完成使用等式（1）。

圖 25 是描述依據本發明的實施例決定一相位移差介於兩訊號之間的流程示意圖，這方法用於從他們的個別的訊號計算 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 和/或 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ ，最初，訊號資料應該在適合的方程式中除去參數前過程，如同直流部分參數，透過思想中心資料訊號完成然後和每一個振幅至最高的振幅值標準化，其次，參考訊號是合適於該合適的方程式：

$$I_r = B_r \cos(\Delta\omega_r t + \phi_r) \quad (\text{步驟 2504}), \text{ 其中:}$$

B_r 是參考訊號振幅；

ϕ_r 是介於兩外差訊號之間的相位差；和

$\Delta\omega_r$ 是介於兩外差訊號之間的角頻率差。

以後的樣品訊號是合適於一近似合適方程式： $I_s = B_s \cos(\Delta\omega_s t + \phi_s)$ （步驟 2506），其中：

B_s 是樣品訊號振幅；

ϕ_s 是介於兩外差訊號之間的相位差；和

$\Delta\omega_s$ 是介於兩外差訊號之間的角頻率差。

隨著參考和樣品資料適合於相似合適方程式，介於兩訊號之間的相位角當 $\Delta\phi = \phi_s - \phi_r$ 被決定（步驟 2508），對於察覺 $\Delta\phi$ 的各種方法在下面立即表示，其中合適的在圖 26A 到圖 26D 概略地被描述的部分。

依據一實施例，介於參考和樣品資料之間的相位角藉由運用相交關係方法對兩訊號而決定，使用這選擇，一相交關係方程式是第一適用於兩資料級數（即，`xcorr(data1,data2)`）描述在為演算發展和資料象形化的一高階技術的電腦語言，如同 MatLab，這是顯示出的商標，和可用從 The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts），其次，在相交關係有一個最大的值而找到延遲，最後，介於參考和樣品之間的相位移從在觸發循環中延遲比對到達資料點的數目而決定（即，延遲/（數字化比率 x 觸發頻率））。

更特別地，相交關係程序是估計角度的方法對於兩級數是相關聯的，數學把程序定義如下：

$$r = \frac{\sum_i [(x(i) - mx) * (y(i - d) - my)]}{\sqrt{\sum_i (x(i) - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y(i - d) - my)^2}} \quad (29)$$

其特徵在 $x(i)$ and $y(i)$ 其中 $i = 0, 1, 2 \dots (N - 1)$ 代表兩級數被分析和是估計在相交關係延遲 d ，值 mx 和 my 相關級數的方法，一般相交關係被表示如 $r(d)$ 。

基本上，為參考和樣品訊號的數字化資料是認定隨著數字化比例的比對觸發頻率 $\Delta\omega$ 決定相位角的分辨率，因此資料在一比例大於要求

的相位角分辨率必須數字化，認定資料的長度（N；樣品數目）必須夠長對允許干涉減少技術被應用，再系統中的偏移不在，優先更長的認定時間。

其次，相交關係方程式是運用於兩資料級數，下面將介紹相交關係計算的實施代碼：

```
[c,lags] = xcorr(data(:,1),data(:,2))
[Y,I] = max(abs(c))
maxlags = lags(I)
```

其次，選擇在相交關係有一最大值的延遲，透過接著的實施代碼計算相交關係方程式的最大值：

```
[Y,I] = max(abs(c))
maxlags = lags(I)
```

最後，延遲值藉由比例衰退直至數字化比的比例對觸發頻率產生部份的相位而改變相位衰退值，可改變角度。

實際上，在上面列成表的程序應該兩次被完成，第一次由於光學部分或電子學沒有樣品設置消除任何有系統的相位移如同無效的量測，第二次樣品被安裝和相位移為樣品薄膜將直接的決定。

和如同在圖 26A 中所描述，選擇性地參考 RF1 和樣品 RF2 訊號可被送至時間間隔計算器 2602，量測時間介於在訊號中的參考點之間（介於開始 T1 和停止 T2 之間）如同沒有相交，訊號也被量測之時期，時間差別對時期的關係產生相位移。

依據決定的另一個方法介於參考和樣品順序之間的相位移，在圖 26B 中描述，訊號 RF1 和 RF2 被送到混合器 2612，總和和差別的頻率被創造，因為新號 RF1 和 RF2 有相同的頻率，差別頻率是一電壓，與相位差別成比例的，相反地，相位移 2610 為了在混合器 2612 中設立訊號而有相同的最初的相位也可包含以致於更晚相位改變的量測法不具抵銷的被執行，作為在為減少干涉的輸出可低通行過濾器 2614。

在修改方法中於圖 26C 中描述，輸出是反映通過放大器 2616 至相位移 2610 使包遲在混合器 2612 中鎖住，在這訊號是回饋訊號，與相位差別成比例的。

關於決定相位差別使另一個裝置停止，如同圖 26D 中所描述，參考 RF1 和樣品 RF2 訊號被送至分離混合器 2612 和 2622，藉由擺動器 2630 設立每一具有共有參考頻率，從混合器 2612 和 2622 產生觸發頻率被送至時間間隔計算器 2632，時間差別介於觸發訊號之間，以計算器 2632 解決，與相位差別相關。

圖 27 係一流程圖，描述為決定一相為差別（即， $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 和/或 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ ）過程介於兩訊號之間可依據本發明其他的實施例使用離散傅立葉轉換完成，流程圖描述在外差參考訊號計算相為差別隨著在外差量測訊號計算差別（步驟 2710~2716），但是作為一個實際的事情這兩計算的結果對沒有從本發明的精神或範圍描述可平行或相反的產

生，此外，方法用於決定相位差別介於兩訊號之間，例如從參考訊號 I_{ref} 與量測訊號 I_{het} 和/或量測訊號 I_{het} 和光柵訊號 I_{GI} ，如同在 $\Delta\phi_{\text{hetm}}$ 感測器 362 和/或 $\Delta\phi_{\text{grtm}}$ 感測器 1690 所呈現。

如論如何，外差訊號是合適於數位器，在足夠小的樣品間隔 δt 每一訊號樣品，那抽樣比例超過兩倍的觸發訊號 $\Delta\omega$ (步驟 2702 和 2710)，每一數位器的輸出是適合數位訊號處理器，那分別的 n 資料樣品的區塊代表搭量數目訊號的擺動週期， $\text{Block}_{\text{ref}}$ 和 $\text{Block}_{\text{het}}$ ，資料送至數位訊號處理器具有產生 u_r ，其中 $r = 1, 2, 3, \dots, n$ ， n 為有效的處理，在區塊中大量的樣品是理想地設立於 2 次方積分，更長的資料區塊，更很大的將決定相位的正確性。

其次，數位訊號處理器在每一區塊計算 DFT (DFT_{het} 和 DFT_{ref}) (步驟 2704 和 2712)，在每種情況下，DFT 輸出將組成 n 複雜的級數數字，其中， $s = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

僅僅需要考慮從第一半級數值，以決定相位移 $\Delta\phi$ ，僅僅最接近滿足

等式 s 值 $\Delta\omega = \frac{2\pi(s-1)}{n\delta t}$ 需要被定義 (步驟 2706 和 2714)，最後，對

於每一區塊， $\text{Block}_{\text{ref}}$ 和 $\text{Block}_{\text{het}}$ ，相位從複合數目 v_s 的虛數部分的

比例的反切線而計算，即， $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Im}(v_s)}{\text{Re}(v_s)}\right)$ ，對於任何的量測，參考或光柵訊號 (步驟 2708 和 2716)

隨著因每一個(這些)訊號出名的階段, 能夠計算任何兩個階段中的差別; 即, $\Delta\phi_{\text{hetm}} = \phi_{\text{het}} - \phi_{\text{ref}}$; 或者 $\Delta\phi_{\text{grtm}} = \phi_{\text{GI}} - \phi_{\text{het}}$ 。此時過程(方法)結束

隨著每一訊號已知的相位, 在任何兩相位的差別可被計算, 即, $\Delta\phi_{\text{hetm}} = \phi_{\text{het}} - \phi_{\text{ref}}$; or $\Delta\phi_{\text{grtm}} = \phi_{\text{GI}} - \phi_{\text{het}}$, 然後方法結束。

在以下的專利範圍中相對應的架構、材料、動作和等價所有方法或步驟加方程式原理是預定包含任何結構、材料、位履行方程式的動作符合其他範圍原理如同明確的專利範圍, 雖然本發明已經揭露關於沉積和蝕刻方法, 被廣泛的運用, 例如, 依據還有另一個實施例, 本發明被請求得到為殘留的濾渣而檢查晶圓表面, 如同薄銅 (Cu) 在 CMP 晶圓上, 具有同的區域將呈現比銅離子鄰近區域更高的相位移, 這些普通的技術在先前技術中將欣然了解和察覺本發明和其他使用的運用。

雖然本發明已以具體實施例揭露如上, 然其所揭露的具體實施例並非用以限定本發明, 任何熟悉此技藝者, 在不脫離本發明之精神和範圍內, 當可作各種之更動與潤飾, 其所作之更動與潤飾皆屬於本發明之範疇, 本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

圖 1 係顯示習知外差式干涉儀之示意圖;

圖 2 係顯示習知外差式干涉儀之量測訊號示意圖；

圖 3A 係本發明之外差反射儀運用於量測薄膜厚度符合本發明最佳實施例之圖表；

圖 3B 係本發明之光束分量到薄膜的相互作用的放大示意圖；

圖 4 係本發明之強度與類比結果的時間在法線向量入射角($\alpha = 0^\circ$)之示意圖；

圖 5 係本發明之強度與類比結果的時間在入射角度取 20.0° ($\alpha = 20.0^\circ$) 之示意圖；

圖 6 係本發明之強度與類比結果的時間在兩個不同薄膜厚度於入射角度取 60° ($\alpha = 60.0^\circ$) 之示意圖；

圖 7 係本發明之在入射角為 60° 時計算出的薄膜厚度與真正的薄膜厚度兩者間的對照示意圖；

圖 8 係本發明之誤差與輸入厚度的示意圖；

圖 9 和圖 10 係本發明對於找到薄膜厚度入設角度為 60° 的證明正確的誤差計算的示意圖；

圖 11 係本發明之描述為一相位移修正的多項式方程式決定係數根據本發明的實施例決定外差相位移量測法的流程圖；

圖 12A 跟圖 12B 係本發明之依據本發明的實施例從外差反射儀訊號獲得一致的高準確薄膜厚度計算法之流程圖；

圖 13 係本發明之具溝狀部之多層堆疊結構之示意圖；

圖 14A 到圖 14D 係顯示本發明一實施例之校正厚度與實際厚度之關係圖；

圖 15A 和圖 15B 係顯示本發明另一實施例之校正厚度與實際厚度之關係圖；

圖 16 係顯示本發明之為了獲得本發明實施力在一致的薄膜折射率不斷的更新誤差修正薄膜厚度的一結合外差反射儀和干涉儀之示意圖；

圖 17A 和圖 17B 係顯示本發明光路徑之示意圖；

圖 18 係顯示本發明一實施例之正規化訊號與時間的關係示意圖；

圖 19 係顯示本發明另一實施例之正規化訊號與時間的關係示意圖；

圖 20 係顯示本發明再一實施例之演算法流程圖；

圖 21A 和圖 21B 係顯示本發明其它實施例之演算法流程圖；

圖 22 係顯示本發明再一實施例之元件示意圖；

圖 23 係顯示本發明其它實施例之光路徑示意圖

圖 24 係顯示本發明一實施例之正規化反射係數與時間的關係示意圖；

圖 25 係顯示本發明一實施例決定一相位移差介於兩訊號之間的流程示意圖；

圖 26A 到圖 26D 係顯示本發明局部件之訊號流程圖；

圖 27 係本發明再一實施例之流程圖。

【主要元件符號說明】

外差式厚度量測系統 100

第一線性偏極光分量 102

第二線性偏極光分量 103

觸發訊號103A

光束分量 104

光束分量 105

光束分量 106

光束分量 107

光束分量 109

晶圓 110

基板 112

光束 111S

光束 111T

光束 111B

薄膜 114

光束分量 1140

光束分量 1150

光束分量 1160

光束分量 1170

光束 113S

光束 113T

光束 113B

透明旋轉載具 115

光束 115S

光束 115T

光束 115B

光束分量 120

光束分量 122

光束分量 124

雷射發光二極體 140

混和偏極器 143

分光器 144

混和偏極器 145

偏極化分光器 146

光偵測器 147

四分之一波長板 148

光偵測器 149

四分之一波長板 150

反射器 152

訊號處理模組 154

量測觸發訊號 103

參考觸發訊號 105

外差反射儀系統 300

區域 301

光束分量 303

s 偏極光束分量 303s

p 偏極光束分量 303p

光束分量 304

光束分量 305

反射光線 305-1s

折射光線 305-2s

反射光線 305-1p

反射光線 305-2p

操作平台 310

底層 312

薄膜 314

光源 320

鏡面 322

光束 332

光束 334

感測器 340

訊號 342

感測器 350

訊號 342

訊號 352

路徑 356

探測器 362

儲存器 364

修正器 366

計算器 368

輸出 369

計算器 370

輸出 371

訊號 352

混合偏光板 354

混合偏光板 355

光束分量 356

資料處理器 360

相位移感測器 362

儲存器 364

校正器 366

厚度計算器 368

訊號曲線 402

訊號曲線 404

訊號曲線 502

混合偏光板 504

量測訊號曲線 602

量測訊號曲線 606

曲線 702

曲線 802

曲線 1002

曲線 1103

曲線 1105

結構 1300

矽基材 1312

光阻層 1314

抗反射塗佈層 1316

氧化層 1318

溝狀部 1320

外差反射儀/干涉儀系統 1600

感測器 1610

感測器 1611

感測器 1612

感測器 1613

訊號 1620

訊號 1621

訊號 1622

訊號 1623

感測器 1623A

光柵 1630

分光器 1632

分解光束分量 1640

零階光束分量 1642

一階光束分量 1643

一階光束分量 1643-1s、1643-2s、1643-2p

外差反射儀局部 1670

外差反射儀局部 1680

感測器 1690

校正器 1692

計算器 1696

訊號曲線 1802

訊號區 1804

訊號曲線 1902

外差反射儀/光柵干涉儀系統 2200

光束分量 2206

光束分量 2208

分光器 2233

鏡面 2236

曲線 2402

曲線 2404

曲線 2406

間隔計算器 2602

相位移 2610

混合器 2612

過濾器 2614

放大器 2616

混合器 2622

擺動器 2630

間隔計算器 2632

s 偏極部分 2208s

p 偏極部分 2208p

$\Delta\phi$ ：相位移

$\Delta\phi_m$ ：量測相位移

I_{ref} ：參考相位訊號

I_{het} ：量測相位訊號

d_f ：薄膜層厚度

n_f ：薄膜折射率

n_p ：氣體折射率

α ：入射角

d ：薄膜厚度

r_{eff} ：反射量的合成

r_{eff}^* ： r_{eff} 的共軛複數

p：間隔

δ_{grt} ：相位移

PD ：路徑差

$RF1$ ：信號

$RF2$ ：信號

$T1$ ：開始

$T2$ ：停止

$I1$ ：訊號

$I2$ ：訊號

五、中文發明摘要：

本發明係一用以量測厚度之光反射外差式薄膜厚度計，包括：
一光學光源裝置，其係用以產生一雙極化的分裂頻率光束；一分離
光束路徑光學元件，其係用以傳遞該雙極化的分裂頻率光束，以一
特定的入射角入射至一目標材料；一第一感測器，其係用以接收該
雙極化的分裂頻率光束，以及產生一參考值訊號；一第二感測器，
其係用以接收該目標材料的一雙極化分裂頻率光束，並產生一量測
訊號；一相位移感測器，其係用以接收參考值訊號與該量測訊號，
以及偵測該參考值訊號與該量測訊號之間的相位移；以及一資料處
理器，其係用以透過該相位移演算該目標材料之厚度。

六、英文發明摘要：

A linearly polarized light comprised of two linearly polarized components that are orthogonal to each other, with split optical frequencies, is directed toward a film causing one of the optical polarization components to lag behind the other due to an increase in the optical path in the film for that component. A pair of detectors receives the beam reflected from the film layer and produces a measurement signal, and the beam prior to incidence on the film layer and generates a reference signal, respectively. The measurement signal and reference signal are analyzed by a phase detector for phase shift. The detected phase shift is then fed into a thickness calculator for film thickness results. A grating

interferometer may be included with the heterodyne reflectometer system with a grating, which diffracts the reflected beam into zeroth- and first-order bands, which are then detected by separate detectors. A detector receives the zeroth-order beam and generates another measurement signal. Another detector receives the first-order beam and generates a grating signal. The measurement signal from the grating and reference signal may be analyzed by a phase detector for phase shift, which is related to the thickness of the film. Additionally, the zeroth-order beam measurement signal is analyzed with the grating signal by a phase detector for detecting a grating phase shift induced by the grating. The refractive index for the film can then be calculated directly from grating phase shift and the heterodyne phase shift for the grating pitch, and the beam's wavelength and incidence angle on the film of the measurement apparatus. Using the refractive index and heterodyne phase shift, the film's thickness is determined. Conversely, a film thickness calculation may be derived independent of the film's refractive index using from the actual corrected grating phase shift and corrected heterodyne phase shift.

