

申請日期	89.3.9
案 號	89101133
類 別	G01B 11/06, G01J 5/06, H01L 21/66

A4  
C4

577974

(以上各欄由本局填註)

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">公 告 本</div>		<h1 style="margin: 0;">發 明 專 利 說 明 書</h1>
一、發明 名稱	中 文	測量物體例如半導體晶圓之層厚度及其他表面特徵之光學技術
	英 文	Optical techniques for measuring layer thicknesses and other surface characteristics of objects such as semiconductor wafers
二、發明 人	姓 名	1. 吳查爾斯 Schietinger, Charles W.  2. 洪安 Hoang, Anh N.
	國 籍	1. 美國 2. 美國
住、居所	住、居所	1. 美國俄勒岡州波特蘭市哈尼街 100 號 100 SE Harney Street, Portland, Oregon 97202, U.S.A.  2. 美國加州聖荷西市波賽街 6842 號 6842 Burnside Drive, San Jose, California 95120, U.S.A.
	住、居所	
三、申請人	姓 名 (名稱)	美商陸克公司 Luxtron Corporation
	國 籍	美國
	住、居所 (事務所)	美國加州聖克萊拉市西北公園大道 2775 號 2775 Northwestern Parkway, Santa Clara California 95051, United States of America
	代 表 人 姓 名	歐艾德恩 Edwin M. Oh

裝

訂

線

(由本局填寫)

承辦人代碼：
大 類：
I P C分類：

A6  
B6

本案已向：

美

國(地區) 申請專利, 申請日期：

案號：

, 有 無主張優先權

西元 1999 年 5 月 24 日

09/317,697

有關微生物已寄存於：

, 寄存日期：

, 寄存號碼：

(請先閱讀背面  
注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

## 五、發明說明(1)

### 發明背景

廣義而言，本發明與決定表面狀況的技術有關，更明確地說，是測量表面之反射率及/或放射率。應用例之一測量基底上的膜厚，例如在製造積體電路期間，在半導體晶圓上生長或去除膜的厚度。厚度測量可以與膜處理同時進行(在原位置)，或之後進行(在線上)。更特定的用途是在原處測量被減少或去除的膜厚，諸如使用濕蝕、電漿腐蝕、旋蝕或化學-機械拋磨(CMP)等技術。

新半導體處理技術發展的結果，半導體元件的最小尺寸穩定地縮小，因此不斷存在增進監測及測量處理結果之技術及發展新技術的需求。此趨勢使得很多半導體晶圓的測量可以在原地進行，通常這比在製程之後以其它步驟測量要困難許多。最近發展的實例描述於美國專利5,769,540，其中是測量表面的反射率，從它的放射率及/或可以決定厚度，且不需要接觸表面。所測量的放射率也可用來決定基底上所覆蓋之膜的厚度。這些技術特別適合在快速熱處理(RTP)期間在原處測量。另一項發展描述於美國專利5,695,660，用以在腐蝕或CMP期間，以光學或熱力技術，在原處測量介電層或金屬層之整平的厚度或平坦度，包括經由晶圓的背側測量。當應用於CMP時，一光學信號通過配置於移動單元(如晶圓載台)上的光學窗口與被處理中的晶圓通信。在公開的國際(PCT)申請案WO 97/256660中，在CMP機具的移動組件上裝有許多偵感器，測量信號與控制信號在偵感器與主控台間以無線的方式傳

## 五、發明說明(2)

遞。其它有關的專利文件包括美國專利5,138,149、5,190,614、5,166,525、5,292,605、5,362,969、5,717,608、以及5,786,886，以及PCT公開 no. WO 93/25893。外國專利公告都是來自Luxtron Corporation of Santa Clara, California, 所有內容均併入本文參考。

本發明的主要目的是提供更增進的方法與儀器，以光學測量表面的特徵，諸如成形於半導體晶圓上的電路結構表面，或平面顯示器。

本發明更特定的目的是提供對CMP處理效果更增進的監視。

本發明的另一目的是提供增進的光學方法與儀器，用以測量基底上所覆蓋之介電層、半導體或金屬材料層的厚度。

本發明還有另一目的是在執行前述目的時，能同時處理被監視的表面或層(在原處)。

本發明還有一更特定的目的，是能精確地測量基底上之覆蓋層的厚度改變，諸如半導體晶圓，同時進行(在原處)增加或減少層厚度的處理。

### 發明概述

經由本發明的各種態樣將可瞭解本發明的這些及其它目的，概述如下。

以光輻射照射被監視的表面，入射輻射的射線傳播以很廣的角度以構成一輻射場，經過表面改變後，也在很廣

### 五、發明說明(3)

的角度收集，並以偵感器偵測。光輻射照射及收集的角度要夠寬，俾使經過一段時間會發生或不同之表面複製間之光輻射路徑及/或被監視之表面的變化(非有興趣的表面光學特徵)，能保持最小或實質上消除，以增進測量結果的精確度。在典型的應用上，當入射輻射照射到被監視的表面時，傳播的角度最好至少超過45度並到達180度，收集的角度最好也超過45度，或更高到180度。當照射的角度增加，收集的角度可以窄些。收集的輻射被偵測，被偵測的輻射被處理以監視所要的表面特徵。偵感器明確的結構包括一光輻射傳播元件，諸如擴散器或多通反射器，放置在被監視表面的附近，以及光收集元件，諸如光纖或透鏡的一端，其位置在接收被表面改變後所傳播的輻射，例如從表面反射。照射的輻射以隨機或假-隨機散射為佳，諸如入射到被監視表面光輻射通過磨沙玻璃。

廣角照射與偵測可大幅降低光學信號散射變化的影響，它的發生與所欲測量的量無關。入射的光輻射以及被所監視之表面改變的光輻射，視表面、輻射照射到表面以及光學元件的角度、經過一段時間的改變以及其它原因，都會改變散射的量。由於橫過被監視之表面或不同表面間的散射特性不同，如果觀察的角度窄，被散射到窄視角內之入射輻射量的任何變化，相對於較廣角度內的散射，將致使所偵測的光學信號改變。當吾人是透過一層液體(如蝕液或拋磨漿)觀察表面時，將會發生重大變化，隨著時間它的厚度及其它特徵都會改變。但如果是從入射輻射會被表

## 五、發明說明(4)

面散射之大部分或所有角度觀察表面，表面上的任何液體蝕劑或光學元件的雜訊源，都會大幅減少。當以廣角度照射表面時，雜訊更會進一步減少。以一完整的半球照射與偵測最為理想，但當使用上述範圍的較小角度時，也獲重大增進。

在本申請案中所使用的“光輻射”表示是在一連續波長範圍內的電磁輻射，包括可見光及近可見的紅外光與紫外光波長，一般來說，考慮的範圍從0.2到4微米。監視被表面所改變的光輻射，通常也包括監視入射到表面上的輻射位準，以便計算表面的反射率或放射率，或相關的量，例如所要決定的最終表面特徵，或是用來計算某些其它表面特徵的中間量。經由在所定義之輻射波長範圍內以及前所討論之幾何限制下測量，所計算得到的表面反射率或放射率極具義意，因為與表面反射率或放射率無關的條件改變與它們無關。以計算放射率為佳，因為吾人瞭解，它與幾何形狀、波長以及其它會在光學測量中致使不欲見之變化的其它因素都無關。

當監視在基底上成形或從基底上去除全部或部分的材料層時，最好是以上述的方法照射與觀察。層被完全去除的結束點是表面的一項特徵，要被決定。另一特徵是層的厚度，它可以是相對或絕對厚度。由於測量條件的改變對決定表面反射率或放射率的影響已減至最小，因此，從速查表、模型、或其它反射率或放射率與厚度間之關係，可以得到極精確的層厚度。

## 五、發明說明 ( 5 )

當被監視的層是金屬或其它一般的不透明材料時，如果層薄到足以部分透明，則它的反射率及放射率與層的厚度直接相關。例如，當從基底上去除金屬層並以上述的技術測量時，一旦層的厚度薄到足以半透明時，金屬層的厚度即與反射率或放射率直接相關。視金屬種類及所使用的輻射波長而定，當半導體晶圓上的金屬膜厚小於大約500到1500Å時，金屬膜開始半透明。因此，對此種薄的金屬層而言，它們的厚度可以從速查表或從層厚與所測量之反射率或放射率間的關係函數決定。如此即可精確地測量及控制金屬薄膜的厚度。一旦金屬膜被完全去除，所測量到的就是金屬膜下層的光學特性。測量金屬層的反射率或放射率，可以一或多種波長的光輻射為之。

至於透明材料層(例如介電質)的厚度，經由觀察有材料要被去除之外表面所反射的部分入射光輻射，與從基底及層結構中某些其它介面所反射之部分入射光輻射間之干涉所得到的信號，就可以全程監視整個範圍的厚度。可以經由查表或函數得到干涉信號與層厚度之關係的特定值。干涉信號最好是用至少兩種不同波長的光輻射產生。當兩或多種波長的光輻射與層厚度的範圍都適合時，就可以精確地測量到透明層的厚度，在很多情況下都不會發生含混。在其它例中，為得到透明層之厚度且是沒有含混的精確測量，需要另外知曉層的估計厚度，例如由觀察或其它方法決定。

當使用兩或多種波長的光輻射照射某層時，輻射可以由

## 五、發明說明(6)

各自獨立的窄頻帶輻射源產生，如發光二極體(LED)，並分別單獨回應其中之一的源波長。另者，或是2或多個輻射源結合，每一個都以獨有的頻率調制。從一或多個接收輻射的光檢知器得到的電氣信號，接著通過輻射源的調制頻率濾波，以得到每一個照射波長各自的信號。所選擇的調制頻率最好與可能出現於測量周遭的任何環境輻射或電氣雜訊不同，藉以降低任何此類環境輻射或電氣雜訊所帶來的不利影響。當使用單一的光輻射照射被監視表面時，為減少任何環境輻射或電氣雜訊的影響，同樣也可以使用輻射源調制與光檢知器信號濾波技術。

雖然上述技術對在線上或離線測量表面特徵都十分有用，但都是當表面處理不進行時為之，通常最好是應用這些技術在原處監視。藉以免去測量所需的額外步驟，並能即時提供結果。如此，即可經由測量來控制製程，可以自動調整製程，或將測量結果提供給作業員由其調整製程。一種特定的處理方法是這些測量技術特別適合CMP，載具上固定一或多片基底(例如半導體晶圓)，它們外露的表面在拋磨板的拋磨墊上移動。拋磨漿料及化學蝕劑通常是施加於拋光墊上。一或多個光輻射偵感器，如前所述最好是廣角型，安裝於載具上(如果是從基底的背側觀看處理)或是拋磨板上(如果是基底的正面觀看)。在某些CMP機具中，當晶圓裝入或從CMP機中取下時，可以周期性地觀看晶圓的正面，或是在CMP處理期間，在CMP機內周期性地移離開拋磨板。

