

國 籍：(中文/英文)

1.美國/USA

2.美國/USA

3.菲律賓/Philippines

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：

美國；2004年3月29日；10/813,407

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。

國 籍：(中文/英文)

1.美國/USA

2.美國/USA

3.菲律賓/Philippines

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：

美國；2004年3月29日；10/813,407

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。

玖、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於半導體裝置，更明確地說，有關於一種指出形成在半導體晶圓導電結構中之缺陷位置的方法。

【先前技術】

積體電路(IC)使用金屬線以將各種電路元件連接在一起。這些線被稱為內連線結構。因為需要高密度電路元件及連接，所以有必要使用幾層之金屬線。每一層包含平面結構之金屬線，例如二氧化矽之絕緣體層被用以將諸層彼此分開。

有必要將層間作連接，以使得電流流動於層間。這些內連線被稱為導孔。導孔係位在形成在絕緣體中之小孔中並經常為直徑 0.1 微米或更大些。這些孔被填入以金屬，以在不同層中形成金屬線。此等內連線必須由一下層金屬連續至上層。若內連線未連續，則導孔將“斷開”。此缺陷可能造成積體電路的故障。

斷開導孔可能由若干製程問題所造成。例如，以金屬填充小孔的程序可能不會完全填滿該孔。一由前一製程步驟之殘留物可能阻礙連接，或者，殘留物可能腐蝕或蝕去被適當形成之連接。此一問題可能造成一斷開導孔。同時，連續金屬層的形成需要熱處理步驟，這些步驟可能造成適當形成之導孔連接被“拉回”，留下一部份連接。

注意於此所用之“缺陷”或“故障”不只表示一(上述之)

斷開導孔同時也表示一導孔連接具有電阻大於完美形成之導孔(即全填滿導孔)的電阻者。例如，完美形成導孔可以具有 1 歐姆的電阻，及一部份導電導孔可以具有較大之 2 歐姆電阻(即電阻係較對於完美形成導孔有兩倍或更多倍大之缺陷導孔)。

另外，在另一層頂面的有圖案金屬層的形成需要對準微影圖案。若圖案未對準，則一層中之導孔並不能著地至下層金屬層或者只部份著地至下層金屬線，造成“未著地”或“部份著地”導孔，這形成一全斷開電氣連接，或一部份電氣連接。

已經可以得到若干測試導孔的方法。可靠測試內連線的一方法為電氣測試。例如，一導孔鏈係被製造及以採針測試其連續性。一導孔鏈為一組以導孔連接，交替於兩層間之短線段導電材料。

第 1A 圖顯示一導孔鏈 100 為形成在晶圓中之多層內連線結構，具有兩層 113 及 114 形成在一基材 110 上。晶圓可以具有電晶體及其他裝置製造於其內。在鏈 100 中的各種線段 131a 至 131f 與 132a 至 132n 可以由例如銅的金屬作成，並內藏在內層介電層 111 及 112 內。導孔 133a 至 133i 係被顯示為內連接在層 113 及 114 內之各種線段。導孔 133a 至 133i 可以具有一高度(在層 113 及 114 間之分開距離)，其係約 0.2 至 1.0 微米。在層 114 中之金屬線段(也簡稱“線”或“軌跡”)131a 至 131f 可以為 5 微米長及 0.25 微米寬。在層 113 中之金屬線段 132a 至 132n 同時在此例

子中為相同尺寸。這些線段係為導孔 133a 至 133l 所連接以形成一鏈。

各種類型之缺陷可以形成在導孔 133a 至 133l 之中。例如，小孔隙可以形成於其中，降低了導孔的剖面積及增加電阻。導孔可以過或欠蝕刻，造成其尺寸上之變化，因而，降低或增加電阻。一常見問題為在導孔至下層線之接觸點，其係標示為點 106，給導孔 133a 接觸線層 114 之著地區之故障。例如，此故障由在層 112 中形成導孔所造成之蝕刻殘留所造成。該故障也可以由在層 113 上之其他金屬層及絕緣層的形成時的熱應力所造成。此故障經常不是斷開連接，而是增加電阻的連接。此為一可能故障點，因為所增加之電阻可能造成積體電路操作時，電流流經該導孔時之過熱。

完成導孔的重要特性為其電阻。完成導孔的電阻頻率分佈係在第 1B 圖之表 150 中被顯示為線 151。該頻率分佈具有一平均值 155。對於電阻 153 及以下之值，其掉落至零，值 153 代表上述之“過蝕刻導孔”。於良好控制製程中，一理想導孔將具有值 155 的電阻。分佈線 151 具有一標準偏差寬度 152。超出電阻 154 的值係被認為是斷開或故障導孔。對於具有 5×10^7 導孔的積體電路，此電阻將大於平均值 155 加上六倍之標準偏差 152，以確保由於不良導孔的積體電路低於 10% 之故障率 (5×10^8 導孔中有一個為不良)。

決定導孔品質的一問題為先前技術量測法中，只能區

別完全斷開之導孔(沒有連接之導孔，其一部份由電路功能觀點來，電阻仍太高而不能認為是良好)。因此，有必要量測大量之導孔來找尋少量之不良導孔。導孔 133a-133l 之鏈的導電率可以使用探針 140a 及 140b(第 1A 圖)加以量測，該等探針在導孔鏈的末端接觸鏈 100。為了量測鏈的連續性，一電流係通過其間並加以量測。此方法允許單一量測加以決定在鏈中之大量導孔的連續性。

然而，此探針在製造時使用會有大量之缺點。首先，所述“接觸”方法在生產晶圓中需要大面積，以固持住導孔鏈，否則，導孔鏈將不會是被製造電路的一部份。第二，接觸法需要探針以與鏈 100 完成一接觸，這在製造中係不想要的，因為任一接觸可能產生微粒及污染。第三，若一介電層覆蓋層 113 中之金屬線，因為探針需要與鏈 100 的兩端作電氣接觸，所以接觸法並不能使用。最後，接觸法只提供對應於平均導孔電阻的單一量測值，並不能隔離開各別導孔或評估在導孔鏈中之少量導孔(除非更複雜基質結構被建立，其需要大的額外墊(大金屬方形)，探針可以接觸該結構。如此使用晶圓區係在製造中係不想要的，因為該區域並不能為產品所用。)。

在晶圓中檢測導孔的其他方法有關於掃描式電子顯微鏡(SEM)的各種應用。這些方法之一稱為電壓對比。例如，假設導孔 133b 及 133c 均斷開。金屬線 132b 將電氣浮動。在 SEM 掃描下，此段 132v 將被以電子充電，因此，顯示一 SEM 影像。電壓對比的限制為其並不能用於部份故障的

導孔，因為在部份故障導孔中之導孔連續性將由該段放電該電荷。

同時，一旦介電層(未示於第 1 圖中)被形成在該段上，則此方法不能使用，因為介電質將被充電。因此，電壓對比只能當頂層為金屬層時被使用，並不能評估為後續層形成製程中所引入的導孔問題。再者，此一先前技術量測法典型用以檢測具有超出 10M 歐姆電阻的導孔缺陷。由低於 10 歐姆至超出 10M 歐姆之電阻範圍係很難檢出導孔故障。這也被稱為“軟故障”。

另一 SEM 法為分割法。一樣品晶圓被分裂或一聚焦離子束被用以切割材料，曝露出導孔的側面。SEM 然後可以將該導孔照相。此方法具有破壞性及緩慢的限制，因此，被限定於故障後分析。

另一方法為 Smith 等人所揭示於美國專利第 5, 228, 776 號案中，該案係併入作為參考。於此專利中，一調變雷射束在金屬線中建立熱波。明確地說，Smith 等人說明”藉此配置，泵束可以聚焦在一層中之一金屬線上，同時，探測光束被聚焦在不同層的一線上。使用此方法，可以相當容易在連接兩線的導孔中找到缺陷。”Smith 等人同時也說明”...受讓人之熱探針攝像裝置為非接觸性技術。然而，因為有關於缺陷導孔的表面經常不是光學平坦的，所以，缺陷導孔的標示被阻礙。更明確地說，表面可能被作成小凹、斜角、粗糙化或幾何扭曲，因此，傾向於散射光，造成反射功率量測困難。”Smith 等人更說明”首先，兩凹塊

及探測光束可以聚焦在光學平坦面上，即使有相關於一缺陷的中間幾何失真面。”。

Smith 等人容受了兩項缺點。首先，熱波可以由例如線的末端、線的彎曲處、或導孔連接的介面反射。此反射可能干擾為 Smith 等人所述之基於熱波的量測法。第二，Smith 等人需要兩雷射必須獨立聚焦在不同點，這可能需要隨著電路幾何變化的複雜光學定位。

部份導電之導孔也可以在台灣專利申請第 92104459 號(也申請為 PCT 專利申請號 PCT/US03/06250 並公告為 WO03/075332)找到，該案併入本案作為參考。如其中所述，熱係被施加至包含一或多數導孔的導電結構，及導電結構的溫度係加以量測。然後，被量測之溫度被檢查以指出一不正常(例如藉由與一預定限制值比較，或藉由在週期結構的掃描中找到無週期性)。若在結構中找到不正常，則晶圓被退貨，若沒有不正常，則晶圓被進一步在晶圓製程中作處理。

前述專利申請案說明沿著結構長度完成若干量測的方法，以取得一連串的量測值，表示隨著長度的結構特性。所量測之信號隨著距離變化，其中信號的變化取決於各種形成該結構的元件(例如導孔及軌跡)的導電率。明確地說，若導孔在空間中，以固定間距分開兩鄰近導孔而加以週期安排，則由該處量測之信號強度係為週期性(如台灣專利申請第 92104459 號之第 5 圖所示)。所量測得信號的傅氏轉換顯示在空間頻率中有尖峰，其中空間頻率係逆向相

關於結構中之導孔的間距。

然而，當將此所述之方法應用至工業環境中時，本案之發明人注意到該方法很慢，因為其需要在導孔鏈上之接近但分開之量測值。這是因為週期性(當結構具有呈規則空間間距定位的導孔時，即一固定間距)必須可由量測信號看出(成為沿著結構長度方向的距離之函數)。步階尺寸典型很小，約在束直徑的分數(典型 <0.5 微米步階尺寸)。若採較大步階，則不確定束的點將精確地對準週期結構，因而，在對準中可能有誤差，因而，由於在結構與量測位置間之空間週期性差異(而不是導孔電阻的變化)，造成在量測信號中之大擺動。

【發明內容】

依據本發明，一半導體晶圓之包含若干導孔的區域係被加熱若干時間，並且，量測該區域整體溫度並以其隨所施加熱在時間上的變化函數來表示。以該量測中之任一重大偏移(例如離開預定參考值或離開在相同晶粒或另一晶粒上之鄰近區域)作惟所評估區域中之一或多數導孔的故障指標。如果所量測信號之一屬性超出一預定臨界值，或是雖然是掃描該區域中一週期性結構，但若所量測信號在一空間中呈現非週期性變化，則認定該偏移是顯著的。

上述方法係用以評估多個區域，該區域上的導孔係用以電連接晶圓上層之導電材料至導電材料的下層。於某些實施例中，上層可以圖案化以形成軌跡，至於下層則可以

不圖案化，取決於特定實施例。其他實施例應用上述方法至一測試結構，其中上層含有導電材料的島，這些島在頂層中彼此隔離，但每一島係藉由一或多數導孔，電氣及熱連接至未圖案化之下層。於此一測試結構中，若島的導孔有一缺陷，則該島會較其他鄰近島被加熱到更高溫，因此，由該處量出之量測值會超出預定臨界值。於幾項實施例中，例如包含多數島的區域被以本技藝中所知的方式一體加熱時，所施加之熱強度係隨時間作週期及非週期性變化。

另兩實施例藉由以下兩種系統來測量同一頻率下一區域的溫度變化以作為所施加熱強度的對應變化，(1)不使用探測光束的被動感應系統，例如，熱像攝影機；或(2)以探測光束照射被評估區域並量測該探測光束之反射率的主動感應系統。依據本發明，所量測溫度的變化被使用作為位在被評估區域中之導孔的導電率指標。雖然於部份實施例中，此一區域包含在頂層中之隔離導電島，但其他實施例之評估區域可以完全沒有島。

於部份實施例中，具有波長大於或等於導孔間之間距的電磁輻射束係被用以直接施加熱至被評估區域，藉此確保多數導孔被加熱，而不是單一導孔被加熱。同時，不同於使用電磁輻射以施加熱至予以評估的區域，取決於實施例而定，一電子束也可以用以施加熱。於部份實施例中，量測由該區域所反射的一電磁束的一部份屬性(例如強度或光學相位)。

當如此所述加熱一個以上之導孔時(例如以大於該間

距的波長照射)，所反射之光及由該處產生之電信號並未分解至在被照射區域中之個別導孔，相反地指示在照射區域中之若干導孔的導電率的平均量測值。為此理由，幾個實施例之量測得信號並未具有等於導電結構中之導孔的間距之空間週期性。於其他實施例中，所量測之信號確實具有等於間距的空間週期性之分量，但此分量被忽略(例如濾出)。雖然量測並未分解至每一個別導孔，但即使在照射區域中之一導孔具有大於其他導孔的阻抗，則平均阻抗(及反射率)增加。在一些實施例中，所決定之臨界值可以加以選擇，以即使對單一導孔的故障仍提供指示。

上述類型之很多實施例檢查是否所照射區域(或其一部份)具有較具有相同導電結構的一或多數鄰近區域為大的反射率(或較高溫度)，並檢查是否量測值已作顯著改變。例如，若在被評估的區域(或取決於於量測的解析度為在該區域之單一島)量測信號增加 100%，則此一變化被視為該區域中之一或多數導孔故障的指示。於一些實施例中，在鄰近前述區域之區域中以及，在隨後再鄰近前述鄰近區域的其他區域中，重覆取得前述量測值。這些量測值在晶圓的局部部份中完成，例如，所有量測區域可以涵蓋導電線陣列或涵蓋所有在單一晶圓內的島，或在兩鄰近晶粒間之街(也稱為"劃線")中。

此等量測值然後被分析，以例如藉由比較至一平均值(統計平均、或中間或模數)，而檢查是否有任何量測值顯著偏移開其他量測值。若找到顯著偏移，則半導體晶圓被

標示為具有一或多數缺陷導孔，及用於該半導體晶圓製造之製程參數被改變。若沒有顯著偏移，則半導體晶圓被視為可接受，則半導體晶圓製程以正常方式繼續。

取決於實施例而定，很多不同方法可以用以指出被視為顯著的量測值之偏移量，例如，設定預定臨界值。明確地說，於部份實施例中，若有量測值大於平均值三倍標準偏差以上（即 $>3\sigma$ 或大於 3Σ ），則量測值被認為在被評估區域中存在有缺陷導孔。然而，於其他實施例中，例如，若晶圓製程被認為要製造沒有導孔缺陷的晶圓，則可以使用其他界限（例如 $>2\sigma$ 或在另一實施例中為 $>\sigma$ ）。偏差的顯著性同時也取決於其他因素，例如在被評估區域中之導孔的數量。於一些實施例中，偏差的顯著性係基於將偏差共相關至缺陷導孔的實驗加以決定。

再者，雖然統計量測值在部份實施例中被使用作為一界限，但其他實施例可以基於被測試及被認為優良之晶圓的校正，而設定一非統計界限於予以被量測之信號上。例如，一缺陷導孔可以使得一（上述類型之）信號量測值變成兩（或更多）倍大於當導孔沒有缺陷時所取得之對應信號量測值，於此一例子中，任何超出平均值 50% 的量測值可以被視為表示一缺陷導孔。於其他例子中，導孔的平均電阻可以共相關至所量測得之信號及可以決定用於導孔電阻的可接受範圍。當一（上述類型之）信號量測值表示導孔電阻係在待評估晶圓的預定範圍外時，則辨識出一缺陷導孔或包含一組缺陷導孔的區域。

【實施方式】

依據本發明，一探測光束 220(第 2A 圖)係被用以照射在一半導體晶圓 217 上，直徑 D_p 的區域，該晶圓包含一結構 210，其係由導孔 213A-213N、214A-214N、215A-215N 及 216A-216N 所形成。注意雖然在第 2A 及 2B 圖顯示導孔 213A-213N、214A-214N、215A-215N 及 216A-216N 作為探測光束 220 所照射的頂面範圍，但其只作例示用，熟習於本技藝者可以知道這些導孔結束於晶圓 217 的導電層的下表面。在部份實施例中，此一導電層可以在晶圓 217 中形成導電線(也稱為軌跡)221A-221N，但其他實施例也可以作成不一樣的導電層圖案。同時應注意的是，雖然有大量導孔出現在晶圓 217 中，但在第 2A 圖所示之結構 210 具有若干其他導孔未示出，即只有少數幾個導孔 213A-213N、214A-214N、215A-215N 及 216A-216N 被顯示。

如於第 2A、2C 及 2D 圖所示，導孔 213A-213N、214A-214N、215A-215N 及 216A-216N 電氣連接在晶圓 217 表面的上層之上層的導電線 211A-211N 至在(由導電材料所形成之)下層之對應量的軌跡 222A-222N。同時注意，在晶圓 217 的下導電層可以為二維金屬片(例如第 2J 圖的片 280)，其係連接至予以被評估的導孔的多列導孔。然而，如第 2A 圖所示，於部份實施例中，下導電層的圖案被作成線性，每一線只連接至單一系列的導孔。

取決於實施例而定，導孔 213A-213N、214A-2124N、215A-215N 及 216A-216N 可以包含為真實結構 210，其係為在晶圓 217 中之積體電路晶粒 210 中的正常電路部份，或者可以包含於一測試結構中，其係被製造為晶圓 217 的非操作部份(此一非操作部份可以包含於晶圓 217 的每一晶粒或每隔一個晶粒之中)。在上層及下層中之前述導電線均具有例如 10 微米的厚度 T_t ，及例如 30 微米的寬度 W ，但取決於實施例，其他厚度及寬度的線也可以使用。

取決於實施例而定，被評估(無論為測試或真實)的結構 210 可以具有一梳形、蛇形、或導孔鏈。例如在第 2B 圖中，結構 210 具有一梳形，導線 218 如(在圖的右側)所示被連接至陣列的所有導線 211A-211N。相反地，在圖的右側，只有軌跡 211A 及 211I 被連接，及若軌跡 211I 及 211J 被連接至圖的左側，及若軌跡 211J 及 211N 被連接至圖的右側，則形成了一蛇形。若探測光束的直徑 D_p 被選擇足夠地大於導孔間之間距(如下所討論)，則即使一導孔鏈會呈現如同一組連續線，即在所量測信號中沒有由導孔鏈中之導孔的出現或未出現所造成的干擾。

於此所述之被評估的結構 210 的特定設計(不論是蛇形或梳形或導孔鏈)並不是部份實施例的重要態樣，只要多數導孔係為一探測光束的直徑所涵蓋即可，藉以提供其中導電率的平均量測值。應注意，使用導電島(如第 2J-2N 及 2P 圖所示)之結構形成個別實施例的重要態樣，因為當下導孔中有缺陷時，此一結構限制了熱由被加熱的導電島消

散(因此，造成在反射率的顯著(及可量得到)增加)。

參考第 2A 圖，為探測光束 220 所照射的直徑 D_p (及包含導孔 213I-213J、214A-214N、215A-215N、216I-216J)的區域係以已知方式被加熱。例如，一些實施例使用時變(週期性或非週期性)強度的加熱光束，以照射為探測光束 220(第 2A 圖)所照射之直徑 D_p 的區域所重合的直徑 D_p 區域。然而，注意，在其他實施例中，(探測光束及加熱光束)的直徑並不需要相同。取決於實施例而定，加熱光束可以為一雷射束或電子束。注意，字母"照射"表示為電磁波束或電子束所直接加熱(即兩束可以直接入射)。

注意強度隨著時間的變化可以為週期性的，即在部份實施例中為正弦，而在其他實施例中，簡單地掃過預定範圍的頻率，以形成一統稱為唧聲信號的信號。例如，於一實施例中，一單一掃描覆蓋 100 至 400KHz 的頻帶，如此，強度會連續改變(例如增加或降低)。週期信號或唧聲信號主要被用於同步化，使得入射信號的反射可以藉由使用定鎖檢測器(例如定鎖放大器)加以檢測。用於部份實施例中之定鎖檢測器只量測探測光束的反射，並濾出其他作用，例如來自一加熱光束(例如)的光。注意，可以為一同步檢測器所檢出之其他信號均可以用於其他實施例中。

於另一實施例中，於此所述之類型的量測係完成於離開熱施加點一固定距離處。於此一實施例中，接觸探針也可以用以施加熱至一或多數導線及一探測光束也可以用以量測溫度。然而，注意此接觸探針的使用仍可以如此所述