十、申請專利範圍：

1. 一用以量測厚度之光反射外差式薄膜厚度計，包括：

一光學光源裝置，其係用以產生一雙極化的分裂頻率光束；

一分離光束路徑光學元件，其係用以傳遞該雙極化的分裂頻率光束，以一特定的入射角入射至一目標材料；

一第一感測器，其係用以接收該雙極化的分裂頻率光束，以及產生一參考值訊號；

一第二感測器，其係用以接收該目標材料的一雙極化分裂頻率光束，並產生一量測訊號；

一相位移感測器，其係用以接收參考值訊號與該量測訊號，以及偵測該參考值訊號與該量測訊號之間的相位移；以及

一資料處理器，其係用以透過該相位移演算該目標材料之厚度。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該雙極化的分裂頻率光束 進一步包括：

一第一橢圓極化光束分量，其係以一第一頻率作震盪；以及

一第二橢圓極化光束分量，其係以一第二頻率作震盪，該第一頻率係不同於該第二頻率。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該雙極化的分裂頻率光束 進一步包括：

一第一線性極化光束分量，其係以一第一頻率作震盪；以及

一第二線性極化光束分量，其係以一第二頻率作震盪，該第一頻率係不同於該第二頻率。

4.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該分裂頻率，線性極化光束進一步包括：

一 s 偏極化光束分量，其係以一第一頻率作震盪；以及

一 p 偏極化光束分量，其係以一第二頻率作震盪，其中該 p 偏極化光束分量係正交於該 s 偏極化光束分量。

5.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該目標材料係一薄膜。

6.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中進一步包括：

一偏極化混合器，其係用以混合該雙極化的分裂頻率光束中以該第一頻率反射傳遞的第一偏極化光以及以該第二頻率反射傳遞的第二偏極化光。

7.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中進一步包括：

一相位移校正器，其係用以校正該相位移中的誤差，其中該資料處理器接收該校正的相位移，並透過該校正的相位移而演算出該厚度。

8.如申請專利範圍第 7 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移校正器係藉由比較已知厚度的一實際相位移與已知厚度的一預期相位移之間的差異，而調節該相位移並產生一校正的相位移。

9.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角係關於該目標材料的折射係數。

10.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角係一內定的預設角度值。

11.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角係該目標材料的布魯司特角近似值。

12.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角的一較低範圍係 0 度，其係基於目標材料以及該目標材料下的界面對於該雙極化的分裂頻率光束來說係具有等方向性。

13.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

一光柵，其係用以折射該雙極化的分裂頻率光束，該雙極化的分裂頻率光束係作為一第一級光束；

一第三偵測器，其係用以接收該第一級光束以及產生一光柵訊號；以及

一第二相位移感測器，其係用以接收該光柵訊號以及該量測訊號，且偵測一光柵導致於該光柵與量測訊號之間所產生的相位移，其中該資料處理器係透過該相位移與該光柵導致的相位移而演算出該厚度。

14.如申請專利範圍第 8 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括一光柵，其係用以折射該雙極化的分裂頻率光束，該雙極化的分裂頻率光束係作為一第一級光束；

一第三偵測器，其係用以接收該第一級光束與產生一光柵訊號；以及一第二相位移感測器，其係用以接收光柵訊號與該量測訊號，且偵測一光柵導致於該光柵與量測訊號之間所產生的相位移，其中該資料處理器係透過該校正的相位移與該光柵導致的相位移而演算出該厚度。

15.如申請專利範圍第 14 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

一光柵相位移校正器，其係用以透過校正該光柵導致的相位移之誤差而產生一經校正的光柵導致的相位移，其中該資料處理器係透過該經校正的光柵導致的相位移與該校正的相位移而演算該厚度。

16.如申請專利範圍第 15 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該資料處理器係透過該經校正的光柵導致的相位移與該校正的相位移而演算該目標材料的折射係數，並係透過該目標材料的折射係數與該校正的相位移而演算出該厚度。

17.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

一第二分離光束路徑光學元件，其係用以接收來自該目標材料之該雙極化的分裂頻率光束，並傳遞該雙極化的分裂頻率光束至該薄膜。

18.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一轉換函數手段，其係用以契合該參考值訊號與該量測訊號以趨進一預定形式。

19.如申請專利範圍第 18 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一訊號處理手段，其係用以在契合該訊號趨進該預定形式前進行正常化該參考值訊號與該量測訊號。

20.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一時間間隔計算器，其係用以量測在該參考值與該量測訊號的兩個對應參考值點之間的時間差。

21.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一混波器，其係用以產生一輸出電壓，該輸出電壓係正比於一該參考值與該量測訊號之間的相位差。

22.如申請專利範圍第 21 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一相位調節器，其係用以設定該參考值以及該量測訊號以作為一起始相位。

23.如申請專利範圍第 22 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一回饋迴路，其係用以饋入該輸出電壓至該相位調節器。

24.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一震盪器，其係用以產生一特定頻率的訊號；

一第一頻率混合器，係用以經由該參考值與該頻率訊號而產生一第一觸發訊號；

一第二頻率混合器，係用以經由該量測與該頻率訊號而產生一第二觸發訊號；以及

一時間間隔計算器，其係用以量測一該第一觸發訊號與第二觸發訊號所對應之兩個參考值點之間的時間差。

25.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一離散傅立葉轉換手段，其係用以計算該參考值與量測訊號之間的相位移。

26.如申請專利範圍第 25 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

至少一數位器，其係用以基於提供該量測與參考值訊號的一外差觸發頻率訊號，以一預定的擷取率擷取各個該量測與參考值訊號。

27.如申請專利範圍第 1 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

一交互相關函數手段，其係用以計算該參考值與外差訊號之間的相位移。

28.如申請專利範圍第 27 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該相位移感測器進一步包括：

至少一數位器，其係基於提供該量測與參考值訊號的一外差觸發頻率訊號，以一預定的擷取率擷取各個該量測與參考值訊號，且該數位器係用以計算在該量測與參考值訊號的一觸發週期中的數個取樣點之延遲。

29.一光反射外差式薄膜厚度計，其係用以量測厚度參數，且包括：

一光學光源裝置，其係用以產生一雙極化的分裂頻率光束，該雙極化的分裂頻率光束具有一第一偏極化光束分量與一第二偏極化光束分量，該第一偏極化光束分量係以一第一頻率作震盪，該第二偏極化光束分量係以一第二頻率作震盪，且該第一頻率係不同於該第二頻率；

一分離光束路徑光學元件，其係用以傳遞該雙極化的分裂頻率光以一特定的入射角束入射至一目標材料，該目標材料具有一表面與一本體部；

一第一感測器，其係用以接收該雙極化的分裂頻率光束，並產生一參考值訊號；

一第二感測器，其係用以接收來自該目標材料之一雙極化的分裂頻率光束並產生一量測訊號，該雙極化的分裂頻率光束係包括自該目標材料表面反射的一第一偏極化光束分量與一第二偏極化光束分量，以及其它自該目標材料表面下方該反射反射的該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量；以及

一相位移感測器，其係用以接收參考值訊號與該量測訊號，且偵測該參考值訊號與該量測訊號之間的相位移，該相位移係該目標材料體的厚度所導致。

30.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

一資料處理器，其係用以透過該相位移而進行演算該目標材料體的厚度。

31.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該第一偏極化分量係一第一橢圓極化光束分量，且該第二偏極化分量係一第二橢圓極化光束分量。

32.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該第一偏極化分量係一第一線性極化光束分量，且該第二偏極化分量係一第二線性極化光束分量。

33.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該第一偏極化分量係一 s 偏極化光束分量，且該第二偏極化分量係一 p 偏極化光束分量，其中該 p 偏極化光束分量係正交於該 s 偏極化光束分量。

34.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該目標材料係一薄膜。

35.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角係關於該目標材料的折射係數。

36.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角係一內定的預設角度值。

37.如申請專利範圍第 36 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該內建的預設角度值係接近於 60 度。

38.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角係該目標材料的布魯司特角近似值。

39.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其中該特定的入射角的一較低範圍係 0 度，其係基於目標材料以及該目標材料下的界面對於該雙極化的分裂頻率光束來說係具有等方向性。

40.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

一偏極化混合器，其係用以混合 該雙極化的分裂頻率光束中以該第一頻率反射傳遞的第一偏極化光以及以該第二頻率反射傳遞的第二偏極化光。

41.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

相位移校正器，其係用以校正該相位移中的誤差，其中該資料處理器接收該校正的相位移，並透過該校正的相位移而進行演算出一厚度值。

42.如申請專利範圍第 41 項所述之光反射外差式薄膜厚度計， 其中該相位移校正器係藉由比較已知厚度的一實際相位移與已知厚度的一預期相位移之間的差異，而調節該相位移並產生一校正的相位移。

43.如申請專利範圍第 29 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

一光柵，其係用以折射該雙極化的分裂頻率光束，該雙極化的分裂頻率光束係作為一第一級光束；

一第三偵測器，其係用以接收該第一級光束並產生一光柵訊號；以及

一第二相位移感測器，其係用以接收該光柵訊號與該量測訊號，並用以偵測一光柵導致於該光柵與量測訊號之間所產生的相位移，其中該資料處理器係透過該相位移與該光柵導致的相位移而演算出該厚度。

44.如申請專利範圍第 42 項所述之光反射外差式薄膜厚度計，其係進一步包括：

- 一光柵，其係用以折射該雙極化的分裂頻率光束，該雙極化的分裂頻率光束係作為一第一級光束；
- 一第三偵測器，其係用以接收該第一級光束並產生一光柵訊號；以及
- 一第二相位移感測器，其係用以接收光柵訊號與該量測訊號，並用以偵測一光柵導致於該光柵與量測訊號之間所產生的相位移，其中該資料處理器係透過該校正的相位移與該光柵導致的相位移而演算出該厚度。

45. 一反射儀厚度參數量測方法，包括：

- 提供一光學光源裝置用以產生一雙極化的分裂頻率光束以一特定的入射角入射至一目標材料，該雙極化的分裂頻率光束具有一第一偏極化光束分量與一第二偏極化光束分量，該第一偏極化光束分量係以一第一頻率作震盪，該第二偏極化光束分量係以一第二頻率作震盪，且該第一頻率係不同於該第二頻率，該目標材料具有一表面與一本體部；
- 透過外差該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量而產生一參考值訊號，該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量係分別以一第一頻率與一該第二頻率作震盪；
- 接收來自該目標材料的一雙極化的分裂頻率光束；

透過外差該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量而產生一量測訊號，該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量係分別以第一頻率與一該第二頻率作震盪；以及偵測該參考值訊號與該量測訊號之間的一相位移，該相位移係該目標材料體的厚度所導致。

46. 如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其係進一步包括：

透過該相位移計算該目標材料體的厚度。

47. 如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該第一偏極化分量係一第一橢圓極化光束分量，且該第二偏極化分量係一第二橢圓極化光束分量。

48. 如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該第一偏極化分量係一第一線性極化光束分量，且該第二偏極化分量係一第二線性極化光束分量。

49. 如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該第一偏極化分量係一 s 偏極化光束分量，且該第二偏極化分量係一 p 偏極化光束分量，其中該 p 偏極化光束分量係正交於該 s 偏極化光束分量。

50. 如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該目標材料係一薄膜。

51.如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該特定的入射角係關於該目標材料的折射係數。

52.如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該特定的入射角係一內定的預設角度值。

53.如申請專利範圍第 52 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該內建的預設角度值係接近於 60 度。

54.如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該特定的入射角係該目標材料的布魯司特角近似值。

55.如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中該特定的入射角的一較低範圍係 0 度，其係基於目標材料以及該目標材料下的界面對於該雙極化的分裂頻率光束來說係具有等方向性。

56.如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其係進一步包括：

混合該雙極化的分裂頻率光束中以該第一頻率反射傳遞的第一偏極化光以及以該第二頻率反射傳遞的第二偏極化光。

57.如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其係進一步包括：

校正該相位移中的誤差；以及

透過該校正的相位移計算一誤差校正的厚度。

58.如申請專利範圍第 57 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其中校正該相位移中的誤差 進一步包括：

藉由比較已知厚度的一實際相位移與已知厚度的一預期相位移之間的差異而調節該相位移，並產生一校正的相位移。

59.如申請專利範圍第 45 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其係進一步包括：

折射作為一第一級光束之該雙極化的分裂頻率光束，該第一級光束包括一第一第一級偏極化光束分量與一第二第一級偏極化光束分量；

接收該第一級光束；

透過外差該第一第一級偏極化光束分量與該第二第一級偏極化光束分量產生一光柵訊號；

偵測一光柵所導致之該光柵與量測訊號之間的相位移；以及

透過該相位移與該光柵導致的相位移計算一厚度。

60.如申請專利範圍第 58 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其係進一步包括：

折射作為一第一級光束之該雙極化的分裂頻率光束，該第一級光束包括一第一第一級偏極化光束分量與一第二第一級偏極化光束分量；

接收該第一級光束；

透過外差該第一第一級偏極化光束分量與該第二第一級偏極化光束分量產生一光柵訊號；

偵測一光柵所導致之該光柵與量測訊號之間的相位移；以及

透過該相位移與該光柵導致的相位移計算一厚度。

61. 如申請專利範圍第 60 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其係進一步包括：

藉由比較已知的折射係數的一實際的相位移與該已知的折射係數的一

預測的相位移，以校正該光柵導致的相位移中的誤差，進而產生一經

校正的光柵導致的相位移；以及

透過該經校正的光柵導致的相位移與該校正的相位移而計算一經誤差

校正的厚度。

62. 如申請專利範圍第 61 項所述之反射儀厚度參數量測方法，其係進一步包括：

透過該經校正的光柵導致的相位移與該校正的相位移，而計算一該目標

材料的折射係數；以及

透過該折射係數與該校正的相位移，而計算一誤差校正的厚度。

63. 一厚度參數量測方法，包括：

提供一光學光源裝置用以產生一雙極化的分裂頻率光束以一特定的入

射角入射至一目標材料，該雙極化的分裂頻率光束具有一第一偏極化

光束分量與一第二偏極化光束分量，該第一偏極化光束分量係以一第

一頻率作震盪，該第二偏極化光束分量係以一第二頻率作震盪，且該

第一頻率係不同於該第二頻率，該目標材料具有一表面與一本體部；

透過外差該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量而產生一參考值訊號，該第一偏極化光束分量與該第二偏極化光束分量係分別以一第一頻率與一該第二頻率作震盪；

接收來自該目標材料的一雙極化的分裂頻率光束；

折射作為一第零級光束與一第一級光束之該雙極化的分裂頻率光束，該第零級光束係包括一第一第零級偏極化光束分量與一第二第零級偏極化光束分量，且該第一級光束係包括一第一第一級偏極化光束分量與一第二第一級偏極化光束分量；