## 五、發明說明（ 7 ）

從安裝在CMP機拋磨板內之偵感器所得到的類比信號是連續信號，得自掃瞄過載具上所裝載的一或多片晶圓，以及晶圓間的載具表面。如果載具表面的反射率或放射率與晶圓間有極大不同，則當光檢知器橫過晶圓邊緣時，所得到的信號即有極大的不連續。區別各晶圓表面的測量即是參考這些不連續，做為識別測量位置的方法。在某些例中，希望在有電路圖案之晶片之外的晶圓邊緣附近取特定的測量，而在其它的例中希望對整個有圖案的部位取特定的測量。部位的控制是使用邊緣的不連續。測量晶圓的特定位置是全時監視，以便測定對晶圓表面處理的效果。

以上所述本發明各具代表的特徵可以不使用別者單獨實施，但上述及其它特徵可有各種組合，以適合特定用途。本發明之各種態樣的其它特徵、優點及目的都包括在下述的各實施例中，配合所附圖式進行描述。

### 圖式簡單說明

圖1概示光學掃瞄一基底以監視層表面之特徵的一般系統；

圖2及3顯示圖1之一般光學掃瞄頭另一型式的橫剖面圖；

圖4是圖1之光學掃瞄頭之第一特定實施例的主要組件；

圖5是圖4之光學頭的橫剖面圖；

## 五、發明說明 ( 8 )

圖6是圖1之光學掃瞄頭之第二特定實施例之主要組件的橫剖面圖；

圖7顯示修改圖1之系統的光學配置，使用兩種波長測量；

圖8是按照圖1之系統以兩種波長波，如圖7所修改的光學配置，測量透明膜的典型曲線；

圖9的表說明圖8之曲線的使用；

圖10顯示圖1系統之光學配置的另一種修改，它調制照射的光輻射源；

圖11顯示圖1系統之光學配置的另一種修改，它調制照射的光輻射源，並使用兩種波長測量；

圖12是以圖1之系統測量金屬膜的曲線；

圖13的表說明圖12之曲線的使用；

圖14是一型CMP機的側視圖；

圖15是說明圖14之CMP機各組件間相對運動的概圖；以及

圖16A及16B是圖14及15之CMP機的典型信號。

### 較佳實施例描述

一開始請參閱圖1，圖中說明使用本發明之測量技術之系統的一般配置。一基底或其它物件11具有一要被測量的表面13。一光學偵感頭15將一或多個發光二極體(LEDs)的光輻射導引到表面13上的一個點17。也可以使用其它的光輻射源取代LEDs，但由於LED的頻寬窄，其波長只有數十

## 五、發明說明(9)

奈米或更短，因此是較佳的光輻射源。並不需要使用相干性高的光輻射源。從表面反射的部分光輻射源，被適合的光學元件收集，如光纖19。另一光學元件，如光纖21，收集部分的輻射源，做為參考用的背景輻射，其中最好不含任何從表面反射的輻射量。

偵感頭15連接到模組23，它包括光學與電子元件，做為偵感頭15與主控制器25(如個人電電腦)間的介面。光檢知器27及29分別接收來自光纖19及21的光信號，並在各自的線路31及37上產生電氣信號。這些電氣信號被各自的放大器35及37放大，它們的輸出連接到類比至數位轉換器39。光檢知器27與29的輸出被放大及數位化，接著送到控制器41，它控制偵感器15與模組23的操作，並執行部分或全部計算以決定與被測量之表面13特徵相關的最終品質。模組23也包括一電源電路43，經由線路45供應偵感頭15內之LEDs或其它光輻射源的電力。電力是由主控制器25供應，但是由控制器41控制。模組23最好是配置在一小且堅固的封裝內，俾使其可置於頭15的附近，成為處理機具的一部分。

照射光點17的大小要適於測量，在本文所描述的特定用途中，直徑在1/4到3/4吋的範圍。對以下所描述的CMP應用而言，偵感頭15的直徑大約1/2吋，所產生之光點17的直徑稍小於它，視偵感頭15底端所使用的光學元件而定。當然，光點17的大小決定每次測量期間表面13的面積是被平均或是被積分。

## 五、發明說明(10)

在表面13上的測量，經由偵感頭15與表面13間的相對移動，可以是單點、多點、或連續橫過表面13，例如沿著路徑47。可以移動偵感頭15、或移動基底11，或兩者一同移動。在以下描述的CMP應用中，兩者都移動。

圖2顯示偵感頭15之端部的橫剖面圖。來自偵感頭15內輻射源(在圖2及3中未顯示)的光輻射被導引通過光輻射傳播元件，它延伸擴及圓柱形外殼51的開口端。元件49以最大角度 $\theta$ 傳播輻射源，以實質均勻的強度為佳。為達此目的，以使用繞射元件為佳，但元件49使用磨沙玻璃就已足夠，足以提供表面隨機的照明。如前所討論，角度 $\theta$ 增加可以獲得較佳的結果。元件49經過設計，所提供的角度至少45度。

光纖尾端接收光輻射的角度主要視光纖心之材料的折射率而定。圖2中所示光纖19尾端的角度為 $\Phi$ ，它延伸通過元件49，具有表面13的無障礙視野。亦如前所討論，此角度要儘量實用，以超過45度為佳。以藍寶石、石英或立方二氧化鋯所製成的光纖心可得到大約45度的角度。若需要更大的 $\Phi$ 角，或當光纖心是使用折射率較低的材料，例如塑膠製成時，則可在光纖19的尾端加一個透鏡元件53，以增加光纖19的視野，如圖3所示。在 $\Phi$ 角內之表面13的面積定義光點17，假設此區域內的照明實質均勻。

偵感頭15的特定實施例如圖4及5所示，圖中之元件與前述相同者以相同參考編號表示，但若結構不同則在參考編號上加一分號(')表示。複數個LEDs 55-64分布於一半球

## 五、發明說明(11)

形殼65上。一透明蓋67可具有散射輻射的特性，但輻射的廣角分布主要來自大量的LEDs與殼65內的反射。表面13被接近180度的大角度照明，視殼與表面13間的距離而定。配置在LEDs上成為其一部分的透鏡可以粗化，以使圖4及5之偵感頭15所提供的照明更加擴散。

偵感頭15的另一特定實施例如圖6所示的橫剖面圖。在圓柱形外殼51內是複數個LEDs，包括LEDs 71及73，裝在一延伸橫過殼之內部的平板上。從LEDs發出的輻射通過一擴散片77，收集輻射的光纖19延伸通過擴散片77，如同圖2及3中所示的結構。當在惡劣的環境中使用時，如在半導體蝕液或CMP機中，偵感頭15"被密封以抵抗液體、潮濕及蒸氣。其做法可將擴散片77封住，但較佳的密封是加一片透明玻璃板79，將外殼51的內部完全密封住。光纖17經由加裝在光纖19四周的單片環形擴散反射元件81收集LEDs的光輻射。元件81必須小到不會阻擋擴散片77接受來自LEDs幾乎所有的光，但必須大到能將足夠的輻射反射給光纖17，以得到有用的背景參考信號。

光輻射源的波長經過選擇，以便能對所感興趣的特定表面特徵做最佳監視。輻射需要與要被監視之物件或其表面的特性或特徵交互作用，並偵測被物件改變後的輻射。對經由從晶圓反射的輻射來監視矽半導體而言，通常以使用稍低於矽之帶緣的波長為最佳，一般來說是小於1微米的紅外線輻射，它對晶圓而言是不透明的。如果需要輻射穿過被監視物件才能得到所要偵測之被物件改變的波束，當

## 五、發明說明(12)

然，就要選擇能通過物件的波長。

當測量表面13的反射率時，控制器41計算光檢知器27之反射輻射信號與光檢知器29之背景輻射信號的比，這為吾人所熟知。首先將偵感頭15放置在至少一個已知反射率的表面以校正儀器，最好是能測量數個不同已知反射率的表面。校正步驟包括調整兩個信號通道的相對增益，直到儀器能正確讀取測試表面的已知反射率。這最好是以控制器41內的軟體為之，特別是當使用多個測試面時。

當測量表面13的放射率時，控制器以1減去反射率，這也是吾人所熟知。也是使用已知放射率的表面對儀器做相同的校正。在以下的例子中，所計算的表面放射率是用來測量成形於表面之材料層的厚度。主要的用途是在半導體製程中，但此技術並不限於此。如所熟知，介電材料對入射的輻射而言是透明的，要監視它的厚度改變，要測量來自層之兩表面之輻射反射的干涉。當層因化學氣相沈積(CVD)或其它方法使材料增加而變厚，或是因CMP或其它技術的濕蝕或乾蝕使層的材料被去除而變薄，干涉信號都會通過波峰與波谷。

本發明以不同波長分別測量並結合測量結果，以提供決定介電層絕對厚度的能力，而非僅決定相對厚度或厚度的改變率。圖7顯示對前述單波長實施例的修改。兩種不同波長的LEDs 91及92分別放射波長為 $\lambda_1$ 及 $\lambda_2$ 的光輻射。從表面13反射的光輻射被光纖93收集，通過分光鏡95並通過各自的光學帶通濾波器101( $\lambda_1$ )及103( $\lambda_2$ )進入光檢知器97

## 五、發明說明(13)

及99。這些光檢知器輸出的信號接著被類比到數位轉換器39'數位化。光纖105將從LEDs 91及92取樣得到的參考輻射導引到分光鏡107。一部分的參考輻射( $\lambda_1$ )通過光學濾波器113到達光檢知器109,另一部分( $\lambda_2$ )則通過光學濾波器115到達光檢知器111。這些光檢知器的電氣輸出也施加於類比到數位轉換器39'。

控制器41(圖1)現在分別計算表面13對輻射波長 $\lambda_1$ 及 $\lambda_2$ 的反射率或放射率。所計算的放射率資料顯示於圖8的曲線。當層的厚度增加或減少時,這些曲線是一樣的。第一條干涉曲線117是處理光檢知器97及109接收之 $\lambda_1$ 信號所得到,第二條干涉曲線119是處理光檢知器99及111接收之 $\lambda_2$ 信號所得到。上述放射率的計算要做兩次,每種波長各一次。圖8之曲線所顯示的氧化層放射率是以波長分別為 $\lambda_1=0.650$ 微米及 $\lambda_2=0.740$ 微米所得到。使用第三或更多不同的波長可以得到更多資料,因此會有1或更多的其它干涉曲線,不過,實施此系統的複雜度通常超過獲益。曲線117及119的周期不同,因為獲得資料的波長不同。因此它們的波峰及波谷並不對齊。此允許從曲線117及119所構成的資料決定表面13之透明層的厚度。對層厚度的每一個值而言,兩曲線的值是唯一的,至少在一很大的厚度範圍是如此。

