I718127

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本　**(11)證書號數：TW I718127 B**

(45)公告日： 中華民國 110 (2021) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：105105862　　(22)申請日： 中華民國 105 (2016) 年 02 月 26 日

(51)Int. Cl.：　*B23K26/08　(2014.01)*　　*B23K26/062　(2014.01)*

H01S3/10　(2006.01)

(30)優先權：2015/02/27　美國　62/126,420

(71)申請人：美商伊雷克托科學工業股份有限公司 (美國) ELECTRO SCIENTIFIC INDUSTRIES, INC.　(US)

美國

(72)發明人：張　海濱 ZHANG, HAIBIN (CA) ；楊川 YANG, CHUAN (CN) ；昂瑞斯　馬克艾倫 UNRATH, MARK ALAN (US) ；奧瑞克　馬汀 ORRICK, MARTIN (GB)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

JP	2003-136270A	JP	2013-82006A
JP	2014-500147A	US	2011/0210105A1

審查人員：蔡文明

申請專利範圍項數：13 項　　圖式數：54　　共 192 頁

(54)名稱

用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法

(57)摘要

一種雷射處理系統包括：第一定位系統(1044)，其用於賦予射束軸沿著射束軌跡(1062)相對於工件(1060)之第一相對移動；處理器，其用於判定射束軸(1061)沿著複數個顫化列之第二相對移動；第二定位系統(1042)，其用於賦予第二相對移動；以及雷射源(1046)，其用於發射雷射射束脈衝。在主要雷射通過期間，可將具有個別地選擇之能量之雷射射束脈衝引導至個別地選擇之橫向光點位置(5310)一次或多次來准許三維圖案化。亦可將雷射射束脈衝按時間非依序次序引導至工件上之在空間上相同、重疊或非重疊的相鄰光點區域位置。

A laser processing system includes a first positioning system (1044) for imparting first relative movement of a beam axis along a beam trajectory (1062) with respect to a workpiece (1060), a processor for determining a second relative movement of the beam axis (1061) along a plurality of dither rows, a second positioning system (1042) for imparting the second relative movement, and a laser source (1046) for emitting laser beam pulses. The laser beam pulses of individually selected energies can be directed to individually selected transverse spot locations (5310) one or more times during a primary laser pass to permit three-dimensional patterning. The laser beam pulses can also be directed to the spatially identical, overlapping, or non-overlapping neighboring spot area locations on the workpiece in a temporally nonsequential order.

指定代表圖：

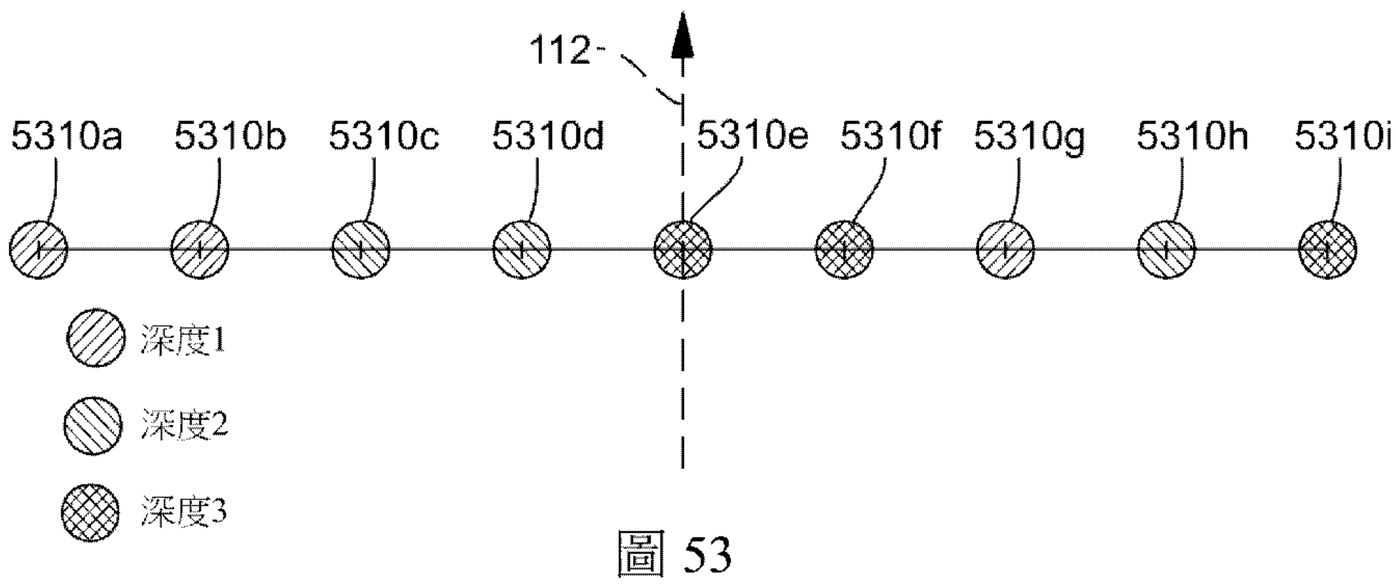


圖 53

符號簡單說明：

5310a-i:光點位置

112:射束軌跡

專利案號：105105862

公告本

109 年 6 月 22 日修正替換頁

I718127

發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日：　　※IPC 分類：

【發明名稱】(中文/英文)

用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法

METHOD FOR DITHERING LASER BEAM TO FORM FEATURES IN WORKPIECE ALONG BEAM TRAJECTORY

【中文】

一種雷射處理系統包括：第一定位系統(1044)，其用於賦予射束軸沿著射束軌跡(1062)相對於工件(1060)之第一相對移動；處理器，其用於判定射束軸(1061)沿著複數個顫化列之第二相對移動；第二定位系統(1042)，其用於賦予第二相對移動；以及雷射源(1046)，其用於發射雷射射束脈衝。在主要雷射通過期間，可將具有個別地選擇之能量之雷射射束脈衝引導至個別地選擇之橫向光點位置(5310)一次或多次來准許三維圖案化。亦可將雷射射束脈衝按時間非依序次序引導至工件上之在空間上相同、重疊或非重疊的相鄰光點區域位置。

【英文】

A laser processing system includes a first positioning system (1044) for imparting first relative movement of a beam axis along a beam trajectory (1062) with respect to a workpiece (1060), a processor for determining a second relative movement of the beam axis (1061) along a plurality of dither rows, a second

positioning system (1042) for imparting the second relative movement, and a laser source (1046) for emitting laser beam pulses. The laser beam pulses of individually selected energies can be directed to individually selected transverse spot locations (5310) one or more times during a primary laser pass to permit three-dimensional patterning. The laser beam pulses can also be directed to the spatially identical, overlapping, or non-overlapping neighboring spot area locations on the workpiece in a temporally nonsequential order.

109 年 6 月 22 日修正替換頁

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（　53　）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

5310a-i　光點位置

112　射束軌跡

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

109 年 6 月 22 日修正替換頁

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動）

【發明名稱】（中文/英文）

用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法

METHOD FOR DITHERING LASER BEAM TO FORM FEATURES IN WORKPIECE ALONG BEAM TRAJECTORY

【相關申請案之交互參照】

【0001】 本申請案係 2015 年 2 月 27 日申請之美國臨時專利申請案第 62/126,420 號的非臨時申請案，該美國臨時專利申請案之內容出於所有目的全部以引用方式併入本文中。

【版權通知】

【0002】 © 2016 **Electro Scientific Industries, Inc.**本專利文件之揭示內容之一部分含有受版權保護之材料。版權所有者不反對任何人傳真複製本專利文件或專利揭示內容，如其出現在專利商標局專利檔案或記錄中，但在其他方面保留所有版權權利。37 CFR § 1.71(d)。

【技術領域】

【0003】 本揭示案係關於橫軸雷射處理。

【先前技術】

【0004】 介電材料及導電材料之雷射處理通常用於在電子組件中燒蝕細微特徵。舉例而言，可對晶片封裝基板進行雷射處理以便將來自半導體晶粒之信號依路由傳遞至球柵陣列或類似封裝。經雷射處理之特徵可包括信號跡線、接地跡線及微介層孔(用於在封裝層之間連接信號跡線)。

【0005】 雷射直接燒蝕(LDA)將信號跡線及接地跡線併入於單一層

上以便在減少晶片封裝中之層數的同時緊密控制信號阻抗。此方法可要求較小特徵尺寸及間隔(例如，約 10 微米(μm)至約 25 μm)，及每個封裝之較長跡線長度(例如，約 5 米(m)至約 10 m)。為了經濟地建構晶片封裝，燒蝕此等特徵之速度可非常高(例如，約 1 米/秒(m/s)至約 10 m/s)。可例如在約 0.5 秒(s)至約 5 s 內處理某些封裝以滿足客戶產出量目標。

【0006】 晶片封裝之另一個有用特性可為，提供具有受控深度變化之相交跡線。舉例而言，接地跡線可在整個圖案中之若干個點處分支。在每個分支相交處，可用小於約+/-10%之所要深度變化對跡線進行燒蝕。通常，若將要在一個點處燒蝕兩個溝槽，則燒蝕射束之雙曝光將產生約 100%之深度變化。

【0007】 晶片封裝之另一個有用特性可為，在封裝之不同部分處提供可變跡線寬度以控制阻抗或為層間連接介層孔提供襯墊。應在對主要跡線之高速處理之干擾有所減少或為最小的情況下提供跡線寬度控制。

【0008】 亦可能有用的是，在對用來改變特徵之特性的時間有所減少或為最小的情況下高速處理任意大小及形狀之特徵。舉例而言，特徵可包括具有各種直徑及/或側壁錐度之微介層孔、正方形或矩形襯墊、對準框標及/或文數字記號。傳統上，為了處理諸如微介層孔之特徵，光學系統被設計來提供可變直徑之整形強度輪廓(例如，平頂射束)，或純粹地高斯射束。在改變雷射處理光點特性時，此等光學系統可具有顯著的時間延遲(例如，約 10 毫秒(ms)至約 10 s)。

【0009】 其他問題與建造機器來滿足上述處理參數相關。舉例而言，跡線可歸因於佈線要求而在整個封裝中改變方向。在高速處理跡線時，軌

跡角度之變化可要求在非常短時間尺度下之較高射束位置加速度。雷射處理可容易超出射束定位器之動態極限，例如在以用於較高產出量之較高速度(例如，約 1 m/s 至約 10 m/s)來運行時。

【0010】　此等加速度及/或速度可能難以在傳統雷射處理機器中達成，該等機器依賴射束定位技術，諸如與反射鏡電流計射束偏轉器(在本文中稱為「電流計」或「電流計反射鏡」)相結合之線性級段，以及靜態(或緩慢改變的)射束調節光學器件，該等光學器件不能在用於此類型處理之時間尺度(例如，大約為約 1 微秒(μsec)至約 100 μsec)下作出回應。

【0011】　實際燒蝕過程亦可為將要考慮之因素。具有較高峰值功率之雷射脈衝可用來燒蝕介電材料，同時使諸如熔化、裂化及基板損壞之熱副效應最小化。舉例而言，在約 5 兆赫(MHz)至約 100 MHz 之重複率下具有在約 20 皮秒(ps)與約 50 ps 之間的範圍內之脈衝持續時間(脈衝寬度)的超快雷射可以較高峰值功率來處理材料，同時提供顯著的脈衝重疊以避免脈衝間隔效應。光纖雷射現在通常在大於約 500 千赫(kHz)之重複率下提供奈秒區內之脈衝寬度。通常，對於給定處理條件(燒蝕深度及寬度)，施加至所處理材料之「劑量」(功率/速度)應為恆定的。然而，在低速度下，所施加功率可變得如此低以致於峰值脈衝功率可能不足以在不誘發熱效應(例如，熔化及炭化)的情況下燒蝕材料。

【0012】　射束定位器設計可使用電流計來使處理射束偏轉。處理射束在工件處之強度輪廓可為高斯輪廓(用於高斯射束之簡單聚焦)，或對於藉由固定光學射束整形器調節之射束而言，為整形強度輪廓(例如，平頂輪廓)。

【0013】　雷射射束可大體上沿著切割路徑、在切割方向上、沿著射束

軸引導以便在工件中產生溝槽，該射束軸沿著射束軌跡相對於工件移動。通常，雷射脈衝在沿著射束軌跡之空間上鄰近或重疊的位置處碰撞工件。空間上重疊的脈衝可藉由雷射系統依序產生，或可非依序地遞送空間上重疊的脈衝，如美國專利公開案第 2010-0252959 號所描述。射束軸與工件之間的相對運動通常為連續的(以避免由於加速度、減速度及安定時間所導致的產出量延遲)，並且射束軸通常定向成使得其垂直於工件。

【0014】　雷射脈衝大體上展現每個雷射脈衝之切割深度極限，其經常隨著各種雷射輸出參數而變化，該等參數包括但不限於雷射功率、脈衝重複頻率、脈衝寬度、波長、碰撞工件之雷射光點之面積，及工件之材料特性。為了彌補切割深度極限，可將射束軸多次引導至沿著溝槽之位置以便增加切割之總深度。該等位置可藉由以下操作來多次定址：執行雷射射束軸沿著射束軌跡之多次通過，使射束軸停留在該等位置上，調整射束軸相對於工件之相對運動之速度，調整空間咬合大小(雷射脈衝之光點區域相對於最近的相鄰光點區域之非重疊部分)，調整空間上鄰近或重疊的脈衝之間的時間延遲，調整雷射射束相對於工件表面之焦點深度，及調整先前提及之其他雷射輸出參數中之一或多者。

【0015】　儘管對所有此等變數進行了控制，溝槽形成大體上取決於錐度。錐度係指溝槽之側壁之形狀及角度。側壁錐度係重要的，因為在許多材料中，錐度大體上限制溝槽之深度，該深度隨著在工件表面處介於側壁頂部之間的溝槽寬度而變化。舉例而言，在將多個雷射脈衝施加至工件上之單一位置時，在工件中形成之孔洞的直徑將會隨著孔洞之深度增加而增加。孔洞在工件表面處將具有最寬的直徑，並且孔洞之側壁可成錐形以使

得孔洞在底部處可具有可忽略的直徑。在許多情況下，在達到基本深度之後，每個脈衝之深度減少，此後，產出量減少並且雷射能量在工件中被浪費掉。另外，在許多情況下，在藉由此單一位置、連續沖孔過程達到最大深度之前，臨限值可達到工件中之材料之損壞臨限值。

【0016】 用於產生深溝槽之一種習知解決方案涉及藉由經由多次通過沿著溝槽引導射束軸來限制連續被引導至工件上之給定位置之雷射功率之量。射束軸之每次通過使溝槽變深。射束軌跡之一些通過亦通常被引導成平行於溝槽之預期中線，向內部及/或向外部延伸，以便增加在工件表面處介於側壁之間的溝槽寬度。工件表面處的溝槽寬度之增加用來減輕由於錐度所導致的一些深度難題。

【0017】 遺憾的是，射束軸沿著射束軌跡(或平行的射束軌跡)之額外通過需要大幅度增加用來使溝槽(或切口)達到所要深度的時間，在此等射束軌跡覆蓋較長距離時尤其如此。

【0018】 圖 1A 係習知的一組射束軌跡 22、24、26、28 及 30 之平面圖，射束軸可沿著該等軌跡行進以便在工件 10 中製作深溝槽 20。圖 1B 係可沿著圖 1A 示出之射束軌跡 22、24、26、28 及 30 中之每一者引導射束軸以獲得溝槽 20 之所要深度的通過次數之圖形描述。圖 1C 係沿著圖 1A 示出之射束軌跡 22、24、26、28 及 30 之溝槽之深度的圖形描述。圖 1A 至圖 1C 論證溝槽 20 可能需要在工件 10 之頂部表面處加寬以獲得所要深度，從而增加處理時間，進而不利地影響產出量。

【發明內容】

【0019】 提供此概述來以簡化形式介紹在示範性實施例之詳細說明

中進一步描述之概念精選。此概述不意欲識別所主張標的物之關鍵或本質發明概念，亦不意欲限制所主張標的物之範疇。

【0020】　在一實施例中，用於顫化雷射射束之方法在工件中形成具有一或多個所要溝槽寬度之溝槽，而與沿著射束軌跡之變化處理速度無關。該方法包括：賦予雷射射束路徑沿著射束軌跡相對於工件表面之第一相對移動；以及判定雷射射束路徑沿著複數個顫化列之第二相對移動。第二相對移動以相對於射束軌跡之預定角度疊加於第一相對移動上。第二相對移動之判定包括補償處理速度之變化以便保持複數個顫化列中之每一者的預定角度。該方法進一步包括賦予雷射射束路徑之第二相對移動，以及在沿著複數個顫化列之複數個光點位置處將複數個雷射射束脈衝發射至工件以便在藉由預定角度界定之方向上加寬溝槽。在某些實施例中，預定角度垂直於射束軌跡。另外，或在其他實施例中，發射複數個雷射射束脈衝包括以恆定速率來發射，並且該方法進一步包括選擇性地調整處理速度以便處理整數個顫化列來完成溝槽。

【0021】　在另一實施例中，雷射處理系統包括：第一定位系統，其用於賦予雷射射束路徑沿著射束軌跡相對於工件表面之第一相對移動；以及一或多個處理器，其用於判定雷射射束路徑沿著複數個顫化列之第二相對移動。第二相對移動以相對於射束軌跡之預定角度疊加於第一相對移動上。第二相對移動之判定包括補償沿著射束軌跡之處理速度之變化以便保持複數個顫化列中之每一者的預定角度。該系統亦包括：第二定位系統，其用於賦予雷射射束路徑之第二相對移動；以及雷射射源，其用於在沿著複數個顫化列之複數個光點位置處將複數個雷射射束脈衝發射至工件以便在

藉由預定角度界定之方向上加寬溝槽。

【0022】　在另一實施例中，用於顫化雷射射束之方法在工件中產生溝槽。該方法包括：賦予雷射射束路徑沿著射束軌跡相對於工件表面之第一相對移動，該射束軌跡界定溝槽之長度；以及賦予雷射射束路徑沿著複數個顫化列之第二相對移動。第二相對移動疊加於第一相對移動上以加寬溝槽。溝槽之寬度係可變的。該方法進一步包括選擇複數個顫化列中之每一者中所包括之顫化點之數目。該選擇減少用來處理每個顫化列之時間量，並且每個顫化列中之顫化點之數目係基於對應於相應顫化列之溝槽之寬度。該方法進一步包括在對應於複數個顫化列中之每一者中之顫化點的複數個光點位置處將複數個雷射射束脈衝發射至工件。

【0023】　在另一實施例中，用於對工件上之二維刮削區域進行雷射處理的方法使用雷射直接燒蝕系統。該方法包括在刮削區域內產生雷射光點位置之網格。網格內之雷射光點位置之間的間隔至少部分地基於雷射光點大小及鄰近雷射光點之所要重疊。該方法進一步包括將網格劃分成複數個條帶，該等條帶對應於雷射射束路徑沿著射束軌跡之相應通過。每個條帶包括沿著相對於射束軌跡之顫化方向的複數個顫化列。該方法亦包括：賦予雷射射束路徑沿著射束軌跡相繼通過複數個條帶的第一相對移動；賦予雷射射束路徑沿著每個顫化列之顫化方向的第二相對移動；以及沿著雷射射束路徑將複數個雷射射束脈衝發射至工件，到達刮削區域內之雷射光點位置。在某些實施例中，該方法進一步包括將顫化列中之每一者之資料濾波以使雷射光點強度輪廓沿著網格之鄰近條帶之側面傾斜，以對雷射射束之通過之間的重疊進行整形以便在刮削區域內控制深度變化。多個雷射射

束脈衝中之每一者之雷射光點強度係基於濾波資料來選擇。另外，或在另一實施例中，該方法包括：當雷射射束路徑自網格之第一條帶移動至網格之第二條帶時，反轉顫化方向。顫化方向可基於射束軌跡之方向。

【0024】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移動疊加於第一相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；以及在沿著射束軌跡之雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將雷射射束脈衝遞送至工件，其中每個選擇性光點位置在空間上更靠近相鄰選擇性光點位置並且在空間上更遠離空間非相鄰選擇性光點位置，並且其中遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係遞送至第二定位系統之偏轉範圍內之選擇性非相鄰光點位置。

【0025】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移

動疊加於第一相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；以及在沿著射束軌跡之雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將雷射射束脈衝遞送至工件，其中將多個雷射射束脈衝中之選定脈衝阻斷以免碰撞工件，並且其中在雷射通過期間遞送至工件之雷射射束脈衝提供在第二定位系統之偏轉範圍內之三維圖案化，其中該三維圖案化包括橫向於射束軌跡並且在深度方面相對於工件之表面處於兩個或兩個以上深度的圖案化。

【0026】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一連續相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移動疊加於第一連續相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；以及在沿著射束軌跡之雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將雷射射束脈衝遞送至工件，其中在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，並且其中在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，將總數目個雷射射束脈衝之 80%以上遞送至工件。

【0027】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移動疊加於第一相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；以及在沿著射束軌跡之雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將雷射射束脈衝遞送至工件。在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一連續相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移動疊加於第一連續相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；選擇性地控制雷射射束脈衝之能量；以及在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將雷射射束脈衝遞送至工件，其中在藉由第二相對移動來定址之不同光點位置處，遞送至工件之雷射射束脈衝中之兩者或兩者以上具有不同能量。

【0028】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一連續相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移動疊加於第一連續相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；以及在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將雷射射束脈衝遞送至工件，其中在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，並且其中總數目個雷射射束脈衝提供總通量，該總通量超過處理窗口之工作通量，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 5 微米之距離內用總數目個雷射射束脈衝碰撞工件。

【0029】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一連續相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移動疊加於第一連續相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏

轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；以及在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將工作雷射射束脈衝遞送至工件，其中在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，並且其中雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 10%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 5 微米之距離內碰撞工件。

【0030】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，用於顫化雷射射束以沿著射束軌跡在工件中形成特徵的方法包含：自雷射源產生沿著雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於工件之表面形成雷射射束軸；使用第一定位系統來賦予雷射射束軸沿著射束軌跡相對於工件之表面的第一連續相對移動，其中第一定位系統提供第一射束偏轉範圍；使用第二定位系統來賦予雷射射束軸的第二相對移動，該第二相對移動疊加於第一連續相對移動上，其中第二定位系統提供小於第一射束偏轉範圍之第二射束偏轉範圍，其中第二相對移動包含橫向於射束軌跡之方向分量；以及在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在第二定位系統之偏轉範圍內之複數個選擇性光點位置中之每一者處將工作雷射射束脈衝遞送至工件，該工作雷射射束脈衝具有光點大小，其中在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，並且其中雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 10%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡一個光點大小之距離內碰撞工件。

【0031】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，每個選擇性光點位置在空間上更靠近相鄰選擇性光點位置並且在空間上更遠離空間非相鄰選擇性光點位置，其中遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係遞送至第二定位系統之偏轉範圍內之選擇性非相鄰光點位置。

【0032】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在次要雷射通過期間遞送至工件之雷射射束脈衝提供在第二定位系統之偏轉範圍內之三維圖案化，其中三維圖案化包括橫向於射束軌跡並且在深度方面在相應光點位置處相對於工件之表面處於兩個或兩個以上深度的圖案化。

【0033】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二相對移動包含 x 及 y 非零方向分量。

【0034】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二射束偏轉範圍在橫向方向上延伸了 0.01 mm 與 4.0 mm 之間。

【0035】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二射束偏轉範圍在橫向方向上延伸了 0.01 mm 與 2.5 mm 之間。

【0036】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性地控制能量以使其在第二定位系統之偏轉範圍內的選擇性光點位置中之時間依序定址位置處係不同的。

【0037】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性地控制能量以使其在第二定位系統之偏轉範圍內的選擇性光點位置之時間依序定址群組處係不同的。

【0038】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性地控制雷射射束脈衝之光點大小以使其在第二定位系統之偏轉範圍內的選擇

性光點位置中之時間依序定址位置處係不同的。

【0039】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性地控制雷射射束脈衝之光點大小以使其在第二定位系統之偏轉範圍內的選擇性光點位置之時間依序定址群組處係不同的。

【0040】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性地控制雷射射束之焦點以使其在第二定位系統之偏轉範圍內的選擇性光點位置中之時間依序定址位置處係不同的。

【0041】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性地控制雷射射束之焦點以使其在第二定位系統之偏轉範圍內的選擇性光點位置之時間依序定址群組處係不同的。

【0042】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統之偏轉範圍內的選擇性光點位置中之時間依序定址位置在空間上係不連續的。

【0043】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統之偏轉範圍內的選擇性光點位置中之時間依序定址位置在空間上係連續的。

【0044】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二相對移動包含在時間上分開的相反方向分量。

【0045】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在時間上分開的相反方向分量橫向於射束軌跡。

【0046】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在時間上分開的相反方向分量中之一者與射束軌跡相反。

【0047】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，方向分量係第二相對移動相對於射束軌跡之分向量。

【0048】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在第二相對移動之單次次要通過期間，遞送至工件之雷射射束脈衝中之兩者或兩者以上在不同光點位置處具有不同能量。

【0049】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二相對移動係非橢圓形的。

【0050】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二相對移動係非橢圓形的。

【0051】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，沿著射束軌跡之主要雷射通過使射束軸掃描經過任何光點位置一次。

【0052】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，沿著射束軌跡之次要雷射通過使射束軸掃描經過任何光點位置一次。

【0053】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，次要雷射通過使射束軸掃描經過任何光點位置一次。

【0054】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，第二相對移動包含射束軸在第二射束偏轉範圍內之多次雷射通過。

【0055】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係遞送至彼此距離大於或等於第二射束偏轉範圍之 25%的選擇性光點位置。

【0056】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工

件之時間依序雷射射束脈衝係遞送至彼此距離大於或等於第二射束偏轉範圍之 50%的選擇性光點位置。

【0057】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係遞送至彼此距離大於或等於第二射束偏轉範圍之 75%的選擇性光點位置。

【0058】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係遞送至彼此距離大於或等於第二射束偏轉範圍之 90%的選擇性光點位置。

【0059】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝之選擇性光點位置之間的距離隨著第二射束偏轉範圍、第一定位系統沿著射束軌跡移動射束軸之第一速度及第二定位系統移動射束軸之第二速度而變化。

【0060】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性相鄰光點位置重疊。

【0061】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第一射束定位系統以大於或等於第一射束定位系統最大速度之 25%的速度來沿著射束軌跡移動射束軸。

【0062】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第一射束定位系統以大於或等於第一射束定位系統最大速度之 50%的速度來沿著射束軌跡移動射束軸。

【0063】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第一射束定位系統以大於或等於第一射束定位系統最大速度之 75%的速度來沿著射

束軌跡移動射束軸。

【0064】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第一射束定位系統以大於或等於第一射束定位系統最大速度之 90%的速度來沿著射束軌跡移動射束軸。

【0065】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵係溝槽。

【0066】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵係切口。

【0067】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵係標記。

【0068】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵係表面下標記。

【0069】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵係電阻器上之修整。

【0070】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵係盲介層孔(blind via)。

【0071】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵係通孔介層孔(through-hole via)。

【0072】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統包含零慣性定位裝置。

【0073】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統包含聲光裝置(AOD)。

【0074】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統包含一個以上換能器。

【0075】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統可操作以使射束軸沿著一個以上偏轉軸偏轉。

【0076】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統包含兩個或兩個以上聲光裝置(AOD)。

【0077】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統使用安裝在 AOD 之橫向表面上之換能器。

【0078】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統包含電光裝置(EOD)。

【0079】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統可操作來充當外腔射束阻斷器。

【0080】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，外腔射束阻斷器用來阻斷多個雷射射束脈衝中之選擇性脈衝。

【0081】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之雷射通過期間，多個雷射射束脈衝被引導至一個選擇性光點位置。

【0082】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係沿著相對於射束軌跡之不同軸來遞送至選擇性非相鄰光點位置。

【0083】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係沿著相對於射束軌跡之單一軸來遞送至選擇性非相鄰光點位置。

【0084】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在雷射通過期間在第二定位系統之掃描場內遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝包括 10 個或更多個雷射射束脈衝。

【0085】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在雷射通過期間在第二定位系統之掃描場內遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝包括 100 個或更多個雷射射束脈衝。

【0086】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統之掃描場或射束偏轉範圍具有大於 10 個並列雷射光點之長軸尺寸。

【0087】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統之掃描場或射束偏轉範圍具有大於 100 個並列雷射光點之長軸尺寸。

【0088】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，第二定位系統之掃描場或射束偏轉範圍具有小於 500 個並列雷射光點之長軸尺寸。

【0089】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在雷射通過期間在第二定位系統之掃描場內遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝包括 500 個或更多個雷射射束脈衝。

【0090】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，射束軸橫向於射束軌跡被顫化以加寬在每次雷射通過期間藉由雷射來加工之區域。

【0091】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，多個雷射射束脈衝係以大於或等於 100 kHz 之脈衝重複率產生。

【0092】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，沿著射束軌跡在射束軸與工件之間的相對運動大於或等於 400 mm/s。

【0093】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，多個雷射

射束脈衝具有短於或等於 100 ps 之脈衝寬度。

【0094】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，多個雷射射束脈衝具有短於或等於 10 ps 之脈衝寬度。

【0095】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，多個雷射射束脈衝具有短於或等於 1 ps 之脈衝寬度。

【0096】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，選擇性相鄰光點位置之間的咬合大小小於或等於 4 微米。

【0097】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝具有光點區域，該光點區域具有小於或等於 15 微米之長軸。

【0098】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，時間依序雷射射束脈衝係以選擇性雷射光點之微動圖案來遞送至工件。

【0099】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，軌跡形成介層孔之表面周邊。

【0100】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝係遞送至第一光點位置之第一雷射射束脈衝，其中遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝係遞送至第二光點位置之第二雷射射束脈衝，其中在時間上稍後的依序雷射射束脈衝係遞送至第三光點位置之第三雷射射束脈衝，並且其中第三光點位置係相鄰選擇性光點位置。

【0101】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，射束軸可被引導至個別地選擇之橫向位置。

【0102】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在單次通

過期間，雷射射束可定址橫向位置多次。

【0103】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，被引導至工件上之空間上相同、空間上重疊或空間上相鄰的光點區域位置之雷射脈衝係非依序的。

【0104】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，並且其中總數目個雷射射束脈衝提供總通量，該總通量超過處理窗口之工作通量，以用於沿著射束軌跡在雷射射束軸之 2 微米內用總數目個雷射射束脈衝碰撞工件。

【0105】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，總數目個雷射射束脈衝提供總通量，該總通量超過處理窗口之工作通量，以用於沿著射束軌跡在雷射射束軸之 5 微米內用總數目個雷射射束脈衝碰撞工件。

【0106】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，總數目個雷射射束脈衝提供總通量，該總通量超過處理窗口之工作通量，以用於沿著射束軌跡在雷射射束軸之 10 微米內用總數目個雷射射束脈衝碰撞工件。

【0107】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 20%以上，以用於沿著射束軌跡在雷射射束軸之 5 微米內碰撞工件。

【0108】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，並且其中雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 10%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束

軌跡 5 微米之距離內碰撞工件。

【0109】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，工作雷射射束脈衝在複數個選擇性光點位置中之每一者處具有光點大小，並且其中在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，並且其中雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 10%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡一個光點大小之距離內碰撞工件。

【0110】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 20%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡一個光點大小之距離內碰撞工件。

【0111】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 30%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡一個光點大小之距離內碰撞工件。

【0112】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 50%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡一個光點大小之距離內碰撞工件。

【0113】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 10%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡五個光點大小之距離內碰撞工件。

【0114】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 20%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡五個光點大小之距離內碰撞工件。

【0115】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 30%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡五個光點大小之距離內碰撞工件。

【0116】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 50%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡五個光點大小之距離內碰撞工件。

【0117】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 20%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 5 微米之距離內碰撞工件。

【0118】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 30%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 5 微米之距離內碰撞工件。

【0119】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 50%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 5 微米之距離內碰撞工件。

【0120】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 20%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 10 微米之距離內碰撞工件。

【0121】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 30%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 10 微米之距離內碰撞工件。

【0122】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束

脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 50%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 10 微米之距離內碰撞工件。

【0123】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 20%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 25 微米之距離內碰撞工件。

【0124】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 30%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 25 微米之距離內碰撞工件。

【0125】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，雷射射束脈衝之總數目超過工作雷射射束脈衝之所期望數目 50%以上，以用於沿著射束軌跡在距射束軌跡 25 微米之距離內碰撞工件。

【0126】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，雷射源產生總數目個雷射射束脈衝，其中在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，將總數目個雷射射束脈衝之 60%以上遞送至工件。

【0127】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，將總數目個雷射射束脈衝之 80%以上遞送至工件。

【0128】 在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，將總數目個雷射射束脈衝之 90%以上遞送至工件。

【0129】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，在沿著射束軌跡之主要雷射通過期間，在雷射射束軸處於第二射束偏轉範圍內時，將總數目個雷射射束脈衝之 95%以上遞送至工件。

【0130】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，特徵可藉由任何上述實施例組合之方法來製成。

【0131】　在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，可建構利用任何上述實施例之組件之系統。

【0132】　將自以下參考隨附圖式對較佳實施例之詳細說明顯而易見額外態樣及優點。

【圖式簡單說明】

【0133】　圖 1A 係習知的一組射束軌跡之平面圖，射束軸可沿著該等軌跡行進以便在工件中產生深溝槽。

【0134】　圖 1B 係可沿著圖 1A 示出之射束軌跡中之每一者引導射束軸以獲得溝槽之所要深度的通過次數之圖形描述。

【0135】　圖 1C 係沿著圖 1A 示出之射束軌跡之溝槽之深度的圖形描述。

【0136】　圖 1D 係例示處理光點之網格之示意圖，該網格可藉由顫化移動射束或靜止光柵圖案來產生。

【0137】　圖 2 圖形地表示根據一實施例的 EffectiveWidth 之變化，該 EffectiveWidth 隨著相對網格寬度(藉由光點直徑來標準化)及跨網格寬度之顫化點數目而變化。

【0138】　圖 3 圖形地例示根據一實施例的具有不同網格密度之兩個

相交特徵之網格圖案。

【0139】 圖 4 圖形地例示根據一實施例的在振幅標準化之後的相交特徵之模型化通量(未組合)。

【0140】 圖 5 圖形地例示根據一實施例的相交特徵之組合通量。

【0141】 圖 6 圖形地例示根據一實施例的具有突出部之圓形襯墊之光柵網格(右側)及通量輪廓(左側)。

【0142】 圖 7 圖形地例示根據一實施例的通量標準化對於不同寬度之溝槽之影響。

【0143】 圖 8 係例示根據一實施例的用於指揮 AOD 之簡化處理及資料流架構之方塊圖。

【0144】 圖 8A 係根據一實施例的用於顫化雷射射束之系統之方塊圖，該系統包括 AOD 子系統及電流計子系統。

【0145】 圖 8B 係根據一實施例的用於射束整形之系統之方塊圖。

【0146】 圖 8C 係根據一實施例的提供傾斜處理射束之系統之方塊圖。

【0147】 圖 9 係表示根據一實施例的在 FPGA 中實行之 AOD 控制資料流之方塊圖。

【0148】 圖 10 係例示根據一實施例的 DSP 與 FPGA 之示例性同步之時序圖。

【0149】 圖 11 係例示根據一實施例的使用內傾之處理狀況之示意圖。

【0150】 圖 12 圖形地例示根據一實施例的示例性內傾參數定標。

【0151】 圖 13 圖形地例示根據示例性顫化操作的示例性 XY 射束位置。

【0152】 圖 14 圖形地例示根據圖 13 示出之示例性顫化操作的示例性 X 及 Y 射束位置對時間。

【0153】 圖 15 圖形地例示示例性實施例中之掃描場失真圖案，其中 LDA 系統包括 F/18 100 mm 掃描場透鏡。

【0154】 圖 16 圖形地例示根據示例性實施例的 X 及 Y 掃描場失真誤差對 X 及 Y 場位置。

【0155】 圖 17 圖形地例示根據圖 16 示出之示例性實施例的 X 及 Y 掃描場失真尺度因子及旋轉誤差對 X 及 Y 場位置。

【0156】 圖 18 圖形地例示根據圖 16 及 20 示出之實例的光柵化特徵之示例性局部位置幾何校正失真。

【0157】 圖 19 示意性地例示根據一實施例的三級剖析子系統。

【0158】 圖 20 示意性地例示根據一實施例的 AOD 校準圖案。

【0159】 圖 21 圖形地例示根據某些實施例的 AOD 校準角。

【0160】 圖 22 係例示根據一實施例之用於功率控制之信號流之方塊圖。

【0161】 圖 23 圖形地例示根據一實施例的示例性功率控制曲線。

【0162】 圖 24 圖形地例示根據一實施例的示例性 ch1 AOD 功率線性化曲線集。

【0163】 圖 25 例示根據一實施例的 ch0 AOD 之示例性曲線。

【0164】 圖 26 係例示根據某些實施例之示例性 AOD 效率曲線的圖

表。

【0165】 圖 27 係例示根據某些實施例之示例性 AOD 效率增益的圖表。

【0166】 圖 28 係例示根據一實施例的功率校準資料流之方塊圖。

【0167】 圖 29 圖形地例示根據一實施例的對於速度變化之三級濾波器回應。

【0168】 圖 30 圖形地例示根據一實施例的蒙地卡羅 AOD 瞬態模擬。

【0169】 圖 31 圖形地例示根據一實施例的在 Taod=Tcmd=1 μsec 之情況下的示例性速度極限。

【0170】 圖 32 圖形地例示根據一實施例的 AOD 行程範圍對特徵寬度。

【0171】 圖 33 圖形地例示根據一實施例的雷射功率對於處理速度之限制。

【0172】 圖 34 圖形地例示根據某些實施例的示例性光點失真。

【0173】 圖 35 示意性地例示根據一實施例的垂直於標稱射束軌跡來對準之顫化列。

【0174】 圖 36 示意性地例示根據一實施例的板塊化光柵處理之實例。

【0175】 圖 37 示意性地例示根據某些實施例的由於寬線刮削所導致之像素化誤差。

【0176】 圖 38 示意性地例示根據一實施例的劃分成網格條帶之刮削區域。

【0177】 圖 39 圖形地例示根據一實施例的刮削顫化點之未濾波網格及刮削顫化點之對應濾波網格。

【0178】 圖 40 圖形地例示根據一實施例的對應於圖 38 示出之條帶的前三個刮削射束之通量分佈。

【0179】 圖 41 圖形地例示根據一實施例之刮削實例。

【0180】 圖 42 圖形地例示根據一實施例之在刮削期間之射束命令。

【0181】 圖 43 係例示根據一實施例的材料移除速率對刮削列長度及寬度之繪圖。

【0182】 圖 44 示意性地例示根據一實施例的刮削列幾何形狀之側視圖。

【0183】 圖 45 係例示根據一實施例的用於向量處理之 AOD 命令產生的方塊圖。

【0184】 圖 46 係例示根據一實施例的用於光柵處理之 AOD 命令產生的方塊圖。

【0185】 圖 47 係例示根據一實施例的用於刮削處理之 AOD 命令產生的方塊圖。

【0186】 圖 48 係例示根據一實施例的電流計及 AOD 校準資料流 5100 之方塊圖。

【0187】 圖 49 圖形地例示根據一實施例之顫化列通量控制。

【0188】 圖 50 係射束軸可沿著其行進之射束軌跡及藉由射束軸之顫化定位所碰撞於之示例性輔助光點區域位置之示例性網格的平面圖。

【0189】 圖 51 描繪光點位置之示例性列及將雷射射束脈衝遞送至該

等位置之示例性次序。

【0190】　圖 52 描繪光點位置之示例性列及將雷射射束脈衝遞送至該等位置之另一個示例性次序。

【0191】　圖 53 描繪光點位置之示例性列，其中一些位置在雷射通過期間被碰撞多次。

【0192】　圖 54 描繪以射束軸之微動圖案來引導之雷射射束脈衝所碰撞的選定橫軸特徵區域之示例性列。

【實施方式】

【0193】　與圖 1A 至圖 1C 相關之過程的一個缺點為，沿著射束軌跡之每次通過耗費時間，從而增加每個工件消耗之時間，由此減少產出量。

【0194】　與圖 1A 至圖 1C 相關之過程的另一個缺點為，較新的雷射之功率及脈衝重複率在沿著射束軌跡的射束軸與工件之間的相對運動之最大可用速度下超過破壞臨限值。此問題可藉由使雷射之最大潛力不能充分發揮來解決。舉例而言，可使雷射脈衝衰減，或可阻斷特定數目個雷射脈衝。此外，使用沿著射束軌跡的射束軸與工件之間的相對運動之最高速度亦可導致不合需要的加工特性，諸如由間隔較寬的連續光點造成之扇形邊緣。

【0195】　本文描述用來克服此等缺點並且提供額外處理優點的示例性實施例。

【0196】　下文參考隨附圖式描述示例性實施例。諸多不同形式及實施例在不背離本揭示案之精神及教示的情況下係可能的，且因此本揭示案不應被視為限於本文所闡明之示例性實施例。實情為，提供此等示例性實施

例以使得本揭示案係全面及完整的，並且將揭示內容之範疇傳達給熟習此項技術者。在附圖中，為了清楚起見，組件之大小及相對大小可加以誇大。本文所使用的術語僅出於描述特定示例性實施例之目的且不意欲係限制性的。如本文所用，除非上下文另外明確指示，否則單數形式「一」及「該」意欲亦包括複數形式。應進一步理解，本說明書使用術語「包含」來指定所述特徵、整數、步驟、操作、元件及/或組件之存在，而並不排除一或多個其他特徵、整數、步驟、操作、元件、組件及/或其群組之存在或添加。除非另外指出，否則值的範圍在被陳述時包括該範圍之上限及下限以及上限與下限之間的任何子範圍。

【0200】　本文中所含之揭示內容描述使用聲光偏轉器(AOD)作為射束定位裝置之 LDA 系統之實行細節。雖然本文揭示之示例性實施例係關於 AOD，但是亦可使用電光偏轉器(EOD)。在某些實施例中，舉例而言，EOD 係一些或所有 AOD 指向(偏轉)功能之合適替代物。

【0201】　在某些實施例中，處理特徵之幾何形狀(例如，寬度及深度)可在高階由使用者指定，然後藉由機器控制軟體來轉換成處理命令。在某些實施例中，雷射功率及顫化操作之細節係自動化的以防止繁重的、易於出錯的人工機器設置過程。舉例而言，可為使用者提供用來產生具有標稱尺寸之幾何特徵的簡單過程。特徵可包括具有目標寬度及深度之溝槽，或具有目標直徑及深度之襯墊。使用者可直接輸入此等幾何參數，並且系統藉由產生為了產生該等特徵所需要之適當過程參數(例如，射束速度、顫化寬度、雷射功率)來作出回應。因為某些 LDA 機器可在任意射束速度下操作(以便在給定射束定位器及受雷射功率限制的限制條件的情況下使產出量最

大化)，所以可針對速度來自動調整過程參數。此自動化避免迫使使用者指定低階細節(例如，雷射功率、顫化寬度、顫化點、速度)，其伴隨著操作者錯誤之風險，同時允許系統自動使產出量最大化。

【0202】　某些實施例提供最佳化的顫化點選擇。此實施例藉由設定顫化表之大小以便用最小數目個顫化點覆蓋所要顫化範圍，來使產出量最大化。使顫化點數目之最小化的一個原因係因為，每個顫化點使用特定更新時間 Tdither(例如，根據以下論述之示例性實施例，約 1 μs 之更新速率)。其中 Npt 係每一列之顫化點之數目，Tdither*Npt=每一列所使用之時間量。因此，使顫化點之數目最小化允許系統在最高可能速度下處理特徵，同時保持顫化列之間的足夠重疊，從而可用於產生均勻的通量分佈，並且由此產生特徵之均勻燒蝕。舉例而言，在使用 AOD 顫化來形成特徵時，顫化光點保持最小重疊來使通量變化最小化。用來加寬溝槽之顫化點之數目可影響此重疊。在某些實施例中，顫化點之選擇得以最佳化以提供較高處理速度及適當光點重疊。

【0203】　某些實施例提供用於較寬弧形處理之通量標準化。在寬度與弧形半徑之比率相對較大的情況下，此等實施例保持燒蝕弧形特徵之品質(例如，均勻的溝槽深度)。與另外可實行的情形相比，此舉為電路佈局設計師提供更大自由度，來在更緊湊區域中對弧形進行佈線。舉例而言，在進行顫化以處理形成圓弧段之較寬溝槽時，跨較寬溝槽之所施加通量隨著距弧形中心之半徑而變化。在某些實施例中，對此通量進行標準化以處理具有恆定深度之弧形。

【0204】　某些實施例提供 AOD 及電流計定位系統之協調校準。亦可

使用其他定位系統，諸如使用快速轉向鏡(FSM)之系統。不同定位系統之協調校準保持整個掃描場上之顫化操作之準確度。AOD 射束定位子系統可遭受由於實行掃描透鏡、電流計反射鏡及 AOD 子系統所導致的掃描場失真。舉例而言，掃描透鏡通常具有隨著掃描場位置而變化之局部幾何失真。藉由施加隨著掃描場位置而變化之局部校正，將顫化之準確度保持在適用於提供相交處之可接受深度變化的等級。另外，或在其他實施例中，AOD 射束定位子系統之校準與電流計子系統之校準相協調以便適當實行三級射束定位。如下文所論述，在顫化模式、光柵化模式及刮削模式期間使用此校準。此操作可與三級射束定位協同進行，該三級射束定位命令 AOD 子系統保持軌跡中心線(在向量或刮削模式中之顫化期間)或光柵中心點(在光柵模式期間)。

【0205】　某些實施例提供重疊的光柵圖案。只要有可能，可藉由光柵化特徵使產出量最佳化，因為 AOD 光柵化操作發生的速度比在級段或電流計射束定位的情況下有可能之速度高得多。然而，AOD 場之受限場大小會限制可在一個步驟中加以 AOD 光柵化的特徵大小。藉由在保持重疊區之相交處之適當深度控制的同時使光柵圖案重疊，可針對超過 AOD 場大小之圖案產生品質光柵圖案，由此使產出量最大化。在某些實施例中，AOD 子系統用來將 AOD 範圍內之二維特徵光柵化，而無需來自電流計子系統之任何運動。大於 AOD 場之圖案亦可藉由使單獨(及靜止)電流計坐標處之複數個單獨光柵圖案重疊來光柵化。與使用移動電流計軌跡之一般二維刮削相比，此方法可為更有效(並且由此更理想)的處理方法。如本文所使用，二維(2D)係指處理 2D 區域(例如，在 X 及 Y 方向上)，但是亦包括具有第三維度

(3D)中之深度控制之雷射處理。深度控制包括，舉例而言，在 Z 方向上移除之材料量或對處理特徵進行整形。

【0206】 某些實施例提供最佳化的 AOD 效率對範圍。在 LDA 系統中處理特徵時實現之產出量與在給定所需過程參數的情況下可利用之雷射功率成比例。最佳化此雷射功率因此最佳化產出量。藉由最佳化隨著所需 AOD 操作範圍而變化之 AOD 效率(同時保持操作 AOD 場上之準確 AOD 功率線性化)，達成此功率最佳化。在處理需要相對較小 AOD 場之特徵時，產出量得以最大化，同時仍然提供在較大特徵所需要時使 AOD 範圍最大化之能力。舉例而言，在藉由 AOD 來顫化或形成二維光柵圖案時，光學效率隨著偏轉範圍增加而減小。因此，可需要在操作範圍上線性化來自 AOD 之光學輸出功率以使得 AOD 操作係可預測並且一致的。在某些實施例中，提供線性化的功率控制，其中對於在某些操作中所使用之有所減少的 AOD 偏轉範圍而言，光學效率較高，同時允許其他操作可利用之較大範圍(具有減少之光學效率)。

【0207】 某些實施例藉由三級濾波來提供速度最佳化。三級濾波方法以及有限的 AOD 射束位移範圍對於給定特徵寬度所允許的最大射束速度造成限制。藉由計算此極限(在給定隨著 AOD 操作範圍而變化的顫化寬度及 AOD 功率限制的情況下)，可判定在給定限制條件下之最佳速度，由此最佳化產出量。設定保守的速度極限(其將在所有狀況下起作用)之替代方案可能不合意地減少產出量。藉由 AOD 射束控制之三級濾波允許減少電流計射束定位器之頻寬要求。三級濾波器之動態，及隨著偏轉範圍而變化之 AOD 光學效率的變化可組合，來對處理溝槽時的允許處理速度設定極限。在某些

實施例中，判定此最佳速度之自動化系統及過程用來使處理速度最大化。某些實施例保持垂直於軌跡之顫化。此等實施例可保證自動保持所要線寬度，而與處理速度無關。此產生可預測的且可重複的處理品質，同時允許速度任意變化，此係在射束定位器及功率限制條件內最佳化產出量所需的。舉例而言，當將射束顫化來在工件材料中形成可變寬度溝槽時，顫化射束保持垂直於溝槽之切線，不論處理速度如何。某些實施例使用整數顫化列。此等實施例提供可預測的處理結果，而與用來加寬線性處理特徵之顫化點之數目無關，並且不論所選擇的處理速度如何。舉例而言，在產生特徵之間的相交處時，可預測的處理結果係有用的。藉由完成整數個顫化列，線性處理特徵之末端得到較好界定，從而允許在與諸如其他溝槽或襯墊之其他特徵的相交處較好地控制深度變化。

【0208】　某些實施例改良在工件上處理較大二維區域之效率。此可藉由使用顫化來加寬處理光點以便刮削該區域來解決。此方法提供刮削區域周邊之良好解析度，並且提供對於由鄰近刮削通過之重疊所導致的深度變化的適當控制。某些此等實施例提供具有受控重疊及較高解析度邊緣的有效刮削。較大刮削區域在藉由 LDA 機器處理之應用中係常見的。為了使產出量最大化，有用之舉係最佳化此等刮削特徵之處理，同時保持刮削區域之邊緣界定之足夠解析度。此等實施例允許使用更寬顫化射束來處理刮削區域，而同時保持高品質邊緣界定並且對刮削通過之間的重疊進行整形以使得在刮削區域內較好控制深度變化。

【0209】　現在參考附圖，其中相同參考數字指代相同元件。為了清楚起見，參考數字之第一個數位指示第一次使用對應元件之附圖編號。在以

下描述中，提供許多特定細節以便全面理解本文揭示之實施例。然而，熟習此項技術者將認識到，可在沒有此等特定細節中之一或多者的情況下實踐實施例，或用其他方法、組件或材料實踐實施例。此外，在一些情況下，未展示或詳細描述熟知的結構、材料或操作以避免模糊本發明之態樣。此外，可在一或多個實施例中以任何適合方式組合所描述特徵、結構或特性。

【0210】 實施例可包括各種步驟，該等步驟可在藉由通用或專用電腦(或其他電子裝置)執行之機器可執行指令中實施。或者，步驟可藉由包括用於執行步驟之特定邏輯的硬體組件或藉由硬體、軟體及/或韌體之組合來執行。

【0211】 實施例亦可以電腦程式產品形式來提供，該產品包括上面儲存有指令的非暫時性機器可讀媒體，該等指令可用來程式化電腦(或其他電子裝置)來執行本文描述之過程。機器可讀媒體可包括但不限於硬碟機、軟式磁片、光碟、CD-ROM、DVD-ROM、ROM、RAM、EPROM、EEPROM、磁性或光學卡、固態記憶體裝置或適合於儲存電子指令之其他類型之媒體/電腦可讀媒體。

I. 簡介

【0212】 本揭示案描述 LDA 系統中所使用之 AOD 控制方法。此控制擴展 LDA 架構之能力以便針對較大刮削區域改良產出量，並且支援溝槽處理之高速操作。

【0213】 LDA 系統之能力係使用聲光偏轉器(AOD)以非常高的速度(>1 MHz)偏轉處理射束來提供雷射處理能力。在一些實施例中，AOD 在橫向方向上提供約 5-500 光點直徑之掃描場或射束偏轉範圍。在一些實施例

中，AOD 掃描場或射束偏轉範圍在橫向方向上係約 5-100 光點直徑。在一些實施例中，AOD 掃描場或射束偏轉範圍在橫向方向上係約 5-50 光點直徑。在一些實施例中，AOD 掃描場或射束偏轉範圍在橫向方向上係約 5-20 光點直徑。在一些實施例中，AOD 掃描場或射束偏轉範圍在橫向方向上具有約 500 光點直徑之最大距離。LDA 系統可例如在向量模式、光柵模式、向量模式及刮削模式下操作。

【0214】 在向量模式下，系統在工件中將溝槽作為「線」來處理。AOD 射束在正交於射束軌跡之軸上、沿著一維(1D)線顫化，來人為地加寬燒蝕溝槽。

【0215】 在光柵模式下，AOD 偏轉處理射束來處理在其處理場內之二維(2D)區域。此等光柵區域之空間及強度圖案大體上係任意的。此能力可用於例如產生溝槽之間的相交處，或產生諸如介層孔襯墊之特徵。

【0216】 在刮削模式下，可處理較大區域(超過 AOD 場大小)。此可藉由顫化加寬的線來執行。然而，使用特殊處理來避免仿形邊緣之過度像素化，並且提供傾斜通量輪廓以獲得良好重疊及相交品質。

【0217】 以下部分描述此等模式並且概述 LDA 系統之各種實施例之實行細節。

II. AOD 處理理論

【0218】 在一實施例中，LDA 系統藉由 AOD 子系統來操縱處理射束以產生各種尺寸之特徵。此部分描述此處理所依據的理論，從而產生系統架構。

A. 用於深度控制之中心通量標準化

【0219】 材料移除體積在名義上與通量(對於給定雷射功率位準而言)成比例，並且因此可控制通量來控制特徵深度。另外，藉由指定通量而非劑量，可消除特徵尺寸與通量之間的相互作用。當指定劑量時，顫化區域或光柵化區域中之所得通量取決於顫化點之數目及相對於處理光點大小之特徵尺寸，此係由於落在顫化網格區域外部之高斯光點能量分佈。可計算並補償此效應以消除此相互作用。系統自動地動態調整雷射功率以在溝槽或光柵區域之中心處保持指定通量，而與速度或顫化(或光柵)網格尺寸無關。因此，可改變系統之基本射束遞送設置(例如，光點大小、最小顫化(或光柵)光點重疊)而不影響過程校準結果。

1. 理論通量

【0220】 圖 1D 係例示處理光點 110 之網格 100 的示意圖，該網格可藉由顫化移動射束(例如，在向量模式下)或靜止光柵圖案(例如，在光柵模式下)來產生。處理光點 110 各自分別具有在同軸(OA)及橫軸(CA)中的 XY 光點間距 Doa 及 Dca。對於根據此實例之顫化射束而言，假定當射束在 Y 軸中移動(如藉由箭頭 112 指示)時，顫化圖案重複(例如，基本上永遠)。計算區域由分別在 OA 及 CA 軸中之 Noa 及 Nca 個點覆蓋。換言之，Nca 係橫軸方向中之點之數目。

i. 光柵通量

【0221】 假設雷射功率為 P，且每個點之 AOD 停留時間為 Taod，平均通量(每單位面積 A 之能量 E)由下式給出

通量 = E/A = P*Taod/(Dca*Doa)。

【0222】 此表達式適用於光柵處理，其藉由可預測的網格間隔來較好

地描述。在此情況下，可定義「通量尺度」來將通量轉換成功率：

通量尺度 = (Dca*Doa)/Taod，

然後，用於指定通量之光柵功率(以瓦為單位)可藉由下式來計算

功率 = 通量尺度*通量。

ii. 向量通量

【0223】 在顫化射束的情況下，由於可變速度及變化之顫化寬度，網格間隔並非恆定的。在此情況下，通量計算可在劑量方面來描述。給出

Doa = V*Nca*Taod 及

寬度 = Dca*(Nca - 1)，

則

通量 = P*Taod/(Dca*V*Nca*Taod)

= (P/V)/(寬度*Nca/(Nca-1))

= 劑量/EffectiveWidth，

其中

射束速度(例如，沿著圖 1D 示出之 Y 軸)=V，

劑量 = P/V，並且

EffectiveWidth = 寬度*Nca/(Nca-1) = Dca*Nca。

【0224】 此係有用之結果，因為其意謂(對於理想情況)可使用劑量及寬度(對於顫化線)或間隔及停留時間(對於光柵化區域)之熟知過程參數來對給定區域中之通量進行標準化。具有時變光點分佈之顫化特徵及任意光點分佈之光柵化特徵可組合，以便在將其相應通量等級標準化之後產生相交處。

【0225】　注意，只要劑量得到控制，就不需要在向量處理期間之顫化之細節(顫化點之數目 Nd、顫化間隔、速度)。此係有用的，因為 LDA 系統之射束控制架構依賴於能夠任意改變顫化間隔及速度。

iii. 邊緣效應

【0226】　當顫化圖案之尺寸相對於光點大小為較小時，上述通量模型偏離理論。在此等較小尺寸下，每個光點中之功率自網格 100「洩漏出去」並且減少網格區域之中心處之通量。此效應隨著網格尺寸及網格內之點之數目而變化。舉例而言，圖 2 圖形地表示根據一實施例的 EffectiveWidth (Weff) 之變化，該 EffectiveWidth 隨著相對網格寬度(藉由光點直徑 Dspot 來標準化)及跨網格寬度之顫化點之數目而變化。可預測並補償 EffectiveWidth 之此偏離。

【0227】　在圖 2 中，對於 0 與大約 1 之間的標準化網格寬度而言，頂部曲線對應於 6 個光點，下一個最高曲線對應於 5 個光點，下一個最高曲線對應於 4 個光點，下一個最高曲線對應於 3 個光點，並且最下部曲線對應於 2 個光點。

2. 通量標準化

【0228】　以上開發之方程計算雷射光點之任意網格之通量以使得分開處理之區域可藉由可預測的結果來組合。此「通量標準化」適用於形成具有不同寬度之溝槽，及特徵相交處。兩個實例對此進行例示。

【0229】　通量標準化之第一實例在圖 3、4、5 及 6 中例示。圖 3 圖形地例示根據一實施例的具有不同網格密度之兩個相交特徵之網格圖案。在圖 3 中，兩個特徵相交，每一特徵具有不同的顫化網格間隔。藉由圓圈來