接收該第零級光束；

透過外差該第一第零級偏極化光束分量與該第二第零級偏極化光束分量，以產生一量測訊號；

偵測該量測與參考值訊號之間的一量測相位移；

接收該第一級光束；

透過外差該第一第一級偏極化光束分量與該第二第一級偏極化光束分量，以產生一光柵訊號；

偵測該光柵與量測訊號之間的一光柵導致的相位移；以及

透過該光柵導致的相位移與該量測相位移，以計算該目標材料體之厚度。

64.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中計算該目標材料體厚度之程序進一步包括：計算該光柵導致的相位移與該量測相位移的一

乘積，其中該目標材料之厚度係正比於該光柵導致的相位移與該量測相位移的乘積。

65.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中折射該雙極化的分裂頻率光束進一步包括折射該光束穿透具有特定間距的一光柵。

66.如申請專利範圍第 65 項所述之厚度參數量測方法，其中計算該目標材料體厚度之程序進一步包括：計算該光柵導致的相位移、該量測相位移、該間距與該第一頻率之一乘積，其中該厚度係正比於該光柵導致的相位移、該量測相位移、該間距與該第一頻率之乘積。

67.如申請專利範圍第 66 項所述之厚度參數量測方法，其中計算該目標材料體厚度之程序進一步包括，計算該光柵導致的相位移、該量測相位移、該間距與該第一頻率之比值，以及計算該特定的入射角的一三角函數，其中該目標材料之厚度係反比於該特定的入射角之三角函數。

68.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該第一偏極化分量係一第一橢圓極化光束分量，且該第二偏極化分量係一第二橢圓極化光束分量。

69.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該第一偏極化分量係一第一線性極化光束分量，且該第二偏極化分量係一第二線性極化光束分量。

70.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該第一偏極化分量係一 s 偏極化光束分量，且該第二偏極化分量係一 p 偏極化光束分量，其中該 p 偏極化光束分量係正交於該 s 偏極化光束分量。

71.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該目標材料係一薄膜。

72.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該特定的入射角係關於該目標材料的折射係數。

73.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該特定的入射角係一內定的預設角度值。

74.如申請專利範圍第 73 項所述之厚度參數量測方法，其中該內建的預設角度值係接近於 60 度。

75.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該特定的入射角係該目標材料的布魯司特角近似值。

76.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其中該特定的入射角的一較低範圍係 0 度，其係基於目標材料以及該目標材料下的界面對於該雙極化的分裂頻率光束來說係具有等方向性。

77.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其係進一步包括：
混合該雙極化的分裂頻率光束中以該第一頻率反射傳遞的第一偏極化光以及以該第二頻率反射傳遞的第二偏極化光。

78.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其係進一步包括：

藉由比較已知的折射係數的一實際的相位移與該已知的折射係數的一預測的相位移，以校正該光柵導致的相位移中的誤差，進而產生一經校正的光柵導致的相位移；以及
透過該經校正的光柵導致的相位移與該校正的相位移，以計算一誤差校正的厚度。

79.如申請專利範圍第 78 項所述之厚度參數量測方法，其係進一步包括：

透過該經校正的光柵導致的相位移與該校正的相位移，以計算一該目標材料的折射係數；以及
透過該折射係數與該校正的相位移，以計算一誤差校正的厚度。

80.如申請專利範圍第 63 項所述之厚度參數量測方法，其係進一步包括：

透過外差該目標材料反射的一第一反射的偏極化光束分量與一第二反射的偏極化光束分量產生一第二量測訊號，該第一反射的偏極化光束分量係以一第一頻率作震盪，且該第二反射的偏極化光束分量以一第二頻率作震盪；