有效地取得量測值，但由於作出接觸，所以有在晶圓上之積體電路晶粒的製造中引入缺陷的缺點。加熱的其他方法(例如電子束及/或離子束)也可以在其他實施例中使用。

於部份實施例中，每一探測光束及加熱光束係為電磁輻射，並且兩光束具有大於或等於間距(兩相鄰導孔間之距離)的波長。取決於實施例而定，除了第 2A-2D 圖所示之相同直徑及重合之外，也可以是加熱及探測光束所照射的兩區域可以為不同直徑大小並且可以可不同心(其中探測光束所照射區域係小於加熱光束的照射區域)。於部份實施例中，為兩光束所照射的區域並不是同心的，所照射的區域在整個給定組的量測值內，彼此維持一固定的定向，使得相對定向並不影響量測。注意，於在兩光束間維持相對偏移的部份實施例中，偏移為常數，以不影響校正。

再者，在幾個實施例中，為照射區域所反射的探測光束 220 的一部份強度係例如藉由使用定鎖放大器加以量測，該定鎖放大器係被調諧至施加熱強度變化的頻率(例如加熱光束強度變化的頻率；注意此頻率可以在一量測值內掃描，此掃描最小化對固定頻率雜訊的靈敏度)。注意，此一量測值(來自定鎖放大器)表示位在晶圓 217 之照射區域(直徑 D_p)內之所有導孔 213I-213J、214A-214N、215A-215N、216I-216J 的導電率的平均值。明確地說，被注入導線 211A-211N 之熱沿著這些線流動，設立一溫度分佈，其中一峰值在加熱光束的中心處。藉由使用探測光束 220 所決定之峰值溫度提供在金屬軌跡中之反射率的熱感

應變化的量測值，並對應於其線電阻。

當金屬軌跡被加熱時，每一導孔 213J-216J(第 2C 圖)將來自導線 211J 的熱轉接至其所連接處，藉以降低在探測光束 220 下之溫度。由任一給定導孔 214J(第 2C 圖)所造成的溫度降係成比例於導孔連接至下層(例如在第 2C 圖中之導線 222J)的品質。一斷開導孔(未示出)將不會轉接來自線 211J 的熱至線 222J，而良好導孔會在其他轉接最大量之熱。一在線 211J 及 222J 間之部份導電導孔在前述兩極端間轉接部份之熱量。

被評估之結構中之各種品質導孔間之導電率差異影響在所有照射導孔間之上述單一量測值(如第 2E 圖所示)。明確地說，於此所述之類型的量測值包含在照射區域中所包含的所有導孔 213I-213J、214A-214N、215A-215N、216I-216J 的反應。例如，在第 2E 圖中，一導孔 214I 被顯示為只部份導通，此一導孔 214I 可能具有範圍 10 歐姆至 10M 歐姆內之電阻，而其他包含於照射區域中之導孔 213I-213J、214A、214J-214N、215A-215N 及 216I-216J 可以良好並具有 1 歐姆的電阻。假設導孔 214I 具有 10 歐姆及所有其他剩餘導孔具有 1 歐姆，則所有包含在該為直徑 D_p 光束所照射到(見第 2B-2D 圖)區域中之導孔的平均電阻為 1.75 歐姆，其係幾乎為所有導孔為良好的平均電阻 1 歐姆的兩倍。

因此，當光束 220 覆蓋導孔 214I(除了其週期導孔)時所取得之量測值 $S_{缺陷}$ 落在平均信號 $S_{平均}$ (其可以例如 1000

微伏)中的可接受變動(例如由對應變動 ± 0.1 歐姆所造成之 ± 100 微伏)外。注意量測值 $S_{缺陷}$ 並未由其周圍導孔決定出缺陷導孔 214I(因此,事實上並不知道哪一被照射導孔為缺陷)。相反地, $S_{缺陷}$ 只指出幾個被照射導孔中的一導孔為缺陷。此一指示在部份實施例中係足以僅使用此指示來觸動在處理參數中之改變(自動或經由手動干涉),以改良未來晶圓的製造。

在給定實施例中,可以任意方式決定足以使得量測值被認為指出一缺陷導孔的平均信號 $S_{平均}$ 中之變化的精確值,該等方式係例如藉由在一或多數測試晶圓之實驗,或藉由在一生產晶圓中之測試結構的校正,或將一鏈導孔的電氣量測值共相關,以決定在平均導孔電阻與信號間之關係。

於第 2E 圖所示之實施例中,在位置 P1-P3 沿著導線陣列之長度的若干區域上之量測值係被認為落在平均值 $S_{平均}$ 附近的一可接受範圍內。例如,在 P1-P3 的量測值可以落在範圍 3000 ± 100 微伏內。隨後,在位置 P4 的下一量測值可以發現落在範圍外,例如此量測值可以在 5000 微伏。於此時,找到部份導通導孔(於此時為導孔 214)的附近位置。如上所述,在此階段,仍未知在量測 P4 時三導孔中之哪一導孔被照射,但在部份實施例中,此一導孔缺陷的出現係足以觸動在製程參數的變化。

注意,在周圍量測值(例如 P3 及 P5)的分析可以表示缺陷導孔相對於缺陷量測值 P4 的位置。例如,在第 2P 圖

所示之例子中，缺陷導孔 214I 幾乎強烈地影響當探測光束 220 對中於導體島 298A 及 298J 時所取得之單一量測值 P4。如果沒有缺陷導孔被照射出，則下一個完成當光束 220 對中於導體島 298B 及 298K 時所取得之另一量測值 P5(在量測值 P4 的右方)係幾乎相同於平均 $S_{\text{平均}}$ 。

再者，先前完成之量測值 P3(量測值 P4 的左側)只有在兩理由下可略微超出 $S_{\text{平均}}$ 。首先，當光束 220 係對中於島 298C 及 298I(在 P3 量測)時，只有少部份之島 298A 被照射。第二，因為島 298A 具有三個無缺陷的導孔，入射於該等導孔上之能量的 75% 係為三個無缺陷的導孔所消散至下層。

由此分析，可以決定在單一量測 P4 時所照射的中間八個導孔中之一為缺陷(因為在左側之部份照射島 298C 及 298I 的導孔 213I 及 213J 及在部份照射島 298B 及 298K 的右側之導孔(未示出)由於前一段所討論的原因而加以消除)。若有必要明確及精確地指出八個導孔(其中光束 220 係對中兩島 298A 及 298J)中之哪一個為缺陷，一個可以在 P3 及 P5 量測值間之區域中重覆所述之製程，同時，使用較小直徑探測束 220，以提供增加之解析度(下至導孔直徑)。

一導電島相對於其所涵蓋之若干導孔的特定尺寸可以基於所監視的特定製程，藉由試誤法加以選擇。典型地，在一導電島下之導孔數愈少，一缺陷導孔的檢測愈好。為此理由，部份實施例使用每一導電島下只有幾導孔的多數

導電島(例如不超出 12 導孔，典型四個導孔，或於部份情形中只有 1 導孔)。然而，其他實施例則使用每一導電島具有相當大量導孔，例如 100 導孔、300 導孔或甚至 500 導孔的多數導電島。

參考第 2E 圖，應注意部份導電導孔 214I 的精確位置可能與精確位置 P4 不同，其中由於失準，而在量測值中首先找到偏差。即使在對準中有誤差出現，部份導電導孔的出現係為此所述之方法所檢測，因為在失準位置 P4 的量測值超出在量測信號上之預設限制。即使在位置 P4 的空間位置(即取量測值處)與部份導電導孔 214I 的空間位置間的對準有略大之差異，則有相同量測值似乎會超出預設限制，藉以表示出一缺陷導孔的出現。若有一部份導電導孔 214I 位在兩量測值間，則(對於所量得值的)可接受限制係加以選擇，以確保兩量測值均超出可接受限制。

注意於此所述之幾個實施例提供優於先前技藝的意想不到的優點，該先前技藝係作導電結構中導孔的電氣測試。於先前技藝中，量測大導孔鏈，提供平均電阻。例如，若一具有 100,000 導孔的鏈有 1 歐姆的平均電阻，及一單一導孔具有 100 歐姆之不可接受電阻，則先前技藝需要量測 100,100 歐姆，在 100,000 歐姆而言幾乎為看不到之變化。相反地，依據本發明之部份方法中，空間局部化缺陷導孔量測值(在數量上小於幾個數量級大小的導孔，例如藉由一次評估數以百計的導孔)，因為所量測信號被加倍(即 200 歐姆)，所以使得一 100 歐姆導孔將容易被指出。

因為少量之缺陷導孔可能造成電路故障，所以，於此所述之新方法係優於不能解決可能致命缺陷的先前技藝。於此所述之方法也快於一次評估一導孔，例如，若在一區域中評估百計的導孔，則測試時間被降低兩個數量級。

於第 2E 圖所示之例子中，每一量測值所完成的各種位置(即 P1-P6)係被彼此分開一距離(稱為”步階尺寸”)，該距離可以選擇為大致相同於兩導孔間之距離(稱為”間距”)。於幾個實施例中，該步階尺寸係基於所照射區域的尺寸加以選擇，及於很多實施例中，該步階尺寸典型少於所照射的區域尺寸，以提供在該區域的連續量測，同時，最小化由掃描所造成的空間變化。於幾個實施例中，步階尺寸(第 2E 圖)係為使得為一缺陷導孔所影響的量測值彼此重疊。於一例示實施例中，熱沿著導電線 211I 流動至離開光束 220 的中心約 ± 3 微米的一距離 R_t (也稱為”熱衰減長度”)，同時，消散至低於 10%。因此，量測值可以沿著導孔鏈導電線的方向，彼此分隔開 3 微米(甚至更多，例如多到 6 微米)。

然而，因為在導電線間之低熱導電率介電質，所以於橫向中，熱衰減長度為約所照射區域的尺寸。為此理由，量測間隔在很多實施例中係加以選擇以不大於橫向於線方向中所照射的區域尺寸。注意，於部份實施例中，如上所述，步階尺寸可以大於光束 220 的直徑 D_p (例如 2 微米)，與所照射區域同心但大於所照射區域的半徑 R 區域係為光束 220 所加熱。於上述例示實施例中，對於具有 3 微米步

階尺寸重疊的量測值，相對於導孔位置之光束 220 的對準並不是重點。其他實施例可以簡單地取樣導孔陣列的信號中的變化，而不是試著找出在一區域中之所有缺陷導孔。

於上述解釋中，可以為熟習於本技藝者所了解，一部份導電導孔可以藉由以步階尺寸大於間距 P 完成的量測值加以檢測(例如鄰近導孔可以分開 0.8 微米的間距 P ，其係遠小於 3 微米的步階尺寸)。如上所注意，於部份實施例中，熱分佈下降落在大於光束直徑 D_p 一半的距離 R_t 。一部份導電導孔應不離開照射區域中心 C 超出一熱衰減長度 R_t ，以在部份實施例中可以檢測出。

因此，取決於實施例，在鄰近導孔間之間距 P 係加以選擇以少於距離 R_t (例如典型 3-5 微米)。注意，其中有一交換條件。當光束的直徑保持固定時，在所照射區域中，較大間距 P 會放置較少導孔，使得量測值對於單一導孔(於照射區域中之導孔間)的變化更靈敏。在所照射區域中，較小的間距 P 放置更多導孔，使得所檢視的導孔數更多。這是一交換條件，其可以取決於實施例而有很大之差異。

於第 2E 圖中，在位置 P_1 - P_3 之量測值提供一基準線 261，其在如峰值 262 所示之位置 P_4 遭遇缺陷導孔前大致為常數(即落在可接受範圍內)及後續量測值在位置 P_5 - P_6 持續該實質穩定之基準線。注意於此所用之名詞“基準線”表示由連接實質彼此相同(例如，取決於實施例，彼此不同不超出 10% 或 20%)的多數量測值所形成的(在圖中的)一線。例如，當完成一現行量測值時，現行量測值可以與前

一量測值比較，若它們差異低於 10%，則現行量測值被連接至前一量測值，若現行量測值被保持未連接(其中前一量測值係與下一量測值比較，以在現行量測值未連接時，延伸該基準線)。

不同於在連續量測值間之 10% 或 20% 界限，在其他實施例中，當決定是否在基準線中包含或排除一量測值時，也可以使用不同數目(例如基於三倍標準偏差的統計法)。

於部份實施例中，藉由使探測光束 220 形成一足夠大直徑 D_p 的照射區域，以在被評估的結構中之導孔或導電線的空間位置中的週期性(或其他圖案)所造成的空間中平均出一週期性波動(或其他此效應)。於部份實施例中，波動基準線的出現係被顯示於第 2F 圖中。明確地說，如第 2F 圖所示，如果被照射區域的尺寸大於導孔鏈中之線間之間距，則一基準線 261A 可以幾乎是常數。然而，當在導孔鏈中之導電線更遠離照射區域的尺寸，則對應之基準線 261B 具有較基準線 261A 為大之波動振幅。

注意，依據本發明，一波動基準線並不必然為一量測的界限，例如，在一部份實施例中，一基準線的空間週期性被分析及在空間週期性中(相對於導電結構的週期性)之偏差係用以表示一缺陷的出現。再者，在第 2F 圖所示之例子中，兩不當形成之導孔係為個別之峰值 262C 及 262D 所表示，該等峰值超出預定臨界值(例如該值可以為幾倍於平均值)。如果探測光束直徑足夠大及步階尺寸足夠大以涵蓋在單一量測值中之兩缺陷導孔時，多數此等峰值可以一

起在第 2F 圖中形成單一峰值 262。

注意，若包含在每一量測值中導孔的數量太大，則某些部份導電導孔(即具有不可接受的預定電阻)的作用變成太小，而在雜訊中遺失，即使其他部份導電導孔(及斷開)可能被檢出。例如，若直徑 D_p 被增加至足夠大，具有 15 歐姆電阻的導孔可以保持未被檢出(假設可接受範圍保持不變)，即使具有 100 歐姆之電阻被檢出(使用相同可接受範圍)。因此，藉由使用部份實施例以檢出部份導電導孔的能力會隨著直徑 D_p 的對應增加而逐漸地降低。

為此理由，一適當光束直徑 D_p 在部份實施例中為使用者選擇，以足夠地大以覆蓋多數導孔，及檢測具有最小不可接受電阻的導孔。如上所述，照射區域的較大尺寸(即較大光束直徑 D_p)給予較大產量(較多量測導孔)，但會有對導孔電阻變化較低之靈敏度的缺點。在一實施例中之包含在一量測中之導孔數量可以落在 $V_{\text{最小}} - V_{\text{最大}}$ 的範圍內，其中 $V_{\text{最小}}$ 係加以選擇足夠地大，以平均出週期波動(例如 $V_{\text{最小}}=4$)，及 $V_{\text{最大}}$ 被選擇以足夠地小，以確保任一單一導孔的個別貢獻明顯(例如 $V_{\text{最大}}=20$)。 $V_{\text{最小}}$ 及 $V_{\text{最大}}$ 的精確值取決於若干因素，例如量測之信雜比、導孔位置的空間週期性、線剖面(其決定被加熱區域的尺寸)、及予以被處理為良好的導孔的電阻值的最大界限。

上述兩動作在接近前述區域的若干區域中，例如由左到右沿著軌跡陣列之長度重覆地執行，包含：(1)以一加熱光束或探測光束照射多數導孔，及(2)完成包含多數導孔的

量測值，以完成一掃描。明確地說，於部份實施例中，掃描被執行如第 2E 圖所示，在掃描中，可以保持被完成量測值的一動態平均(例如在預定量的最近量測值中，例如在 5 次量測值中的單一線性掃描)。於部份實施例中，若現行量測值顯著地超出(例如最後三次量測值的)動態平均，則現行量測值被視為表示一部份導電導孔的存在。

注意，在幾個區域的掃描可以以本技藝中所知的任意方式加以實施。部份實施例使用電流錶，沿著一軸掃描光束並沿著另一軸移動機台。例如，如第 4B 圖所示，機台可以沿著 X 軸掃描，同時，光學元件可以沿著 Y 軸掃描。掃描機制的細節並不是本案之重點。注意沿著兩軸掃描可以以機台動作或藉由一 2 軸電流錶加以完成。

於上述的幾項實施例中，量測位置以小於光束直徑的距離加以均勻地分隔。例如，1 微米步階可以以直徑 2 微米的探測光束加以完成。於此一掃描的特定實施法中，步階尺寸係小於光束直徑，以提供來自掃描的連續信號圖。於另一實施例中，步階尺寸為 2 微米及照射區域的直徑為 2 微米，其中，步階尺寸係大於 1 微米的束半徑。於另一實施例中，步階尺寸為 2.5 微米，其係大於光束直徑，但小於 3 微米的熱衰減長度。同時，在一實施例中，每一導孔的位置係在一量測位置，但在其他實施例中，也可以使用一或多數非導孔位置作為量測位置。

於部份實施例中，一機台(其上正常放置有予以評估的半導體晶圓)被設定為自由動作，並以每秒 200 微米的速度

移動，及量測信號在 10 毫秒的時間間隔連續讀取並儲存。此等實施例提供一等於由如上所述之步階及量測所完成之一連串量測值的信號。因為機台的動作，及因為定鎖積分時間的較短持續時間，此等實施例可以在量測中取得較大雜訊，但這些實施例顯著地改良了量測方法的產量。因此，如上所述之掃描同時涵蓋了自由移動實施例(其中類比信號被連續取樣)及上述之步階實施例(也稱為”跳躍實施例”)，其中完成了一連串的個別量測值。

注意，沿著導電線的探測光束(及若使用加熱光束)的自由動作掃描造成由第 2E 圖中之基準線所示的相當平滑信號反應。注意當導電線具有一組下層導孔及甚至一單一導孔部份導通時，其中信號的增加被檢出(超出基準線)，所以取得意想不到的結果。因為此類型的說明於台灣專利申請第 92104459 號中之週期性背景信號在部份實施例之量測中並未出現，所以，信號至背景比很高。因此，當執行於此所述之類型的方法時，結構可以以高速加以掃描。

幾項實施例係基於使用於台灣專利申請第 92104459 號中之週期背景信號，此信號被分析週期性，以提供有關導孔及更小缺陷的資訊。於此等實施例中，離開完美週期信號的偏移係被用以指出局部導孔缺陷的出現。

於部份實施例中，當直徑 D_p 足夠大以包含幾十個導孔時，信雜比(SNR)很高(約 1000)。降低 SNR 十倍至 100 提供了在量測時間之 100X 降低，例如至 0.02 秒/點。當使用約 2 微米的點間距時，所需要以涵蓋一陣列的點數量可

以為 2500(50×50)，其中掃描整個陣列的所需時間為 50 秒。這對於導孔連接性的線上量測，即在晶圓製造時的量測係為可行之產量。

雖然第 2E 圖顯示一沿著導電線陣列方向的線性掃描，但熟習於本技藝者在本案揭示後，可以明顯執行一區域掃描。例如，第 2G 圖例示由左向右執行線性掃描，隨後，向下移動執行由右向左的另一線性掃描。以此方式，執行若干線性掃描(及若干量測值係在每一線性掃描時完成)，直到一預定區域被涵蓋為止。

注意，在每一掃描中，在掃描時的每一遭遇位置處，執行以下動作：探測光束照射具有多數導孔的區域(在第 3A 圖中之動作 301)、一電氣信號被產生，以表示為照射區域所反射的探測光束的一部份的屬性(動作 302)。注意，雖然於部份實施例中所用之掃描為”線性”，但在其他實施例中也可以使用非線性掃描，例如由一點至另一點的掃描，但並不需要遵循一直線路徑(例如一振盪路徑或曲折繞著一導線，而不是沿著該線移動直線)，或者，取決於實施例而定，也可以使用一非定速掃描。

取決於實施例而定，為若干此等掃描所涵蓋的區域可以為矩形或正方形。注意，此一區域也可以不規則形。第 2G 圖所示之實施例顯示細微導電線的 100 微米×100 微米陣列的評估，該導電線包含約 50000 微米的銅線(0.8 微米的間距，50%的填滿)，及約 100000 導孔，分隔於 0.4 微米的間距。第 2G 圖之所述陣列係在一實施例所評估，藉由

— 2 微米雷射束直徑 D_p 及每點 2 秒的量測時間，每一線性掃描具有 50 量測值，造成整個陣列 50×50 量測值。於前述例子中，每一導電線係藉由呈 0.4 微米彼此分開並具有 0.14 微米直徑的導孔所連接至下層的導電材料片。注意在如第 2G 圖所示之 100×100 微米面積的測試結構中，有約 62500 導孔。

在輪廓圖中繪出此等量測值結果（對於兩輪廓以 $30000 \mu V/V$ 及 $40000 \mu V/V$ 的信號值限定界限）係如第 2H 圖所示。注意在第 2H 圖中，點代表略高於導孔電阻的區域（相對於鄰近區域）。再者，在第 2H 圖的左側上之區域 264 已經被欠蝕刻，及導孔直徑愈小，造成此區域 264 中之較高導孔電阻（及此區域也具有點，以表示較高導孔電阻的區域）。

可以由第 2H 圖之右側看到區域 263，多數量測值將落在 30000 以下，因此，代表良好形成之導孔。同時，由第 2H 圖之左側上之區域 264 所示，少量之量測值落在 30000 及 40000 之間，代表部份導通導孔。注意，在第 2H 圖之區域 267 中，沒有導孔。檢測缺陷導孔的此實施例的效力係為第 2H 圖中之左上角及左下角的區域 265 及 266 所示，其中量測值超出 60000 表示這些區域中之導孔具有顯著高電阻，表示缺陷的所在。