表示用於該等特徵中之一者的處理光點，並且藉由加號(+)來表示用於另一個特徵之處理光點。對於相交處，此等圖案之一者可為例如溝槽，並且另一個圖案可為相交光柵圖案之一部分。注意，光點振幅斜降以產生相交斜率來提供對定位誤差之容限。圖 4 圖形地例示根據一實施例的在振幅標準化之後的相交特徵之模型化通量(未組合)。在圖 4 中，在根據網格之光點密度將每個網格之光點能量定標之後，模擬每個圖案上之通量。圖 5 圖形地例示根據一實施例的相交特徵之組合通量。在圖 5 中，兩個圖案之通量被組合以獲得相對平滑的相交。

【0230】 此方法對於此等有規則的矩形圖案較好地起作用。在諸如溝槽及圓形襯墊(常見的 LDA 相交處)之更複雜的相交處的情況下，襯墊圖案可包括「突出部」，其自襯墊網格延伸出去，到達矩形部分，然後可如上所述來處理該部分。舉例而言，圖 6 圖形地例示根據一實施例的具有突出部 612 之圓形襯墊 610 之光柵網格(右側)及通量輪廓(左側)。在圖 6 之實例中，突出部 612 具有約 50 μm 之長度，其可用於相交過渡。

【0231】 第二實例在圖 7 中示出，其圖形地例示根據一實施例的通量標準化對於具有不同寬度之溝槽的影響。在圖 7 中，圖表被組織成三行，其中頂部圖表例示顫化圖案，中間圖表例示對應的通量分佈，並且底部圖表例示對應的中心通量 710、712、714(即，隨著溝槽之寬度變化，相應溝槽之中心處之通量)。左側行示出沒有補償，中間行示出寬度補償，並且右側行示出非線性補償。在此實例中，當劑量僅藉由顫化網格寬度來定標時，隨著顫化寬度變窄，圖 2 示出之有效寬度之非線性仍然產生通量變化。相比之下，圖 7 示出當寬度變化時，施加非線性通量校正達成恆定通量。如

圖 7 中示出，當溝槽寬度變化時，沒有補償之中心通量 710 及具有基於寬度之線性補償的中心通量 712 變化。然而，在使用以上論述之非線性通量校正(例如，基於劑量及寬度參數，其中通量=P*Taod/(Dca*V*Nca*Taod))時，中心通量 714 保持恆定(即，曲線 714 保持於標準化值「1」)。

【0232】 在施加隨著顫化(或光柵)網格寬度而變化的通量線性校正之後，然後可施加恆定劑量(功率/速度)以便保持此通量，而與速度無關。因此，經向量處理之溝槽可在寬度及速度方面變化，同時保持中心通量恆定。

【0233】 通量線性補償可擴展至光柵化區域(例如，對於襯墊或其他較大特徵)之兩個尺寸。然而，此效應對於大於約 1.5*光點直徑之襯墊直徑而言係可忽略的。在某些實施例中，由於襯墊通常將滿足此直徑準則，其可能不需要通量補償。

3. 通量模型化之注意事項

【0234】 以上分析係理想化的。應提到若干注意事項，其可影響系統在產生具有受控深度變化之相交處方面的效能。

【0235】 材料具有處理臨限值，因此通量不一定線性組合來預測燒蝕材料之量。此意味著恆定劑量處理可能不產生一致結果，因為在恆定劑量下，當功率隨著速度增加時，處理臨界效應將會減小。

【0236】 光點失真(包括來自 AOD 偏轉之影響，尤其在較高偏轉速率下)將使通量場失真。

【0237】 溝槽末端上之通量非線性可能無法解決。通常，溝槽終止於與另一個溝槽之相交處(襯墊上之短柱，或光柵化相交處上之分支)。只要兩個相交溝槽在相交區域上具有通量之相同斜坡，則末端效應在名義上得以

消除。

B. 顫化抽象化

【0238】 基於此結果，顫化及光柵之過程可加以抽象化以涵蓋顫化之低階細節(例如，顫化點之數目及其定標)。此允許容易地修改系統架構或組件(例如，新 AOD 設計、不同光學佈局)而不影響使用者(或程式設計員)指定顫化及光柵處理之方式。軟體架構、機器校準及應用設置得以簡化。

【0239】 在形成相交處之過程中，應小心避免相交點處之通量(及由此深度)變化。在示例性實施例中，每個相交處係基於周圍溝槽尺寸來定製，並且針對每個類型之相交處來產生定製光柵圖案(例如使用 Matlab 或其他工具來預先離線計算)。此過程可針對生產機器來流線化。

【0240】 對於 LDA 系統，兩個目標可藉由將顫化物件及光柵化物件視為由顫化光點之網格組成來滿足，該網格藉由光點密度及尺寸界限來描述。藉此，可計算工件上之顫化或光柵化區域內之通量，並且可基於此等計算出的通量來產生相交光柵圖案。

1. 顫化圖

【0241】 由於相交處界定不需要顫化幾何形狀之細節，因此在向量處理期間之顫化之指定可抽象化成光點網格寬度及劑量。同軸(沿著速度向量)及橫軸之光點佈局不需要明確的定義。實際上，顫化圖將網格寬度轉換成低階顫化參數；例如，顫化點之數目 Nd 及顫化寬度定標因子 Kw。注意，暫時忽略「形狀」(Ks)之概念。

【0242】 本文所述之過程校準程序經由網格寬度及通量之介面來檢視顫化操作。根據某些實施例，Nd 及 Kw 之細節涵蓋於顫化圖中以避免過

程校準步驟中之複雜性。注意，若光點大小或 AOD 範圍改變，則顫化圖可變化。在某些實施例中，相同顫化圖用於過程校準及運行時間處理期間以便確保一致、校準的處理結果。

【0243】 在系統校準期間預設支援此處理之 AOD 顫化表。顫化圖涵蓋顫化參數之使用者介面，諸如過程校準、過程圖及定序器。顫化圖使用以下步驟來設定顫化表：

第一，在系統校準期間判定 AOD 偏轉尺度因子。

第二，基於 1:1 深度/寬度縱橫比之最小溝槽尺寸，設定系統校準資料中之有效光點直徑 Deff。此設定僅為對於設定 AOD 表(以便將間距設定為保守最大值)及通量線性化的準則。在某些實施例中，Deff 之值可能需要精確至~10-20%內。Deff 之較低值可用來確保重疊，但是其增加顫化點之數目並且可降低最大速度。

第三，初始化 32 個依序顫化表(例如，在現場可程式閘陣列(FPGA)內，如下論述)。顫化表中之每一者包括 1 至 32 個點，每個點具有 0.35*Deff 之間距。顫化表可覆蓋高達 10*Deff 之顫化範圍。此提供 Deff 定義之 10%容限，同時確保重疊的脈衝產生均勻的通量分佈。

C. 過程校準及映射

【0244】 在給出通量控制之典範的情況下，過程設置程序可在 LDA 系統中加以修改。在 LDA 系統之示例性實施例中，過程參數包括低階顫化參數(Kw，Ks)及劑量(功率/速度)，其標稱單位為焦耳/米(J/m)(但是實際劑量單位可為任意的)。LDA 系統藉由一致、校準之單位以及避免低階實行細節來簡化用於處理設置之使用者介面。

【0245】 LDA 系統中之材料處理可藉由兩個參數來定義：通量(J/cm^2)及顫化或光柵網格尺寸(對於向量及刮削處理為寬度，對於光柵化為 XY 光柵尺寸)。

1. 過程校準

【0246】 通量標準化適用於顫化(或光柵)特徵之中心區域。在特徵邊緣處之通量不易於標準化，因為其由高斯光點之尾部產生。因此，溝槽寬度隨著顫化網格寬度非線性地變化，並且在某些實施例中仍然得到校準。此係過程校準特徵之功能。對於給定材料，相同程序用來校準特徵深度對通量。

【0247】 表 1 例示根據一實施例的示例性過程校準測試矩陣。表 1 中的校準測試矩陣指定一系列通量等級及顫化網格寬度。在機器上自動處理一組特徵(一個特徵針對參數矩陣中之每個條目)，並且在外部計量工具上量測該組特徵。將特徵寬度及深度結果輸入至過程校準軟體，該軟體然後建立「過程表」資料庫，該資料庫用來自動選擇用來處理任何尺寸之特徵的過程參數(通量及網格寬度)。

[表 1]

		網格寬度(um)					
通量 (J/cm^2)		1	2	4	6	8	等 …
	0.2						
	0.4	深度及寬度結果					
	0.6						
	等 …						

2. 過程圖及材料表

【0248】 對於向量處理，溝槽尺寸(寬度及深度)經由過程圖來判定顫

化網格寬度及通量，該過程圖針對應用來填入材料表。過程圖基於自過程校準表供應之資料來執行此映射。表 2 例示根據一實施例的示例性材料表。注意，表 2 中之灰色條目係由過程圖輸入並且使用者不能對其進行修改。對過程參數之精細調整可用於進行過程測試或對過程進行微調。

[表 2]

特徵ID	向量(V)、光柵(R)、刮削(S)	寬度/直徑(um)	深度(um)	通量(J/m)	通量調整	網格寬度(um)	網格寬度調整	# Reps	Taod (usec)
1	V	25	20	1.0	0.98	5.0	0.92	NA	1
2	V	50	20	1.0	0.95	23.0	1.01	NA	1
3	R	120	20	1.0	1.01	NA	1.02	2	0.5
4	V	100	15	0.8	1.00	70.0	0.99	NA	1
3	S	50	10	0.5	1.02	25	1.0	NA	1
等...									

【0249】　當載入應用程式時，用應用程式中所包含之所有向量及刮削特徵(溝槽寬度及深度)及光柵特徵(襯墊直徑及深度)之尺寸來填入表 2。

【0250】　若需要，使用者可在表 2 中輸入微調調整。在某些實施例中，對於生產處理而言不建議此舉，但是可適用於過程測試及微調。若沒有過程校準表可利用，則可手動輸入表 2 條目。

【0251】　過程圖之功能係基於在過程校準期間收集之相對稀疏資訊來對所需表 2 條目進行內插。

III. 系統架構

【0252】　以下部分描述實行 AOD 操作之系統架構及組件之某些實施例。

A. 資料流及處理

【0253】　圖 8 係例示根據一實施例的用於命令 AOD 之簡化處理及資料流架構(在本文中亦稱為「AOD 處理架構」1000)的方塊圖。AOD 處理架

構 1000 包括系統控制電腦(SCC)1010，處理叢集 1012，AOD 前端板(AFEB)1014，AOD 驅動器 1016、1018，及 AOD 1020、1022。如以下詳細地論述，SCC 1010 預處理雷射處理應用以建構個別處理段及相關過程參數。SCC 1010 經由介面 1023(例如，在 200 kHz 資料速率下)將段資料發送至處理叢集 1012 之介面 1024。處理叢集 1012 包括數位信號處理器(DSP)1026 及現場可程式閘陣列(FPGA)1028。熟習此項技術者自本文中之揭示內容將理解，亦可使用其他類型之處理邏輯(例如，附加於或代替 DSP 1026 及/或 FPGA 1028)。

【0254】 DSP 1026 計算詳細射束軌跡及顫化參數(例如，在 1 MHz 資料速率下)。然後將此資料傳輸至 FPGA 1028。如以下詳細地論述，FPGA 1028 計算高速 AOD 命令(例如，高達 4 MHz 資料速率)，該等命令經由 SSP1 串列鏈接傳輸至 AFEB 1014。AFEB 1014 將 AOD 命令轉換成平行資料字，該等資料字被發送至 AOD 驅動器 1016、1018。AOD 驅動器 1016、1018 然後分別產生射頻(RF)驅動信號 1030、1032，該等信號操作 AOD 1020、1022 以經由 AOD 單元來控制光束偏轉(經由 RF 信號頻率)及振幅(經由 RF 信號振幅)。以下關於圖 8A、8B 及 8C 來論述 AOD 1020、1022 及其他光學元件之示例性操作。

【0255】 圖 8A 係根據一實施例的用於顫化雷射射束之系統 1040 的方塊圖，該系統包括 AOD 子系統 1042 及電流計子系統 1044。熟習此項技術者自本文中之揭示內容將認識到，可使用其他類型之定位子系統。舉例而言，定位子系統可使用 FSM。

【0256】 系統 1040 包括將處理射束 1048 提供至 AOD 子系統 1042 之

雷射源 1046。在一實施例中，雷射源 1046 包括脈衝雷射源以使得處理射束 1048 包含一系列雷射脈衝。在另一實施例中，雷射源 1046 包括連續波(CW)雷射源以使得處理射束 1048 包含 CW 雷射射束。在某些此類實施例中，AOD 子系統 1042 藉由使處理射束 1048 以離散的(「脈衝」)間隔偏轉而自 CW 雷射射束產生雷射脈衝。

【0257】 示例性雷射可包括光纖雷射、CO_2 雷射、銅蒸氣雷射、雷射二極體或其他類型之雷射中之一或多者。然而，應瞭解光源不一定為雷射。舉例而言，光源可為發光二極體(LED)或大功率燈。此等光源可為寬帶及光譜濾波帶或窄帶。

【0258】 在一些實施例中，雷射源 1046 使用固態二極體激升之雷射，其可被組配來在高達 5 MHz 之脈衝重複率下發射約 266 nm(UV)至約 1320 nm(IR)之波長。然而，可藉由替代或添加適當雷射、雷射光學器件、零件搬運設備及控制軟體來調適此等系統以在工件 1060 上可靠地且重複地產生所選擇的光點區域。此等修改准許雷射處理系統將具有適當雷射參數之雷射脈衝以雷射光點或脈衝之間的所要比率及間距引導至經適當定位且固持之工件 1060 上的所要位置，以產生具有所要顏色、對比度及/或光密度之所要光點區域。

【0259】 在一些實施例中，雷射微機械加工系統採用在 1064 nm 波長下操作之二極體激升之 $Nd:YVO_4$ 固態雷射(諸如，由 Lumera Laser GmbH (Coherent), Kaiserslautern, Germany 製造之模型 Rapid)。可視情況使用固態諧波頻率產生器來二倍頻此雷射以將波長減小至 532 nm，從而產生可見(綠色)雷射脈衝，或將此雷射三倍頻至約 355 nm 或四倍頻至約 266 nm，從而產生

紫外線(UV)雷射脈衝。此雷射經定額以產生 6 瓦之持續功率且具有 1000 KHz 之最大脈衝重複率。此雷射源與控制器協作產生具有約 10 ps 之持續時間的雷射脈衝。然而，可使用展現 1 飛秒(fs)至 1000 奈秒(ns)之脈衝寬度的其他雷射。

【0260】 如以上所論述，AOD 子系統 1042 將處理射束 1048 之一階射束 1049 以 AOD 偏轉角 1050 加以偏轉並且將處理射束 1048 之零階射束 1051 發送至射束收集器 1052。系統 1040 可進一步包括：固定反射鏡 1054，其用來將一階射束 1049 偏轉至電流計子系統 1044；及掃描透鏡 1056，其用來將雷射射束光點 1058 聚焦於工件 1060 上或其中。掃描透鏡 1056 之輸出可在本文中稱為聚焦雷射射束 1061。

【0261】 在一實施例中，AOD 子系統 1042 可包括用來在第一方向(例如，顫化方向)上提供來回偏轉之單一 AOD，而電流計子系統 1044 在沿著處理軌跡 1062 之第二方向上提供偏轉。在圖 8A 示出之實施例中，AOD 顫化光點之每個列(沿著 X 軸示出)垂直於處理軌跡 1062。然而，為了增加速度及多用性，圖 8A 所例示之實施例中之 AOD 子系統 1042 提供相對於工件 1060 之表面沿著 X 軸及 Y 軸之 2-D 偏轉。在此實例中，Y 軸可被稱為平行於處理軌跡 1062 並且 X 軸可被稱為垂直於處理軌跡 1062。因此，X 軸可被稱為顫化方向。處理軌跡 1062 可對應於例如系統 1040 在工件 1060 之表面中刻劃或切割溝槽 1064(例如，在電流計子系統 1044 控制下)之方向。

【0262】 為了提供所例示之 2-D 偏轉，AOD 子系統 1042 包括：第一 AOD 1020，其用來將一階射束 1049 在第一方向上偏轉；及第二 AOD 1022，其用來將一階射束 1049 在第二方向上偏轉，同時電流計子系統 1044 將射束

軸沿著處理軌跡 1062 移動。換言之，藉由 AOD 子系統 1042 提供之射束光點位置之移動疊加於藉由電流計子系統 1044 提供之射束光點位置之移動上。如圖 8A 中示出，電流計子系統 1044 亦可包括第一電流計反射鏡 1066 及第二電流計反射鏡 1067，其用來將一階射束 1049 將一階射束 1049 相對於工件 1060 之表面在 X 軸及 Y 軸方向上偏轉。

【0263】 AOD 偏轉之定向可能不與電流計子系統 1044 之偏轉軸對準。通常，坐標變換可應用於 AOD 偏轉命令以便將所得 AOD 偏轉與所要坐標框架對準。此坐標變換亦可隨著速度而變化，從而旋轉 AOD 偏轉坐標框架以便保持 AOD 射束偏轉垂直於藉由電流計子系統 1044 界定之處理軌跡。

【0264】 在 AOD 子系統 1042 包括於系統 1040 中的情況下，允許若干操作模式。在一實施例中，操作模式包括顫化處理射束 1048 以便有效地加寬工件 1060 處之雷射射束光點 1058 的能力。換言之，顫化處理射束 1048 包括空間定位一系列聚焦雷射射束光點 1068 以產生幾何特徵，該等特徵之尺寸大於藉由掃描透鏡 1056 聚焦之個別雷射射束光點 1058 之尺寸。出於示例性目的，圖 8A 示出當在處理軌跡 1062 之方向上處理溝槽 1064 時自工件 1060 之表面上方觀察之顫化雷射射束光點 1068。因此，舉例而言，在給定重複率下之一系列顫化雷射射束光點 1068 具有在較低脈衝重複率下在處理軌跡 1062 之方向上相繼施加之一系列較大直徑雷射射束光點的效果。

【0265】 在某些實施例中，AOD 1020、1022 可以大約為約 0.1 μs 至約 10 μs 之速率更新其相應聲場(用新的聲學波形來填充光學孔隙)。假設為約 1 μs 之示例性更新速率，處理射束之位置可快速更新以使得顫化雷射射

束光點 1068 中的若干個在處理期間重疊。顫化雷射射束光點 1068 可在垂直於處理軌跡 1062 之維度(例如，沿著 X 軸或顫化方向)上重疊以便加寬所處理的特徵(例如，溝槽 1064)。如圖 8A 中示出，顫化雷射射束光點 1068 亦可在處理軌跡 1062 之方向上重疊。為了保持顫化射束定向成垂直於處理軌跡 1062，根據某些實施例，可隨著處理軌跡 1062 之角度變化而不斷地調整顫化軸。另外，可調整顫化軸來彌補隨著處理軌跡速度而變化在顫化點之線上所賦予的角度。

【0266】 除了相對於工件 1060 之表面來顫化射束位置之外，或在其他實施例中，AOD 子系統 1042 可用來改變顫化軸中之強度輪廓。操縱沿著顫化軸之處理射束 1048 之強度輪廓允許對所處理溝槽 1064 之橫截面進行整形。舉例而言，溝槽 1064 可經處理而具有矩形、U 形或 V 形橫截面。對諸如側壁斜率之特徵進行整形可適用於諸如相交處形成之情況中。整形解析度可基於基本光點大小，並且整形強度輪廓可為顫化圖案(位置及強度)及光點強度輪廓(例如，高斯輪廓形狀或另一種輪廓形狀)之卷積。可對特徵進行整形，該整形例如係藉由使脈衝沿著顫化軸在某些位置處重疊(例如，可將兩個或兩個以上脈衝施加於同一位置處)來移除選定量之目標材料，及/或藉由隨著沿著顫化軸之偏轉位置而變化來調變雷射脈衝之功率振幅來進行。

【0267】 除了沿著顫化軸對特徵進行整形之外，或在其他實施例中，AOD 子系統 1042 可用於控制隨著沿著處理軌跡 1062 之位置而變化的功率以允許對所處理線性特徵之「端點」之類似整形。控制隨著沿著處理軌跡 1062 之位置而變化的功率亦可適用於諸如相交處形成之應用中。AOD 子系統 1042 之使用允許功率調變以非常高速度(例如，大約為幾微秒)發生，以

使得強度輪廓之精密控制(例如，其中特徵尺寸在約 5 μm 與約 50 μm 之間的範圍內)在較高處理速度(例如，在約 1 m/s 與約 5 m/s 之間的範圍內)下係可能的。

【0268】 除了使高斯射束偏轉之外，某些實施例亦可使藉由包括例如繞射光學元件(DOE)之傳統射束整形技術來整形的射束偏轉。舉例而言，圖 8B 係根據一實施例的射束整形系統 1070 之方塊圖。系統 1070 包括圖 8A 示出之 AOD 子系統 1042(具有第一 AOD 1020 及第二 AOD 1022)、零階射束收集器 1052 及反射鏡 1054。系統 1070 進一步包括用於射束整形之繞射光學元件(DOE)1072 及光學元件 1074(例如，成像光學器件、電流計反射鏡及掃描透鏡)。出於示例性目的，在一系列 AOD 偏轉角 1050 上展示圖 8B 中之一階射束 1049。在圖 8B 例示之實施例中，藉由 AOD 子系統 1042 偏轉之一階射束 1049 經由中繼透鏡 1076 被中繼至 DOE 1072(將射束之樞軸點成像於 DOE 1072 上)以便保持一階射束 1049 在 DOE 之孔隙上居中，不論 AOD 子系統 1042 所賦予之 AOD 偏轉角 1050 如何。然後，DOE 1072 可藉由賦予額外波前相位失真來對射束強度進行整形(如此等射束整形 DOE 之典型情況)。此方法在以下情況中可為有利的，其中較大的整形射束可偏轉並鄰接以形成具有例如正方形強度輪廓之更均勻的顫化通量輪廓。此方法在以下情況中亦可為有利的，其中較少數目個雷射脈衝足以形成所要特徵(舉例而言，在介電材料中鑽出之微介層孔)。在此情況下，相對於施加整形強度輪廓，光柵化施加高斯脈衝可能效率較低，但是高速 AOD 偏轉對於整形強度處理光點位置之高速控制可為合意的。對修改雷射光點區域之空間輻照輪廓之詳細說明可在 Corey Dunsky 等人之美國專利第 6,433,301 號中發現，該美國專

利讓渡給本申請案之受讓人且以引用方式併入本文中。

【0269】　在其他實施例中，類似的中繼透鏡組態可用來定製 AOD 偏轉射束在掃描透鏡處之偏轉。出於至少兩個原因，此可為合乎需要的。首先，可能需要將射束之樞軸點中繼至電流計掃描反射鏡(消除射束橫向偏轉)以便：(a)保持射束在電流計反射鏡及掃描透鏡之透明孔隙中居中以避免射束截割，及(b)避免射束自掃描透鏡入射光瞳之中心位移，因為此位移可在工作面處產生傾斜射束。其次，可能需要在掃描透鏡處賦予橫向射束偏轉以便有意地在工作面處產生射束斜率。在某些高斯雷射鑽孔應用中，傾斜射束可有利於在所處理特徵(舉例而言，微介層孔鑽穿)中產生更陡的側壁。

【0270】　圖 8C 係根據一實施例的提供傾斜處理射束 1082 之系統 1080 之方塊圖。系統 1080 包括圖 8A 示出之 AOD 子系統 1042(具有第一 AOD 1020 及第二 AOD 1022)、零階射束收集器 1052 及反射鏡 1054。系統 1080 進一步包括中繼透鏡 1076 及光學元件 1074(例如，成像光學器件、電流計反射鏡及掃描透鏡)。出於示例性目的，在一系列 AOD 偏轉角 1050 上展示圖 8C 中之一階射束 1049。如圖 8C 中示出，藉由正確地設計並間隔 1084 中繼透鏡 1076 與掃描透鏡(例如，圖 8A 示出之掃描透鏡 1056)，藉由 AOD 子系統 1042 偏轉之一階射束 1049 亦可橫向偏轉以在工件 1060 之表面處產生傾斜射束 1082。用於處理光點在工件 1060 處之給定偏轉的射束傾斜量可藉由以下來控制：(a)使用 AOD 1020、1022 來大體上產生工件 1060 處之橫向光點偏轉，並且改變中繼透鏡 1076 光學器件及與掃描透鏡(例如，掃描透鏡 1056)之間隔 1084，或(b)協調電流計(例如，圖 8A 示出之電流計 1066、1067)及 AOD 1020、1022 以使得可賦予掃描透鏡處之任意橫向射束偏轉(以及由此，工件

1060 處之任意射束斜率)，而與工件 1060 處之所要橫向光點偏轉無關。

【0271】　整形技術之進一步細節稍後加以更詳細論述並且亦可在 Mark A. Unrath 等人之美國專利公開案第 2012/0273472 號中發現，該案之內容以引用方式併入本文中。

【0272】　雖然射束顫化可非常有效且靈活地產生所要通量輪廓，但是顫化之替代(但是有時更具限制性的)方法包括藉由向 AOD 1020、1022 中之至少一者施加線性變頻波形來改變雷射射束光點 1058 之焦點，亦即，可藉由當雷射脈衝傳播穿過 AOD 時使施加至 AOD 之一或多個超聲換能器之 RF 信號線性變頻來驅動 AOD 1020、1022。使所施加 RF 信號線性變頻具有在離開 AOD 子系統 1042 之雷射脈衝之射束之焦距中產生變化的效果。在改變焦距後，遞送至工件 1060 之雷射脈衝之有效光點大小以對應的方式變化。焦距改變之程度可藉由以下來表徵：

$$F = \nu^2/(\lambda \cdot df/dt)。$$

其中 F 係藉由線性變頻產生之有效焦距，ν 係聲光(AO)單元內之聲速，λ 係雷射脈衝之波長並且 df/dt 係施加至超聲換能器之 RF 頻率之變化率。如將瞭解，焦距改變之方向(即，朝向或遠離工件 1060 係由 F 之正負號給出(即，可為正或負，取決於頻率是否經調變來隨時間增加或減小)。

【0273】　此外，使用線性變頻波形，聲波之瞬時頻率在穿過 AOD 晶體之光學處理射束 1048 內線性變化。聲波之瞬時頻率之線性變化具有向處理射束 1048 施加單軸(散光)聚焦項之效果，而非在離散步驟中使雷射射束光點 1058 位移。藉由向 AOD 1020、1022 施加線性變頻波形，根據某些實施例，雷射射束光點 1058 可對稱(或不對稱)地散焦，由此增加工件 1060 處

之光點大小。此方法可適用於例如較低重複率雷射之情況下，其中脈衝重複頻率可能不足夠高來提供脈衝在工件 1060 處之良好重疊以便在加寬溝槽 1064 時避免強度變化。線性變頻亦可用來在使用較低通量或脈衝能量之處理步驟期間使雷射射束光點散焦。舉例而言，雷射處理(例如，在形成於半導體晶圓上或其中之積體電路之間刻劃)可包括切穿上覆金屬(例如，銅)層之第一處理步驟，後續接著使用有所減少之通量來處理下伏介電層之第二處理步驟。代替使用雷射射束之兩次通過，一個實施例使用線性變頻來使雷射射束光點散焦，以使得可在單次通過中處理兩個層。線性變頻可在各個脈衝之間選擇性地控制或可施加至脈衝之群組。類似地，亦可控制脈衝之空間形狀。

【0274】 大體上，對於與穿過被雷射脈衝射束照射之孔隙的聲波之渡越時間相比較短的雷射脈衝而言，使所施加 RF 信號線性變頻較好地起作用。可能難以有效地改變藉由諸如 CW 或準 CW(QCW)雷射之雷射源 1046 產生的雷射脈衝射束之焦距，基本上因為此等雷射(實際上)在脈衝之間沒有雷射關閉時間，在此雷射關閉時間期間可將線性變頻頻率重設成開始值。因此，可更容易將線性變頻技術與離散脈衝雷射一起實行，以使得當雷射脈衝穿過 AOD 1020、1022 時，可正確地設置線性變頻掃描(圍繞用於光點定位之中心 AOD 頻率)。然而，若亦提供脈衝閘控單元，則線性變頻技術可與 CW 或 QCW 雷射一起使用。

【0275】 AOD 子系統 1042 可賦予射束軸移動之程度與所施加 RF 信號之頻率成比例。當所施加 RF 頻率線性變頻時，聲波頻率將在穿過 AO 單元之雷射脈衝之寬度(即，橫向於射束路徑來量測)上變化，並且射束路徑之

偏轉與渡越雷射脈衝之平均頻率成比例。平均頻率可正確地設置或校準以賦予射束軸之所要移動。然而，雷射脈衝及/或 AOD 控制信號時序之變化可導致此平均頻率之偏移，並且由此產生光點位置誤差(即，導致雷射脈衝被遞送至工件 1060 處之不同於所要光點位置的位置)。舉例而言，AOD 子系統 1042 可具有 150 μm 之掃描範圍(例如，在 30 MHz 頻寬內)。因此，每 MHz 之射束路徑偏轉量將為 150 μm/30 Mhz，或 5 μm/MHz。若所要線性變頻速率為 30 MHz/μs，則 10 ns 之時序變化將產生 1.5 μm 之射束路徑偏轉誤差(即，(5 μm/MHz)*(30 MHz/μs)*(10 ns))。

【0276】 雷射脈衝及/或 AOD 控制信號時序之變化通常由於以下因素而產生：控制器(因為其可以各種方式實施)內之電路或操作、驅動器之變化、雷射脈衝由雷射源 1046 產生等。在一些雷射源(諸如二極體脈衝式光纖雷射)中，輸入雷射觸發信號與最終產生之對應雷射脈衝之間的抖動可相對較低(<10 ns)。在其他雷射源(例如 Q 開關二極體激升雷射)1046 中，變化可較大(例如，歸因於內部 Q 開關活動及雷射空腔動態之隨機同步)。例如，典型 UV Q 開關雷射可在輸入雷射觸發信號與最終產生之對應雷射脈衝之間展現大約±15 ns 之時序不確定性。此外，典型 FPGA 可具有以 20 ns 時鐘週期運行之基本時鐘。因此，包括此 FPGA 之控制器(例如，FPGA 1028 AOD 控制器)將引入額外±10 ns 之時序不確定性。此等時序不確定性可導致最終遞送至工件 102 之雷射脈衝之定位誤差(即，雷射脈衝最終被遞送至之實際位置遠離所要處理光點之變化或偏差)。取決於在處理期間將要形成之特定特徵，此定位誤差可能重要或可能不重要。

【0277】 當實現 Z 高度補償時，上述定位誤差可為重要的。在此等

情況下，發至雷射源 1046 之觸發信號之輸出(例如，用於產生雷射脈衝)，發至 AOD 子系統 1042 之觸發信號之輸出(例如，用於施加一或多個線性變頻 RF 信號)，與雷射脈衝藉由雷射源 1046 之產生之間的同步化可加以改良。舉例而言，在雷射源 1046 依賴於內部時鐘來觸發雷射脈衝之輸出的一實施例中，內部時鐘可(例如，經由 PLL、閘控邏輯等)與起始發至 AOD 子系統 1042 之觸發信號之控制器的內部時鐘同步化。此外，產生線性變頻序列本身所涉及之任何時鐘(例如，藉由直接數位合成器(DDS)電路使用之時鐘等)可類似地同步化。此同步化可將時序不確定性減少至僅為歸因於隨機雷射空腔作用之時序不確定性。

【0278】 在一些實施例中，AOD 子系統 1042 可藉由在雷射脈衝渡越超聲換能器時向該等超聲換能器中之一或多者施加光譜整形 RF 信號來驅動。在此等實施例中，選擇所施加 RF 信號中之頻譜之形狀以改變離開 AOD 子系統 1042 之雷射脈衝之射束之 M2 因子(在此項技術中亦稱為「射束品質因子」或「射束傳播因子」)。在改變 M2 因子後，遞送至工件 1060 之雷射脈衝之有效光點大小以對應的方式變化。M2 因子可改變之程度對應於所施加 RF 信號中之頻譜之寬度(例如，與相對較窄頻譜相比，相對較寬頻譜對於 M2 因子具有更強影響)。大體上，對於與穿過被雷射脈衝射束照射之孔隙的聲波之渡越時間相比較長的雷射脈衝而言，對所施加 RF 信號之頻譜內容進行整形較好地起作用。

【0279】 在將具有徑向對稱、高斯空間強度輪廓之雷射脈衝遞送至工件 1060 之實施例中(並且假定藉由雷射源 1046 輸出之雷射脈衝具有高斯空間強度輪廓)，則所施加 RF 信號之頻譜亦可具有高斯形狀。因此，在一實

施例中，可施加之第一種類型之 RF 信號可表徵為時間域中之相對較窄信號尖峰(即，暗示所施加信號頻譜中之所有頻率之間的恆定或大體上恆定的相位)。此類型之信號有可能負面地影響 AOD 單元之總體繞射效率。因此，在另一實施例中，可施加的第二種類型之 RF 信號可表徵為相對平滑信號，看上去幾乎類似於單一頻率振盪(例如，其中一個振盪峰之振幅與每隔一個振盪峰之振幅大約相同的信號)。此 RF 信號可包括準週期信號。不同於有尖峰的 RF 信號，此等光譜整形 RF 信號可建構成不會顯著影響 AO 單元之繞射效率。

【0280】 合適的光譜整形 RF 信號可使用任何合適技術來產生。在一實施例中，光譜整形 RF 信號可藉由以下過程來產生，該過程包括：選擇所要中心頻率 ω_0 來設定調變射束之質心位置，選擇所要頻譜寬度 $\sigma\omega$ 來設定工件 1060 處之有效雷射脈衝光點大小，選擇所要頻率解析度 $r\omega$ 來設定將要驅動之離散頻率之間隔，以及將選定中心頻率 ω_0、頻譜寬度 $\sigma\omega$ 及頻率解析度 $r\omega$ 輸入至諸如 Gerchberg-Saxton 演算法之演算法，以便經由判定每個頻率所需要之相位來大致估計將要施加之 RF 信號之所要頻譜性質。在此實施例中，AOD 系統可被設計成使得入射於 AO 單元上之雷射脈衝之射束照射 AO 單元之相對較大數目個光柵週期(例如，在 100 MHz 之脈衝重複率下入射於石英 AO 單元上之 6 mm 射束大小照射超過 100 個週期)，從而針對大多數實際情況來達成高斯頻譜之合適近似。然後，可(例如，在控制器處)應用近似來產生將要施加至 AOD 子系統 1042 的一或多個合適光譜整形 RF 信號。藉由改變頻譜寬度 $\sigma\omega$(近似演算法之輸入)，可改變所施加 RF 信號之頻譜以改變所施加 RF 信號中之頻譜之寬度。此外，藉由改變

中心頻率 ωo(近似演算法之輸入)，可偏轉射束路徑。因此應瞭解，頻譜寬度 σω、中心頻率 ωo 及頻率解析度 rω 或其任何組合可共同或單獨地改變。

【0281】 雖然以上論述限於產生具有高斯整形頻譜之 RF 信號，但是應認識到本發明不限於此。舉例而言，可修改以上論述之技術來產生其他光譜整形 RF 信號(例如，具有矩形或「頂帽」頻譜形狀之 RF 信號)以便施加至 AOD 系統之一或多個換能器。當施加時，離開 AOD 系統之雷射脈衝之 M2 因子可以某種方式改變，該方式導致產生具有對應非高斯空間強度輪廓(例如，矩形「頂帽」空間強度輪廓)的雷射脈衝。

【0282】 關於光點大小變化、光點形狀變化、光點能量變化及高度控制補償之更多細節可在 Mar. Unrath 等人之美國臨時申請案第 62/271,446 號、第 62/216,102 號及第 62/241,624 號中發現，該等案之內容全部以引用方式併入。

B. 顫化架構

1. 基本顫化(或光柵)表架構

【0283】 圖 9 係表示根據一實施例的在 FPGA 1028 中實行之 AOD 控制資料流之方塊圖。應注意，顫化及光柵經常可互換使用。類似地執行顫化及光柵；然而，顫化係指一維射束偏轉，而光柵化係指二維偏轉。FPGA 1028 包括一或多個顫化表 1110，整形表 1112，線性化表 1114、1115，及潛時調整 1116。

【0284】 兩組顫化點載入於顫化表 1110 中。顫化表 1110 作為可無限地定址的循環緩衝器來操作。許多顫化表 1110 儲存於 FPGA 1028 中。每個

顫化表 1110 藉由位址及長度來識別。FPGA 1028 自動調整循環緩衝器定址以適應指定表長度。

【0285】 在光柵或顫化操作期間，藉由變換矩陣讀取並調節顫化表條目以定標並旋轉顫化(或光柵)圖案，由此產生發至兩個 AOD 通道之頻率命令。

【0286】 將一對額外頻率偏移添加至經變換之顫化命令，從而提供標稱命令向量，關於該向量施加顫化命令。

【0287】 該組線性化表 1114、1115 基於 AOD 頻率命令來產生 AOD 振幅命令。

【0288】 以下定義亦針對圖 9 來提供。

【0289】 F0：AOD 頻率命令，軸 0。

【0290】 F1：AOD 頻率命令，軸 1。

【0291】 Fnom：零度偏轉之標稱 AOD 頻率命令。

【0292】 Fd[1..Nd]：一組偏轉頻率，其包含如上所述之「顫化表」1110。

【0293】 Nd：偏轉頻率點之數目(例如，顫化點之數目)。

【0294】 Kw：顫化寬度定標因子。Kw = 0 代表沒有顫化(標稱處理射束)。

【0295】 Kp：功率命令尺度因子。

【0296】 Ks：強度整形因子。

【0297】 Atten：衰減命令。

2. FPGA 介面

【0298】　每次 Tcmd 更新(例如，1 μsec)，自 DSP 1026 傳輸資料至 FPGA 1028。

3. DSP/FPGA 同步化

【0299】　在處理期間，DSP 1026 將資料連續地串流傳輸至 FPGA 1028，並且 FPGA 1028 同步化其資料傳輸與 AOD 控制執行。此可使用以下序列來進行，假定為 1 μsec 之示例性更新時間(Tcmd)。圖 10 例示此時序。

【0300】　圖 10 係例示根據一實施例的 DSP 與 FPGA 之示例性同步之時序圖。如圖 10 中示出，DSP 1026 將十組控制資料(足夠用於兩個 5 μsec DSP 循環)寫入 1210 至 FPGA 1028。DSP 1026 在 FPGA 1028 中設定 1212「Synch」暫存器以通知其資料準備好用於處理。FPGA 1028 在下一個 5 μsec DSP 中斷 1216 處開始資料處理 1214，如藉由虛線 1218 指示。(FPGA 1028 及 DSP 1026 接收同一中斷)。在每個 DSP 循環期間，DSP 1026 將新資料載入 1220 至 FPGA 1028。FPGA 1028 基於先進先出(FIFO)來處理此資料。電流計命令資料係在每個 DSP 循環期間計算出，但是在下一個 DSP 循環處施加至電流計控制器。因此，電流計 1066、1067 及 AOD 1020、1022 共用同一時序參考。DSP 1026 使 AOD 命令資料相對於電流計命令資料延遲，以便考慮到電流計與 AOD 控制之間的各種信號處理延遲。此延遲併入針對最初資料傳輸(在 1210 處示出)與開始 FPGA 1028 之資料執行(在 1214 處示出)之間的兩個循環延遲之調整。

4. 內傾參數

【0301】　圖 9 未展示的一個參數係「內傾」參數(Kb)，其可包括於 LDA 系統顫化定義中。此參數用來改變跨顫化射束之寬度所施加之功率以

考慮到弧形之內部邊緣與外部邊緣之間的速度差異(如同內傾的跑道轉彎)。此舉藉由向隨著顫化位置而變化之顫化振幅施加額外定標因子來進行，類似於在某些實施例中所使用之「形狀」參數。

【0302】 圖 11 係例示根據一實施例的使用內傾之處理狀況之示意圖。圖 11 例示較寬弧形 1310。較寬弧形 1310 包括相對較小平均半徑 R，其內部弧長 Ri 與外部弧長 Ro 之比率可顯著不同於 1，從而導致跨溝槽寬度 W 之通量變化。

【0303】 將平均半徑 R 與特徵寬度 W 之比率定義為內傾比率

Rb = R/W。

【0304】 則外部速度與內部速度之比率為

Vo/Vi = (2*Rb + 1)/(2*Rb － 1)。

【0305】 為了調整跨顫化寬度之雷射功率，「內傾參數」Kb 定義隨著顫化位置而變化之功率定標之變化。圖 12 圖形地例示根據一實施例的示例性內傾參數定標。內傾參數 Kb 在-1 與+1 之間變化，並且可定義為

Kb = (Kstart-Kend)/2，

其中

Kstart=在顫化循環開始時之內傾振幅定標，並且

Kend=在顫化循環結束時之內傾振幅定標。

內傾參數藉由以下關係與內傾比率相關

Kb = 1/(2*Rb)。

【0306】 對於 Kb=0，定標因子在顫化範圍內為 1(沒有影響)。在極端(|Kb|=1)處，顫化範圍之一個末端按比例縮小至零並且另一個末端放大 2x。

當處理典型弧形時，Kb 可設定為中間值(例如，小於約 0.5)。

【0307】　顫化範圍之中心(亦即，顫化射束之中心線)處之內傾定標不受影響。因此中心線功率(Pnom)保持不變，而內部邊緣功率衰減(以補償較低射束速度)並且外部邊緣功率(Pouter)放大(以補償較高射束速度)：

Pouter = Pnom* (1+Kb)。

【0308】　在某些實施例中，LDA 設計規則闡明比率 R/W 應限於大於約 2.0 以便保持合理的速度比率及功率定標。在處理期間，檢查放大的功率以證實其不超過最大可用功率。設定弧形中之速度以確保放大的功率不超過最大可用功率。由於三級剖析能力，此速度降低可在弧形段之末端處即時發生。

5. 示例性顫化操作

在圖 13、14 及表 3 中，簡單實例例示顫化之時序及命令更新。圖 13 圖形地例示根據示例性顫化操作的示例性 XY 射束位置。圖 14 圖形地例示根據圖 13 示出之示例性顫化操作的示例性 X 及 Y 射束位置對時間。表 3 例示圖 13 及 14 示出之示例性顫化操作的示例性射束位置及過程參數之表。在此實例中，Taod = Tcmd = 1 μsec。使用一個顫化表(Nd=5，Td=5 μsec)來切割初始溝槽。在切割開始時改變劑量(Kd)。在弧形期間修改內傾參數(Kb)以使在曲線之內部及外部邊緣上之通量標準化。

109 年 6 月 22 日修正替換頁

【0309】　在此實例中，溝槽包括溝槽寬度開始增加之過渡段 1510。在此實例中，過渡段 1510 包括第十三及第十四顫化列。然而，在其他實施例中，可使用不同數目個顫化列(例如，過渡區中可使用四個、五個、六個

[表 3]

每個Tcmd週期更新一次

每個顫化列更新一次

處理段

Seg#	顫化列	時間 (usec)	原始 顫化 Xc (um)	原始 顫化 Yc (um)	座標 顫化 (um)	座標 顫化 (um)	Kw	Kd	Kb	Ks
1	1	0	-241.6	205.0	-20	-20	1	0	0	0
1	1	1	-243.0	203.6	-10	-10	1	0	0	0
1	1	2	-244.4	202.2	0	0	1	0	0	0
1	1	3	-245.9	200.8	10	10	1	0	0	0
1	1	4	-247.3	199.3	20	20	1	0	0	0
1	2	5	-248.7	197.9	-20	-20	1	0.25	0	0
1	2	6	-250.1	196.5	-10	-10	1	0.25	0	0
1	2	7	-251.5	195.1	0	0	1	0.25	0	0
1	2	8	-252.9	193.7	10	10	1	0.25	0	0
1	2	9	-254.3	192.3	20	20	1	0.25	0	0
1	3	10	-255.7	190.9	-20	-20	1	0.5	0	0
1	3	11	-257.1	189.4	-10	-10	1	0.5	0	0
1	3	12	-258.5	188.0	0	0	1	0.5	0	0
1	3	13	-259.9	186.6	10	10	1	0.5	0	0
1	3	14	-261.3	185.2	20	20	1	0.5	0	0
1	4	15	-262.7	183.8	-20	-20	1	0.75	0	0
1	4	16	-264.1	182.4	-10	-10	1	0.75	0	0
1	4	17	-265.5	180.9	0	0	1	0.75	0	0
1	4	18	-266.9	179.5	10	10	1	0.75	0	0
1	4	19	-268.2	178.0	20	20	1	0.75	0	0
2	5	20	-269.5	176.4	-20	-20	1	1	0.5	0
2	5	21	-270.7	174.8	-10	-10	1	1	0.5	0
2	5	22	-271.8	173.2	0	0	1	1	0.5	0
2	5	23	-272.9	171.5	10	10	1	1	0.5	0
2	5	24	-273.9	169.8	20	20	1	1	0.5	0
2	6	25	-274.8	168.0	-20	-20	1	1	0.5	0
2	6	26	-275.7	166.2	-10	-10	1	1	0.5	0
2	6	27	-276.5	164.4	0	0	1	1	0.5	0
2	6	28	-277.2	162.5	10	10	1	1	0.5	0
2	6	29	-277.9	160.6	20	20	1	1	0.5	0
2	7	30	-278.4	158.7	-20	-20	1	1	0.5	0
2	7	31	-279.0	156.8	-10	-10	1	1	0.5	0
2	7	32	-279.4	154.8	0	0	1	1	0.5	0
2	7	33	-279.7	152.9	10	10	1	1	0.5	0
2	7	34	-280.0	150.9	20	20	1	1	0.5	0
3	8	35	-280.2	148.9	-20	-20	1	1	0	0
3	8	36	-280.3	146.9	-10	-10	1	1	0	0
3	8	37	-280.4	144.9	0	0	1	1	0	0
3	8	38	-280.4	142.9	10	10	1	1	0	0
3	8	39	-280.4	140.9	20	20	1	1	0	0
3	9	40	-280.4	138.9	-20	-20	1	1	0	0
3	9	41	-280.4	136.9	-10	-10	1	1	0	0
3	9	42	-280.4	134.9	0	0	1	1	0	0
3	9	43	-280.4	132.9	10	10	1	1	0	0
3	9	44	-280.4	130.9	20		1	1	0	0
3	10	45	-280.4	128.9	-20	-20	1	1	0	0
3	10	46	-280.4	126.9	-10	-10	1	1	0	0
3	10	47	-280.4	124.9	0	0	1	1	0	0
3	10	48	-280.4	122.9	10	10	1	1	0	0
3	10	49	-280.4	120.9	20	20	1	1	0	0

Seg#	顫化列	時間 (usec)	原始 顫化 Xc (um)	原始 顫化 Yc (um)	座標 顫化 (um)	座標 顫化 (um)	Kw	Kd	Kb	Ks
3	11	50	-280.4	118.9	-20	-20	1	1	0	0
3	11	51	-280.4	116.9	-10	-10	1	1	0	0
3	11	52	-280.4	114.9	0	0	1	1	0	0
3	11	53	-280.4	112.9	10	10	1	1	0	0
3	11	54	-280.4	110.9	20	20	1	1	0	0
3	12	55	-280.4	108.9	-20	-20	1	1	0	0
3	12	56	-280.4	106.9	-10	-10	1	1	0	0
3	12	57	-280.4	104.9	0	0	1	1	0	0
3	12	58	-280.4	102.9	10	10	1	1	0	0
3	12	59	-280.4	100.9	20	20	1	1	0	0
4	13	60	-280.4	98.9	-30	-22.8	0.76	1.06	0	0
4	13	61	-280.4	96.9	-20	-15.2	0.76	1.06	0	0
4	13	62	-280.4	94.9	-10	-7.6	0.76	1.06	0	0
4	13	63	-280.4	92.9	0	0.0	0.76	1.06	0	0
4	13	64	-280.4	90.9	10	7.6	0.76	1.06	0	0
4	13	65	-280.4	88.9	20	15.2	0.76	1.06	0	0
4	13	66	-280.4	86.9	30	22.8	0.76	1.06	0	0
4	14	67	-280.4	84.9	-30	-26.1	0.87	1.22	0	0
4	14	68	-280.4	83.0	-20	-17.4	0.87	1.22	0	0
4	14	69	-280.4	81.0	-10	-8.7	0.87	1.22	0	0
4	14	70	-280.4	79.0	0	0.0	0.87	1.22	0	0
4	14	71	-280.4	77.0	10	8.7	0.87	1.22	0	0
4	14	72	-280.4	75.0	20	17.4	0.87	1.22	0	0
4	14	73	-280.4	73.0	30	26.1	0.87	1.22	0	0
5	15	74	-280.4	71.0	-30	-30.0	1	1.4	0	0
5	15	75	-280.4	69.0	-20	-20.0	1	1.4	0	0
5	15	76	-280.4	67.0	-10	-10.0	1	1.4	0	0
5	15	77	-280.4	65.0	0	0.0	1	1.4	0	0
5	15	78	-280.4	63.0	10	10.0	1	1.4	0	0
5	15	79	-280.4	61.0	20	20.0	1	1.4	0	0
5	15	80	-280.4	59.0	30	30.0	1	1.4	0	0
5	16	81	-280.4	57.0	-30	-30.0	1	1.4	0	0
5	16	82	-280.4	55.0	-20	-20.0	1	1.4	0	0
5	16	83	-280.4	53.0	-10	-10.0	1	1.4	0	0
5	16	84	-280.4	51.0	0	0.0	1	1.4	0	0
5	16	85	-280.4	49.0	10	10.0	1	1.4	0	0
5	16	86	-280.4	47.0	20	20.0	1	1.4	0	0
5	17	87	-280.4	45.0	30	30.0	1	1.4	0	0
5	17	88	-280.4	43.0	-30	-30	1	1.4	0	0
5	17	89	-280.4	41.0	-20	-20	1	1.4	0	0
5	17	90	-280.4	39.0	-10	-10	1	1.4	0	0
5	17	91	-280.4	37.0	0	0	1	1.4	0	0
5	17	92	-280.4	35.0	10	10	1	1.4	0	0
5	17	93	-280.4	33.0	20	20	1	1.4	0	0
5	17	94	-280.4	31.0	30	30	1	1.4	0	0
5	18	95	-280.4	29.0	-30	-30	1	1.4	0	0
5	18	96	-280.4	27.0	-20	-20	1	1.4	0	0
5	18	97	-280.4	25.0	-10	-10	1	1.4	0	0
5	18	98	-280.4	23.0	0	0	1	1.4	0	0
5	18	99	-280.4	21.0	10	10	1	1.4	0	0
5	18	100	-280.4	19.0	20	20	1	1.4	0	0
5	18	101	-280.4	17.0	30	30	1	1.4	0	0

5個顫化點

過渡段 1510

7個顫化點

或更多個顫化列)。最初(例如，在第十三列開始)將較大顫化表(Nd=7)壓縮(Kw<1)以匹配先前段。然後，Kw 在兩個顫化列內增加，一直到 Kw=1(全部寬度)。換言之，如表 3 中示出，在第十三顫化列中 Kw=0.76，在第十四顫化列中 Kw=0.87，並且在第十五顫化列中 Kw=1。

【0310】 隨著寬度參數變化，亦修改劑量(Kd)。當壓縮顫化間隔時(例如，新顫化表之開頭在第十三顫化列開始)，劑量減少以便考慮到較大脈衝重疊。換言之，在 Nd=7 之過渡段 1510 之外，Kd=1.4。然而，在過渡段內(其中顫化表首先自 Nd=5 變化至 Nd=7)，Kd 在第十三顫化列中減少至 1.06。然後，Kd 在第十四顫化列中增加至 1.22，然後在第十五顫化列中再次增加至 1.4。

【0311】 形狀在此實例中保持恆定，但是通常其可能以類似於 Kd、Kw 及 Kb 之方式變化。對於一實施例中之 LDA 系統，將形狀忽略。

【0312】 注意，對於每個顫化列，過程參數(Kw、Kd、Kb 及 Ks)及顫化表選擇(Nd)保持恆定。如較早指出，FPGA 1028 強制實施此參數更新時序；DSP 1026 可提供所有過程參數之定期更新並且在適當時允許 FPGA 1028 應用過程參數。

C. AOD 坐標框架及校準

【0313】 AOD 射束偏轉與電流計射束偏轉協作來起作用以便產生最後工作面射束位置。AOD 偏轉之校準，及其在三級定位、顫化及光柵化期間與電流計射束偏轉之相互作用適用於保持局部重複性(例如，以便支援相交處形成)，並且控制顫化及光柵化特徵尺寸。

【0314】 在一實施例中，在處理射束進入掃描透鏡 1056 之前，AOD

子系統 1042 及電流計反射鏡 1066、1067 各自使處理射束角度偏轉。將任何 AOD 射束角度偏轉添加至電流計 1066、1067 之射束角度偏轉，並且因此 AOD 偏轉命令可被視為等效於電流計「原始」命令，其為「射束角度」坐標。AOD 偏轉命令可被視為添加至電流計 1066、1067 之「射束角度」命令的「射束角度」命令。在某些實施例中，僅在定標並旋轉 AOD 射束偏轉坐標框架以匹配電流計坐標框架(如藉由圖 35 所描述)之後，此才可為真實的，因為光學器件串佈局可在此等兩個軸之間產生旋轉，並且 AOD 偏轉器 1020、1022 具有獨特的尺度因子。

【0315】 存在由於虛擬 AOD 偏轉樞軸點自電流計反射鏡 1066、1067 位移而導致的二階效應。當 AOD 1020、1022 偏轉射束時，橫向射束位置在透鏡入射光瞳內稍微偏移，從而產生較小額外失真。預期為亞微米的此誤差在某些實施例中可忽略。

【0316】 在考慮三級剖析、顫化及光柵操作時，藉由 AOD 1020、1022 施加之此「漸增角度」概念係有用的，說明為了滿足系統效能目標，需要進行所需的校準及運行時間校正。

1. AOD 變換

【0317】 在某些實施例中，經由 AOD 處理類型所特有的坐標變換來得出發至 AOD 子系統 1042 之命令信號。以下論述涉及若干坐標系統。「理想」坐標係經校準的工作面坐標。此等坐標可藉由 XY 級段之玻璃網格校準來界定。用語「所要」或「標稱」可在本文中代替「理想」來使用。「原始電流計」坐標用來命令電流計伺服迴路。「原始 AOD」坐標用來命令 AOD 通道。

【0318】 在本文中提及以下變換：TMframe、TMfield、TMdither 及 TMaod。TMframe 將原始電流計坐標變換成原始 AOD 坐標。藉由將 TMframe 應用於一組漸增原始電流計坐標(圍繞標稱電流計位置偏離)所形成的 AOD 命令產生 AOD 射束偏轉，其與圍繞此標稱位置之漸增電流計偏轉在光學上相同。因此，在將 TMframe 應用於原始電流計命令之後，AOD 變成「虛擬電流計」。此變換對於給定光學器件佈局係固定的，並且不隨著玻璃網格校準而變化。經由 AOD 位置校準常式來計算此變換。

【0319】 TMfield 係局部掃描場失真變換。其將一組漸增理想(或所要)坐標(圍繞掃描場中之某一標稱位置偏離)變換成漸增原始電流計坐標。使用「正向」(理想至原始電流計)及「反向」(原始電流計至理想)。此變換隨著掃描場位置而變化。其隨著玻璃網格校準而變化，因為此校準界定理想坐標框架。TMfield 可自電流計校準資料計算出。

【0320】 TMdither 係自 SCC 1010 傳遞至 DSP 1026 之一組變換項，其用於在向量處理期間計算 TMaod。TMdither 係由 SCC 1010 針對每個向量或刮削處理段來計算，並且隨著掃描場位置及射束速度而變化。

【0321】 TMaod 係 FPGA 1028 內部旋轉並定標儲存於顫化/光柵表中之理想 AOD 資料的變換。在向量或刮削處理中，此保持理想顫化向量垂直於理想軌跡向量。在光柵處理中，此定標並對準相交處處理或一般光柵圖案形成所需要的二維光柵資料。在向量或刮削處理期間，此變換係由 DSP 基於射束軌跡速度向量及 TMdither 變換來即時計算。TMaod 變換係由 SCC 1010 在光柵處理期間計算一次。

2. 掃描透鏡場失真

【0322】 關於坐標框架及校準方程之問題來源於由掃描透鏡 1056 及電流計反射鏡射束遞送系統所產生的場失真。在理想掃描透鏡中，使入射射束之角度偏轉以產生工作面處之光點位移。對於較好設計的遠心掃描透鏡(「F-θ」透鏡)，若射束圍繞透鏡入射光瞳之中心樞轉，則光點位移與射束角度成比例，並且不需要校準。然而，將電流計反射鏡 1066、1067 封裝於入射光瞳處之實體限制條件阻止射束精確地圍繞理想點樞轉；一些射束平移在射束偏轉期間發生。此產生掃描場失真圖案，如圖 15 中示出。

【0323】 圖 15 圖形地例示示例性實施例中之掃描場失真圖案，其中 LDA 系統包括 F/18 100 mm 掃描場透鏡。在典型雷射處理系統中，對此失真圖案進行映射以使得校正項可應用於射束定位器，由此產生工作面處之(標稱)無失真圖案。此校準變換之輸出係射束定位器之「原始」坐標框架中之命令，其等效於在電流計 1066、1067 的情況下之反射鏡角度命令。在 LDA 電流計控制器子系統內，施加標稱尺度因子(例如，2*透鏡焦距)，從而產生以工作面 μm 為單位之原始命令。在使用 FSM 定位系統之實施例中，與電流計之失真相比，定位於掃描場透鏡之入射光瞳處之 FSM 將具有相對極少失真要加以校正。

【0324】 注意，在系統上量測之實際場失真係光學器件串(電流計區塊+掃描透鏡)中之幾何失真與電流計定位器誤差(偏移、尺度因子、非線性)之組合。光學器件場失真項係電流計偏轉及 AOD 偏轉所共有的，並且可施加相同校正項。然而，電流計 1066、1067 本身中之任何校準誤差(角度相依性線性誤差及尺度因子(SF)漂移)亦包括於掃描場校準項中，並且在應用於 AOD 偏轉時產生校準誤差。然而，在尺度因子(SF)非線性誤差及溫度漂移

