



(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 I483296 B

(45) 公告日：中華民國 104 (2015) 年 05 月 01 日

(21) 申請案號：101129006 (22) 申請日：中華民國 101 (2012) 年 08 月 10 日
 (51) Int. Cl. : **H01L21/268 (2006.01)** **B23K26/00 (2014.01)**
 (30) 優先權：2011/08/10 美國 US 13/136,769
 (71) 申請人：精微超科技公司 (美國) ULTRATECH, INC. (US)
 美國
 (72) 發明人：阿尼契科夫 塞爾瑰 ANIKITCHEV, SERGUEI (US)；馬克懷特 詹姆士
 MCWHIRTER, JAMES T. (US)；高提克 喬瑟夫 GORTYCH, JOSEPH E. (US)
 (74) 代理人：李文賢
 (56) 參考文獻：
 US 7744274B1 US 2009/0101839A1
 審查人員：閻濟民
 申請專利範圍項數：18 項 圖式數：16 共 58 頁

(54) 名稱

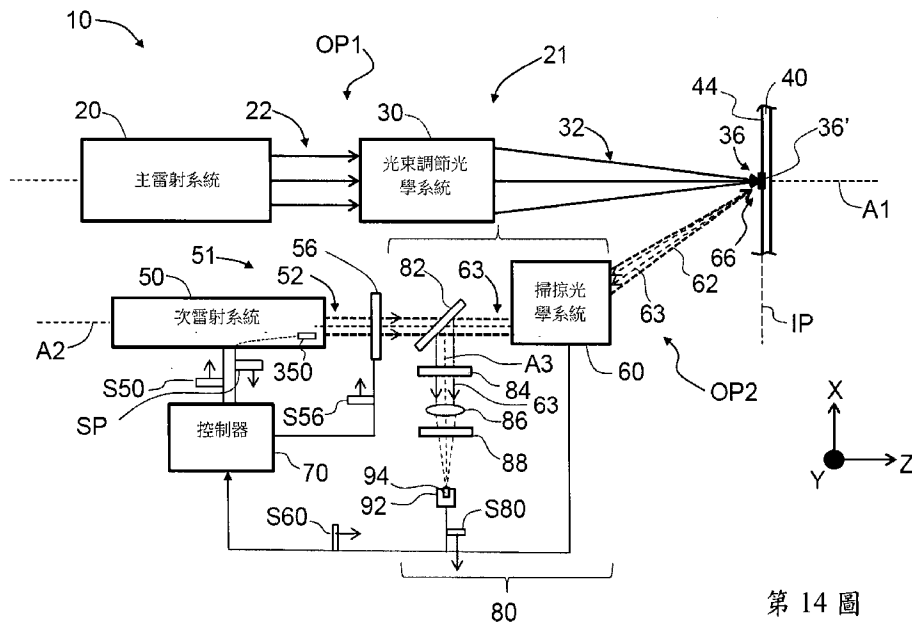
形成時間平均線影像之系統及方法

SYSTEMS AND METHODS FOR FORMING A TIME-AVERAGED LINE IMAGE

(57) 摘要

本發明係一種時間平均線影像的形成系統及形成方法。本方法包含形成具有第一強度非均勻量之線影像。本方法也包含在至少線影像之一部份上形成及掃掠次影像，以形成時間平均修正線影像。所述時間平均修正線影像具有小於第一強度非均勻量之第二強度非均勻量。晶圓發射率係即時地被量測以控制次影像的強度。溫度也根據晶圓發射率與次影像的反射率即時地被量測，且可用來控制次影像的強度。

Systems and methods for forming a time-average line image are disclosed. The method includes forming a line image with a first amount of intensity non-uniformity. The method also includes forming and scanning a secondary image over at least a portion of the line image to form a time-averaged modified line image having a second amount of intensity non-uniformity that is less than the first amount. Wafer emissivity is measured in real time to control the intensity of the secondary image. Temperature is also measured in real time based on the wafer emissivity and reflectivity of the secondary image, and can be used to control the intensity of the secondary image.