偵測該第二參考值訊號與該第二量測訊號之間的一相位移，該相位移係該目標材料體的厚度所導致；以及

透過該相位移計算該目標材料體的一第二厚度。

81.如申請專利範圍第 80 項所述之厚度參數量測方法，其係其中校正該相位移中的誤差程序進一步包括：

藉由比較已知厚度的一實際相位移與已知厚度的一預期相位移之間的差異而調節該相位移，並產生一校正的相位移。

82.如申請專利範圍第 81 項所述之厚度參數量測方法，其係進一步包括：

比較該目標材料之第一厚度與透過該光柵導致的相位移與該量測相位移所計算獲得之該目標材料厚度，以及透過該第二量測相位移所計算獲得之該目標材料之第二厚度。

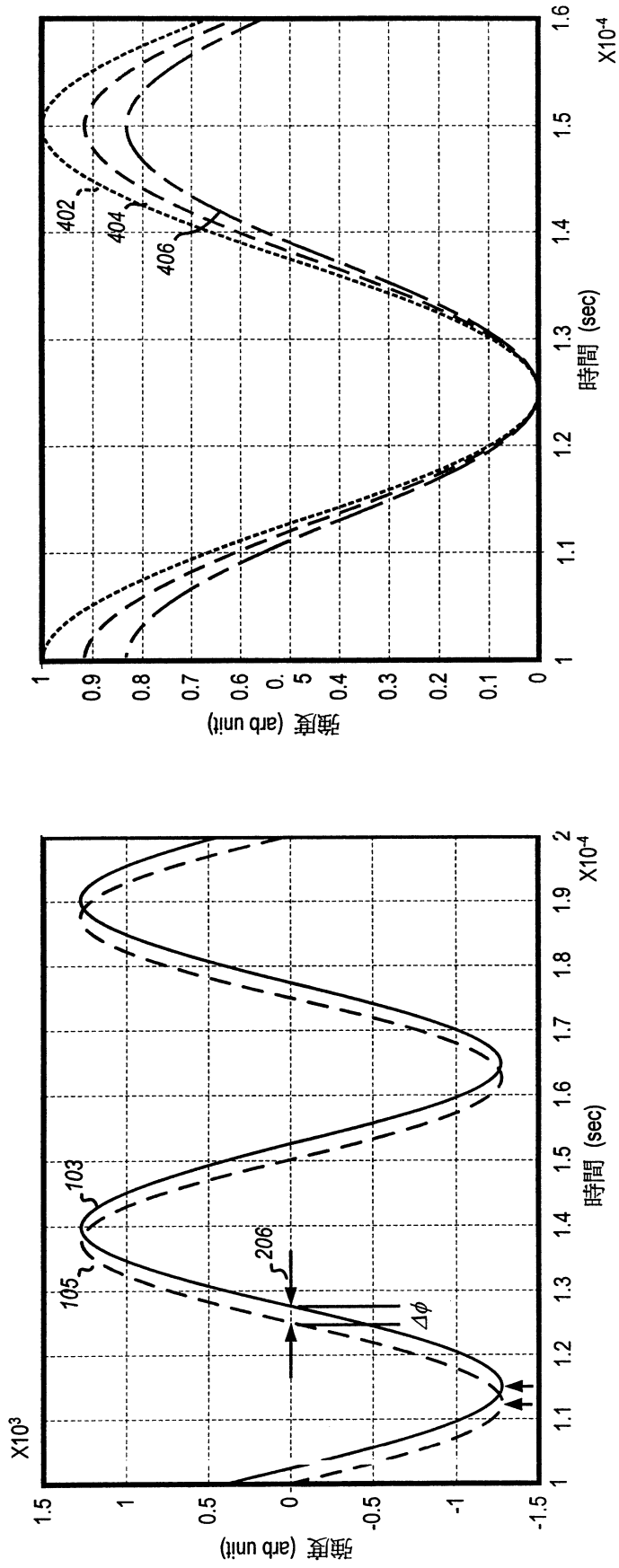


圖2
習知技術

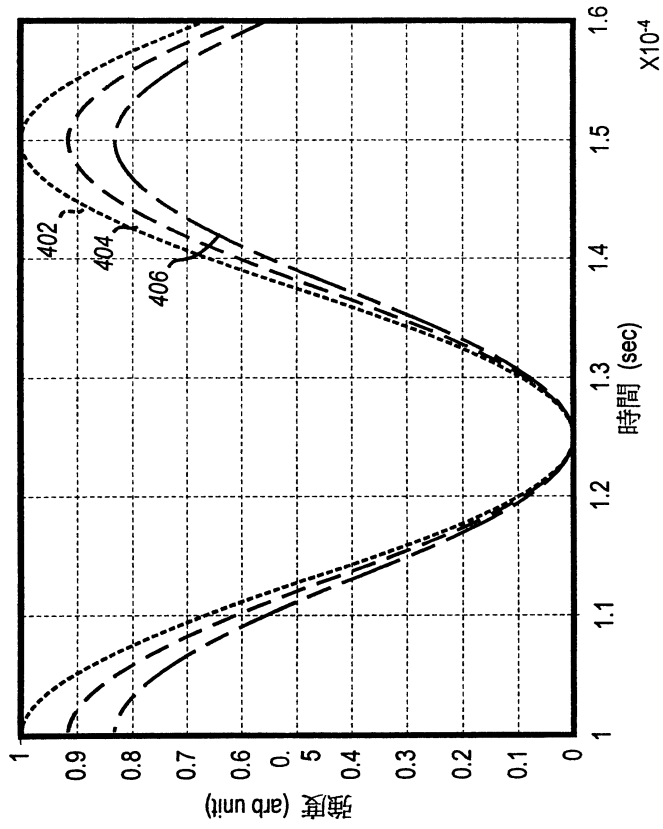


圖4

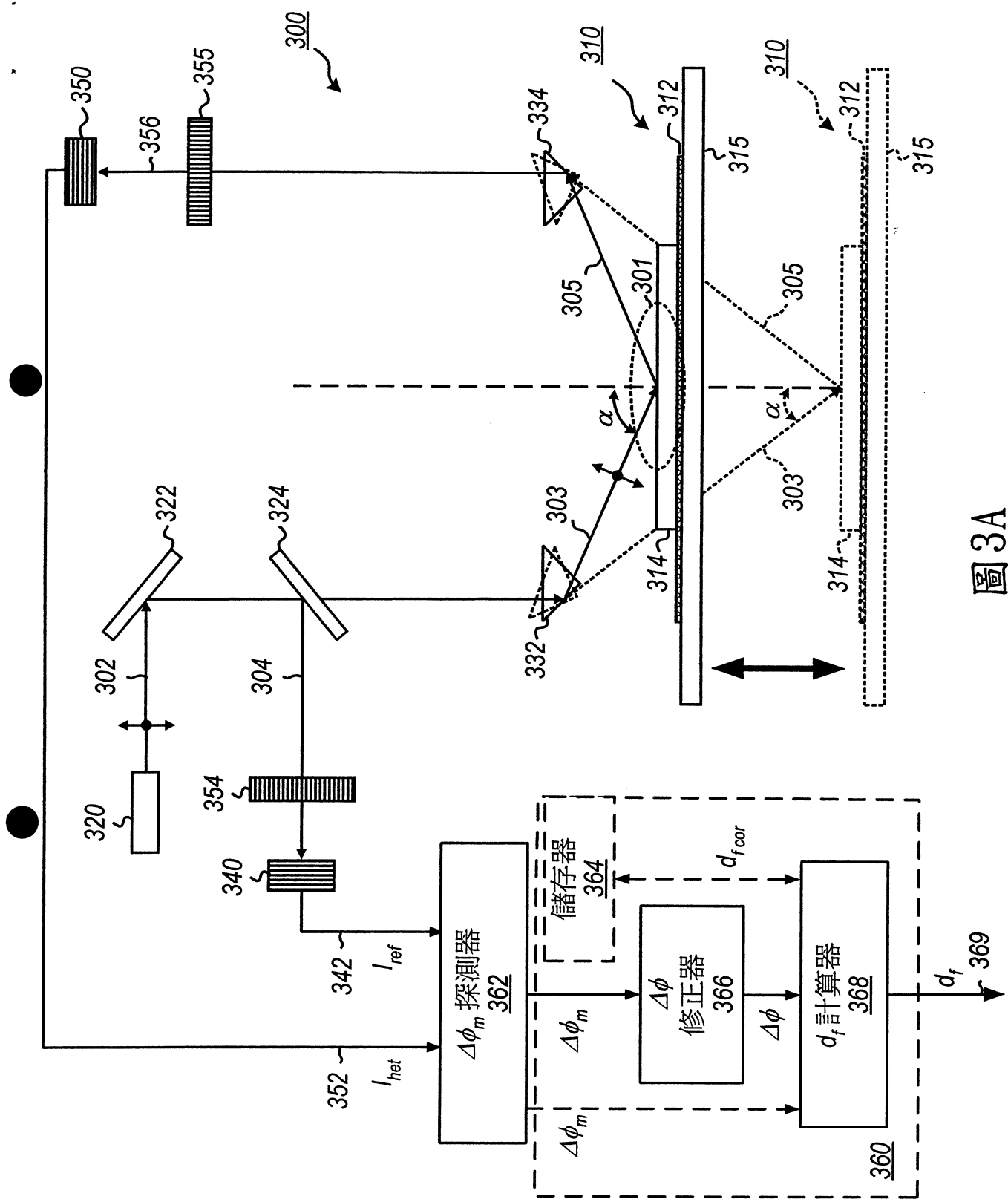


圖 3A

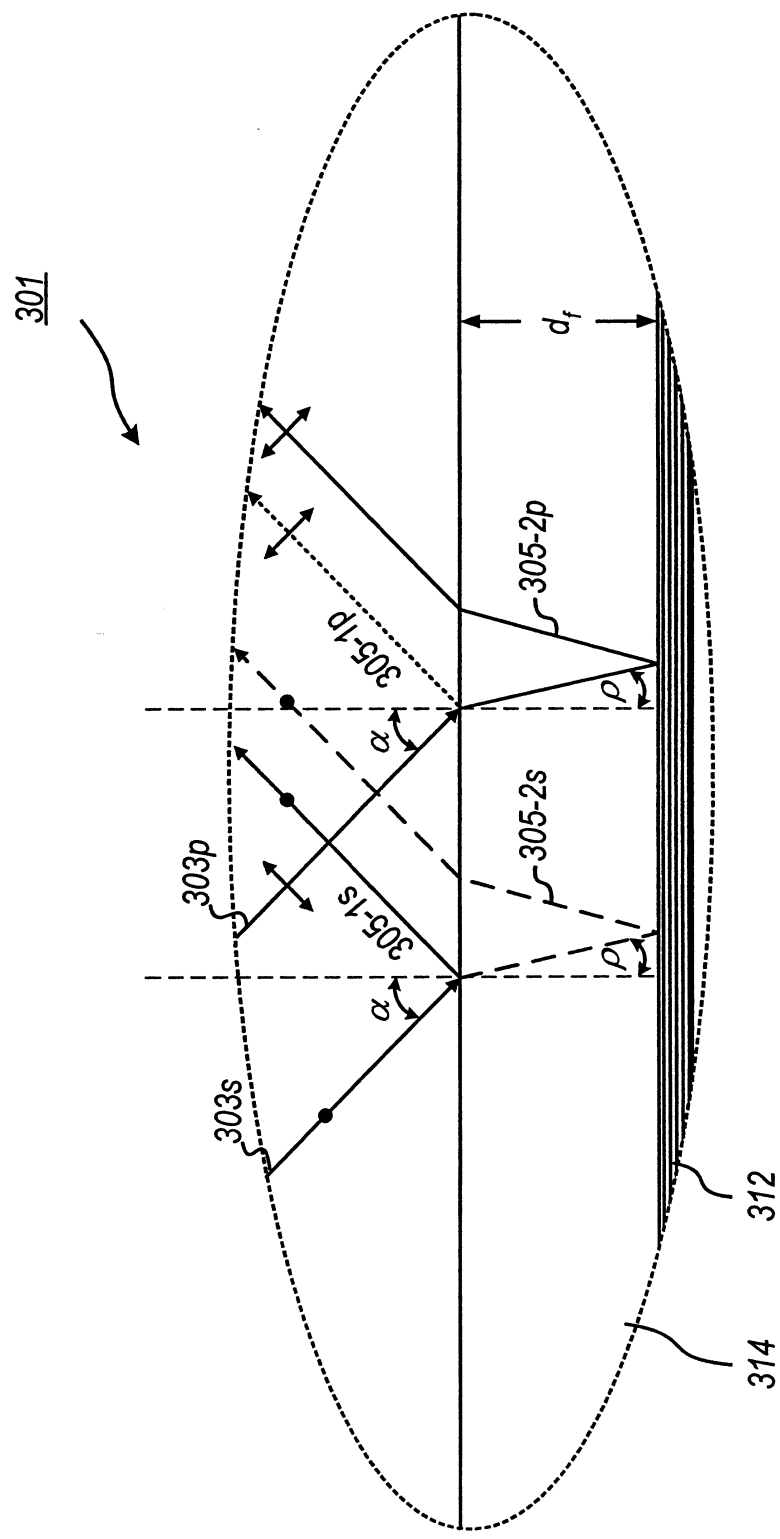


圖 3B

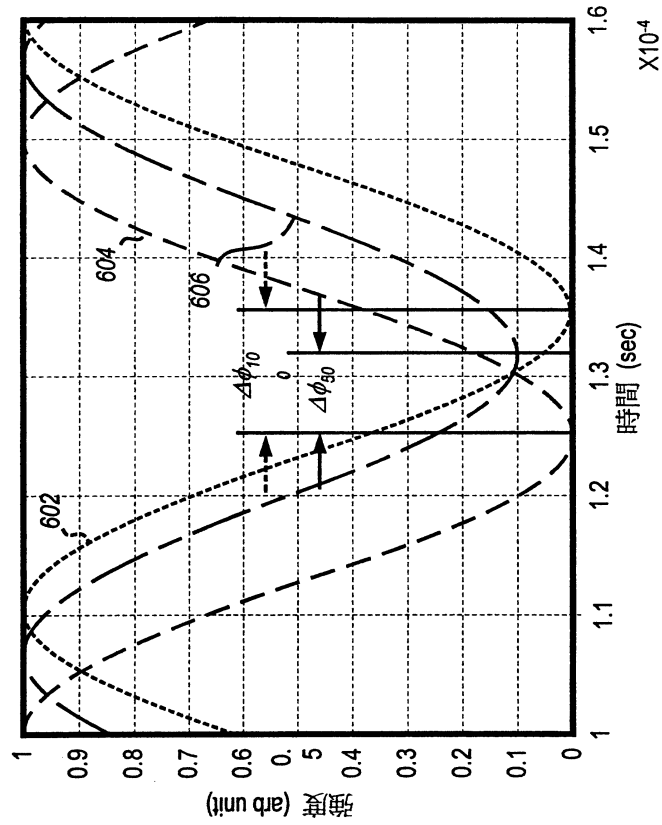