<0.1%的情況下，此電流計誤差較小，其可導致對於 100 μm 之三級 AOD 偏轉，在電流計偏轉與 AOD 偏轉之間的不匹配為<0.1 μm。然而，電流計 1066、1067 上之標稱尺度因子容限可較大(例如，20%)，其影響校準程序，如下所述。

【0325】 掃描場失真圖案產生隨著掃描場位置而變化之局部失真。舉例而言，圖 16 圖形地例示根據示例性實施例的 X 及 Y 掃描場失真誤差(err)對 X 及 Y 場位置。圖 17 圖形地例示根據圖 16 示出之示例性實施例的 X 及 Y 掃描場失真尺度因子(SF)及旋轉誤差對 X 及 Y 場位置。圖 18 圖形地例示根據圖 16 及 20 示出之實例的光柵化特徵之示例性局部位置幾何校正(PGC)失真。隨著 XY 場位置而變化之 X 及 Y 誤差之斜率可作為局部尺度因子及旋轉誤差來處理，例如，PGC 失真項。若此等誤差足夠大，則局部 PGC 失真可在光柵圖案中產生不可接受的誤差。舉例而言，考慮定位於(-50 mm，-50 mm)場位置中之 200x200 μm 光柵圖案。局部 PGC 失真(自圖 17 獲取)將產生圖 18 示出之失真圖案。歸因於較大旋轉誤差，X 誤差在圖案隅角處達到 5 μm，其可足夠大以在相交處形成中產生不可接受的深度變化。

【0326】 掃描場失真圖案以至少三種方式影響 LDA 射束定位器：在所有模式期間，當三級剖析界定 AOD 及電流計命令來產生標稱射束軌跡時；在向量或刮削模式期間，當定標並旋轉 AOD 顫化命令時；以及在光柵模式期間，當潛在較大光柵區域可能失真時。

3. 在三級剖析期間之 AOD 校準校正

【0327】 圖 19 示意性地例示根據一實施例的三級剖析子系統 2200。在三級剖析中，在電流計子系統 1044 與 AOD 子系統 1042 之間劃分射束定

位。三級剖析係指使用 AOD 子系統 1042 作為三級定位器(例如，除了 XY 級段及電流計子系統 1044 之外)。示例性雷射射束三級定位器描述於美國專利第 6,706,999 號中，該案讓渡給本揭示案之受讓人，並且全部以引用形式併入本文中。如本文所揭示之使用 AOD 子系統 1042 的三級剖析允許高速剖析射束路徑(例如，使用約 1 μs 之更新來提供時序解析度)，其中在離散時序邊界上發出 AOD 命令。三級剖析子系統 2200 包括剖析濾波器 2204、延遲元件 2206 及減法器 2208。

【0328】 圖 19 例示對應於需要在工件中切割出之溝槽的示例性射束輪廓 2210(亦可在本文中稱為示例性「射束命令」)。示例性射束輪廓 2210 包括可能難以使用電流計子系統 1044 來高速追蹤的急轉彎。在通過掃描場校準變換 2203 之後，將示例性射束輪廓 2210 提供至三級濾波器 2205，三級濾波器 2205 包括剖析濾波器 2204 及延遲元件 2206。剖析濾波器 2204 包含低通濾波器，其過濾掉電流計子系統 1044 可能難以追蹤的高頻內容。剖析濾波器 2204 之輸出可用作電流計命令(電流計控制信號)，如位置輪廓 2212 所示出。圖 19 例示位置輪廓 2212 之放大部分 2213，放大部分 2213 示出相對於藉由電流計子系統 1044 提供之實際位置 2218 的所命令位置 2216。AOD 子系統 1042 用來校正所命令位置 2216 與實際位置 2218 之間的差異。

【0329】 在一實施例中，剖析濾波器 2204 包含無限脈衝回應(IIR)濾波器。在另一實施例中，剖析濾波器 2204 包含有限脈衝回應(FIR)濾波器。對於任何頻率範圍中之信號，FIR 濾波器自然地具有恆定延遲。然而，熟習此項技術者自本文中之揭示內容將認識到亦可使用其他類型之濾波器。延遲元件 2206 延遲示例性射束輪廓 2210，延遲的量與藉由剖析濾波器 2204

引入之延遲量大約相同。減法器 2208 自延遲元件 2206 之輸出減去剖析濾波器 2204 之輸出以獲得自電流計命令移除之高頻內容。然後，藉由減法器 2208 輸出之高頻內容可用作控制 AOD 子系統 1042 之 AOD 命令信號。圖 19 例示示例性 AOD 位置命令輪廓 2214。雖然未展示，但是可在位置命令輪廓 2214 上使用差異來計算對應的速度及加速度命令輪廓。

【0330】　示例性射束命令 2210 係在應用面板對準變換之後，工作面上之射束在「所要」坐標中的所要軌跡。如以上所論述，將示例性射束輪廓 2210 提供(作為所命令射束位置信號)至掃描場校準變換 2203。將資料濾波以將軌跡劃分成低頻及高頻分量，從而允許 AOD 子系統 1042 追蹤高頻、低振幅命令，並且將頻寬有限的、較大振幅命令傳遞至電流計子系統 1044。應用掃描場校準變換 2203 產生「原始電流計」坐標。由於此發生在藉由三級濾波器 2205 劃分命令之前，因此三級濾波器 2205 之輸出係電流計分量及 AOD 分量，其中每一者在相同原始電流計坐標中。

【0331】　若將 AOD 子系統 1042 校準以使射束在原始電流計坐標框架中偏轉，則對於 AOD 三級位移不需要進一步掃描場校準變換。此為有用的，因為其意味著不需要局部 AOD 場失真校正。換言之，在應用掃描場校準變換 2203 時，已經考慮到掃描場失真效應。

【0332】　此方法之另一個解釋為，三級剖析濾波器使電流計命令在原始電流計坐標中自所要命令發生位移。AOD 子系統 1042 僅提供補償位移來補足此電流計射束角度位移。

【0333】　然後，將「原始電流計」坐標中之 AOD 命令輸出變換(定標及旋轉)以產生「原始 AOD」偏轉命令。此變換被稱為「TMtert」變換。

【0334】　至少出於兩個原因，TMtert 變換保持與用來修改顫化之 TMaod 變換(在圖 9 中示出)分離。首先，TMtert 內部之定標不能在顫化期間使用，因為其對於 AOD 及電流計 SF 進行校正，並且由此不適用於與電流計運動無關的顫化過程。其次，TMtert 中之旋轉項係固定的並且與速度向量角度無關，與隨著軌跡角度而變化的 TMaod 顫化變換(在 FPGA 1028 內部應用)形成對照。因此，在將 AOD 軌跡資料傳輸至 FPGA 1028 之前，將 TMtert 變換應用於 AOD 軌跡資料，並且此資料不再受 TMaod 影響。

【0335】　將 TMtert 變換應用於「原始電流計」坐標亦提供將 AOD 誤差校正項添加至三級 AOD 資料之機會。此為便利的，因為電流計控制器誤差(其經濾波以產生 AOD 誤差校正資料)係在原始電流計坐標中。

【0336】　在圖 48 中概述所得校準資料流。

【0337】　以上論述僅適用於處理供應至三級濾波器演算法之射束中心軌跡位置。對於顫化及光柵化之校準作用稍有不同，如下所述。

4. 光柵圖案化期間之 AOD 校準校正

【0338】　如以上提及，局部掃描場 PGC 失真可足夠大以致於需要對於隨著場位置而變化之光柵圖案進行局部校準校正。注意，此情況不同於上述三級剖析之情況，因為 AOD 偏轉並非代替預補償之電流計偏轉來執行(其意味著預補償 AOD 偏轉命令)；實情為，僅光柵圖案之中心點針對場失真加以補償。未補償用來處理光柵圖案之 AOD 偏轉。

【0339】　自掃描場校準變換得出局部 PGC 校正，並且在光柵處理期間或之前可將其自 SCC 1010 傳輸至 DSP 1026。局部 PGC 變換與顫化角度之其他 AOD 變換及 AOD 坐標框架旋轉組合，如稍後在「向量處理概述」下

描述。

5. 顫化期間之 AOD 校準校正

【0340】 在顫化的情況下，AOD 場之局部 PGC 失真可影響顫化向量之寬度及旋轉。由於跨溝槽之寬度來顫化射束，橫軸(「旋轉」)失真誤差分量在同軸方向上(沿著溝槽)產生偏轉，並且對於寬度具有可忽略的影響(例如，餘弦誤差<0.2%)。橫軸中之 PGC 定標誤差直接影響溝槽寬度，程度為約 2%至約 3%。

【0341】 然而，非常寬的溝槽可使其端點因旋轉失真而偏移，如在較大光柵圖案中。由於此可影響較寬溝槽之相交處，因此 PGC 校正適合於顫化。每個處理段，將失真項自 SCC 1010 傳輸至 DSP 1026，並且可藉由八個(8)位元來表示，在藉由 1/1024 定標之後提供 12.5%的誤差範圍及 0.1%的解析度。

6. AOD 校準程序

【0342】 圖 20 示意性地例示根據一實施例的 AOD 校準圖案。以下程序相對於電流計框架 2312 及 AOD 尺度因子來校準 AOD 框架旋轉 2310。在掃描場之中心附近執行用於 TMtert 變換之校準，其中掃描場失真可忽略。注意，對於顫化及光柵化，電流計框架 2312 之旋轉可能不造成問題。只要 AOD 框架 2310 正交並且與電流計框架 2312 對準，則顫化及光柵正確地對準，因為此等操作係相對於電流計框架 2312。

【0343】 程序包括將 TMtert 變換設定成預設值(單位矩陣*標稱 SF)，並且將 X 級段移動至其行程中心。然後，給 FPGA 1028 載入四個十字絲光柵圖案 2314。出於論述目的，圖 20 示出十字絲光柵圖案中之一者 2318 的

放大(且旋轉)後的型式 2316。每個圖案包括中心十字絲 2320(零 AOD 位移)，及在 AOD 軸(+ch0、-ch0、+ch1、-ch1)中之一者中位移的十字絲 2322。注意，此等位移在原始 AOD 坐標框架(ch0,1)中，而非工件或電流計框架(XY)中。程序包括用處理光點大小來定標四個十字絲校準圖案 2314 之群組及/或每個個別圖案 2318，該光點大小可取決於系統設置而變化。處理光點大小係系統組態參數。

【0344】 程序亦包括在以掃描場中心為中心之網格圖案中切割四個圖案 2314 中之每一者。對於每個圖案，將電流計移動至圖案之相應位置，並且在光柵化之前安定(例如，歷時 1 ms)。在示例性實施例中，所有圖案可落在距掃描場中心之 1 mm 正方形內。程序重複以下步驟：將四個圖案 2314 中之每一者切割預定次數，移動 Y 線性級段以使圖案位移。舉例而言，如圖 20 中示出，可將四個圖案 2314 可切割十次(或另一預定次數，取決於特定實施例)。程序包括收集資料以將位移後的 AOD 十字絲 2322 相對於其對應的零位移十字絲 2320 來定位。然後，程序將(例如，十個)資料集平均化，並且計算 AOD 尺度因子(AOD MHz/微米)及相對於電流計坐標框架 2312 之旋轉。注意，四個中心十字絲(零 AOD 位移)提供關於電流計旋轉之資訊。應相對於電流計軸之角度來計算 AOD 軸之旋轉。程序亦可包括證實電流計圖案旋轉小於約 1%，來作為對光學設置之檢查。

i. 尺度因子分離及 TMtert 形成

【0345】 AOD 校準程序產生兩個尺度因子(SF)：

MHzPerRawμm：[AOD MHz]/[原始電流計 μm]，

MHzPerμm : [AOD MHz]/ [μm]。

【0346】 具有 X 及 Y 分量之第一 SF(MHzPerRawμm)組成 TMtert 變換中之定標項。如以上所解釋，三級剖析產生原始電流計坐標中之 AOD 命令以便在三級定位期間與電流計子系統 1044 協調。因此，此 SF 表示 AOD SF 項與電流計 SF 項之組合。

【0347】 在資料下載至 FPGA 1028 之前，第二 AOD SF(MHzPerμm)將 SCC 顫化(或光柵)表資料(以 XY 工作面 μm 為單位來指定)轉換成 AOD 單位(MHz)。

【0348】 AOD 校準之結果產生 MHzPerμm。為了產生 MHzPerRawμm，應用在電流計校準中所嵌入之電流計尺度因子資料。電流計 SF 項(RawμmPerμm=[原始電流計μm]/[μm])可自電流計校準資料之 XY 尺度因子提取，該等因子係在場失真可以忽略的掃描場之中心處評估。然後，對於 XY 分量中之每一者：

MHzPerRawμm[X,Y] = MHzPerμm/ RawμmPerμm[X,Y]。

【0349】 為了形成 TMtert 變換，將 AOD 框架相對於電流計框架之旋轉與以上判定之尺度因子組合。歸因於 AOD 1020、1022 及安裝中之機械容限，AOD 框架旋轉可為非正交的；因而包括兩個單獨的旋轉項。圖 21 圖形地例示根據某些實施例的 AOD 校準角。AOD 框架之旋轉變換(TMframe)可定義為

$$\text{TMframe} = \begin{bmatrix} K0 * \cos(ThetaAod0) & -K1 * \sin(ThetaAod1) \\ K0 * \sin(ThetaAod0) & K1 * \cos(ThetaAod1) \end{bmatrix}^{-1},$$

TMframe =

$$\begin{bmatrix} \cos(ThetaAod1)/K0 & \sin(ThetaAod1)/K0 \\ -\sin(ThetaAod0)/K1 & \cos(ThetaAod0)/K1 \end{bmatrix} / \cos(ThetaAod0 - ThetaAod1),$$

其中

ThetaAod0 = ch0 與 X 電流計軸之間的角度，

ThetaAod1 = ch1 與 Y 電流計軸之間的角度，

K0 = AOD ch0 之量值定標對工作面(μmAOD0/μm)，並且

K1 = AOD ch1 之量值定標對工作面(μmAOD1/μm)。

【0350】 如圖 21 中例示。

【0351】 在圖 21 中，角度及定標係在掃描場之中心處評估。TMframe 意圖將 AOD 坐標框架與電流計坐標框架對準。TMfield 變換對於掃描場失真及標稱電流計對準進行校正，包括電流計軸之任何正負號翻轉。為了避免混淆，在某些實施例中，AOD 軸中之任何正負號翻轉由旋轉角度(額外 180° 旋轉)引起，而並非由 K0/1 定標因子引起。K0 及 K1 不包括 MHzPerμm 定標因子。此定標係在載入顫化(或光柵)表時應用，或(對於剖析)包括於 TMtert 變換中。實情為，K0 及 K1 表示在應用標稱 MHzPerμm 尺度因子之後，AOD0 與 AOD1 之間可能的定標變化。在某些實施例中，K0 及 K1 預期等於 1.0。

【0352】 然後 TMtert(在三級剖析期間應用之變換)藉由下式給出

$$TMtert = TMframe * \begin{bmatrix} |MHzPerRawUmX| & 0 \\ 0 & |MHzPerRawUmY| \end{bmatrix}。$$

【0353】 在此，MHzPerRawμm[X,Y]定標項應包括僅量值定標；正負號在 TMframe 之旋轉項中考慮到。

【0354】 TMtert 在運行時間計算中使用，應用於來自三級濾波器之 AOD 命令輸出：

$$\begin{bmatrix} AODch0 \\ AODch1 \end{bmatrix} = TMtert * \begin{bmatrix} AODx \\ AODy \end{bmatrix}。$$

【0355】 注意，TMtert 之定義意味著尺度因子校正，後續接著旋轉。

因此，在評估 AOD 校準資料時，首先應用 TMframe 變換來將 AOD 資料旋轉成與電流計框架對準，然後評估 AOD 偏轉來計算 MHzPerRawμm[X,Y]。

D. 功率控制

【0356】 在 LDA 系統中使用功率控制來在顫化期間且在速度變化期間保持一致的雷射功率。功率控制包括 AOD 功率衰減之線性化，及將線性化 AOD 功率控制校準至工作面功率。

1. AOD 功率線性化

【0357】 圖 22 係例示根據一實施例之功率控制之信號流之方塊圖。使用兩個線性化表 2510、2512 來產生 ch1 RF 信號振幅命令 2514 來將隨著所施加 RF 信號頻率而變化之光學輸出功率及所要光學輸出功率線性化。

【0358】 對於兩個 AOD 單元 1020、1022(ch0 及 ch1)中之每一者，將顫化(例如，Dither0 或 Dither1)添加至頻率偏差(射束軌跡)命令(Fdev0 或 Fdev1)及標稱中心頻率(Fctr0 或 Fctr1)以產生總頻率命令(RfFreq0 或 RfFreq1)。ch0 頻率命令 RfFreq0 編入 ch0 線性化表 2510 中，產生 Pscale0 功率定標命令。Pscale0 功率定標命令表示光學輸出功率定標因子，其用於保持隨著頻率而線性變化之 ch0 光學輸出功率。線性化表 2510 僅係 ch0 頻率之一維函數。

【0359】 將 Pscale0 乘以系統功率命令尺度因子 Kp(藉由 DSP 1026 命令)，產生總功率尺度因子 Pscale。此命令與 ch1 頻率命令 RfFreq1 一起編入二維查找表 2512 中以產生 RfAmpCmd 2514(ch1RF 信號振幅命令)。注意，ch0 之 RF 信號振幅保持恆定。換言之，在此示例性實施例中，所有輸出功率控制係經由 ch1 之 RF 信號振幅調變來執行。

i. 線性化表

【0360】 AOD 1020、1022 藉由改變施加至 AOD 單元之 RF 信號功率位準來控制光學功率。圖 23 圖形地例示根據一實施例的示例性功率控制曲線(標準化光學輸出功率對標準化 RF 信號功率)。注意，圖 23 例示由 RF 振幅命令產生的光學功率輸出。

【0361】 在某些實施例中，映射圖 23 示出之非線性曲線來產生查找表，該查找表將所要標準化輸出功率(自 0 至 1，1 係最大輸出功率)轉換成達成此輸出所需要之 AOD RF 信號功率。此可被視為圖 23 之 X 及 Y 軸之翻轉：在給定所要光學功率的情況下，判定所需 RF 振幅命令。

【0362】 所得線性化曲線在圖 24 中示出。圖 24 圖形地例示根據一實施例的示例性 ch1 AOD 功率線性化曲線集。注意，圖 23 示出之功率控制曲線表示單一 RF 信號頻率下之 AOD 行為。實際上，此曲線隨著施加至 AOD 單元 1020、1022 之 RF 信號頻率而變化。因此，在 AOD 子系統 1042 之操作頻率範圍內，針對若干 RF 信號頻率重複非線性映射。圖 24 示出線性化曲線集。

【0363】 ch1 線性化表產生了產生所請求光學輸出功率定標所需要的 RF 振幅命令。RF 信號振幅輸出影響光學輸出功率，但是不直接設定輸出功率。

【0364】 與 ch1 表相反，ch0 表產生 Pscale0 功率尺度因子(而非 RF 振幅命令)。Pscale0 對隨著 ch0 RF 信號頻率而變化之 ch0 回應進行線性化。ch0 RF 信號振幅保持恆定並且不用於線性化表中。圖 25 例示根據一實施例的 ch0 AOD 之示例性曲線。圖 25 示出 ch0 光學效率之變化對 RF 信號頻率(左側繪圖)，從而導致線性化之所需功率定標(右側繪圖)。

【0365】　如圖 25 中示出，AOD 1020、1022 藉由減少隨著頻率而變化之振幅命令來在其頻率範圍內加以線性化，以使得任何頻率下之輸出功率等於最低效率頻率下之功率。因此，線性化減少了 AOD 子系統 1042 之有效光學效率，並且 AOD 1020、1022 之操作頻率範圍對於子系統之光學效率有影響。

ii. 高功率模式：效率增益

【0366】　在等於 ch0 及 ch1 中之最壞情況光學效率之乘積的降低光學效率下，上述功率線性化程序可在整個操作 RF 信號頻率範圍內提供完全功率線性化的 AOD 子系統 1042。AOD 子系統 1042 可在此模式下保守操作，其中功率得以適當地線性化並且沒有 RF 振幅命令飽和。

【0367】　然而，顯著的光學效率增益可藉由計算隨著 ch0 及 ch1RF 信號頻率範圍(或，等同地，AOD XY 偏轉範圍)而變化的實際 AOD 子系統 1042 光學效率來實現。此允許 AOD 子系統 1042 在較高功率位準下、在比全功率校準範圍窄之範圍內操作，而不會使 RF 振幅命令飽和，因為較高光學效率需要較低 RF 振幅命令。或，等同地，此方法允許 AOD 1020、1022 在比正常範圍大得多的頻率範圍內進行功率校準以適應較大光柵場或非常寬的溝槽，而不影響更典型的較小偏轉範圍中之正常操作。

【0368】　在一實施例中，光學效率增益藉由以下操作來計算：判定在選定頻率範圍(對於 ch0 及 ch1)內之最小效率，藉由將兩個最壞情況值相乘來計算最壞情況效率，以及針對若干可能頻率範圍進行重複。此程序產生效率增益對頻率範圍之保守曲線，其適合於一般用途以及光柵化時。在考慮向量處理時，進一步改良係可能的，其中在顫化與 AOD 瞬態之間劃分

AOD 偏轉。在 AOD 坐標框架中，顫化沿著具有某一角旋轉之線來產生 AOD 偏轉。在 ch0 及 ch1 偏轉器中使用之實際 AOD 範圍取決於顫化角度(如 sin 及 cos 函數)。任一個軸都不同時經歷完全偏轉。因此，總效率可高於以上產生之保守估計。

【0369】 然而，在顫化期間亦可考慮到 AOD 瞬態偏移。此等 AOD 瞬態偏移可發生在任一個軸中，取決於射束軌跡。

【0370】 圖 26 及圖 27 係例示效率增益計算之結果的圖表。圖 26 係例示根據某些實施例之示例性 AOD 效率曲線的圖表。圖 27 係例示根據某些實施例之示例性 AOD 效率增益的圖表。舉例而言，圖 26 示出兩個 AOD 單元 1020、1022(ch0 及 ch1)之效率，而圖 27 示出針對光柵及向量模式的相對於完全線性化、不飽和效率的效率增益。

2. AOD 工作面功率校準

【0371】 在以上線性化程序完成之後，將線性化表載入至 FPGA 1028 AOD 控制器中。然後，發送至 FPGA 1028 之標準化功率命令(Kp，在 0 至 1 範圍內)產生光學功率輸出，其可為所命令功率振幅之線性函數，並且與施加至 AOD 1020、1022 之 RF 頻率命令無關。在某些實施例中，線性化表量化及校準不確定性產生約 1%與約 2%之間的殘餘線性誤差。

【0372】 然而，在某些實施例中，線性化功率輸出之定標係任意的。在最後的功率校準步驟中，將標準化雷射功率命令設定為 0 與 1 之間的若干值，同時夾頭功率計(CPM)量測所得工作面功率。線性擬合判定 CPM 偏移及尺度因子 Kpwr，其將工作面功率(瓦)轉換成在處理期間自 DSP 1026 發送至 FPGA 1028 之標準化功率命令 Kp。

【0373】 圖 28 係例示根據一實施例的功率校準資料流 3100 之方塊圖。圖 28 示出之功率控制資料流 3100 亦支援藉由效率增益來實現之高功率模式。此包括 FPGA 1028 內之 x2 增益以放大分數 Kp 值，從而允許使用大於 1 之效率增益。額外 FPGA 1028 定標因子 KpNorm 將 Kp 命令標準化，以使得 Kp=0.5 表示最大不飽和線性化輸出功率，並且大於 0.5 之值表示可歸因於效率增益而在減少之 AOD 範圍內達成的較高功率(而不會飽和)。

【0374】 根據一實施例的用於提供工作面功率校準之方法包括執行 AOD 功率線性化校準。根據此資料，系統判定 PscaleCal(最小 ch1 效率)。方法進一步包括將線性化表載入 FPGA 1028 中並且將 FPGA 1028 尺度因子 KpNorm 設定為 PscaleCal。然後，方法包括將 DSP 1026 功率尺度因子 Kpwr 設定為 0.5 並且發出等於 1 之功率命令。考慮到內部 FPGA 1028 定標，對於功率線性化校準範圍內之任何 Fdev0 或 Fdev1 頻率命令，此命令將 ch1 Pscale 值限制於不超過 PscaleCal。此確保可在整個 AOD 頻率範圍內獲得線性化輸出功率而不會飽和。注意，當 Pscale0(ch0 線性化表之輸出)小於 1 時，Pscale 可小於 PscaleCal，但是此僅在具有較高光學效率之 ch0 頻率下發生。因此，實際光學輸出功率將在名義上在所有 Fdev0 頻率下保持恆定。相同原則亦適用於 ch1 線性化輸出。方法亦包括記錄 LinPmax，LinPmax 係藉由夾頭功率計在完全線性化、不飽和功率命令(在先前步驟中設定)的情況下量測之工作面功率。然後，將 DSP 1026 功率尺度因子 Kpwr 設定為 0.5/LinPmax。此舉將 DSP 1026 功率命令(以瓦為單位)標準化以使得 FPGA 1028 功率控制產生校準的工作面功率。對於其中效率增益大於 1 之 AOD 範圍，功率命令(以瓦為單位)現在可能超過 LinPmax。在此等情況下，將 Pscale0 及/或 ch1 線性化

表條目設定為小於 1，以使得所得振幅命令保持不飽和。

【0375】　總之，以下資料可儲存為校準資料，並且在初始化期間載入至 DSP 1026 及 FPGA 1028：Ch0 線性化表；Ch1 線性化表；KpNorm；Kpwr；效率增益表；及 LinPmax。

E. 處理速度極限

【0376】　對於溝槽，最大處理段速度係由若干因素判定，該等因素包括：顫化時序(顫化列之間的所需光點大小重疊)；歸因於三級濾波之 AOD 動態；可用於處理溝槽之雷射功率；及資料速率極限。

1. 顫化速度極限

【0377】　歸因於顫化之速度極限係由顫化列之間所使用之重疊導致。在某些實施例中，顫化列之間的最大位置增量係 0.35*Deff(假定 65%重疊來提供安全邊限)。因此，用來保持此重疊之速度極限係 0.35*Deff/Td = 0.35*Deff/(Nd*Taod)。

【0378】　在此時間內，針對每個顫化列保持劑量及寬度參數恆定，並且任何變化僅在下一個顫化列開始時發生。由於低階 FPGA 1028 控制演算法強制實施此舉，因此可對藉由 DSP 1026 計算出並且傳遞至 FPGA 1028 之參數進行線性內插；在適當時間藉由 FPGA 1028 來更新顫化列參數。

【0379】　通常，以上論述之顫化產生被設計成使得顫化更新並非限制因素，從而允許系統在雷射功率之極限下運行。

2. 三級濾波器極限

【0380】　在給定有限的校準 AOD 場大小的情況下，三級濾波過程對於處理速度強加極限。

【0381】　在三級濾波期間，處理段之間的速度之階躍變化產生 AOD 命令中之瞬態回應。舉例而言，圖 29 圖形地例示根據一實施例的對於速度變化之三級濾波器回應。此回應之量值與速度之階躍變化成比例，並且衰減時間隨著三級濾波器頻寬及阻尼比而變化。

【0382】　圖 29 示出使 AOD 偏移最大化的最壞情況速度輪廓 3210，該偏移發生在一個速度變化 3210(等於 2*Vmax)後續接著具有相等量值但是相反正負號之第二速度變化 3214 時，該第二速度變化的時間在三級濾波器之過衝 3216 之峰值處(對於 3 kHz 三級濾波器，在速度變化之後約 0.12 msec)。

【0383】　若 AOD 瞬態尺度因子定義為「Ktrans」，則對於處理段速度變化 deltaV，

deltaAod = Ktrans*deltaV。

【0384】　對於 4 階 3 kHz 三級濾波器，Ktrans 之示例性值係 26.6 μm/(m/sec)。因此，舉例而言，對於具有可產生+2 至-2 m/sec 速度變化之 2 m/sec 處理速度的區段，deltaAod 之界限= 2*(2 m/s)*(26.6 μm/(m/s)) = 106.4 μm。

【0385】　圖 30 圖形地例示根據一實施例的蒙地卡羅 AOD 瞬態模擬。具有隨機時序及隨機速度段量值(高達+-Vmax)之隨機速度序列 3308 之簡單蒙地卡羅模型確認以上關於圖 29 所論述之情況將 AOD 偏移 3310 定界(如圖 30 中示出)。因此三級濾波器回應可靠地預測對於給定雷射處理速度之最壞情況 AOD 偏移。

3. 雷射功率極限

【0386】　雷射功率對於處理速度強加基本極限。對於一階近似，處理溝槽所需要之劑量(功率/速度=W/(m/sec) = J/m)取決於溝槽面積。在示例性實

施例中，對於藉由未顫化高斯射束所切割之溝槽，橫截面面積為大約 0.65*寬度*Deff，其中 Deff=有效光點大小。當藉由顫化增加寬度時，總面積為 D*(0.65*Deff+寬度-Deff)。

【0387】 劑量要求之示例性模型為

劑量 (J/m) = 面積 (μm^2)/143 + 0.3)。

【0388】 在校準的 LDA 系統上，過程圖提供劑量之校準值，其中

劑量 = 通量*EffectiveWidth。

【0389】 由於劑量等於功率/速度，因此所需劑量判定對於給定可利用雷射功率之最大速度。

【0390】 圖 31 圖形地例示根據一實施例的對於 Taod=Tcmd=1 μsec 之示例性速度極限。圖 31 包括劑量極限之示例性曲線及可變點數目(Npt)極限之示例性曲線。工作面雷射功率極限(對於示例性 LDA 系統，為大約 8W)限制隨著寬度而變化之處理速度，如圖 31 中示出。根據某些實施例，所例示之示例性曲線可為樂觀的，因為其不包括 AOD 效率(例如，在最大寬度下，為 65-70%)或三級剖析所需之額外 AOD 偏轉之效應。但是，對於雷射限制處理速度之所例示上限形成保守下限，其他速度極限(射束定位器及顫化)超過該下限以避免限制產出量。圖 31 突顯以下事實：若顫化表使用最大寬度所需之最大點數目(最大 Npt 極限)，則較小寬度下之最大速度將不合意地受到限制。

【0391】 實際上，最大工作面功率隨著光學串效率而變化，該效率隨著 AOD 範圍而變化(歸因於 AOD 效率曲線)。所要溝槽寬度判定 gridWidth(所需顫化偏轉)，其判定最大功率位準(歸因於 AOD 功率線性化)。三級 AOD

偏轉亦包括於此計算中，因為其需要額外 AOD 偏轉並且由此降低最大效率。因此，可利用雷射功率隨著溝槽寬度而減少並且影響圖 31 中之曲線。

【0392】 隨著段速度 Vseg 而變化之所需 AOD 範圍藉由下式給出

AODrange= [gridWidth + 4*Vseg*Ktrans]*1.10。

【0393】 此包括歸因於以下各者之分量：溝槽之所需 gridWidth(若可變，則為最大 gridWidth)；歸因於三級濾波器動態之 AOD 偏移(經由「Ktrans」尺度因子)(注意，對於段速度 Vseg，最大速度變化為 2*Vseg，並且 pk-pk AOD 偏轉範圍為 2*(2*Vseg)*Ktrans)；及 10%安全邊限，包括掃描場失真及速度相依性顫化角度效應。

【0394】 示例性結果在圖 32 中示出，其圖形地例示根據一實施例的 AOD 行程範圍對特徵寬度。圖 32 示出之實例使用 2 m/sec 速度、8W 雷射功率及 280 μm AOD 範圍。此模型亦預測可在移動至光柵位置之後在沒有安定的情況下處理的最大光柵直徑。此可為例如<100 μm，對於大多數襯墊而言不夠大，但是有時足夠用於溝槽相交處。較大光柵區域之替代方案係在光柵點處安定由三級濾波器回應定義之一段時間(通常為 0.4-0.5 msec)。

【0395】 注意，圖 32 不包括 AOD 範圍對於 AOD 效率之影響。為了併入對處理速度計算之此影響，將計算出的 AOD 範圍與效率曲線(圖 27)組合來計算隨著 Vseg 而變化之可利用雷射功率。然後，可藉由將可利用雷射功率(基於速度相依性 AOD 範圍)與所需雷射功率(基於劑量)進行比較來判定雷射功率對於處理速度之限制。舉例而言，圖 33 圖形地例示根據一實施例的雷射功率對於處理速度之限制。在圖 33 示出之實例中，示出 50 μm 溝槽，其中處理速度為 1.65 m/sec。

i. 弧形處理效果

【0396】 在較寬弧形期間，外部功率放大了(1+W/R/2)，其可在弧形中強加較低中心線速度以避免對於外部邊緣之功率限制。但是以上模型示出，可適應速度之任何階躍變化(小於標稱速度的兩倍)，只要選擇標稱處理速度來適應最壞情況 AOD 行程即可。因此較寬弧形可在沒有關於 AOD 行程範圍限制之問題的情況下處理。

4. 資料速率極限

【0397】 資料流速率限制對於任何處理段之可接受處理時間設定下限(大約 7 μsec)。在給出處理段之長度的情況下，此對於段速度設定上限。舉例而言，21 μm 段將具有歸因於資料速率之 3 m/sec 速度極限。

5. 處理速度極限概述

【0398】 在一實施例中，溝槽之處理速度之計算遵循此等步驟。熟習此項技術者自本文中之揭示內容將認識到，某些以下步驟可按不同次序來執行。

【0400】 在第一步驟中，使用過程圖基於溝槽尺寸(寬度及深度)來判定通量、gridWidth 及 EffectiveWidth。

【0401】 在第二步驟中，計算溝槽之劑量 = 通量*EffectiveWidth。那麼，隨著處理速度 Vseg 而變化之所需雷射功率為 Preq=劑量*Vseg。

【0402】 在第三步驟中，計算隨著 Vseg 而變化之所需 AOD 偏轉範圍。在給定最大校準 AOD 範圍的情況下，使用此結果來判定歸因於 AOD 行程範圍之速度極限(Vaod)。

【0403】 在第四步驟中，使用效率增益曲線(參見「高功率模式」)，

計算隨著 AOD 範圍而變化之最大可利用雷射功率。

【0404】　在第五步驟中，判定歸因於雷射功率之速度極限(Vlaser)：所需雷射功率等於可利用雷射功率時的處理速度。

【0405】　在第六步驟中，判定歸因於顫化重疊之速度極限(Vdither)。

【0406】　在第七步驟中，判定歸因於最小段時間之速度極限(Vsegtime)。

【0407】　在第八步驟中，將處理速度設定為 Vaod、Vlaser、Vdither 及 Vsegtime 中之最小者。

IV. 處理模式

【0408】　在一實施例中，LDA 系統在三種不同模式下處理材料。向量模式處理具有可任意控制的不同寬度及深度之線性跡線。光柵模式處理在一個 AOD 掃描場內產生任意 2D 形狀之較小特徵(例如，為處理光點大小的十倍大)。刮削模式處理任意形狀之較大區域，對於周邊位置之精確度及刮削區域內之材料燒蝕深度之一致性具有良好控制。

A. 向量處理

【0409】　溝槽之向量處理依賴於 AOD 顫化來控制溝槽寬度。在 LDA 系統之某些實施例中，舉例而言，可存在關於不一致的顫化方法之問題，其中顫化圖案在溝槽之起點及終點開始於任意位置，並且具有隨著軌跡速度而變化之顫化角度(相對於主要射束軌跡)。

【0410】　為了解決此問題，一個實施例對於每個處理段之整數列施加顫化以便產生均勻、可重複且明確界定的段末端。定製處理段命令來支援此等整數顫化列之時序。

【0411】 整數顫化列之數目支援用來產生相交處的跡線末端過渡區。示例性 40-50 μm 過渡允許 2-3 μm 之射束定位誤差，同時保持 5-10%深度容限。對於在 LDA 系統之一實施例中使用之標稱 25 μm 有效光點大小，此過渡長度使用 4-5 個顫化列的劑量過渡。

【0412】 劑量在每個顫化列期間保持恆定以保持跡線末端處的一致寬度。所有劑量控制可基於每個顫化列來應用以在劑量變化期間產生可預測的溝槽寬度變化。

【0413】 在某些實施例中，施加顫化以使得連續光點重疊，重疊的量為>60%之光點直徑。亦可足夠快地施加顫化以在連續列之間提供>60%重疊。對於較寬溝槽，此可成為問題，歸因於所需要的顫化脈衝之較大數目，及對於 AOD 更新週期之限制條件。

【0414】 AOD 更新週期受聲波跨 AOD 中之光束之渡越時間的限制。在一實施例中，LDA 系統 AOD 1020、1022 可以>500 nsec 之更新時間來操作。在快速更新速率下，由於聲波中的瞬態所導致之偏轉光點之失真變得相當明顯；即使在 500 nsec 下，光點失真仍可為問題。光點直徑擴大減少了工作面通量，從而導致深度變化。在一實施例中，以比 750 nsec 快之速率來更新 AOD 1020、1022，750 nsec 係聲波跨 AOD 中之 4.5 mm 光束之實際渡越時間。圖 34 圖形地例示根據某些實施例的示例性光點失真。自左至右，圖 34 對兩個偏轉光點在 440 nsec、640 nsec 及 1240 nsec 更新週期下之失真進行比較。

【0415】 LDA 系統之另一個實施例在高得多的射束軌跡速度下操作。較高速度、光點重疊要求及有限 AOD 更新速率之組合意謂顫化點之數目隨著特徵寬度而變化。在其他實施例中，使用一個顫化表並且藉由按比

例縮放顫化點之間的距離來改變特徵大小。

1. 顫化參數計算

【0416】 在某些實施例中，以下各項界定顫化參數之計算及設置。

【0417】 輸入參數：

Deff：有效光點大小(μm)；未顫化溝槽在所要深度下之寬度。注意，Deff 隨著光點直徑以及所要深度而變化(因為增加深度所需要之劑量增加亦使寬度增加)。

【0418】 BiteSizeRatio：每個光點之最大偏轉，其提供足夠重疊以保持平滑的通量分佈，表示為光點直徑之分數。對於高斯光點，BiteSizeRatio 為<= 0.4。

【0419】 Taodmin：最小 AOD 更新週期(μsec)；對於 LDA 系統之一個實施例，為約 400-700 nsec。

【0420】 Tclock：AOD 時鐘週期(μsec)；針對此週期來量化 Taod。標稱為 0.04 μsec。

【0421】 輸出參數：

Taod：實際 AOD 更新週期(μsec)。

【0422】 Nd：所要溝槽寬度所需要之顫化點之數目；隨著寬度及 Deff 而變化。

【0423】 Td：總顫化週期(μsec) = Nd*Taod。以此速率來更新針對每個顫化列保持恆定之過程參數(寬度、深度、形狀、內傾)。

【0424】 Tcmd：對標稱射束位置之更新之間的時間週期(μsec)。標稱為 1 μsec。

【0425】 Ncmd：對過程變數及/或顫化參數(Nd，Taod)之改變之間的 Tcmd 命令週期之數目。

【0426】 由於可存在可變數目個顫化點，因此可調整 AOD 更新週期以在 Tcmd 邊界上更新整個列。另外，針對 20 nsec 間隔來量化 AOD 更新週期。

【0427】 相依性參數之計算以所要特徵寬度來開始。藉由下式來粗略地大致估計顫化跡線之寬度

寬度 = Deff + Nd*Deff*BiteSizeRatio。

【0428】 用於所要寬度之顫化點之數目舍進至離散值，並且藉由下式給出

Nd >= 1 + ceil((寬度 － Deff)/(Deff*BiteSizeRatio))，

其中「ceil」係舍進至下一個整數的頂函數。

【0429】 歸因於舍進，Nd 通常可大於所需值，並且 BiteSizeRatio 可減少以將寬度按比例縮放至所要值(經由 Kw 參數)。在給出 Nd 之值的情況下，命令參數藉由下式給出

Ncmd = ceil(NdTaodmin/Tcmd)，並且

Taod = ceil(Ncmd/Nd*Tcmd/Tclock)*Tclock。

【0430】 舉例而言，對於 Deff = 25 μm，寬度 = 250 μm，BiteSizeRatio = 0.4，Taod = 0.5 μsec，並且 Tcmd = 1 μsec，

Nd = ceil((250-25)/(25*0.4)) = 23，

Ncmd = ceil(23*0.5/1.0) = 13，並且

Taod = ceil(13/23*1.0/0.02) *0.02 = 0.580 μsec。

【0431】　在一實施例中，LDA 系統之 AOD 1020、1022 之最大偏轉範圍等於 10*Deff。若使用完全 AOD 範圍，則 Nd<=24。

【0432】　以上方程給出顫化參數之通解。可能更希望保持 Taod 恆定並且強制實施產生 Ncmd 之離散值的 Nd 值。例如，對於 Tcmd=1 μsec，Nd 可為 2 之冪並且 Taod=0.5 μsec，或 Nd 可為 4 之冪並且 Taod=0.75 μsec。如下一部分中所描述，根據一實施例，AOD 頻率限制、光學光點品質及以上方程之組合產生使用 Taod 及 Tcmd 之 1 μsec 週期的 LDA 系統。

2. 標稱頻率

【0433】　作為相對於一對標稱 AOD 頻率(Fnom0/1)之頻率偏差來施加顫化，該等頻率指定標稱射束路徑(亦即，溝槽之中心線)。Fnom0/1 以命令更新速率(每 Tcmd 秒)來更新，並且由此大體上每個顫化列更新多次。在一實施例中，在不等待顫化列結束的情況下，立即施加 Fnom0/1 以保持主要射束軌跡中之準確度。此與在每個顫化列中保持恆定的過程參數(寬度、形狀、劑量、內傾)之更新形成對比。

【0434】　然而，在某些實施例中，Fnom 更新僅在下一次可利用的 AOD 更新(每 Taod 秒)時發生。若 Fnom 更新與 AOD 更新循環不同步，則其具有等於 Taod 的有效時序不確定性。另外，若 Taod 不保持恆定(例如，隨著 Nd 而變化來計算，如上所述)，則此抖動之量值變化。

【0435】　由不同步操作引入的不確定性使處理準確度降級，因為隨機抖動不能校準除去。例如，對於 Taod=750 nsec，以 2 m/sec 來處理之溝槽具有±0.75 μm 的額外定位不確定性。

【0436】　為了避免此誤差，Tcmd 可為 Taod 之倍數。假定每個 DSP1

伺服循環(5 μsec)發送更新至 FPGA 1028，在 Tcmd=1 μsec 的情況下，Taod 之自然值係 500 或 1000 nsec。另一個選擇係 Taod=Tcmd=750 nsec，但是此可需要每個伺服循環可變數目個資料封包。

【0437】 如圖 34 中示出，離開 AOD 之偏轉射束之失真在約 500 nsec 下係邊際的。為了避免此失真，向量模式處理以 Tcmd=Taod=1000 nsec 來運行。在其他實施例中，AOD 設計可允許 Taod 之較小值(例如，250 nsec)。因此，此架構適應 Tcmd 及 Taod 之變化。

3. 顫化角度校正及量值定標

【0438】 在一實施例中，調整 AOD 顫化圖案之定向以保持其法向(即，垂直)於標稱射束軌跡來定向。舉例而言，圖 35 示意性地例示根據一實施例的垂直於標稱射束軌跡 3812 對準之顫化列 3810。以下使用圖 35 中描述之命名法來描述考慮到由於射束速度所導致之偏斜的過程。每個雷射光點位置 3814(示出十一個)沿著顫化列 3810 線性對準，不論雷射射束在相對於射束軌跡 3812 移動時的速度如何。

i. 正負號慣例

【0439】 如本文揭示之示例性實施例中所使用，顫化射束定義為在電流計 X 軸中顫化，然後旋轉至正確定向以保持顫化射束垂直於射束軌跡 3812。將 AOD 子系統 1042 校準以在掃描場之中心處匹配電流計 XY 坐標框架。以下方程開發出顫化旋轉矩陣。除非另外指示，否則角度之慣例係正的逆時針(CCW)，其中零度沿著+X 電流計軸。

ii. AOD 旋轉及變換分量

【0440】 最終 AOD 命令可藉由以下方程來計算：

AODcmd = TMframe * TMfield * Rdither * 顫化，

或

AODcmd = TMaod * 顫化，

其中：

AODcmd = 發至其相應 RF 驅動器之 AOD RF 頻率命令(2 元素向量)；

TMframe=非正交變換矩陣，其將 AOD XY 命令轉換成 AOD 坐標框架，如在 AOD 校準部分中所定義；

TMfield=局部掃描場失真校正，在電流計 XY 框架中(4 元素矩陣)；

Rdither=將顫化向量相對於射束軌跡 3812 定向之旋轉矩陣(4 元素矩陣)；

顫化=載入於 FPGA 1028 中之顫化(或光柵)表；並且

TMaod=由以上分量產生的完整 AOD 命令變換矩陣，此矩陣之元素被傳輸至 FPGA 1028，代替 Kw0、Kw1 項。

【0441】 應用 TMfield 校正項(兩軸定標及旋轉)以考慮到局部掃描場失真。因為 AOD 1020、1022 在沒有任何掃描場校準校正的情況下操作，所以可使用此。此變換可自電流計校準資料導出。此矩陣之元素為

$$\text{TMfield} = \begin{bmatrix} SFx & Ryx \\ Rxy & SFy \end{bmatrix},$$

其中：

SFx = X 軸定標(標稱為 1.0)；

SFy = Y 軸定標；

Ryx = Y 軸至 X 軸的旋轉(rad)；並且

Rxy = X 軸至 Y 軸的旋轉。

iii. Rdither 推導

【0442】　顫化射束具有同軸及橫軸分量，其量值(在一個顫化循環內)為：

DitherCA = 寬度，

DitherOA = Vel*Taod*(Nd-1)。

【0443】　注意，OA 顫化分量使顫化射束相對於射束軌跡 3812「向後」移動，以使得在每個顫化列上之所有點的同軸位置保持固定(例如，雷射光點位置 3814 沿著圖 35 示出的顫化列 3810 保持固定)。因此，OA 顫化分量係基於速度向量以便保持每個顫化列垂直於射束軌跡 3812。OA 及 CA 顫化分量組合起來，以在相對於+X 電流計軸之角度 θ_{dither} 下形成「顫化向量」。如圖 35 中示出，OA 及 CA 顫化分量將速度補償角度 θ_{vel} 定義為：

θ_{vel} = atan(DitherOA/DitherCA)。

【0444】　顫化向量定向包括速度補償角度 θ_{vel} 加上軌跡角度 θ_{traj} 及 90°旋轉(即，在圖 35 中，在射束軌跡 3812 與 OA 顫化分量 DitherCA 之間例示的 90°)：

$\theta_{dither} = \theta_{vel} + \theta_{traj} + \theta/2$。

【0445】　因此，顫化角度 θ_{dither} 係相對於電流計 XY 框架之總顫化向量角度。然後，顫化向量可藉由角度 θ_{aod} 來與 AOD 框架對準，該角度可歸因於光學器件串佈局而相對於電流計 XY 框架旋轉。

【0446】　在處理期間，軌跡角度(θ_{traj})即時更新(隨著射束軌跡速度分量 Vx 及 Vy 而變化)，而 AOD 角度(θ_{od})在校準之後恆定。對於即時更新(1 μsec 更新)，可使三角計算最小化。此可藉由應用三角恆等式來進行：例如，

$\sin(\text{atan}(y/x)) = y/\text{sqrt}(x^2 + y^2)$。

【0447】 DSP 1026 可使用以下變數來計算顫化定向：

ditherRange=當前顫化表之總範圍(μm)；

Kw=應用於顫化表以產生所要顫化寬度之定標因子(此可針對漸縮段來內插)；

Nd=當前顫化表中之顫化點之數目(對於每個段係恆定的)；

Taod=顫化表更新速率(μsec)；

Vx，Vy=射束軌跡 3812 在原始電流計 XY 坐標中之 X 及 Y 分量(m/sec)；並且

Vel = sqrt(Vx^2 + Vy^2) = 速度向量量值。

【0448】 然後，三角恆等式允許 Rdither 旋轉矩陣之 sin 及 cos 項藉由下式來計算

//在定標之後的標稱橫軸顫化寬度

ditherCA = ditherRange*Kw (μm)；

//在一個顫化列期間用於保持顫化點對準的所需同軸增量

ditherOA = Vel*Taod*(Nd-1)；

//由於速度補償所導致之完整顫化向量之量值(OA，CA 之向量總和)

ditherMag= sqrt(ditherOA^2 + ditherCA^2)；

//避免除以零問題；預設為單位矩陣

若 abs(Vel*ditherMag) <1e-6

cosThetaDither = 1；

sinThetaDither = 0；

否則

cosThetaDither = -(Vy*ditherCA + Vx*ditherOA)/(Vel*ditherMag)；

sinThetaDither = (Vx*ditherCA - Vy*ditherOA)/(Vel*ditherMag)；

結束。

iv. 定標及 TMaod 計算

【0449】 可調整顫化向量之量值以便考慮到經速度校正之顫化向量中之額外斜邊長度。因此，

KwCorr = Kw*ditherMag /ditherCA = ditherMag/ditherRange。

【0450】 然後，最終變換矩陣藉由以下矩陣積來給出

TMaod = $\begin{bmatrix} T11 & T12 \\ T21 & T22 \end{bmatrix}$ = TMframe * TMfield * Rdither * KwCorr。

【0451】 前兩個項(TMframe，TMfield)可在 SCC 1010 中預計算並且作為「TMdither」變換矩陣來傳遞：

TMdither = $\begin{bmatrix} D11 & D12 \\ D21 & D22 \end{bmatrix}$ = TMframe * TMfield。

【0452】 最後兩個項(Rdither，KwCorr)可基於速度向量及內插 Kw 來即時計算。注意；Rdither 及 KwCorr 均含有 ditherMag 項，並且乘積 RditherKwCorr 導致 ditherMag 被抵消，從而避免 DSP 1026 中之高成本 sqrt() 計算。若定義

cosThetaDitherCorr = -(Vy*ditherCA + Vx*ditherOA)/(Vel*ditherRange)；

sinThetaDitherCorr = (Vx*ditherCA - Vy*ditherOA)/(Vel*ditherRange)；

或，替代地(避免計算 ditherOA 及 ditherCA)，

cosThetaDitherCorr = -(Vy*Kw/Vel + Vx*(Nd-1)*Taod/ditherRange)；

sinThetaDitherCorr = (Vx*Kw/Vel - Vy*(Nd-1)*Taod/ditherRange)；

則

$$\text{Rdither*KwCorr} = \begin{bmatrix} \mathbf{cosThetaDitherCorr} & \mathbf{sinThetaDitherCorr} \\ \mathbf{sinThetaDitherCorr} & \mathbf{cosThetaDitherCorr} \end{bmatrix}。$$

【0453】 然後，將 TMaod 之四個元素傳輸至 FPGA 1028，其將 RF 信號頻率更新計算為

$$\begin{bmatrix} AOD0 \\ AOD1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T11 & T12 \\ T21 & T22 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DitherX \\ DitherY \end{bmatrix},$$

其中 DitherX 及 DitherY 係 AOD 顫化表中之條目。光柵計算遵循同一過程。如以上所提及，按照慣例，在向量或刮削模式下，DitherY 條目係零；藉由顫化圖所產生的顫化條目填充 DitherX。

【0454】 TMframe 矩陣中之項係恆定的並且可預計算並儲存於 DSP 1026 中。TMfield 矩陣中之項係自電流計校準資料中採集。將此變換應用於電流計 XY 框架中，因為 TMframe 旋轉可能太大(對於較大旋轉角度，旋轉係不可交換的)。

v. 另外校準的 TMaod 計算

【0455】 某些實施例包括在顫化期間的 TMaod 計算，其考慮到校準校正對於軌跡命令之影響。在以上提供之推導中，假定理想(工作面)速度。然而，在某些實施例中，在將軌跡命令傳輸至 DSP 1026 之前，將掃描場失真校正應用於軌跡命令。此等校正修改軌跡速度，如藉由 DSP 1026 計算出。此在顫化向量速度角度計算中產生輕微誤差，可導致幾微米之誤差。為了提供進一步校正，可將局部場失真校正嵌入 TMdither 矩陣中。

【0456】 首先，重新定義形成變換矩陣之項，該矩陣旋轉並定標顫化向量：

$$\begin{bmatrix} \mathbf{cosThetaDitherCorr} \\ \mathbf{sinThetaDitherCorr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{-Koa} & \mathbf{-Kca} \\ \mathbf{Kca} & \mathbf{-Koa} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \mathbf{VxIdeal} \\ \mathbf{VyIdeal} \end{bmatrix},$$

其中橫軸及同軸顫化角度係數定義為

Kca = Kw/VelIdeal，並且

Koa = Taod*(Ndither-1)/ditherRange。

【0457】 Kca 及 Koa 可藉由 SCC 基於處理段參數，使用理想坐標中之軌跡速度來計算。

【0458】 此公式化提出各種實行選項。在一實施例中，Kw 之值在處理段內保持恆定，並且單一恆定 TMdither 變換自 SCC 1010 傳遞至 DSP 1026。在某些實施例中，保持 Kw 恆定可為容許限制，因為漸縮線可由一系列短段來產生，每個段具有恆定的 Kw 值。在另一實施例中，擴展 TMdither 之項以產生兩個變換：一個係恆定的，並且一個藉由 Kw 來定標。然後，DSP 1026 可更新處理段內之 TMdither：

TMdither = TMdither1 + Kw*TMdither2。

【0459】 然後，可在處理段內對 Kw 之值進行內插以產生漸縮的線寬度。此意味著 DSP 1026 進行的更多計算，並且更多資料自 SCC 1010 傳輸至 DSP 1026。取捨係提供更短且更精確的寬度過渡之能力。

【0460】 最終顫化命令藉由 FPGA 1028 產生：

$$\begin{bmatrix}AOD0\\AOD1\end{bmatrix} = TMaod * \begin{bmatrix}DitherX\\DitherY\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}T11 & T12\\T21 & T22\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}DitherX\\DitherY\end{bmatrix}。$$

【0461】 但是按照慣例，僅 DitherX 分量在 FPGA 顫化表中為非零的。因此，僅 TMaod 之第一行在顫化期間係必需的：

$$\begin{bmatrix}AOD0\\AOD1\end{bmatrix} = TMaod * \begin{bmatrix}DitherX\\0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}T11 & 0\\T21 & 0\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}DitherX\\0\end{bmatrix}。$$

【0462】 基於先前部分中之方程，此行藉由下式給出

$$\begin{bmatrix}T11\\T21\end{bmatrix} = TMframe*TMFieldIdealToRawGalvo*\begin{bmatrix}-Koa & -Kca\\Kca & -Koa\end{bmatrix}*\begin{bmatrix}VxIdeal\\VyIdeal\end{bmatrix}。$$

【0463】 然而，可在 DSP 1026 中利用之射束軌跡資料係在原始電流

計坐標中，而非在理想坐標中。藉由掃描場失真來修改之射束軌跡速度向量之角度及量值使顫化向量失真。為了正確地在理想坐標中計算顫化向量，根據某些實施例，在計算顫化向量之前，可自速度向量移除局部掃描場失真(藉由 TMfield 描述)。

$\begin{bmatrix} \mathbf{VxIdeal} \\ \mathbf{VyIdeal} \end{bmatrix}$ = TMFieldRawGalvoToIdeal* $\begin{bmatrix} \mathbf{VxRaw} \\ \mathbf{VyRaw} \end{bmatrix}$。

【0464】 此轉換允許在理想坐標中計算顫化向量，然後變換成原始 AOD 坐標。此程序使用三個變換：TMfield(原始電流計至理想)，TMfield(理想至原始電流計)，及 TMframe(原始電流計至原始 AOD)。然後，TMaod 之第一行藉由下式給出

$\begin{bmatrix} \mathbf{T11} \\ \mathbf{T21} \end{bmatrix}$ = TMframe*TMFieldIdealToRawGalvo

$*\begin{bmatrix} -\mathbf{Koa} & -\mathbf{Kca} \\ \mathbf{Kca} & -\mathbf{Koa} \end{bmatrix}$*TMFieldRawGalvoToIdeal* $\begin{bmatrix} \mathbf{VxRaw} \\ \mathbf{VyRaw} \end{bmatrix}$，或

$$\begin{bmatrix} \mathbf{T11} \\ \mathbf{T21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{D11} & \boldsymbol{D12} \\ \boldsymbol{D21} & \boldsymbol{D22} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \mathbf{VxRaw} \\ \mathbf{VyRaw} \end{bmatrix} = \mathbf{TMdither} * \begin{bmatrix} \mathbf{VxRaw} \\ \mathbf{VyRaw} \end{bmatrix}。$$

【0465】 TMdither 矩陣藉由 SCC 1010 針對每個段來計算，並且傳遞至 DSP 1026 以用於基於 VxRaw 及 VyRaw 之即時值進行處理。然後，此簡化 DSP 處理，因為顫化變換項係在 SCC 1010 上預計算。

【0466】 自 DSP 傳輸至 FPGA 1028 之完整 TMaod 矩陣則為

$$\text{TMaod} = \begin{bmatrix} \mathbf{T11} & \mathbf{0} \\ \mathbf{T21} & \mathbf{0} \end{bmatrix}。$$

【0467】 此形式之 TMaod 僅為用於顫化之特殊情況。對於光柵處理，通常使用完整 TMaod 矩陣。

vi. 顫化方向控制

【0468】 例如，在刮削期間，當一致地處理較大燒蝕區域時，可使用

顫化方向(相對於速度軌跡)。經驗證明，相對於碎片輔助氣流之雷射處理方向可顯著影響處理結果。通常，「迎風」處理係較佳的，以避免與碎片羽流之相互作用。

【0469】 在給定以上方程的情況下，可簡單地藉由改變 TMdither 方程中之 Kca 之正負號來改變顫化方向，從而有效地反轉橫軸顫化運動。此可在 SCC 階層上基於刮削通過之速度軌跡來執行。注意，刮削通過通常在一個角定向上佈置於有規律地間隔開之列中，從而允許簡單地控制相對於碎片輔助氣流之顫化方向。