注意，在有孔隙導孔及無孔隙導孔間之量測值差異係取決於導孔直徑，如第 2I 圖所示。明確地說，量測值（當標稱化至一沒有孔隙的梳形區域時）降低為導孔直徑的函

數，但相較於有孔隙導孔時，下降係大於無孔隙導孔。因此，當一導孔直徑(相較於導孔直徑較小之測試結構時)較大，在測試結構中較容易檢出有孔隙導孔。如上所注意到，在第 2H 圖中作品域 267 表示一導電區域，其下沒有導孔，即缺乏導孔鏈的區域。

同時，雖然在導電結構 210 中之上層包含一導電線上層，每一導電線連接至一個以上之導孔，但於部份實施例中，上層包含一導電島結構，及每一導電島係只為單一導孔所連接至下層導電層，如第 2J 圖所示。明確地說，第 2J 圖顯示四個導電島 294a、294I、295A 及 295I，每一導電島係為個別一導孔 214A、214I、215A 及 215I 所連接至下層。再者，在第 2J 圖之導電結構中，下層包含(不包含如第 2A、2C 及 2D 圖所示之線 222A-222N)在第 2J 圖中之一連續金屬片(也稱為"墊")280。注意，由島 294I 流經導孔 214I 向下流入片 280 的熱量係在多數實施例中消散至片 280 中，而不是向上行進入鄰近導孔，如導孔 215I 或 214A。這係不同於先前技藝導孔鏈 100(第 1A 圖)的熱傳遞，因為導孔鏈在層 114 中沒有一連續片(施加至線片段 132a 的熱向下行經導孔 133a、向右行經線片段 131a、向上行經導孔 133b、向右行經線片段 132b、向下行經導孔 133c，等等，以橫向通過導孔鏈的長度。

在第 2J 圖中之導電結構進一步顯示在第 2K 圖的平面圖中，及沿著第 2K 圖中之方向 2L-2L 及第 2K 圖中之 2M-2M 的兩剖面圖中，並以第 2L 及 2M 圖表示。另一結

構係如第 2P 圖所示，其中每一導電島係為四導孔所連接至下層中。例如，在第 2P 圖中，導電島 298A 係為四導孔 214A、215A、214I 及 215I 所連接至下層 280。

因為導孔連接至墊 280 具有較導孔連接至導電線為大之有孔隙的可能性，所以，於部份實施例中，前一段所述之導電結構係被形成為在晶圓中之測試結構，以評估導孔資訊的效力。注意，於評估此類型中，示於第 2L 及 2M 圖中之結構的導孔 214J，由於有缺陷所以造成其個別導電島（例如在第 2J 圖中之島 294J）不能消散熱至上層中之任一鄰近導電材料（實質上與之隔離），藉此快速被加熱並較（以個別導孔）熱連接至下層的鄰近島更具反射性（差異一數量級或更多）。於第 2P 圖的另一結構中，島 298J 只經由四個導孔之三導孔消散熱量，由此，較鄰近島，例如島 298A 被加熱（例如保持 25% 的入射能量）。同時，部份實施例藉由使用如下所討論的墊作為下層（因為墊似乎曝露導孔缺陷），而改良了導孔缺陷的檢測。

於此等實施例中，即使平均反射率係為光束 220 所量測，在導電島的反射率的增加係足夠高，以顯著地增加量測值至如第 2F 圖所示之峰值。因此，此一導電島的結構提供造成故障導孔的檢測程序的較高或然率。再者，第 2J 圖的導電島結構的另一優點為具有幾個島的整個結構（或其大部份）可以被同時加熱（或者，使用小加熱光束，以只覆蓋少數導孔或只覆蓋一導孔）。

相較只使用很小直徑以個別解答每一導孔的光束，在

很多實施例中，使用足夠大以覆蓋幾十導孔或者在部份實施例中，使用覆蓋數百導孔的加熱束(及若有的話之探測光束)可能會造成為大之產出率。注意加熱光束(及若有的話，探測光束)的直徑增加係取決於對缺陷的量測靈敏度而定。幾個實施例使用最大直徑光束，其中，由於導孔缺陷保持可以由此量測法(取決於給定的信雜比)看到反射率的增加。

第 2J 圖中之寬度 "W" 的典型值為 0.5 微米及導孔的典型直徑為 0.12 微米，及導孔的典型高度為 0.3 微米，及金屬層的典型厚度 T_t 為 0.3 微米。於幾個實施例中，島的尺寸(例如當正方形島時為對角線或者圓形島的直徑)係加以選擇，以等於或大於加熱光束波長的一半，以避免入射光的最小耦合入結構中。

注意雖然於部份實施例中，島係排列呈二維陣列，並以相等距離彼此分開，但在其他實施例中這並不是必要的。例如，在第 2J 圖所示之實施例中，在島 294I 及 295I 間之距離 P_1 係大於島 294A 及 295A 間之對應距離 P_2 。取決於實施例，島也可以彼此隨機地定位。

幾個實施例在上層中，藉由適當地增加導電島的尺寸(而不接觸鄰近導電島)，而儘可能佔用很多面積，以增加與入射光的光學耦合。在導電島間之間隙 P_1 及 P_2 (第 2J 圖)係被選擇足夠地小於入射光波長 0.2 微米或更小，以最小化至下層結構之光洩漏(這可能降低檢測導孔缺陷的此等量測值的效應)。

再者，雖然在部份實施例中，下層導電材料係在第 2J 圖中被形成如一片材，但一類似測試結構也可以形成將下層形成為如第 2N 圖所示之導電線陣列。於此等實施例中，方向 2D-2D(見第 2N 圖)的剖面圖顯示類似或等同於第 2D 圖，其中，在方向 2M-2M(第 2N 圖)之剖面圖類似或等同於第 2M 圖。因為當連接至下層墊時，因為導電故障的發生率大於導電線，所以，第 2J 圖之導電墊被認為優於第 2N 圖之導電線。因此，具有下層結構為片材的結構加強了於此所述之方法類型對導孔故障可能的靈敏性。

再者，如於熟習於本技藝者所知，雖然於部份實施例中說明使用梳形結構(見第 2A 圖)，但在其他實施例中也可以使用蛇形(見第 2O 圖)。

不論於此所述類型之量測係有效於決定在導電島下(如第 2P 圖所示)之導孔的平均電阻 $S_{\text{平均}}$ 否，及決定由於一或多數導孔缺陷之電阻增加，量測不只取決於在每一島下之導孔數，同時，也取決於其他因素，例如照射區域的直徑 D_p ，及最小幾何(例如導孔直徑)。

於很多實施例中，導電島的尺寸(例如圓形島的直徑或正方形島的對角線)係基於予以(為探測光束及/或加熱光束所)照射的區域的直徑加以選擇。於某些實施例中，該島尺寸係被選擇以不大於 $2 \cdot R_t$ ， R_t 為在理想條件下，(在照射區域中心)的溫度上升低於最大溫度上升的 10%，離開照射區域中心的距離。

在前述實施例的例子中，直徑 D_p 為 2 微米及導孔直

徑為 0.5 微米及 R_t 為 4 微米(為典型值)，因此，導電島係被形成為寬度不超出 8 微米的正方形。注意距離 R_t 取決於若干因素，例如導電島的材料的導熱率、導電島的厚度、及位在導電島下並與之接觸的一層(例如介電質)的導熱率。

注意，取決於實施例而定，(如第 2P 圖所述之)導電島可以由小於 $2 \cdot R_p$ 的尺寸所完成。在部份實施例中，每一導電島只具有一導孔(或少量之導孔，例如 12 導孔)，而探測及/或加熱光束照射大量之島，例如 100 個島或 300 個島。注意在此一實施例中，一單一量測涵蓋所有被照射的島，而不會解決個別島的貢獻。

當量測的數量(2500)足夠大時，於部份實施例中，它們被用以統計分析，並可以如下所討論地執行(替代上述移動平均分析法或除了上述移動平均分析法外，另外進行)。明確地說，在所有量測係針對在一導電線陣列完成時，量測係每動作 303(第 3A 圖)加以分析，以檢查是否量測的統計評估表示晶圓為可接受，或者，晶圓被進一步處理(如動作 305)，若不是則處理參數改變(如動作 304)。

於動作 303 的實施例中，以顯著方式由平均值(例如統計平均值，或中間值或模式)偏移的任意量測值係被視為足以表示晶圓為不可接受。明確地說，若在統計分析中找到顯著偏移，則陣列被標示為具有缺陷導孔，及用以製造該陣列的處理參數改變(如動作 304)。

取決於實施例，可以使用任意一方法以指出在量測值

中之顯著偏移。明確地說，在部份實施例中，剛好大於平均值超出 3 倍標準偏差(即 $>3\sigma$)者即被視為指出在被評估區域中之一或多數部份導通導孔的存在。於此等實施例中，包含完全良好導孔的至少 1% 的量測值似乎會超出此邊界(例如因為所有量測值的 99% 配合在平均值的 $\pm 3\sigma$ 內)。標準偏差 σ 可以以如下所述之正常方式加以計算：

$\text{sqrt}((\sum (X_i - X)^2 / (n-1)))$ ，其中：

sqrt=平方根

\sum =總和；

X_i =量測信號；

X =所有量測信號的平均；及

n =量測的數量。

如第 3B 圖所示，任何超出平均量測 $S_{\text{平均}}$ 三標準差的增量係被認為統計上顯著，同時，在部份實施例中，表示部份導通導孔。於其他實施例中，大量界限係被用以決定是否一量測值，表示一部份導電導孔，例如四標準差大於 $S_{\text{平均}}$ 。

在幾個實施例中，較小界限(例如 2σ 或甚至 σ 大於平均 $S_{\text{平均}}$)係被使用，例如若一晶圓製程為已知製造具有少量導孔缺陷的晶圓。再者，雖然在部份實施例中，一統計量測被使用作為界限，但其他實施例也可以基於被測試並找到為良好的晶圓的校正，在予以量測的信號上，設定一非統計界限。例如，在一量測中之單一部份導電導孔的包含可以造成量測值變成兩倍(或更多倍)大於當包含在量測

中之所有導孔為完全導通時所取得之相關量測值。於此時，當量測值超出平均 50% 時，該待評估區域可以被視為包含一或多數部份導電導孔。

雖然在部份實施例中，幾千量測值(例如 2500)係被執行，然後，統計分析，但足夠用於此統計分析之量測數量係遠遠很少(及在其他實施例中，使用較少數量)。例如，在某些實施例中，只執行 100 個量測，雖然很可能只完成交(及使用)30 個量測(以每一量測涵蓋幾十導孔或幾百導孔)，但只這 100 個量測被統計分析。注意低於 10 個量測的量測及評估似乎不會得到一統計上有意義的結果，因為每一量測值形成 10% 的取樣。再者，這些結果在此等狀況下也沒有意義，如果每一量測值涵蓋陣列區域的很小一部份。再者，當涵蓋太大區域可想要的問題，例如蝕刻非均勻性，則此取樣可以取決於實施例加以接受。

再者，很多實施例中，所有被統計分析的量測值係來自一單一局部區域(例如來自包含一晶粒內或者在兩晶粒間之街道內的導電線陣列的區域)，使得在晶圓的非均勻性並不會影響分析結果。此等量測可以在晶圓區域的幾個局部區域中重覆地完成，以均勻映圖至整個晶圓上。於部份實施例中，在晶圓上的所有陣列被檢查是否符合相同之控制界限。再者，於此所述戈久量測可以在任一金屬層中完成(M1 至 M2 導孔、M2 至 M3 等)。於此時，在最上一對金屬層中之量測值可能為在其下的金屬層中之結構(及/或缺陷)所影響。於此等實施例中，控制界限可以考量下層的出

現而加以校正。再者，此等量測也可以經由上層介電膜加以完成，該等膜也類似(或等同)地影響所有量測反應的大小。

如於第 4A 圖所示，實施於此所述之方法的處理單元 400 的實施例包含一量測設備 425(第 4B 圖)，其執行以上所述之程序。因此，在晶圓製造的任一點上，一晶圓可以受到量測程序，例如在第 3A 圖中之箭頭所示。若一量測信號超出一預定界限，則製程可以即時受到調整，藉以產生(較晶圓被製造後所完成之量測值)更可接受的晶圓。

處理單元 400 的一實施例包含一選用可程式電腦 426，其供給連接至圖案化設備 420、蝕刻設備 421、襯底沉積設備 422、金屬沉積設備 423 及研磨設備 424 的匯流排 415 以(用於製程的)處理參數。予以完成之處理參數的變化可以藉由在程式電腦 426 中之軟體加以自動決定，或者，可以為人工操作者所輸入。

於一實施例中，當量測值與來自另一晶圓(例如在現行晶圓被評估前之前一個製造晶圓)的對應量測值比較時，來自於此述之晶圓 407 的單一量測係足以指出一部份導通導孔的出現與否。於一實施例中，由於金屬線寬度變動造成之誤差係藉由比較於此所述之量測值與來自沒有導孔的導電結構(梳形、蛇形或導孔鏈)的對應量測值加以消除。

第 4B 圖顯示使用雷射 431 以加熱在晶圓 43 中，及第二雷射 435 以量測受熱區域的溫度之導電結構的代表性量測設備 430。然而，也可以使用其他設備。例如，一電子

或離子束也可以用以加熱在晶圓 436 中之導電結構，及一紅外線攝影機或檢測器(例如熱像攝影檢測器)可以用以量測導電結構的黑體溫度。

在設備 430 的特定實施例中，雷射 431 係為一二極體雷射(例如由美國加州聖荷西之 Spectra 二極體實驗室所製)，發射出 830 奈米波長的 100 毫瓦的光束強度。雷射驅動器 451(例如由美國加州愛爾凡之 Newport 公司所購得之型號 8000OPT-42-12-02NN)提供一正弦信號給雷射 451，以調變由加熱光束所發出的強度。光學件 453(例如由美國紐澤西州牛頓之 Thor 實驗室所購得之型號 C390TM B)對準雷射 431 的輸出，建立光束 433。

於一實施例中，加熱光束 433 係未被極化，而於另一實施例中，加熱光束 433 被極化。明確地說，在某些實施例中，當線寬低於 0.2mm 時，加熱光束 433 被極化。極化方向係平行於結構 210 中之導孔鏈的長度，以增加熱吸收，例如由於加熱光束 433 與結構 210 中之金屬線段(也稱為軌跡)間之互動。如上所注意，結構 210 被形成在晶圓 436 內。

如本案其他部份所述，當線寬小於波長時，部份實施例使用一或多數極化光束。於此等實施例中，被極化平行於導電線(也稱為"軌跡")的光具有較被極化垂直於導電線為大之互動剖面。使用一或多數平行極化光(作為加熱光束或作為探測光束或兩光束可以極化)增加了評估結構 210 的效率，因此，增加所量測信號的信雜比(SNR)。

於一實施例中，也包含在設備 430 中之雷射 435 可以為 Spectra 二極體實驗室所製作，並發射波長 980nm 強度 50 毫瓦的光束。雷射 435 產生在定強度的探測光束 439。取決於實施例，探測光束 439 也可以被極化，以平行於導孔鏈的長度。光學件 437(例如美國紐澤西州牛頓的 Thor 實驗室型號 F230FC B)對準雷射 435 的輸出以建立探測光束 439。

設備 430 同時也包含一分色鏡(例如 Newport 公司的型號 05BR08)，其發射來自雷射 431 的光並反射來自雷射 435 的光(其具有較來自 431 為長的波長)。分色鏡 440 組合光束 433 及 439，提供單一組合之光束 441。組合之光束 441 通過各種光學元件並最後以物鏡對焦在晶圓 456 上，物鏡係例如由日本東京的 Olympus 所購得之 100×0.9NA 透鏡(例如部件 1LM5951)。

為晶圓 446 所反射的光束通過回到 50:50 的光束分離器 442，其將 50% 的回來光束透過濾光器 449 朝向檢測器 450(例如來自美國紐澤西州的橋水的濱松公司的型號 S2386 8K)。可以為 GaAs 晶圓的濾光器 449 將來自加熱光束 1303 的光的反射部份移除，使得檢測器只看到來自探測光束 439 的光。跨阻抗放大器 454 將為檢測器 450 所輸出之電信號轉換為一使用定鎖放大器 455(定鎖放大器，例如由美國喬治亞州亞特蘭大的 EG&G 儀器公司所購得之型號 7265)加以量測的電壓。定鎖放大器 455 具有一也用以驅動雷射驅動器 451 的調變的振盪器。該振盪器係以約 2kHz

或更低之頻率操作。

於一實施例中，(用以產生一加熱光束的)振盪器頻率被選擇足夠低，以防止所施加之熱形成一熱波，即在任何時間(例如調變的單一循環的持續時間，例如在 2KHz 調變約 500 微秒)中，造成導孔鏈結構中之溫度分佈，以近似正常看成穩態的瞬時溫度(例如於美國專利第 6,054,868 號所討論的線性反應，該案係併入作為參考)。

於其他實施例中，當在結構 210 中之導孔鏈(或其他被評估的結構)沒有缺陷時，調變頻率可以選擇足夠地大，以使得來自加熱光束 433 的能量的一部份被轉換為熱波，同時，光束 433 的剩餘部份則足以使探測光束 439 的反射部份被調變於調變頻率。因此，例示於第 2A 圖中之方法係依據本發明加以使用，以在所量測信號係在來自參考晶圓的相關信號的預定範圍內(取決於實施例，不管熱波出現否)時，進一步處理晶圓。

不管所選擇之頻率，如此所述之調變加熱光束的使用使得定鎖放大器可取得微小溫度變化的一很靈敏量測值。然而，注意在其他實施例中，加熱光束 433 也可以為定強度(即沒有調變)，只要導電結構 210 的反射率係以足夠正確度加以量測(例如 1%)。一熱像攝影機可以用以替代檢測器 450，以執行此一定強度量測。

如上所述，在本發明之幾個實施例中，為一調變加熱光束 433 所加熱的導電結構 210 的大致與加熱光束 433 的調變同相地反射循環。這是因為一金屬的反射率係為溫度

的函數。例如銅具有 $-1.55 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 的反射係數變化(約百萬分之 15)。量測信號的相位取決於所用以形成結構 210 的導電材料而定，例如，因為銅的反射率隨著溫度的增加而降低，所以取決於溫度變化的大小，所反射信號約與此金屬相位差 180 度。

注意相位變化的量(除了取決於溫度變化外也)取決於用以在導電結構 210 中形成導孔及軌跡的導電材料的組成。所施加熱的量也可以加以選擇，以確保由於溫度變化造成的導電結構 210 的變化反射率造成在探測光束 439 的反射部份中之調變信號(例如在實施例中，調變加熱光束的強度及/或極化)。這是為定鎖放大器 455 所量測的信號。因此，所量測信號的強度係為在量測點之導孔鏈的溫度函數。

如第 4B 圖所示之設備 430 同時也包含一視訊系統，以將雷射光束 433 及 439 定位在晶圓 436 的結構 210 中的導孔鏈上。光束分離器 444 將約 10% 的反射光分散至透鏡 447 及攝影機 448 上。於此實施例中，物鏡 445 及透鏡 447 形成一具有大約 1000X 倍率的顯微鏡。設備 430 的攝影機 448 係連接至外部視訊系統(例如由麻州波士頓的 Cognex 公司的 Patmax)。視訊系統隨後連接至設備 430 中之一晶圓機台 469，以完成雷射光束 433 及 439 的自動對準至導孔鏈結構 210。設備 430 同時也包含一白光照明器(未示出)，以提供視訊系統的照明。

於一例子中，生產中之晶圓 436 需要一層金屬內連線

(也稱內連線層)。於製造程序中，晶圓 436 被傳送至處理模組 400(第 4A 圖)，其中上述內連線層被形成於其上(及晶圓被標示為 406 及被評估)。

當在晶圓 406 中，建立內連線層時，取決於被使用之製程，模組 423(第 4A 圖)可能建立一或多數孔隙。例如，電鍍銅係為用於雙層嵌入內連線裝置的一金屬選項。然而，建立銅金屬溝渠及導孔的製程留下的導電結構容易有孔隙。

在擴散阻障層(典型 Ta 或 TaN)沉積後，一薄銅種層藉由物理氣相沈積(PVD)加以沈積，以確保在用以沉積電鍍銅的電鍍槽間之電子傳遞的所有特性間有相等電位。若 PVD 銅種層太薄或並未覆蓋所有溝渠或導孔中之特性，則電鍍銅將選擇地電鍍在被覆以銅的區域上，造成在很少或沒有銅種層的區域，沒有沉積或孔隙。

因為 PVD 的視線本質，所以，例如具有高深寬比的溝渠的窄裝置特性傾向於有很少或沒有銅種層沉積在側壁上，造成了”側壁”孔隙。在溝渠或導孔中的”屏蔽”特性阻擋了 PVD 視線將造成缺少銅種層覆蓋，同時也造成了孔隙。

在電鍍溶液中之加速劑的非最佳化集中也在導電結構中，造成”接縫”孔隙，此等孔隙可以為第 3A 圖中之方法所檢出。在溝渠及導孔底部中之加速劑物種的正確濃度加強了”由下向上”的電鍍銅填充。若在電鍍溶液中之加速劑的濃度太低或太高，則在特性底部的沉積速率接近側壁及