圖5

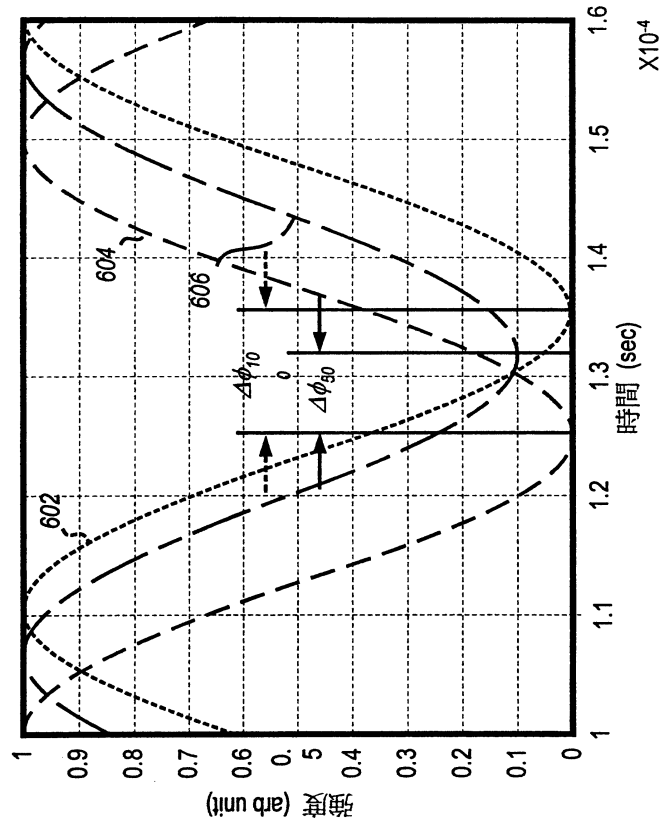


圖6

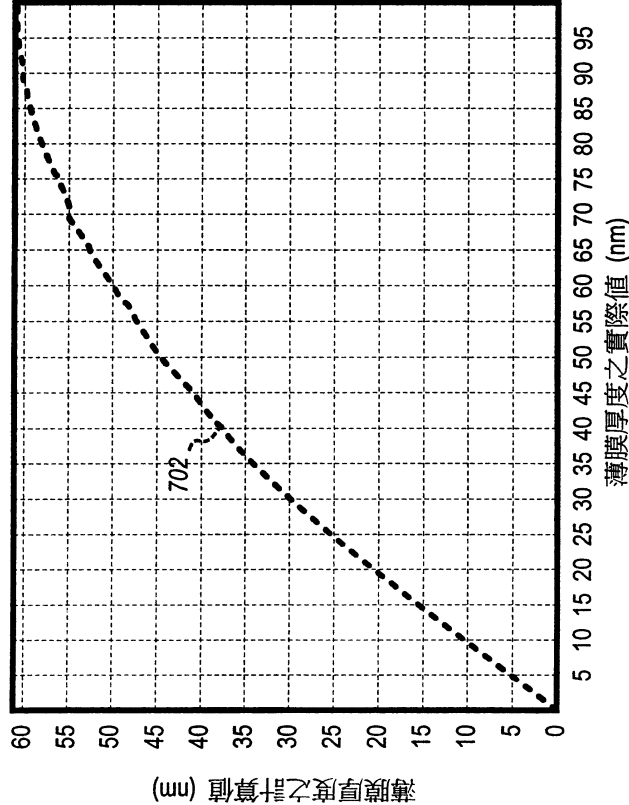


圖7

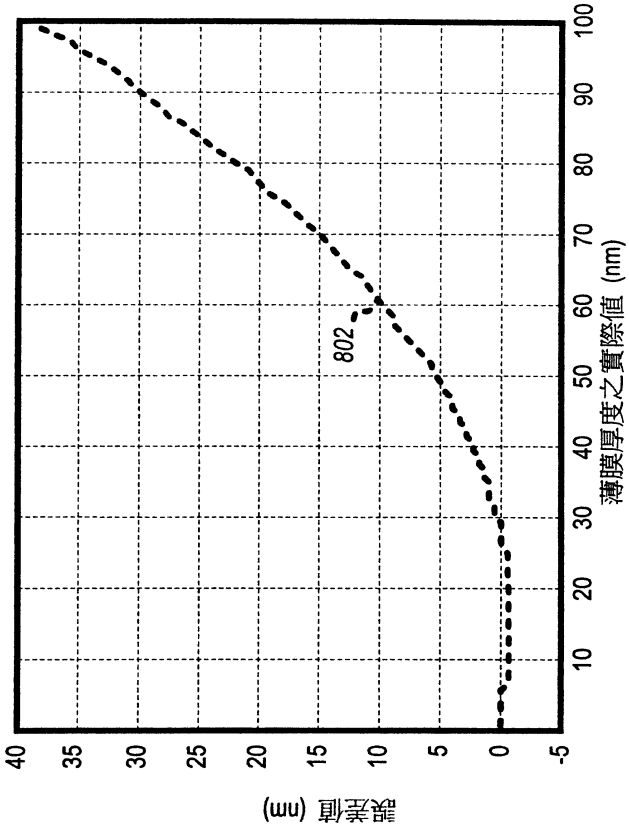


圖8

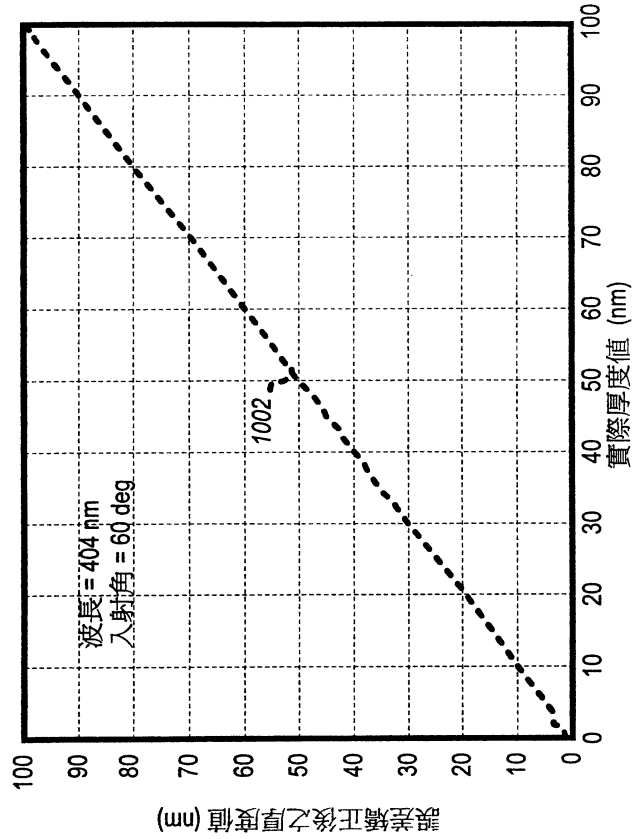


圖9

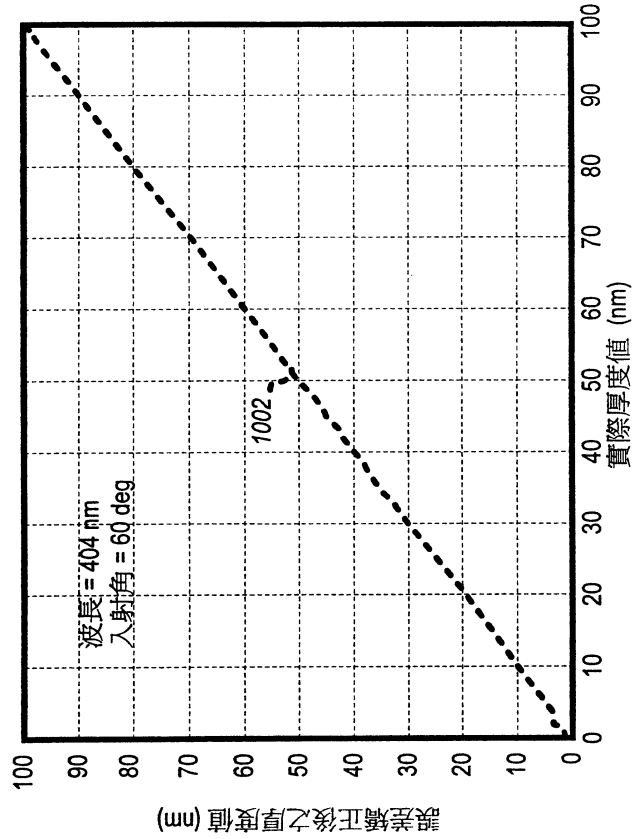


圖10

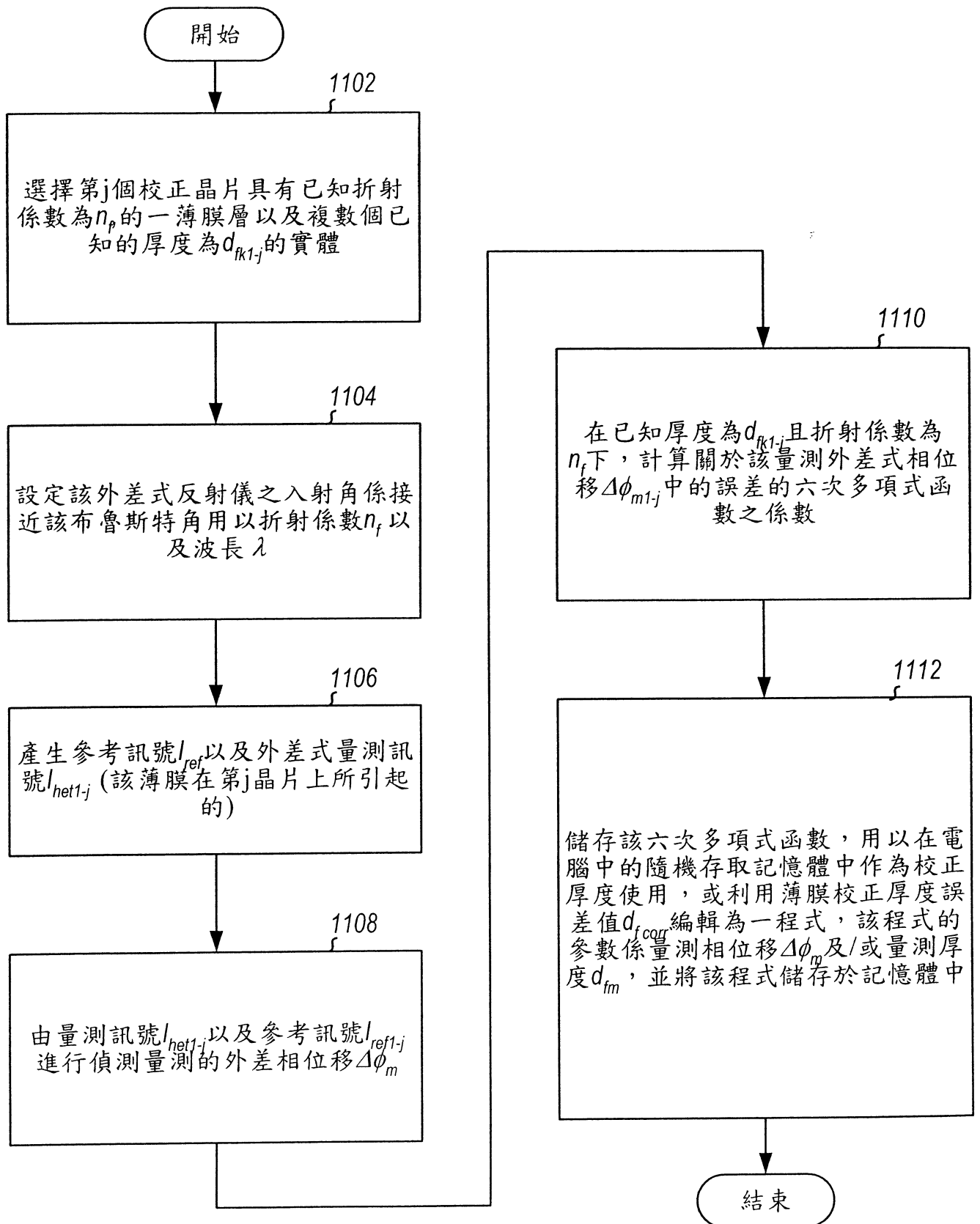


圖 11

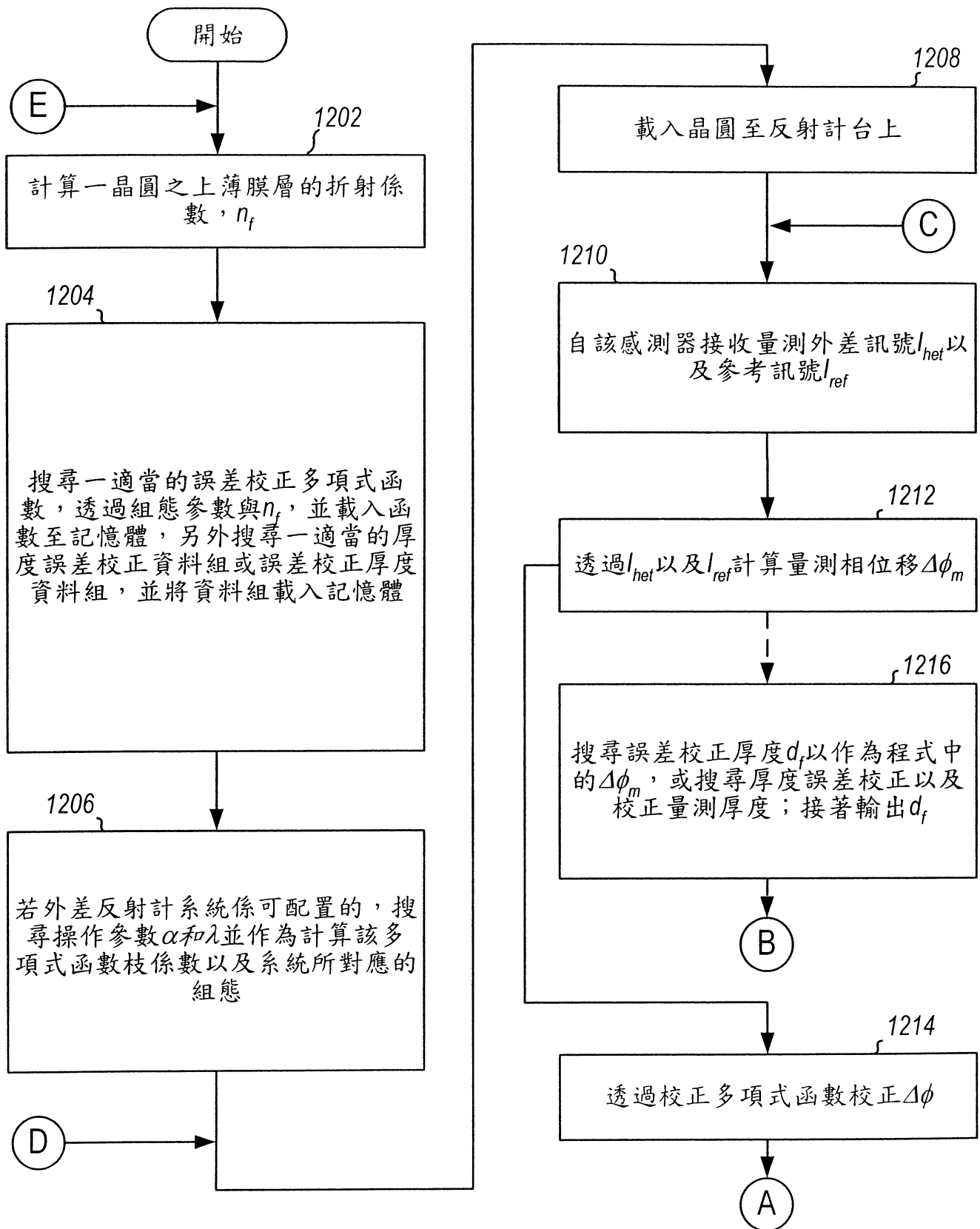


圖12A

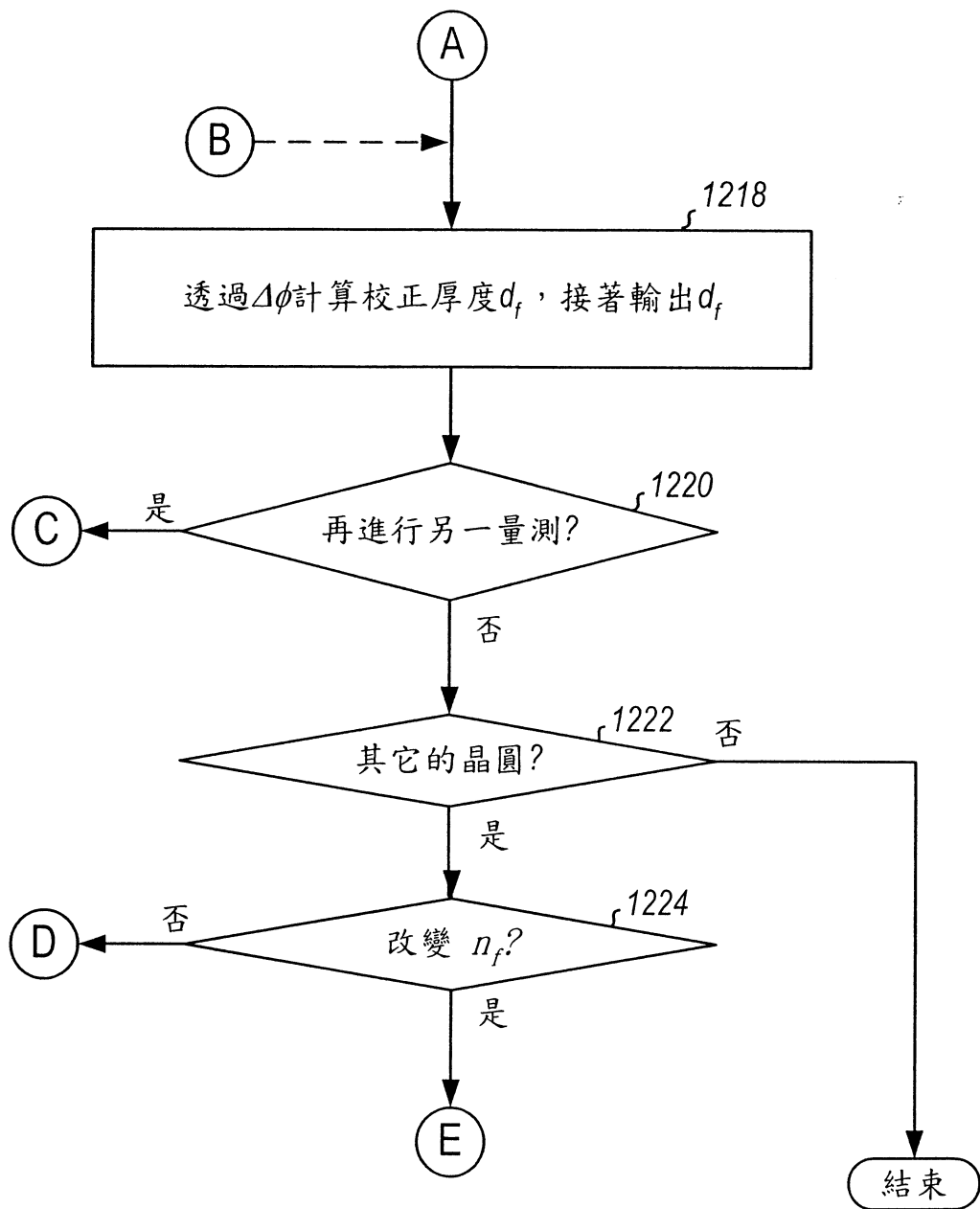


圖12B

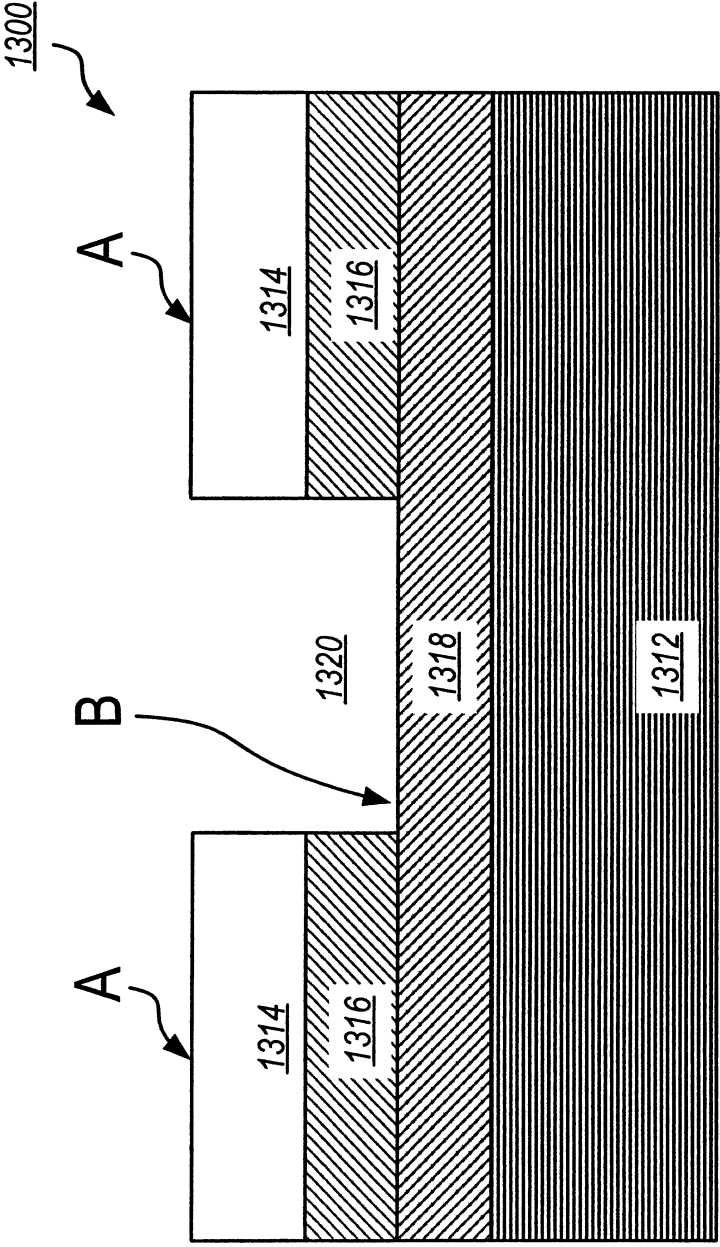


圖13

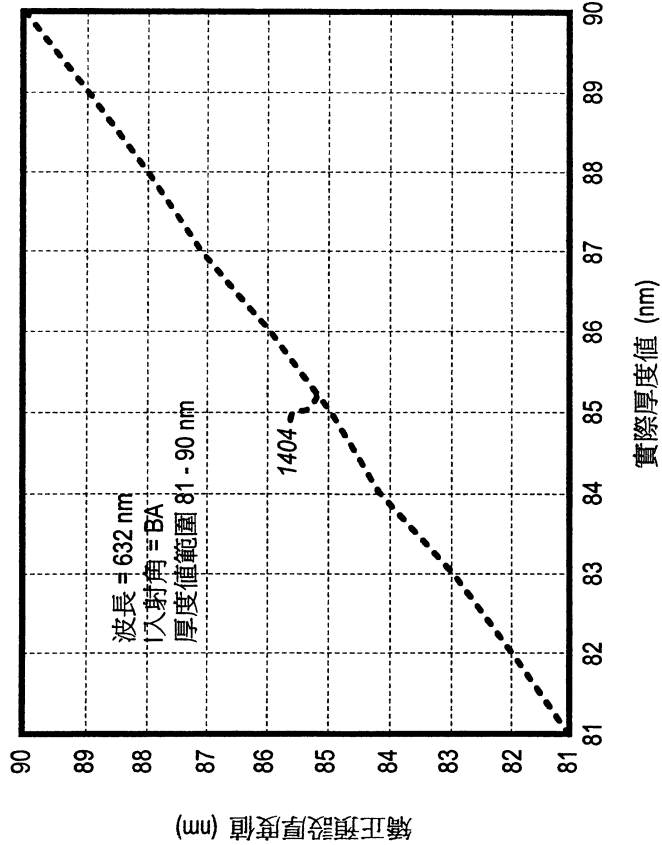


圖14B

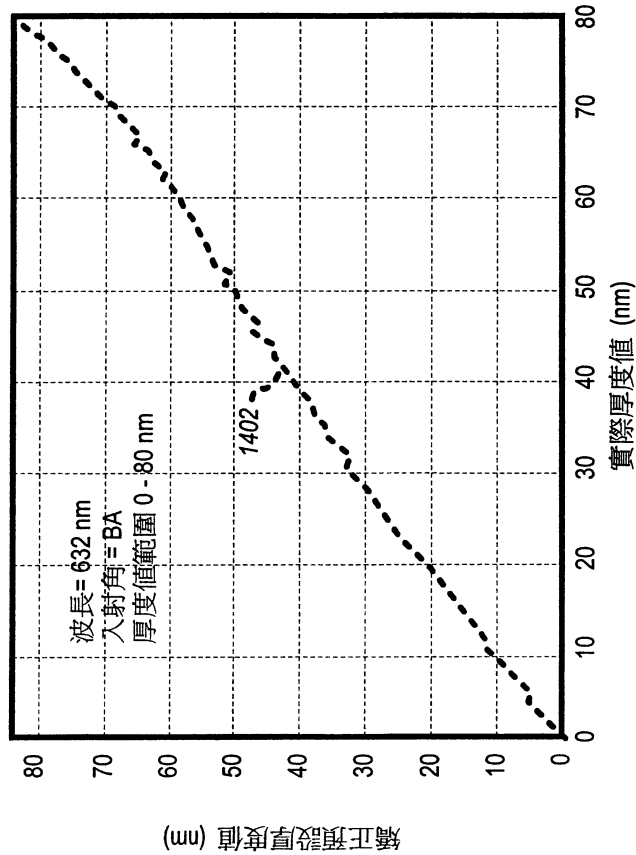