4. 顫化列通量控制

【0470】 在某些實施例中，在顫化期間實行通量控制保持每個顫化列之恆定劑量。此允許劑量在處理段之末端斜降，同時保持劑量跨線寬度為一致的。此可適用於例如隨著較寬顫化線之快速劑量斜坡。

【0471】 圖 49 圖形地例示根據一實施例之顫化列通量控制。頂部繪圖 5210 示出跨越兩個處理段(示出為藉由虛線 5214 分開的段 N 及段 N+1)的一系列顫化列 5212(示出六個)。第二繪圖 5216 示出用於每個顫化列 5212 之同軸(OA)顫化命令 5217。第三繪圖 5218 示出用於每個顫化列 5212 之橫軸(CA)顫化命令 5220。注意，OA 顫化分量具有負斜率，當主要射束軌跡以恆定速度移動時，保持顫化相對於工件為靜止的。底部繪圖 5222 示出理想通量命令 5224 及實際通量命令 5226。注意，在第二處理段中(虛線 5214 之左側)，通量斜降(例如，形成相交處之一個分支)。連續通量斜坡被轉換成一系列通量步階，其中每個顫化列之通量保持恆定。每個顫化列之通量等級藉由顫化列中心處之通量斜坡值給出。

【0472】　亦注意，顫化列 5212 之同軸位置不與處理段之開始或末端對齊，具有等於 Taod*Vel*(Ndither-1)/2 之偏移。此保持處理段之概念一般化，以使得可在任何方向上處理任何段。藉由此較小偏移產生之任何處理人為產物可藉由降低特定段中之速度以減少顫化列間隔來緩解。

【0473】　此描述了保持每個顫化列之通量恆定的方法。若允許顫化寬度在處理段內變化，則可使用類似方法。

5. TMaod 極限

【0474】　在某些實施例中，TMaod 條目之量值限於<2。此在以下推導中看出：

lcosThDitherCorrl = (Vy/Vel*ditherCA + Vx/Vel*ditherOA)/ditherRange，

或

lcosThDitherCorrl = sinThVel*ditherCA/ditherRange +

cosThVel*ditherOA/ditherRange。

【0475】　為了保持光點重疊，顫化表條目之間隔小於~0.35*Deff。類似地，段速度受到限制以使得顫化列之間的間隔(ditherOA)小於~0.35*Deff。此確保 ditherOA/ditherRange<=1，即使對於最壞顫化情況(Nd=2)亦如此。按照定義，ditherCA/ditherRange = Kw <= 1。因此，當此等項中之每一者=1 時，出現lcosThDitherCorrl之最大值，並且

lcosThDitherCorrl = sinThVel + cosThVel，

其在 ThVel=45 度時具有最大值 1.414。類似極限適用於lsinThDitherCorrl。

【0476】　歸因於掃描透鏡失真局部尺度因子，TMfield 之項可具有稍微大於 1 之量值(例如，或許高達 1.2)。非正交性可產生 TMframe 中之高達

~1.1 之項。因此所有 TMaod 項之量值<2。

【0477】　為了確保此極限，顫化圖適當地將顫化表點間隔開(當 ditherRange 增加時，增加 Nd)，並且段速度受到限制以約束lditherOAl。

【0478】　注意，TMaod 中之定標可大於 1，但是此不意味著光點重疊之變化，因為 TMaod 中之定標項補償其他定標效應。例如，顫化向量之較長斜邊(歸因於速度補償，參見圖 35)似乎會減少光點重疊，但是當光點實際上施加至工作面時，速度效應將其對齊並且幾何形狀返回至正常。類似論證適用於局部透鏡失真定標(>1 之 TMfield 項對於<1 之局部透鏡定標來標準化)。因此，顫化圖可指定標稱光點間隔而不考慮 TMaod 定標效應。

6. 向量處理概述

【0479】　在某些實施例中，在向量模式下之處理可概述如下。對於應用中之每個處理段，遵循以下步驟。圖 45(以下論述)例示用於將向量處理段資料轉換成發至 FPGA 1028 之命令的此處理流程。熟習此項技術者自本文中之揭示內容將認識到，某些以下步驟可按不同次序來執行。

【0480】　步驟 1：SCC 1010 使用以下規則將應用分解成單獨處理段：單獨段為弧形所需要的；所有段小於 maxSegmentLength(~1 mm，用於校準)；並且所有段在大於 12.5 μsec 內處理(對於此特定實例，處理支援每個段 12.5 μsec 之持續更新速率，從而在 2 m/sec 下支援 25 μm 的最小段長度；當然，其他實施例可使用不同更新速率)。

【0481】　步驟 2：SCC 1010 使用過程圖及溝槽幾何形狀(寬度，深度)來判定所需過程參數(GridWidth 及通量)。

【0482】　步驟 3：SCC 1010 使用顫化圖來判定對應於所需 GridWidth

之顫化表參數(Nd，Kw)。注意，Nd 對於每個段保持恆定，但是 Kw 可在過渡段內進行內插。

【0483】 步驟 4：SCC 1010 使用顫化圖來判定對應於 Nd 之顫化表參數 tableAddress 及 tableLength。

【0484】 步驟 5：SCC 1010 使用顫化圖來計算 EffectiveWidth。由於可對 Kw 進行內插，因此亦可在過渡段內對 EffectiveWidth 進行內插。

【0485】 步驟 6：SCC 1010 計算劑量=通量*EffectiveWidth。可在過渡段內對此進行內插。

【0486】 步驟 7：SCC 1010 基於段弧形半徑來計算 Kb(若需要)。

【0487】 步驟 8：SCC 1010 基於以下限制中之一或多者來指派段速度(在段內保持恆定)：a.受雷射功率限制的速度，其基於功率圖及所需劑量；b.歸因於所需 GridWidth、AOD 場大小及三級濾波器瞬態量值之 AOD 速度極限；c.歸因於顫化列之間的最大間距之 AOD 速度極限(=Taod*(Nd-1)*Vel)，其可能<0.35*Deff；以及 e. 各段可具有滿足步驟 1 中提及之最小段時間要求所需要的較低速度。

【0488】 步驟 9：SCC 1010 將過程及位置輪廓資料傳輸至 DSP 1026。(在此實例中不使用形狀參數 Ks)。自 SCC 1010 傳輸至 DSP 1026 之資料包括段端點 XY 坐標、段弧形中心 XY 坐標及半徑、軌跡樣本之數目(~速度)、顫化 tableAddress、顫化 tableLength、劑量、Kw 及 Kb。

【0489】 步驟 10：DSP 1026 以 Tcmd 之更新週期來計算中心線位置資料(Xc，Yc)，並且用三級濾波器來處理該資料。

【0490】 步驟 11：DSP 1026 每個顫化列計算新的顫化(Kw)及過程

(Kp，Kb)參數一次(每 Nd*Taod 秒)，若需要，則進行內插(在過渡段中)。

【0491】 步驟 12：DSP 1026 基於軌跡角度及速度來計算 TMaod 變換分量。

【0492】 步驟 13：DSP 1026 將低階命令發送至 FPGA 1028 來控制 AOD 操作。由於 DSP 1026 及 FPGA 1028 以不同更新週期(Tdsp 對 Taod)來操作，因此每個 DSP 循環傳輸足夠的資料以允許 FPGA 1028 在接下來的 Tdsp 秒內進行處理(亦即，全部 Tdsp/Tcmd 資料集)。

B. 光柵處理

【0493】 光柵處理類似於向量處理，只是使用 2D 光柵表來進行 AOD 控制，而非如在向量處理中使用 1D 表。

【0494】 在一實施例中，光柵處理與向量處理同時實行，從而避免浪費時間來再訪光柵位置並且使向量寫入與相交處處理之間的經過時間最小化以便使雷射射束漂移效應最小化。另外，較大場掃描透鏡失真特性之檢查指示較大光柵圖案(例如，200 μm 寬)可能已應用 PGC 定標及旋轉校正，尤其在溝槽與其相交時。

【0495】 根據一實施例，LDA 系統使用用於光柵及向量處理之相同硬體架構來將向量處理與光柵處理混合。由於針對每個處理段來指定唯一的顫化表，因此光柵操作作為另一個表被無縫地整合至處理流程中。

【0496】 標稱射束位置之速度通常在光柵處理期間設定為零。另外，若處理較大光柵區域(消耗大部分 AOD 範圍)，則允許三級濾波器安定以便使所添加的 AOD 三級偏轉最小化。通常，在某些實施例中，此大約為 0.25 msec。

【0497】　定標/旋轉校正可作為一組 PGC 項來提供，如先前顫化旋轉論述中所描述。對於光柵處理，Rdither 矩陣包括光柵圖案在電流計 XY 坐標框架中之旋轉，並且藉由 SCC 1010 針對每個光柵圖案來傳輸(而非藉由 DSP 1026 基於軌跡速度來計算)。此旋轉可將相交處光柵圖案相對於周圍跡線來定向以利於正確的相交處形成。

【0498】　為了考慮到掃描場失真，SCC 1010 亦基於光柵之 XY 掃描場位置及電流計校準資料來識別 PGC 校正。在某些實施例中，此在光柵區域內校正 X/Y 誤差中之高達 5-6%之誤差。此可為在光柵處理期間的未校正誤差。注意，在向量處理中，掃描場校準明確地應用於段端點；在短距離(~1 mm)內的端點之間的非線性誤差較小。

1. 光柵處理概述

【0499】　在光柵模式下之處理可概述如下。對於應用中之每個處理段，可遵循以下步驟。圖 46(以下論述)概述用於將光柵處理段資料轉換成發至 FPGA 1028 之命令的此處理流程。熟習此項技術者自本文中之揭示內容將認識到，某些以下步驟可按不同次序來執行。

【0500】　步驟 1：在應用之「轉換」期間，SCC 1010 計算光柵圖案並且建立具有許多個別圖案的光柵表。在一些情況下，單一光柵「部位」可由若干較小光柵圖案組成(例如，圓形襯墊+各種角度下之「突出部」)。此等圖案可組合成一個較大圖案，或單獨處理此等圖案。注意，一些光柵圖案可在整個應用中，在不同旋轉角度下使用若干次。

【0501】　步驟 2：SCC 1010 識別所有光柵圖案之旋轉角度，例如，在 CAD(電腦輔助設計，用於特定應用)坐標中。

【0502】 步驟 3：在應用開始之前，SCC 1010 將光柵表資料下載至 FPGA 1028。

【0503】 步驟 4：SCC 1010 產生每個光柵位置之 TMdither 變換。此 PGC 對應於發送至 FPGA 1028 之 TMaod 變換。TMdither 變換包括 CAD 坐標中之光柵旋轉、工件對準旋轉、局部掃描場失真 PGC，及視情況由使用者指定之額外定標調整。

【0504】 步驟 5：SCC 1010 形成光柵處理段，在光柵之持續時間內速度為零。若使用者指定光柵之重複(例如，以獲得更好的過程控制)，則可將多個段鏈接在一起。

【0505】 步驟 6：SCC 1010 可包括具有允許三級濾波器安定之安定持續時間的前導及尾部零速度段，從而防止較大光柵圖案之過度 AOD 偏移。

【0506】 步驟 7：SCC 1010 基於指定之光柵深度及過程圖來計算所要通量。

【0507】 步驟 8：SCC 1010 基於光柵光點間距及可選的 Kw 定標調整因子來計算標稱功率。

【0508】 步驟 9：SCC 1010 將光柵參數發送至 DSP 1026。注意，對於幾何形狀定標係併入於 PGC 項而非 Kw 項中並且不使用內傾的光柵段，DSP 1026 可將「劑量」解釋為「功率」。「光柵模式」標識可適用於將此標記為不同資料結構。自 SCC 1010 發送至 DSP 之光柵參數可包括段端點 XY 坐標(對於零速度係相同的)、段弧形中心 XY 坐標及半徑(未使用)、軌跡樣本之數目(~光柵時間)、光柵 tableAddress、光柵 tableLength、功率(代替劑量)及 TMdither(場失真及光柵角度)。

【0509】　步驟 10：DSP 1026 將以上光柵參數發送至 FPGA 1028 以供處理。由於光柵被視為顫化，因此不需要設定特殊模式。

2. 板塊化光柵處理

【0510】　光柵處理之變化在某些情況中可為適用的。圖 36 示意性地例示根據一實施例的板塊化光柵處理之實例。在圖 36 中，兩個襯墊 3910、3912 靠攏在一起並且藉由短跡線 3914 連接。整個區對於單一光柵圖案而言太大，並且對於典型襯墊-跡線-襯墊處理序列而言，襯墊 3910、3912 可間隔得過於靠攏在一起。可對該區進行刮削，但是歸因於處理區域之形狀，雷射工作循環將較低。

【0511】　根據一實施例之替代方法係將此區作為兩個光柵圖案 3916、3918 來處理，該等圖案經板塊化並且重疊來提供兩個光柵區域 3916、3918 之間的過渡區 3920。可在 SCC 1010 上如下界定光柵圖案 3916、3918：將任意「團跡」(即，具有任意形狀及/或尺寸之區域)分解成若干重疊的光柵區域 3916、3918，其中重疊等於所要過渡長度 3922(例如，約 40-50 μm)，並且圍繞每個團跡之邊界超過過渡長度 3922；用具有單位振幅之光點網格來填充每個區域;沿著每個尺寸應用 FIR 濾波器以便使光柵振幅在過渡區 3920 中斜降(例如，如同刮削濾波器)；在每個光柵區域內，將團跡區之外之資料歸零，從而產生明確界定的團跡區，在板塊之間具有傾斜過渡區；並且在合適位置下載並執行每個光柵圖案。

【0512】　此對於可包含於少許光柵場中之較小團跡而言可較好地起作用，並且可快於如圖 36 中示出之低密度圖案之刮削，因為僅所需點可被光柵化(跳過所有空白空間)，並且因為僅少許電流計移動可在 AOD 場之間

進行。

【0513】　重複圖案可重複(藉由合適的旋轉)，與每次重新計算新的刮削資料形成對照。當然，識別「相同圖案」可能很難。

C. 刮削處理

【0514】　刮削係在較大區域(而非細溝槽)上移除材料之過程。與使用標稱光點的情況相比，以下概述之方法允許顫化加寬線更加有效得多地移除材料，同時避免可由使用此等較寬線導致的「像素化」效應。舉例而言，圖 37 示意性地例示根據某些實施例的歸因於寬線刮削之像素化誤差。在圖 37 中，將要處理的示例性團跡(左側)包括圓形邊緣，用足夠精細以提供適當解析度的射束來處理該等圓形邊緣。使用較寬射束來處理特徵(右側)導致過度像素化及解析度之不可接受的損失。

【0515】　在某些實施例中，對刮削射束之側面及末端斜率進行整形係有用的。此等「過渡斜率」允許鄰近的刮削通過適當地重疊並且在工件上產生均勻通量(例如，以獲得均勻的深度控制)並且提供對於射束位置誤差之容限。另外，刮削射束之末端上之斜率在溝槽將與刮削區域相交的情況下係合乎需要的(再次，提供均勻性及對於位置誤差之容限)。

【0516】　在一實施例中，藉由劑量及形狀控制來執行較寬刮削射束之此整形。然而，若線寬度在處理期間保持恆定，則寬線像素化問題使得此方法很難。

【0517】　在另一實施例中，藉由處理「像素網格」，並且將濾波器應用於網格以產生所要側面及末端斜率，來改變較寬顫化圖案。

【0518】　圖 38 示意性地例示根據一實施例的劃分成網格條帶 4102、

4104、4106 之刮削區域 4100。雖然僅示出三個條帶 4102、4104、4106，但是額外條帶可用來完成整個刮削區域 4100。將一般或任意「團跡」區域轉換成像素 4110 之網格，並且像素 4110 之間的最小間隔基於基本光點大小(例如，要求>60%重疊)。刮削物件可具有一個細長軸，其可與刮削射束軌跡對準(例如，在圖 38 之實例中，對於第一條帶 4102 而言，為左至右，如藉由箭頭 4112 指示)。

【0519】　取決於速度、顫化點更新速率及顫化點之數目，沿著此主要射束軌跡(「同軸」)之網格間隔可小於正交軸(「橫軸」)上之所需間隔。設置光點網格以使得準確地畫出刮削區域輪廓，尤其在任何其他特徵將與刮削區域相交時。因此最終光點網格間隔取決於輪廓尺寸。另外，根據某些實施例，因為顫化列執行時間係固定並且量化的(=Taod*Nd)，所以調整刮削軌跡速度以使得整數個刮削顫化列精確地填充刮削區域。

【0520】　然後將網格劃分成單獨通過(在圖 38 中展示為 4102(條帶 1)、4104(條帶 2)及 4106(條帶 3)，出於示例性目的將其展示為藉由虛線劃分)。在每次通過期間，將射束顫化以產生所要寬度。通常，此可產生不可接受的像素化誤差，如圖 37 中示出。然而，若顫化圖案可隨著同軸位置而變化來定製，則可避免此像素化。

【0521】　為了避免像素化，將網格圖案依序載入至 FPGA 1028 AOD 控制器中，其中每個「顫化列」藉由二元圖案來指定。然後對此圖案進行濾波以產生側面及末端斜率。濾波網格之結果在圖 39 中示出。圖 39 圖形地例示根據一實施例的刮削顫化點之未濾波網格(在左側)及刮削顫化點之對應濾波網格(在右側)。圖 40 圖形地例示根據一實施例的對應於圖 38 示出之

條帶 4102、4104、4106 的前三個刮削射束之通量分佈。第一圖表 4310 示出對應於第一條帶 4102 之通量分佈。第二圖表 4312 示出對應於添加第二條帶 4104 之通量分佈。第三圖表示出對應於添加第三條帶 4106 之通量分佈。第四圖表 4316 示出對應於條帶 4102、4104、4106 之組合通量之通量分佈。

【0522】 在某些實施例中，顫化方向(相對於刮削射束軌跡之橫軸方向)基於刮削射束軌跡之方向自一個條帶至下一個條帶在多次通過之間切換。舉例而言，再次參看圖 38，第一條帶 4102 之刮削射束軌跡 4112 係自左至右，第二條帶 4104 之刮削射束軌跡 4114 係自右至左，並且第三條帶 4106 之刮削射束軌跡 4116 再次係自左至右。因為主要射束軌跡在每次刮削通過之間反轉方向，所以圖 38 例示沿著每個顫化列之顫化方向(如藉由箭頭 4118、4120、4122 指示)亦改變方向。對於第一通過，當刮削射束軌跡 4112 自左至右移動時，第一條帶 4102 中之每個顫化列在第一顫化方向 4118 上(例如，自底部至頂部)處理。對於第二通過，當刮削射束軌跡 4114 自右至左移動時，第二條帶 4104 中之每個顫化列在第二顫化方向 4120 上(自頂部至底部)處理。對於第三通過，當刮削射束軌跡 4116 再次自左至右移動時，第三條帶 4106 中之每個顫化列在第一顫化方向 4122 上(自底部至頂部)處理。根據某些實施例，基於刮削通過之方向來切換顫化方向會影響刮削處理之控制及品質(例如，其影響刮削深度)。在某些實施例中，允許使用者選擇是否在刮削期間反轉或保持顫化方向(例如，基於刮削通過之方向)。

【0523】 以下總結概述根據一實施例之刮削程序。

【0524】 刮削列寬度之選擇用於最佳化效率。以下論述兩個示例性情況。

【0525】 第一種情況假定在刮削列之間移動之後沒有安定，如圖 41 及圖 42 例示。圖 41 圖形地例示根據一實施例之刮削實例。在圖 41 中，出於示例性目的，複數個刮削列 4410、4412、4414、4416 彼此分離。然而，如以上關於圖 38 及 40 所論述，熟習此項技術者自本文中之揭示內容將理解，刮削列 4410、4412、4414、4416 亦可彼此鄰近(或彼此部分重疊)。圖 42 圖形地例示根據一實施例之在刮削期間之射束命令。在處理每個刮削列 4410、4412、4414、4416 時，三級 AOD 位置居中(在三級濾波器已經安定之後)，並且 AOD 子系統 1042 圍繞中心顫化，顫化的量為±一半列寬度。當射束定位器完成每個列並且移動至下一列時，其在 AOD 場中產生(歸因於三級剖析)等於一半列寬度的額外偏轉(AOD 偏轉在當前列與下一列之間劃分)。因此，在跳躍至下一列之後之最大 AOD 偏轉消耗全部一個列寬度。在此「未安定」方法中，雖然在跳躍至下一列之後不需要安定，但是選擇每個列之長度以便足夠長以允許三級濾波器在先前列跳躍之後安定。取決於選定刮削寬度，較短列長度可仍然使用額外「安定段」來提供此時間。注意，雖然刮削寬度設定為完全低於最大 AOD 範圍，但是功率(且由此速度)可設定來適應 AOD 之整個偏轉範圍內的最壞情況 AOD 效率，由此降低此方法之效率。

【0526】 第二種情況允許使用完整 AOD 寬度，但是其中總是插入安定段以允許三級瞬態在刮削列處理開始之前衰減。此允許使用更寬刮削寬度。雖然此可藉由每個列移除更大區域來增加刮削效率，但是藉由增加刮削寬度來獲得之效率被更寬偏轉範圍下之較低 AOD 效率抵消掉(假定系統允許功率隨著 AOD 偏轉寬度而增加)。

【0527】 由此等兩種情況所產生之刮削效率之模型在圖 43 中例示，圖 43 係例示根據一實施例的材料移除速率(面積/秒)對刮削列長度(skiveLength)及寬度(線間距)的繪圖。圖 43 中之繪圖假定 10 μm 刮削深度及 25 μm 光點大小。此指示，對於在此實例中使用之 AOD，「未安定」情況幾乎與「安定」情況一樣有效。此可隨著具有更大效率或更寬偏轉範圍之不同 AOD 設計而變化，或針對不同刮削深度或標稱光點大小而變化。注意，歸因於在列之間跳躍期間的額外 AOD 偏轉，「未安定」情況在更有限寬度範圍內操作。在此實例中，最佳刮削列寬度係大約 50 μm。

【0528】 圖 44 示意性地例示根據一實施例的刮削列幾何形狀之側視圖。圖 44 例示在濾波之前之刮削列寬度 4710 及在濾波之後之顫化寬度 4712。在具有過渡寬度 4716 之過渡區中，濾波產生傾斜側壁 4714(例如，用於與鄰近的刮削列或其他特徵相交)。傾斜度及過渡寬度 4716 基於濾波(例如，CrossAxisTaps*光點間距)。

1. 刮削處理概述

【0529】 在刮削模式下之處理可概述如下。熟習此項技術者自本文中之揭示內容將認識到，某些以下步驟可按不同次序來執行。圖 47(以下論述)概述將光柵處理段資料轉換成發至 FPGA 1028 之命令的此處理流程。

i. 預處理步驟

【0530】 步驟 1：SCC 1010 識別刮削區域，其可置放於應用檔案中之單獨層中。

【0531】 步驟 2：SCC 1010 將刮削區域轉換成二元光點之網格，其中橫軸間隔基於光點大小，並且同軸間隔基於速度及顫化參數。

【0532】 步驟 3：SCC 1010 將刮削網格轉換成列之集合。

【0533】 a. 列寬度可最佳化(寬度對效率取捨)，如圖 43 中示出。注意，刮削寬度歸因於產生傾斜邊緣之濾波而增加，因此寬度最佳化計算可對此予以考慮。邊緣過渡可為約 40 μm 寬(在給出 2 μm 定位誤差的情況下，存在 5%深度誤差)；濾波邊緣自未濾波標稱邊緣之延伸等於½過渡長度。

【0534】 b. 刮削顫化列間隔(在同軸方向上)滿足對於最大間距(光點重疊>60%)、功率限制條件內之處理速度及每個刮削段內之整數個顫化列的要求。另外，顫化列間隔可與所要同軸過渡長度及指定同軸箱車波形濾波器相容(參見下文)。由於箱車波形濾波對於整數個顫化列操作，因此顫化列間隔可在過渡區中提供整數個列。必要時，過渡長度可稍微擴大以允許此舉，只要任何對應相交處具有匹配的過渡長度即可。

【0535】 步驟 4：SCC 1010 指定箱車波形平均值之長度(CrossAxisTaps 及 OnAxisTaps)以產生邊緣及末端上之所要斜率。

【0536】 a. CrossAxisTaps 及 OnAxisTaps 係奇數(中心點+成對之周圍點)。

【0537】 b. 取決於橫軸間隔(受顫化控制)及同軸間隔(受 Nd*Taod*vel 控制)，CrossAxisTaps 及 OnAxisTaps 可能不同。過渡區可與用於相交處之過渡區相同，例如，約 40 μm(對於 2 μm 定位誤差，為 5%深度誤差)。

【0538】 c. 由於 OnAxisTaps 係捨位整數值，因此可能需要調整顫化列之時序(經由速度及/或 Taod)以滿足端點位置及過渡斜率寬度之要求。

【0539】 步驟 5：對於每個刮削列，SCC 1010 產生一組 SkiveData 字。

【0540】 a. 每個 SkiveData 字表示每個顫化列的一組振幅點，並且未

處理點設定為零。

【0541】 b. SkiveData字之長度等於用於刮削之顫化表長度(高達32個點)。

【0542】 c. 在 SkiveData 字之每個末端，「CrossAxisTaps」個點可設定為零以考慮到箱車波形濾波器之寬度，如圖 44 中例示。

【0543】 d. 橫軸上之雷射處理(朝向顫化表之末端)偏移，偏移的量為「CrossAxisTaps」個顫化點。刮削顫化表考慮到此偏移。刮削顫化表亦包括以上提及之足夠補零條目。

【0544】 步驟 6：SCC 1010 計算處理段位置。每個刮削列之實際雷射處理沿著同軸偏移(延遲)，偏移的量為「OnAxisTaps」個顫化列。處理段幾何形狀考慮到此偏移。

【0545】 步驟 7：SCC 1010 使用過程圖及溝槽幾何形狀(寬度，深度)來判定所需過程參數(GridWidth 及通量)。

【0546】 步驟 8：SCC 1010 使用顫化圖來判定對應於所需 GridWidth 之顫化表參數(Nd，Kw)。

【0547】 步驟 9：SCC 1010 使用顫化圖來判定對應於 Nd 之顫化表參數 tableAddress 及 tableLength。

【0548】 步驟 10：SCC 1010 使用顫化圖來計算 EffectiveWidth。由於可對 Kw 進行內插，因此亦可在過渡段中對 EffectiveWidth 進行內插。

【0549】 步驟 11：SCC 1010 計算劑量=通量*EffectiveWidth。可在過渡段中對此進行內插。

【0550】 步驟 12：SCC 1010 使用功率圖、基於所需劑量來判定該段

所准許之最大速度。段可具有滿足最小段時間要求所需要的較低速度。速度在任何段內保持恆定。

【0551】　步驟 13：SCC 1010 藉由下式來將劑量定標

Kskive = 1/(CrossAxisTaps*OnAxisTaps)。

【0552】　步驟 14：SCC 1010 通知 DSP 1026 進入刮削模式。DSP 1026 將 FPGA 1028 設定成刮削模式。

ii. 運行時間處理

【0553】　在刮削處理期間，針對每個段遵循以下步驟。

【0554】　步驟 1：SCC 1010 對於每個刮削列產生處理段，並且將以下資料傳輸至 DSP 1026：段端點 XY 坐標；段弧形中心 XY 坐標及半徑；軌跡樣本之數目(~速度)；刮削 tableAddress；刮削 tableLength；劑量；Kw；SkiveData；OnAxisTaps；CrossAxisTaps；及刮削模式通知。

【0555】　步驟 2：DSP 1026 處理來自 SCC 1010 的串流傳輸資料，如同在向量模式下，從而將資料發送至 FPGA 1028。

【0556】　步驟 3：FPGA 1028 產生顫化列向量，並且非零資料點設定為指定劑量。

【0557】　步驟 4：FPGA 1028 對於顫化列執行橫軸及同軸箱車波形平均濾波如下：

a. 在橫軸資料(每個顫化列)到達時，對其運行箱車波形濾波器。每個點之每個箱車波形濾波器係此點與±(CrossAxisTaps-1)/2 周圍點之總和(其中在向量末端補零)。不需要定標(劑量藉由 Kskive 來預定標)。

b. 將此等濾波顫化列排入佇列。

c. 處理來自此佇列之顫化列。藉由對每個列與周圍(OnAxisTaps-1)/2 列求和來應用同軸箱車波形濾波(根據需要，對開始及結束列進行補零)。另外，歸因於 Kskive 預定標，不需要定標。

【0558】 步驟 5：注意，仍然應用角度及劑量參數(如同在正常顫化中)，但是沒有形狀或內傾(箱車波形濾波應用形狀；刮削被限於直線，因此沒有內傾)。

【0559】 步驟 6：調整同步化以考慮到來自箱車波形濾波器之延遲。

【0560】 圖 45 係例示根據一實施例的用於向量處理之 AOD 命令產生的方塊圖。如以上所論述，SCC 1010 將應用分解成單獨處理段，每個段具有對應的段資料 4810。使用材料表 4812(例如，參見圖 9)，SCC 1010 根據段資料 4810 及來自過程圖 4814 之資料來處理溝槽幾何形狀(例如，深度及寬度)，以判定諸如網格寬度及通量之過程參數。SCC 1010 使用顫化圖 4816 來處理 GridWidth 以判定顫化表參數 Nd 及 Kw。在某些實施例中，Nd 對於每個段保持恆定，但是可在過渡段內對 Kw 進行內插。然後，SCC 1010 使用顫化圖 4816 來判定對應於 Nd 之顫化表參數 tableAddress 及 tableLength。SCC 1010 亦使用顫化圖來計算 EffectiveWidth(Weff)。因為可對 Kw 進行內插，所以亦可在過渡段內對 EffectiveWidth 進行內插。如圖 45 中示出，SCC 1010 計算劑量=通量*EffectiveWidth。亦可在過渡段內對劑量進行內插。顫化圖 4816 亦將 DitherRange 提供至 DSP 1026。

【0561】 SCC 1010 將劑量提供至功率圖 4518 並且指派段速度 MaxVel(在段內保持恆定)。段速度 MaxVel 可基於受雷射功率限制的速度及/或一或多個 AOD 速度極限。受雷射功率限制的速度基於功率圖 4818 及計

算出之劑量。AOD 速度極限可基於所需 GridWidth、AOD 場大小及三級濾波器瞬態量值。另外，或在其他實施例中，AOD 速度極限可基於顫化列之間的最大間距(=Taod*(Nd-1)*Vel)，根據某些實施例，其<0.35*Deff。在某些實施例中，段可具有滿足最小段時間要求所需要的較低速度。

【0562】 SCC 軌跡產生模組 4820 接收來自段資料 4810 之 XY 射束坐標及所指派之段速度 MaxVel。若內傾用於弧形段，則 SCC 軌跡產生模組 4820 基於段弧形半徑來計算內傾參數 Kb。SCC 軌跡產生模組 4820 亦產生段軌跡資料(例如，段端點 XY 坐標、段弧形中心 XY 坐標及半徑，及軌跡樣本之數目)。

【0563】 SCC 1010 使用段資料 4810 來產生 TMfield 變換 4822，其對於掃描場失真及標稱電流計對準進行校正。SCC 1010 亦產生 TMframe 變換 4823 以將 AOD 坐標框架與電流計坐標框架對準。如圖 45 中示出，SCC 1010 將 TMfield 變換 4822 與 TMframe 變換 4823 相乘以判定 TMdither 變換矩陣。

【0564】 在 DSP 1026 內，DSP 軌跡產生模組 4824 使用自 SCC 1010 接收之段軌跡資料、DitherRange 及 Kw 以 Tcmd 之更新週期來計算中心線位置資料(Xc，Yc)。雖然在圖 45 中未展示，但是在某些實施例中，DSP 1026 亦用三級濾波器(參見，例如，圖 19 及圖 48 示出之三級濾波器 2205)來處理資料。DSP 軌跡產生模組 4824 輸出速度、AOD 偏轉坐標及顫化向量尺度/旋轉。將 AOD 偏轉坐標提供至 TMtert 變換 4832，其輸出頻率偏差命令 Fdev0 及 Fdev1。

【0565】 DSP 1026 每個顫化列計算新的顫化(Kw)及過程(Kp，Kb)參數一次(每 Nd*Taod 秒)。若段係過渡段，則 DSP 1026 使用內插法 4826 來計算

新的顫化 Kw 參數。對於過渡段，DSP 1026 亦使用內插法 4828 來判定劑量。如圖 45 中示出，DSP 1026 使用劑量及藉由 DSP 軌跡產生模組 4824 計算出之速度來判定提供至 Kpwr 模組 4830 之工作面功率。Kpwr 模組 4830 將工作面功率轉換成標準化功率命令 Kp。

【0566】 如圖 45 中示出，DSP 1026 基於 TMdither 及顫化向量尺度/旋轉來計算 TMaod 變換分量，如以上所論述。

【0567】 DSP 1026 將低階命令發送至 FPGA 1028 來控制 AOD 操作。

【0568】 圖 46 係例示根據一實施例的用於光柵處理之 AOD 命令產生的方塊圖。如以上所論述，SCC 1010 將應用分解成單獨處理段，每個段具有對應的段資料 4810。在應用之「轉換」期間，SCC 1010 計算光柵圖案並且建立具有許多個別圖案的光柵表。段資料 4810 包括光柵圖案之光柵旋轉角度。每個光柵段具有零速度。

【0569】 使用材料表 4812，SCC 1010 根據段資料 4810 及來自過程圖 4814 之資料來處理光柵幾何形狀(例如，深度及寬度)，以判定諸如 RasterID(例如，對應於 GridWidth)及通量之過程參數。SCC 1010 使用顫化圖 4816 來處理 RasterID 以判定顫化表參數 Nd 及 Kw，以及通量定標。如圖 46 中示出，使用者可選擇性地調整 Kw。然後，SCC 1010 亦使用顫化圖 4816 來判定對應於 Nd 之光柵表參數 tableAddress 及 tableLength。如圖 46 中示出，SCC 1010 藉由將來自材料表 4812 之通量乘以藉由顫化圖 4816 提供之通量定標來計算所要通量。

【0570】 SCC 軌跡產生模組 4820 接收來自段資料 4810 之 XY 射束坐標。SCC 軌跡產生模組 4820 產生段軌跡資料，該資料提供至 DSP 軌跡產生

模組 4824。

【0571】　如圖 46 中示出，SCC 使用 TMfield 變換 4822、TMframe 變換 4823、來自段資料 4810 之光柵旋轉資料，及來自顫化圖 4816 之 Kw 來計算 TMdither 變換矩陣。TMdither 變換對應於發送至 FPGA 1028 之 TMaod 變換。

【0572】　如亦在圖 46 中示出，對於光柵段，DSP 1026 可將劑量解釋為「功率」。Kpwr 模組 4830 將功率轉換成標準化功率命令 Kp。

【0573】　DSP 軌跡產生模組 4824 輸出 AOD 偏轉坐標。將 AOD 偏轉坐標提供至 TMtert 變換 4832，其輸出頻率偏差命令 Fdev0 及 Fdev1。

【0574】　圖 47 係例示根據一實施例的用於刮削處理之 AOD 命令產生的方塊圖。如以上所論述，SCC 1010 將應用分解成單獨處理段，每個段具有對應的段資料 4810。在此實施例中，SCC 1010 識別刮削區域，其可置放於應用檔案中之單獨層中。SCC 1010 將每個刮削區域轉換成二元光點之網格，其中橫軸間隔基於光點大小，並且同軸間隔基於速度及顫化參數。如以上所論述，SCC 1010 將刮削網格轉換成列之集合。

【0575】　使用材料表 4812，SCC 1010 根據段資料 4810 及來自過程圖 4814 之資料來處理溝槽幾何形狀(例如，深度及寬度)，以判定諸如 GridWidth 及通量之過程參數。SCC 1010 使用顫化圖 4816 來處理 GridWidth 以判定顫化表參數 Nd 及 Kw。在某些實施例中，Nd 對於每個段保持恆定，但是可在過渡段內對 Kw 進行內插。然後，SCC 1010 使用顫化圖 4816 來判定對應於 Nd 之顫化表參數 tableAddress 及 tableLength。SCC 1010 亦使用顫化圖來計算 EffectiveWidth(Weff)。因為可對 Kw 進行內插，所以亦可在過渡段內對

EffectiveWidth 進行內插。如圖 47 中示出，SCC 1010 計算劑量=通量*EffectiveWidth。亦可在過渡段內對劑量進行內插。顫化圖 4816 亦將 DitherRange 提供至 DSP 1026。

【0576】 SCC 1010 將劑量提供至功率圖 4818 以判定段之最大速度 MaxVel(在段內保持恆定)。在某些實施例中，段可具有滿足最小段時間要求所需要的較低速度。

【0577】 SCC 軌跡產生模組 4820 接收來自段資料 4810 之 XY 射束坐標及最大速度 MaxVel。SCC 軌跡產生模組 4820 指定箱車波形平均值之長度(CrossAxisTaps 及 OnAxisTaps)以產生邊緣及末端上之所要斜率。因此，在設置期間，SCC 軌跡產生模組 4820 將刮削微動提供至 FPGA 1028。對於每個刮削列，CC 軌跡產生模組 4820 亦產生一組 SkiveData 字。SCC 軌跡產生模組 4820 產生段軌跡資料，其可包括處理段位置。每個刮削列之實際雷射處理沿著同軸偏移(延遲)，偏移的量為「OnAxisTaps」個顫化列。處理段幾何形狀考慮到此偏移。

【0578】 如以上所論述，SCC 1010 藉由下式將劑量定標：Kskive = 1/(CrossAxisTaps*OnAxisTaps)。

【0579】 如圖 47 中示出，SCC 1010 將 TMfield 變換 4822 與 TMframe 變換 4823 相乘以判定 TMdither 變換矩陣。

【0580】 在 DSP 1026 內，DSP 軌跡產生模組 4824 使用自 SCC 1010 接收的段軌跡資料、DitherRange 及 Kw 來輸出速度、AOD 偏轉坐標及顫化向量尺度/旋轉。將 AOD 偏轉坐標提供至 TMtert 變換 4832，其輸出頻率偏差命令 Fdev0 及 Fdev1。

【0581】 如圖 47 中示出，DSP 1026 使用劑量及藉由 DSP 軌跡產生模組 4824 計算出之速度來判定提供至 Kpwr 模組 4830 之工作面功率。Kpwr 模組 4830 將工作面功率轉換成標準化功率命令 Kp。DSP 1026 基於 TMdither 及顫化向量尺度/旋轉來計算 TMaod 變換分量，如以上所論述。

【0582】 DSP 1026 將低階命令發送至 FPGA 1028 來控制 AOD 操作。FPGA 1028 產生顫化列向量，並且非零資料點設定為指定劑量。FPGA 1028 亦對於顫化列執行橫軸及同軸箱車波形平均濾波。

【0583】 圖 48 係例示根據一實施例的電流計及 AOD 校準資料流 5100 之方塊圖。在電流計及 AOD 校準資料流 5100 中，SCC 1010 將包含 XY 段坐標(例如，在工作面坐標中)的 SCC 軌跡指定 5110(諸如圖 19 示出之示例性射束輪廓 2210)提供至掃描場變換 2203。然後，掃描場變換 2203 將經校正之 XY 段坐標(例如，在原始電流計坐標中)提供至 DSP 軌跡產生單元 4824，DSP 軌跡產生單元 4824 計算(例如，在原始電流計坐標中)發送至三級濾波器 2205 的詳細射束軌跡及顫化參數。如以上所論述，三級濾波器 2205 將原始 XY 電流計控制命令(例如，在原始電流計坐標中)提供至電流計控制器 5114。三級濾波器 2205 亦將 XY AOD 命令(可向其添加在原始電流計坐標中之可選的 XY 電流計誤差校正項)提供至 TMtert 變換 4832。然後，將來自 TMtert 變換 4832 之輸出(例如，作為 ch0 及 ch1AOD 命令)提供至 FPGA 1028，其產生最終 AOD RF 命令。

【0584】 SCC 1010 亦將旋轉變換 TMframe 5118 與局部掃描場失真校正 TMfield 4822 組合以產生 TMdither 變換矩陣。然後，將 TMdither 變換矩陣與顫化旋轉/尺度變換 5122(例如，Rdither 及 KwCorr)組合以產生提供至

FPGA 1028 的 AOD 命令變換矩陣 TMaod 變換。SCC 1010 亦使用 SCC 顫化資料 5124(例如，在工作面坐標中)來產生尺度因子 MHzPerμM，其可作為預載入資料包括於顫化(或光柵)表 1110 中。FPGA 1028 將來自顫化表 1110 之資料與 TMoad 變換組合以產生顫化及光柵資料，FPGA 1028 將其與來自 TMtert 變換 4832 之 AOD 命令組合以產生 AOD RF 命令。

【0585】 除了沿著射束軌跡、在每次通過期間加寬藉由雷射來加工之區域之外，本文揭示之橫軸微機械加工技術亦可用來或適於將雷射射束脈衝引導至個別選擇之橫向光點位置(涉及或不涉及顫化列、網格條帶或光柵移動)。另外，橫向光點位置可在雷射通過期間藉由雷射射束定址多次以准許三維圖案化，諸如差異深度圖案化之差異能量圖案化。此外，雷射射束脈衝可按時間非依序次序被引導至工件上之空間相同、空間重疊或空間相鄰的光點區域位置，諸如以便增加雷射處理參數窗口及/或處置具有熱或其他回應特性之工件材料，該等特性包括但不限於對於峰值功率、通量、重複率及咬合大小之敏感性。此等能力增強此等雷射微機械加工系統在各種工件材料中以較高產出量對工件進行標記並產生複雜特徵以及形成較小介層孔或製造切口的能力。

【0586】 工件 10 之示例性材料包括陶瓷、玻璃、塑膠及金屬，或其組合。示例性材料可為結晶或非結晶的。示例性材料可為天然的或合成的。示例性半導體晶圓材料可包括但不限於氧化鋁、藍寶石、玻璃、強化玻璃及 Corning Gorilla Glass™。示例性金屬材料包括鋁、不銹鋼及金屬氮化物。

【0587】 圖 50 係射束軸 1061 可沿著其行進之射束軌跡 5300 及藉由射束軸 1061 之橫軸定位所碰撞之示例性輔助光點區域位置 5310 之示例性網

格 100 的平面圖。在一些實施例中，一或多個電流計驅動反射鏡(電流計)1066、1067 可用來沿著射束軌跡 5300 引導射束軸 1061，並且高速定位系統(諸如包括零慣性定位裝置或快速轉向鏡)可用來將射束軸 1061 引導至個別選擇之輔助光點位置。在一些實施例中，零慣性定位裝置使用聲光裝置或電光裝置。

【0588】 高速定位系統可利用 Johnson 之美國專利第 7,133,186 號所揭示的 AOM 調變技術中之一或多者，該專利以引用方式併入本文中。此等調變技術包括但不限於：1)使用一或多個 AOM(或 EOM)來使射束軸 1061 相對於工件 10 之表面沿著橫向軸偏轉；2)在 AOM 上，諸如在 AOM 之橫向表面上，使用一或多個換能器來使射束軸 1061 相對於工件 10 之表面沿著橫向軸偏轉；3)使用多個 AOM 或具有多個不同角度切割表面之 AOM 及對應的換能器來增加高速定位系統之累加偏轉範圍；及 4)使用各種技術來阻斷(伴以完全射束消光)所產生的雷射射束脈衝，使其不能沿著射束軸傳播至工件 10。

【0589】 用於相對於工件 10 來引導射束軸之射束及基板定位系統(包括高速及快速定位系統)亦可利用以下各項中揭示之定位系統之調適：Unrath 之美國專利第 8,288,679 號及第 8,680,430 號，Unrath 等人之美國專利第 8,026,158 號，及 Unrath 等人之美國專利公開案第 2012-0273472 號及 Kelly Bruland 等人之美國專利第 7,633,034 號及第 7,425,471 號，其全部以引用方式併入本文中。

【0590】 參照圖 50，網格 100 之區域可與高速定位裝置之射束偏轉範圍一樣大，或網格 100 之區域可更小。或者，網格 100 可隨著以下因素而變化來界定：射束偏轉範圍、射束軸與工件之間的相對運動之速度、脈衝

重複率、將要在指定時間週期內遞送之脈衝之數目(包括特定位置及該等位置中之任一者將被碰撞之次數)，及/或垂直於射束軌跡之所要寬度。

【0591】 在一些實施例中，雷射射束脈衝可以可在 1 kHz 至 100 MHz 範圍內之脈衝重複率(亦被稱為脈衝重複頻率(PRF))來遞送。在一些實施例中，脈衝重複率大於或等於 100 kHz。在一些實施例中，脈衝重複率為 10 kHz 至 1 MHz。

【0592】 在一些實施例中，雷射通量可在自約 0.1×10^{-6} J/cm^2 至 100.0 J/cm^2 或更特定而言自 1.0×10^{-2} J/cm^2 至 10.0 J/cm^2 之範圍內。

【0593】 在一些實施例中，射束軸 1061 相對於工件 10 移動之速度在 1 mm/s 至 10 m/s 之範圍內。在一些實施例中，射束軸 1061 相對於工件 10 移動之速度在 100 mm/s 至 1 m/s 之範圍內。在一些實施例中，沿著射束軌跡 112 的射束軸與工件 10 之間的相對運動大於或等於 400 mm/s。

【0594】 在一些實施例中，快速射束定位系統 1044，諸如電流計驅動反射鏡 1066 及 1067，將射束軸 1061 沿著射束軌跡 112 以大於或等於快速射束定位系統 1044 之最大速度之 25%之速度來移動。在一些實施例中，快速射束定位系統 1044 將射束軸 1061 沿著射束軌跡 112 以大於或等於快速射束定位系統 1044 之最大速度之 50%之速度來移動。在一些實施例中，快速射束定位系統 1044 將射束軸 1061 沿著射束軌跡 112 以大於或等於快速射束定位系統 1044 之最大速度之 75%之速度來移動。在一些實施例中，快速射束定位系統 1044 將射束軸 1061 沿著射束軌跡 112 以大於或等於快速射束定位系統 1044 之最大速度之 90%之速度來移動。在一些實施例中，快速射束定位系統 1044 將射束軸 1061 沿著射束軌跡 112 以大於或等於快速射束定位

系統 1044 之最大速度之 95%之速度來移動。

【0595】 在一些實施例中，雷射射束脈衝具有 1 飛秒(fs)至 1000 奈秒(ns)範圍內之脈衝持續時間(脈衝寬度)。在一些實施例中，雷射射束脈衝具有約 10 fs 至 500 ns 範圍內之脈衝寬度。在一些實施例中，可採用在 500 fs 至 10 ns 之範圍內的脈衝寬度。在一些實施例中，雷射射束脈衝具有約 1 ps 至 200 ns 範圍內之脈衝寬度。在一些實施例中，雷射射束脈衝具有約 1 至 1,000ps 範圍內之脈衝寬度。在一些實施例中，可採用在自 1 ps 至 100 ps 之範圍內之脈衝寬度。在一些實施例中，可採用在自 5 ps 至 75 ps 之範圍內之脈衝寬度。在一些實施例中，可採用在自 10 ps 至 50 ps 之範圍內之脈衝寬度。在一些實施例中，脈衝寬度短於或等於 100 ps。在一些實施例中，脈衝寬度短於或等於 10 ps。在一些實施例中，脈衝寬度短於或等於 1 ps。在一些實施例中，可採用在自 1 fs 至 1000 fs 之範圍內之脈衝寬度。

【0596】 在一些實施例中，工件 10 上之光點位置 5310 之鄰近列之間的間距或間隔可在 1 μm 至 1000 μm 範圍內。在一些實施例中，工件 10 上之光點位置 5310 之鄰近列之間的間距或間隔可或更佳在 10 μm 至 100 μm 範圍內。

【0597】 在一些實施例中，在雷射射束之焦點處量測之雷射射束脈衝之射束腰之主要空間軸可在 0.5 μm 至 1000 μm 或 1 μm 至 500 μm 範圍內。在一些實施例中，在雷射射束之焦點處量測之雷射射束脈衝之射束腰之主要空間軸小於約 50 μm。在一些實施例中，焦點之射束腰在 1 μm 與 50 μm 之間。在一些實施例中，焦點之射束腰在 1 μm 與 25 μm 之間。在一些實施例中，焦點之射束腰在 1 μm 與 15 μm 之間。在一些實施例中，光點區域具

有小於或等於 15 μm 之長軸。

【0598】 在一些實施例中，可選擇掃描速率及脈衝重複頻率以使得相繼定向之雷射射束脈衝以約 0.1 μm 至約 500 μm 範圍內之咬合大小碰撞於工件 10 上。在一些實施例中，咬合大小在約 0.5 μm 至約 100 μm 範圍內。在一些實施例中，咬合大小在約 0.5 μm 至約 50 μm 範圍內。在一些實施例中，咬合大小在約 1 μm 至約 5 μm 範圍內。在一些替代實施例、額外實施例或累加實施例中，咬合大小小於或等於 4 μm。

【0599】 在一些實施例中，雷射微機械加工系統 1000 採用在 1064 nm 波長下操作之二極體激升之 Nd:YVO_4 固態雷射 1046 (諸如，由 Lumera Laser GmbH, Kaiserslautern, Germany 製造之模型 Rapid)。可視情況使用固態諧波頻率產生器來二倍頻此雷射 1046 以將波長減小至 532 nm，從而產生可見(綠色)雷射射束脈衝，或將此雷射三倍頻至約 355 nm 或四倍頻至約 266 nm，從而產生紫外線(UV)雷射射束脈衝。此雷射 1046 經定額以產生 6 瓦之持續功率且具有 1,000 kHz 之最大脈衝重複率。此雷射 1046 與系統控制電腦 1010 協作產生具有 1 皮秒至 1,000 奈秒之持續時間的雷射射束脈衝。

【0600】 在一些實施例中，雷射微機械加工系統 1000 採用具有在約 1030 nm 至 1550 nm 之範圍內之基波長之二極體激升的摻鉺光纖雷射 1046。可視情況使用固態諧波頻率產生器來二倍頻此等雷射 1046 以將波長減小至約 515 nm，從而產生可見(綠色)雷射射束脈衝，或減小至約 775 nm，從而產生可見(暗紅色)雷射射束脈衝，舉例而言，可將此等雷射三倍頻至約 343 nm 或約 517 nm，或四倍頻至約 257 nm 或約 387.5 nm，從而產生 UV 雷射射束脈衝。更一般而言，在一些實施例中，雷射波長包含在 200 nm 與 3000 nm

之間的波長。

【0601】　再次參考圖 1A 至圖 1C 及圖 50，本文揭示之橫軸微機械加工技術可用來或適於克服與圖 1A 至圖 1C 相關之缺點。具體而言，較新的雷射系統具有可用於在對於工件 10 之臨界破壞方面超過快速射束定位系統 1044 及工件定位系統(級段)之速度及慣性限制的功率及通量。因此，熟習此項技術者使用不太強大的雷射系統或必需阻斷較高能力雷射之一定比例之雷射射束脈衝以避免到達工件 10。第一種情況限制產出量，並且第二種情況阻止利用更昂貴雷射之全部能力。

【0602】　克服此等缺點之橫軸微機械加工技術之一實例利用藉由高速定位系統 1042 進行之光柵方法，其疊加於來自快速射束定位系統 1044 及工件定位系統(級段)中之一者或兩者之射束軌跡之向量速度之頂部以提供射束軸 1061 與工件 10 之間的連續相對運動以便在較新的高功率雷射系統之可用功率及通量之使用過程中允許更大效率，儘管存在快速射束定位系統 1044 及工件定位系統(級段)之速度及慣性限制條件亦如此。此技術允許在阻斷較少或不阻斷雷射射束脈衝的同時利用雷射之全功率及重複率，因為高速定位系統 1042 之同時光柵能力能夠將大部分或所有雷射射束脈衝在與射束軌跡 112 呈橫向之軸上充分地分佈。

【0603】　類似地，射束軸可在兩個維度中顫化以實現相同結果。或者，刮削方法可用來實現相同結果。

【0604】　鑒於前述，可克服關於圖 1A 至圖 1C 之缺點，較新的更強大的雷射系統之全功率及/或較高脈衝重複率可以較大效率來利用，並且可增加雷射處理產出量。

【0605】 再次參考圖 50，一些工件材料在對於雷射射束碰撞之回應中展現不良副作用。一些解決方案涉及嚴密控制具有先前技術定位系統之限制條件的雷射脈衝參數以避免工件之破壞臨限值(諸如與熱積聚相關)。然而，一些此等破壞臨限值相關問題可藉由將時間依序或連續的雷射射束脈衝在空間上分離以便定址在空間上非鄰近或非相鄰的光點位置 5310 來解決。

【0606】 圖 51 描繪光點位置 5310 之示例性網格條帶或列及示例性順序，在雷射通過期間按該順序將雷射射束脈衝遞送至非相鄰光點位置 5310 以減少工件 10 中之熱積聚，該熱積聚可由於將時間依序雷射射束脈衝碰撞於空間相鄰光點位置 5310 而造成。在一些實施例中，此處理順序可藉由調適先前論述之顫化方法來實行。

【0607】 具體而言，可設定橫軸角度來用在時間上依序碰撞工件 10 之雷射射束脈衝來依序處理沿著該列之光點位置 5310 之第一子集，包括光點位置 5310a、5310c、5310e、5310g 及 5310i。(自該順序中省去任何被阻斷的雷射射束脈衝。)因此，光點位置 5310a 首先被定址，光點位置 5310c 第二個被定址，光點位置 5310e 第三個被定址，光點位置 5310g 第四個被定址，並且光點位置 5310i 第五個被定址。

【0608】 然後，在同一雷射通過期間，必要時，可再調整橫軸角度，以便用在時間上依序碰撞工件 10 之雷射射束脈衝來依序處理沿著該列之光點位置 5310 之第二子集，包括光點位置 5310b、5310d、5310f 及 5310h。橫軸角度再調整可補償在處理光點位置 5310 之第一子集期間射束軸 1061 沿著射束軌跡 112 所行進之任何距離。雷射射束脈衝之間的間隔及時間可充分

地減少或減輕熱積聚問題並且准許利用雷射處理參數之更寬窗口，諸如較高功率或脈衝重複率。

【0609】 圖 52 描繪光點位置 5310 之示例性網格條帶或列及另一個示例性順序，在雷射通過期間按該順序將雷射射束脈衝遞送至非相鄰光點位置 5310 以減少工件 10 中之熱積聚。參照圖 52，九個光點位置 5310 之列集合的示例性處理次序可開始於光點位置 5310a 之處理。光點位置 5310d 可第二個被處理，並且光點位置 5310g 可第三個被處理。然後，在同一雷射通過期間，必要時，可再調整橫軸角度，以便依序處理沿著該列之光點位置 5310 之第二子集以使得光點位置 5310b 可第四個被處理，光點位置 5310e 可第五個被處理，並且光點位置 5310h 可以第六個被處理。然後，在同一雷射通過期間，必要時，可再調整橫軸角度，以便依序處理沿著該列之光點位置 5310 之第三子集以使得光點位置 5310c 可第七個被處理，光點位置 5310f 可第八個被處理，並且光點位置 5310i 可第九個被處理。

【0610】 在此實施例中，時間依序雷射射束脈衝間隔開，最小為三個光點位置 5310；然而，可利用兩次橫軸角度調整。熱性質及該列光點位置 5310 在高速定位系統之掃描場中停留之時間量可與其他雷射處理參數平衡以判定依序雷射射束脈衝之間的合適空間距離及橫軸角度之再調整次數。

【0611】 此外，消除不良熱效應的雷射射束脈衝之空間佈局之次序存在許多變化。光點位置 5310 之子集之數目或子集中之光點位置 5310 之數目可以某種方式判定，該方式在雷射通過期間、在雷射射束遞送及材料定位系統之掃描場能力或其任何組件之掃描場能力內使處理速度最大化。

【0612】 舉例而言，每列光點位置 5310 可在牛耕式轉行書寫狀圖案

中定址。示例性牛耕式轉行書寫狀次序可依序定址光點位置 5310a、5310c、5310e、5310g 及 5310i，然後在回程方向變化時依序定址光點位置 5310f、5310d 及 5310b，並且最後再次改變方向以定址光點位置 5310h。或，光點位置 5310h 可在光點位置 5310f 之後且在光點位置 5310d 之前定址。

【0613】 在一些實施例中，可調整定址光點位置 5310 之順序以便使時間依序雷射射束脈衝之間的距離最大化。在一些實施例中，依序雷射射束脈衝位移可利用雷射光點位置 5310 之多個列。

【0614】 在一些實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝被遞送至彼此距離大於或等於高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍之 25%的選擇性光點位置。在一些實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝被遞送至彼此距離大於或等於高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍之 50%的選擇性光點位置。在一些實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝被遞送至彼此距離大於或等於高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍之 75%的選擇性光點位置。在一些實施例中，遞送至工件之時間依序雷射射束脈衝被遞送至彼此距離大於或等於高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍之 90%的選擇性光點位置。

【0615】 在一些額外實施例、替代實施例或累加實施例中，高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍或掃描場在橫向方向上，諸如在 X 及 Y 方向上，延伸了 0.01 mm 與 4.0 mm 之間。然而，應瞭解，此射束偏轉範圍或掃描場可在任何橫向方向上延伸小於 0.01 mm 或超過 4 mm(例如，取決於一或多個因素，諸如高速定位系統 1042 之組態、高速定位系統 1042 沿著射束軌跡之位置、入射於高速定位系統 1042 上之雷射脈衝之射束大小、光點大小等)。

因此，高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍或掃描場可在任何橫向方向上延伸大於或等於 0.04 mm、0.1 mm、0.5 mm、1.0 mm、1.4 mm、1.5 mm、1.8 mm、2 mm、2.5 mm、3.0 mm、3.5 mm、4.0 mm、4.2 mm 等之距離。同樣地，高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍或掃描場可在任何橫向方向上延伸小於 5 mm、4.2 mm、4.0 mm、3.5 mm、3.0 mm、2.5 mm、2.0 mm、1.8 mm、1.5 mm、1.4 mm、1.0 mm、0.5 mm、0.1 mm、0.04 mm、0.01 mm 等之距離。如本文所使用，術語「射束大小」或「光點大小」係指雷射脈衝之直徑、空間長軸或寬度，並且可量測為自射束軸至光學強度下降至射束軸處的光學強度之 $1/e^2$ 之處的徑向或橫向距離。因此，在一些實施例中，高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍或掃描場(例如，在 X 或 Y 方向上，或另外)之最大尺寸可大於或等於將要在工件 1060 中形成之特徵(例如，開口、介層孔、溝槽等)之對應最大尺寸(如在 X-Y 平面中量測)。然而，在另一實施例中，高速定位系統 1042 之射束偏轉範圍或掃描場之最大尺寸可小於將要形成之特徵之最大尺寸。