頂部之沉積速率，造成保角銅沉積。連接至此在裝置特性頂部的 PVD 覆蓋的非保角尖角的保角沉積強迫在溝渠或導孔完全填滿前特性頂部的閉合，造成了一接縫孔隙。

對於孔隙建立仍有其他幾項機制，例如，在小孔底部的蝕刻劑殘留物、導孔銅插塞或溝渠銅線對下層阻障金屬的不良黏著力、由於不良再結晶造成的孔隙聚結、及電遷移。由這些機制所建立的孔隙係為第 3A 圖的方法所檢測。

第 3A 圖的方法同時也檢測其他缺陷，例如在導孔底部的不良連接、或不良電鍍，其係由用以蝕刻在介電層中之孔所用之蝕刻製程的殘留物的出現，在該介電層中形成有一導孔。於所述實施例中，除了殘留物外，蝕刻製程同樣也可能未完整，因此，造成在導孔底部的不良連接或不良電鍍。

另外，積體電路包含幾個內連線層。積體電路的此一層的形成需要在沉積介電層時，曝露至幾百°C 的溫度。曝露至此高溫在導孔的底部，造成一良好導孔回拉(即部份或完全地)，造成在下層軌跡的部份或斷開連接。同時，蝕刻殘留物可能在此高溫曝露時，腐蝕在導孔底部的連接。於這些例子中，導孔可以部份連接，但其電阻例如由良好導孔的 1 歐姆增加至只有 10% 連接的導孔的 10 歐姆。此等問題可能被隔離，因此，例如一導孔鏈的電氣測試的傳統方法所不能檢出，該傳統方法只能提供大量導孔的平均電阻值。

然而，此等問題被認為在本發明之幾個實施例的解答

內，及問題導孔可能出現在於此所述之導孔鏈區域的圖中。這些孔隙被埋入，因此，不能為積體電路的頂部看到。另外，孔隙或部份填充導孔係被埋在介電層下。因此，上述參考第 3A 圖所述之方法係特別有利於此一狀況中，因為該方法量測孔隙的程度，與只指出導孔被連接或斷開者相對。再者，依據本發明的方法可以在透明介電層被施加以埋藏導孔結構後加以使用，使得在頂表面沒有金屬曝露出。

可能具有一或多數孔隙，具有完成內連線層的晶圓 406 係在系統 425 中量測，以決定是否導孔已經成功形成。量測值可以在主動裝置圖案的選定區域中或在鄰近主動裝置圖案的測試結構中。為系統 425 所產生之量測值信號係被傳送至電腦 426。在此事件中，結果被判斷為不可接受（例如因為檢測出強信號），信號係為電腦 426 所送至處理模組 423，以改變製程，以完成檢測問題的校正。或者，電腦 426 也可以簡單地使處理模組 423 暫停，以防止生產其他缺陷晶圓。一作業人員可以在校正導孔孔隙問題後，重新開始模組 423。

第 4C 圖顯示為一特定實施例中為設備 425 及電腦 426 所執行之量測有關的流程圖。在動作 481 中，一晶圓 406 係被裝載入量測系統 470(第 4B 圖)。動作 482 中，晶圓 406 被移動至一位置，使得一掃描可以沿著導孔鏈進行(此位置也稱為量測點)。光束 433 及 441 均在動作 482 中對焦至量測點。

動作 483 至 485 的環路被輸入以執行量測。如上所述，沿著導電線的線掃描係在動作 483 中執行。明確地說，線掃描包含一連串的取一量測值、典型為沿著一直線，平移晶圓一小距離（於一例子中，少於探測光束 489 的直徑），使得待測的特性被平移在光束下、及一新量測點為光束 489 所照射、取一新量測點的量測值、及重覆這些步驟。如先前所述，掃描可以定期地停止，以驗證光束是否適當地定位在導孔鏈上，並如所需地調整該定位。

於一實施例中，量測點被均勻地分隔開一少於光束直徑的距離。例如，1 微米的步階可以以直徑 2 微米的探測光束加以完成。於此一掃描的特定實施法中，分隔距離係少於光束直徑，以由掃描提供一連續信號圖。於另一實施例中，每一導孔的位置係為一量測點，但在兩導孔間之一或多數非導孔位置也可以用作為量測點。

於另一實施例中，光束係連續地針對晶圓藉由移動該機台或掃描該光束加以掃描。該信號被以掃描一像素距離及讀出所花用的時間加以積分。例如，在以 200 微米每秒的掃描速率，及有 2 微米像素尺寸時，信號係每 10 毫秒加以讀取。於另一實施例中，加熱光束為色帶，及探測光束被掃描在該色帶內。於一實施例中，晶圓被移動於色帶下。於另一實施例中，色帶被沿著想要的特性加以掃描。

於步驟 484 中，該組量測信號例如藉由計算該組量測信號（其有分立值，每一量測點有一值，或者，在掃描時，具有為定鎖放大器所輸出的值的連續掃描）標準偏差加以

分析。在步驟 486 中，明顯大於設定值的量測信號造成生產中之晶圓的退貨。若晶圓為可接受，則程序被決定為在步驟 487 中校正，及循環被以一新晶圓加以重覆(回到步驟 481)。

於一實施例中，標準偏差係被儲存，供後續使用以接受或退貨該晶圓。於動作 485 中，決定是否在晶圓 486 上的另一導電結構被評估否。若是，則動作 482 至 484 重覆，例如直到所有在晶圓 406 上的導電結構均被評估為止。取決於該實施例，只有選定之導電結構被評估。

於動作 486 中，所儲存之資料被分析，以決定是否予以評估的導孔(其可能為梳形、蛇形或導孔鏈)為可接受，或者有問題。如果它們為可接受，則現行晶圓被以正常方式加以進一步處理，及下一晶圓被裝載供評估。若它們為不可接受，則問題被報告給校正動作。

如上所述，一實施例之設備 430 為兩雷射系統，執行準穩態量測。一紅雷射(830 奈米波長)將熱抽入待評估晶圓中之金屬線。一第二雷射(980 奈米波長)量測在被加熱區的反射率，以減去溫度變化。該等雷射為了壽命理由係被部份選擇，並被額定為工具操作為 100000 小時。如本案其他部份所述，一例如 Cognex PatMax 視訊系統的外部視訊系統係用以找出在一實施例中之量測點。

一實施例中之設備 430 量測由於加熱形成在被評估晶圓的 2 微米直徑的照射區域所造成的溫度變化所造成的金屬反射率。典型範圍 10 至 40°C 之溫度上升對於軌跡(即導

電線)共相關至每單位長度的電阻，及用於墊(即導電片的部份)的片電阻。量測信號大致隨著線剖面積的降低而增加，這促成小於 0.12 微米寬度的使得個別線及線陣列的量測。如上所述，良好導孔分流熱量，及在導孔及下層結構間之孔隙或不良連接介面限制了熱流動，提供了對導孔連續性及線孔隙有靈敏性的量測信號。

從無關實驗中，在二氧化矽雙層嵌入電氣測試圖的 0.25 微米導孔中找到孔隙。明確地說，在執行導孔鏈結構的 FIB/SEM 時，即找到孔隙。並觀察到三類型的導孔：全填滿、部份填滿、及完全不連續導孔。來自每一類型導孔的取樣也藉由設備 430 加以評估，該設備成功地提供在導孔鏈中之孔隙量測值。

因為於此所述之幾個實施例並沒有產生熱波，所以，這些實施例並沒有發生於先前技藝中之基於熱波的產生由軌跡邊界或附近特性反射的缺點。於部份實施例中，於此所述之加熱及量測可以例如藉由使用兩同軸雷射光束在同一點完成。因此，於此所述之兩光束不必要如部份先前技藝中所需地，將每一光束相對於導電結構幾何作個別定位。取決於實施例，兩光束(可以是或不是雷射光束)可以定位彼此隔開一預定距離，而不是兩光束重合。取決於實施法，隔開距離可以足夠小，以使得為兩光束所形成的照射區重疊在一晶圓上，或者，該距離可以足夠大，以使得所照射區彼此完全分隔開。

對於部份實施例中，完成於此所述之測試結構的製程

將說明如下。首先，一光阻層被施加至形成在一基材上的導電層表面。再者，光阻層藉由曝光及顯影在部份區域中之光阻，其後蝕刻導電層的曝光部份而圖案化，以在其中形成開口。為光阻所保護的導電層區域保持完好如初，並在測試結構中形成軌跡或墊。

前述之動作(前一段落)也同時用以在矽晶圓中建立一電晶體的一或多數部份。例如，取決於實施例，進/出電晶體的導電線係同時與測試結構的軌跡/墊形成。若是的話，光阻層並未在測試結構的區域被形成的同時，在予以形成電晶體的區域位置曝光或顯影。或者，取決於實施例，在晶圓中的各種電晶體的所有區域也可以藉由與前述形成測試結構的不同動作或分開的動作所形成。

當積體電路被製造在晶圓上時，它們通常被形成在被稱為晶粒的區域中。這些典型為矩形並包含所有全功能積體電路所需的結構。取決於電路的複雜性而定，晶粒可以在一側上長約 2 至 3 公分，及一晶圓上可以有幾十至幾百晶粒。在製造後，晶圓被以鋸切割成個別晶粒。在保留這切割操作的晶粒間之區域被稱為街道，典型為 50 至 100 微米寬。

於本發明的部份實施例中，在晶圓製造中，此“街道”區係被使用來製造測試結構，該結構可以加以測測成為製程的一部份。例如，具有尺寸 50×50 微米的長導孔鏈可以製造在鄰近每一晶粒的街道內。因為這些導孔鏈相當接近鄰近裝置的主動區，所以他們提供包含導孔的控制區，該

等導孔係等同於在主動區所找到的導孔。於一實施例中，這些區域係使用依據於此所揭示的方法加以測試，以決定導孔的整體性。於另一實施例中，主動裝置結構中之導孔被測試。

注意在部份實施例中，若干量測係被分類為更小群的彼此接近(例如彼此在 10% 內)的量測，及這些群中具有大量的量測值的一群之平均值(稱為基準線)係被當作一固定基準線，所有其他的量測值係與該固定基準線作比較。於此一實施例中，所有在其他群中之量測值(即基準線群外的其他群)係與基準線作比較，只要任一群中，與基準線比較具有最大的差的一群即被視為指出缺陷導孔的位置。

於此所述之實施例的各種修改及變化將由本案的揭示而為熟習於本技藝者所知。

取決於實施例，一探測光束(及若有的話加熱光束)的相對於半導體晶圓的移動可以藉由步階動作，或光學及步階掃描(雖然較複雜，但光學掃描於兩軸也是可行)的組合加以完成。

於所組合的方法中，探測光束(及若有的話加熱光束)係掃描於第 2G 圖的長水平箭頭所示之一軸中，及藉由為第 2G 圖的短垂直箭頭所示的另一軸的步階動作。另一掃描方法為利用一可能為 100 微米長的色帶加熱束來在色帶內掃描探測光束。於此一方法中，步階動作提供在另一軸中之平移。於此實施例中，較佳地，色帶為垂直於導電線的方法(例如在第 2G 圖中，若線為由左至右延伸，則色帶

由上延伸至下)。這是因為熱流主要係沿著金屬線流動，且，此定向設立沿著線的溫度分佈。

於此所述之生產晶圓的部份導電導孔的識別係有用的，例如，當在晶圓製造時，執行此等量測值，所以，用以製造下一晶圓(例如建立上述導孔)的製程參數係依所需改變(於回授環中)，以產生在可接受限制內的電阻值的導孔。

取決於實施例，除了探測光束外，也可以使用熱像攝影機作溫度量測。同時，除了使用加熱光束外，熱也可以為電子光束或其他加熱源加以施加，以免除在部份實施例中之需要雷射。然而，電子束有著必須將加熱點的導電結構曝露的缺點，同時，一雷射光束可以用在出現有透明介電質覆蓋導電結構的情形中。

一梳形、蛇形及導孔鏈只是可以如此所述評估的例示結構。其他導電結構也可以以類似方式加以評估。例如，幾個導孔也可以連接至線片段間(而不是在第 2A-2C 圖中之連續線)。再者，線片段可以可不呈週期性地定位。同時，除了導孔連接外，此一結構也可以包含在兩共面(在單一金屬層中)線間之其他連接，而不是金屬 1 至金屬 2。於此一例子中，該方法可以用以檢測在鄰近金屬線間之短路。所有這些例子將允許使用於此所述之評估方法。不同結構的掃描將具有不同基準線。然而，在導孔連接的數量變化將使量測得之信號離開基準線一顯著量，該量係如此可述可以被檢出。

於部份實施例中，結構 210 為一測試結構，及在結構 210 中之多數導孔係被足夠分隔開，以無關於導孔特性的方法，決定線或墊特性，藉此最小化線或墊中之量測值變化的影響。於另一實施例中，除了結構 210 外，沒有導孔的其他線結構係包含在生產晶圓中，及線(或墊)特性的量測值係在其他結構中完成，及偏移開線特性的校正也對導孔量測加以完成，以降低或消除在評估導孔時，線或墊特性變化的影響。

例如，一略寬的線具有一較大導熱率，因此，較低的溫度。於前述例子中，導孔量測值係基於線寬量測值加以正規化，藉此確保線寬變化在評估導孔鏈的幾個實施例中被列入考量。此線寬量測值，例如可以在用以形成放置金屬線的凹槽的凹槽蝕刻後加以取得。另外，更細節的量測值也可以決定凹槽的側壁，角藉以正確地決定其剖面。

於此等結構中，線內連線導孔係相對於導孔被作成具有大剖面，使得導孔的熱阻抗相較於線的熱阻抗係較大，以降低線剖面變化對導孔特性的影響。

於此所述幾實施例相較於某些先前技藝改良了生產量。明確地說，某些先前技藝量測值需要測試大量導孔以決定故障部份。這需要大面積的晶圓被指定為測試結構。因此，在生產晶圓上並不可能進行導孔測試，因為指定用於測試結構的面積並不能作生產(即積體電路晶粒)。

相反地，幾個實施例以使得導孔品質藉由量測少量導孔加以決定，這隨後完成在生產晶圓上使用測試結構。明

確地說，在部份實施例中，一測試結構 210 被建立在劃線內(在生產晶圓上的兩鄰近晶粒間的區域)。因此，此等實施例提供已知統計程序控制(SPC)方法的基礎，以在正常生產中控制導孔品質。

同時，雖然在部份實施例中，在一區域中之量測係與鄰近區域中之多數量測的平均加以比較，於另一實施例中，量測值係與一預定值比較。預定值係藉由將此等量測值共相關至已知導孔電阻加以選擇-藉此以導孔電阻為單位，例如歐姆校正量測值-並應用量測值以量測導孔電阻本身，而不必將之與一值比較。

再者，雖然已經討論到正方形導電島及圓形導電島，但此等島也可以具有其他形狀，如三角形。

同時，幾項實施例涉及以小於光束尺寸的週期掃描一密導孔鏈，或者，掃描例如導孔連接梳形或蛇形的平面導孔連接特性，使得基準線雜訊很小。再者，在部份實施例中，被掃描的結構為在墊(在下層中)導孔梳，因為至墊的連接具有含孔隙的加強或然率並作為孔隙問題的一靈敏指示器所以其係有利的，該問題可能在導孔連接至線(下層中)時並不會出現。因此，因為此等結構得到一均勻(平坦或微小波動)基準信號(在沒有缺陷時)，所以提供較先前技藝為高的產量。

各種於此所述之實施例及例子的修改變化仍在隨附之申請專利範圍的包圍下。

【圖式簡單說明】

第 1A 圖為先前技術導孔鏈的剖面圖。

第 1B 圖為先前技藝圖表，顯示導孔的電阻分佈。

第 2A 圖顯示一多層內連線結構的三維視圖，其係為依據本發明一實施例的兩重合雷射束所評估；

第 2B 圖為具有重合雷射束的呈梳形形式之第 2A 圖結構的平面圖。

第 2C 及 2D 圖為具有重合雷射束的第 2A 圖之結構的剖面圖。

第 2E 圖為量測信號的剖面圖，並重疊有量測信號圖，缺陷導孔 16J 的位置及在量測值增加的對應位置(每一量測值被顯示為 "X") 依據第 2A-2D 圖所示之實施例。

第 2F 圖為參考第 2A-2E 圖所述之量測值的三維圖成為導孔直徑的函數，對於形成一波動基準線或定基準線的良好導孔(也稱為 "無孔隙" 導孔)及對於形成峰值的部份導電導孔(也稱為 "有孔隙" 導孔)。注意在第 2F 圖中，Y 軸顯示以 μV 表示之定鎖放大器(或 AC)信號的電壓為以伏表示的直流信號所除(後者表示結構的反射率)的比例。

第 2G 圖顯示以第 2A-2D 圖所示之方式評估的導電線陣列的平面圖。

第 2H 圖顯示由第 2F 圖所示之區域掃描所得之二維輪廓圖。

第 2I 圖為無孔隙導孔及有孔隙間之量測值差為導孔直徑的函數的示意圖。

第 2J 圖為一測試結構的立體圖，其中導電結構為上導電層中形成有導電材料島及下導電層形成有導電材料片，兩層係為導孔所互連。

第 2K、2L、及 2M 圖為第 2J 圖結構的平面及兩剖面圖。

第 2N 圖為類似於第 2J 圖之結構的平面圖，其中在上導電層中形成導電材料島但在下導電層中形成導電材料線，兩層係以導孔加以互連。

第 2O 圖為類似於第 2A 圖之結構的平面圖，其中上導電層中之導電材料作成為蛇形的圖案。

第 2P 圖為第 2K 圖所示之測試結構的平面圖，但在上層之每一島與下層藉由少數導孔(例如四導孔)而不是第 2K 圖所示之一導孔一島的方式加以互連。

第 3A 圖例示依據第 2A-2D 圖所示之實施例所執行之動作的流程圖。

第 3B 圖為第 3A 圖之方法所完成之量測值的統計圖表，以顯示在量測值中之統計顯著偏差，以表示一缺陷導孔。

第 4A 圖為用於一特定實施法之第 2A-2D 圖之方法的設備的方塊圖。

第 4B 圖為使用第 3A 圖所示之方法的一特定實施法的設備的方塊圖。

第 4C 圖為在第 4B 圖之實施例系統所執行之動作的流程圖。

【元件代表符號簡單說明】

- | | | | |
|---------|--------|---------|--------|
| 100 | 導孔鏈 | 106 | 點 |
| 110 | 基材 | 111 | 介電層 |
| 112 | 介電層 | 113 | 層 |
| 114 | 層 | 131a-f | 線片段 |
| 132a-n | 線片段 | 133a-i | 導孔 |
| 140a, b | 探針 | 210 | 結構 |
| 211A-N | 導電線 | 213A-N | 導孔 |
| 214A-N | 導孔 | 215A-N | 導孔 |
| 216A-N | 導孔 | 217 | 晶圓 |
| 218 | 導電線 | 220 | 探測光束 |
| 220A-N | 軌跡 | 221A-N | 導電線 |
| 222A-N | 軌跡 | 261 | 基準線 |
| 262 | 峰值 | 263-266 | 區域 |
| 280 | 片 | 294A, I | 導電島 |
| 295A, I | 導電島 | 298A-K | 導電島 |
| 400 | 處理單元 | 407 | 晶圓 |
| 415 | 匯流排 | 420 | 圖案化設備 |
| 421 | 蝕刻設備 | 422 | 線性定位設備 |
| 423 | 金屬沉積設備 | 424 | 研磨設備 |
| 425 | 量測設備 | 426 | 電腦 |
| 430 | 量測設備 | 431 | 雷射 |
| 433 | 加熱光束 | 435 | 雷射 |