圖9的表說明此。兩波長的每一對放射率值對應於被監視層的特定厚度。例如,當波長 $\lambda_1$ 及 $\lambda_2$ 所計算的放射率分別為u及w時,對應此放射率之層的厚度為(A)。此也顯示

## 五、發明說明(14)

於圖8的曲線中。同樣地，結合曲線117及119中之 $v$ 及 $x$ 值可得到厚度(B)。圖9中之表是根據某特定之層材料由經驗所決定。儀器有能力測量兩或多種材料的厚度，每種材料都有不同的速查表。每組數位樣本是類比到數位轉換器39'(圖7)從光檢知器97、99、109及111一次取樣4個類比信號輸入所得到。此表的另一種用法，可為儀器所欲測量之不同類型之層材料建立兩個放射率讀數與層厚度相關的數學函數。

視某特定範圍的層厚度及所使用的特定波長而定，在圖9的速查表中，放射率讀數對的長序列會不斷重複，因而造成厚度讀數的含糊。當發生此情況，即給予圖1之控制器41另一項資訊，如腐蝕或CMP處理開始時的估計厚度。當程序開始時，使用者可輸入此項資料。此將允許控制器從適當的厚度值開始，以解決相同的放射率讀數對在表中出現超過一次的問題。在很多情況下，使用第三或更多的放射率讀數將可消除含糊的問題。當測量成形中之層的厚度時，速查表中的讀數是從零厚度開始，因此，值序列中的任何重複都不會導致厚度計算含糊的問題。

在處理機具及環境中存在有周圍的輻射，視測量所使用的波長而定，這些輻射都會被測量到。當然，這會影響到表面測量的精確度。雖然在很多情況下可以將測量儀器與這類光輻射隔離，但效果不如以與周圍輻射不同的調制頻率調制入射的輻射。亦即，避免使用電源的頻率及它的諧振頻率(在美國如60、120Hz)。處理機具中所產生之任何

## 五、發明說明 (15)

電氣雜訊的頻率，會將低位準信號引入測量電路內，這些頻率也都要避免。光檢知器的輸出接著施加到電子式帶通濾波器，以通過調制頻率的窄頻帶。此技術如圖10所示，其中送到LED 121的電源43a以頻率為 $f_1$ 的正弦信號調制，如數百Hz，視情況而定。背景以及反射輻射檢知器121及123將它們的電氣信號送到各自的放大器127及129。接著，被放大的信號各自通過頻率為 $f_1$ 的窄通帶濾波器131及133。因此，濾波器131及133的電氣輸出只代表產生自LED121的光學信號，而沒有環境中的光學或電氣雜訊。經過濾波之交流信號的某些特徵，諸如它們的均方根(rms)，在進一步算術處理前，可以取其代表所測量的表面特徵。

此LED調制技術也適用於多波長的儀器，如圖7之實施例的衍生型。圖11顯示LEDs 135及137，放射的光輻射具有不同的波長 $\lambda_1$ 及 $\lambda_2$ ，各自被不同的頻率 $f_1$ 及 $f_2$ 調制。在本例中不使用圖7的光學濾波器得到兩波長各自分離的信號，而是使用電氣的帶通濾波器。在本例中只使用一個參考輻射光檢知器139，也只使用一個光檢知器141接收反射自表面13的LED輻射。光檢知器的輸出被前置放大器143及145放大。來自光檢知器139被放大的信號施加到兩個濾波器147及149，分別是LED之調制頻率 $f_1$ 及 $f_2$ 的窄通帶濾波器。同樣地，來自光檢知器141的放大信號施加到兩個濾波器151及153，也分別只讓頻率 $f_1$ 及 $f_2$ 通過。4個濾波器的輸出接著被類比到數位轉換器39b數位化。接著，圖1的控制器41處理來自 $f_1$ 帶通濾波器147及151的信號，以得到圖8

## 五、發明說明(16)

中的一條曲線，同時也處理來自f2帶通濾波器149及153的信號，得到另一條曲線。因此，如果按圖10中所述方法選擇f1及f2的調制頻率以抑制光學及電氣的環境雜訊，圖11的系統也因此受益。另者，可以結合圖7及圖11的系統，同時使用光學及電氣濾波器。

一般對不透明材料膜(例如金屬)的光學偵測具有一典型限制，在去除膜的期間，是藉偵測反射輻射的振幅何時從某位準改變到反應金屬被完全去除的另一位準來決定何時完成。不過，從圖12的曲線可看出，當金屬膜非常膜時，測量金屬層的反射率或放射率可測量出它的厚度。圖12的曲線是鈹層上的銅層，該組合是覆蓋於基底上之其它材料之上，通常是介電材料。銅在積體電路中是做為導體。鈹層，或其它適合的材料是提供蔽障，以防止銅擴散到下方的介電層。兩層結構的放射率，當在完全的厚度時是a(圖12)，但當銅層非常薄，厚度介於(X)及(Y)之間時，可測量的放射率變化是在a與b之間，是厚度的函數。對銅而言，在(X)時的厚度大約1,000埃。在本例中，下層的鈹薄到完全不透明，它的可測量放射率變化是在位準b到c之間，是它厚度的函數，如圖12中所示(Y)到(Z)間的厚度。c是鈹下方材料的放射率，通常是介電質。

此種金屬薄層在半導體處理及結構中應用的十分廣泛。當在晶圓之部分或全部表面上成形、減薄或完全去除薄金屬層期間，本發明的技術可在原位置測量它的厚度。當使用銅做為導體時，在晶圓上成形介電層並覆蓋整個晶

## 五、發明說明(17)

圓，除了需要通過介電層與鋁、複矽、基底擴散區等接觸的位置。在介電層中成形淺溝區，以定義何處要配置銅導體。接著在整個介電層表面沈積一層薄的障層(典型上是200-800埃)，例如是鈦，包括淺溝及貫穿介電層的孔道。接著在障層上成形銅層，通常是以電鍍法成形。接著使用CMP去除介電層頂表面的銅層及下方的障層，只留下溝槽及孔道內的銅導體。

圖13是經驗值的速查表，其所決定的資料與圖12之放射率與層厚度的曲線相關。放射率的測量，可以上述方法其中之一為之，接著使用速查表轉換成厚度。金屬的測量也可使用雙波長及輻射源調制技術。

可看出，當在圖12之(X)到(Y)之間的區域時，無論在成形或去除期間，都可以很仔細地控制薄金屬層的厚度。當是在成形鈦及銅層時，對特徵曲線的監視是從右到左，當在去除層時，是從左到右。監視層之厚度對於要將層完全去除時也很有用，因為當快到達結束點時，它可以給處理控制器或作業員指示。

本發明之各態樣極重要的應用是以CMP去除層之厚度期間，或至少部分期間可以在原處測量層的厚度。CMP的最大的用處是處理半導體晶圓。目前使用的CMP機具種類非常多，且會繼續使用到未來。它提供層表面與拋磨墊間有壓力的相對移動，並在兩者間提供液體化學蝕劑與拋磨顆粒的漿料。在此種機具上在原處以光學監視非困難，因為通常基底與被測量的層都在進行非常複雜的移動，限

## 五、發明說明(18)

制了光的進入，以及對光而言是一惡劣環境。

圖14及15顯示在CMP機具上安裝本發明的膜厚監視器。在本例中，一次處理4個半導體晶圓。晶圓161及163上的層165及167要減厚。晶圓的背側附接於晶圓載具169與171上。晶圓載具分別由電氣馬達173及175帶動旋轉。結構177將晶圓載具固定在定位。晶圓的層被抵壓在一附接於拋磨板181上的拋磨墊179，拋磨板181由電氣馬達183轉動。液體化學蝕劑與拋磨顆粒的漿料層185施加於拋磨墊179表面。晶圓層165及167外露表面上的材料被介於晶圓層與拋磨墊179間的拋磨料拋磨。

上述的偵感頭15(以圖6所示的型式為佳)安裝在拋磨板181上，當被處理的層通過偵感頭15時，用以檢視從層上反射的光。一透明的窗187安裝在拋磨墊之偵感頭15的上方。偵感頭15內所產生的光輻射向上通過窗187，穿過漿185，照射到旋轉中被處理晶圓層，並以相同的路徑回到偵感頭15內的光收集元件。偵感頭的電路23附接在拋磨板181的下方。它與主控制器25間之數位輸出信號與控制信號的傳遞，是經由拋磨板181之轉軸191上的滑環總成189達成。另者，也可以使用無線通信，如使用紅外線或射頻頻率。

可看出，偵感頭15與被監視之晶圓層間的光學路徑中並非沒有阻礙。特別是拋磨漿185，雖然對偵測的輻射而言是大部分透明，但光輻射必須通過它兩次，每個方向各一次。不過，本發明的偵感頭克服了此困難，可以提供良好的測量。如前所述，寬角的輻射照明與收集降低了拋磨漿

## 五、發明說明(19)

改變光學特性的不良影響，特別是在改變輻射散射方面。本發明藉以可以精確地測量正在處理中的層。

圖 15 顯示拋磨板 181 與晶圓 161 及 163，以及另兩片 162 及 164 的空間關係，在圖中以虛線表示晶圓的輪廓。4 片晶圓中的每一片都被各自的驅動馬達帶動朝箭頭所指的方向旋轉。因此，偵感頭 15 在路徑 193 上橫過所有 4 片旋轉中的晶圓，一次掃描一片。從偵感頭電路 23 (圖 1) 所得到的放射率信號如圖 16A 所示。此信號提供每一片晶圓被偵感頭 15 掃描的放射率 (如有需要，也可以是反射率)，當偵感頭 15 在晶圓間移動時，也測量到 CMP 機具之某些其它部分的放射率位準。轉動位置編碼器 195 附接在轉軸 191 上被偵感器 197 讀取，主控制器 25 產生如圖 16B 所示的相對位置脈衝。編碼器與偵感器 195 與 197 可以是機械式、光學式、磁式或其它任何適合的型式。位置脈衝的目的是供主控制器將所接收到的信號與各晶圓相關。

如圖 16 所示，主控制器 25 可以很容易地從得自偵感頭電路 23 之資料流中區分出何者為晶圓，何者為晶圓間的處理機具部分。這是因為在偵感頭 15 通過晶圓邊緣時，放射率位準會發生陡峭的改變。例如，這種改變發生在當偵感頭 15 通過晶圓 161 之邊緣到達晶圓上時的信號邊緣 201。當偵感頭 15 離開晶圓 161，它看到其它表面，在圖 16A 的信號中發生邊緣 203。當晶圓 161 的處理進行中時，所測量的放射率位準改變，例如，在兩個位準 205 與 207 之間。由於晶圓的邊緣定義在信號中，此允許主控制器 25 在處理進行中