【0616】　在一些實施例中，可藉由多個連續脈衝(諸如在脈衝串中)碰撞所選擇光點位置 5310 中之一些以促進三維圖案化，包括在深度圖案化中，以便例如在快速定位系統 1044 之雷射通過中產生複雜特徵及/或三維碼(諸如 3D QR 碼)。圖 53 描繪光點位置 5310 之示例性網格條帶或列，該等位置中之一些在雷射通過期間被碰撞多次。參照圖 53，可連續地或不斷地調整橫軸角度以准許雷射射束軸 1061 停留於光點位置 5310 上，同時多個雷射射束脈衝被引導至該光點位置。舉例而言，光點位置 5310a 可藉由兩個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第一深度。然後，光點位置 5310b

亦可藉由兩個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第一深度。隨後，光點位置 5310c 可藉由五個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第二深度。然後，光點位置 5310d 亦可藉由五個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第二深度。隨後，光點位置 5310e 可藉由八個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第三深度。然後，光點位置 5310f 亦可藉由八個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第三深度。然後，光點位置 5310g 可藉由兩個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第一深度。隨後，光點位置 5310h 可藉由五個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第二深度。隨後，光點位置 5310i 可藉由八個依序雷射射束脈衝來定址，該等脈衝將其處理至第三深度。

【0617】　熟習此項技術者將認識到，定址至不同光點位置之脈衝之數目可改變。另外，在一些實施例中，將要處理至相同深度之光點位置 5310 可在將要處理至不同深度之光點位置 5310 之前加以處理。此順序對於使任何所期望光學 Z 高度校正之數目最小化可為合意的。

【0618】　在替代實施例中，多個雷射射束脈衝可能並非在快速定位器 1044 之雷射通過期間依序遞送至同一光點位置 5310，而是可在高速定位系統 1042 之多次通過期間遞送。

【0619】　因此，一些實施例可個別地控制遞送至選定光點位置 5310 之強度輪廓或劑量。

【0620】　圖 54 描繪以射束軸 1061 之微動圖案來引導之雷射射束脈衝所碰撞的選定橫軸特徵區域之示例性列。特徵區域可具有比光點大小之長軸更大之尺寸。在一些實施例中，與調整單一雷射脈衝之大小及空間形狀

來模擬特徵之彼等大小及空間形狀相比，使用較小光點大小之多個雷射射束脈衝來產生特徵係較佳的。在使用或不使用遮罩的情況下並且與射束整形或能量模塑光學器件無關，特徵形狀可難以用單一脈衝產生。另外，增加雷射光點之大小或增加或降低雷射射束脈衝之強度以適應光點大小可不利地影響雷射處理窗口。

【0621】　參照圖 54，在一些實施例中，快速定位系統 1044 及/或工件位置系統提供射束軸 1061 沿著射束軌跡 112 之相對移動。在一些實施例中，高速定位系統大體上沿著特徵區域之列來提供橫軸角度方向。在一些實施例中，用於移動射束軸 1061 之微動圖案可疊加於射束軸之橫軸角度運動上並與其整合，並且視情況疊加於沿著射束軌跡之相對運動上並與其整合。射束軸 1061 之微動圖案可用來提供子軌跡，諸如圖 54 示出之子軌跡 5720a-5720g，雷射射束脈衝之光點位置 5310 沿著該等子軌跡定位。

【0622】　射束軸之微動圖案可藉由一或多個現有高速定位器 1020 及 1022 來提供，或射束軸之微動圖案可藉由一或多個額外高速定位器 1020 及 1022 來提供，該一或多個額外高速定位器 1020 及 1022 之運動疊加於原始高速定位器 1020 及 1022 之運動上。此等額外高速定位器 1020 及 1022 可沿著射束路徑定位在原始高速定位器 1020 及 1022 之上游或下游。微動圖案可用來沿著射束軸 1061、沿著子軌跡 5720a 提供雷射射束脈衝之一或多次通過以便在快速定位系統 1044 之單次通過期間產生具有圓形周邊之特徵。微動圖案可在快速定位系統 1044 之雷射通過期間、沿著橫軸角度在高速定位系統之一或多次通過中實行。

【0623】　類似地，微動圖案可用來沿著射束軸 1061、沿著子軌跡 5720b

提供雷射射束脈衝之一或多次通過以便在快速定位系統 1044 之單次通過期間產生具有矩形周邊之特徵。

【0624】　類似地，微動圖案可用來沿著射束軸 1061、沿著子軌跡 5720c 提供雷射射束脈衝之一或多次通過以便在快速定位系統 1044 之單次通過期間產生具有三角形周邊之特徵。

【0625】　類似地，微動圖案可用來沿著射束軸 1061、沿著子軌跡 5720d 提供雷射射束脈衝之一或多次通過以便在快速定位系統 1044 之單次通過期間產生具有圓形區域之特徵。

【0626】　類似地，微動圖案可用來沿著射束軸 1061、沿著子軌跡 5720e 提供雷射射束脈衝之一或多次通過以便在快速定位系統 1044 之單次通過期間產生具有矩形區域之特徵。

【0627】　類似地，微動圖案可用來沿著射束軸 1061、沿著子軌跡 5720f 提供雷射射束脈衝之一或多次通過以便在快速定位系統 1044 之單次通過期間產生具有三角形區域之特徵。

【0628】　微動圖案可用來產生具有任何所期望形狀之特徵。

【0629】　本文所述之雷射及選擇性脈衝能量控制技術可用於任何習知的雷射特徵產生或修改技術，包括但不限於做標記、刻劃、雕刻或切割。特徵可包括但不限於信號跡線、接地跡線、修整、鋸口、溝槽、切口、具有各種直徑及/或側壁錐度之盲孔或通孔微介層孔、正方形或矩形襯墊、對準框標、表面或表面下的標記及/或文數字記號。

【0630】　舉例而言，本文揭示之此等雷射及選擇性脈衝能量控制技術可提供增強之錐度控制。側壁錐度可相對於垂直於工件 1060 之頂部表面之

深度軸來界定。若側壁垂直於工件 1060 之頂部表面，則側壁平行於深度軸(並且與其共線)，並且側壁具有為零之錐度。

【0631】　然而，若側壁具有朝向鋸口之中心向內傾斜的自頂部表面至底部表面之斜率，則藉由切割產生之側壁具有正錐度。錐度可藉由在側壁與深度軸之間量測之錐角 θ 來界定。若側壁具有從切口之中心向外傾斜的自頂部表面至底部表面之斜率，則藉由切割產生之側壁具有負錐度。

【0632】　錐角 θ 可在幾度至超過 10 度之範圍內，或有意地更大，並且可受一些雷射處理參數影響，但是不一定受其控制。較大錐度並非許多切割應用之理想結果。此外，最小化的錐度或大約為零之錐度係許多切割應用之理想結果。

【0633】　在一些實施例中，所期望的錐度特性可包括在側壁與深度軸之間量測的錐角 θ，其小於或等於 5 度。在一些實施例中，錐角 θ 小於或等於 1 度。在一些實施例中，錐角 θ 小於或等於 0.5 度。在一些實施例中，錐角 θ 小於或等於 0.1 度。在一些實施例中，所期望的錐度特性可包括側壁 124 之其他性質，諸如紋理或光滑度，或紋理或光滑度之均勻性。

【0634】　在一些實施例中，本文揭示之雷射及選擇性脈衝能量控制技術可用來產生工件 1060 中之光化學效應或改變工件 1060 之基板之組成，諸如用於交聯光阻劑來作為特定光點位置，將銦錫氧化物(ITO)圖案化，或其他形式之光微影術。

【0635】　本文揭示之此等雷射及選擇性脈衝能量控制技術亦在做標記應用中提供用於顏色產生之增強機會及選擇性。

【0636】　本文揭示之此等雷射及選擇性脈衝能量控制技術亦提供特

定應用所需要的功能性標記(諸如紋理化或拋光)的增強機會及選擇性。

【0637】　具體而言，本文揭示之此等雷射及選擇性脈衝能量控制技術可用來在鋁管潤滑心軸中產生凹坑或阱以便為內燃機更好地保持油。

【0638】　前文係對本發明的實施例之說明且不應被理解為對本發明之限制。儘管已描述數個特定示例性實施例，但熟習此項技術者將容易理解在不實質上偏離本發明之新穎性教示及優點的情況下，對所揭示之示範性實施例以及其他實施例之諸多修改係可能的。

【0639】　因此，所有此類修改意欲包括於如申請專利範圍中所界定的本發明之範疇內。舉例而言，技藝人士將理解任一句子或段落之標的可與一些或所有其他句子或段落之標的組合，除此類組合互斥的情況外。

【0640】　對熟習此項技術者將顯而易見，可在不脫離本發明之基本原理之情況下，對上文所描述實施例之細節進行諸多變化。因而，本發明之範疇應由以下申請專利範圍以及包括在其中之申請專利範圍的等效物來決定。

【符號說明】

【0641】

10　工件

20　溝槽

22　射束軌跡

24　射束軌跡

26　射束軌跡

28　射束軌跡

109 年 6 月 22 日修正替換頁

30　射束軌跡

100　網格

110　處理光點

112　射束軌跡

610　襯墊

612　突出部

1000　雷射微機械加工系統

1010　系統控制電腦

1012　處理叢集

1014　AOD 前端板(AFEB)

1016　AOD 驅動器

1018　AOD 驅動器

1020　AOD

1022　AOD

1023　介面

1024　介面

1026　數位信號處理器(DSP)

1028　現場可程式閘陣列(FPGA)

1040　系統

1042　第二定位系統(AOD 子系統)

1044　第一定位系統(電流計子系統)

1046　雷射源

109 年 6 月 22 日修正替換頁

1048　處理射束

1049　一階射束

1050　AOD 偏轉角

1051　零階射束

1052　射束收集器

1054　固定反射鏡

1056　掃描透鏡

1058　雷射射束光點

1060　工件

1061　聚焦雷射射束

1062　處理軌跡(射束軌跡)

1064　溝槽

1066　第一電流計反射鏡

1067　第二電流計反射鏡

1068　顫化雷射射束光點

1070　射束整形系統

1072　繞射光學元件(DOE)

1074　光學元件

1076　中繼透鏡

1080　系統

1082　傾斜處理射束

1084　間隔

109 年 6 月 22 日修正替換頁

1110　顫化表

1112　整形表

1114　線性化表

1115　線性化表

1116　潛時調整

1210　寫入

1212　設定

1214　資料處理

1218　指示

1220　資料載入

1310　較寬弧形

1510　過渡段

2200　三級剖析子系統

2203　掃描場校準變換

2204　剖析濾波器

2205　三級濾波器

2206　延遲元件

2208　減法器

2210　示例性射束輪廓

2212　例示位置輪廓

2213　放大部分

2214　位置命令輪廓

109 年 6 月 22 日修正替換頁

2216　命令位置

2218　實際位置

2310　AOD 框架

2312　電流計框架

2314　圖案

2316　2318 的放大(且旋轉)後的型式

2318　圖案

2320　十字絲

2322　十字絲

2510　線性化表

2512　線性化表

2514　命令

3100　功率控制資料流

3210　速度輪廓

3214　第二速度變化

3216　過衝

3308　隨機速度序列

3310　AOD 偏移

3910　襯墊

3912　襯墊

3914　短跡線

3916　光柵區域

109 年 6 月 22 日修正替換頁

3918　光柵區域

3920　過渡區

3922　過渡長度

4100　刮削區域

4102　網格條帶

4104　網格條帶

4106　網格條帶

4110　像素

4112　刮削射束軌跡

4114　刮削射束軌跡

4116　刮削射束軌跡

4118　顫化方向

4120　顫化方向

4122　顫化方向

4410　刮削列

4412　刮削列

4414　刮削列

4416　刮削列

4712　顫化寬度

4714　傾斜側壁

4716　過渡寬度

4810　段資料

109 年 6 月 22 日修正替換頁

4812　材料表

4814　過程圖

4816　顫化圖

4818　功率圖

4820　SCC 軌跡產生模組

4822　TMfield 變換

4823　TMframe 變換

4824　DSP 軌跡產生模組

4826　內插法

4828　內插法

4830　Kpwr 模組

4832　TMtert 變換

5110　SCC 軌跡指定

5114　電流計控制器

5118　旋轉變換 TMframe

5122　將 TMdither 變換矩陣與顫化旋轉/尺度變換

5124　使用 SCC 顫化資料

5210　頂部繪圖

5212　顫化列

5214　虛線

5216　第二繪圖

5217　同軸(OA)顫化命令

109 年 6 月 22 日修正替換頁

5218　第三繪圖

5220　橫軸(CA)顫化命令

5222　底部繪圖

5224　理想通量命令

5226　實際通量命令

5300　射束軌跡

5310, 5310a-5310i　光點位置

5720a-5720g　子軌跡

109 年 6 月 22 日修正替換頁

申請專利範圍

1. 一種用於顫化一雷射射束以在一工件中形成一特徵的方法，該方法包含：

自一雷射源產生沿著一雷射射束路徑之多個雷射射束脈衝，該雷射射束路徑相對於該工件之一表面形成一雷射射束軸；

使用一第一定位系統來賦予該雷射射束軸沿著射束軌跡相對於該工件之該表面的第一相對移動，其中該第一定位系統提供一第一射束偏轉範圍；

使用一第二定位系統來賦予該雷射射束軸的一第二相對移動，該第二相對移動疊加於該第一相對移動上，其中該第二定位系統提供小於該第一射束偏轉範圍之一第二射束偏轉範圍，其中該第二相對移動包含橫向於該射束軌跡之一非零方向分量；以及

當同時賦予該第二相對移動及該第一相對移動兩者時，將雷射射束脈衝遞送到存在於工件上第二射束偏轉範圍內的複數個選擇性光點位置中的每一個，

其中所述複數個選擇性光點位置包括第一選擇性光點位置、相鄰於該第一選擇性光點位置的第二選擇性光點位置以及相鄰於該第二選擇性光點位置但是不相鄰於該第一選擇性光點位置的第三選擇性光點位置，並且

前述將該雷射射束脈衝遞送到所述複數個選擇性光點位置中的每一個包括將兩個時間連續雷射射束脈衝遞送到該第一選擇性光點位置和該第三選擇性光點位置。

2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中遞送至該工件之該等雷射射束脈衝提供在該偏轉範圍內之三維圖案化，其中該三維圖案化包括橫向於該射束軌跡並且在深度方面在相應光點位置處相對於該工件之該表面處於兩個或兩個以上深度的圖案化。

3. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其進一步包括控制該該等雷射射束脈衝的能量使得遞送到該第一選擇性光點位置和該第三選擇性光點位置的所述兩個時間連續雷射射束脈衝具有不同的能量。

4. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其進一步包括控制該等雷射射束脈衝之光點大小使得遞送到該第一選擇性光點位置和該第三選擇性光點位置的所述兩個時間連續雷射射束脈衝具有不同的光點大小。

5. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中進一步包括控制該等雷射射束脈衝之焦點使得遞送到該第一選擇性光點位置和該第三選擇性光點位置的所述兩個時間連續雷射射束脈衝具有不同的焦點。

6. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中在該偏轉範圍內的該等複數個選擇性光點位置中之時間連續定址位置在空間上係不連續的。

7. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該在該偏轉範圍內的該等複數個選擇性光點位置中之時間連續定址位置在空間上係連續的。

8. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該第二相對移動係非橢圓形的且非圓形的。

9. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該第二定位系統包含一零慣性光學偏轉裝置。

10. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中所述多個雷射射束脈衝中的一些

被引導至該等複數個選擇性光點位置中的一個選擇性光點位置。

11. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該多個雷射射束脈衝係以大於或等於 100 kHz 之一脈衝重複率產生。

12. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該多個雷射射束脈衝具有短於或等於 100 ps 之一脈衝寬度。

13. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該射束軌跡形成一介層孔之表面周邊。

圖式

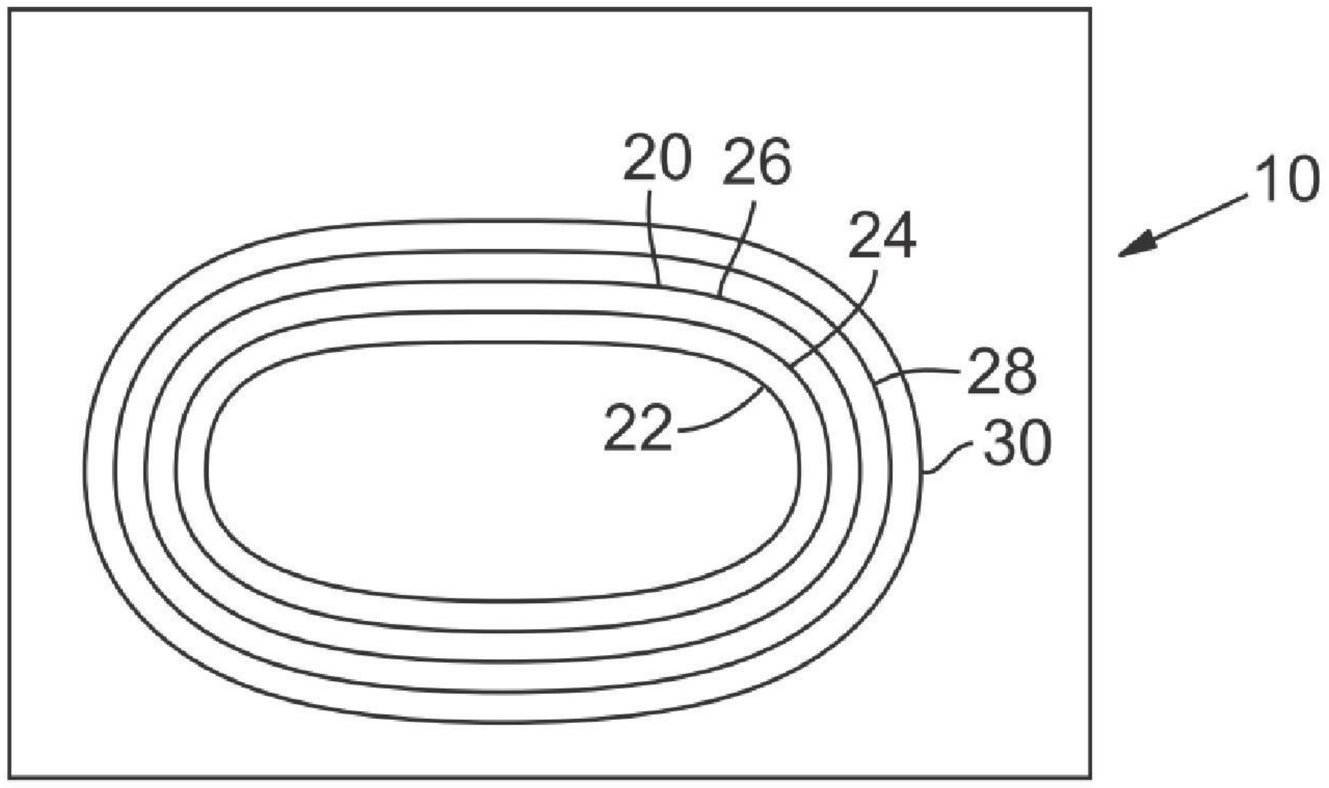


圖 1A

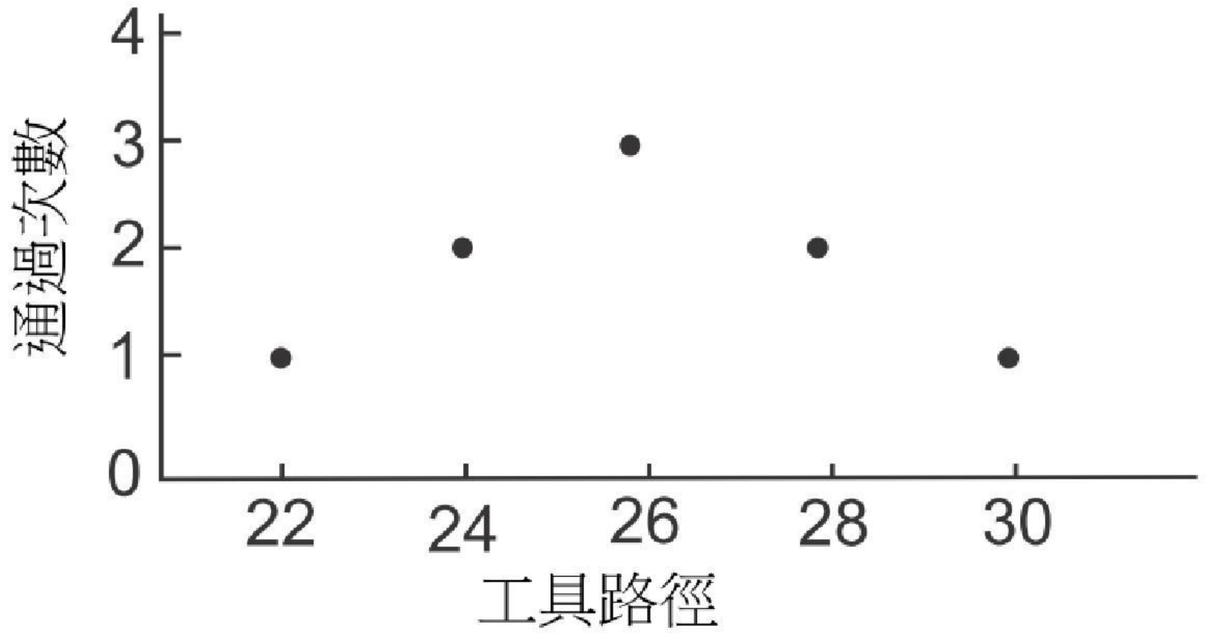


圖 1B

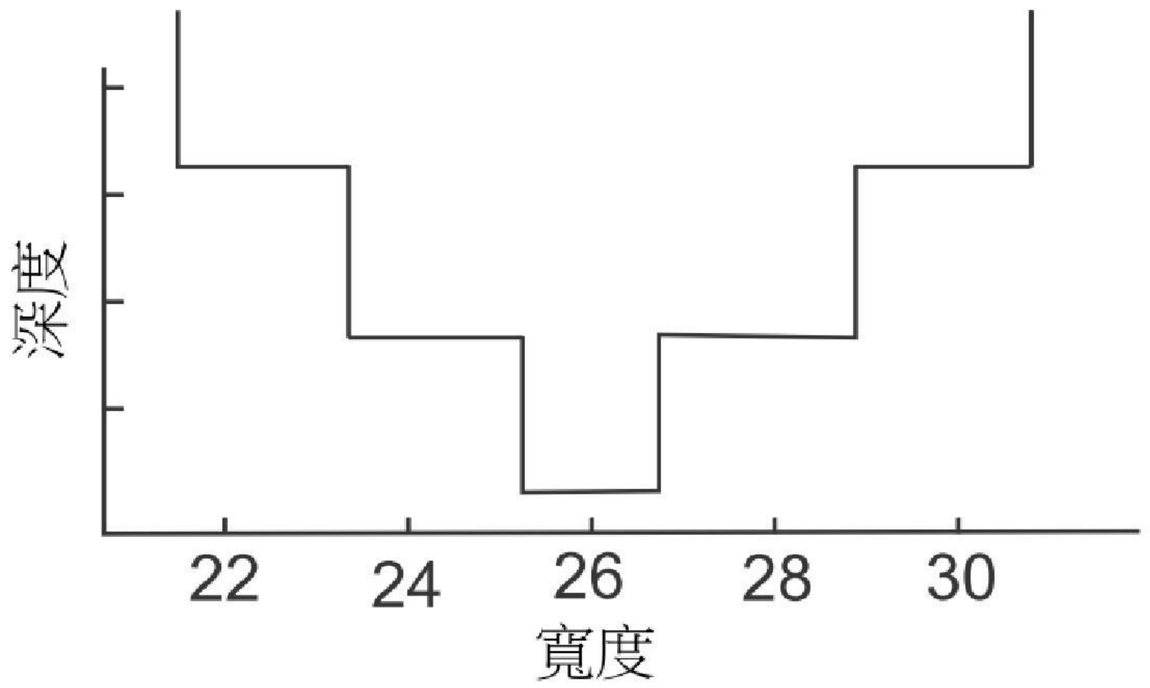


圖 1C

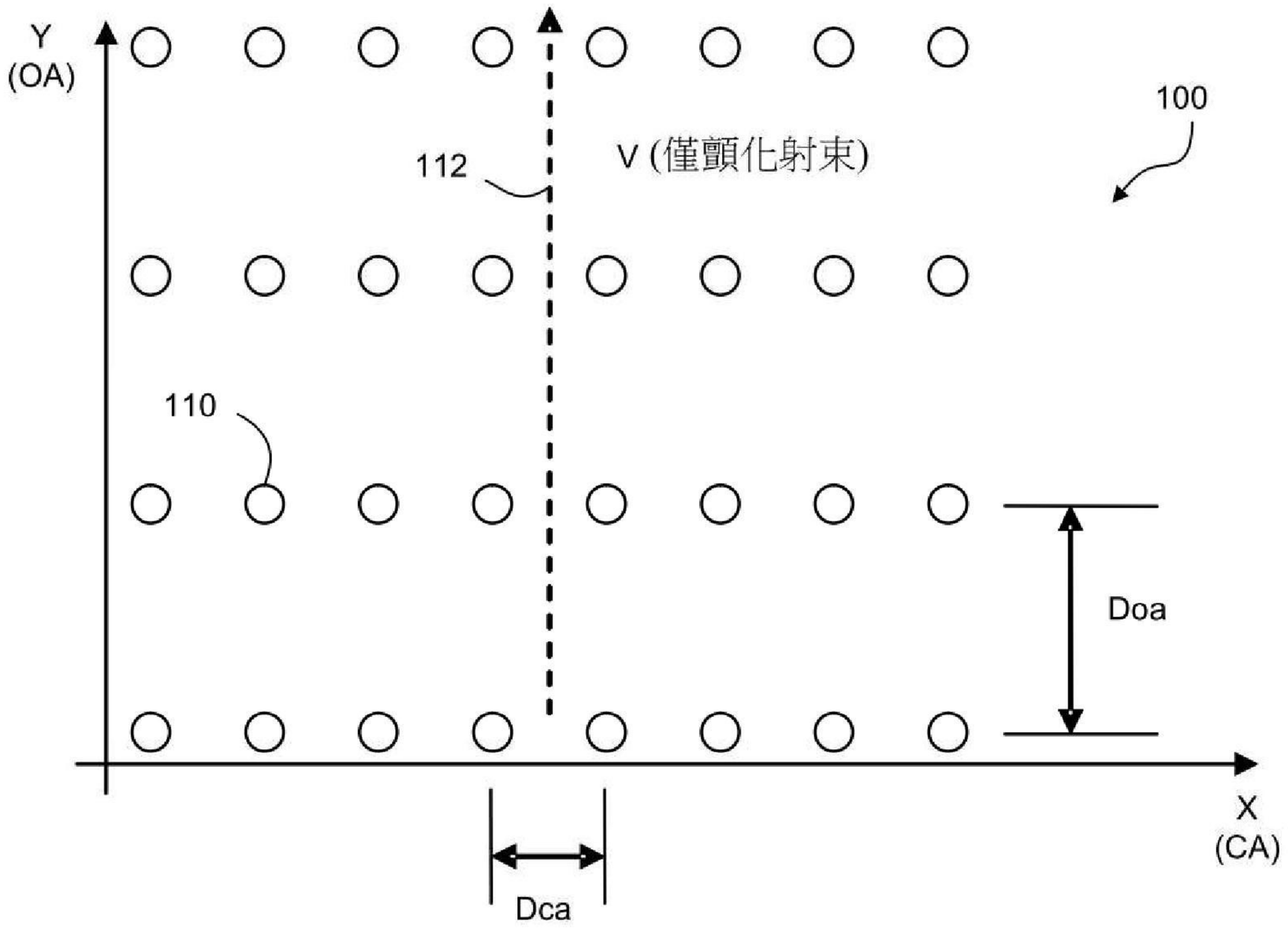

Y
(OA)
100
112
V (僅顫化射束)
110
Doa
X
(CA)
Dca

圖 1D

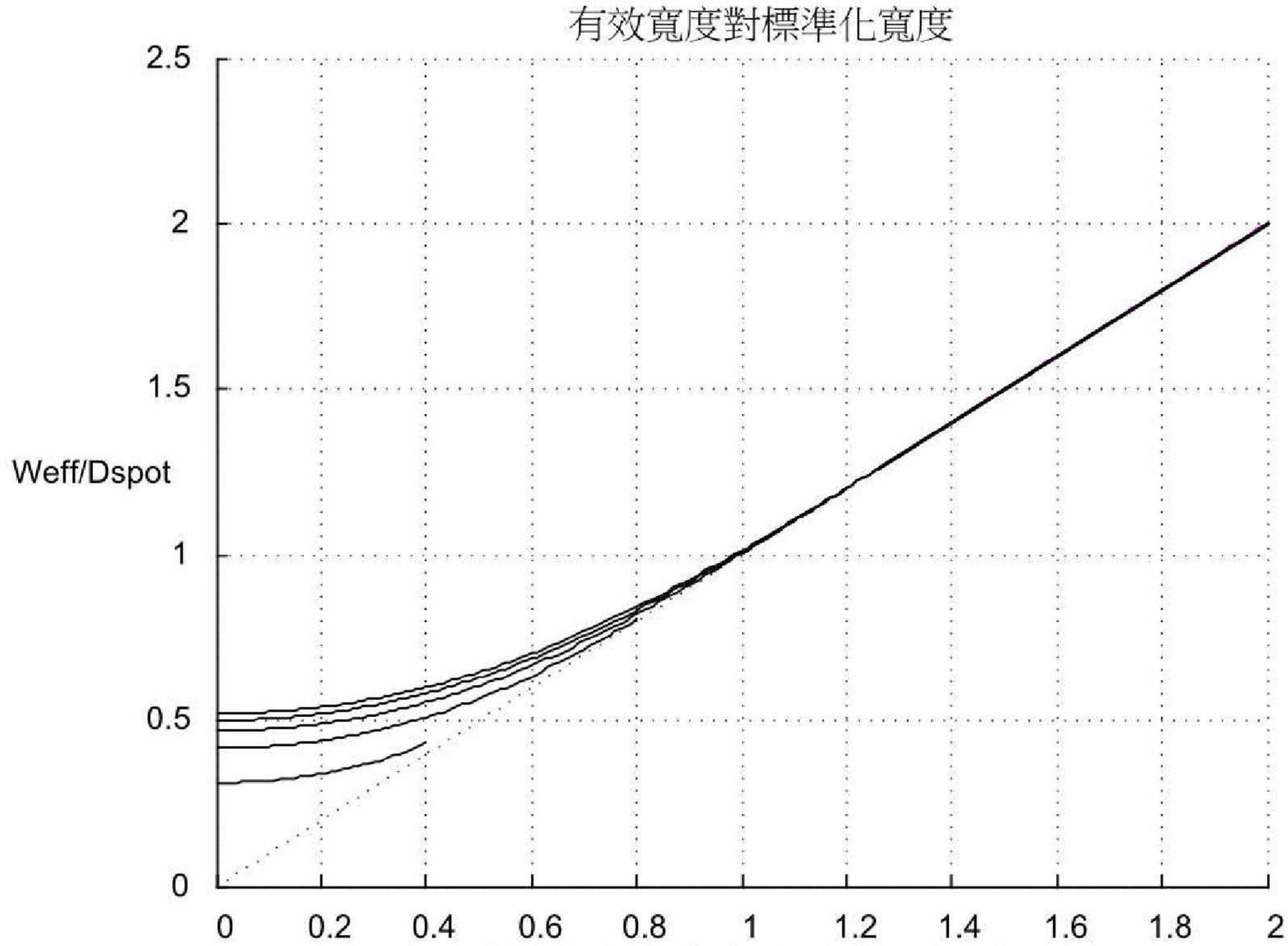

有效寬度對標準化寬度
2.5
2
1.5
Weff/Dspot
1
0.5
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
標準化網格寬度(光點大小之分數)

圖 2

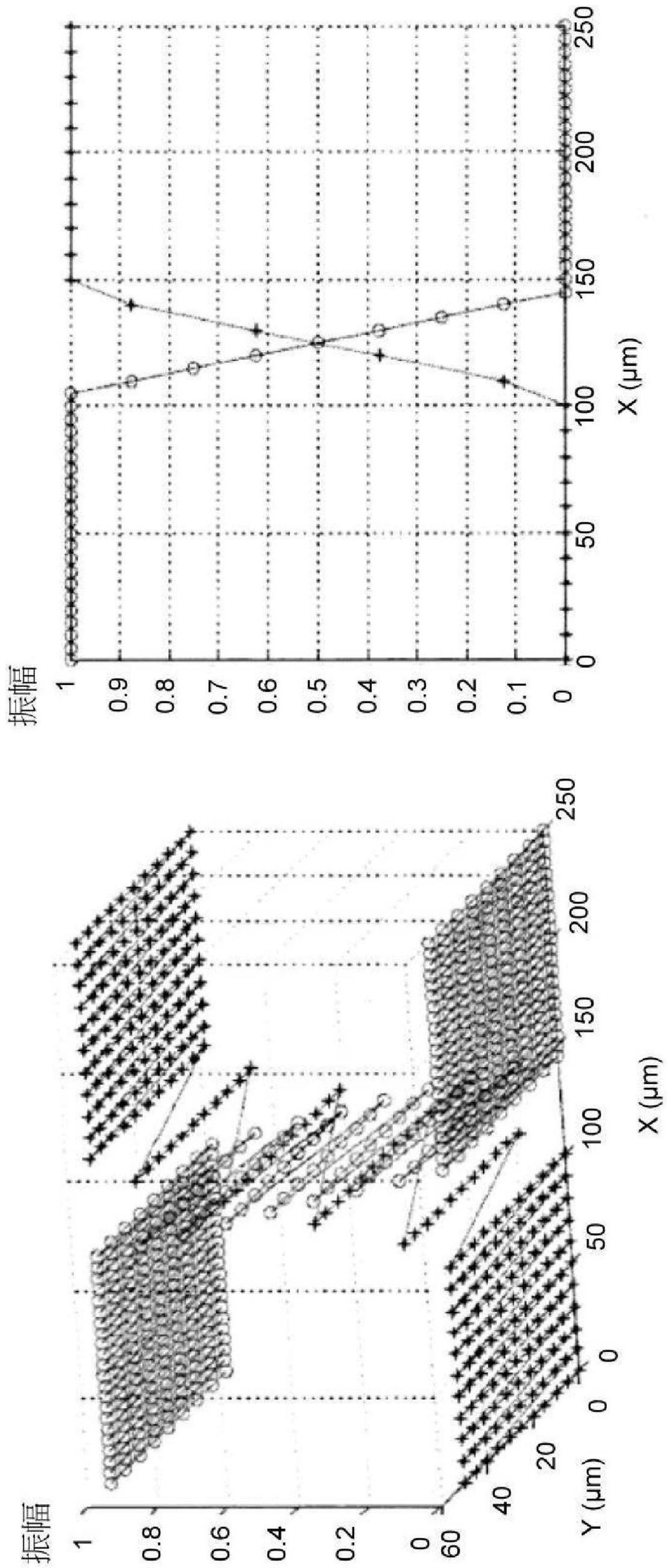

振幅
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
250
200
150
100
50
0
X (μm)
振幅
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
60
40
20
0
0
50
100
150
200
250
Y (μm)
X (μm)

圖 3

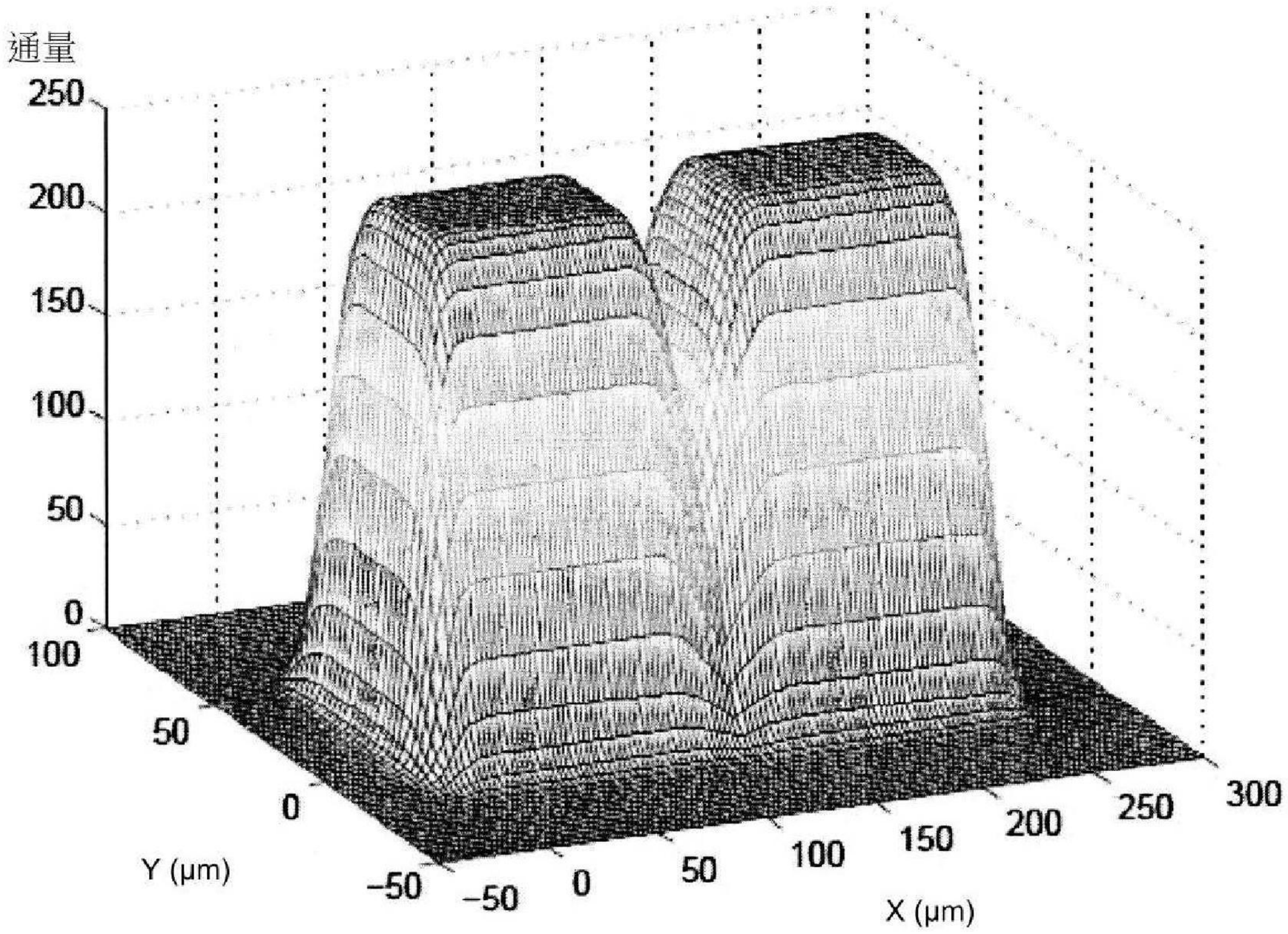

通量
250
200
150
100
50
0
100
50
0
Y (μm)
−50
−50
0
50
100
150
200
250
300
X (μm)

圖 4

109年6月22修正替換頁

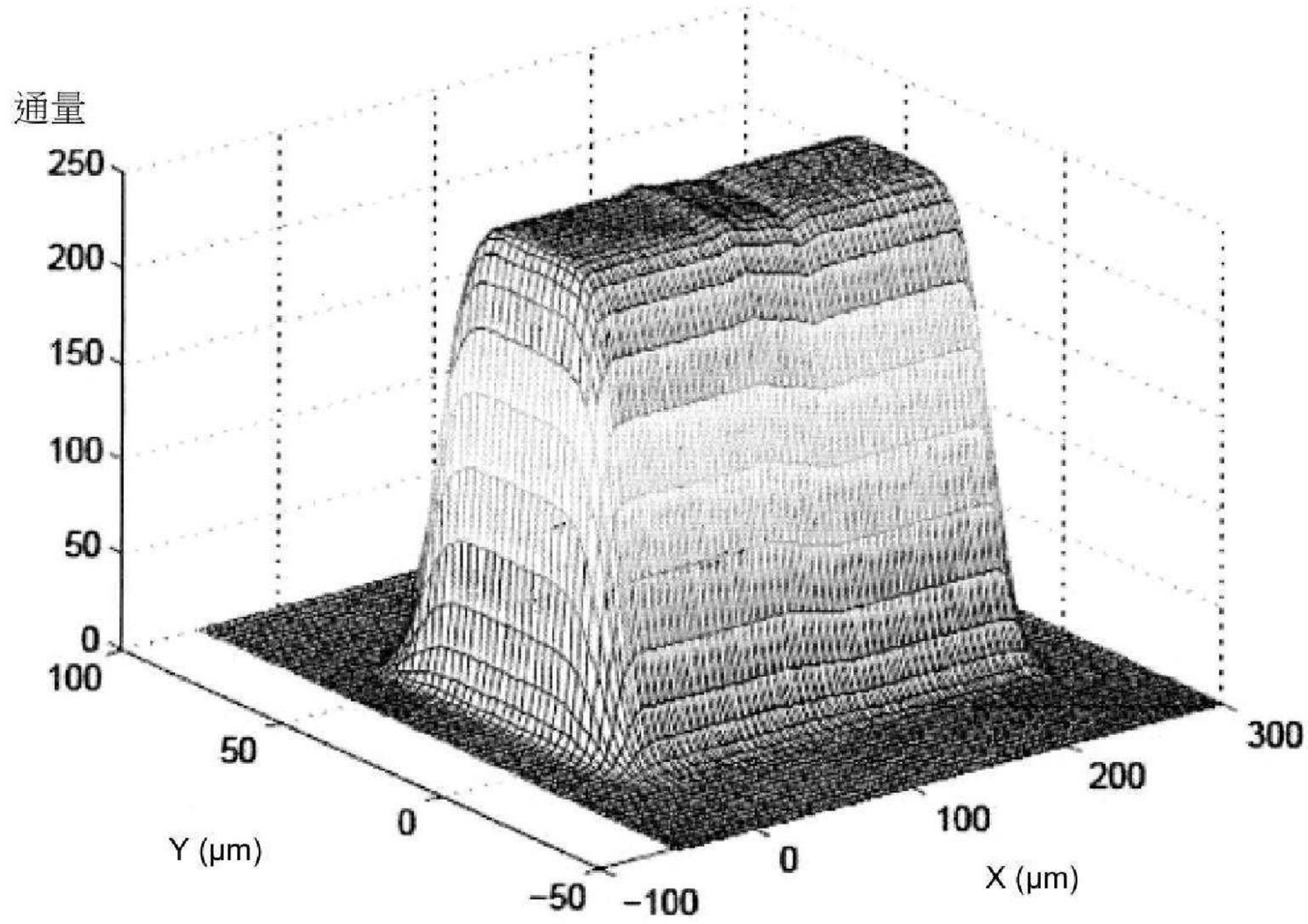
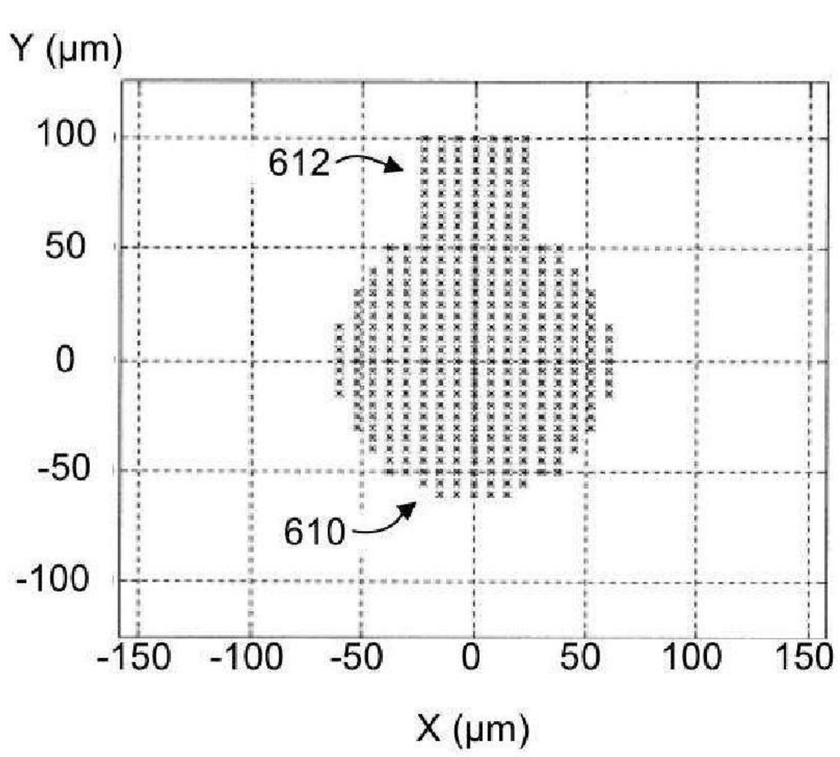


圖 5



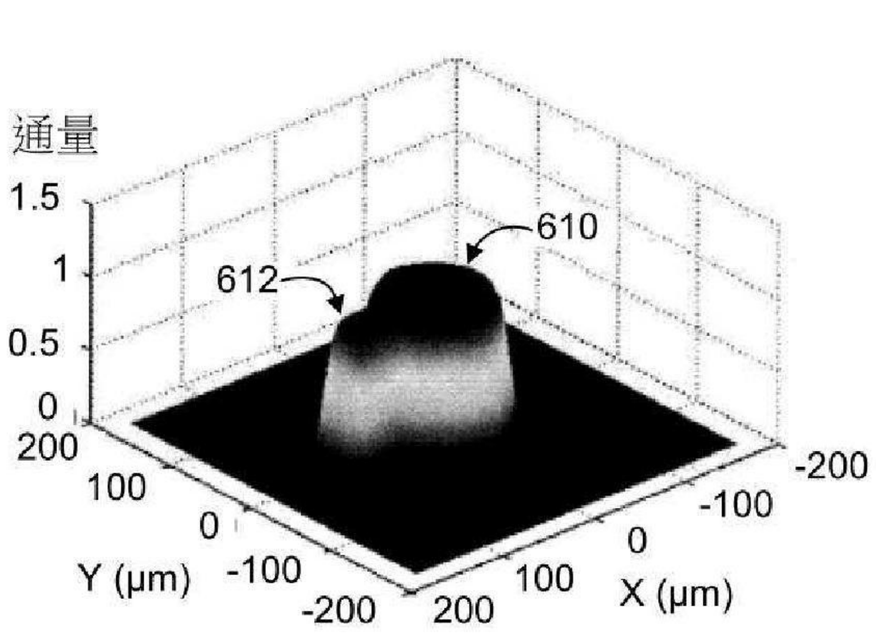


圖 6

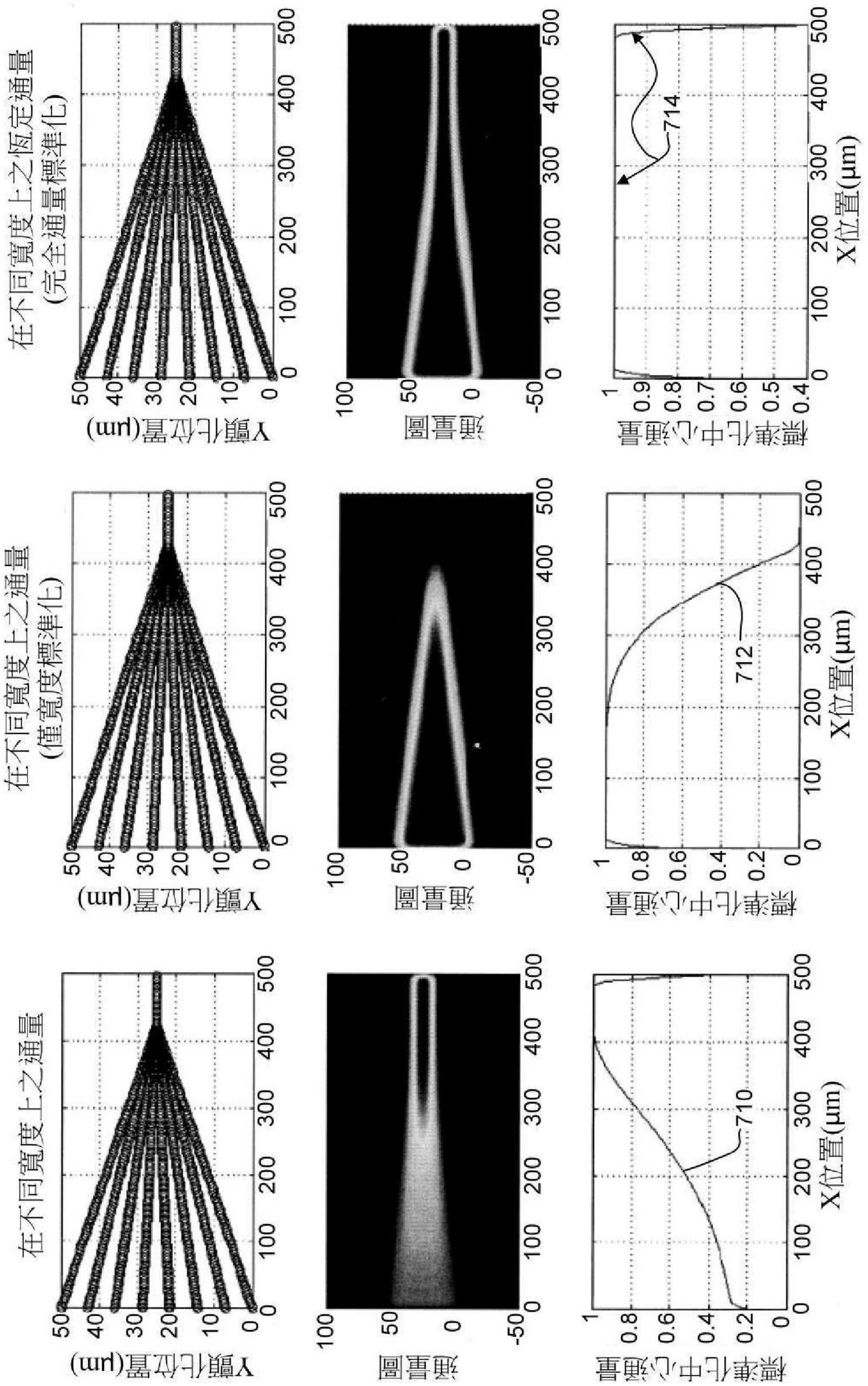

在不同寬度上之通量
(完全通量標準化)
Y顫化位置(μm)
通量圖
標準化中心通量
X位置(μm)
714
在不同寬度上之通量
(僅寬度標準化)
Y顫化位置(μm)
通量圖
標準化中心通量
X位置(μm)
712
在不同寬度上之通量
Y顫化位置(μm)
通量圖
標準化中心通量
X位置(μm)
710

圖 7

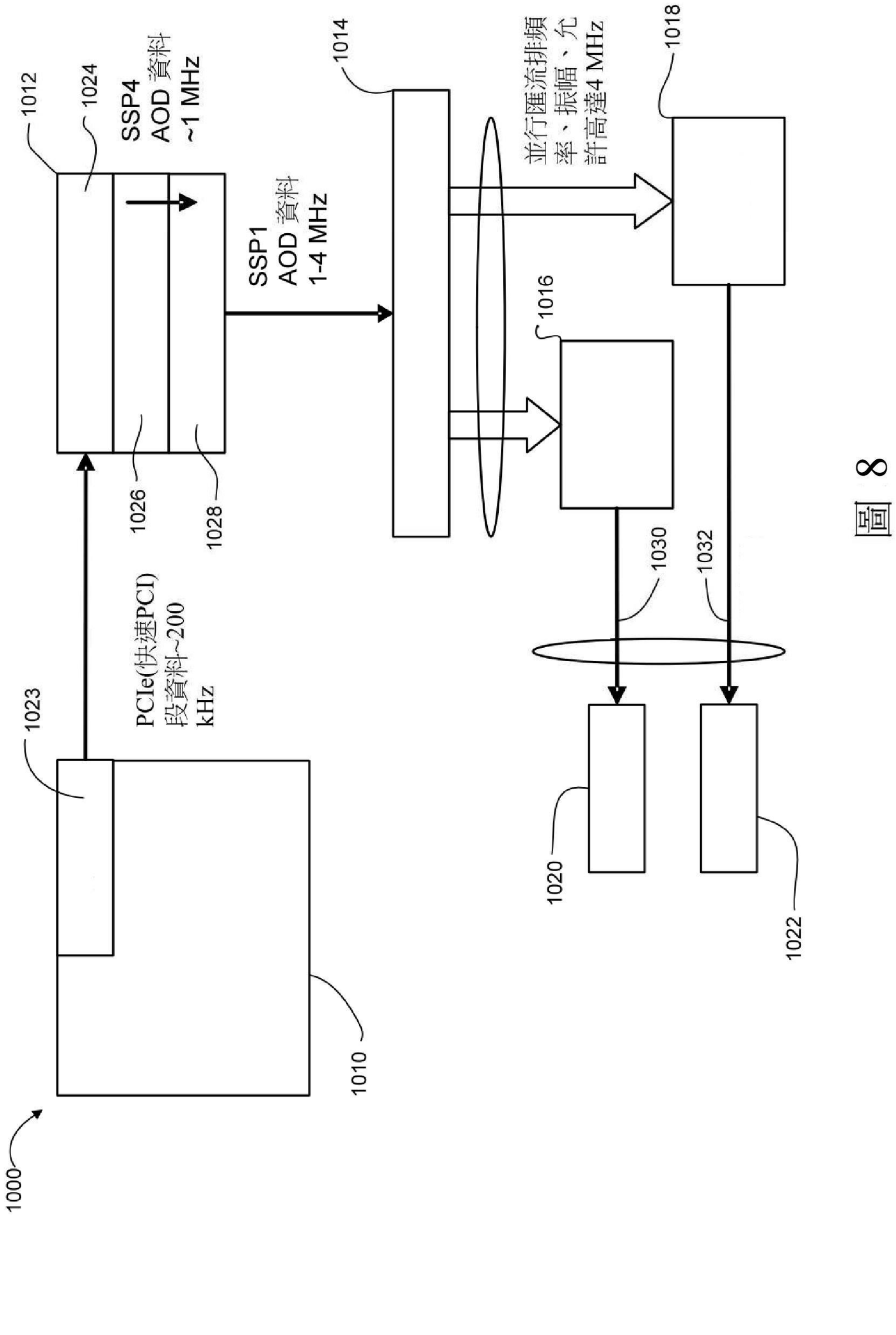

1000
1010
1012
1014
1016
1018
1020
1022
1023
1024
1026
1028
1030
1032
SSP4
AOD 資料
~1 MHz
SSP1
AOD 資料
1-4 MHz
並行匯流排頻
率、振幅、允
許高達4 MHz
PCIe(快速PCI)
段資料~200
kHz