第 14 圖

- 10 . . . 系統
- 20 . . . 主雷射系統
- 22 . . . 主雷射光束
- 22' . . . 主雷射光束的一部分
- 30、30' . . . 光束調節光學系統
- 32 . . . 線影像形成光束(主光束)
- 350 . . . 功率偵測器
- 36 . . . 線影像(主影像)
- 36' . . . 修正線影像
- 40 . . . 工作件
- 44 . . . 表面
- 50 . . . 次雷射系統
- 51 . . . 次光學系統
- 52 . . . 次雷射光
- 56 . . . 可變衰減器
- 60 . . . 掃掠光學系統
- 62 . . . 掃掠雷射光束(次光束)
- 63 . . . 輻射光
- 66 . . . 次影像
- 70 . . . 控制器
- 80 . . . 熱輻射偵測系統
- 82 . . . 分光鏡
- 84 . . . 偏光器
- 86 . . . 聚焦鏡頭
- 88 . . . 帶通濾波器
- 92 . . . 光學偵測器
- 94 . . . 光學偵測元件
- A1 . . . 光軸
- A2 . . . 光軸

A3 . . . 光軸

BS . . . 分光器

IP . . . 影像平面

OP1 . . . 光學路徑

OP2 . . . 光學路徑

S50 . . . 控制訊號

S56 . . . 控制訊號

S60 . . . 控制訊號

S80 . . . 電子訊號

發明專利說明書

公告本

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：101129006

※申請日：101.8.10

※IPC 分類：H01L 21/68 (2006.01)

B23K 26/00 (2014.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

形成時間平均線影像之系統及方法/Systems and Methods for Forming a Time-averaged Line Image

二、中文發明摘要：

本發明係一種時間平均線影像的形成系統及形成方法。本方法包含形成具有第一強度非均勻量之線影像。本方法也包含在至少線影像之一部份上形成及掃掠次影像，以形成時間平均修正線影像。所述時間平均修正線影像具有小於第一強度非均勻量之第二強度非均勻量。晶圓發射率係即時地被量測以控制次影像的強度。溫度也根據晶圓發射率與次影像的反射率即時地被量測，且可用來控制次影像的強度。

三、英文發明摘要：

Systems and methods for forming a time-average line image are disclosed. The method includes forming a line image with a first amount of intensity non-uniformity. The method also includes forming and scanning a secondary image over at least a portion of the line image to form a time-averaged modified line image having a second amount of intensity non-uniformity that is less than the first amount. Wafer emissivity is measured in real time to control the intensity of the secondary image. Temperature is also measured in real time based on the wafer emissivity and reflectivity of the secondary image, and can be used to control the intensity of the secondary image.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (14) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|--------|---------------|
| 10 | 系統 |
| 20 | 主雷射系統 |
| 22 | 主雷射光束 |
| 22' | 主雷射光束的一部分 |
| 30、30' | 光束調節光學系統 |
| 32 | 線影像形成光束 (主光束) |
| 350 | 功率偵測器 |
| 36 | 線影像 (主影像) |
| 36' | 修正線影像 |
| 40 | 工作件 |
| 44 | 表面 |
| 50 | 次雷射系統 |
| 51 | 次光學系統 |
| 52 | 次雷射光 |
| 56 | 可變衰減器 |
| 60 | 掃掠光學系統 |
| 62 | 掃掠雷射光束 (次光束) |
| 63 | 輻射光 |
| 66 | 次影像 |
| 70 | 控制器 |

80	熱輻射偵測系統
82	分光鏡
84	偏光器
86	聚焦鏡頭
88	帶通濾波器
92	光學偵測器
94	光學偵測元件
A1	光軸
A2	光軸
A3	光軸
BS	分光器
IP	影像平面
OP1	光學路徑
OP2	光學路徑
S50	控制訊號
S56	控制訊號
S60	控制訊號
S80	電子訊號

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：
無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係一種線影像 (line image) 的應用，特別是一種形成具有相對高強度均勻性之時間平均線影像的系統及方法。