## 五、發明說明(20)

可以選擇距離邊緣某一位置測量放射率。信號209指示距離晶圓邊緣一段距離在晶圓上的位置。例如，積體電路成形在此晶圓位置上。信號209隨著時間變化，如圖8及12的例所示。每當偵感頭15通過晶圓161上的該位置時即取出信號209，在該位置獲得一新的放射率資料點。主控制器25也為其它3片晶圓在相同位置選擇監視資料。經由使用此相同位置，可以比較晶圓間的層厚度。

當然，在處理期間每片晶圓上可被監視的位置不只一個。可以分別單獨監視每片晶圓上數個資料點並平均。或是橫過特定段或整片晶圓所有讀數的平均，並轉換成時基型式的信號，如圖8及12所示。此外，從圖16A的信號可看出，可以監視各個晶圓上所定義之部分或全部的處理均勻性。例如在邊緣201與203間之資料205的變化即顯示處理不均勻。主控制器25統計計算單次掃瞄或多次掃瞄某特定晶圓的資料，即可提供橫過晶圓之放射率值的分布。此外，從放射率的資料也可以計算在相對於晶圓邊緣之一或多個指定位置，或橫過部分或整片晶圓之平均的拋磨速率。

從圖15可看出，掃瞄橫過晶圓的路徑47(圖1)每次都不同，這是因為晶圓與偵感頭15間複雜的相對運動所致。不過，該移動視使用本發明之測量技術的特定CMP設備而定。

雖然本發明的各種態樣是以較佳實施例描述，但應瞭解，本發明所定名稱受所附申請專利範圍之整個範圍的保護。

四、中文發明摘要(發明之名稱：**測量物體例如半導體晶圓之層厚度及其它表面特徵之光學技術**)

以廣角的光輻射照射表面並以廣角接收表面反射之輻射以測量表面的特徵。可以測量表面的放射率，另者，如果也測量反射率，測量的結果將更精確。用途之一是測量一或多層的厚度，無論是透明材料或金屬材料所形成的層。使用一或多種波長技術將可做到非常精準的厚度測量。以環境雜訊非常小或不存在的頻率調制輻射源，將可使來自四周輻射的雜訊降至最小。在處理表面的期間進行測量，將可精密控制半導體晶圓、平面顯示器或其它物件的處理。主要的用途是在以化學-機械-拋磨(CMP)減少膜厚時在原處監視。

英文發明摘要(發明之名稱：**Optical Techniques for Measuring Layer Thicknesses and other surface Characteristics of Objects Such as Semiconductor Wafers**)

A characteristic of a surface is measured by illuminating the surface with optical radiation over a wide angle and receiving radiation reflected from the surface over a wide angle. An emissivity measurement can then be made for the surface, and, alternatively, if a reflectivity measurement is made, it becomes more accurate. One application is to measure the thickness of a layer or layers, either a layer made of transparent material or a metal layer. A one or multiple wavelength technique allow very precise measurements of layer thickness. Noise from ambient radiation is minimized by modulating the radiation source at a frequency where such noise is a minimum or non-existent. The measurements may be made during processing of the surface in order to allow precise control of processing semiconductor wafers, flat panel displays, or other articles. A principal application is in situ monitoring of film thickness reduction by chemical-mechanical-polishing (CMP).



## 六、申請專利範圍

專利申請案第 89101133 號  
ROC Patent Appln. No.89101133  
修正後無劃線之申請專利範圍中文本 - 附件(一)  
Amended Claims in Chinese - Encl.(I)  
5 (民國 92 年 8 月 21 日送呈)  
(Submitted on August 21, 2003)

1. 一種決定覆蓋層之表面區域之特定特徵以量測覆蓋層厚度的方法，包括：
  - 10 一光學元件置於距表面區域第一距離的位置，以45度以上的角度傳播入射的光輻射，將一或多個光輻射源的光輻射導引到輻射傳播光學元件以及表面區域，以使表面區域反射傳播的輻射，以置於該表面區域第二距離處，具有45度以上接收角
  - 15 的第一輻射收集光學元件捕捉通過輻射源傳播元件被表面區域反射的光輻射，將第二輻射收集光學元件放置在能接收一或多個輻射源光輻射的位置，以捕捉來自一或多個輻射源的光輻射，
  - 20 偵測第一及第二輻射收集光學元件所捕捉的光輻射；以及從第一及第二輻射收集光學元件每一個所偵測到之光輻射的位準決定表面區域的特定特徵。
2. 如申請專利範圍第1項的方法，其中從一或多個輻射源
- 25 捕捉光輻射，包括以置於該一或多個輻射源之光輻射路徑中的光輻射反射擴散器，將來自該一或多個輻射源的光輻射，部分反射到第二光管的末端。
3. 如申請專利範圍第1項的方法，其中表面區域之特定特

## 六、申請專利範圍

徵包括它的反射率，以及，決定反射率的方法包括取第一及第二光管所捕捉之光輻射之偵測位準的比。

4. 如申請專利範圍第1項的方法，其中表面區域之特定特徵包括它的放射率，以及，決定放射率的方法包括取第一及第二光管所捕捉之光輻射之偵測位準的比。
5. 如申請專利範圍第1項的方法，其中的表面區域延伸橫過覆蓋於基底上的膜，以及，膜的特定特徵包括決定它的厚度，以及，決定膜厚包括比較被第一及第二光管所捕捉之光輻射的偵測位準。
- 10 6. 如申請專利範圍第1項的方法，其中表面區域延伸橫過成形於半導體晶圓上的結構。
7. 如申請專利範圍第1項的方法，其中表面區域延伸橫過成形於平面顯示器上的結構。
8. 如申請專利範圍第3-7項的任一項方法，其中表面區域的特定特徵是在處理該表面區域且在該特定特徵改變的期間同時決定。
- 15 9. 如申請專利範圍第8項的方法，其中的表面區域是以化學-機械-拋磨法處理。
10. 如申請專利範圍第1-7項的任何一項方法，其中安置輻射傳播光學元件包括在距表面區域第一距離處安置一透明的輻射擴散器。
- 20 11. 如申請專利範圍第7項的方法，其中進一步包括固定該表面區域，並將其與一運動單元的表面接觸，且其中將輻射導引到表面區域，包括導引一或多個輻射源的

## 六、申請專利範圍

輻射通過位於移動單元內的擴散器。

- 5 12. 如申請專利範圍第1-7項的任何一項方法，其中安置輻射傳播光學元件包括安置一半球形元件，其具有固定於內表面四周的複數個光輻射源，其內表面是反射表面，且將開口放置在表面區域上。
13. 如申請專利範圍第1-7項的任何一項方法，其中將一或多個輻射源的光輻射導引到輻射傳播光學元件包括導引至少一個第一頻寬的光輻射源以及至少一個第二頻寬的光輻射源，該第一及第二頻寬互不相同。
- 10 14. 如申請專利範圍第13項的方法，其中第一頻寬的光輻射源在第一調制頻率驅動，第二頻寬的光輻射源在與第一調制頻率不同的第二調制頻率驅動，其中偵測光輻射包括將第一輻射收集光學元件所捕捉的光輻射導引到光檢知器，以及其中決定表面區域特徵包括導引光檢知器輸出的電氣信號分別通過該第一及第二調制頻率的帶通濾波器。
- 15 15. 如申請專利範圍第5項的方法，其中將光輻射導引到輻射傳播光學元件包括導引至少一個第一頻寬的光輻射源以及至少一個與第一頻寬不同之第二頻寬的光輻射源，其中膜對該第一及第二頻寬的光輻射是透明的，以及進一步包括：  
保持膜之厚度值是第一及第二頻寬之光學特徵資料值對之函數的關係，以及  
參考該關係，重複地將第一及第二頻寬之光學特徵值
- 20

## 六、申請專利範圍

對轉換成層的厚度值。

16. 如申請專利範圍第5項的方法，其中的膜是金屬，且進一步包括：
- 5 當金屬膜的厚度進入對該一或多個光輻射源部分透明的範圍時，保持膜之厚度值是反射率或放射率之函數的關係，以及
- 參考該關係，重複地將第一及第二頻寬的光學特徵值對轉換成層的厚度值。
17. 如申請專利範圍第15或第16項的方法，其中決定層之
- 10 特徵的步驟是與以化學-機械-拋磨法減少膜厚同時進行。
18. 如申請專利範圍第1-7項的任何一項方法，其中將光輻射導引到輻射傳播光學元件包括以一指定的頻率調制該一或多個光輻射源的光輻射，其中偵測光輻射包括
- 15 將第一輻射收集光學元件所捕捉的光輻射導引到光檢知器，以及，其中決定表面區域特徵包括導引光檢知器輸出的電氣信號通過該指定之調制頻率的帶通濾波器。
19. 如申請專利範圍第1-7項的任何一項方法，進一步包括
- 20 將一或多個光輻射源的光輻射導引到表面區域，重複地移動橫過表面，並捕捉從表面反射的光輻射，注意所偵測之光輻射因表面不連續致使的改變，並參考表面上相對於不連續之某位置的一區域，決定該特定表面區域的特徵。

## 六、申請專利範圍

20. 如申請專利範圍第1-7項的任何一項方法，其中以第一  
輻射收集光學元件捕捉表面區域反射的光輻射包括將  
第一光管的一端置於距表面區域第二距離的位置。
21. 如申請專利範圍第20項的方法，其中從一或多個光輻  
5 射源捕捉光輻射包括安置第二光管的一端以從一或多  
個光輻射源接收光輻射。
22. 一種用於決定一物件之一區域之反射特徵以量測物件  
厚度的裝置，包括：  
一機具組件，具有一表面適合與該物件接觸，  
10 成形於該組件部分表面上的一窗口，  
在組件的窗口處，與物件接觸之表面的反面至少有一  
個光輻射源，  
光輻射傳播元件在組件上位於窗口與該至少一個光輻  
射源之間，該元件以45度以上的角度，將光從該至少  
15 一個光輻射源傳播通過窗口，  
裝在組件上的第一光管，它延伸通過傳播元件，一端  
面對窗口，以收集從物件區域通過該窗口的光輻射，  
該第一光管的接收端具有45度以上的接收角度，  
裝在組件上的第一光檢知器，用以接收第一光管內的  
20 光輻射，並產生與其相關的第一電氣信號，  
裝在組件上的第二光管，且一端置於該至少一個光輻  
射源與傳播元件之間，用以得到該至少一個光輻射源  
的光輻射，  
裝在組件上的第二光檢知器，用以接收第二光管內的