436 晶圓
439 探測光束
441 組合光束
443 雷射光束
445 物鏡
448 攝影機
450 檢測器
453 光學件
455 定鎖放大器

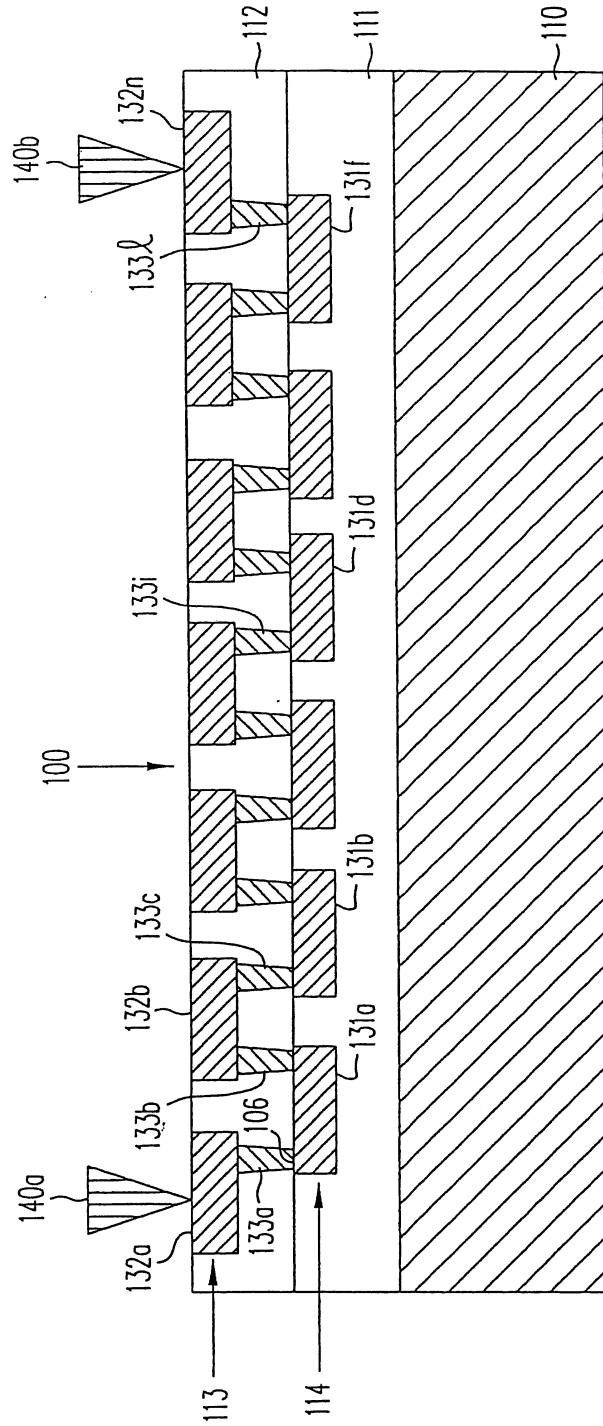
437 光學件
440 分色鏡
442 光束分離器
444 光束分離器
447 透鏡
449 濾光器
451 雷射驅動器
454 跨阻抗放大器
456 晶圓

伍、中文發明摘要：

在包含一或多數導孔的導電結構上施加熱，並量測在熱施加點或接近熱施加點之溫度。所量測得之溫度表示導電結構中接近熱施加點之各種特性(例如導孔及/或溝渠)的整體性或缺陷。明確地說，一較高溫度量測(相較於參考結構中之量測值)表示由熱施加點處開始的熱傳遞下降，因此，表示有一缺陷。該參考結構可為同一晶粒中之導電結構(例如，提供一基準線)或在同一晶圓上但在該晶粒外(例如，在測試結構中)，或在晶圓外(例如，參考晶圓中)，視實施例而定。

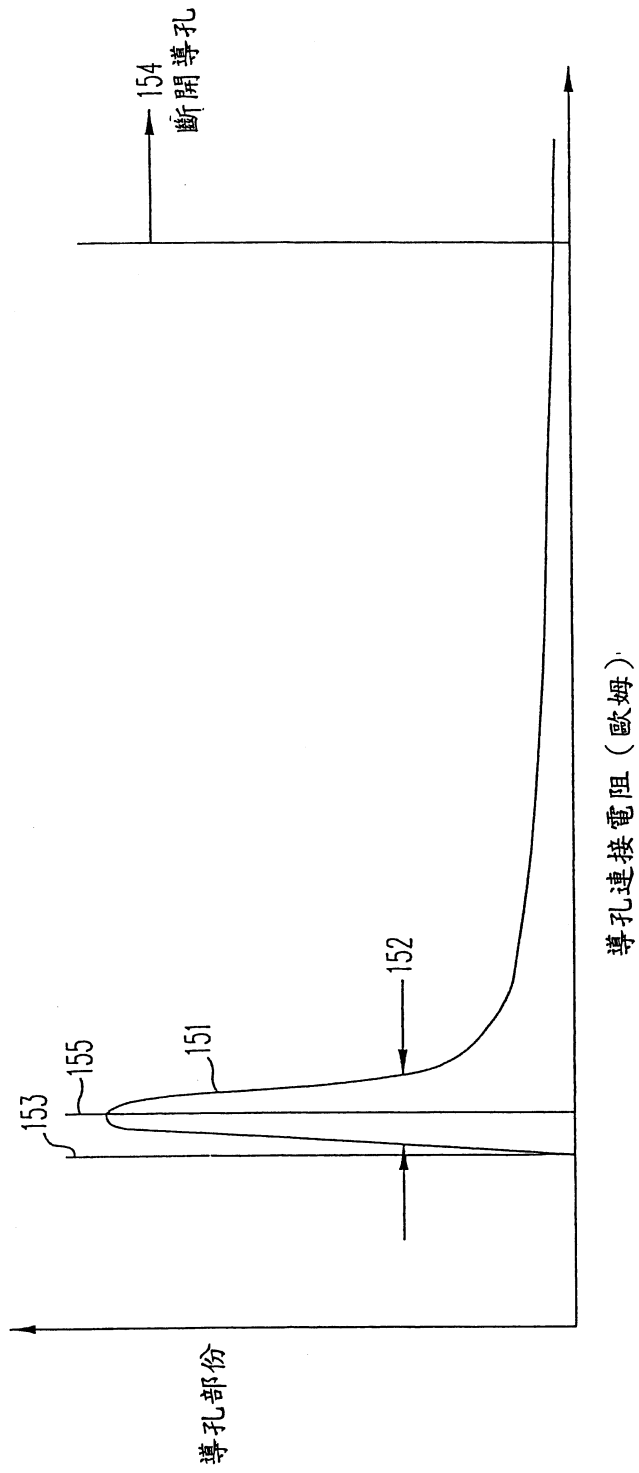
陸、英文發明摘要：

Heat is applied to a conductive structure that includes one or more vias, and the temperature at or near the point of heat application is measured. The measured temperature indicates the integrity or the defectiveness of various features (e.g. vias and/or traces) in the conductive structure, near the point of heat application. Specifically, a higher temperature measurement (as compared to a measurement in a reference structure) indicates a reduced heat transfer from the point of heat application, and therefore indicates a defect. The reference structure can be in the same die as the conductive structure (e.g. to provide a baseline) or outside the die but in the same wafer (e.g. in a reference wafer), depending on the embodiment.