圖14A

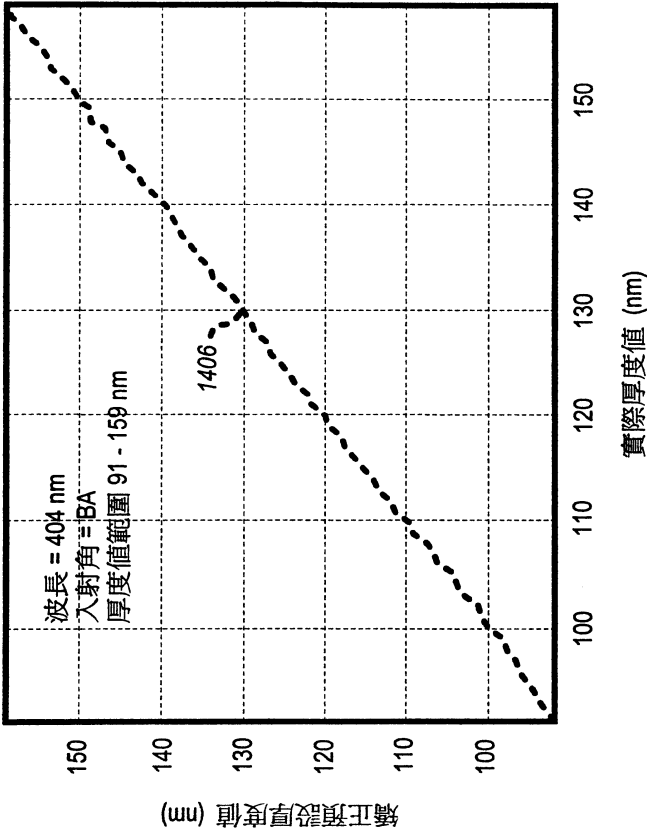


圖14C

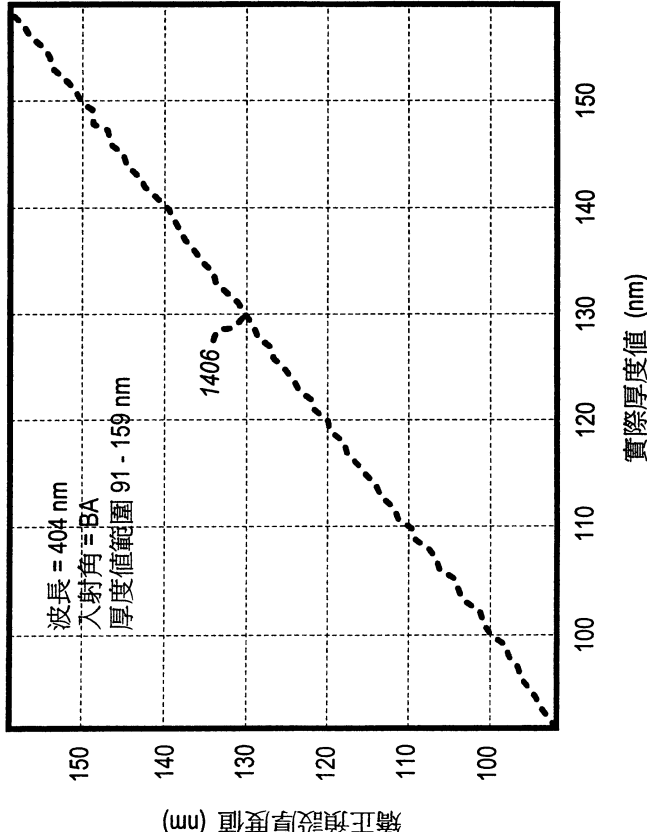


圖14D

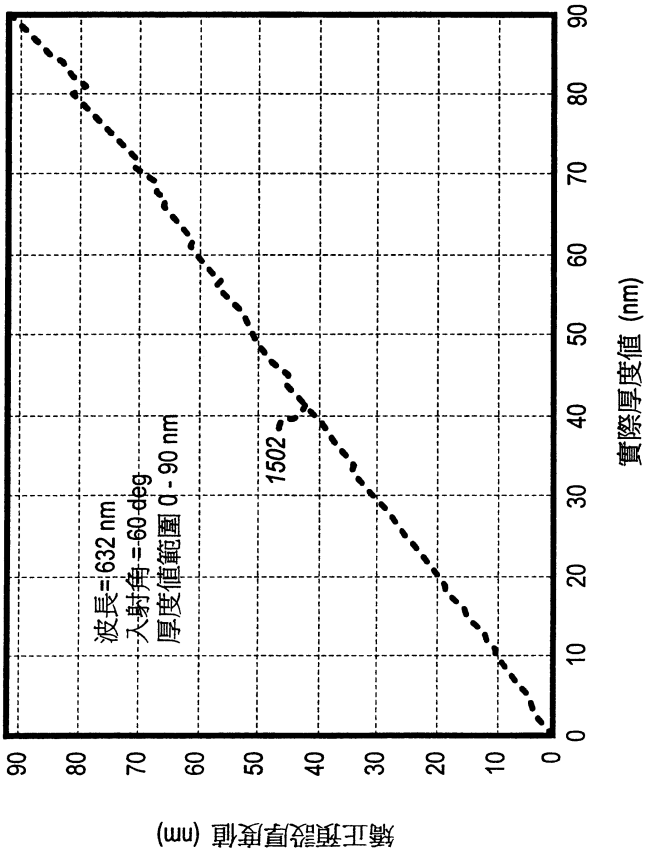


圖15A

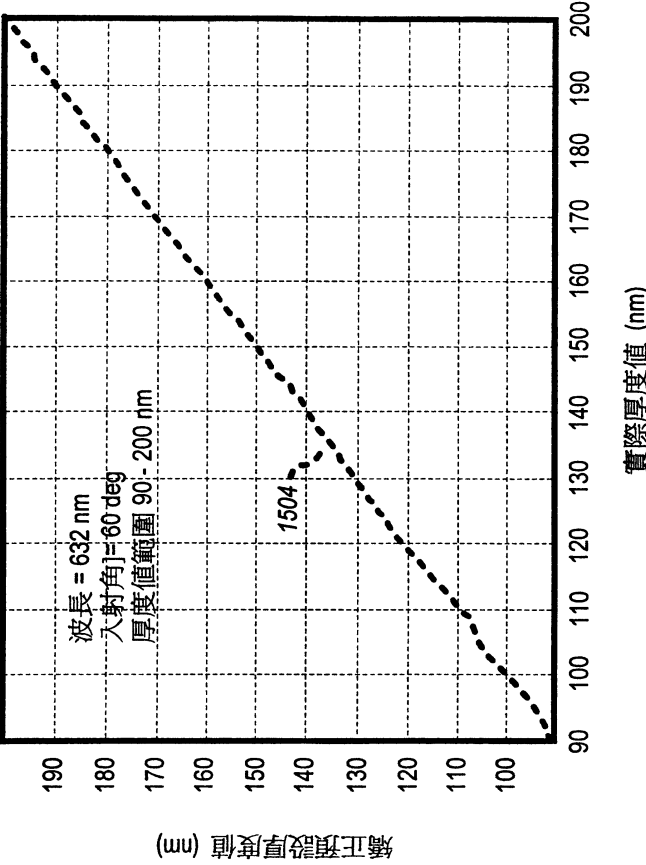


圖15B

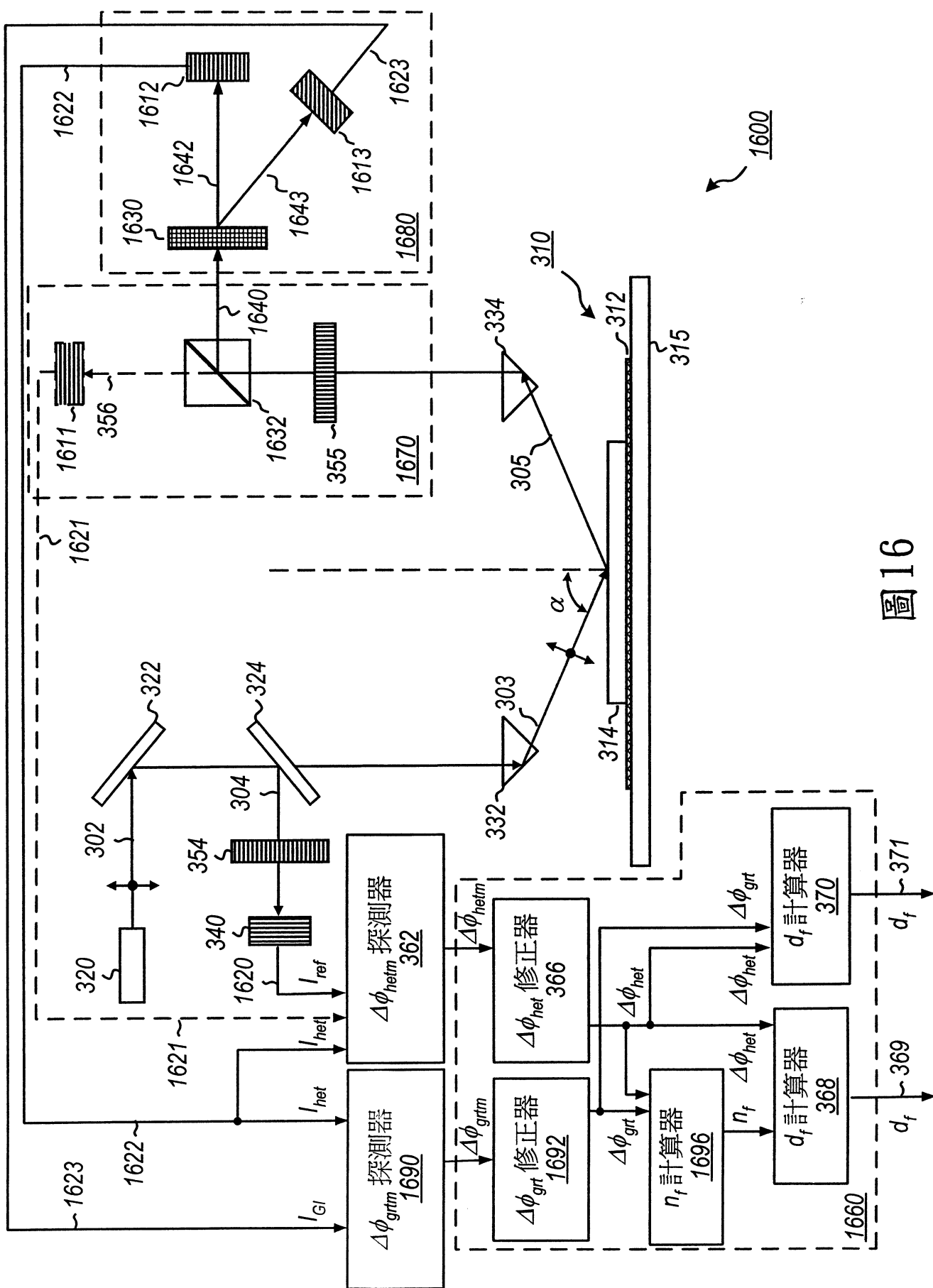


圖 16

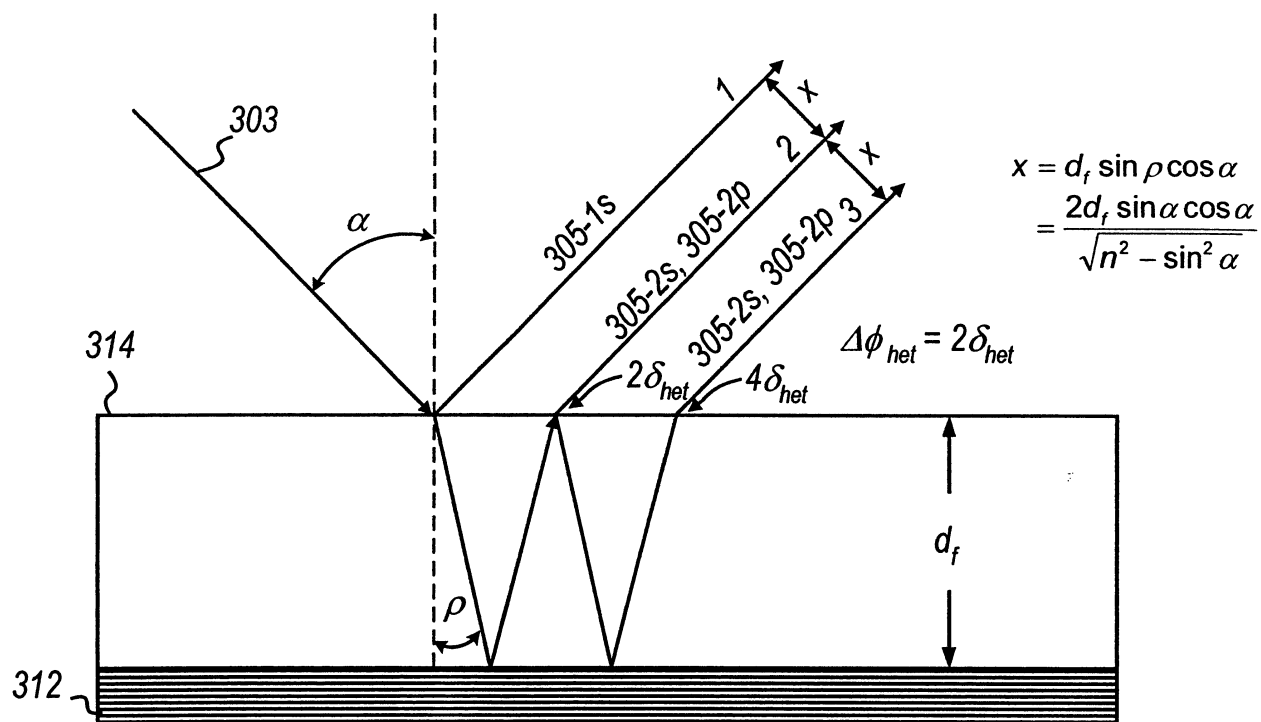


圖17A

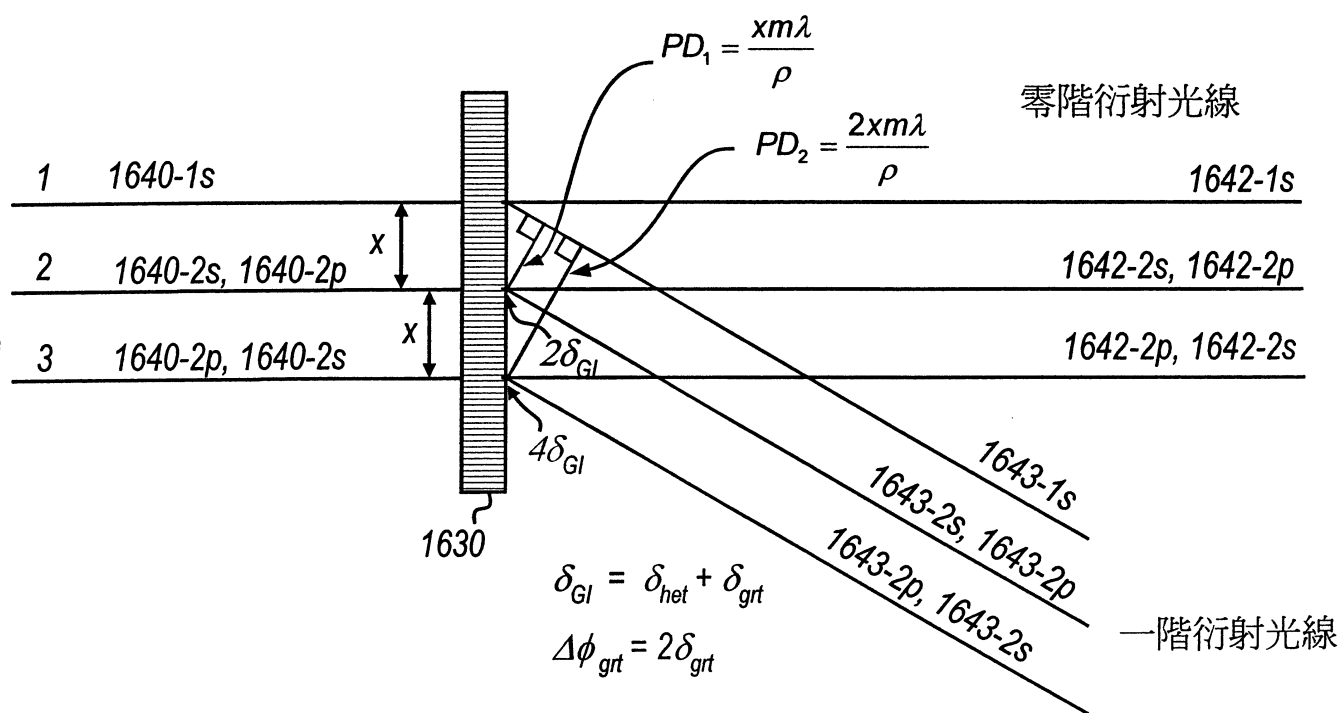


圖17B

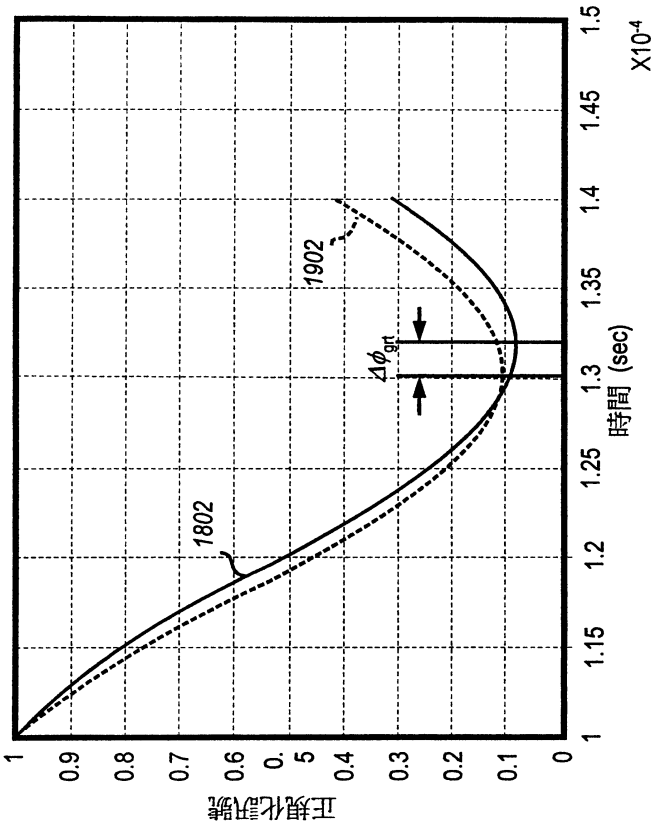


圖18

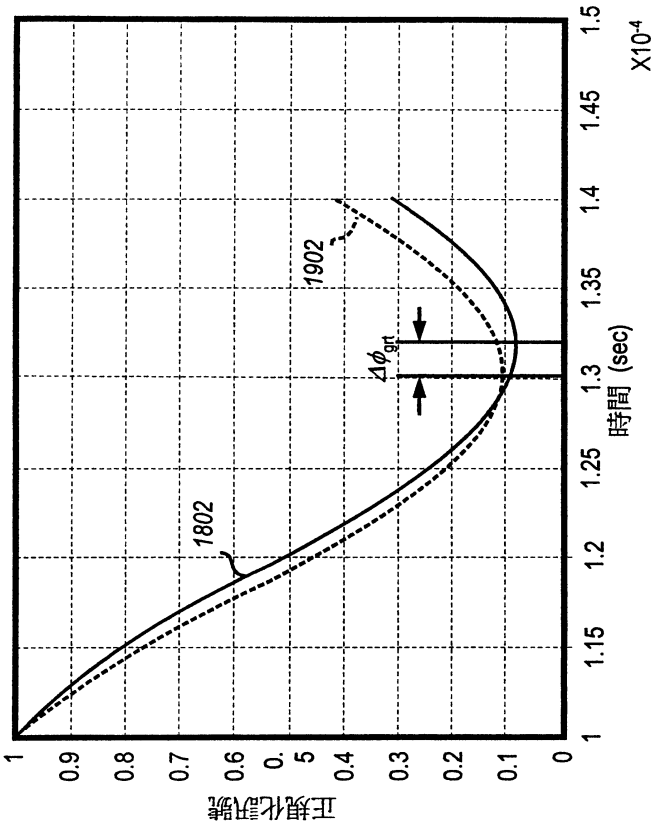


圖19

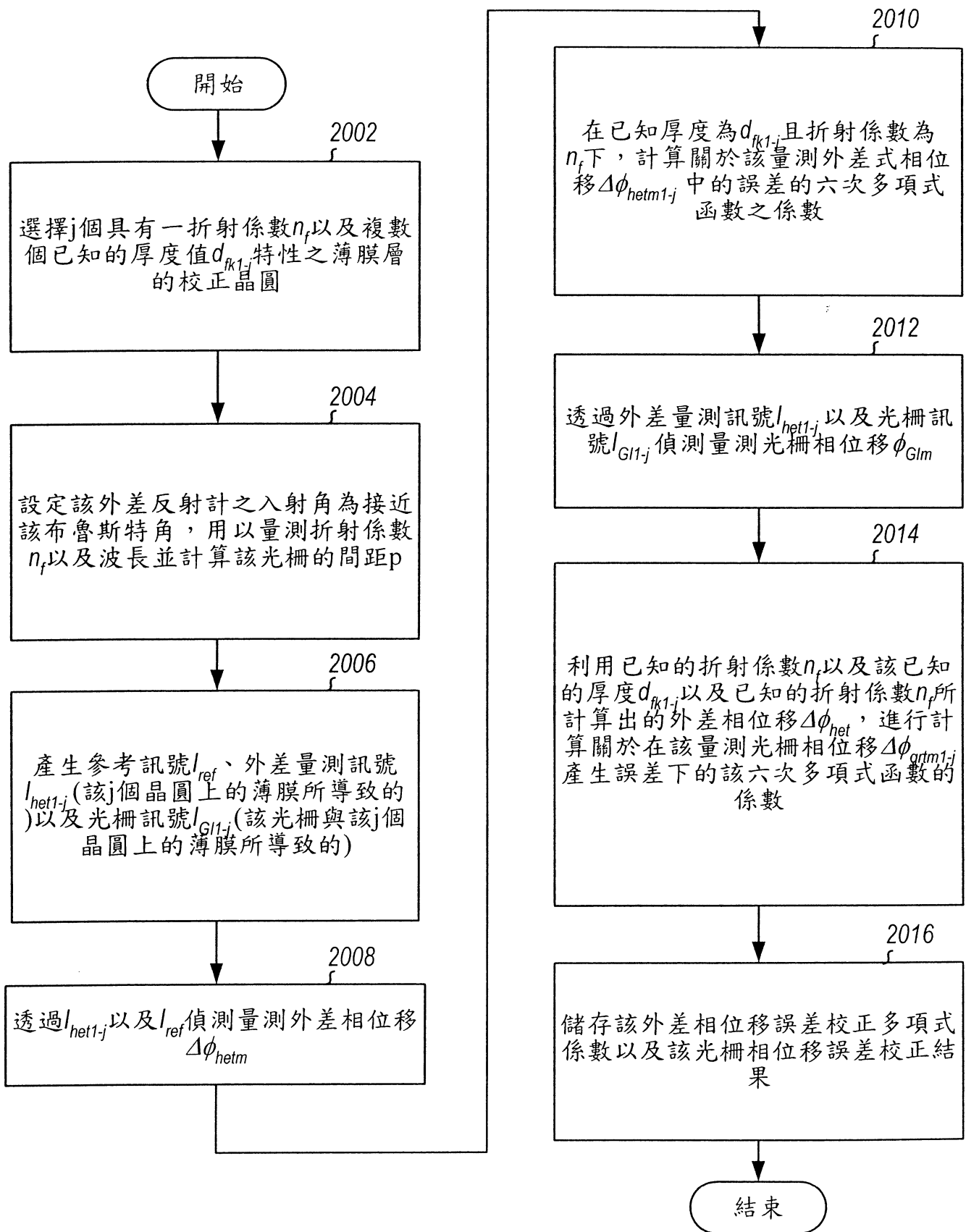


圖20