## 六、申請專利範圍

光輻射，並產生與其相關的第二電氣信號，

一處理器，利用第一及第二電氣信號以決定物件區域的反射特徵。

23. 如申請專利範圍第22項的裝置，進一步包括裝在組件  
5 上位於窗口與該至少一個光輻射源間的第二光輻射傳播元件，其位置能將該至少一個光輻射源的光輻射導引到第二光管的接收端。
24. 如申請專利範圍第23項的裝置，其中組件的物件接觸  
10 面是平面，且具有一背表面，兩者間定義了位於其間元件的厚度，以及其中窗口、至少一個光輻射源、傳播元件、第二光輻射傳播元件、第一光管端、以及第二光管端等所有都置於組件之該物件接觸面與背表面間所形成的空間內。
25. 如申請專利範圍第24項的裝置，其中電子單元是附接  
15 於該機具組件，包括第一及第二電氣信號每一個的放大器，類比到數位轉換電路，以及處理器，處理器的輸出提供所決定之物件平面的反射特徵。
26. 如申請專利範圍第25項的裝置，其中的機具組件是可  
移動以處理物件。
- 20 27. 如申請專利範圍第22-25任一項的裝置，其中的組件是化學-機械-拋磨機的一部分，在處理物件平面時，賦予其移動。
28. 如申請專利範圍第27項的裝置，其中組件是具有拋磨墊的拋磨板，它的表面適合與該物件接觸。

## 六、申請專利範圍

29. 一種監視以化學-機械-拋磨處理至少一個物件表面以量測該至少一個物件之厚度的方法，其中物件是被第一機具表面固定，物件的表面被壓向第二機具表面，並提供其間的相對運動，包括：

- 5 提供與物件表面反射特性不同的第一表面，  
提供至少一個偵感器嵌在第二表面內，其位置是當第一及第二表面相互相對移動時，可以橫過該至少一個物件的表面而被掃瞄，並提供與物件表面及第一表面反射特性有關的電氣信號，它是該至少一個偵感器在
- 10 橫過它們四周之處之位置的函數，  
以至少45度角傳播入射之光輻射照射物件表面，並以超過45度角的偵感器捕捉被物件表面反射的部分入射光輻射，  
偵測電氣信號位準中的不連續，該不連續發生在偵感器通過物件邊緣時，
- 15 使用至少一個該信號的不連續做為時間參考，以識別發生於不連續之信號邊緣間之至少一個電氣信號段，它對應於物件的一區域，該物件的表面在處理期間被監視，
- 20 偵感器重複地橫過物件表面掃瞄，累積重複出現之該信號段的資料，以及  
在整個處理周期期間，將累積的信號段資料轉換成各個物件表面的反射率或放射率。

30. 如申請專利範圍第29項的方法，其中同時處理兩或多

## 六、申請專利範圍

個物件，當偵感器通過該兩或多個物件的邊緣時，藉以產生具有不連續的信號，為兩或多個物件之每一個識別至少一個電氣信號段，累積各個物件晶圓段每一個重複出現的資料，並將累積的資料轉換成對應於各

5 個物件信號段之各個物件區域的反射率或放射率。

31. 一種在處理中監視覆於基底上之透明材料層因處理而改變之厚度的光學方法，包括：

照射表面，進一步包括以45度以上的角度將光輻射導引到表面，以及，接收該層反射的輻射包括以45度以

10 上的角度接收該輻射，

獲取該層在至少第一及第二不同波長之光輻射下之光學特徵的資料，其中該光學特徵在該第一及第二波長下的改變不同，都是該層之厚度的函數，

保持該層之厚度值是第一及第二波長之光學特徵值對

15 之函數的關係，以及

參考該關係，重複地將第一及第二波長的光學特徵值對轉換成層的厚度值；該轉換與改變該層之厚度的處理同時進行。

32. 如申請專利範圍第31項的方法，其中獲取該層之光學特徵之資料包括以包括該第一及第二波長之光輻射照射表面，接收照射輻射中反射自該層的部分，並偵測反射的輻射，以分別提供與反射的該第一及第二波長輻射位準有關的信號。

20

33. 如申請專利範圍第32項的方法，其中偵測反射輻射包

## 六、申請專利範圍

- 括在反射輻射的路徑中提供第一及第二光檢知器與在其前方之各自的第一及第二光學帶通濾波器，該第一濾波器讓第一波長的光輻射通過，同時阻擋第二波長的光輻射，以及，第二濾波器讓第二波長的光輻射通過，同時阻擋第一波長的光輻射。
- 5
34. 如申請專利範圍第32項的方法，其中照射表面包括以分別經由第一及第二不同頻率調制的該第一及第二波長的光輻射照射，以及其中的偵測反射輻射包括得到光檢知器輸出的電氣信號並對通過組件的該電氣信號濾波，它與該第一及第二頻率之光學信號的值有關。
- 10
35. 如申請專利範圍第31項的方法，其中所獲取之該層的光學特徵資料包括該層的放射率。
36. 如申請專利範圍第31項的方法，其中保持值之關係包括保持該層之複數個厚度的每一個與該至少第一及第二波長之光學特徵值對的表，並查此表中的層厚度，將所測量之光學特徵值對轉換成層厚度的值。
- 15
37. 如申請專利範圍第31項的方法，其中所獲取之該層的光學特徵資料包括該層的反射率。
38. 如申請專利範圍第31項的方法，其中所獲取之該層的光學特徵資料包括該層的放射率。
- 20
39. 如申請專利範圍第31-35項中任一項的方法，其中的處理是在該層上執行化學-機械-拋磨。
40. 一種改變覆於基底上之金屬層厚度的方法，包括：  
以45度以上的角度將光輻射導引到層上，藉以使該層