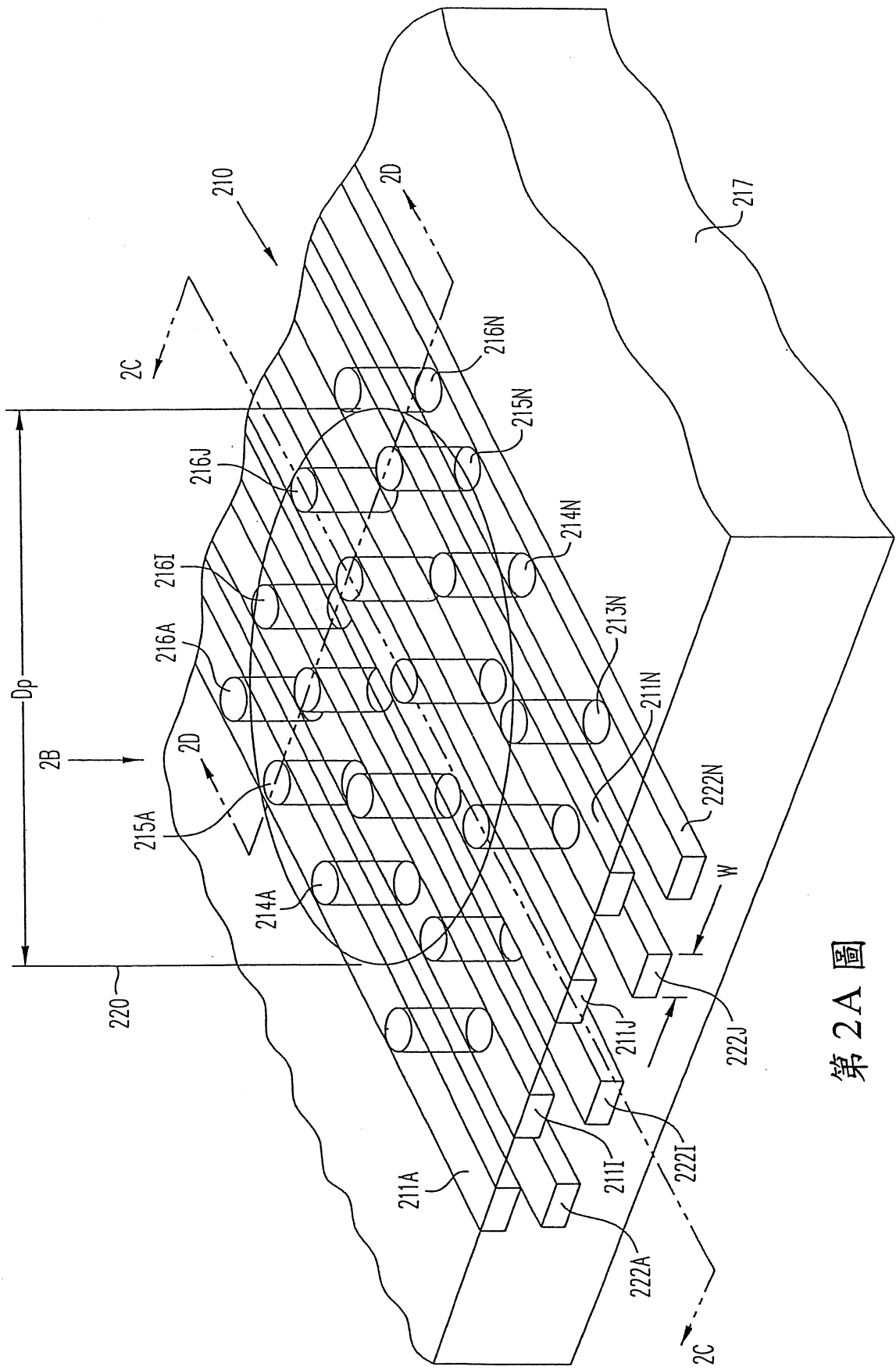


第 1A 圖





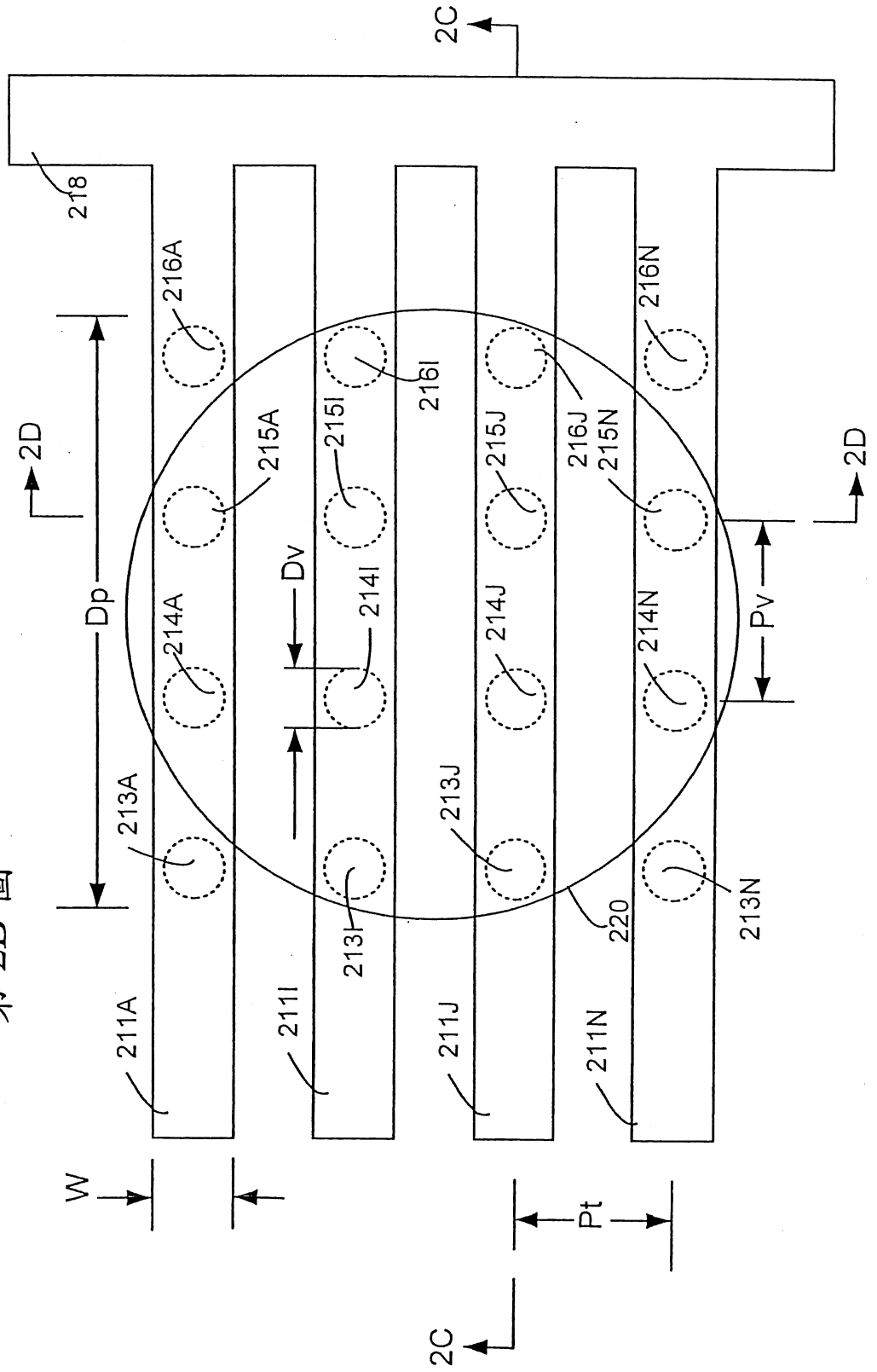
第 1B 圖

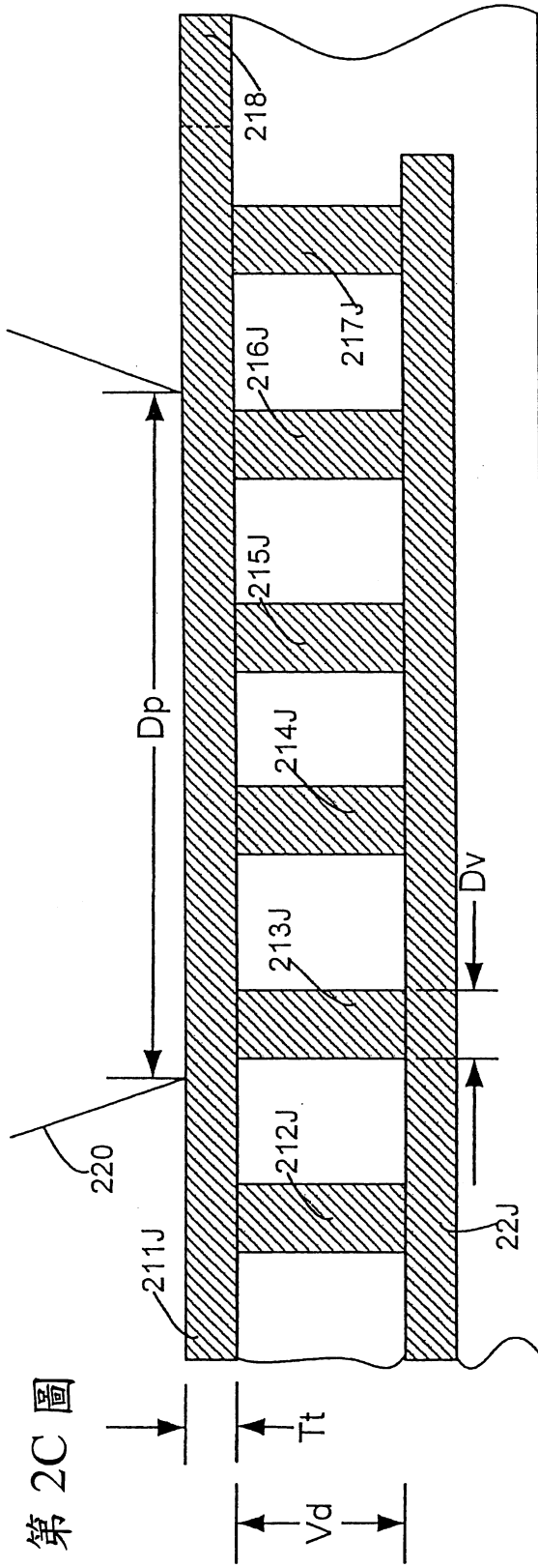


第 2A 圖

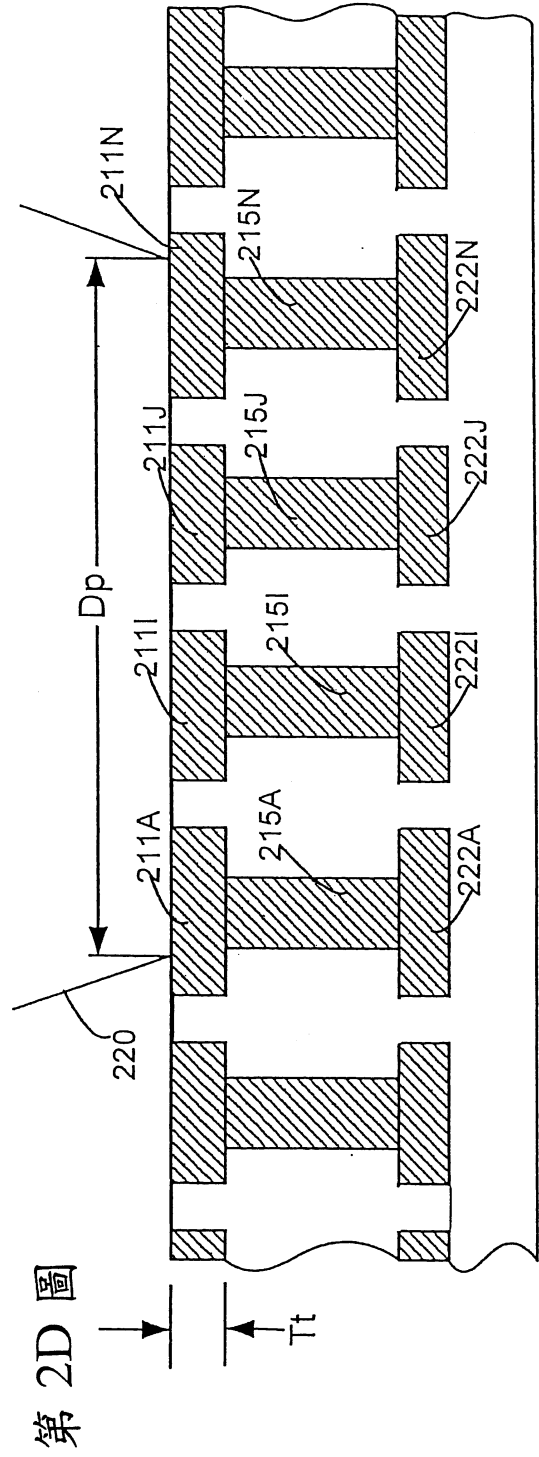


第 2B 圖

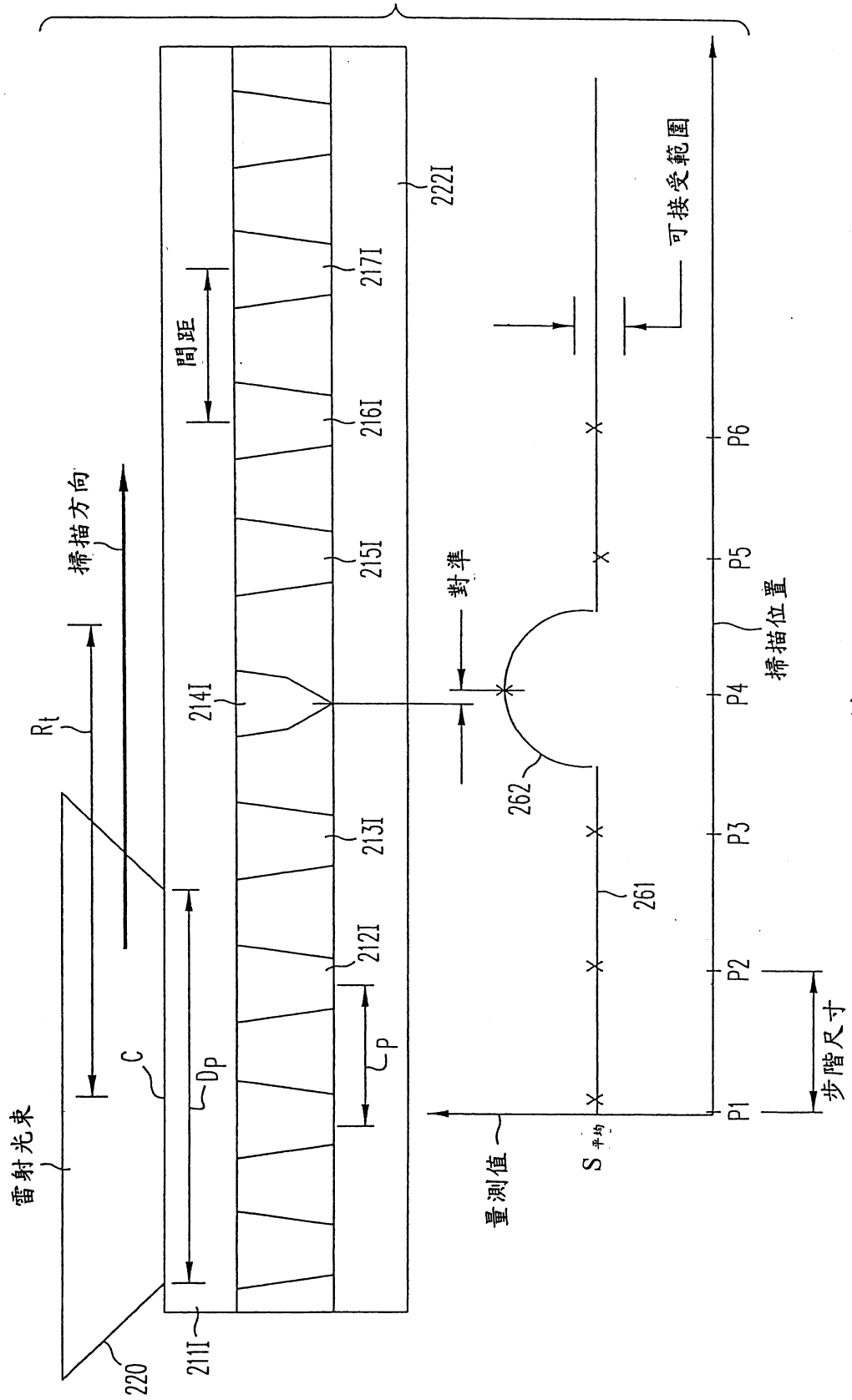




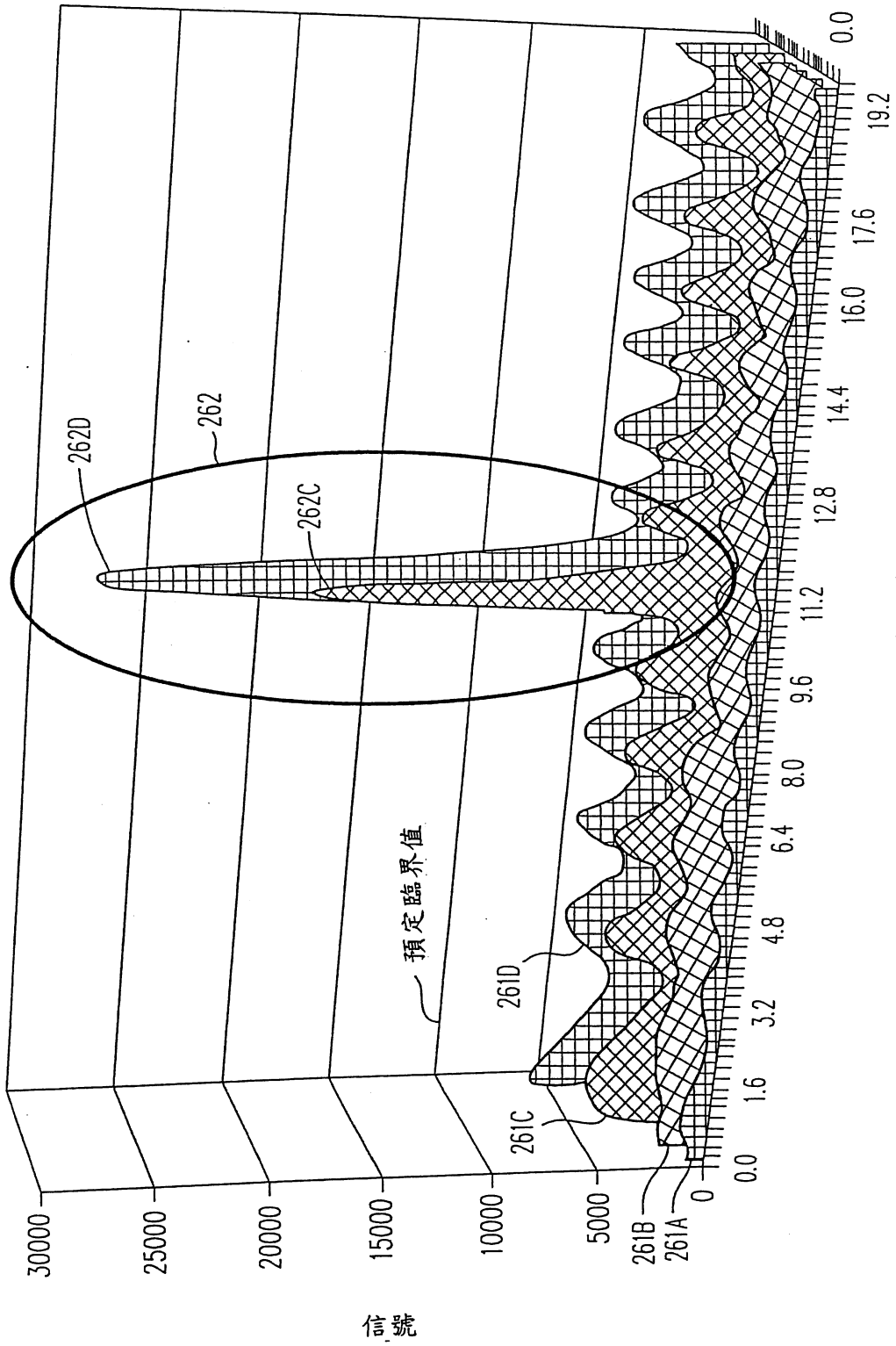
第 2C 圖



第 2D 圖

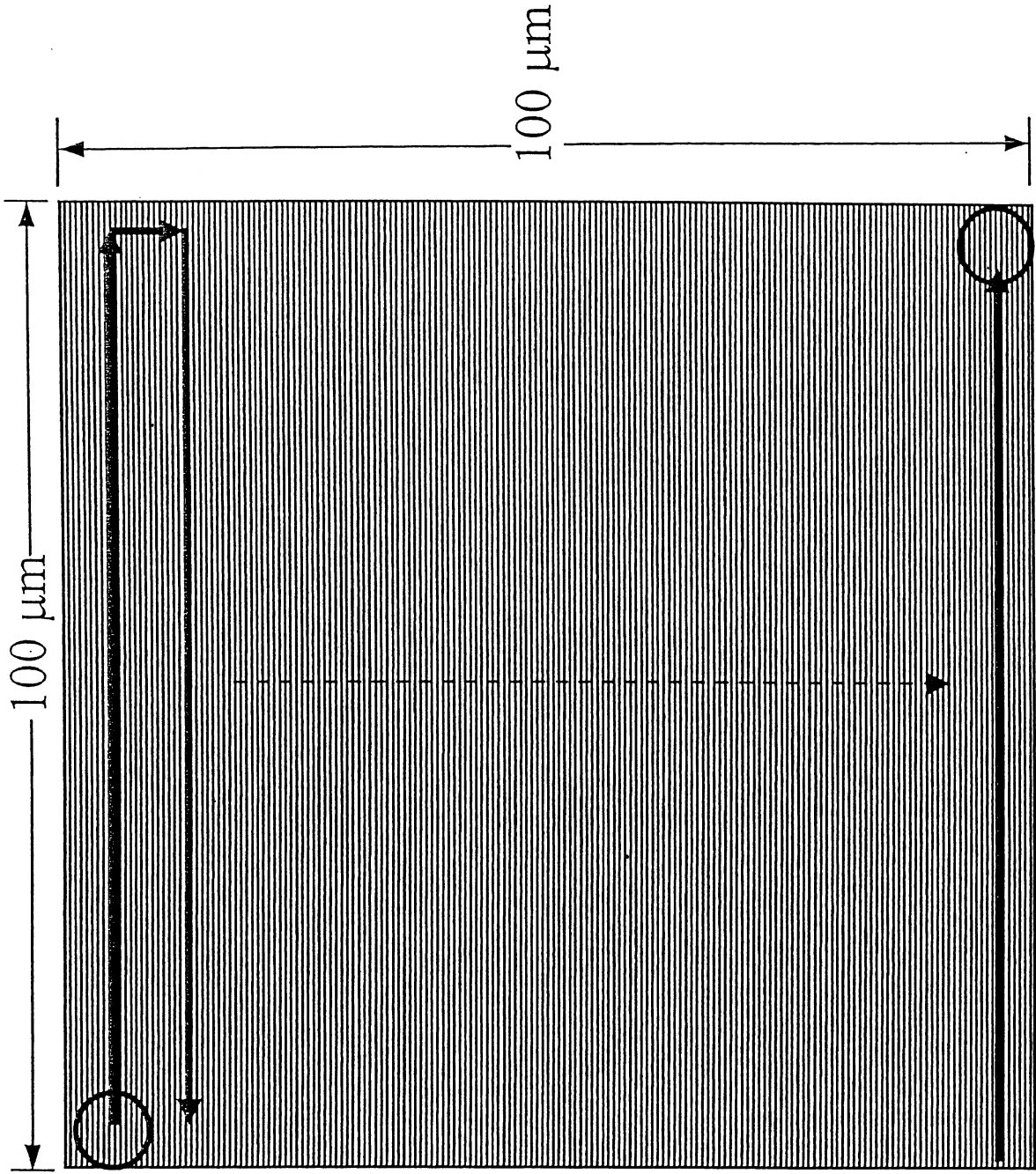


第 2E 圖

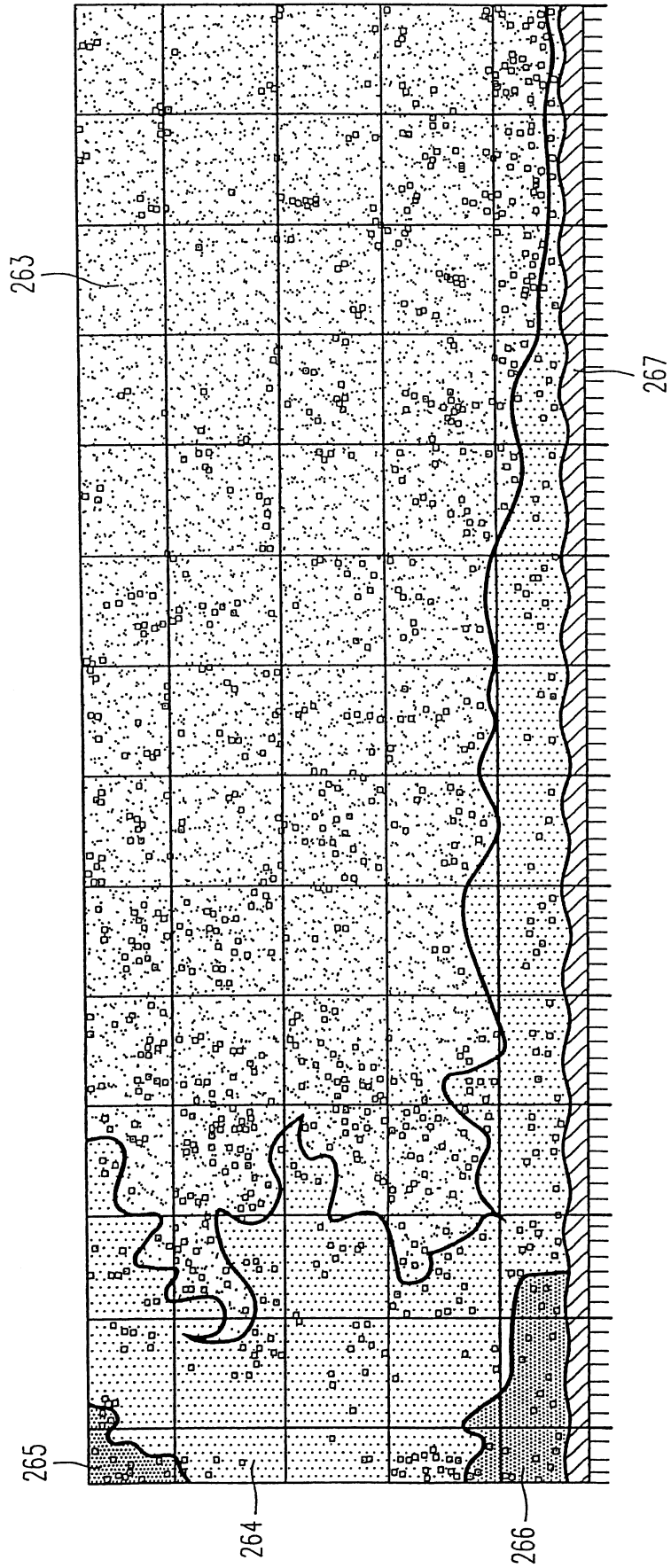


位置(微米)