圖 8

109年6月22修正替換頁

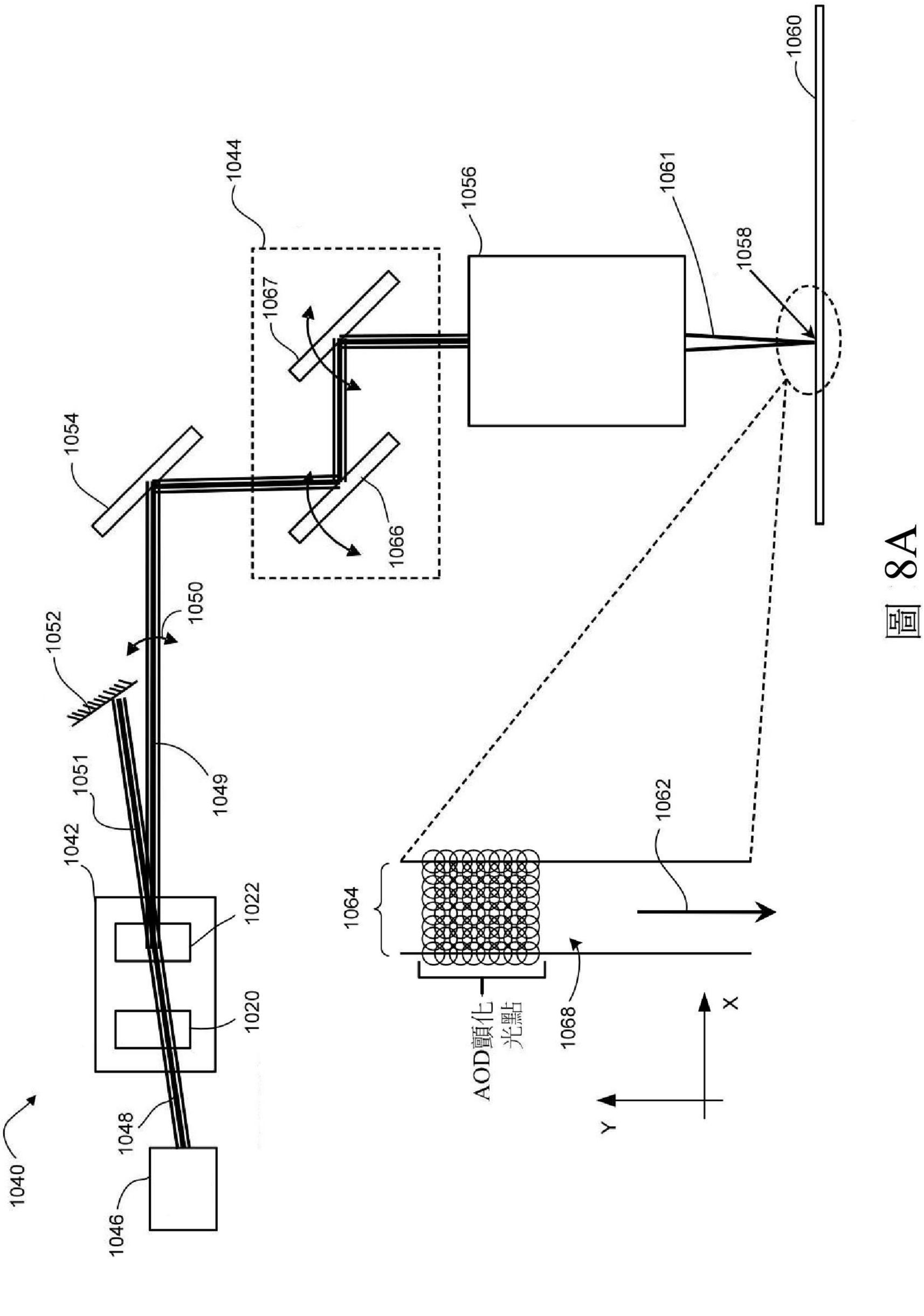


圖 8A

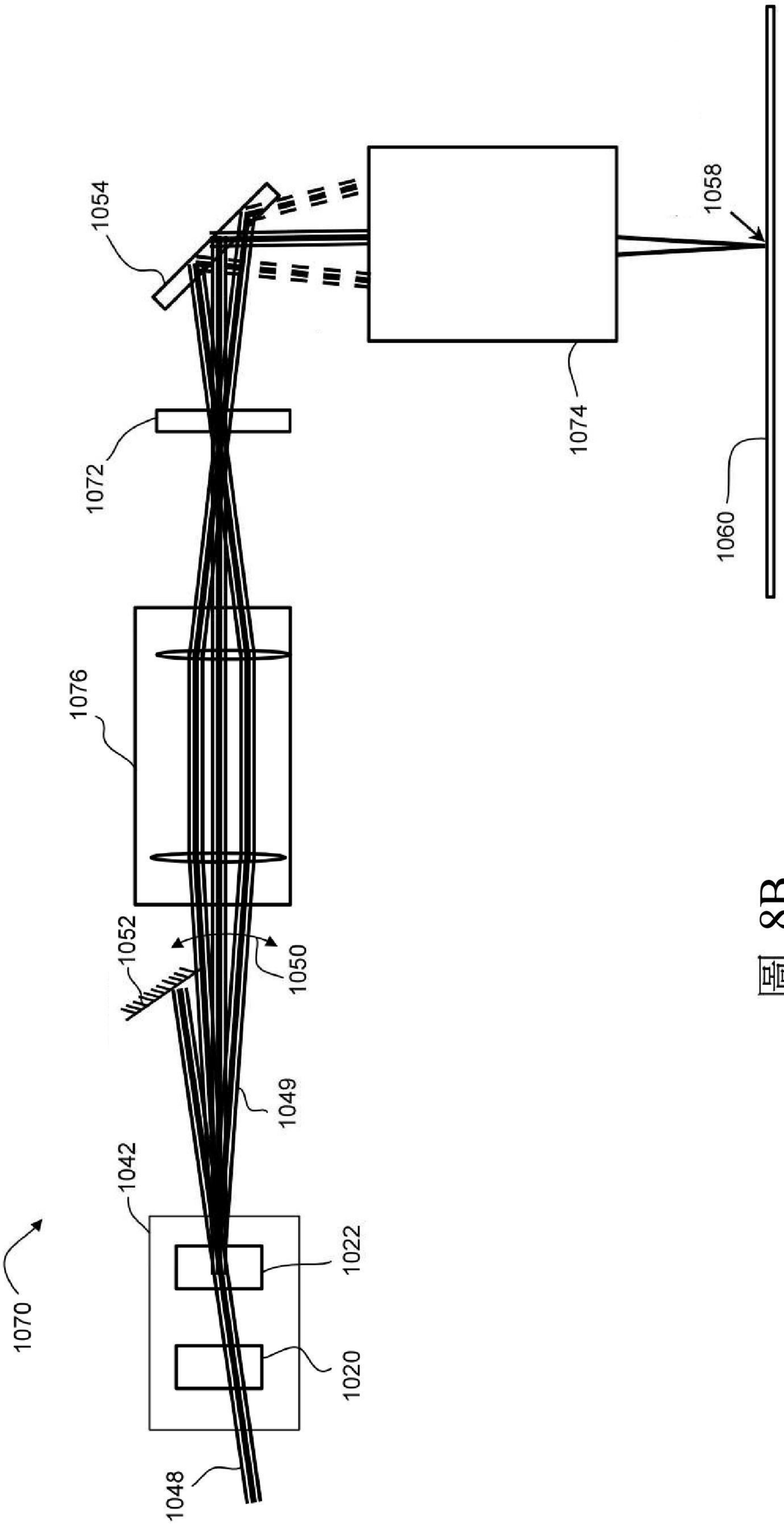

1054
1058
1074
1060
1076
1072
1052
1050
1049
1042
1022
1020
1070
1048

圖 8B

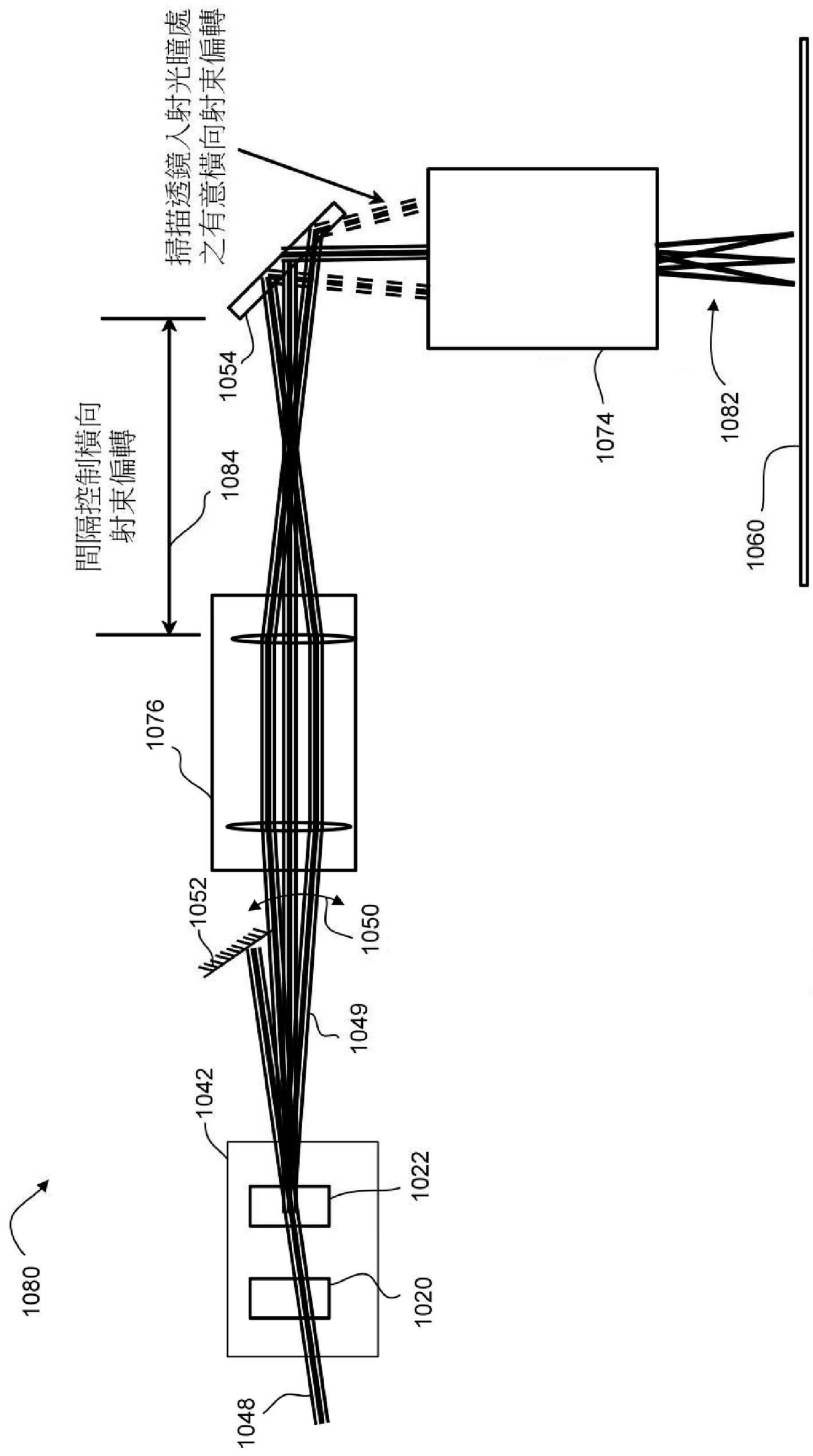

掃描透鏡入射光瞳處
之有意橫向射束偏轉
間隔控制橫向
射束偏轉
1054
1084
1076
1052
1050
1049
1042
1022
1020
1048
1080
1074
1082
1060

圖 8C

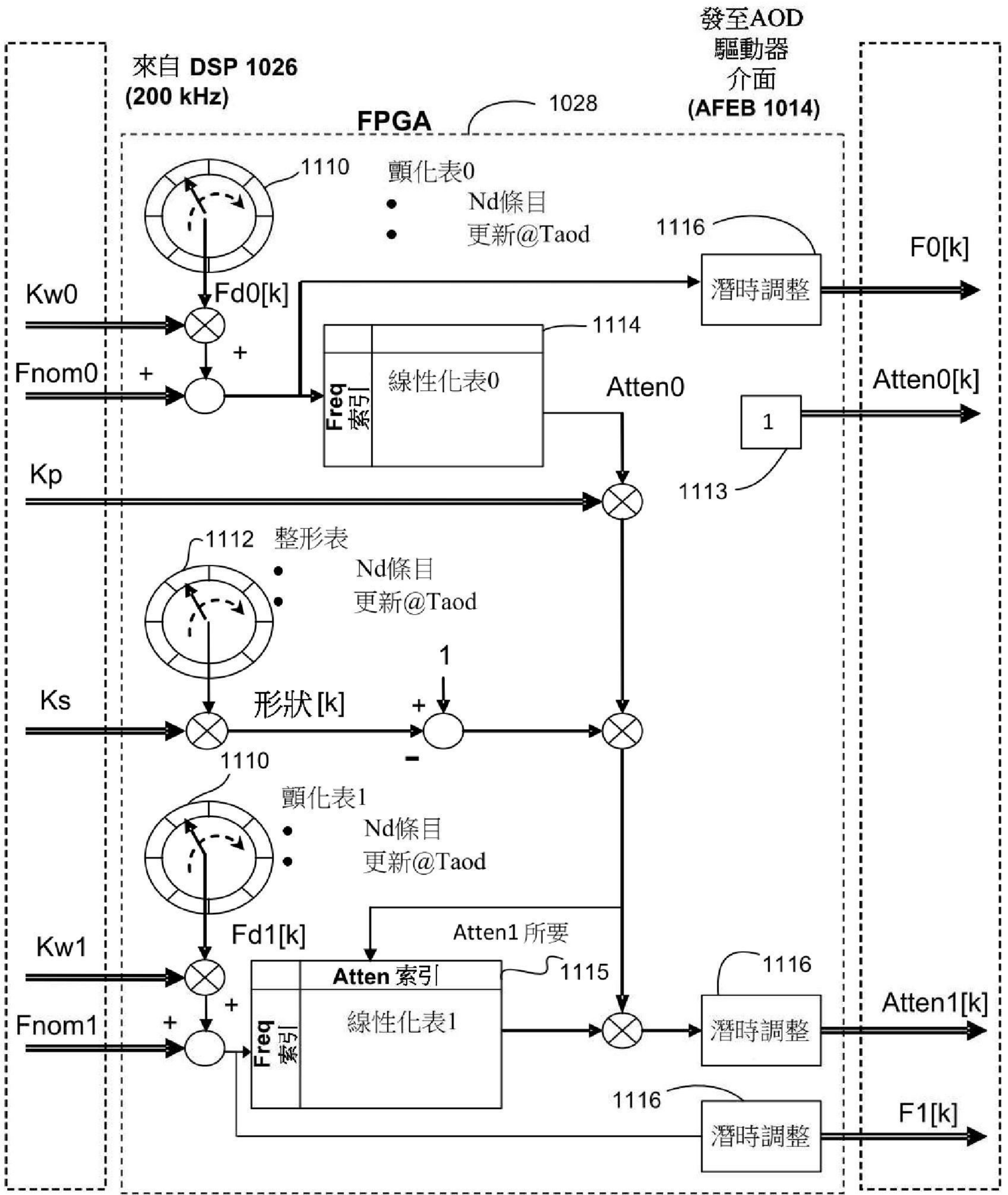

來自 DSP 1026
(200 kHz)
FPGA
1028
發至AOD
驅動器
介面
(AFEB 1014)
1110
顫化表0
Nd條目
更新@Taod
1116
潛時調整
F0[k]
Kw0
Fd0[k]
+
Fnom0
+
1114
Freq
索引
線性化表0
Atten0
Atten0[k]
1
1113
Kp
1112
整形表
Nd條目
更新@Taod
1
Ks
形狀[k]
+
-
1110
顫化表1
Nd條目
更新@Taod
Fd1[k]
Atten1所要
Kw1
Atten 索引
1115
1116
Atten1[k]
+
Fnom1
+
Freq
索引
線性化表1
潛時調整
1116
F1[k]
潛時調整

圖 9

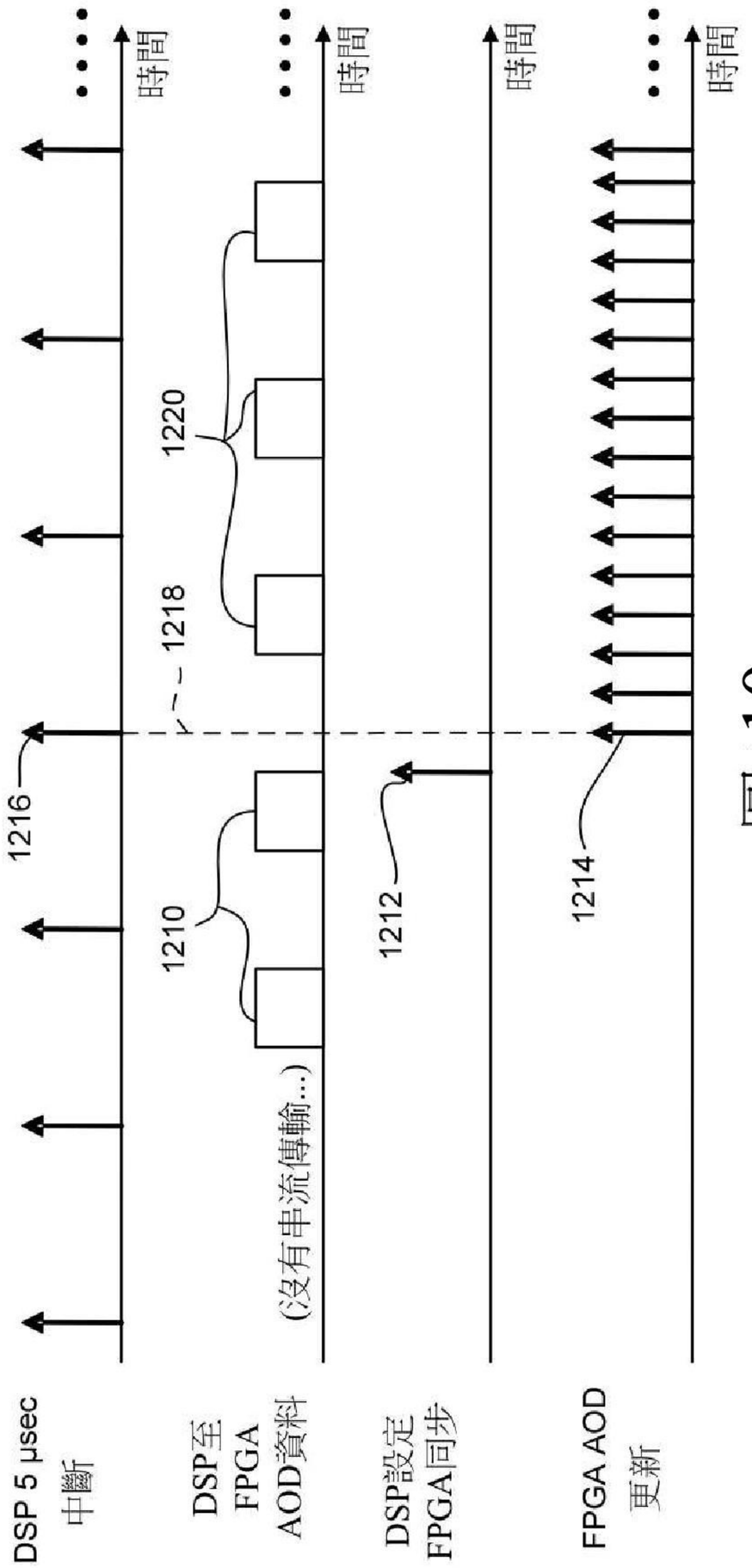

時間
時間
時間
時間
1220
1218
1216
1210
1212
1214
(沒有串流傳輸...)
DSP 5 μsec
中斷
DSP至
FPGA
AOD資料
DSP設定
FPGA同步
FPGA AOD
更新

圖 10

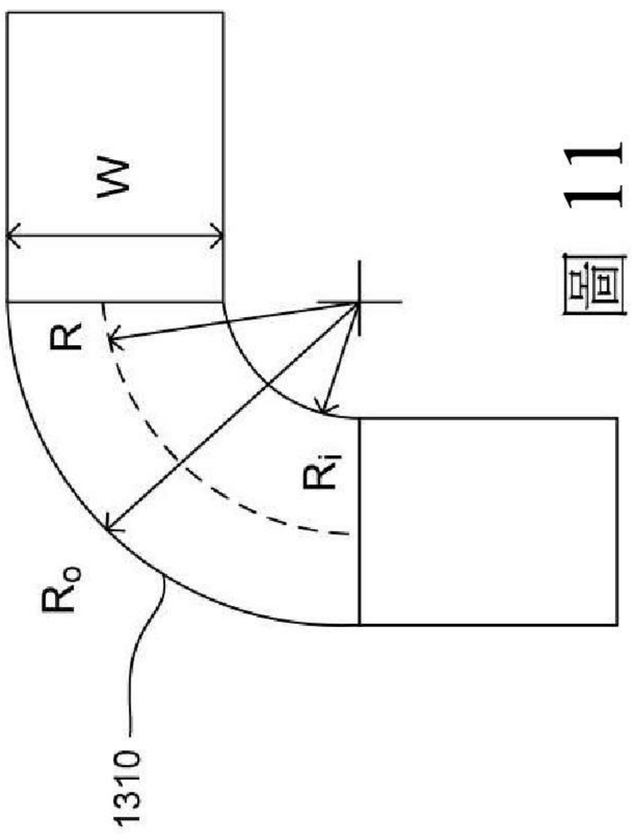

W
R
R_i
R_o
1310

圖 11

109年6月22修正替換頁

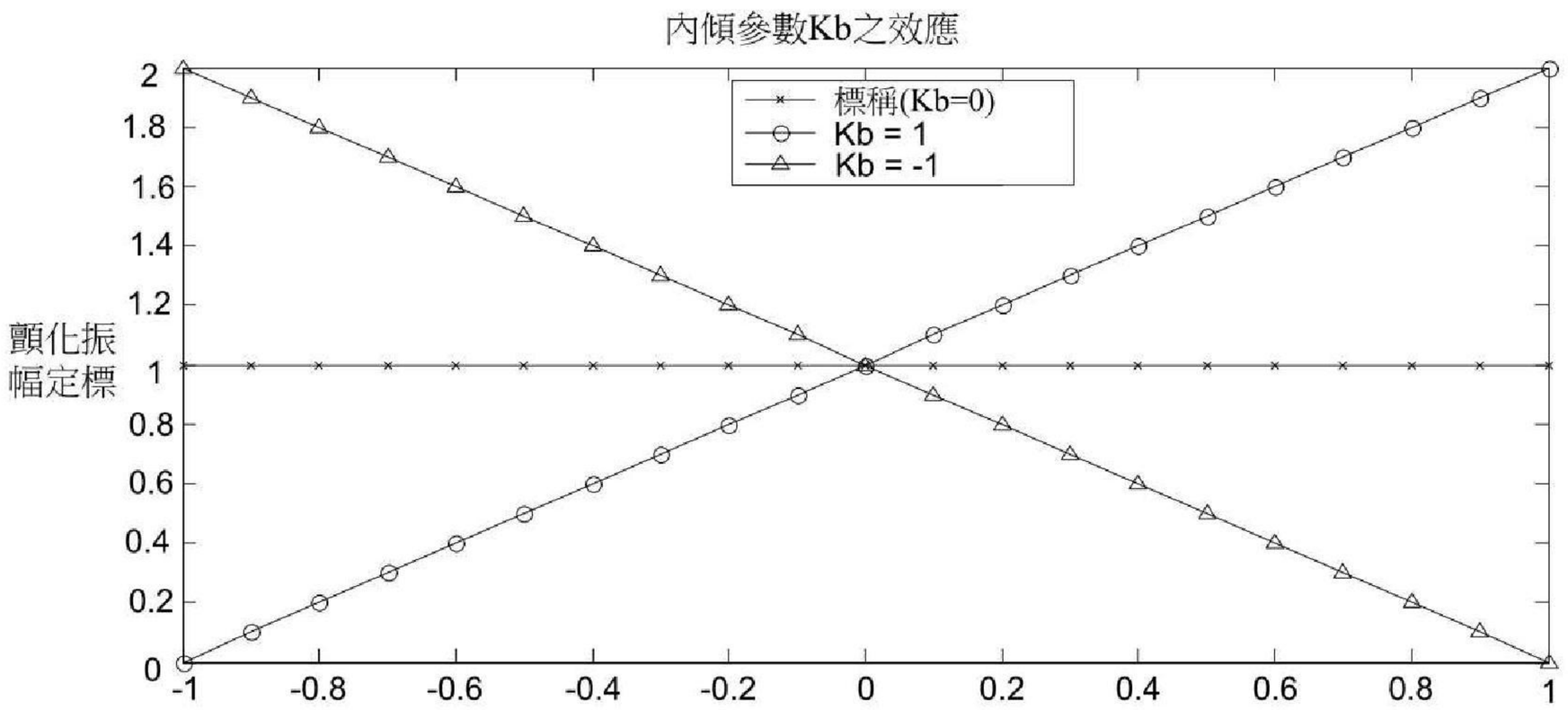


圖 12

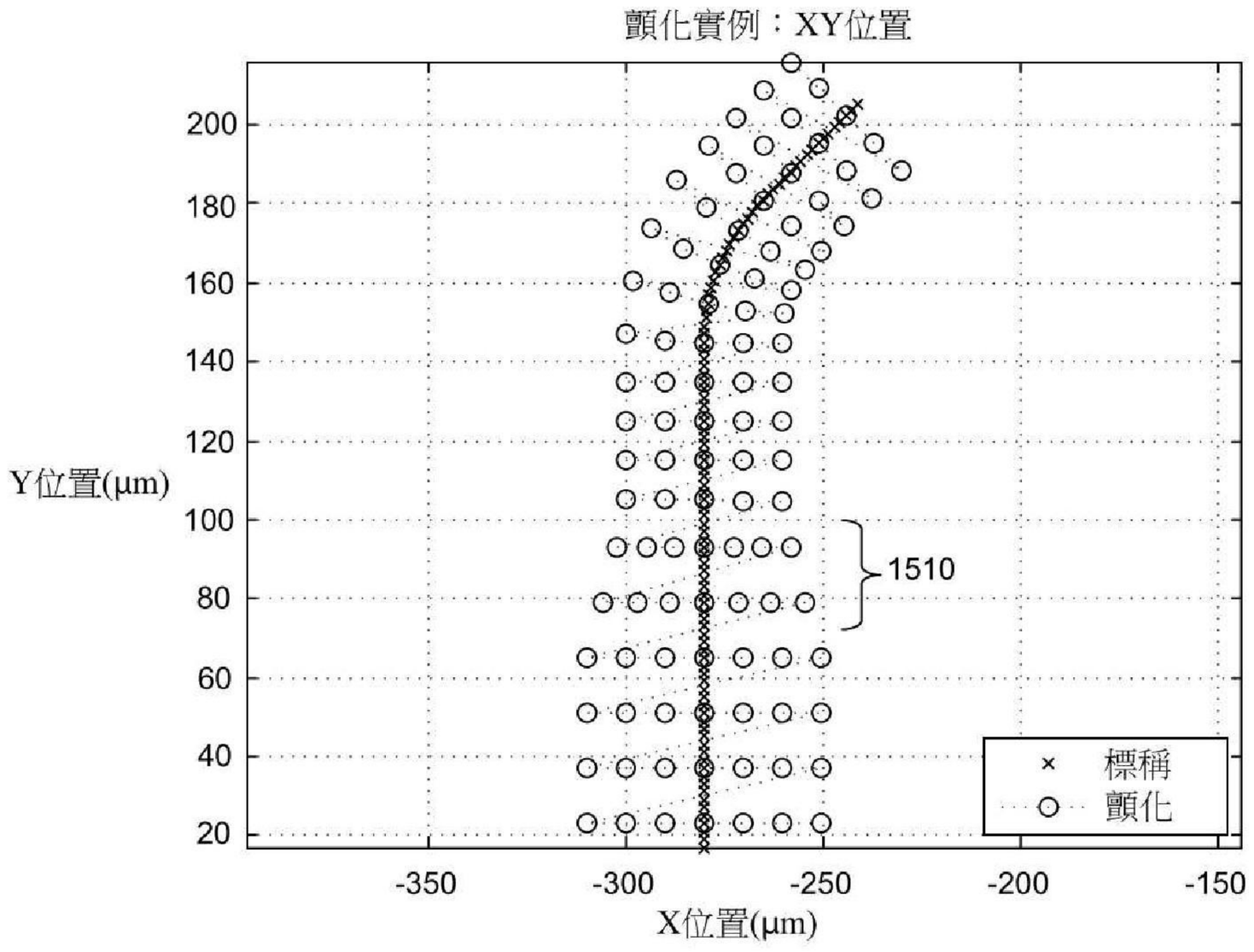


圖 13

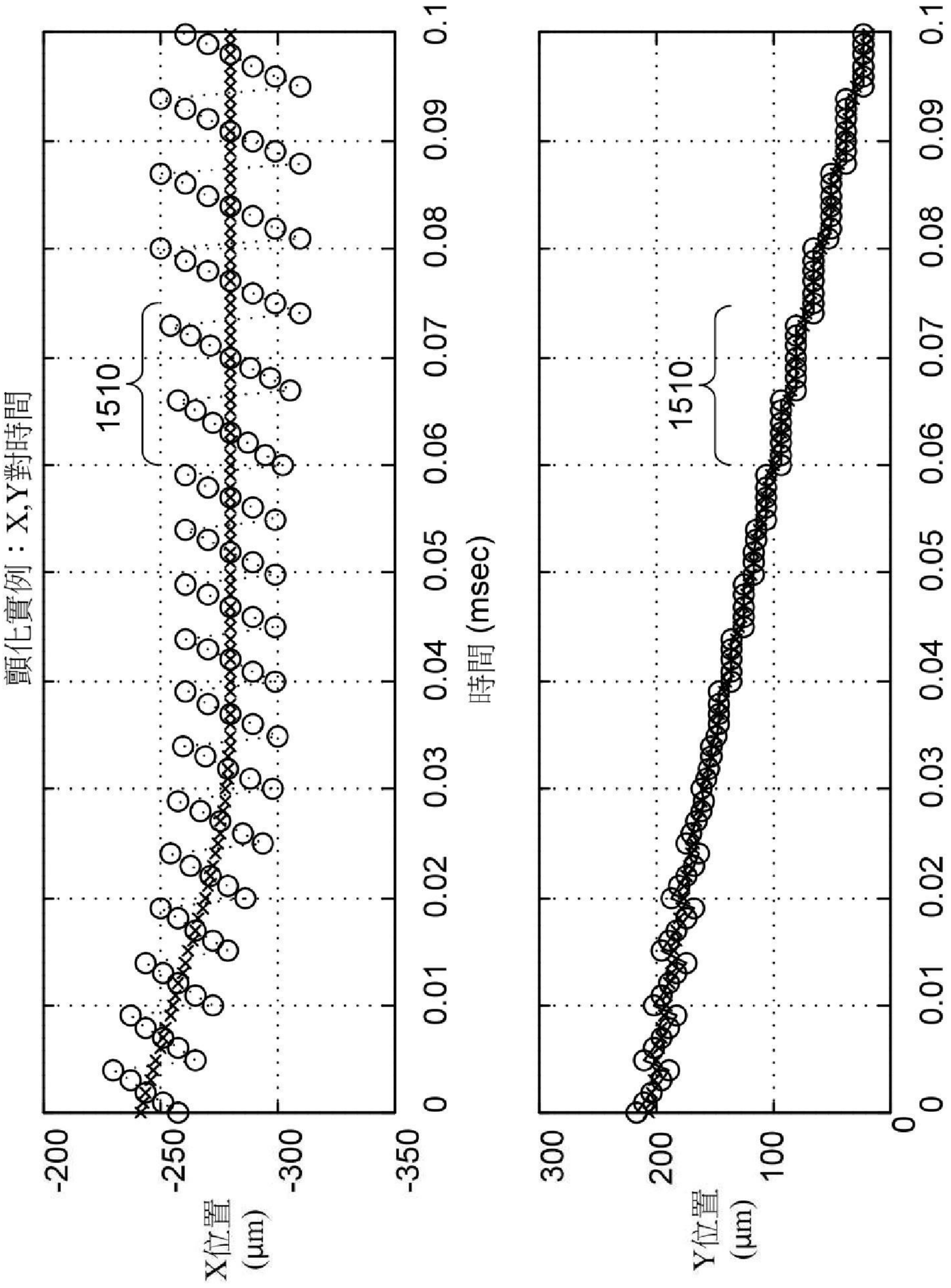

顫化實例：X,Y對時間
1510
X位置 (μm)
-200
-250
-300
-350
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.1
時間 (msec)
1510
Y位置 (μm)
300
200
100
0
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.1
時間 (msec)

圖 14

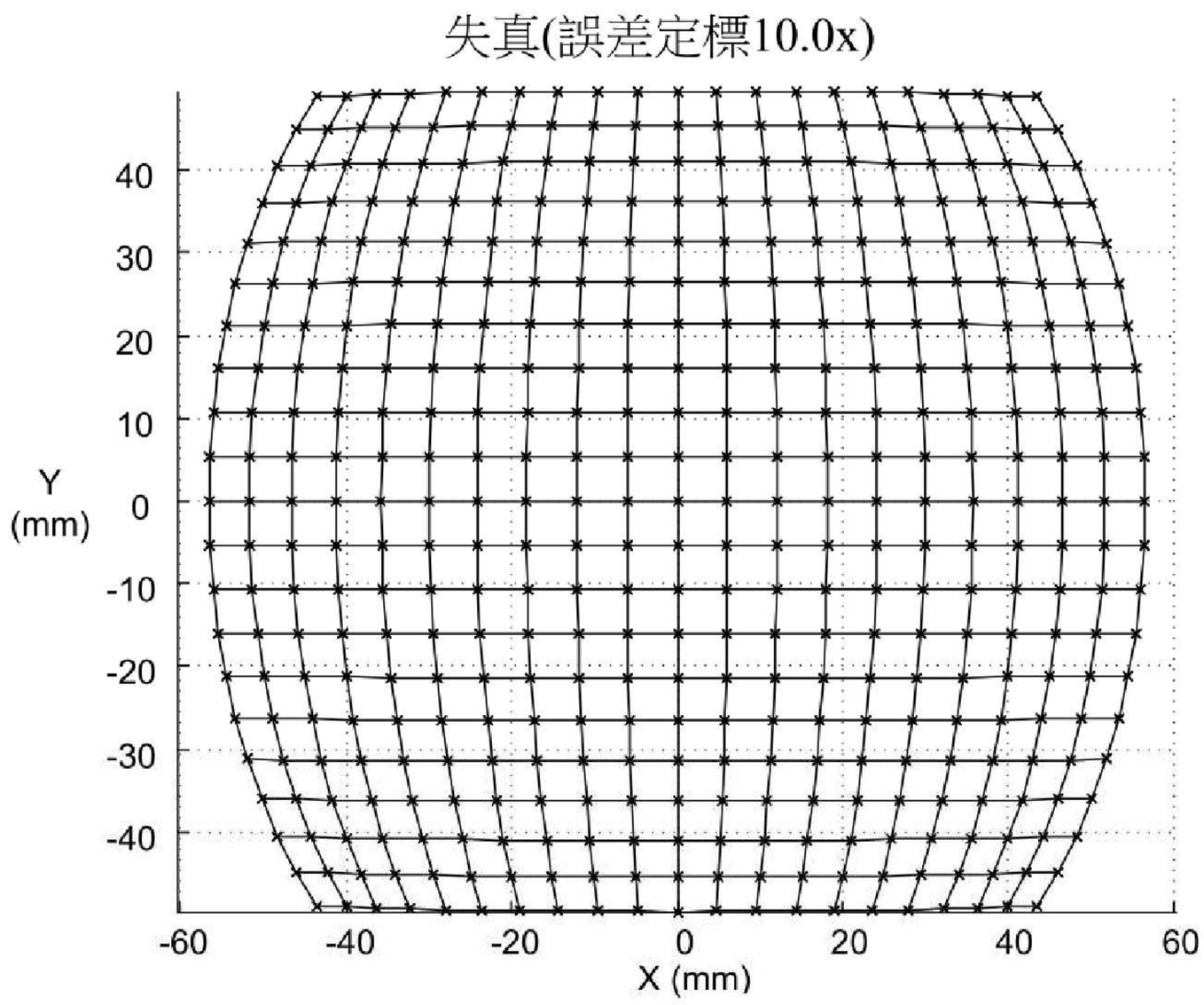

失真(誤差定標10.0x)
Y (mm)
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-60
-40
-20
0
20
40
60
X (mm)

圖 15

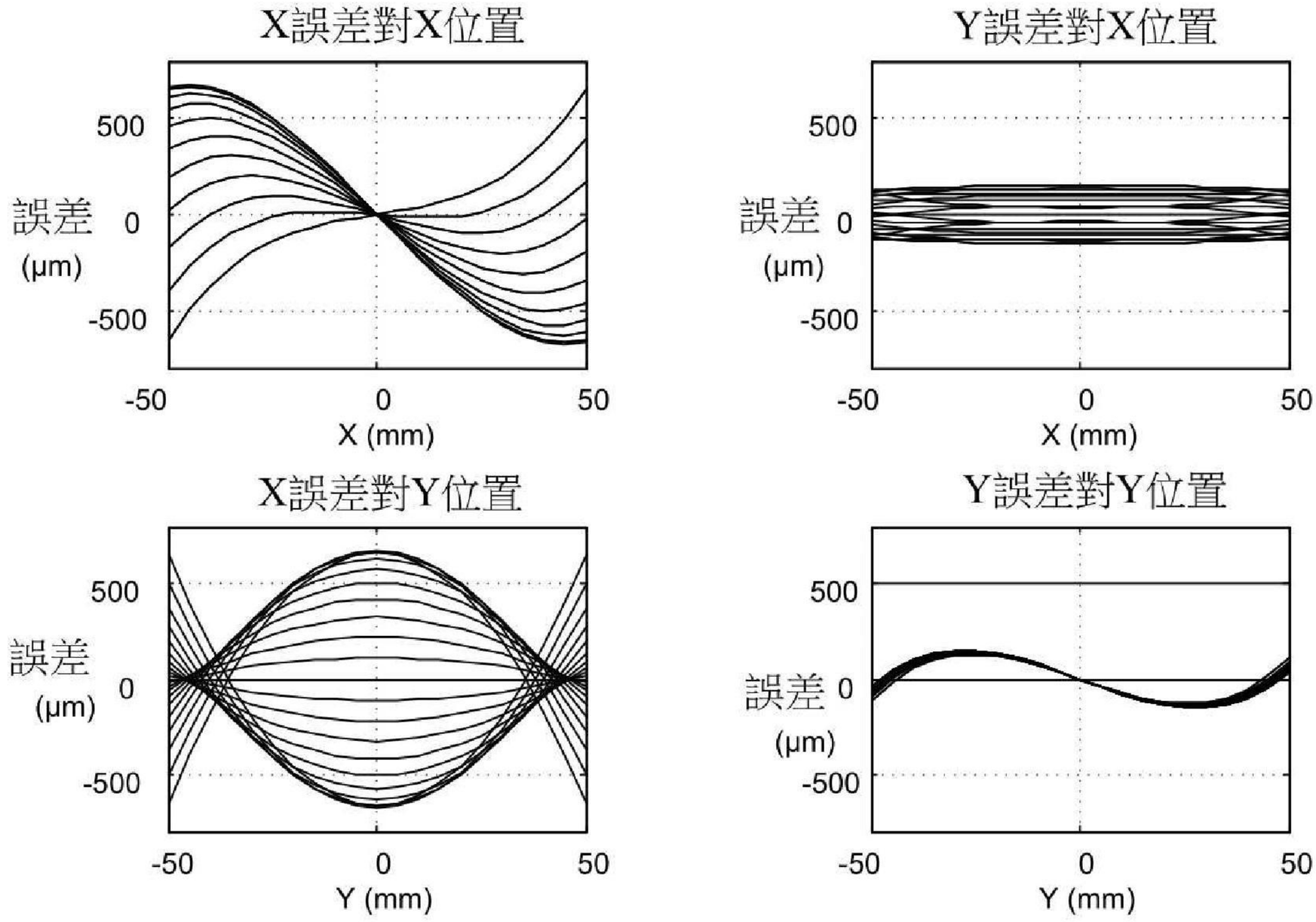

X誤差對X位置
Y誤差對X位置
X誤差對Y位置
Y誤差對Y位置
誤差 (μm)
500
0
-500
-50
0
50
X (mm)
Y (mm)

圖 16

109年6月22修正替換頁

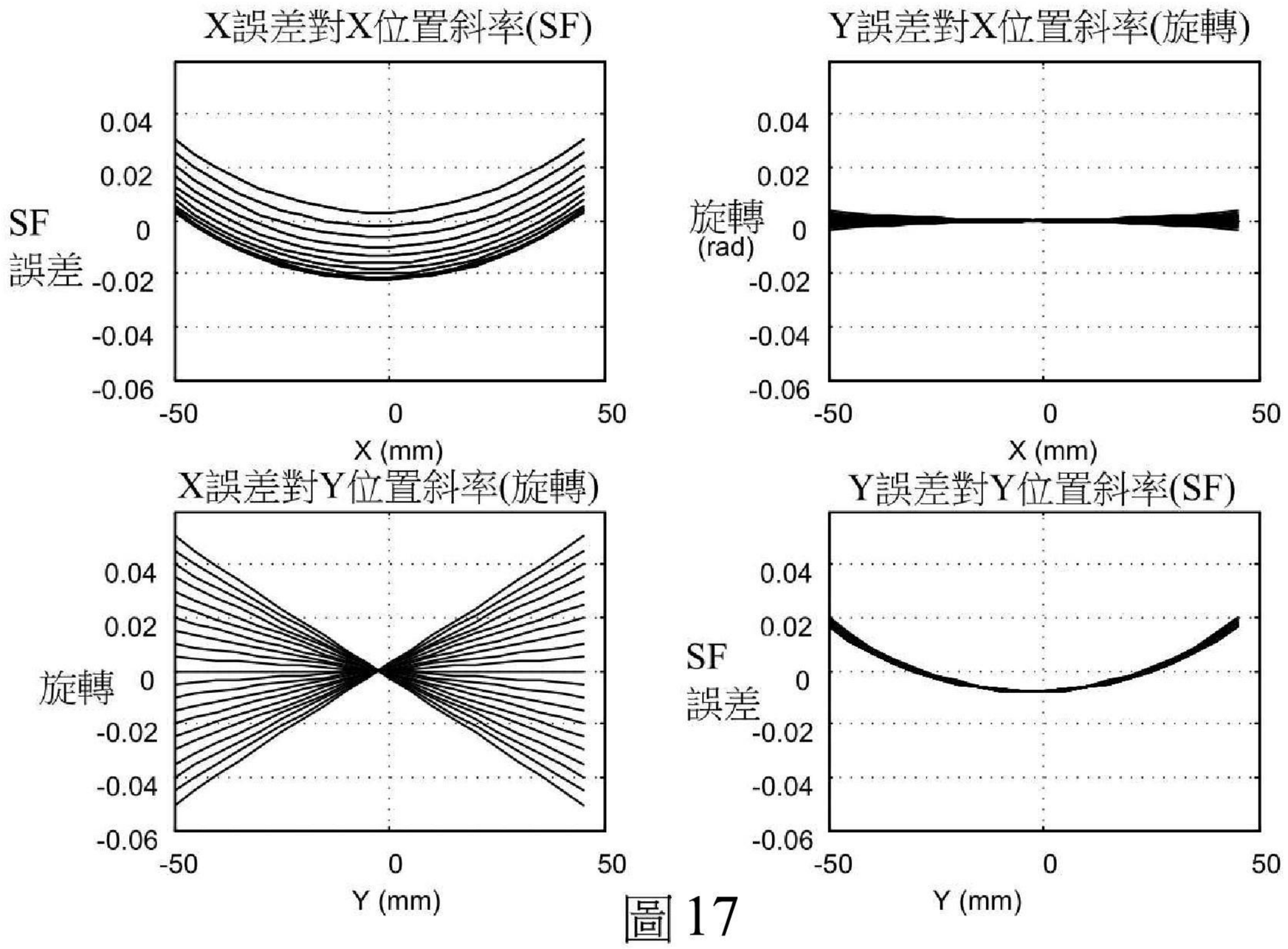


圖 17

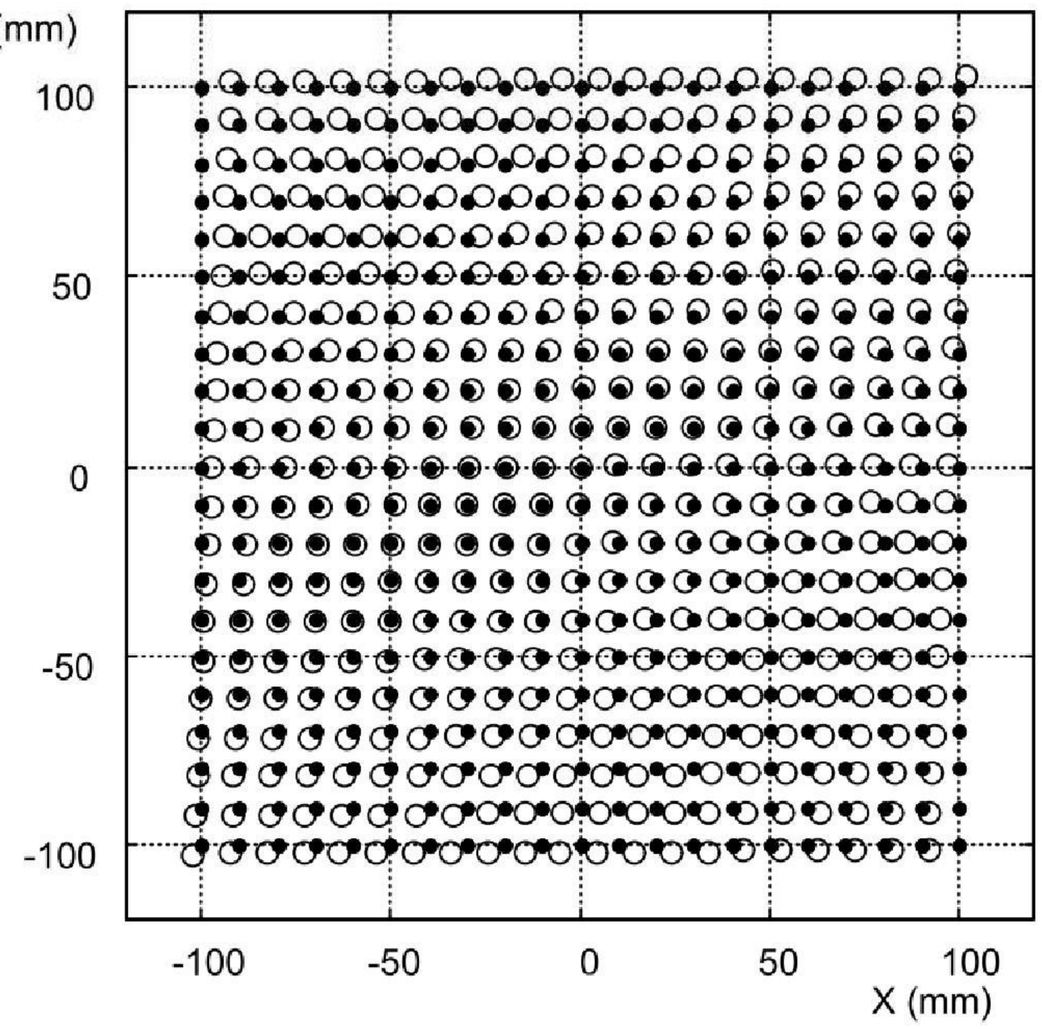


圖 18

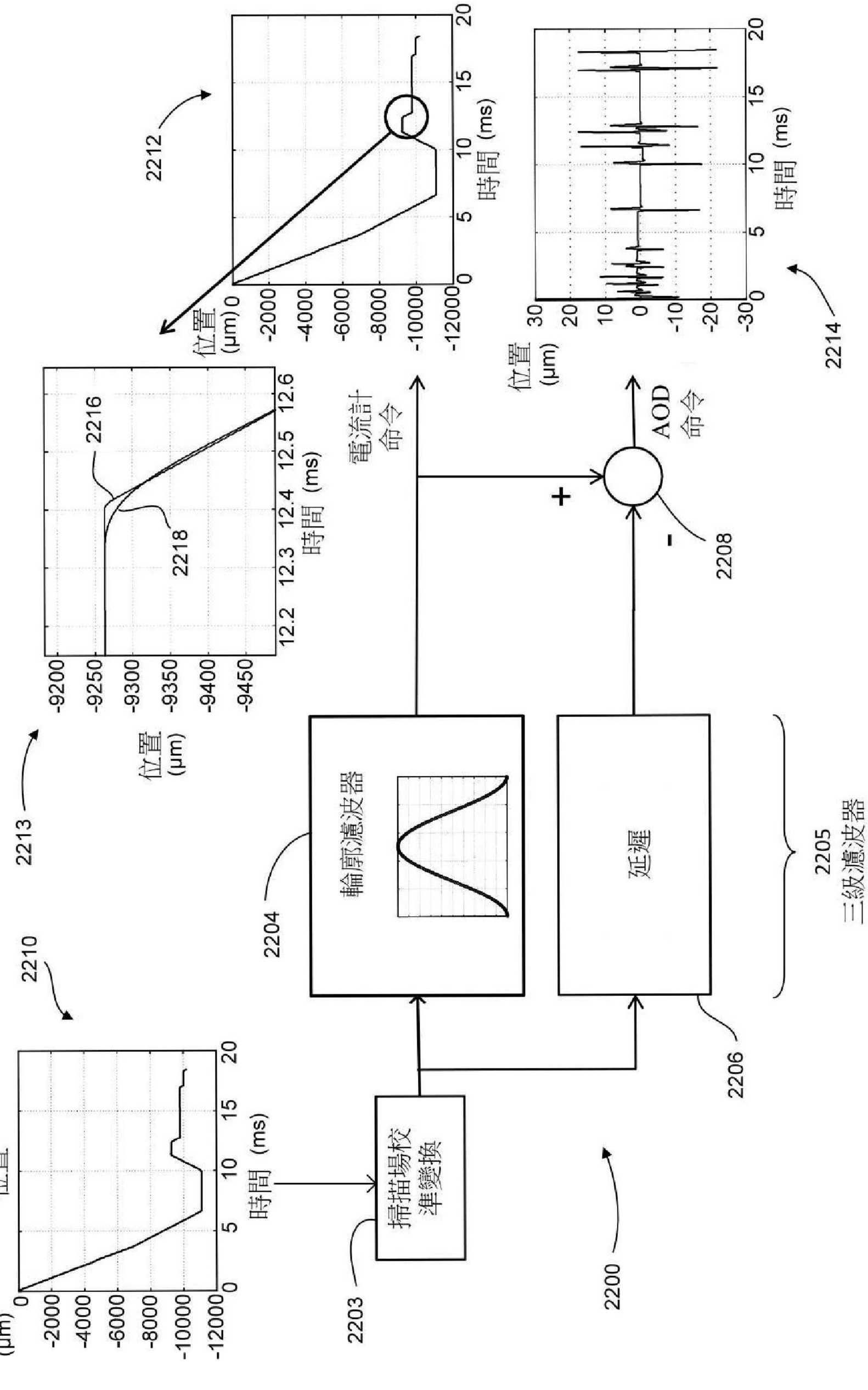

2212
位置 (μm)
時間 (ms)
2214
2216
2218
2213
2204
輪廓濾波器
電流計命令
AOD命令
2208
延遲
2205
三級濾波器
2210
所命令射束位置
2203
掃描場校準變換
2200
2206

圖 19

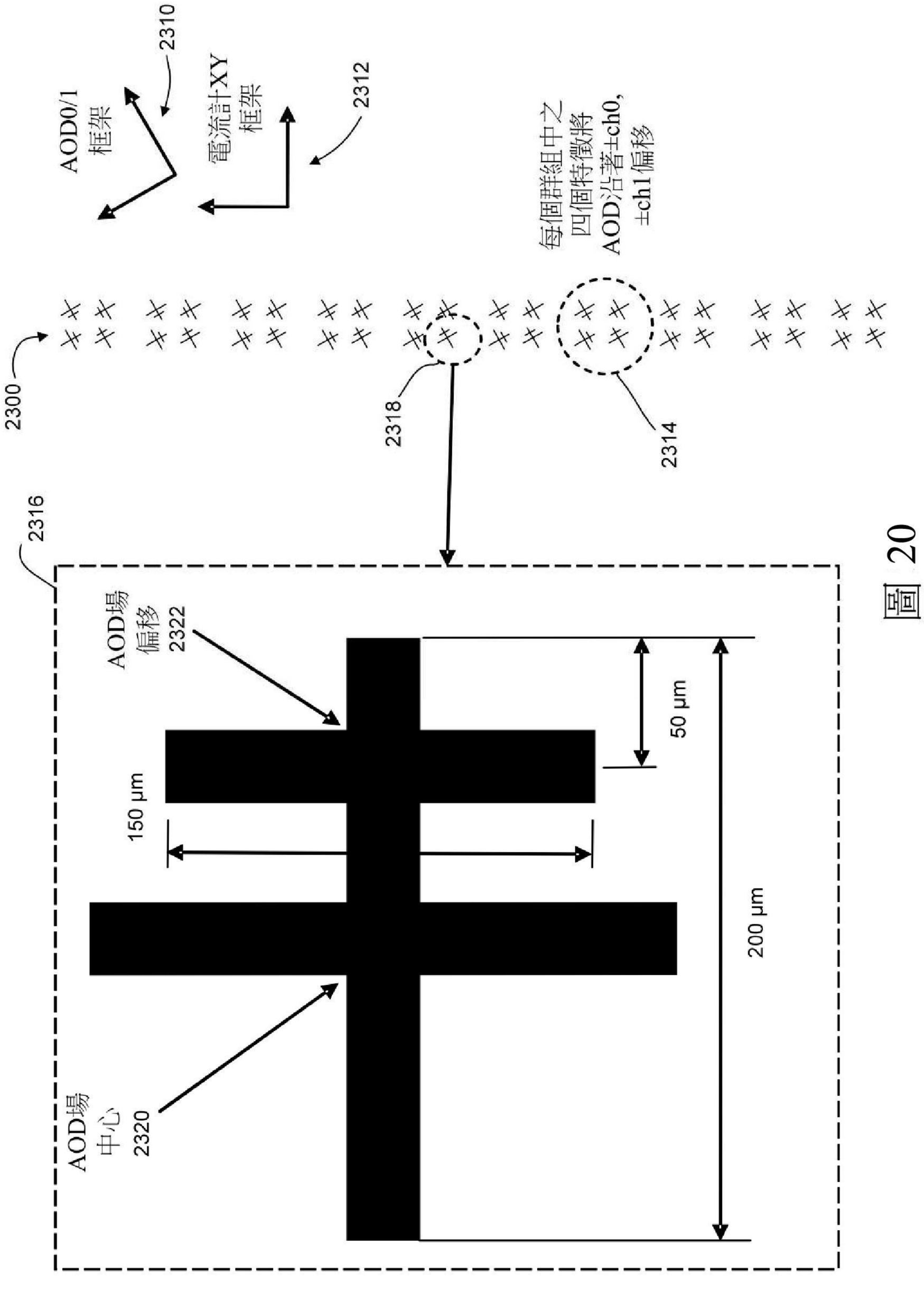

AOD0/1
框架
2310
電流計XY
框架
2312
每個群組中之
四個特徵徵將
AOD沿著±ch0,
±ch1偏移
2300
2318
2314
2316
AOD場
偏移
2322
150 µm
50 µm
200 µm
AOD場
中心
2320

圖 20

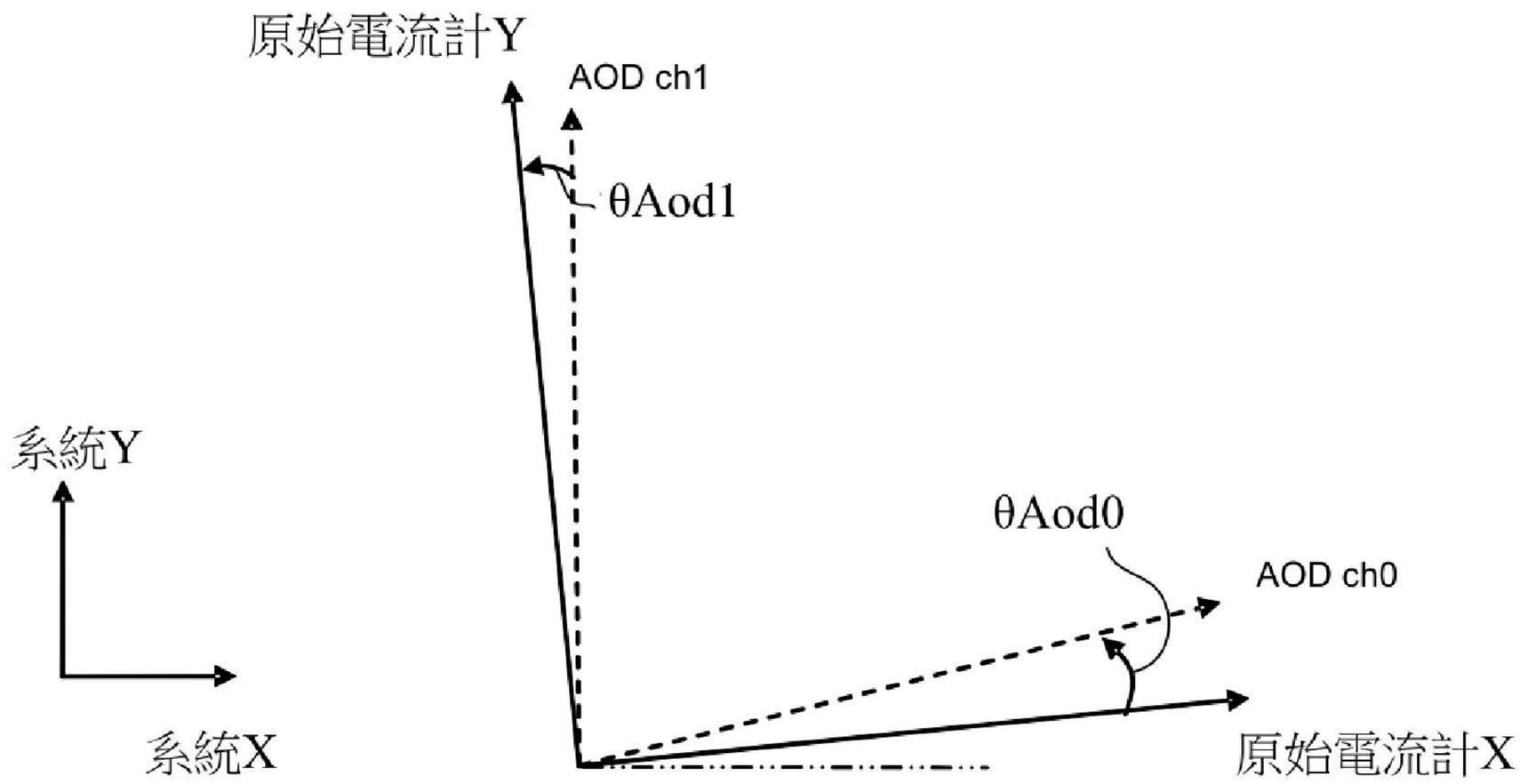

原始電流計Y
AOD ch1
θAod1
系統Y
θAod0
AOD ch0
系統X
原始電流計X

圖 21

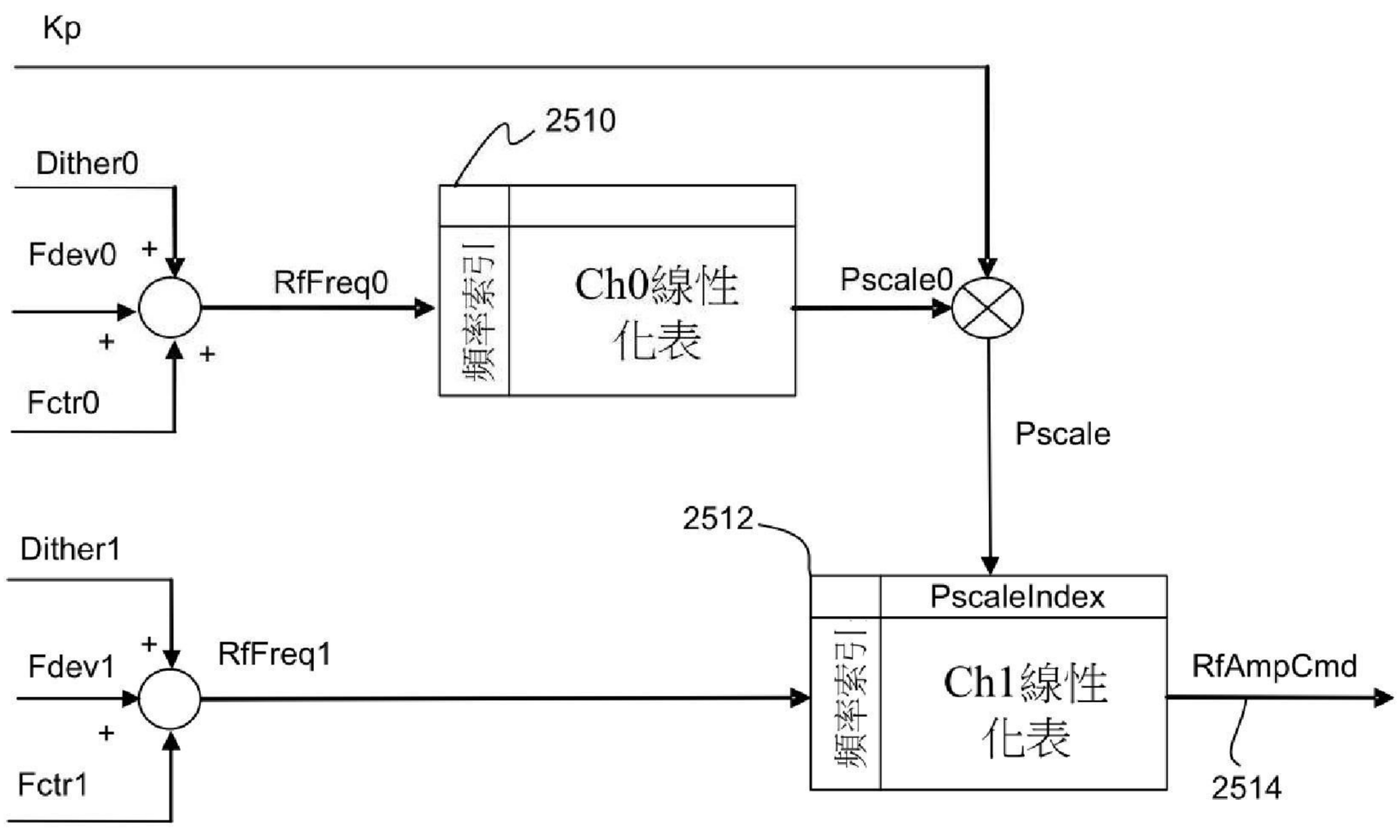

Kp
2510
Dither0
Fdev0
RfFreq0
頻率索引
Ch0線性
化表
Pscale0
Fctr0
Pscale
2512
Dither1
PscaleIndex
Fdev1
RfFreq1
Ch1線性
化表
RfAmpCmd
Fctr1
2514