## 六、申請專利範圍

反射部分的該輻射，並以45度以上的角度接收反射的輻射，

同時處理該層以改變它的厚度，

5 當改變層的厚度時，從一固定值監視反射輻射一段時間直到值改變，但是在值變成另一不同位準的固定值之前，

在此改變期間，反射的輻射值與是為該層厚度之函數的已知值比較，以及

10 當所決定的反射輻射對應於所要的層厚度時，停止改變層的厚度。

41. 如申請專利範圍第40項的方法，其中層是被CMP處理以從其上去除材料。

42. 一種通過光輻射散射媒體測量基底上所覆之層厚度的方法，包括：

15 將入射的光輻射通過散射媒體導引到層，藉以得到反射的光輻射，包括從一或多個光輻射源傳播與散射光輻射前，先使入射的輻射通過散射媒體，

通過輻射散射媒體，以大於足以能反制影響被輻射散射媒體散射之光輻射改變之角度，捕捉層所反射的光輻射，

20 從一或多個光輻射源捕捉光輻射，但不能影響反射的光輻射，

分別偵測被層反射的光輻射及來自一或多個光輻射源的光輻射，以及

## 六、申請專利範圍

從所偵測的光輻射位準決定層的厚度，

其中導引光輻射包括以45度以上的角度將該光輻射通過散射媒體導引到層，且其中捕捉層所反射的光輻射包括以45度以上的角度接收層所反射通過散射媒體的光輻射。

5