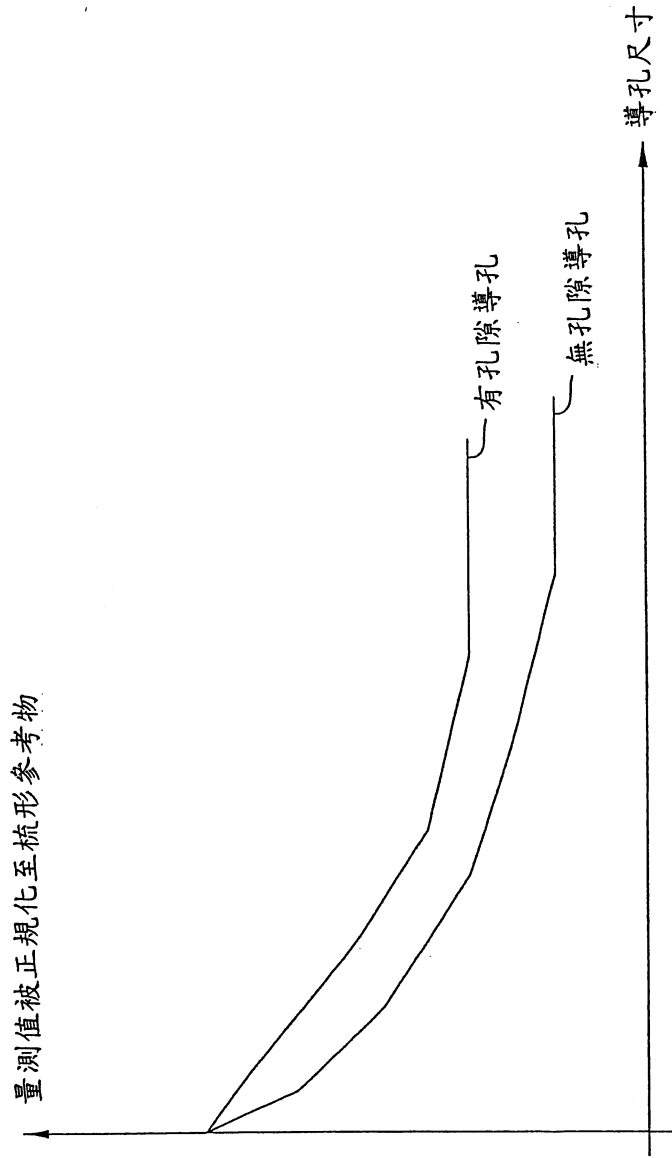
第 2F 圖



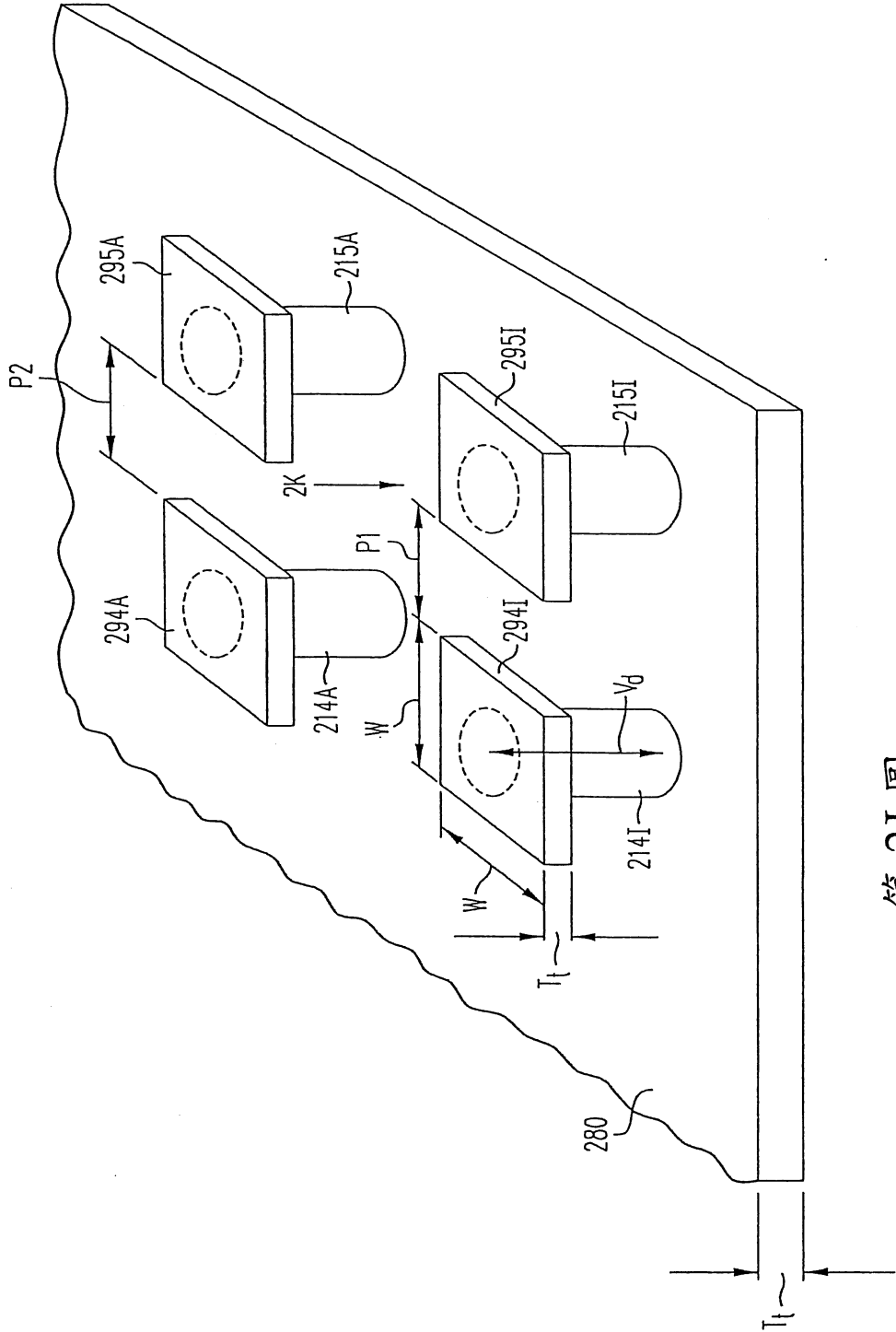
第 2G 圖



第 2H 圖

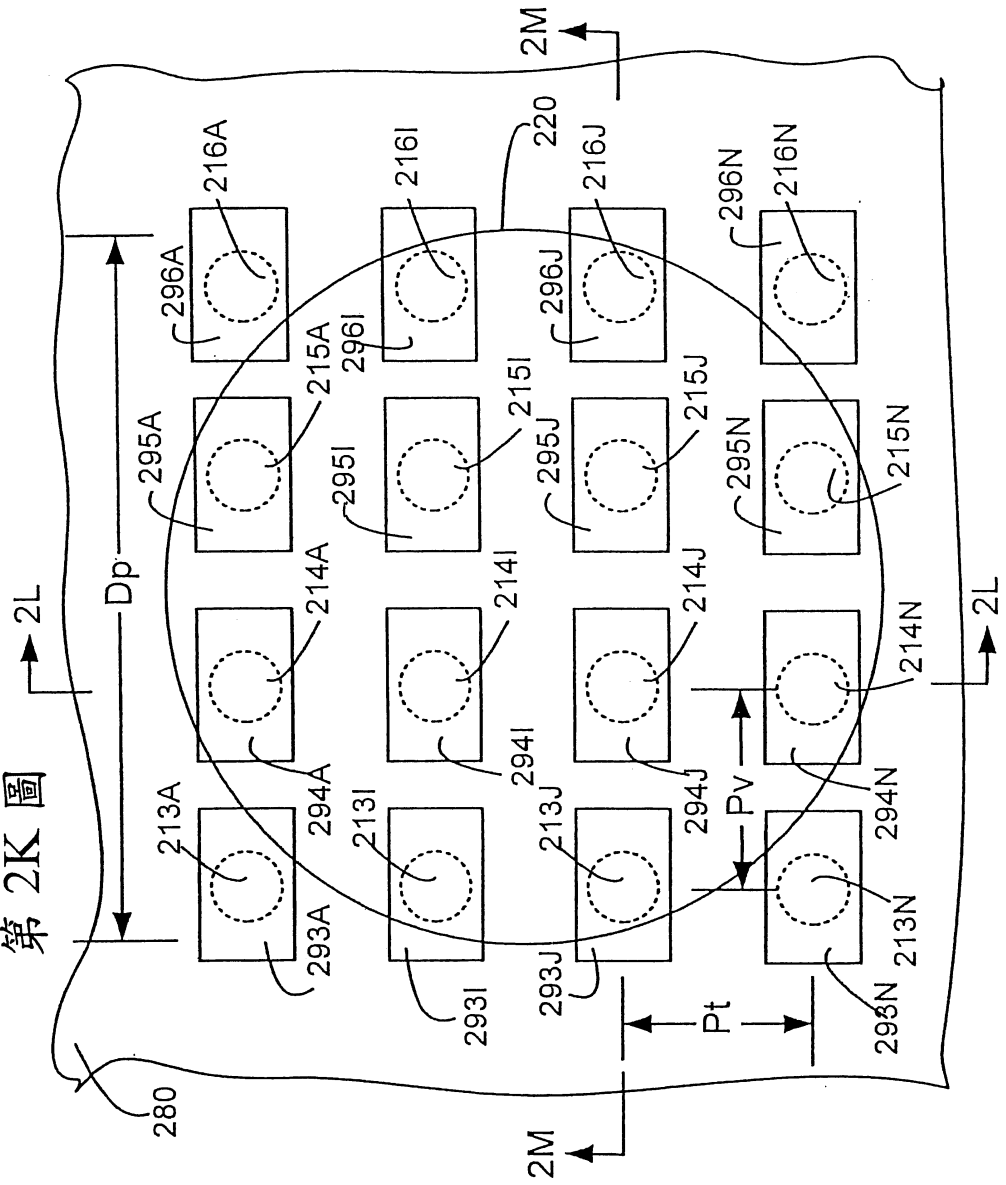


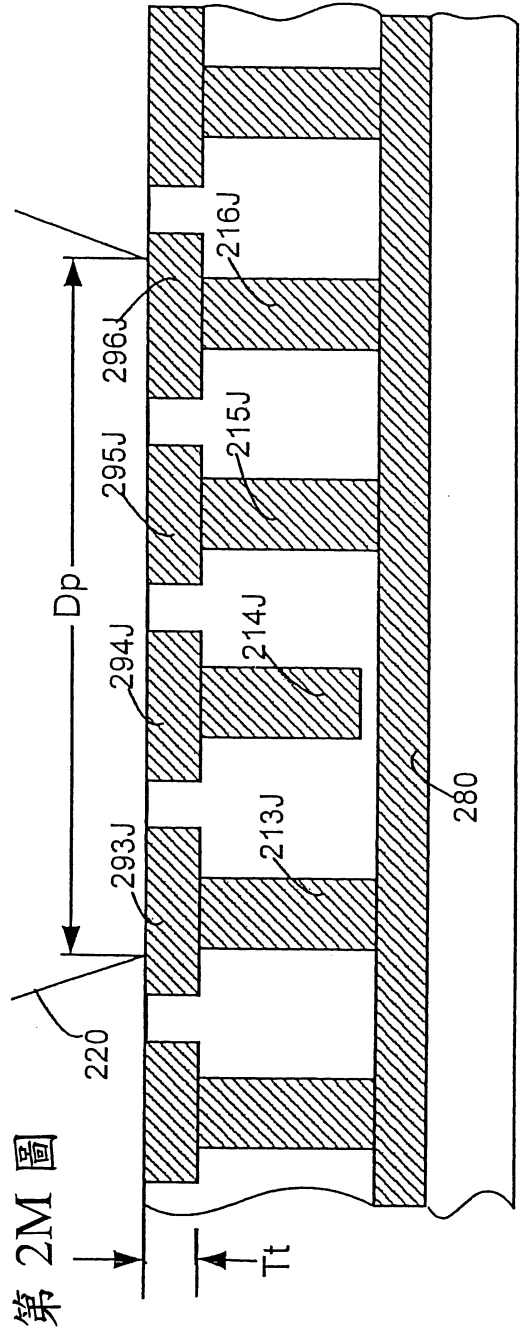
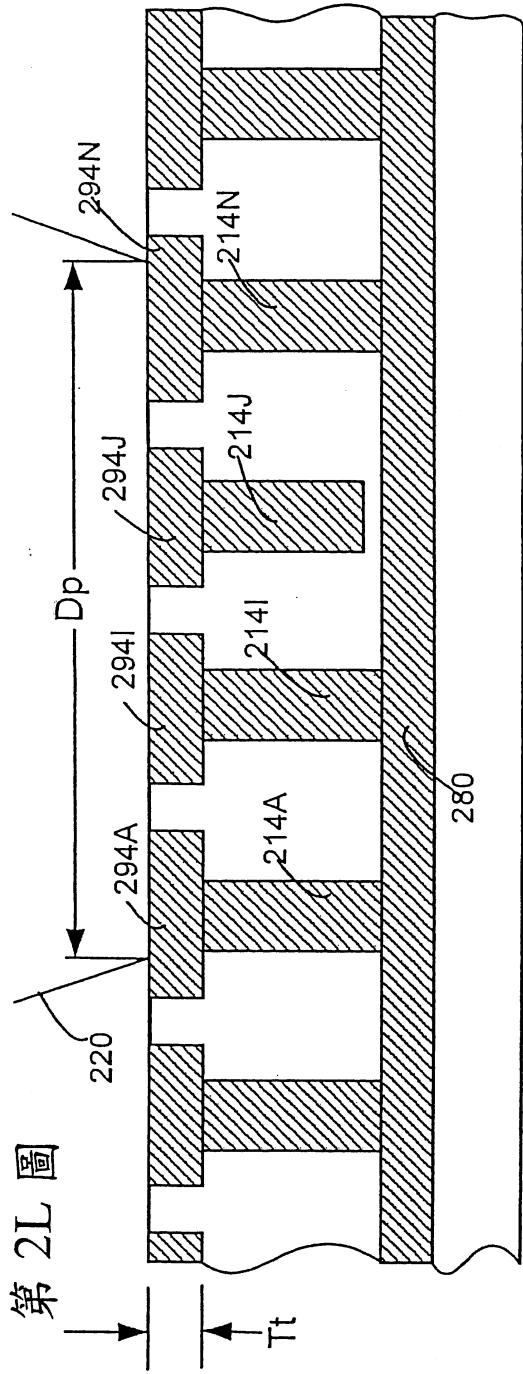
第 21 圖