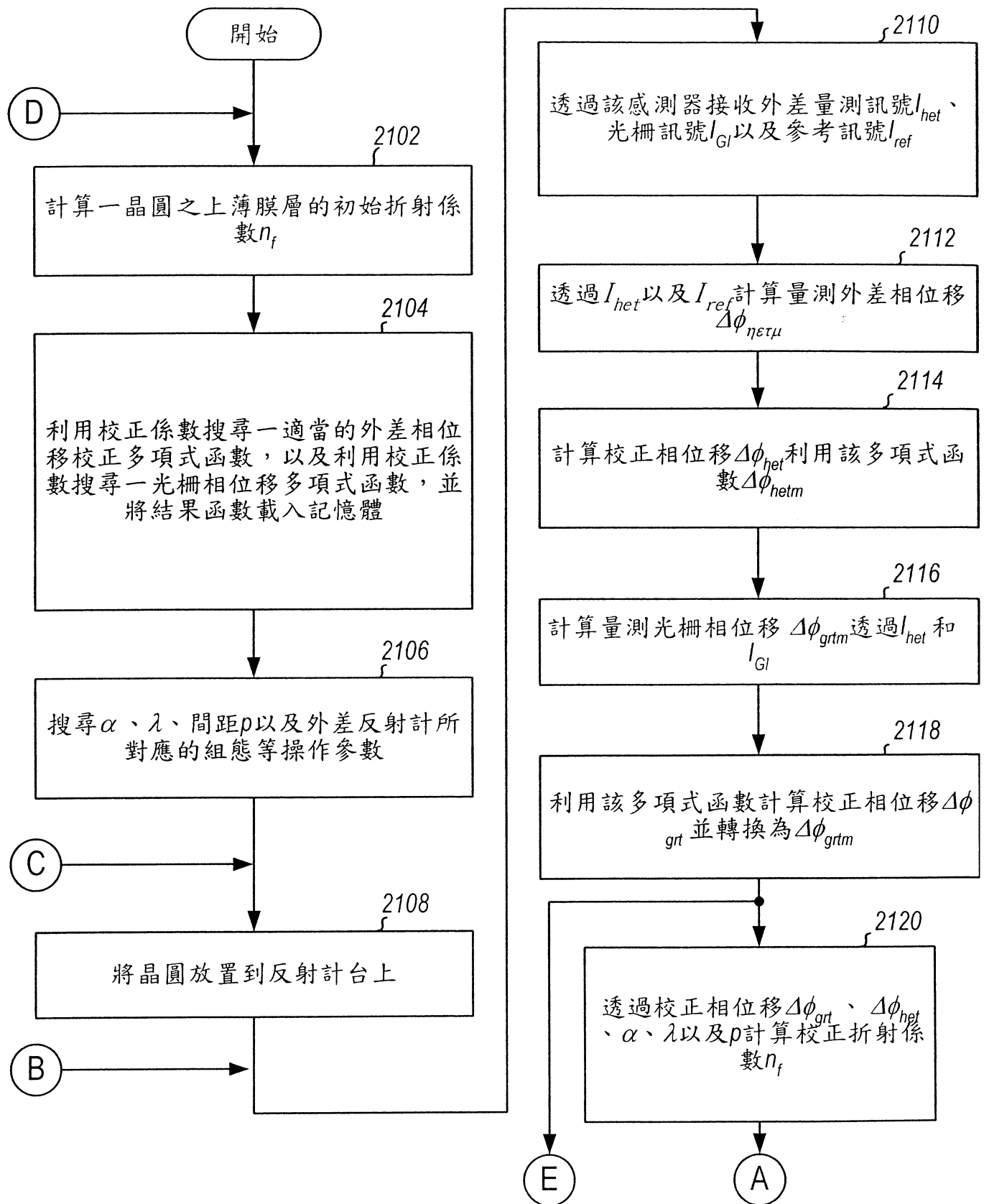


圖21A

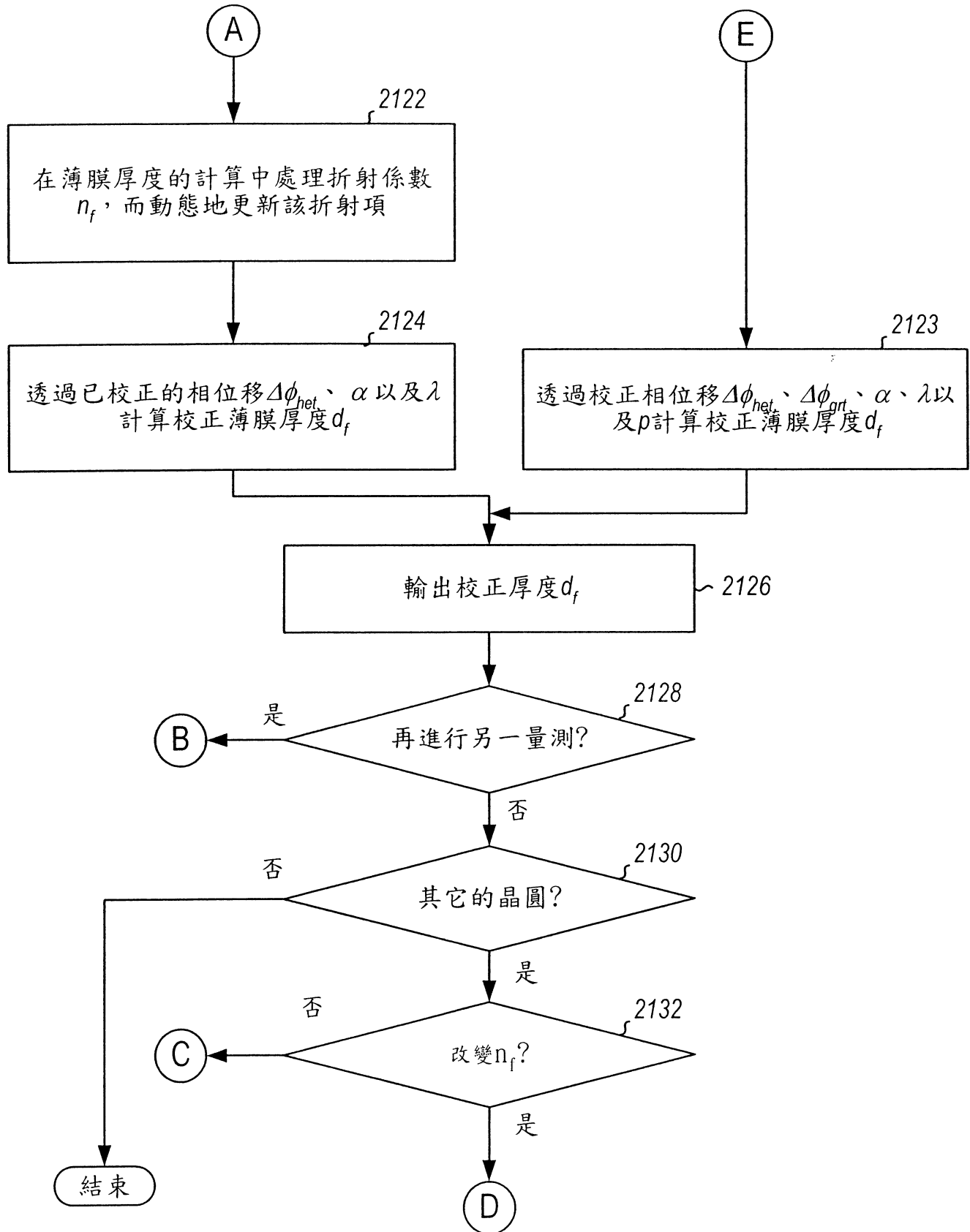


圖21B

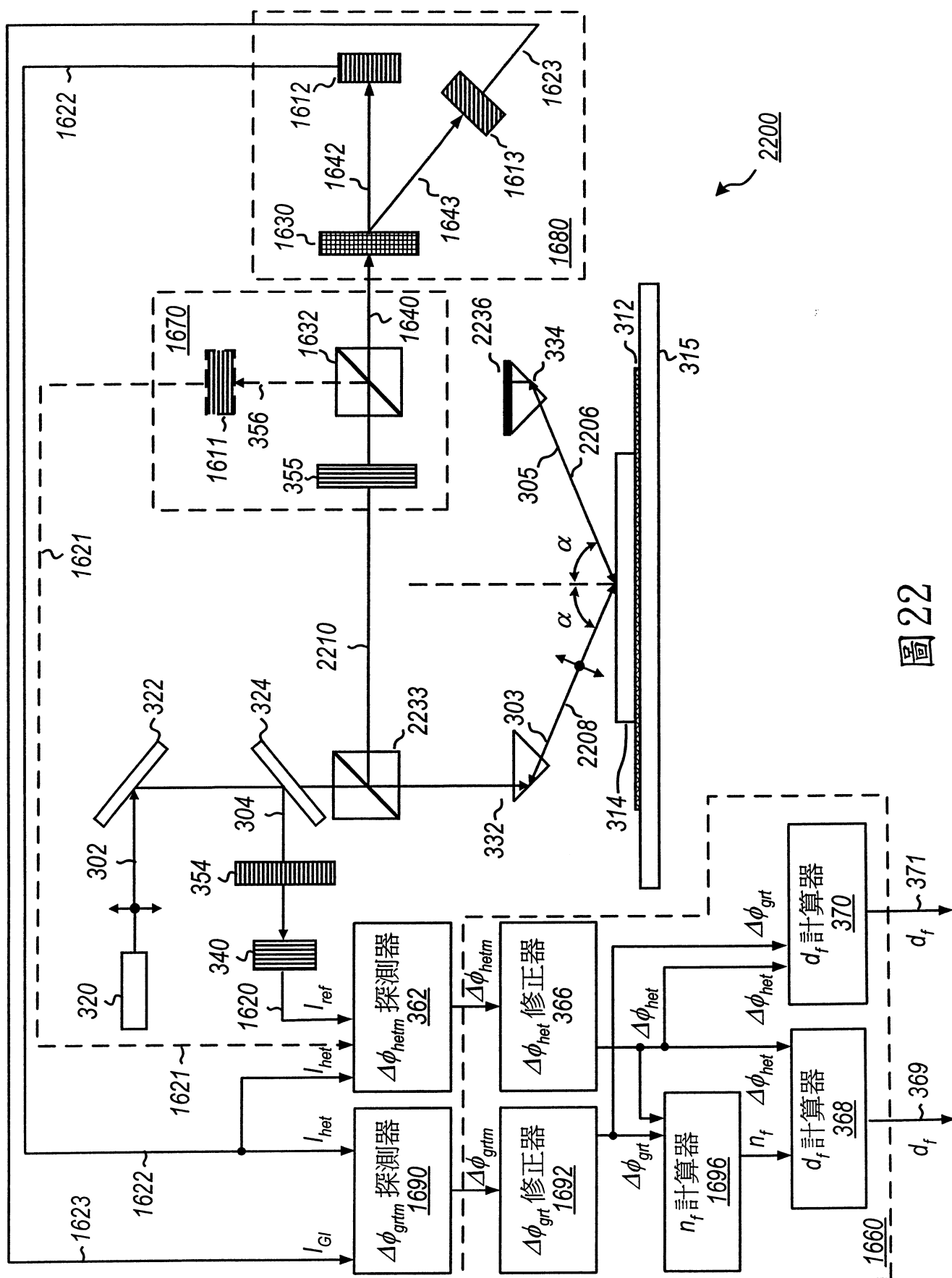


圖22

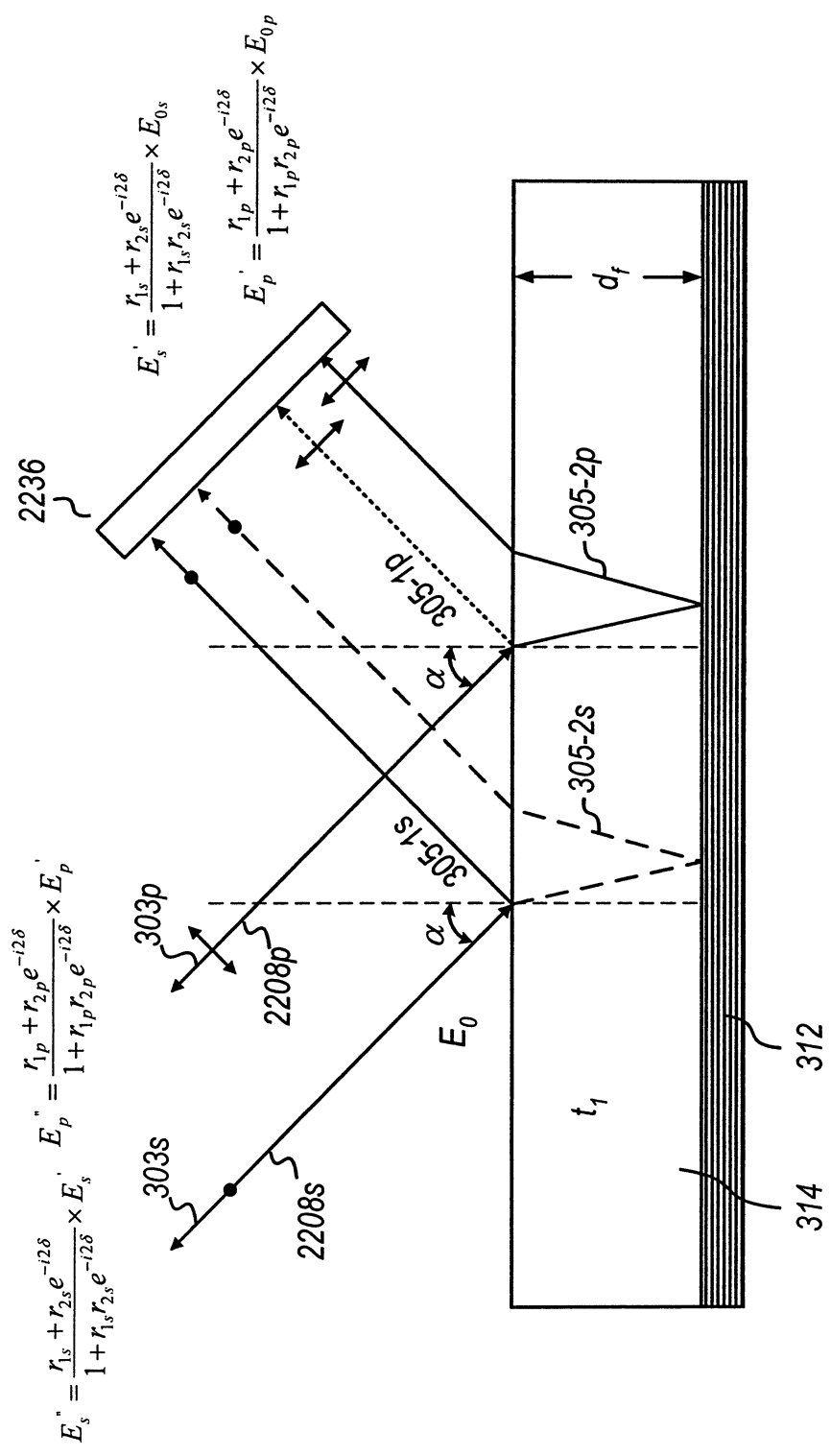


圖23

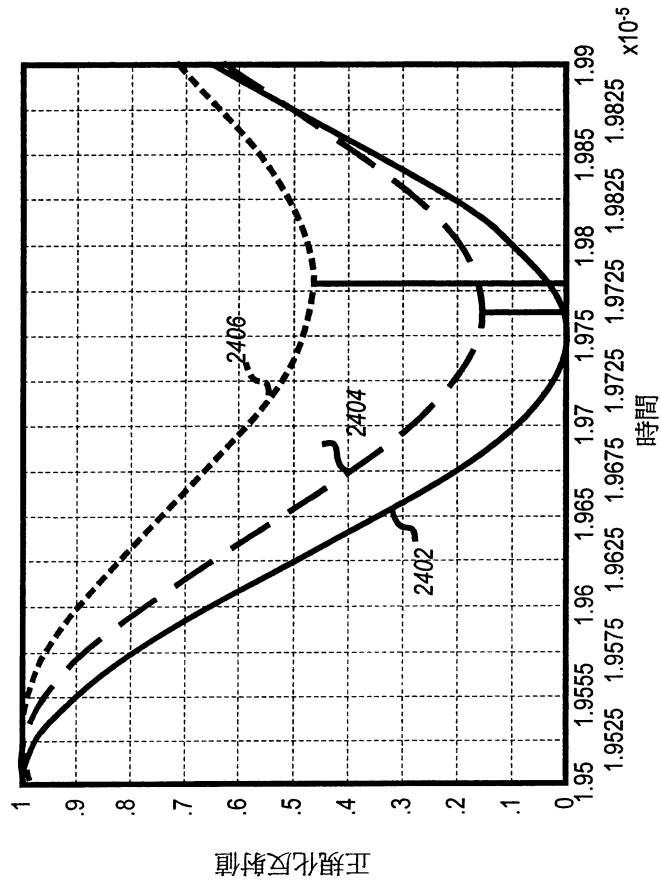


圖 24

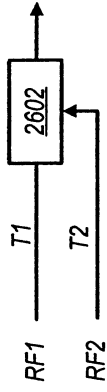


圖 26A

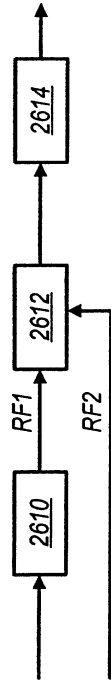


圖 26B

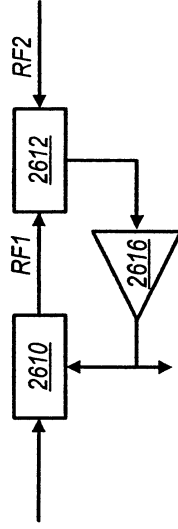


圖 26C

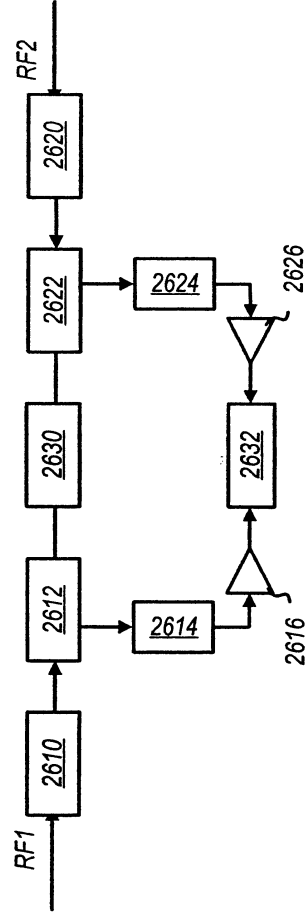


圖 26D

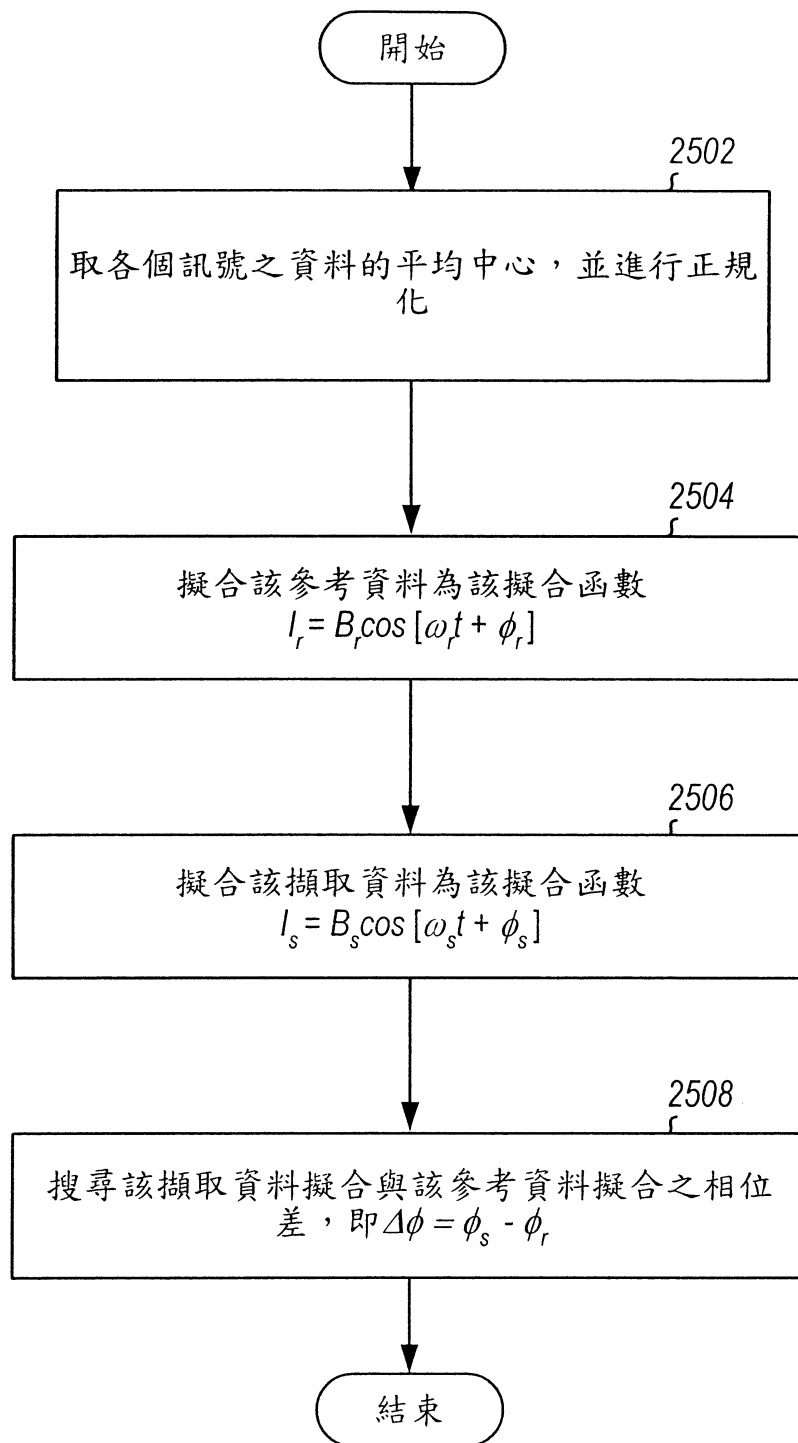


圖25

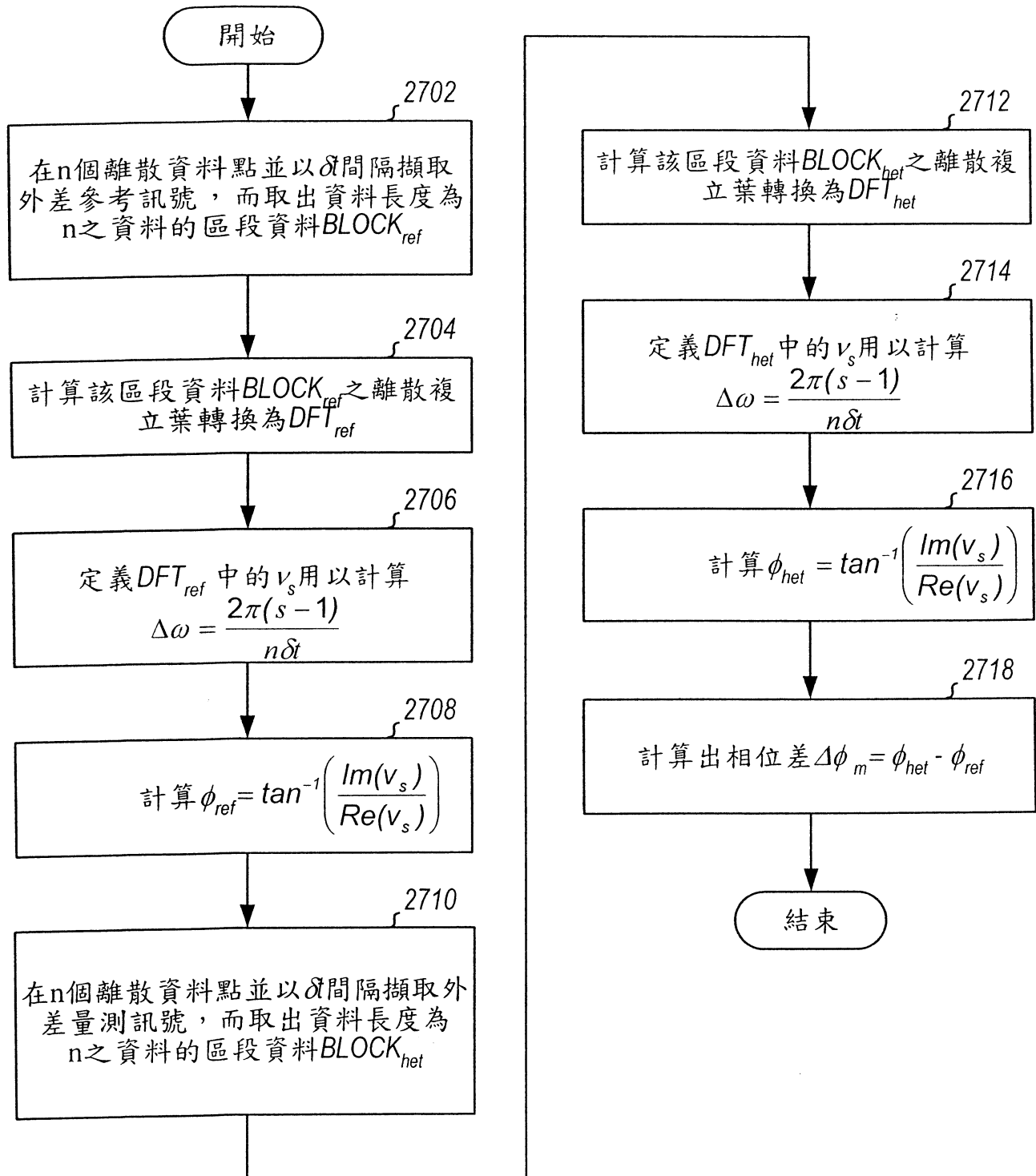


圖27

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖(3A)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

外差反射儀系統 300

區域 301

光束分量 303

光束分量 304

光束分量 305

操作平台 310

底層 312

薄膜 314

光源 320

鏡面 322

光束 332

光束 334

感測器 340

訊號 342

感測器 350

訊號 352

路徑 356

探測器 362

儲存器 364

修正器 366

計算器 368

輸出 369

混合偏光板 354

混合偏光板 355

光束分量 356

資料處理器 360

$\Delta\phi$ ：相位移

$\Delta\phi_m$ ：量測相位移

I_{ref} ：參考相位訊號

I_{het} ：量測相位訊號

d_f ：薄膜層厚度

α ：入射角

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：