43. 如申請專利範圍第42項的方法，其中傳播與散射光輻射包括導引入射的光輻射照射到散射媒體及層之前，先通過一擴散器。

裝

訂

線

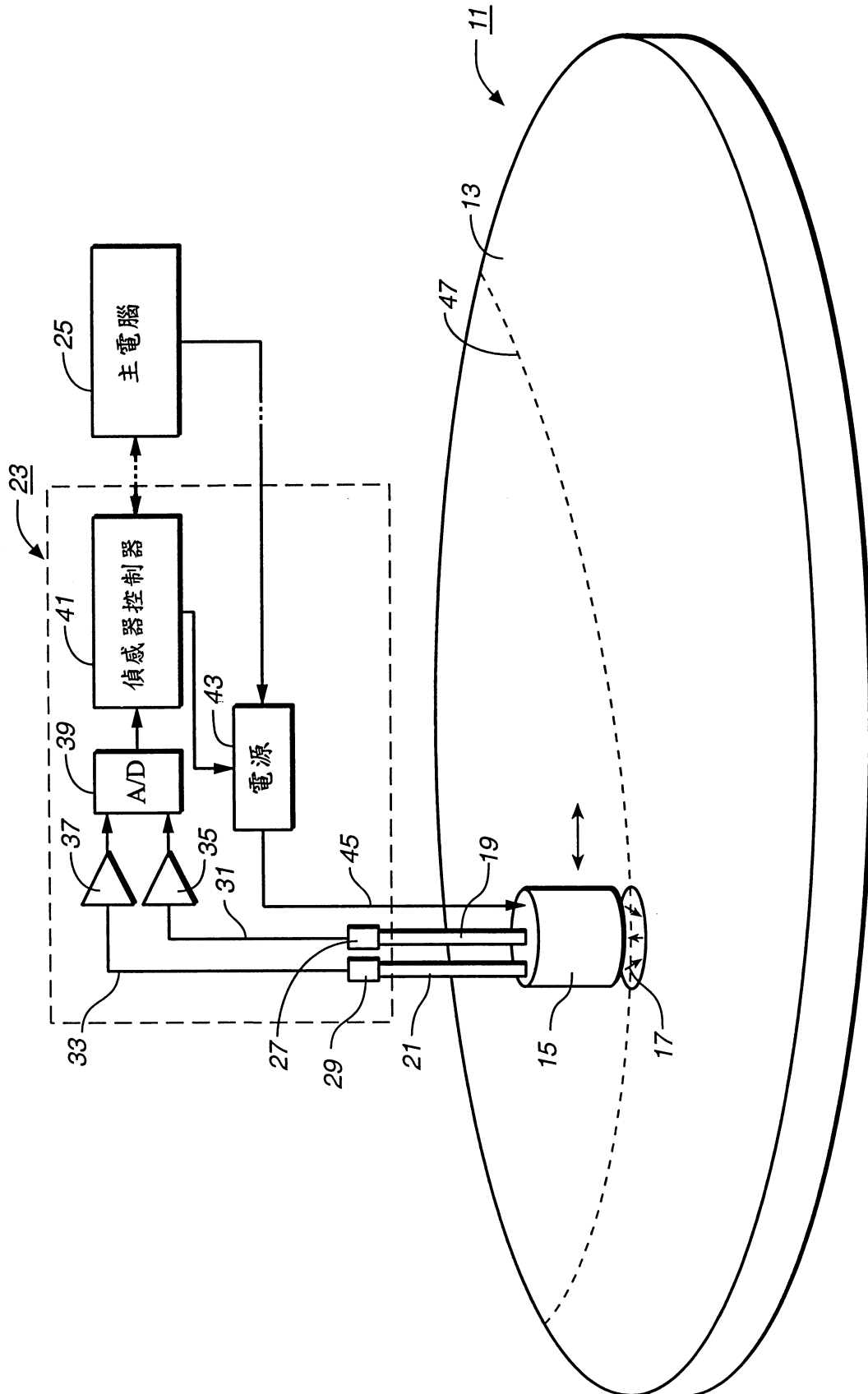


圖 1

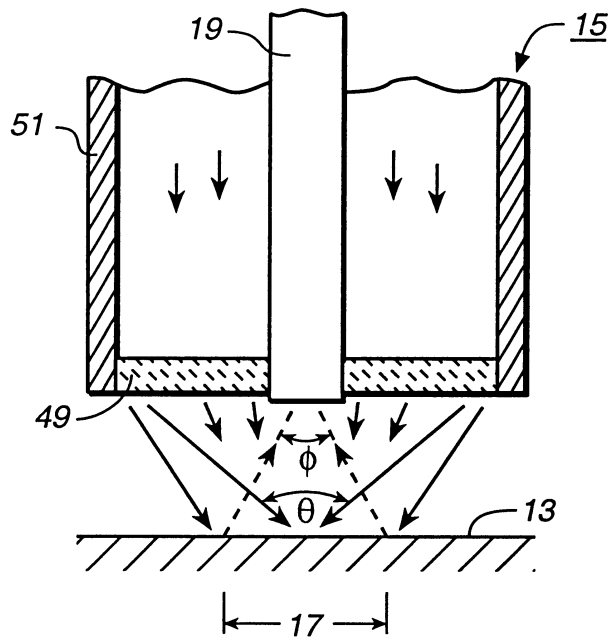


圖 2

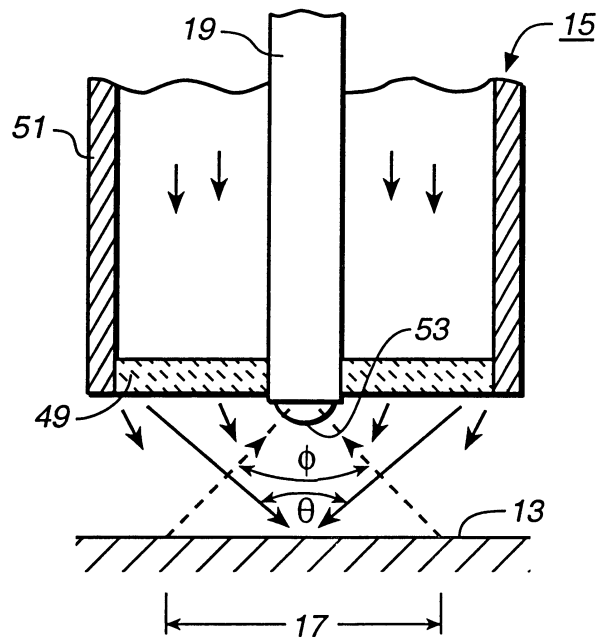


圖 3

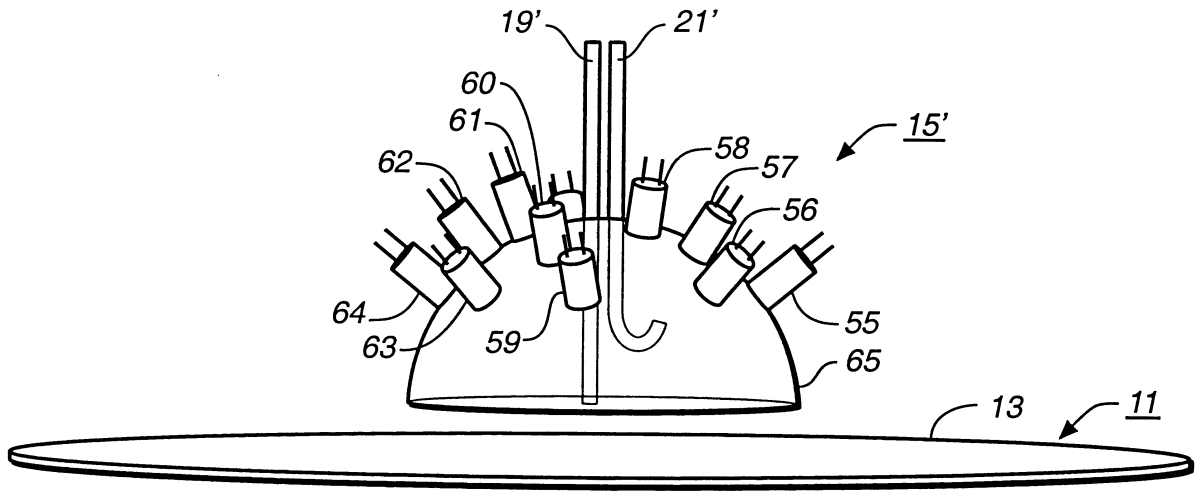


圖 4

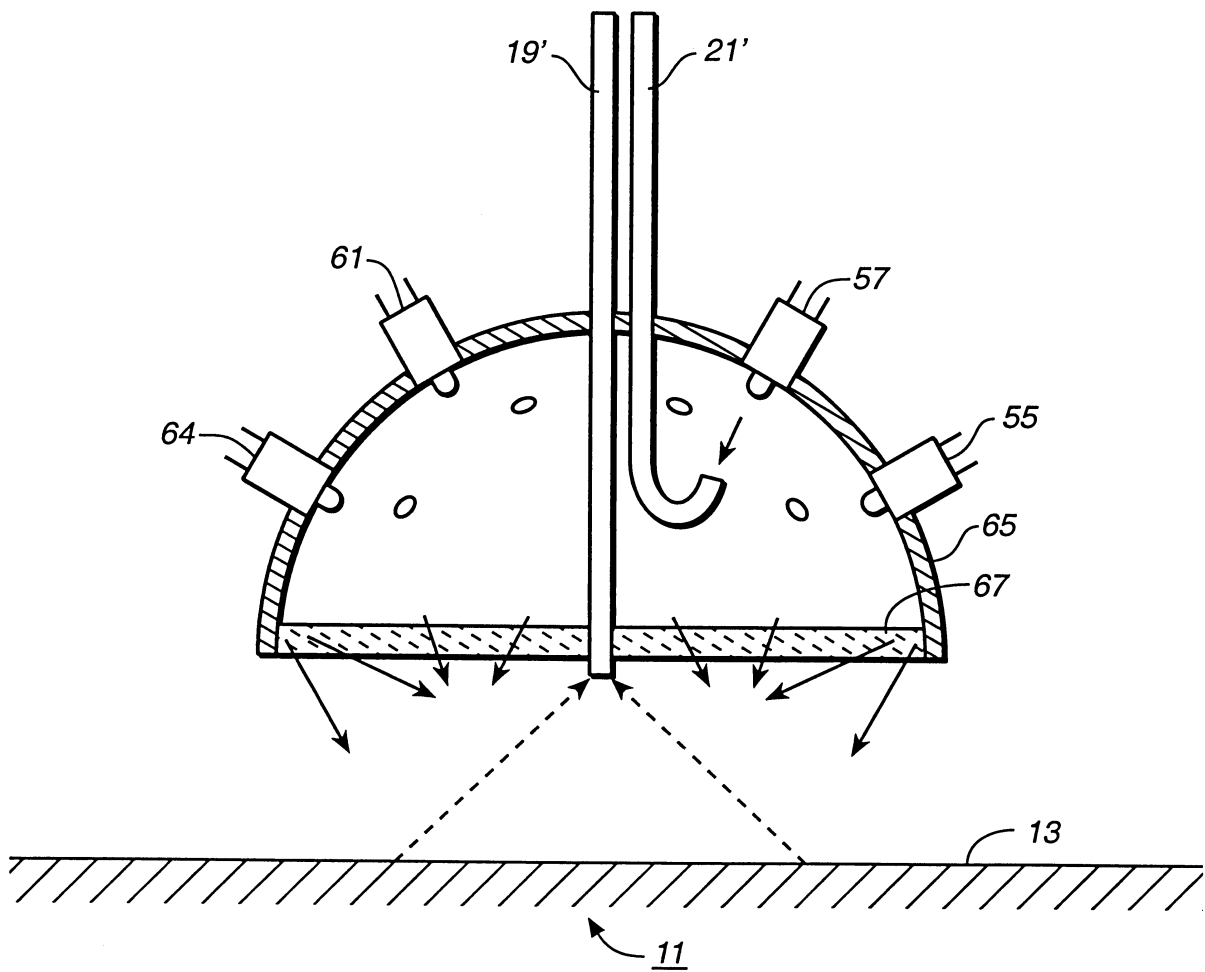


圖 5

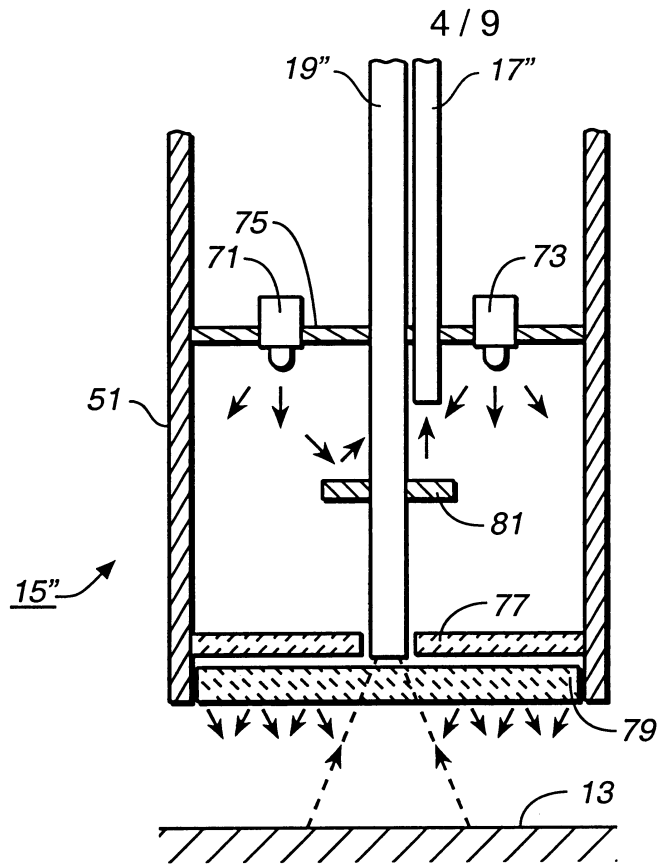


圖 6

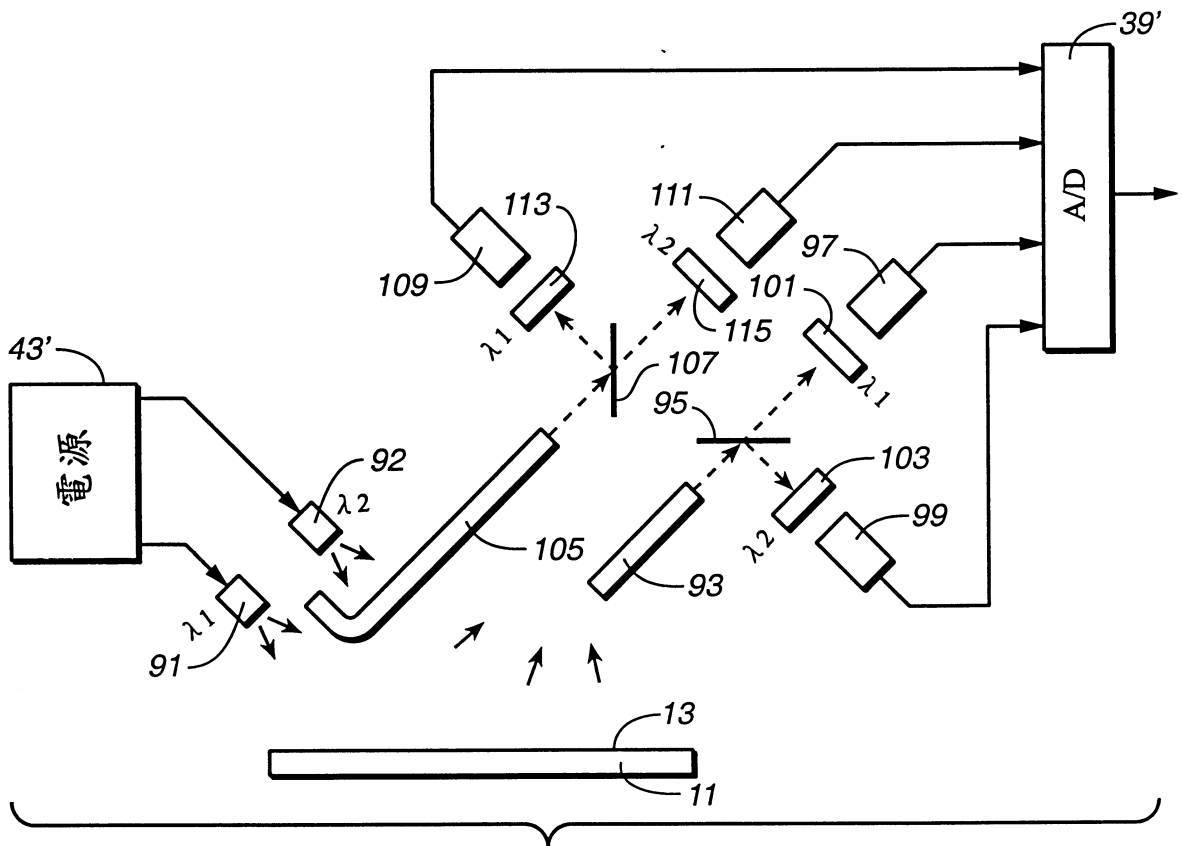


圖 7

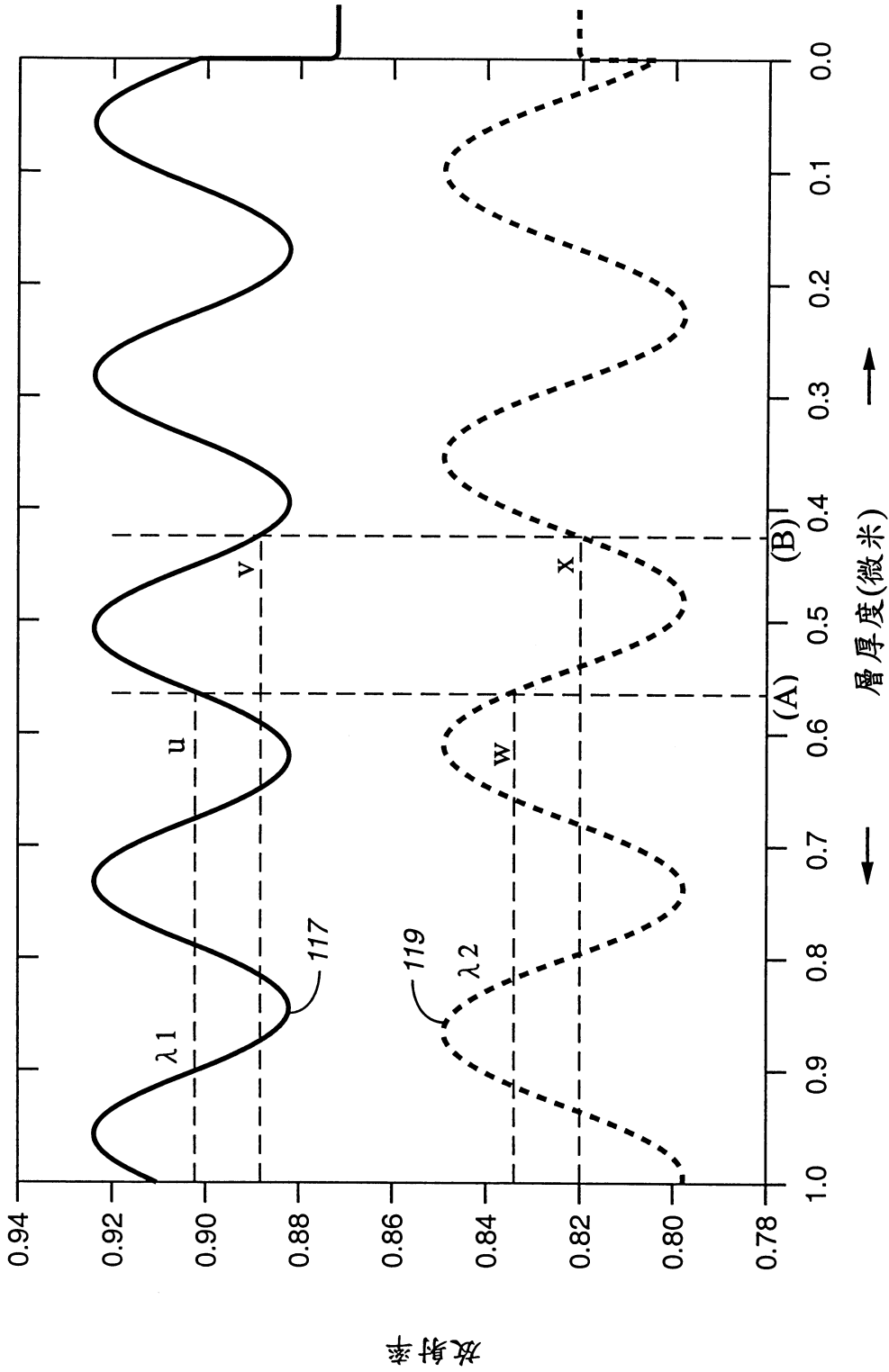


圖 8

透明膜對照表

放射率		膜厚
$\lambda 1$	$\lambda 2$	
.....	.....	.....
u	w	(A)
.....	.....	.....
⋮	⋮	⋮
.....	.....	.....
v	x	(B)
.....	.....	.....
⋮	⋮	⋮