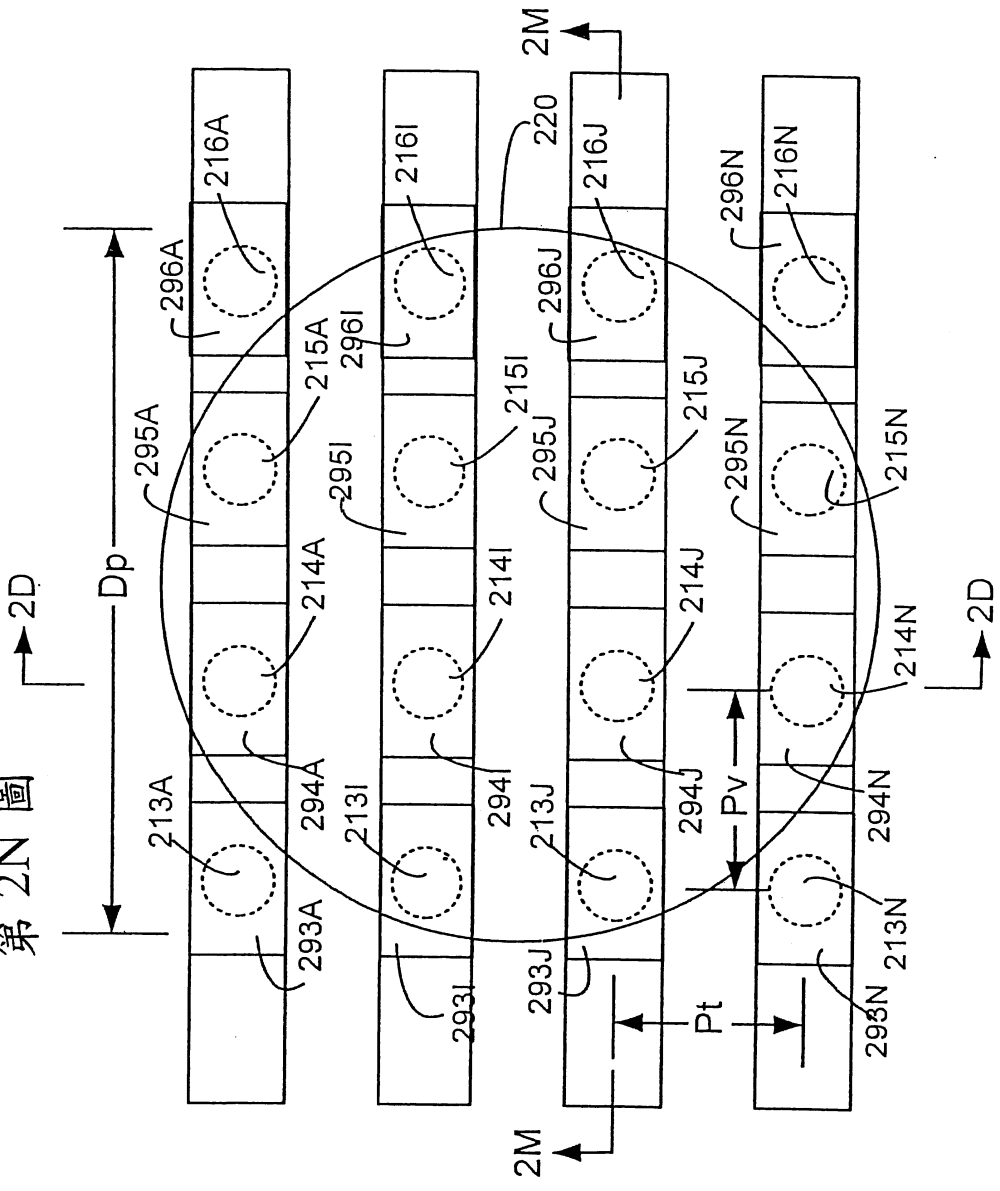
第 2J 圖

第 2K 圖

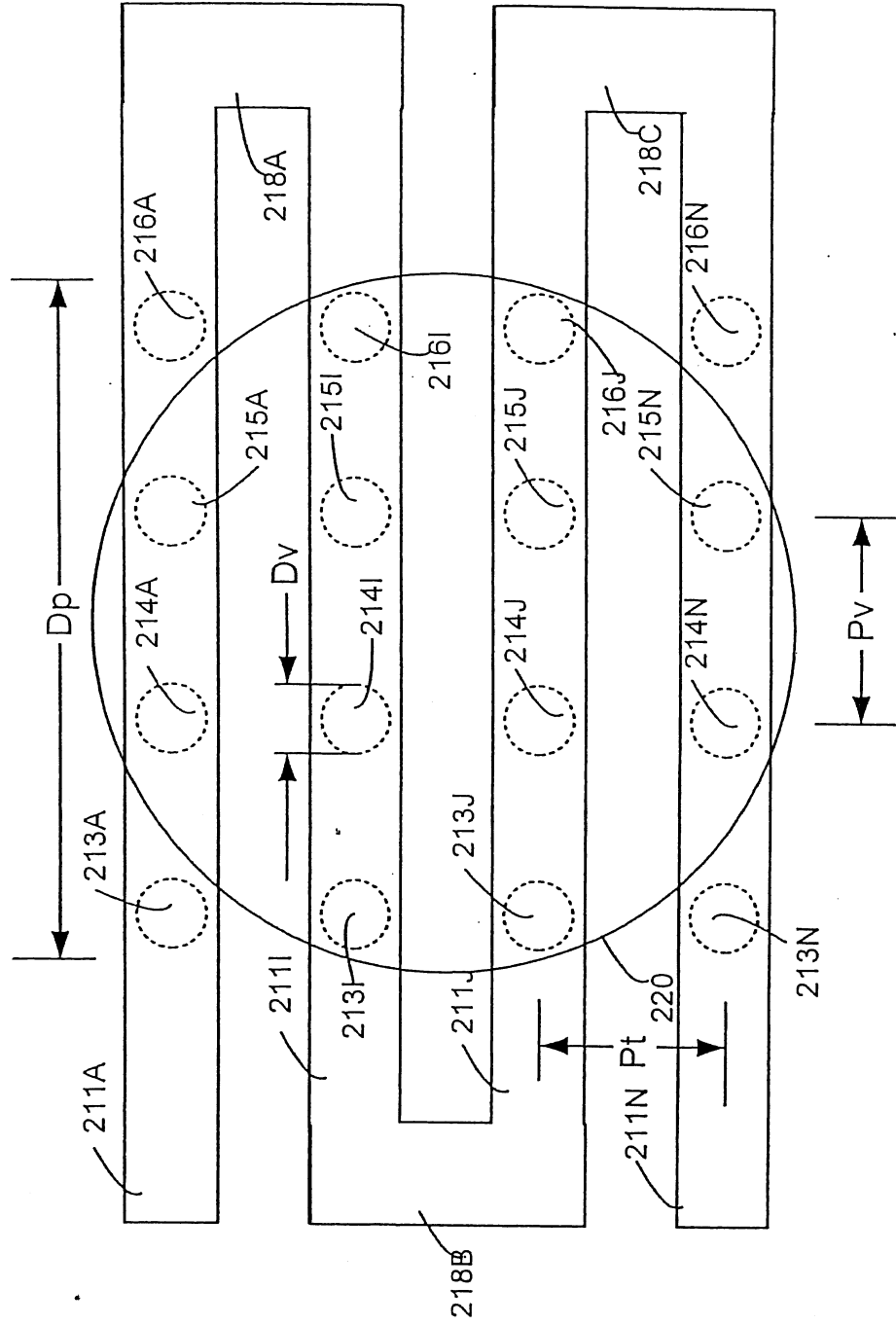




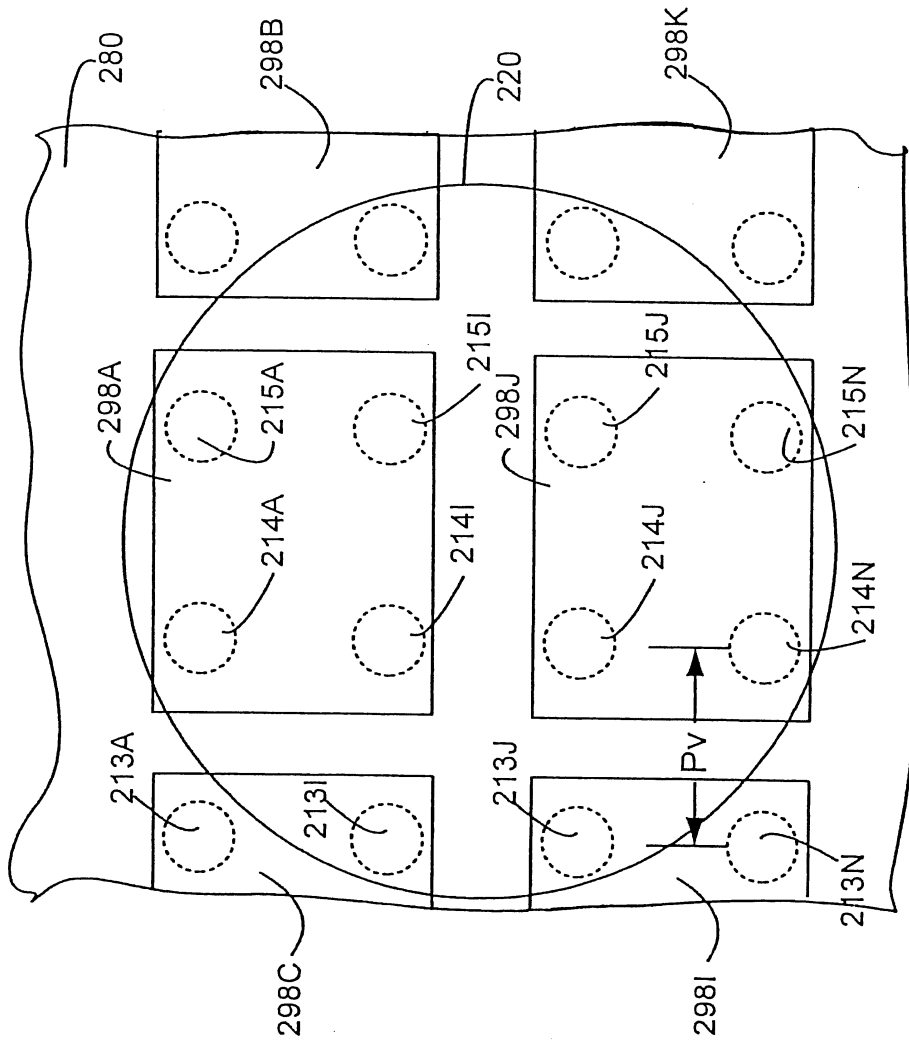
第 2N 圖

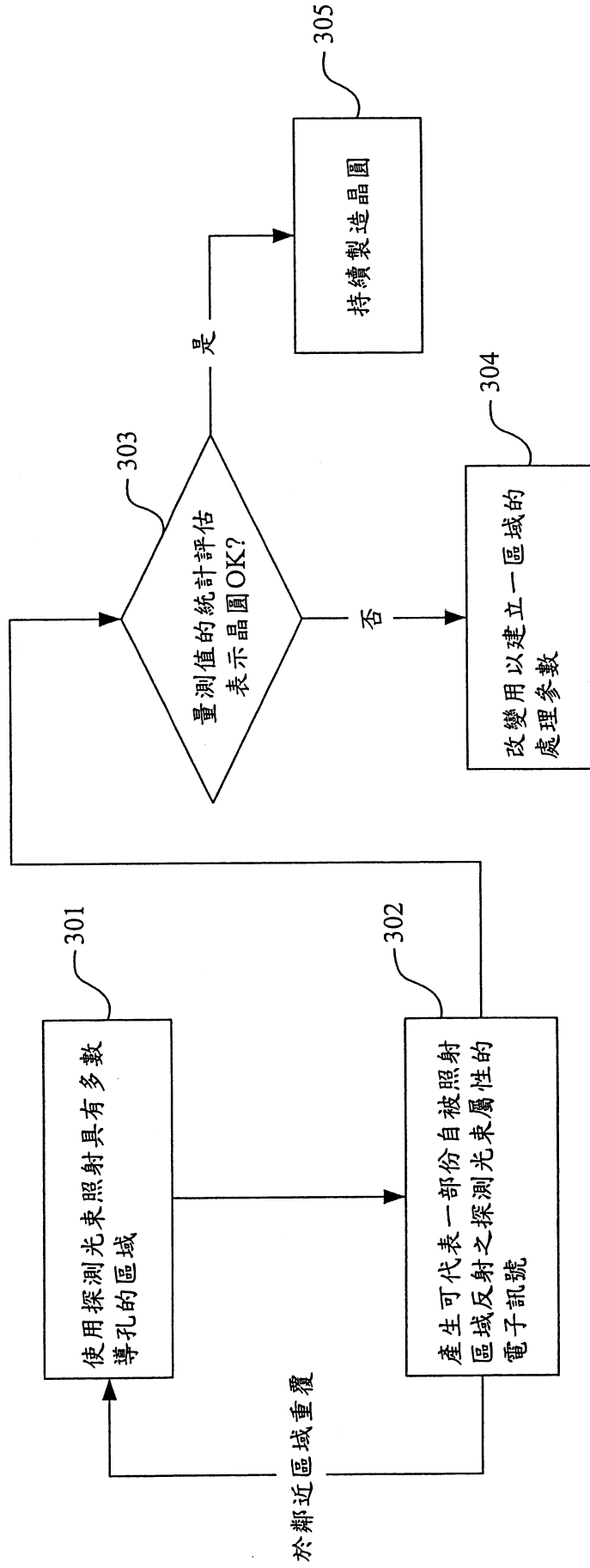


第 20 圖

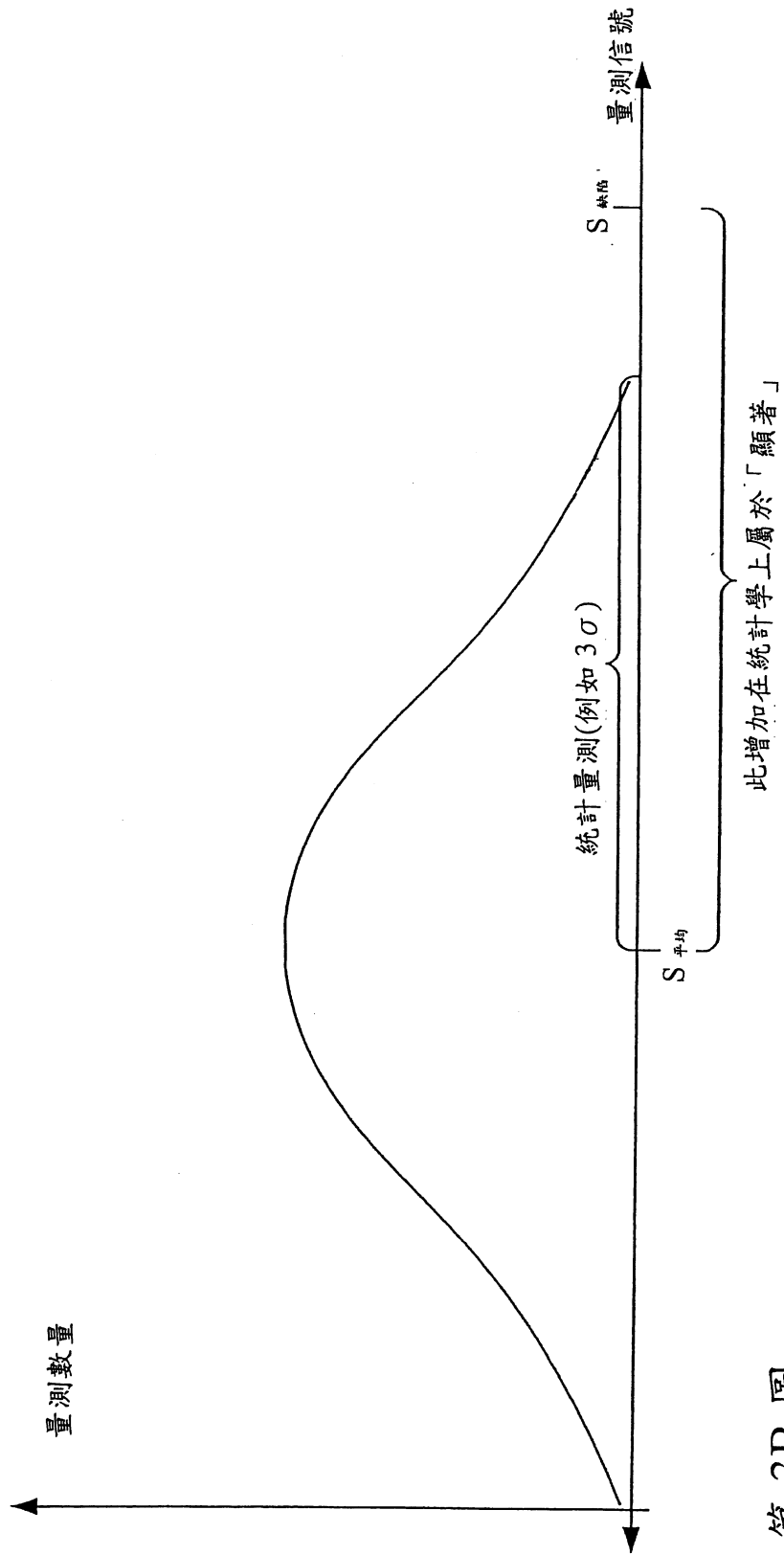


第 2P 圖

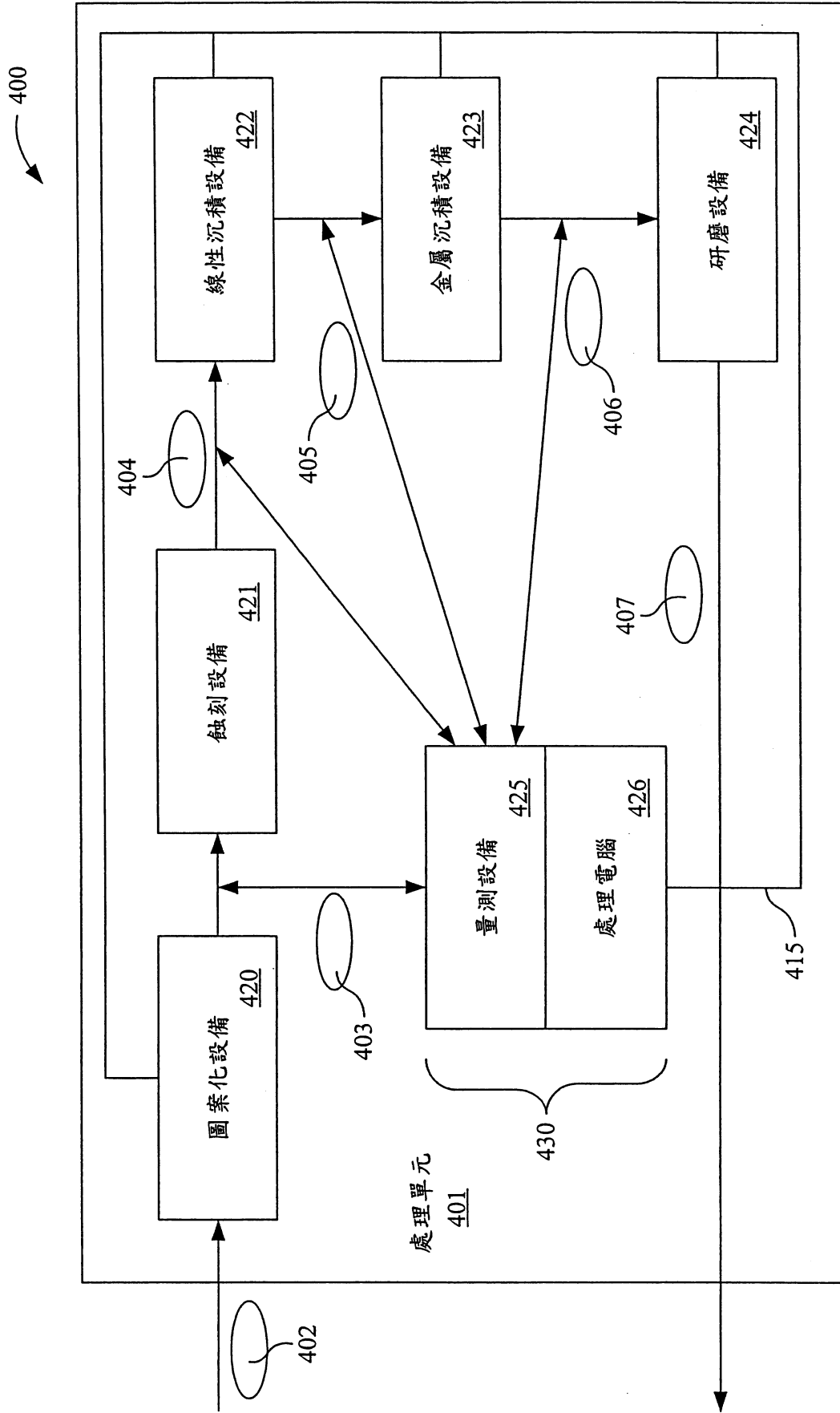




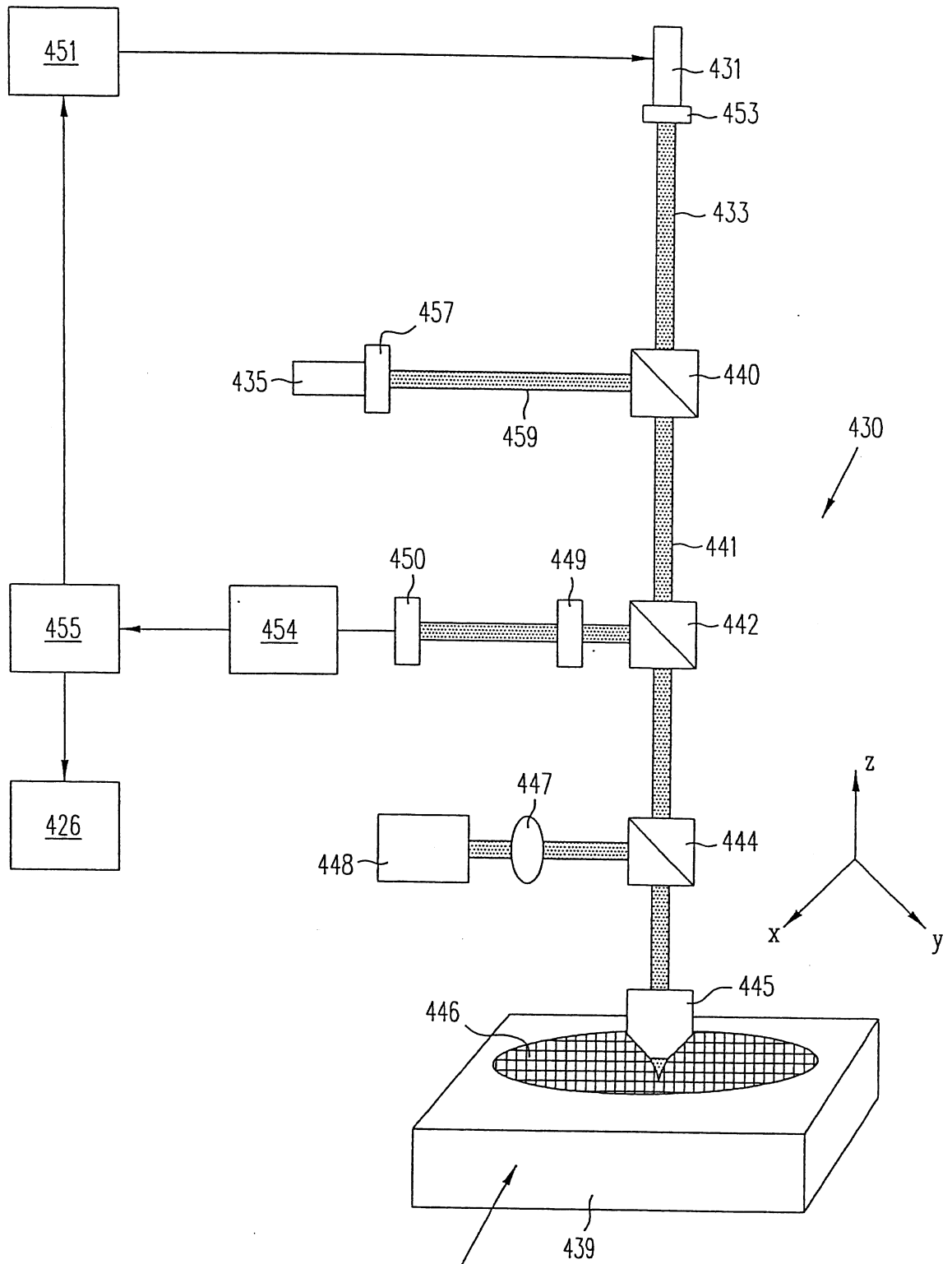
第 3A 圖



第 3B 圖

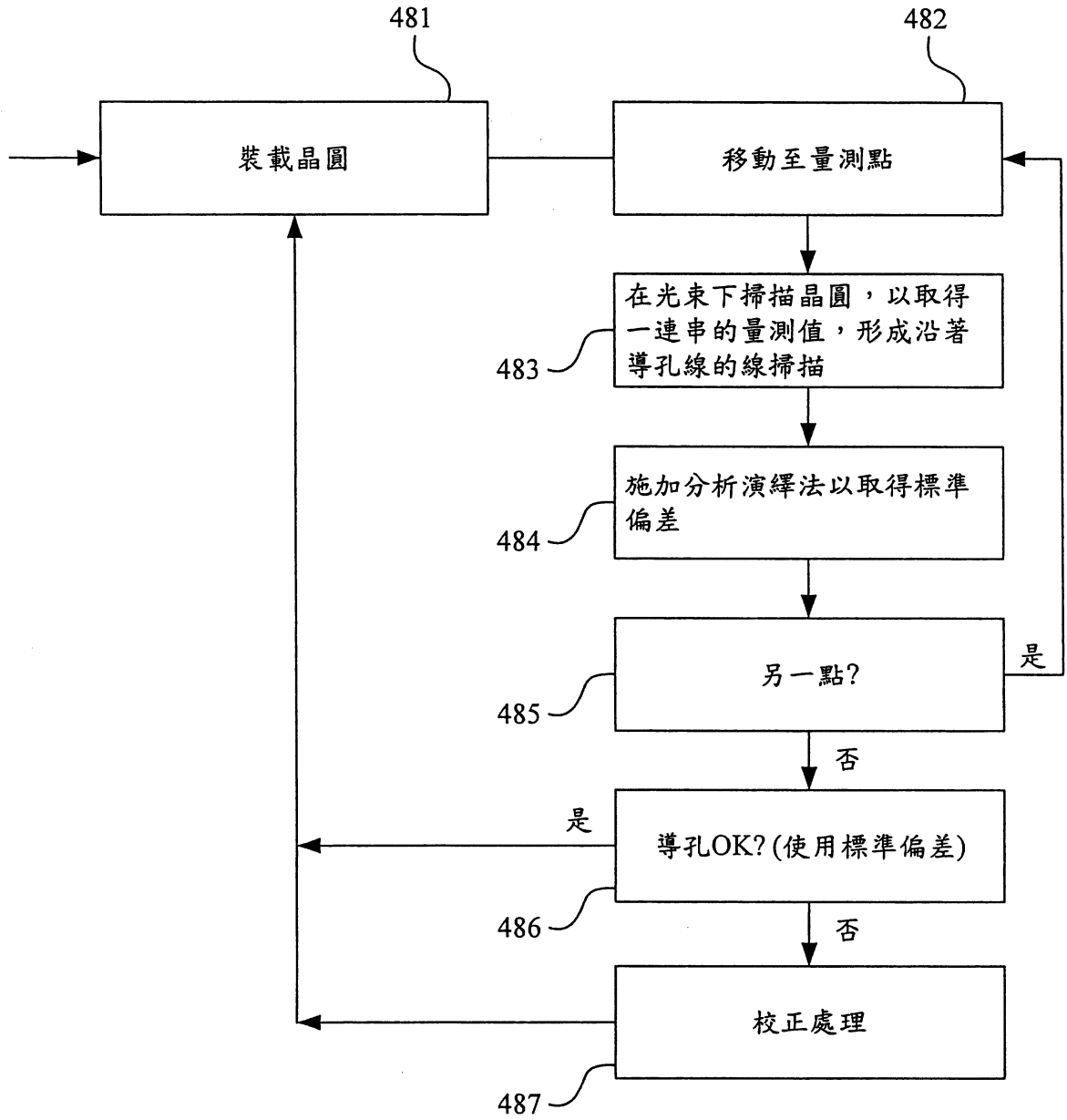


第 4A 圖



第 4B 圖

掃描



第 4C 圖

柒、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第 2F 圖。

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

95-8-29

第 94109420 號專利案 95 年 8 月修正

I279563

發明專利說明書

公告本

(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：94109420

※ 申請日期：94 年 3 月 25 日

※ IPC 分類：G01R 31/26

一、發明名稱：(中文/英文)

連線中介層洞缺陷之高效能測量方法、設備以及測試結構

HIGH THROUGHPUT MEASURING METHOD, APPARATUS AND TEST STRUCTURE OF VIA DEFECTS INTERCONNECTS

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商·應用材料股份有限公司

APPLIED MATERIALS, INC.

代表人：(中文/英文)

瓊西 J. 史維尼

Joseph J. Sweeney

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國加州聖大克勞拉市波爾斯大道 3050 號

3050 Bowers Avenue, Santa Clara, CA 95054, U.S.A.

國籍：(中文/英文)

美國/USA

三、發明人：(共 3 人)

姓名：(中文/英文)

1. 李吉平/LI, JIPING

2. 波頓彼得 G/BORDEN, PETER G.

3. 吉尼歐艾德嘉 B/GENIO, EDGAR B.

拾、申請專利範圍：

1. 一種辨認形成在半導體晶圓導電結構中之缺陷位置的方法，其至少包含步驟：

施加一強度隨著時間而變化的熱至該導電結構；

量測來自該導電結構之一區域的電磁輻射，其係為所施加熱之強度變化的函數，該單一量測的區域係足夠大以涵蓋多數導孔；

比較該單一量測值與施加熱的同時在其他區域執行量測所取得之多數量測值；及

提供一可代表該區域一可能缺陷的指示，以回應該比較結果。

2. 如申請專利範圍第1項所述之方法，更包含：

接收有導電結構形成於其中的晶圓，該晶圓包含第一導電層，其係被圖案化成為至少一島，該島係連接至至少一導孔。

3. 如申請專利範圍第2項所述之方法，其中：

該導電結構更包含一第二導電層，其係未被圖案化並形成一導電材料片材(a sheet of conductive material)；及

每一導孔係位在該第一導電層及該第二導體層之間。

4. 如申請專利範圍第2項所述之方法，其中：

該導電結構更包含一第二導電層，其係被作出圖案，以形成一導電材料線(a line of conductive material)；及每一導孔係位在該第一導電層與該第二導電層之間。

5.如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該導電結構包含一導孔鏈(a vial chain)。

6.如申請專利範圍第5項所述之方法，其中：

每一導孔最多係連接至該第一導電層中一軌跡及該第二導電層中之另一軌跡；

該等多數導孔係以固定空間間隔沿著一方向排列；及該區域的尺寸係比該多數導孔中兩導孔間之間距大數倍。

7.如申請專利範圍第1項所述之方法，更包含：

接收具有該導電結構形成於其中之該晶圓，該晶圓包含一第一導電層，其係被圖案化成為一選自一蛇形及一梳形之形狀；及

其中該等導孔係位在第一導電層與第二導電層之間，該等導孔中大多數的導孔可在該第一導電層及該第二導電層間形成電氣連接。

8.如申請專利範圍第7項所述之方法，其中：

該第二導電層也被圖案化成為一選自一蛇形及一梳形之形狀。

9.如申請專利範圍第 7 項所述之方法，其中：

該第二導電層未被作出圖案並形成導電材料之一連續片材(a continuous sheet of conductive material)。

10.如申請專利範圍第 1 項所述之方法，進一步包含以下步驟：

計算該多數量測值的標準偏差並以該標準偏差計算出一基準線。

11.如申請專利範圍第 10 項所述之方法，其中：

該基準線係為該等多數量測值的平均值。

12.如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中：

該等多數量測值係至少沿著位在該導電結構中，依序一個接著一個排列的多數導孔所定義的一方向加以執行。

13.如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中：

在該量測期間，量測一雷射光束的反射；

該雷射光束係照射在該導電結構的該區域上。

14.如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中：

一 第一光束係在該量測期間入射在該導電結構之一第一軌跡上；及

一 第二光束係在該量測期間與該第一光束重合，該第二光束之波長大於該導電結構中兩導孔間之一間距。

15.如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中：

該量測係在移動一機台的同時加以執行，該機台承載有含該導電結構的半導體晶圓；及

連續執行該量測，藉以取得一類比信號。

16.如申請專利範圍第 10 項所述之方法，其中：

該基準線綿延起伏(undulates)於整個連續不斷的區域中；及

該基準線任一區域相對於前一區域的變化係比被辨識出具有缺陷之該區域中的對應變化小數倍。

17.如申請專利範圍第 1 項所述之方法，更包含：

以一強度隨著時間變化的電磁輻射照射該區域，使得在該區域中之每一導孔在任一時間瞬間中，其溫度直接正比於該強度。

18.一種用以辨認一導電結構中之缺陷的設備，該設備

至少包含：

加熱構件，用以施加熱至該導電結構的一區域，該區域的直徑係大於該導電結構中兩導孔間之間距；

一感應器，用以量測一信號，該信號代表被所施加熱的貫穿通過之該導電結構的一部份的溫度；及

決定構件，其係以包含該量測溫度在內的多數量測值，來決定該導電結構中是否有缺陷。

19.如申請專利範圍第 18 項所述之設備，其中上述用以施加熱的加熱構件包含一雷射，其波長大於該間距。

20.如申請專利範圍第 18 項所述之設備，其中上述用以施加熱的加熱構件包含一電子束源。

21.如申請專利範圍第 18 項所述之設備，其中上述用以量測的感應器包含一熱像攝影機。

22.如申請專利範圍第 18 項所述之設備，更包含一具有預定波長的雷射，其中該用以量測的感應器包含：

一光電二極體，其對該預定波長的電磁輻射靈敏，當來自雷射的電磁輻射入射在該導電結構時，該光電二極體係位在該電磁輻射反射的路徑上。

23.如申請專利範圍第 18 項所述之設備，其中上述決定構件包含一個人電腦。

24.一種用以辨認一導電結構中之缺陷的測試結構，至少包含：

多數導孔，被形成穿過一基材；及

多數導電島，形成在該基材上，每一導電島係只位在該等多數導孔的一導孔上。

25.如申請專利範圍第 24 項所述之結構，其中至少大多數的島係電氣連接至一對應大多數的導孔。

26.如申請專利範圍第 24 項所述之結構，更包含：

多數導電線，每一導電線位在該多數導孔的數個導孔下。

27.如申請專利範圍第 24 項所述之結構，更包含：

一導電材料片材，位在該基材之多數導孔下。

28.如申請專利範圍第 24 項所述之結構，其中上述之導孔及導電島係位在一半導體材料晶圓中兩相鄰晶粒間之劃線中。

29.一種用以辨認一導電結構中之缺陷的測試結構，至少包含：

- 多數導孔，形成穿過一基材；
- 一導電材料片，位在該基材的多數導孔下；及
- 多數導電島，形成在該基材上，每一導電島係位在該多數導孔的至少一導孔上。

30.如申請專利範圍第 29 項所述之結構，其中上述之每一導電島係只位在一導孔上。

31.一種用以辨認一導電結構中之缺陷的測試結構，至少包含：

- 多數導孔，形成穿過一基材；
- 一導電材料線，位在該基材中之前述多數導孔下；及
- 多數導電島，形成在該基材上，每一導電島係位在該等多數導孔的至少一導孔上。

32.如申請專利範圍第 31 項所述之結構，其中上述之每一導電島係只位在一導孔上。