圖 22

109年6月22修正替換頁

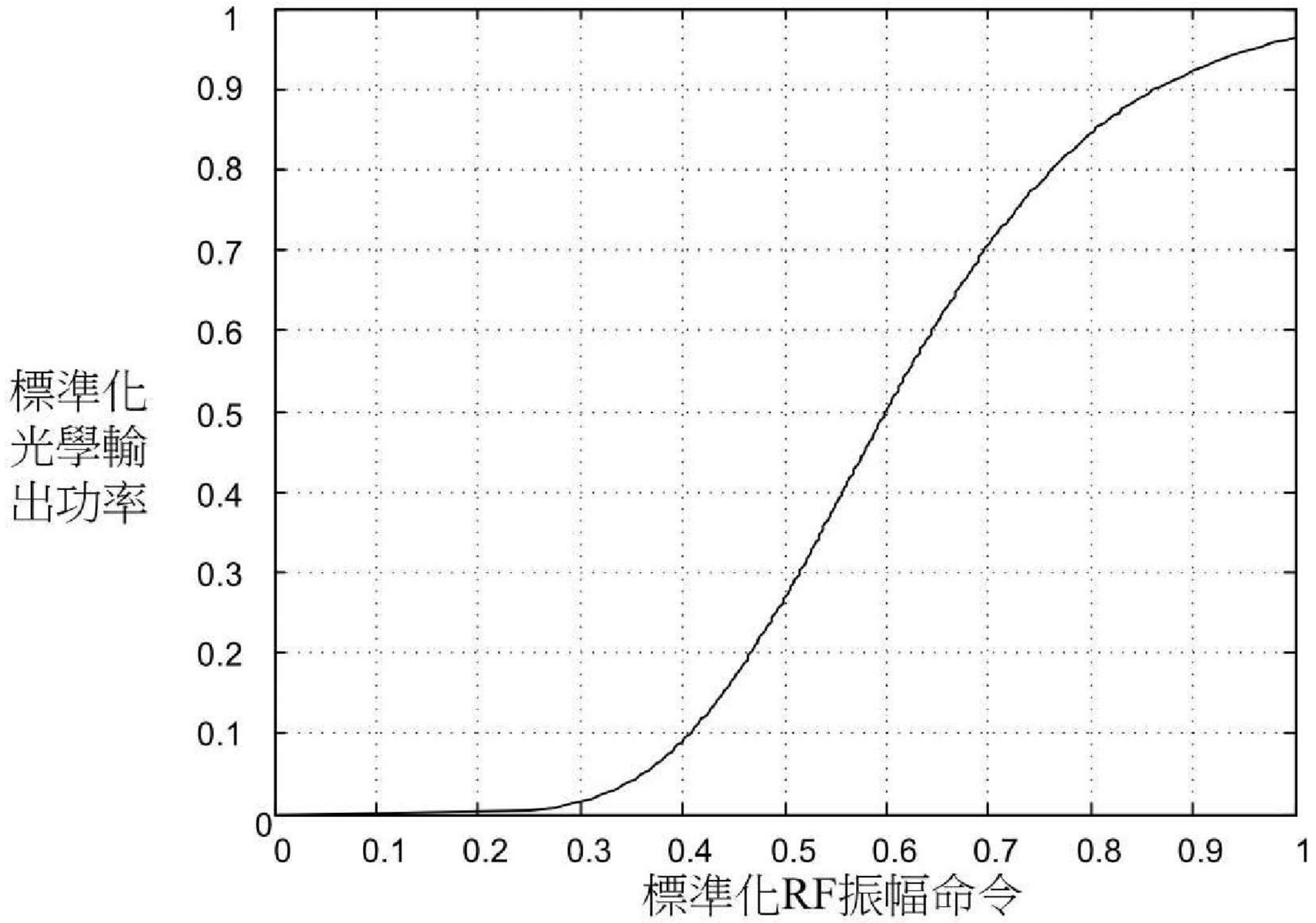


圖 23

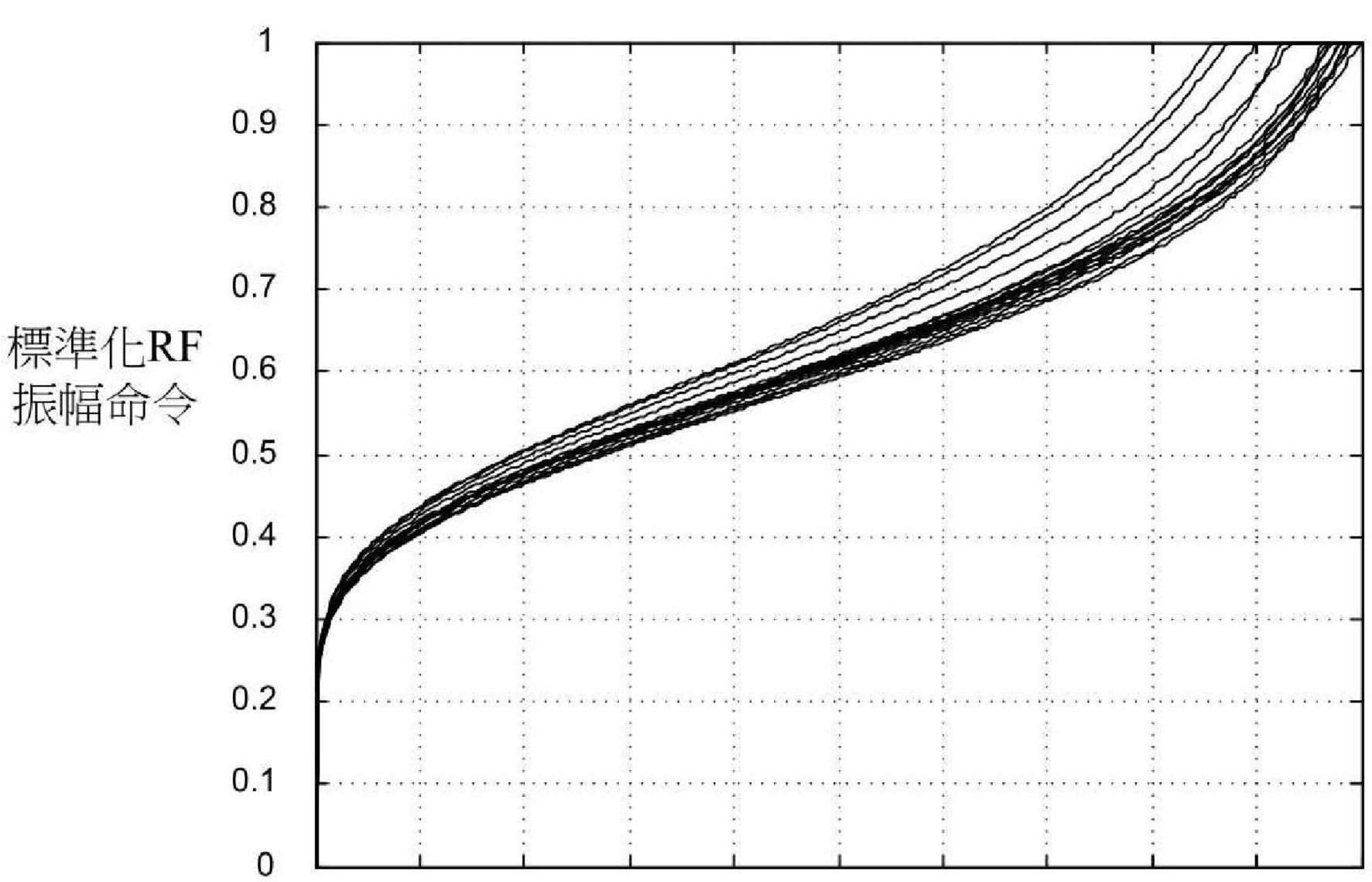


圖 24

109年6月22修正替換頁

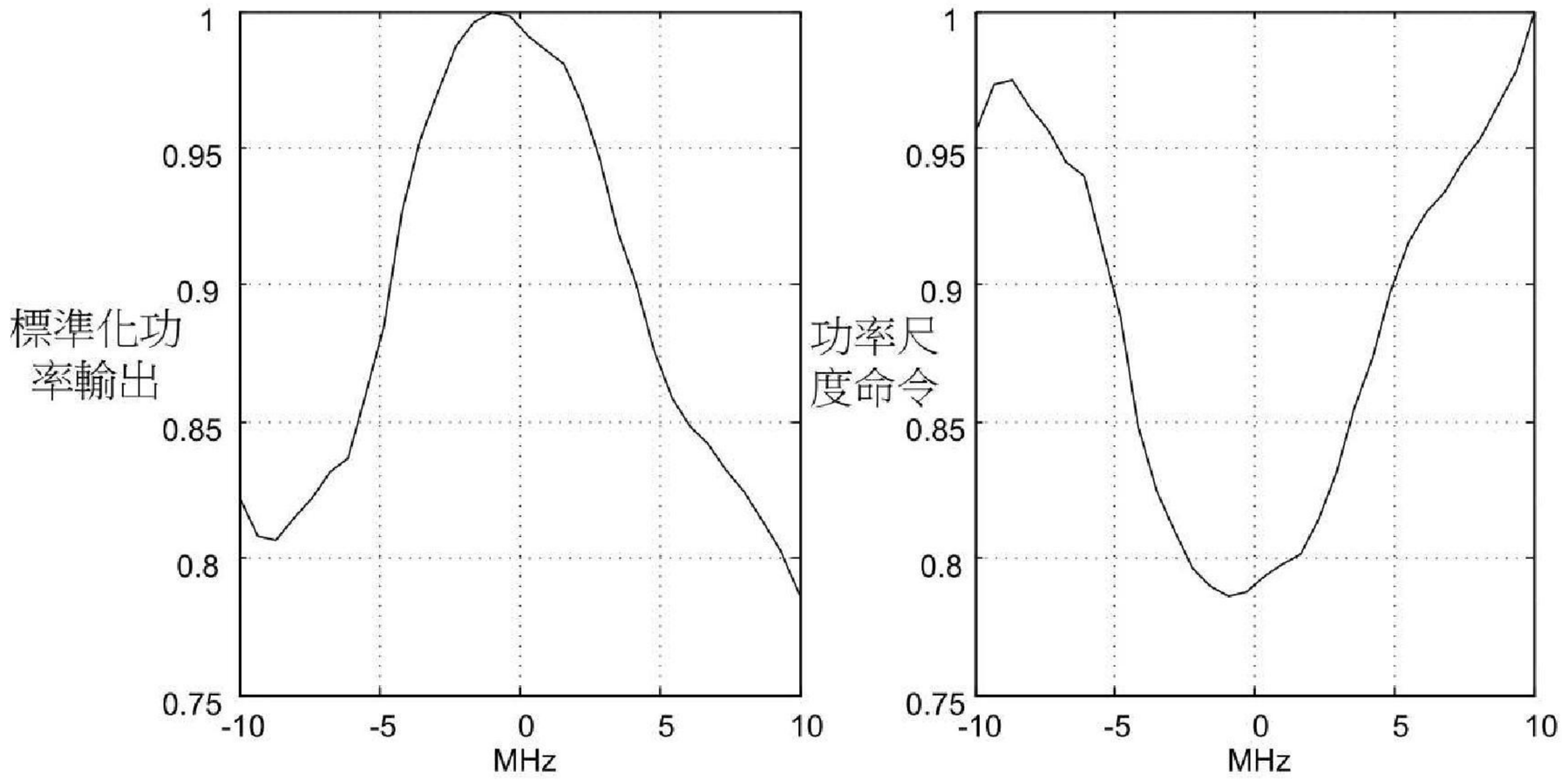


圖 25

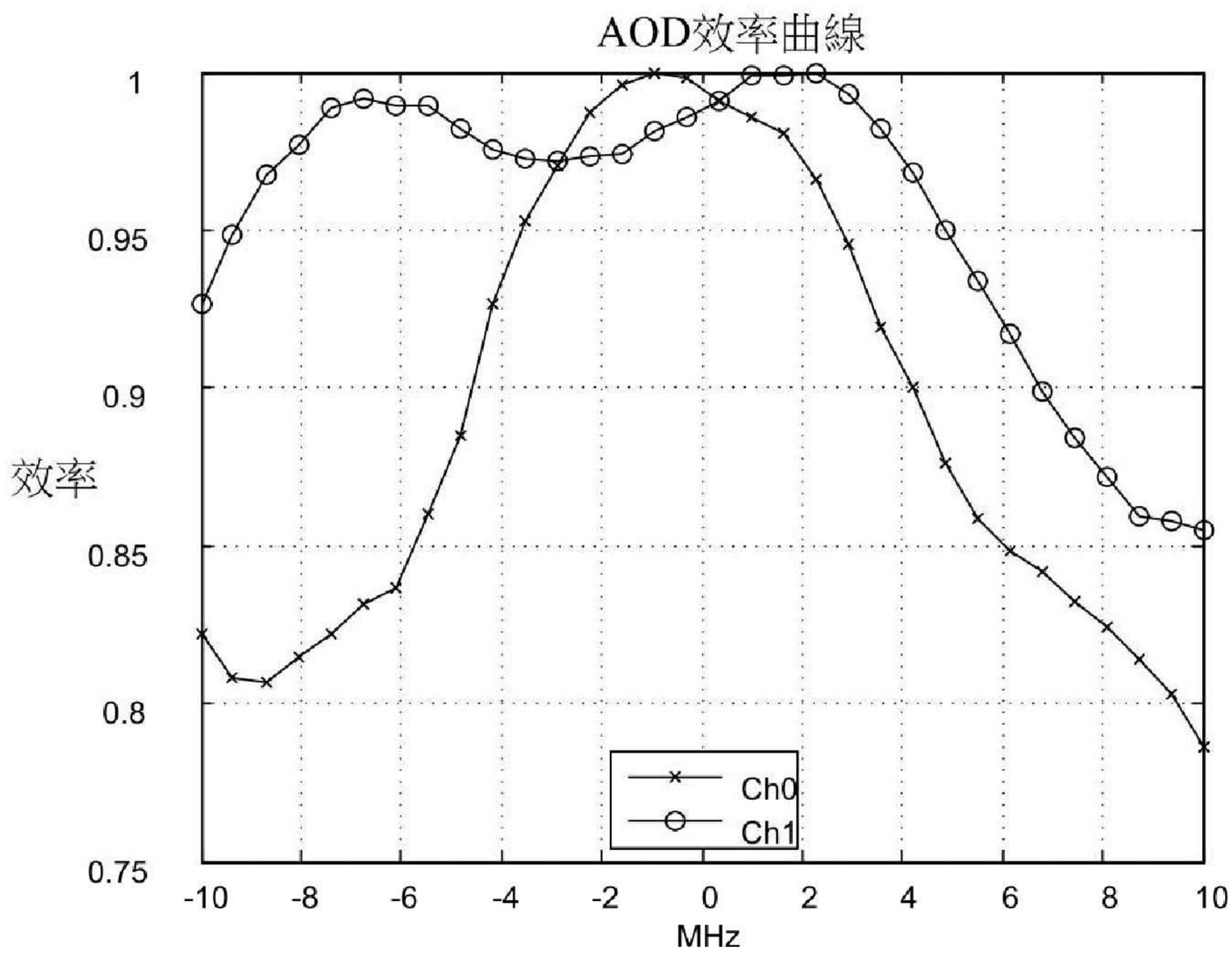


圖 26

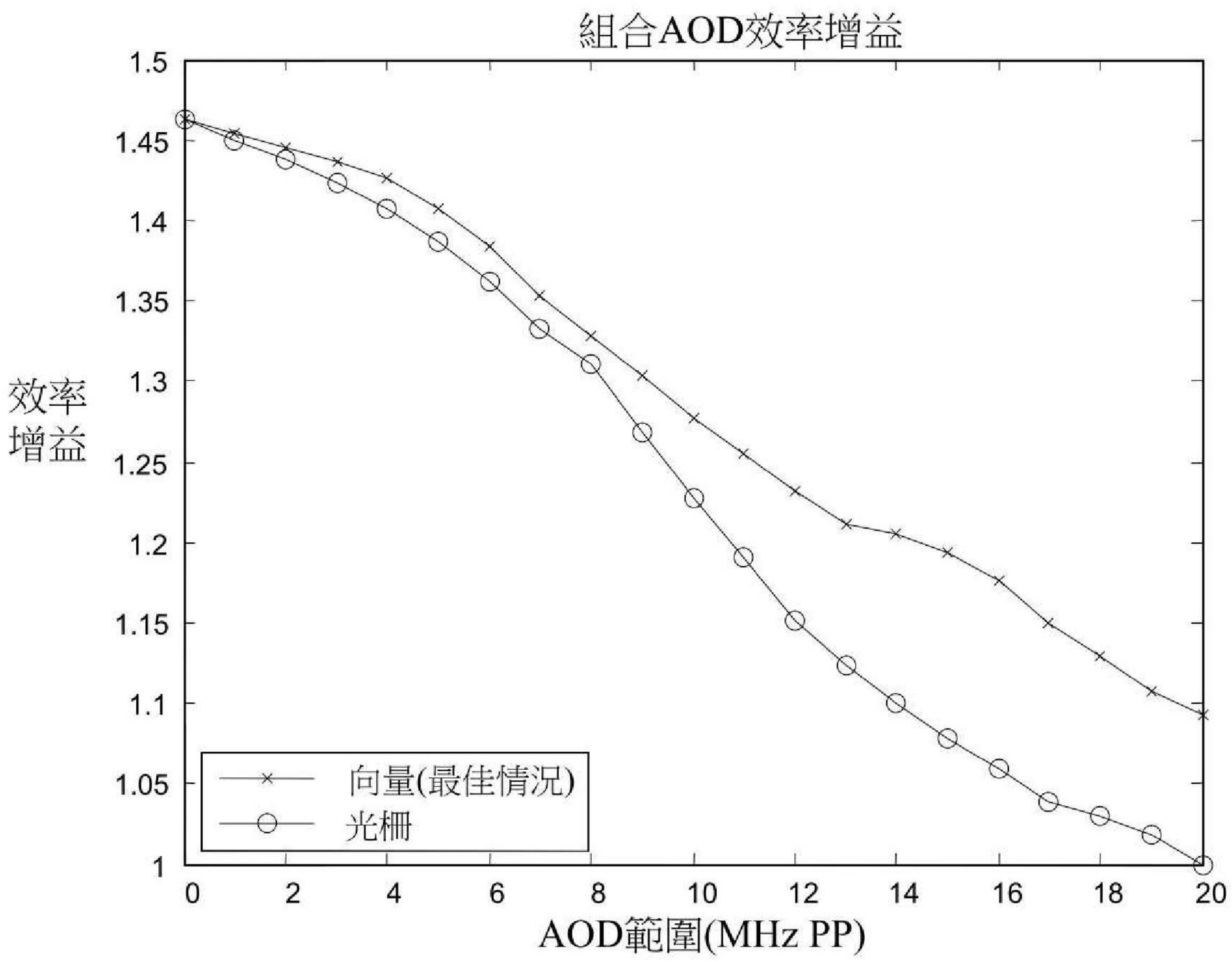

組合AOD效率增益
效率增益
1.5
1.45
1.4
1.35
1.3
1.25
1.2
1.15
1.1
1.05
1
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
AOD範圍(MHz PP)
向量(最佳情況)
光柵

圖 27

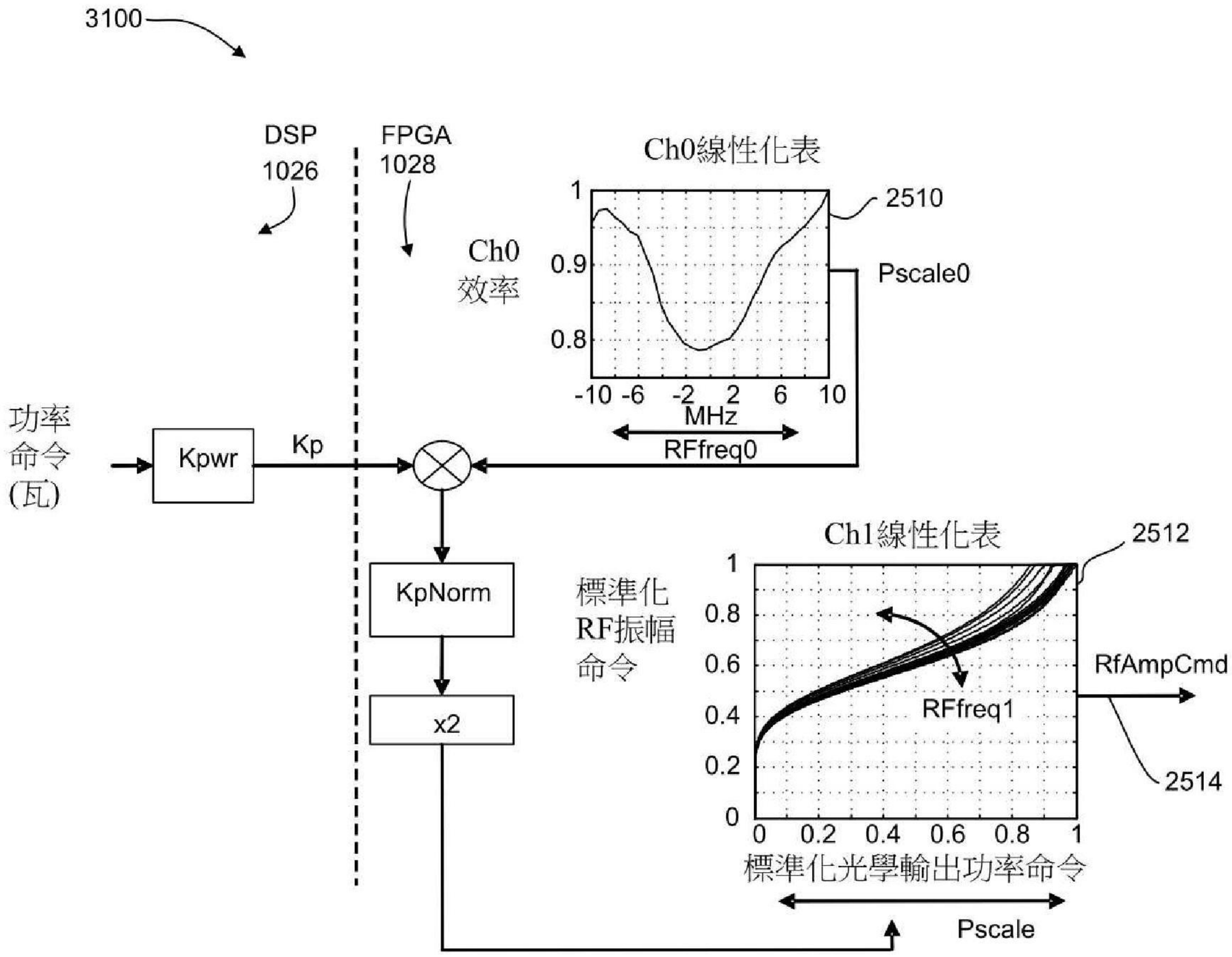

3100
DSP
1026
FPGA
1028
Ch0線性化表
Ch0
效率
1
0.9
0.8
-10 -6 -2 2 6 10
MHz
RFfreq0
2510
Pscale0
功率
命令
(瓦)
Kpwr
Kp
KpNorm
x2
Ch1線性化表
2512
標準化
RF振幅
命令
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1
RFfreq1
RfAmpCmd
2514
標準化光學輸出功率命令
Pscale

圖 28

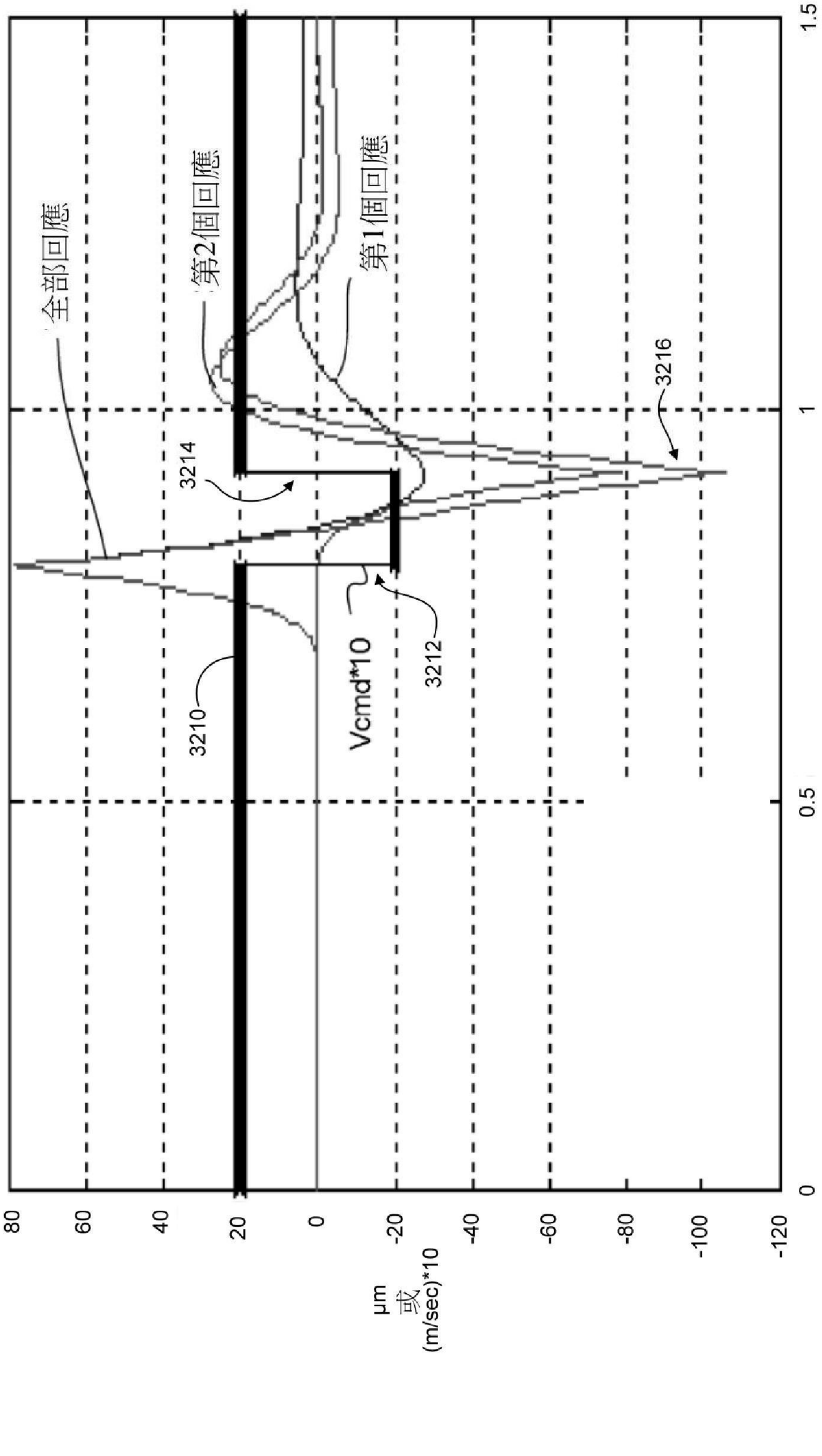

最壞情況AOD回應(2 m/sec Vmax)
全部回應
第2個回應
第1個回應
3214
3216
3210
3212
Vcmd*10
1.5
1
0.5
msec
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
μm
或
(m/sec)*10

圖 29

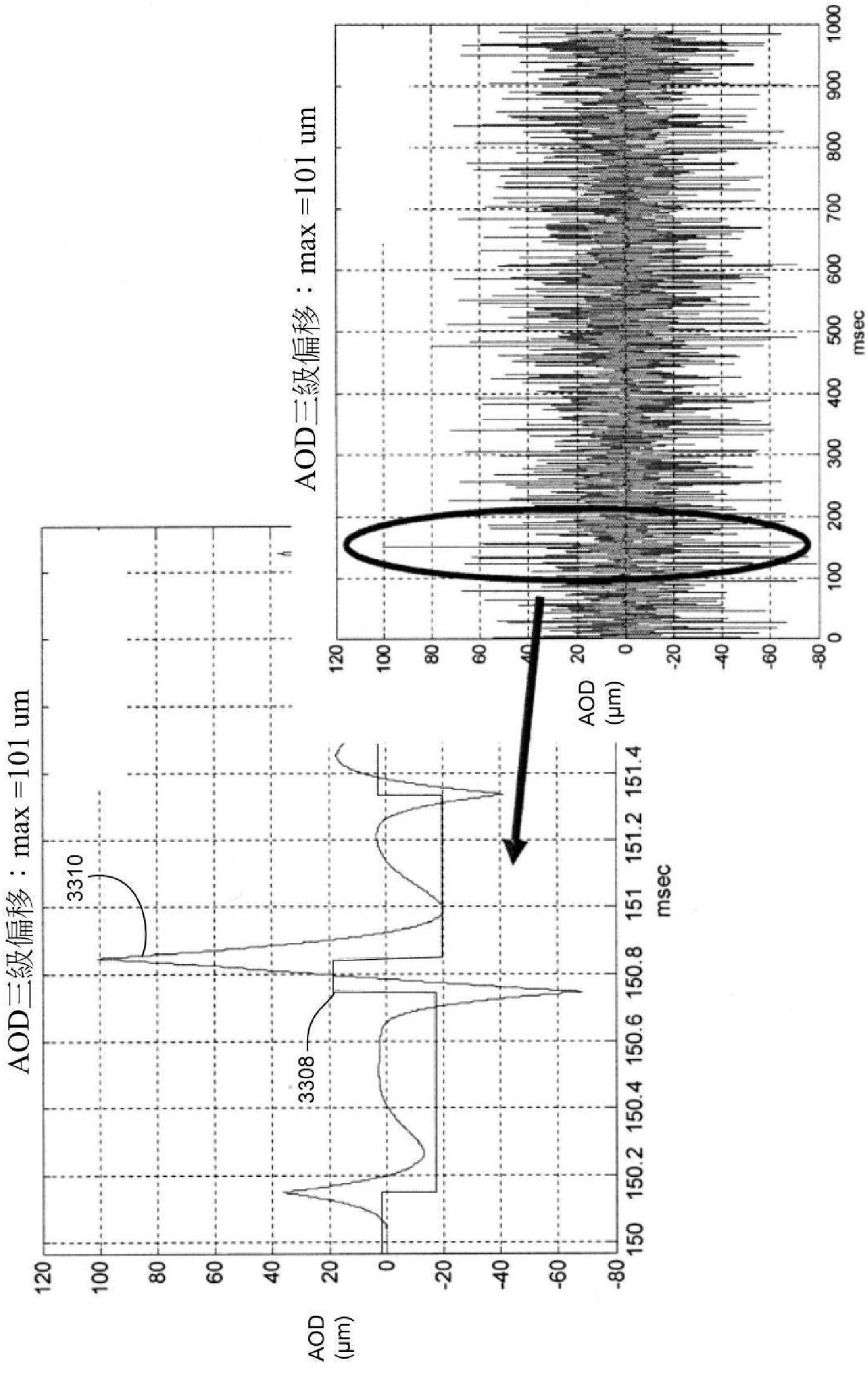

AOD三級偏移：max =101 um
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
100
120
AOD (μm)
msec
AOD三級偏移：max =101 um
3310
3308
150
150.2
150.4
150.6
150.8
151
151.2
151.4
msec

圖 30

109年6月22修正替換頁

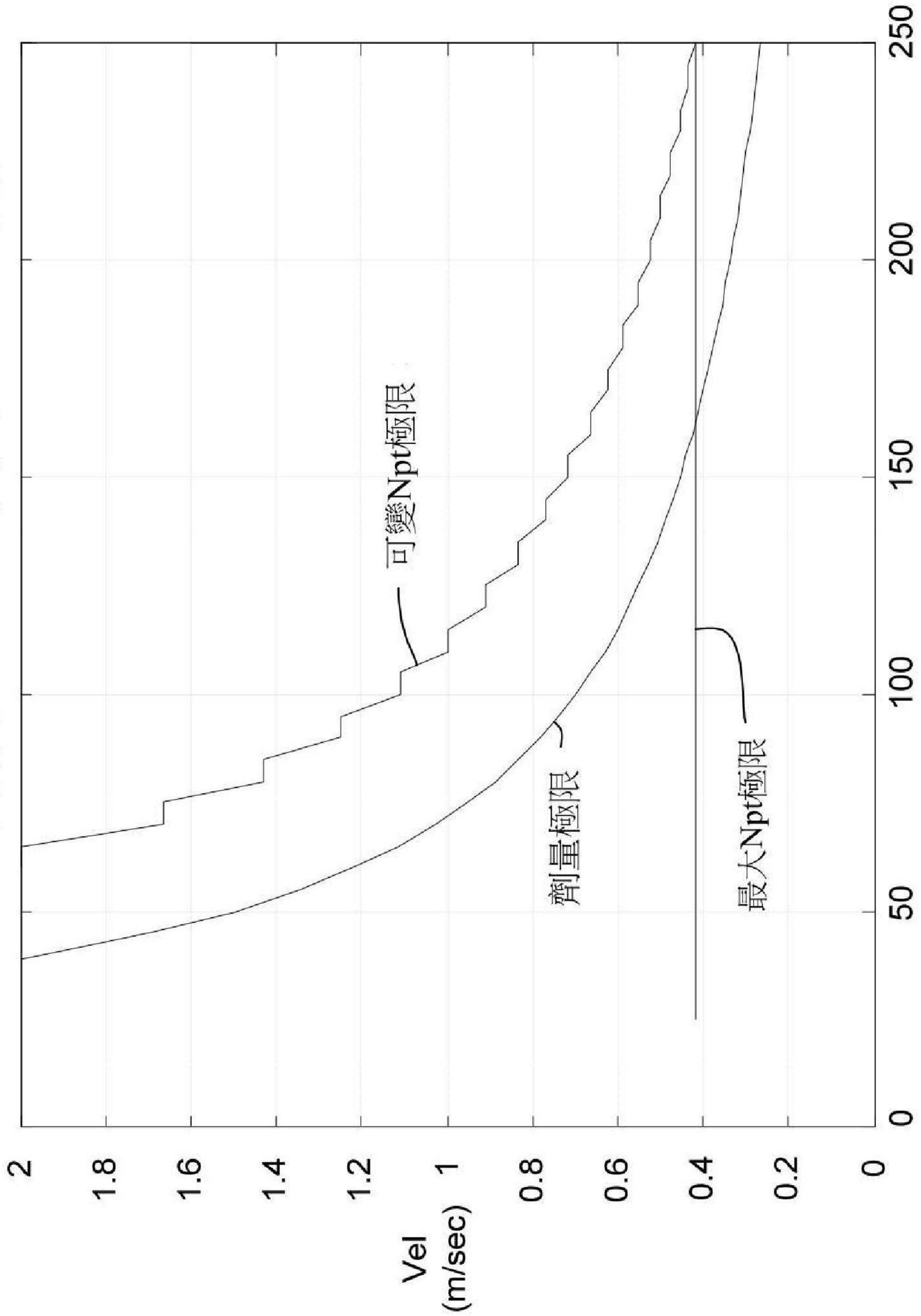


圖 31

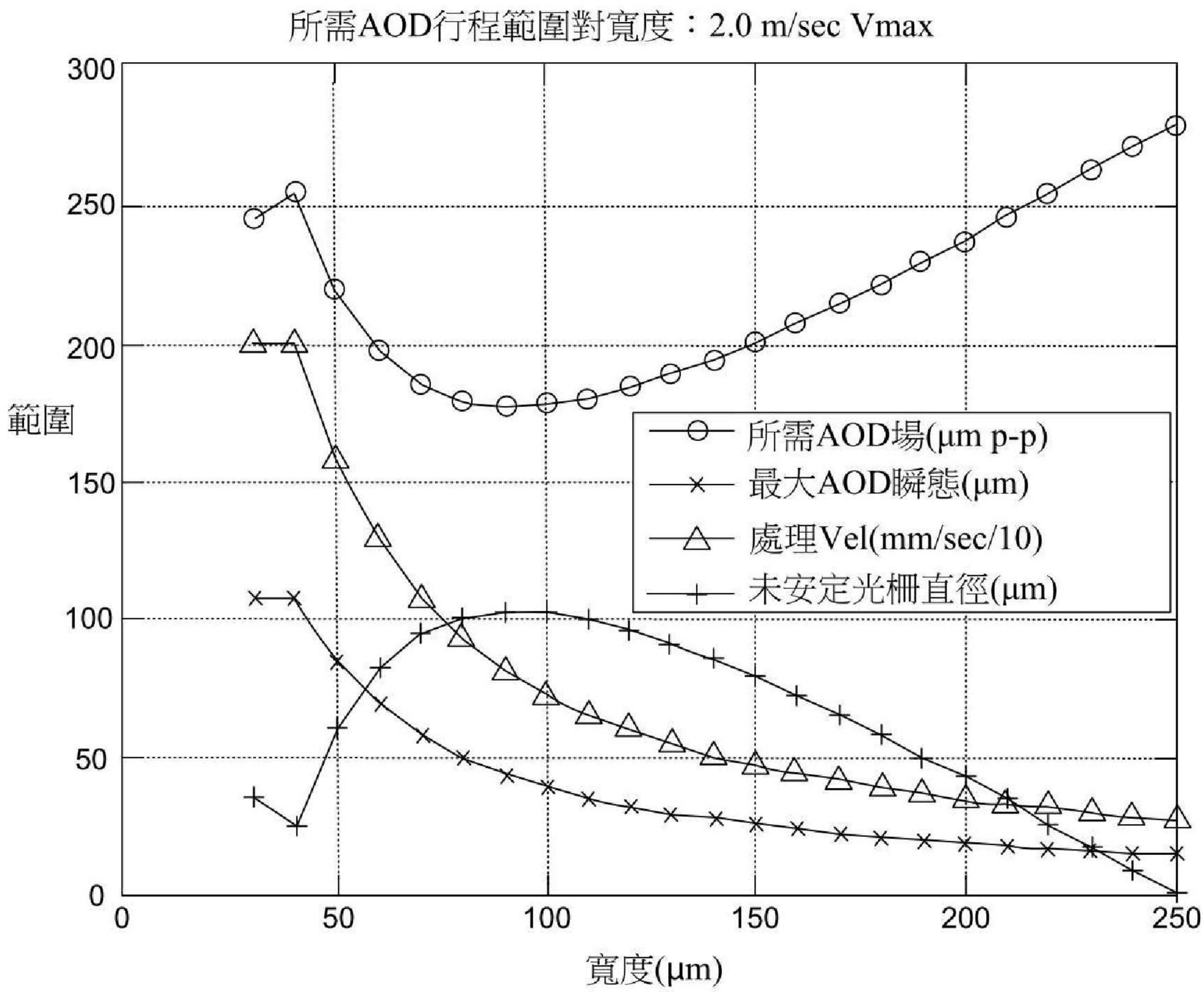

所需AOD行程範圍對寬度：2.0 m/sec Vmax
300
250
200
150
100
50
0
範圍
0
50
100
150
200
250
寬度(μm)
所需AOD場(μm p-p)
最大AOD瞬態(μm)
處理Vel(mm/sec/10)
未安定光柵直徑(μm)

圖 32

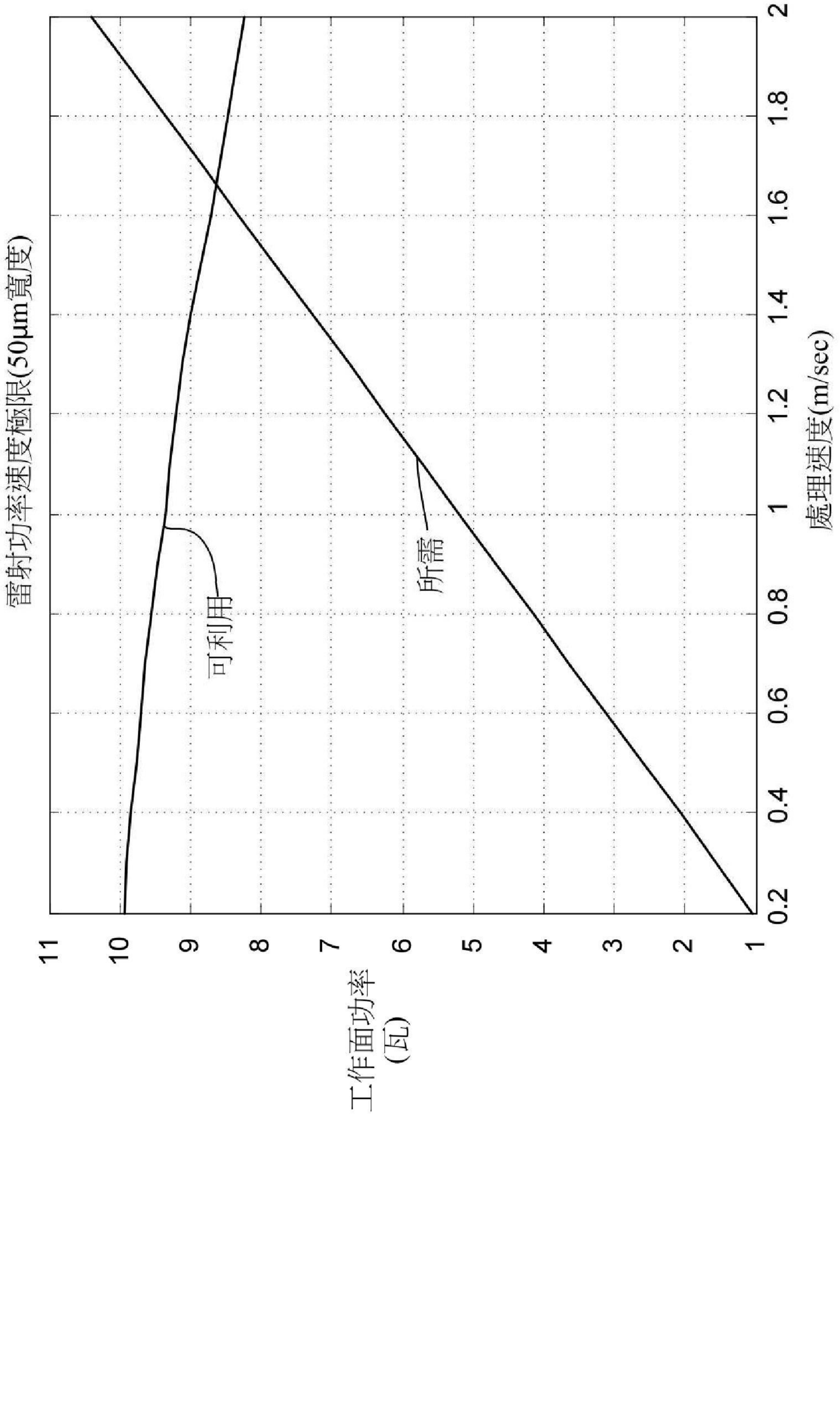

雷射功率速度極限(50μm寬度)
可利用
所需
處理速度(m/sec)
工作面功率
(瓦)
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

圖 33

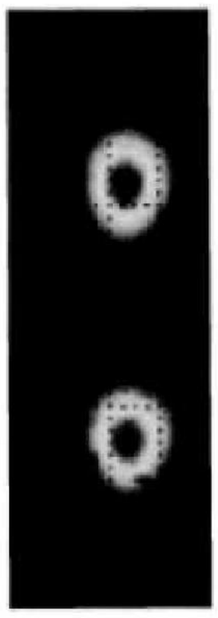
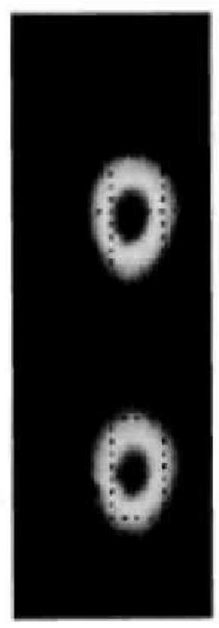
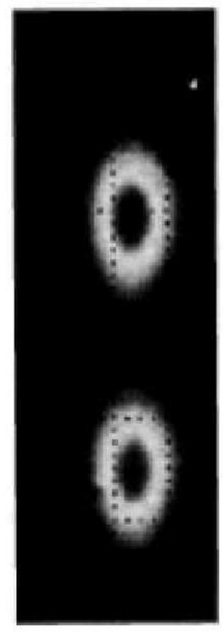


圖 34





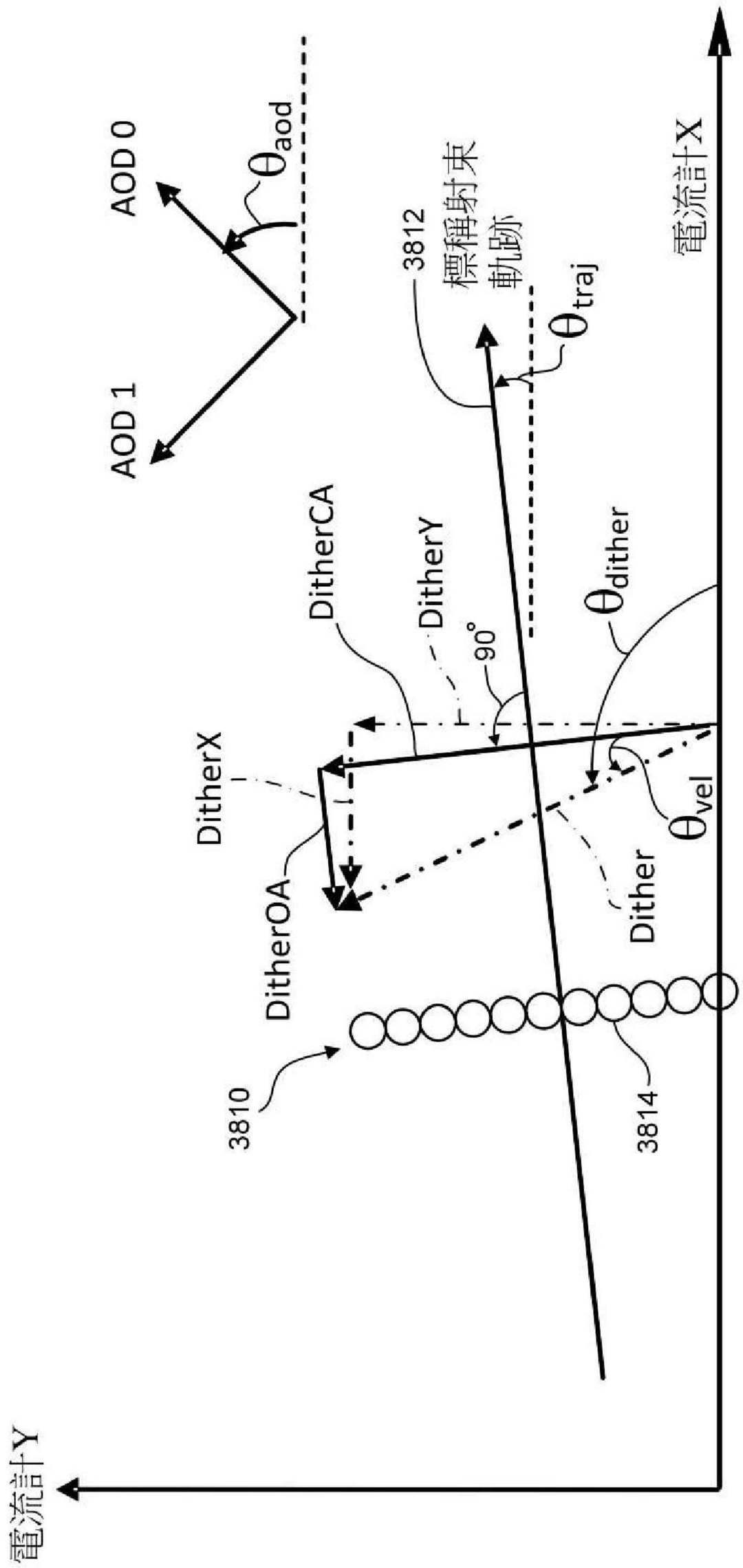

AOD 0
AOD 1
θaod
3812
標稱射束
軌跡
θtraj
電流計X
DitherCA
DitherY
90°
θdither
DitherX
DitherOA
Dither
θvel
3810
3814
電流計Y

圖 35

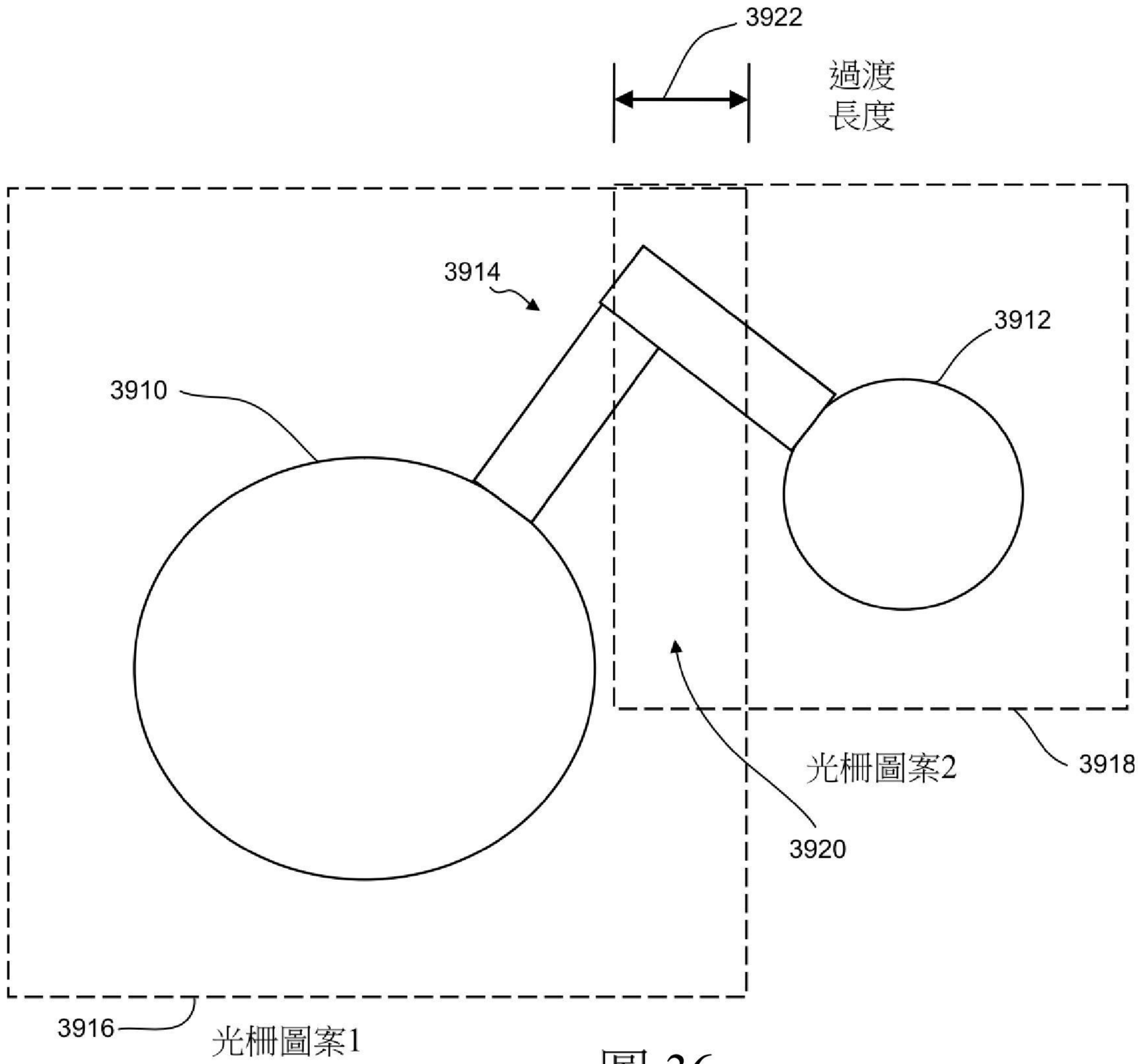


圖 36



圖 37

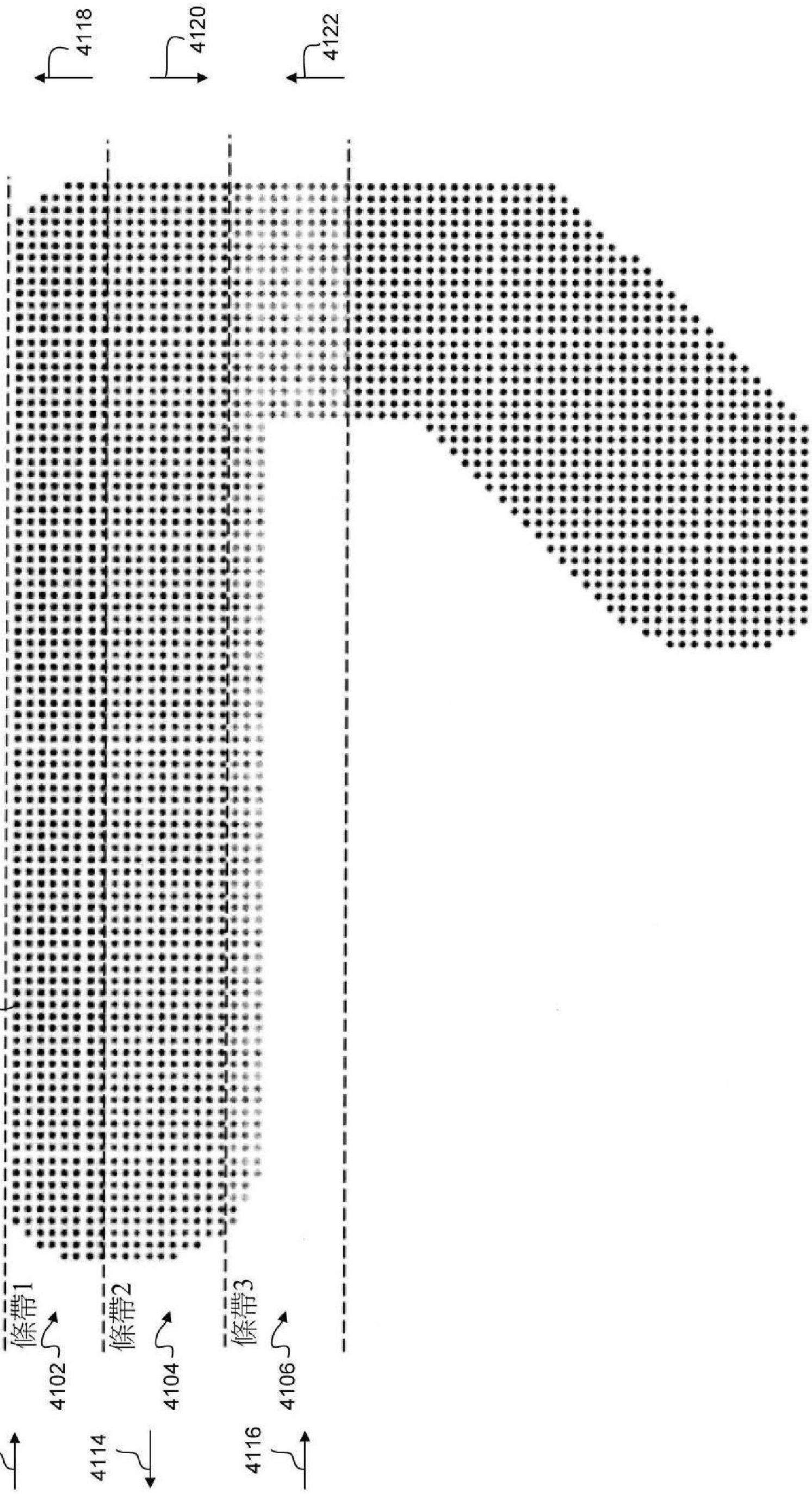

4100
4110
條帶1
條帶2
條帶3
4102
4104
4106
4112
4114
4116
4118
4120
4122

圖 38

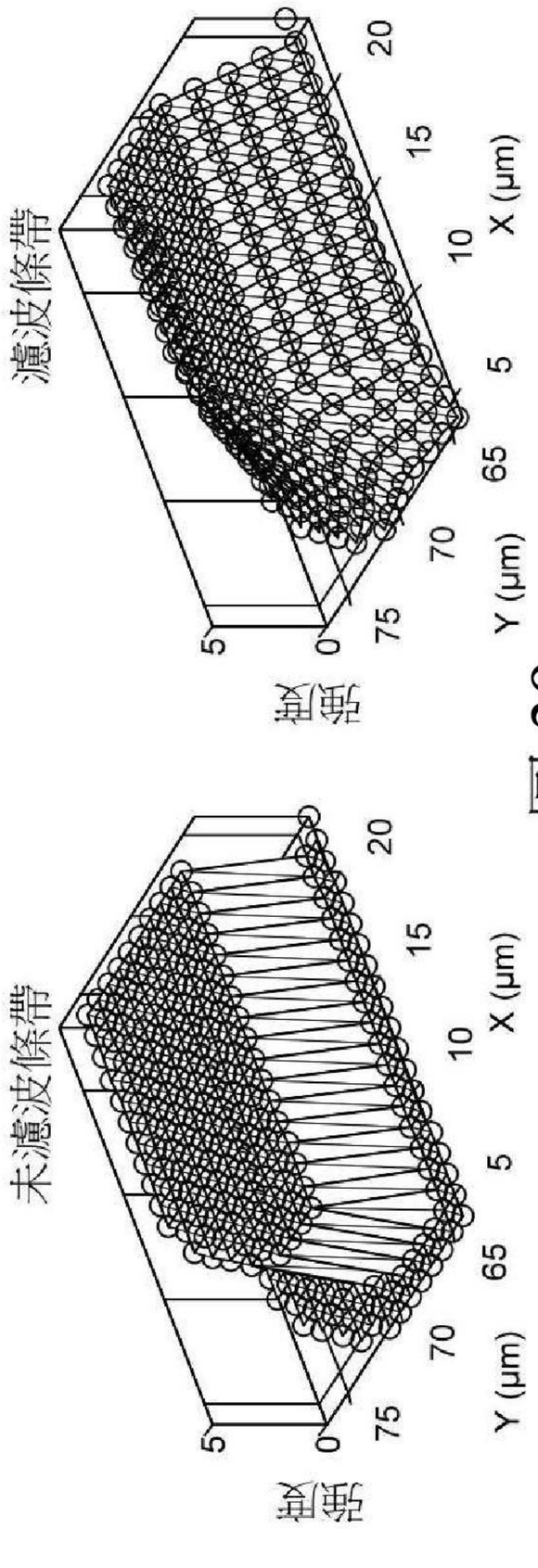

濾波條帶
強度
X (μm)
Y (μm)
未濾波條帶
強度
X (μm)
Y (μm)