圖 9

金屬膜對照表

放射率	膜厚
a	不明
a	不明
a	(X)
=	=
b	(Y)
=	=
c	(Z)
c	不明
c	不明

圖 13

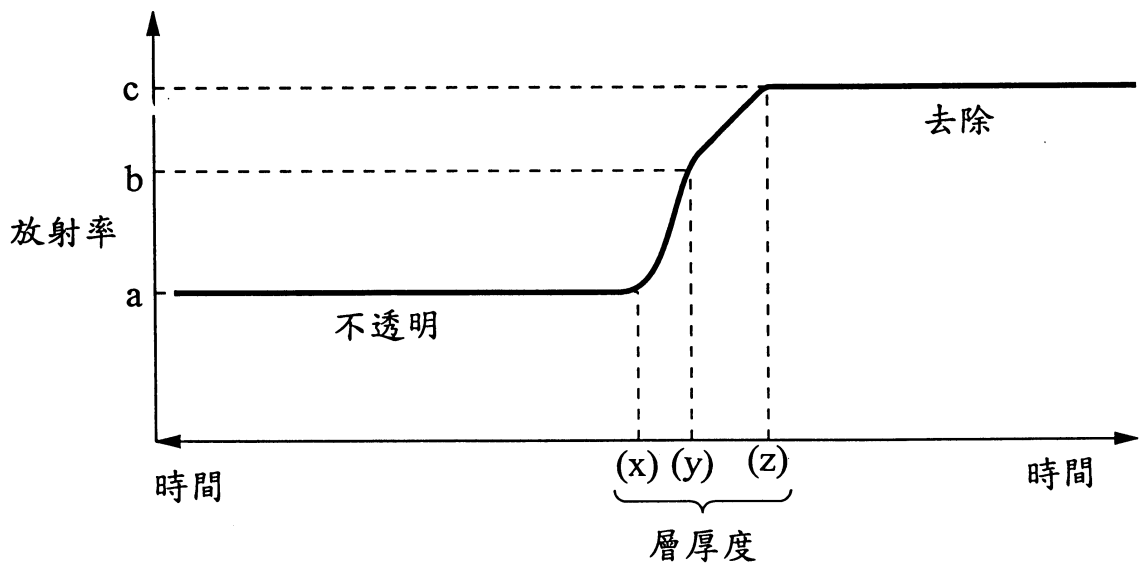


圖 12

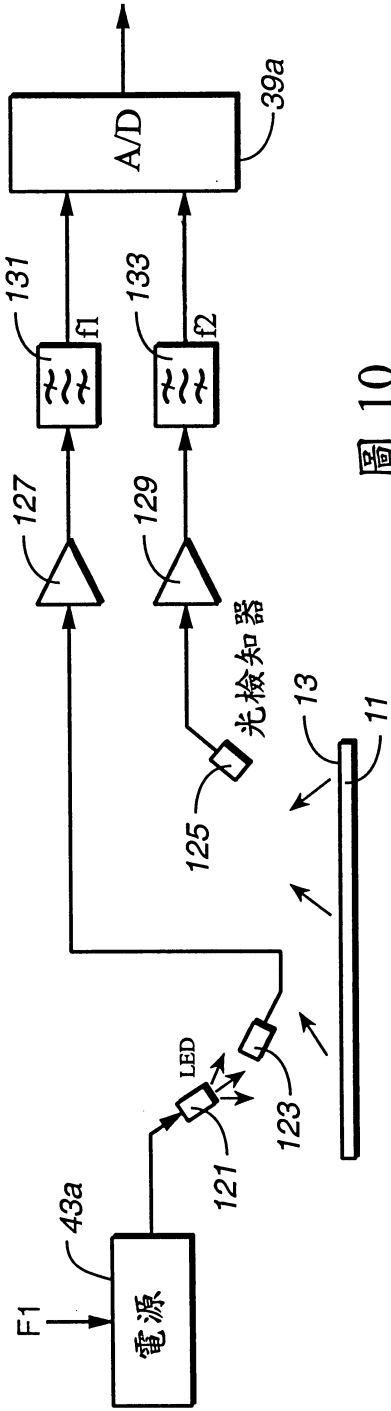


圖 10

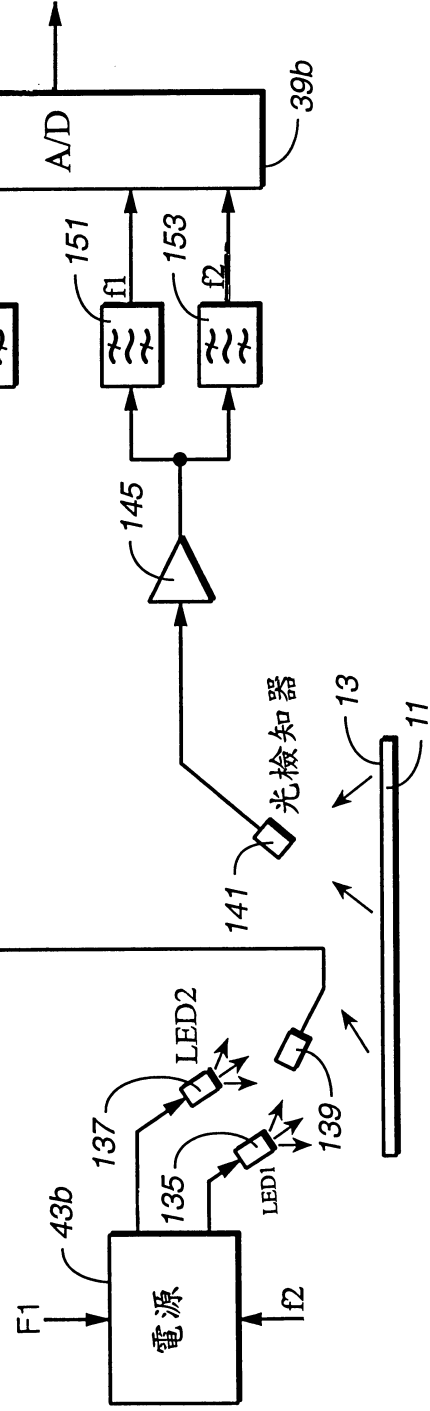


圖 11

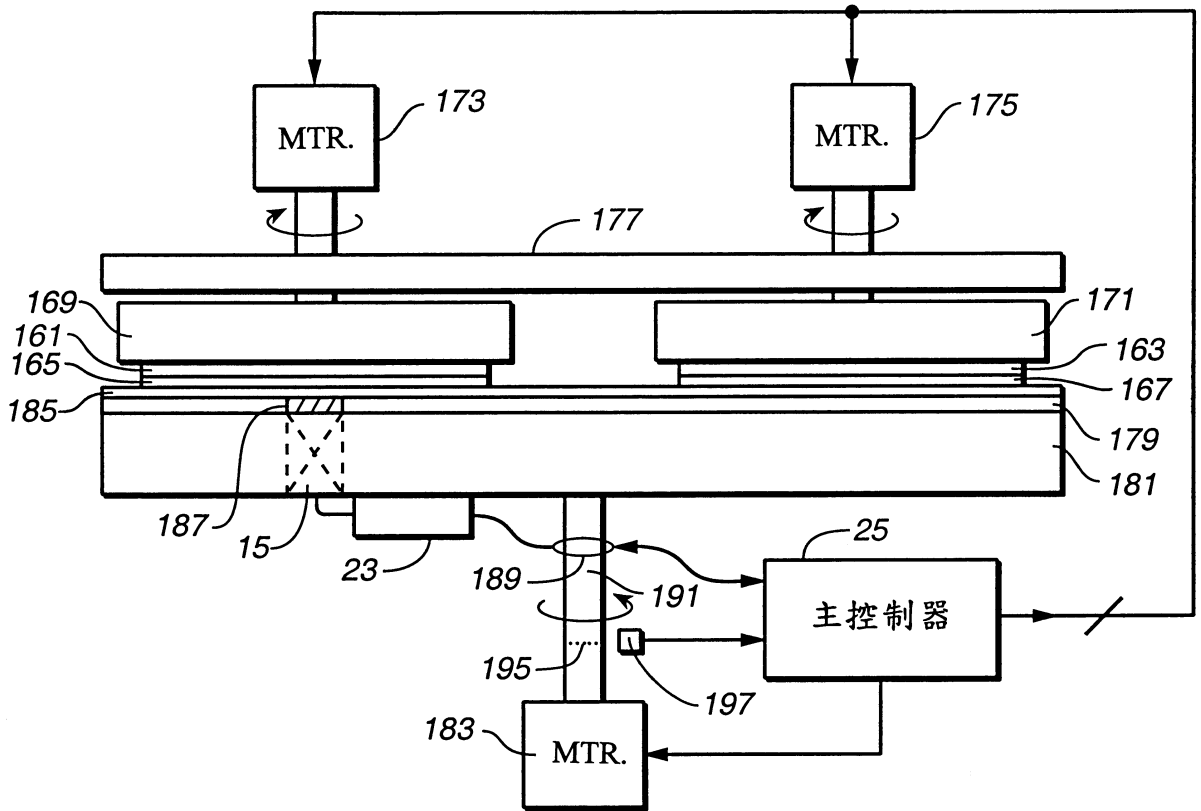


圖 14

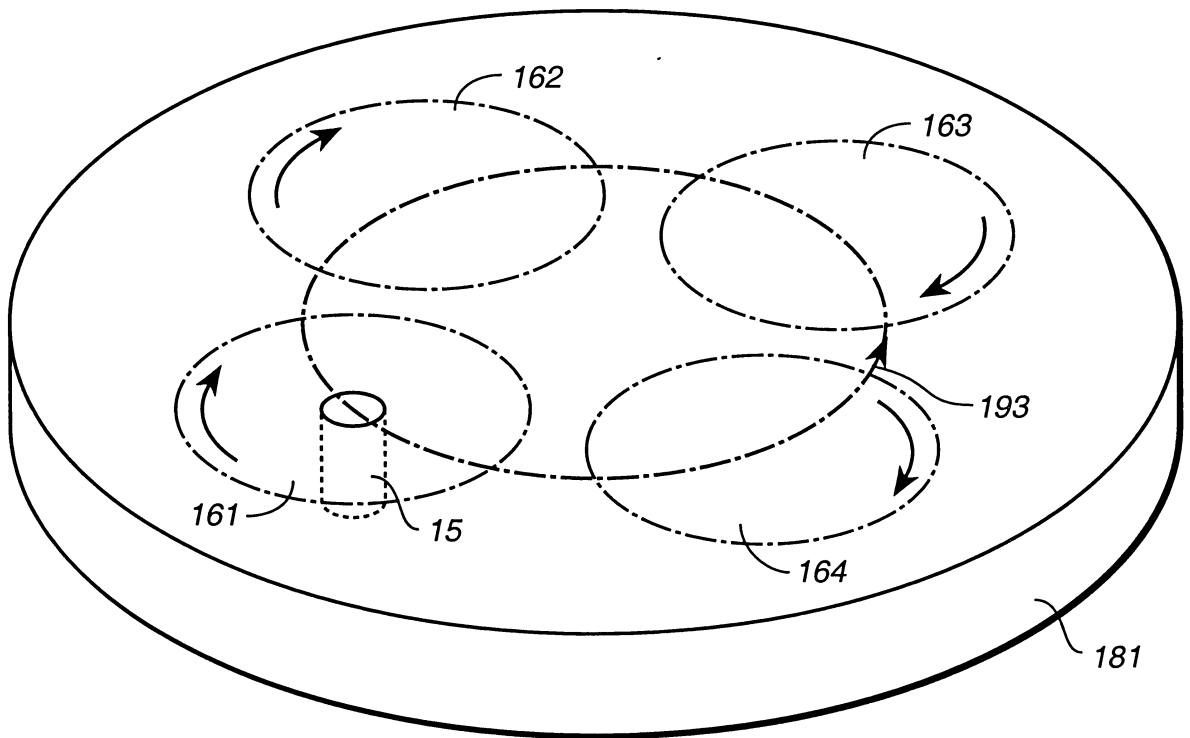


圖 15

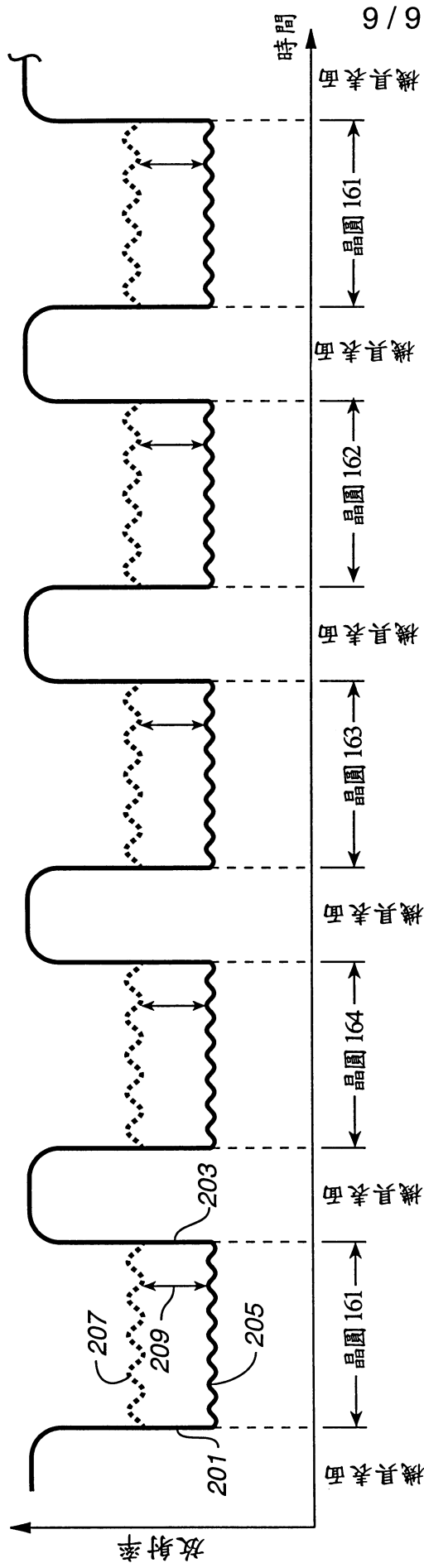


圖 16A



圖 16B