圖 39

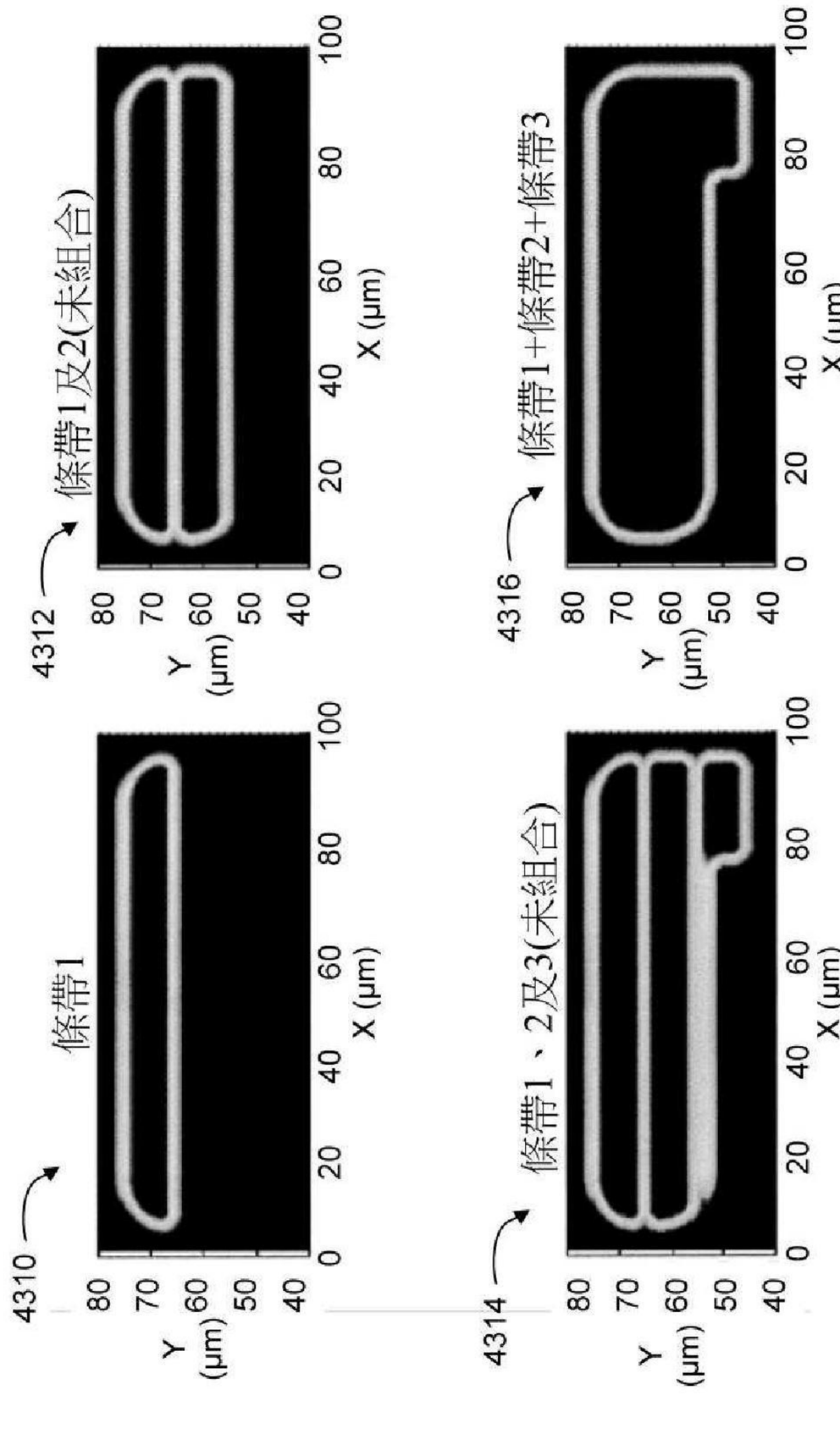

條帶1及2(未組合)
4312
Y (μm)
X (μm)
條帶1
4310
Y (μm)
X (μm)
條帶1+條帶2+條帶3
4316
Y (μm)
X (μm)
條帶1、2及3(未組合)
4314
Y (μm)
X (μm)

圖 40

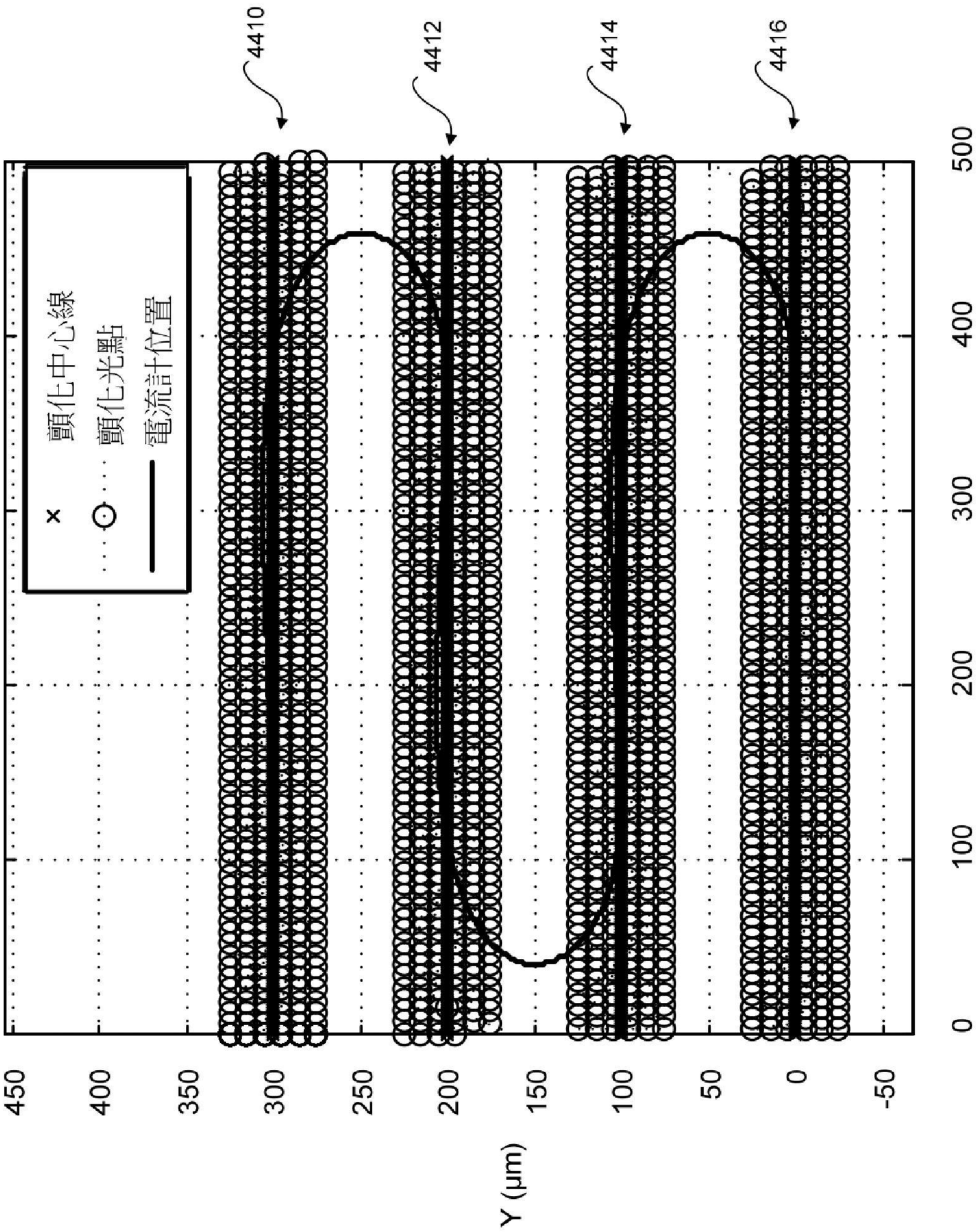

4410
4412
4414
4416
顫化中心線
顫化光點
電流計位置
X (μm)
Y (μm)
0
100
200
300
400
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50

圖 41

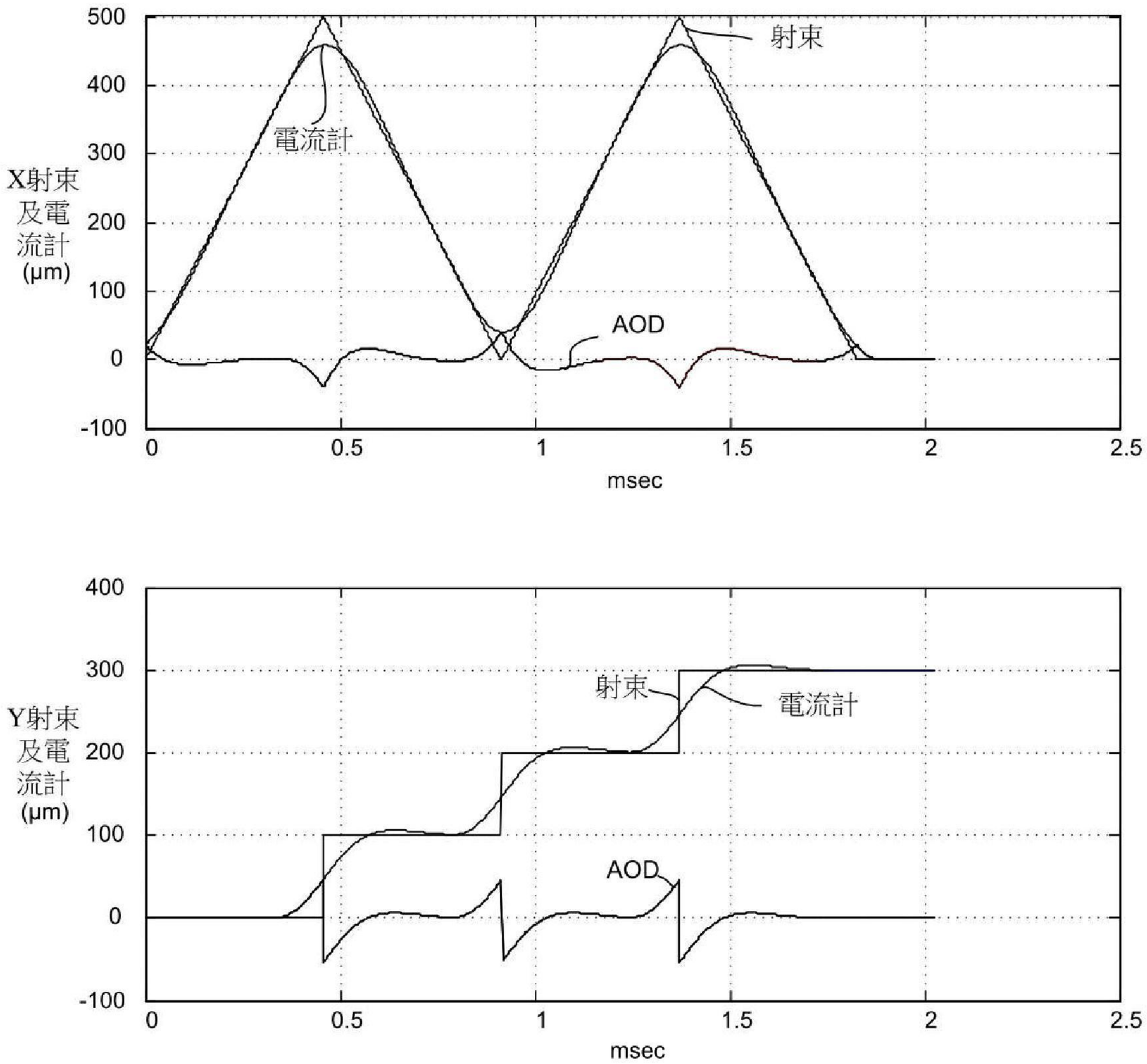

500
400
300
200
100
0
-100
X射束及電流計(μm)
射束
電流計
AOD
0
0.5
1
1.5
2
2.5
msec
400
300
200
100
0
-100
Y射束及電流計(μm)
射束
電流計
AOD
0
0.5
1
1.5
2
2.5
msec

圖 42

109年6月22修正替換頁

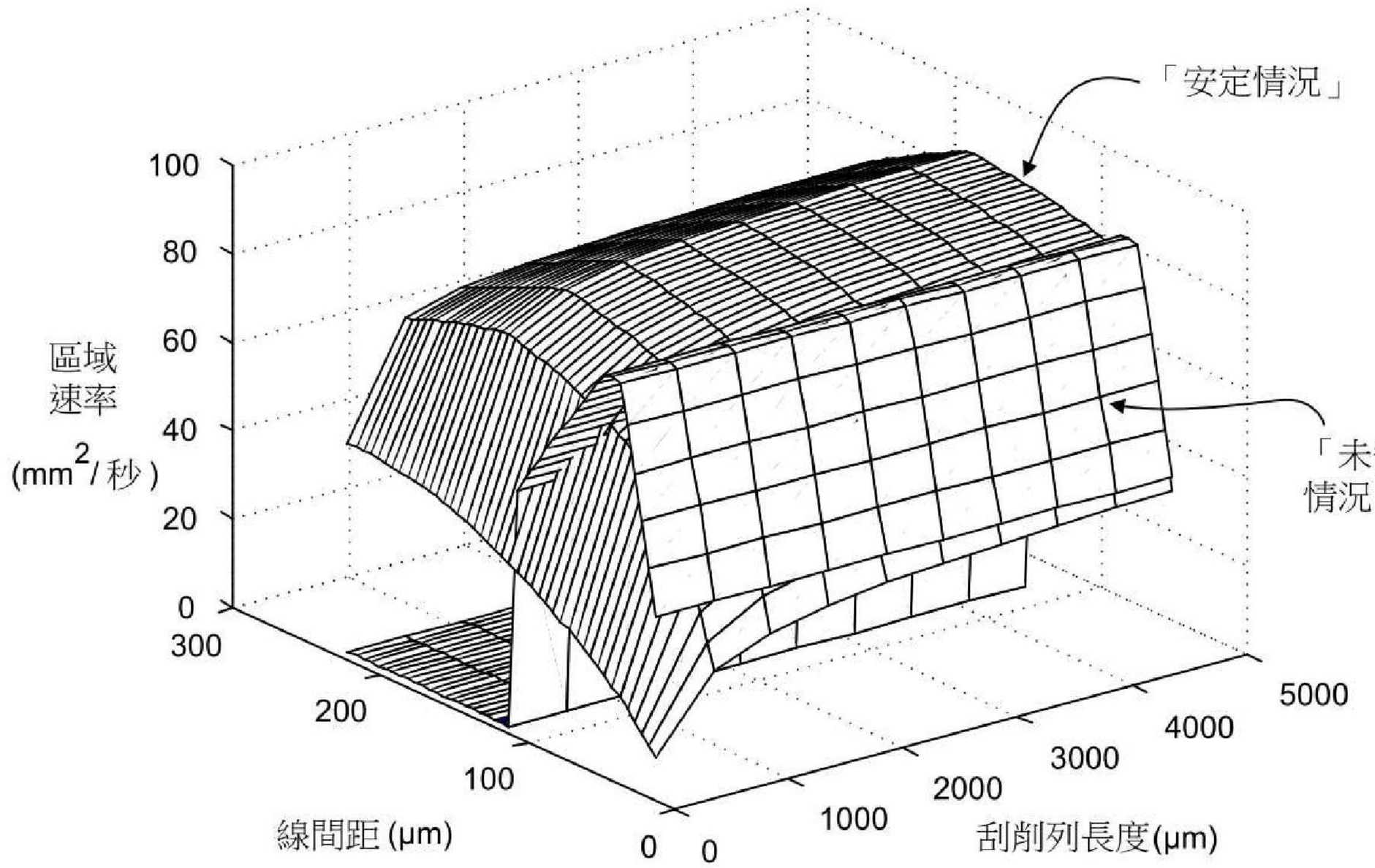


圖 43

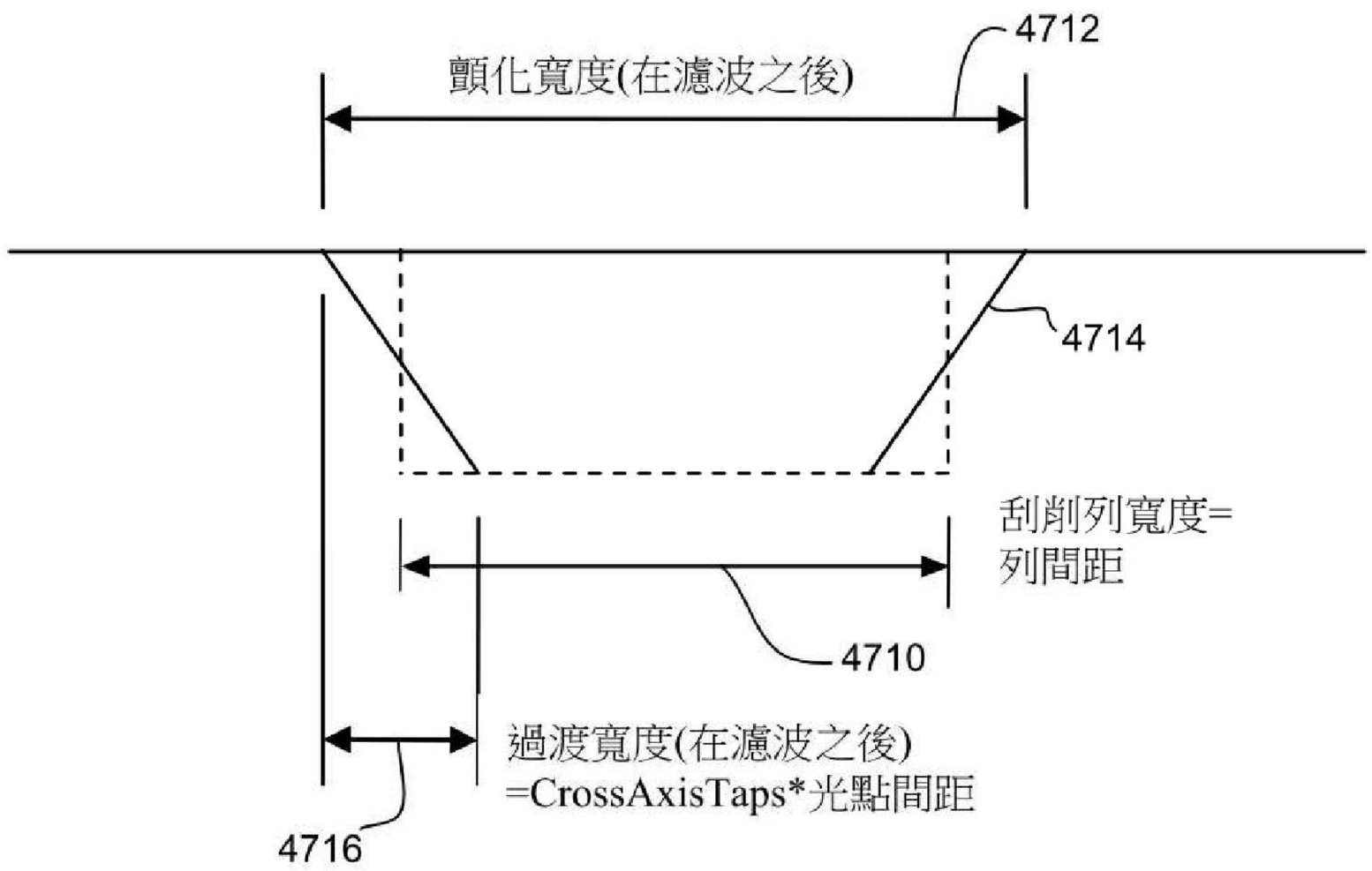


圖 44

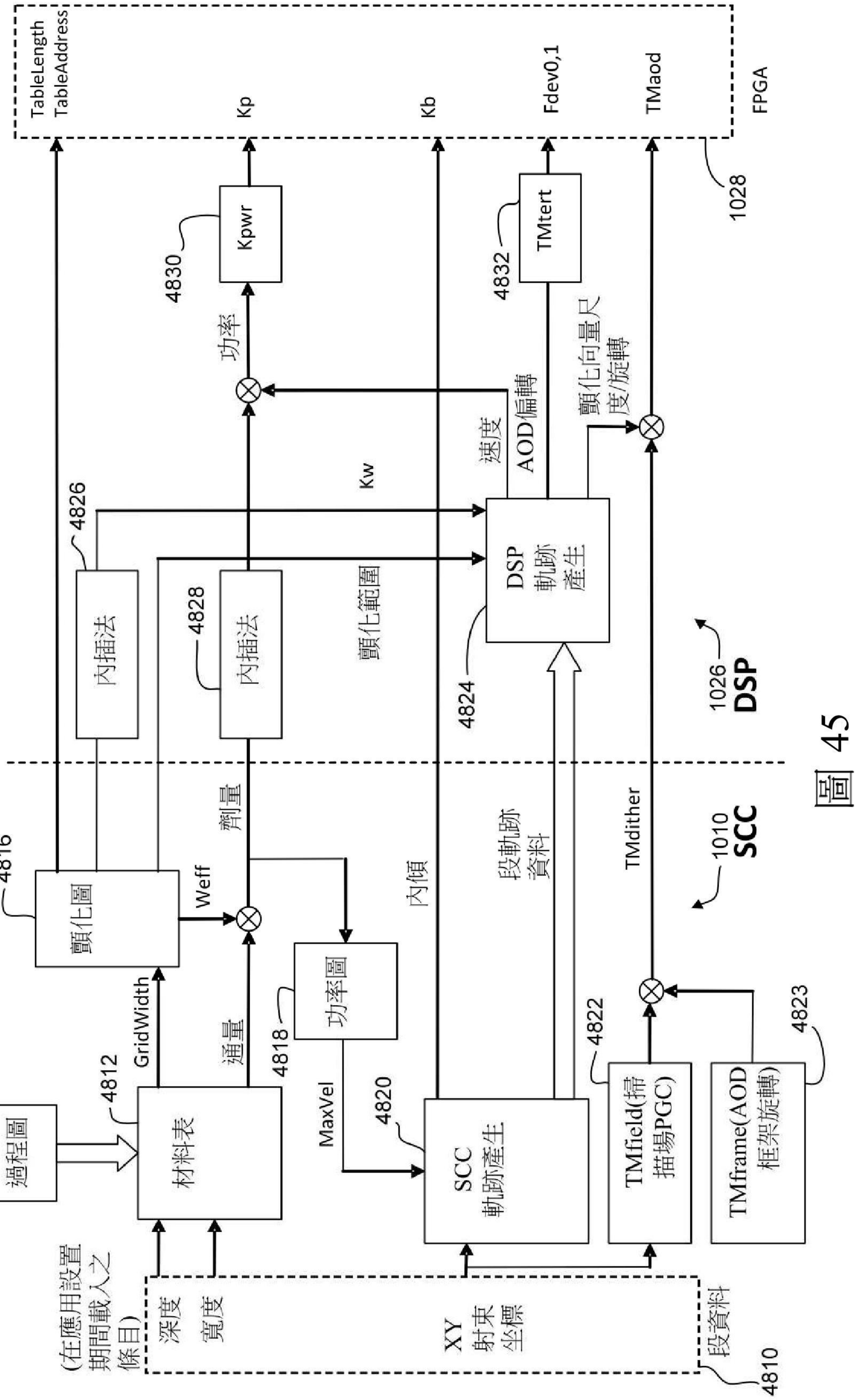

TableLength
TableAddress
Kp
Kb
Fdev0,1
TMaod
FPGA
1028
Kpwr
4830
TMtert
4832
功率
速度
AOD偏轉
顫化向量尺
度/旋轉
Kw
顫化範圍
4826
內插法
4828
內插法
4824
DSP
軌跡
產生
1026
DSP
顫化圖
4816
Weff
劑量
GridWidth
通量
4818
功率圖
MaxVel
4820
內傾
段軌跡
資料
TMdither
1010
SCC
過程圖
4814
材料表
4812
SCC
軌跡產生
4822
TMfield(掃
描場PGC)
TMframe(AOD
框架旋轉)
4823
(在應用設置
期間載入之
條目)
深度
寬度
XY
射束
坐標
段資料
4810

圖 45

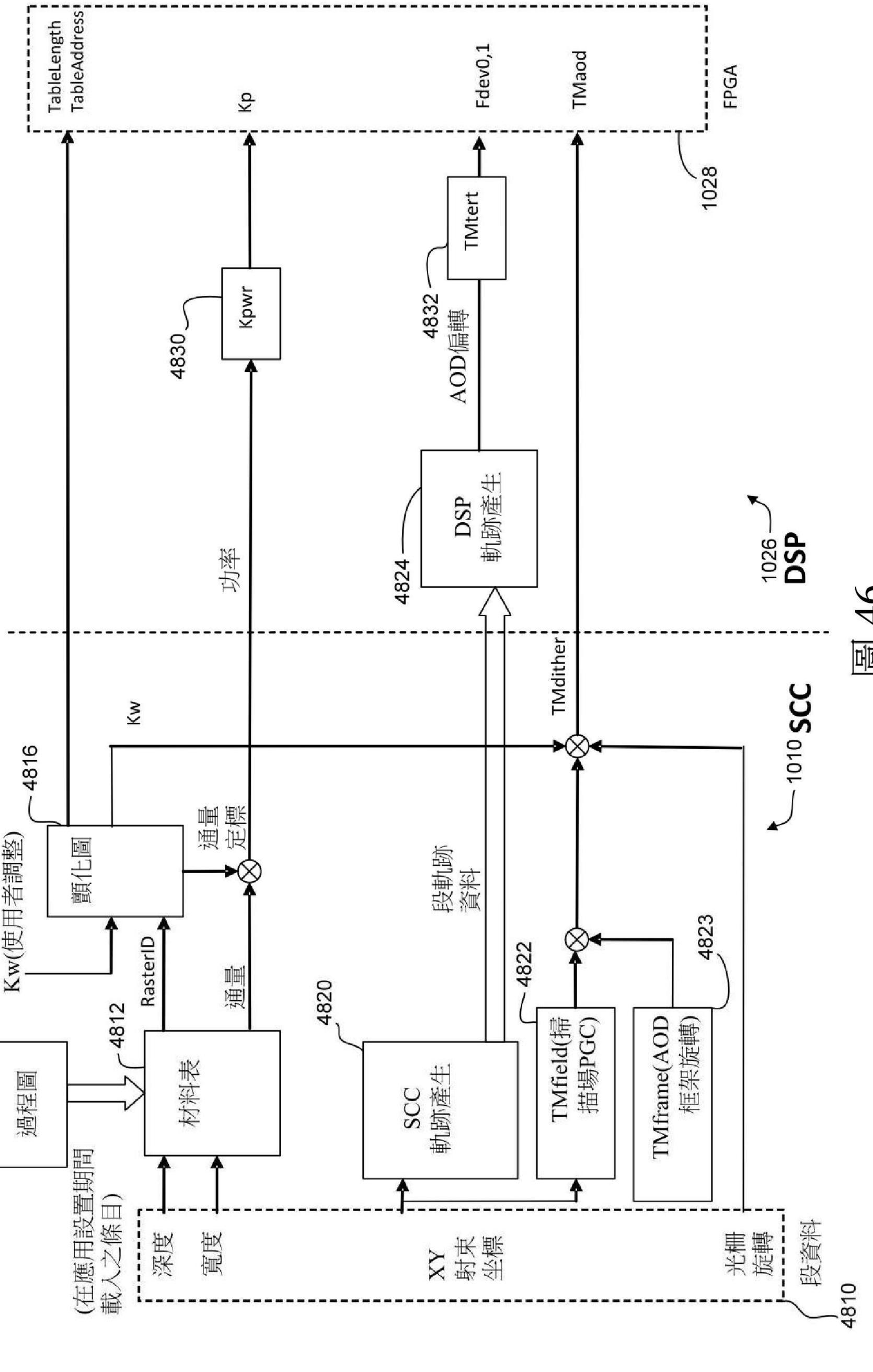

TableLength
TableAddress
Kp
Fdev0,1
TMaod
FPGA
1028
4830
Kpwr
4832
TMtert
AOD偏轉
4824
DSP
軌跡產生
功率
1026
DSP
Kw
TMdither
4816
顫化圖
Kw(使用者調整)
通量
定標
4814
過程圖
4812
材料表
RasterID
通量
4820
SCC
軌跡產生
段軌跡
資料
4822
TMfield(掃
描場PGC)
4823
TMframe(AOD
框架旋轉)
1010 SCC
(在應用設置期間
載入之條目)
深度
寬度
XY
射束
坐標
光柵
旋轉
段資料
4810

圖 46

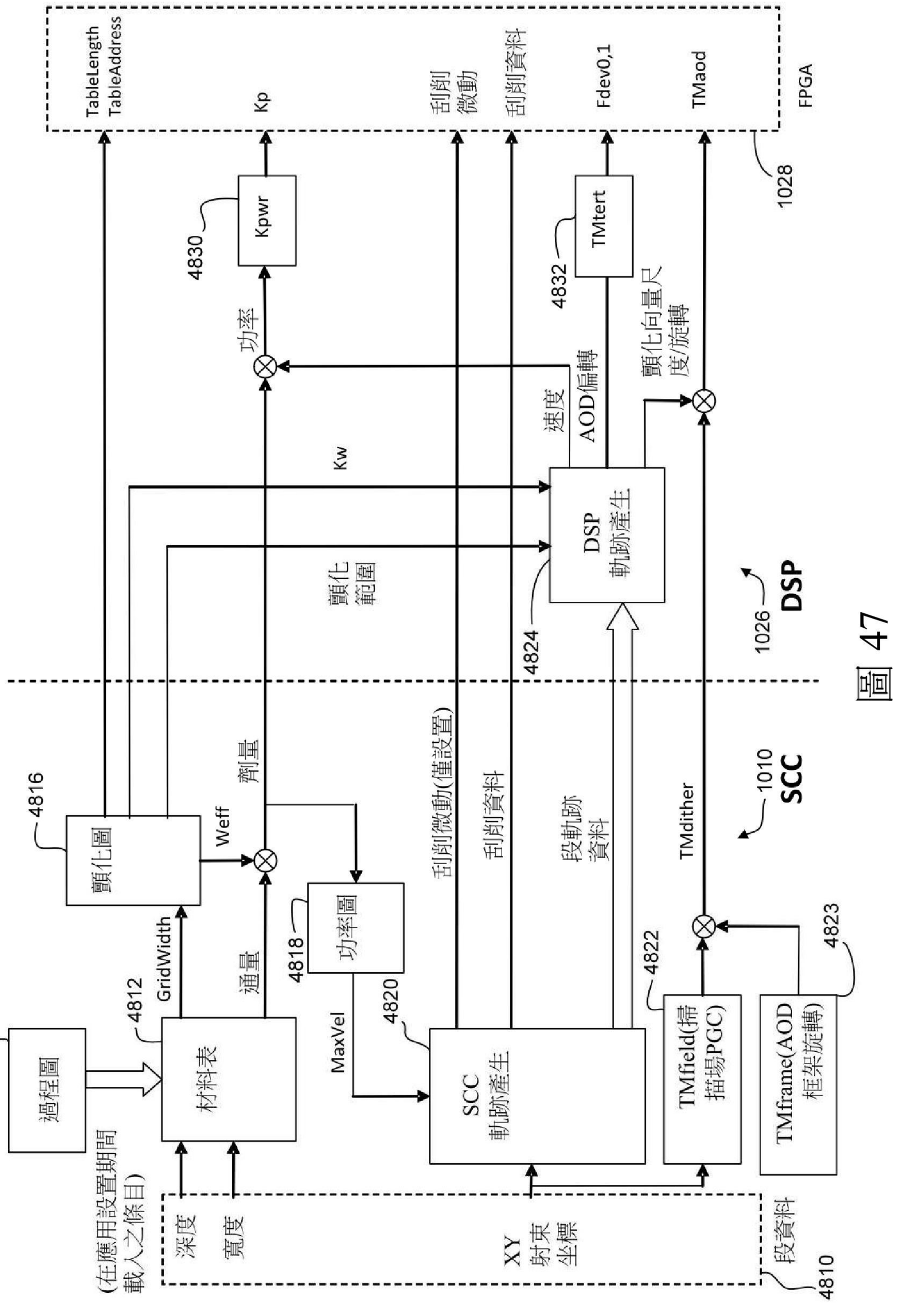

TableLength
TableAddress
Kp
刮削
微動
刮削資料
Fdev0,1
TMaod
FPGA
1028
4830
Kpwr
功率
Kw
速度
AOD偏轉
4832
TMtert
顫化向量尺
度/旋轉
顫化
範圍
4824
DSP
軌跡產生
1026
DSP
(在應用設置期間
載入之條目)
4816
顫化圖
Weff
劑量
4814
過程圖
4812
GridWidth
材料表
通量
4818
功率圖
MaxVel
4820
刮削微動(僅設置)
刮削資料
段軌跡
資料
TMdither
1010
SCC
SCC
軌跡產生
4822
TMfield(掃
描場PGC)
TMframe(AOD
框架旋轉)
4823
深度
寬度
XY
射束
坐標
段資料
4810

圖 47

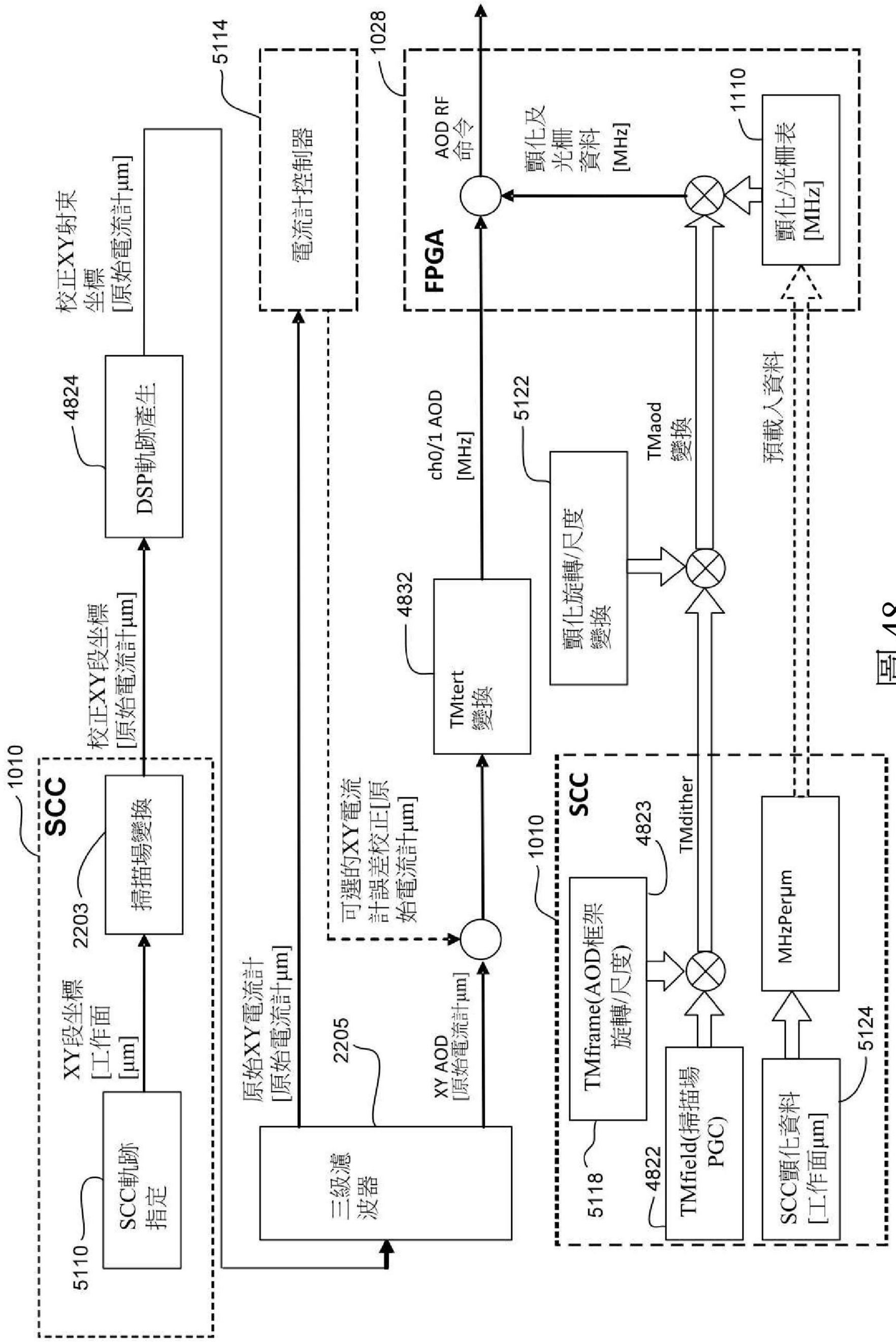

1010
SCC
5110
SCC軌跡指定
XY段坐標[工作面[μm]
2203
掃描場變換
校正XY段坐標[原始電流計μm]
4824
DSP軌跡產生
校正XY射束坐標[原始電流計μm]
5114
電流計控制器
1028
FPGA
AOD RF命令
顫化及光柵資料[MHz]
1110
顫化/光柵表[MHz]
原始XY電流計[原始電流計μm]
2205
三級濾波器
XY AOD[原始電流計μm]
可選的XY電流計誤差校正[原始電流計μm]
4832
TMtert變換
ch0/1 AOD[MHz]
5122
顫化旋轉/尺度變換
TMaod變換
預載入資料
1010
SCC
5118
TMframe(AOD框架旋轉/尺度)
4822
TMfield(掃描場PGC)
4823
TMdither
MHzPerμm
SCC顫化資料[工作面μm]
5124

圖 48

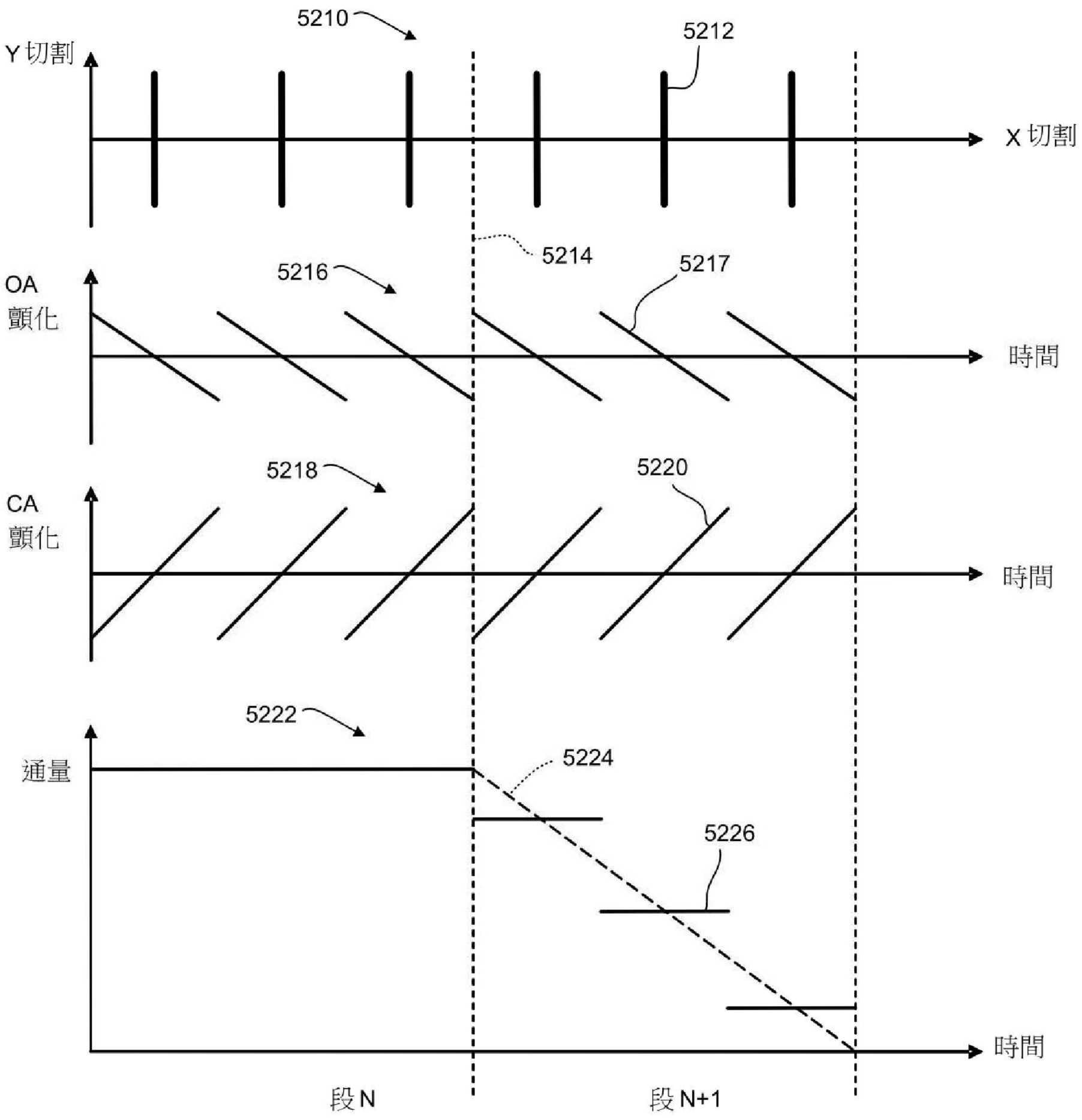

5210
5212
Y 切割
X 切割
5214
5216
5217
OA
顫化
時間
5218
5220
CA
顫化
時間
5222
5224
5226
通量
時間
段 N
段 N+1

圖 49

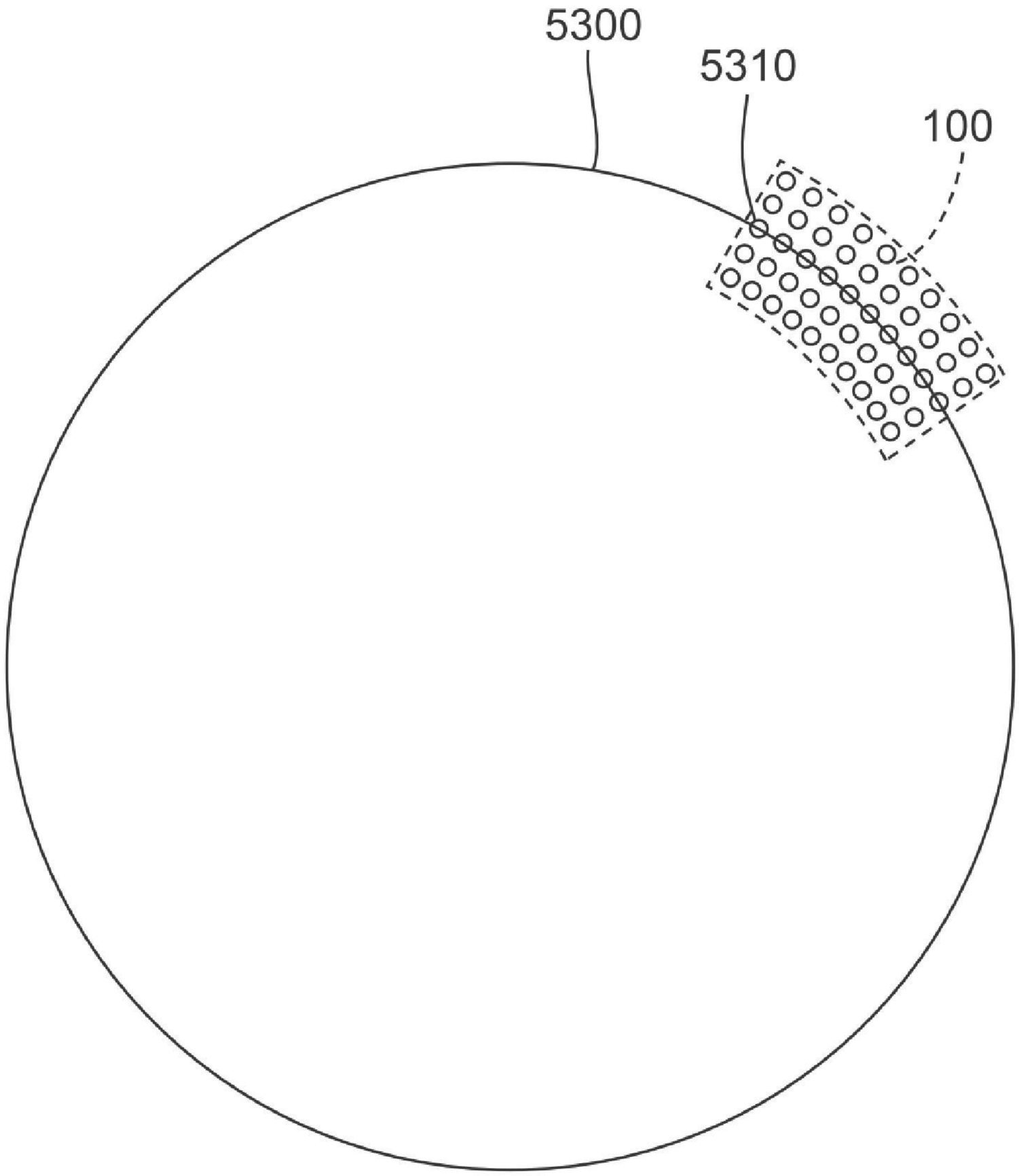


圖 50

109年6月22修正替換頁

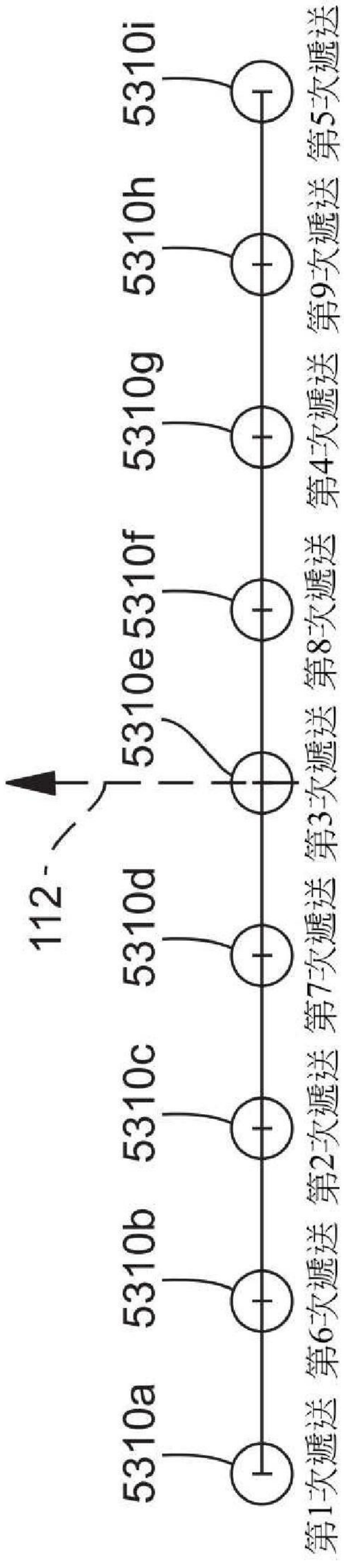


圖 51

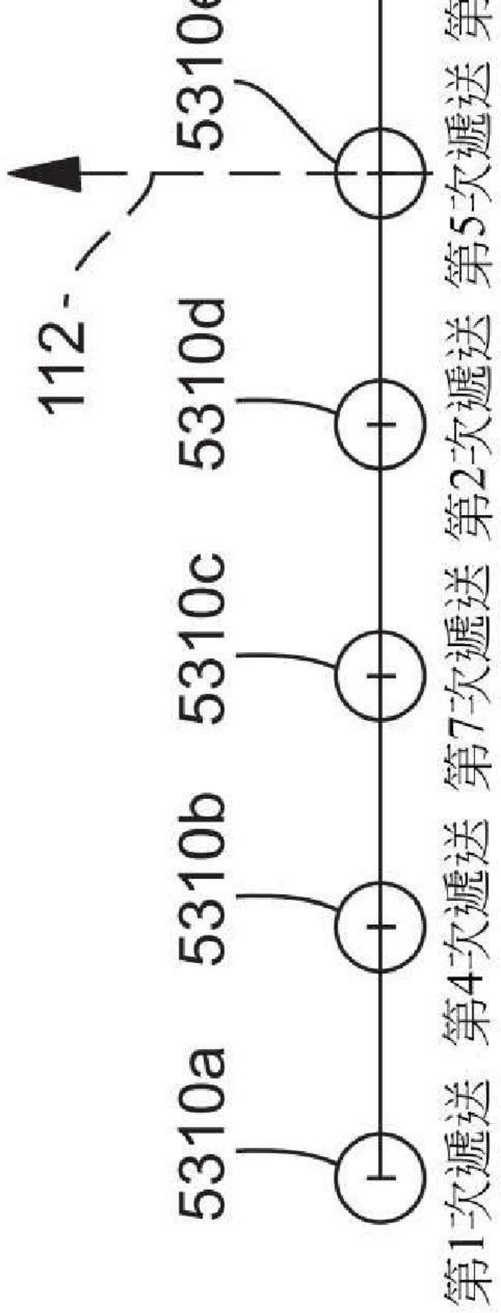


圖 52

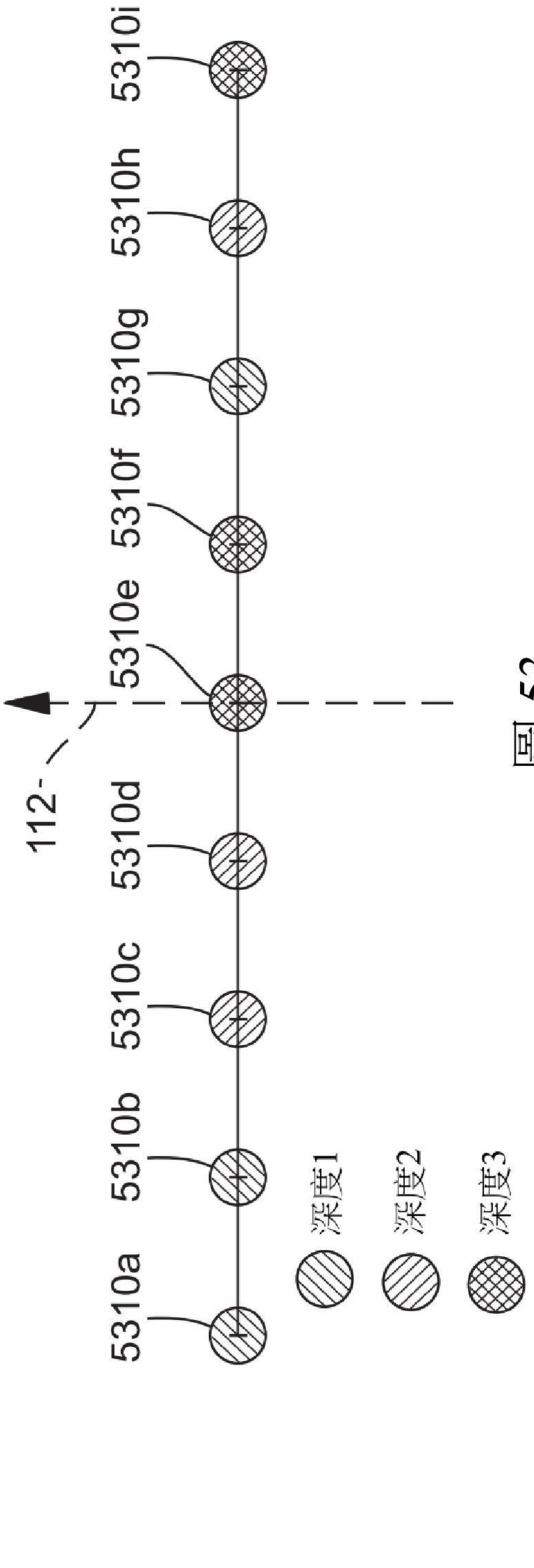

5310i
5310h
5310g
5310f
5310e
5310d
5310c
5310b
5310a
112-
深度1
深度2
深度3

圖 53

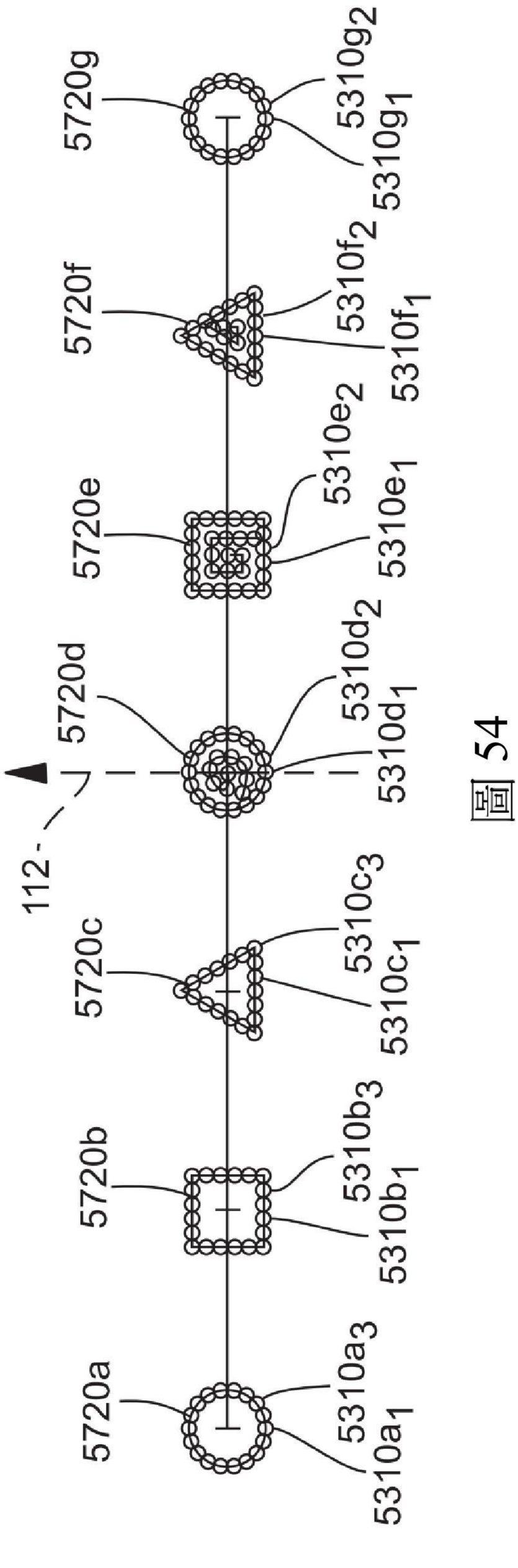

5720g
5310g2
5310g1
5720f
5310f2
5310f1
5720e
5310e2
5310e1
5720d
5310d2
5310d1
5720c
5310c3
5310c1
5720b
5310b3
5310b1
5720a
5310a3
5310a1
112-

圖 54