【先前技術】

許多場合必須使用具有相對高均勻強度之線影像。其中一種應用領域是雷射熱處理 (laser thermal processing, LTP)，也稱作雷射尖峰退火 (laser spike annealing, LSA)，或簡稱為雷射退火 (laser annealing)。雷射退火於半導體製造領域有多種應用，包含在形成主動微電路，例如電晶體時，其可用以活化形成於晶圓上之裝置 (結構) 之選擇區域中的摻雜物。

一種雷射退火的形式係使用發自光束的掃掠線影像來加熱晶圓的表面至一溫度 (退火溫度) 並持續一時間，該時間長到足以活化半導體結構中的摻雜物 (例如，源極區和汲極區)，同時也短到足以避免實質上的摻雜物擴散。晶圓表面處於退火溫度下的時間係取決於線影像的功率密度以及取決於線影像寬度與線影像掃掠速度的比值 (掃掠速率)。

為了達到商業用雷射退火系統所具有的高晶圓生產率，線影像必須盡可能地長且具有高功率密度。在一範例中，可用的線影像長度係在 5 mm 至 100 mm 之間 (相交於掃掠方向的方向)，線影像寬度係在 25 微米至 500 微米之間 (掃掠方向)。為了達到均勻的退火，沿著線影像寬度的強度分布也必須盡可能地均勻，儘管沿著線影像寬度的不均勻性往往會在掃掠過程中達到一個平均數。

典型的半導體製程要求退火溫度在 1000 °C 至 1300 °C 之間時，必須具有 ± 3 °C 之溫度均勻性。為了達到此溫度均勻性等級，退火光束所形成的線影像必須在相交於掃掠方向之方向上具有相當均勻的強度，也就是說在大多數的情況下必須少於 $\pm 5\%$ 強度變異。

對於雷射退火應用領域而言，CO₂ 雷射是一種較佳的光源，因為它的波長（10.6 微米）遠長於大多數晶圓上之裝置的外觀尺寸。這一點是重要的，因為使用與裝置外觀尺寸同一維度的波長會導致在曝光時產生圖案相依（pattern-related）的變異。因此，當晶圓受到 10.6 微米波長的光照射時，來自裝置外觀所導致的光散射（light scattering）現象最輕微，而得到較均勻的曝光。此外，CO₂ 雷射可發射出相當高強度的光束。然而，CO₂ 雷射的同調長度（coherence length）相當長，典型的情況可達數公尺。這使得它不適合用二元光學處理方法來產生具有所需強度均勻度等級的線影像，意即依據柯勒照明原理之均勻度大約為 10%（大約 $\pm 5\%$ ）。

【發明內容】

本發明係涉及形成時間平均（time-averaged）線影像的系統與方法，其係透過在以一雷射為基礎的熱退火製程中之製程位置保持製程溫度控制的方式。所述系統與方法係藉由在雷射退火過程中，至少部分地補償用於晶圓表面之輻射率變異之溫度量測，而實質上減少或消除晶圓表面之線影像之熱曲線之系統的或隨機的非均勻性。

本發明之一概念係一種線影像形成光學系統，用以對具有一表面之一半導體晶圓執行熱退火。所述系統包含一主光學系統，用以在一晶圓之一表面形成一線影像。線影像具有一長軸以及沿著長軸之一第一強度非均勻量。所述系統也包含次雷射系統，用以產生具有次雷射光波長與次雷射光強度之次雷射光。所述系統更包含掃掠光學系統，其具有一第一視野且用以接收次雷射光與在晶圓表面上形成次影像。次影像至少部分地與線影像重疊，且在至少一部份之線影像上掃掠以形成時間平均修正線影像。所述時間平均修正線影像具有一第二強度非均勻量，其小於第一強度非均勻量。所述系統包含一熱輻射偵測系統，用以偵測穿過掃掠光學系統且穿過大致相同於第一視野之第二視野之來自晶圓表面之一熱輻射光。熱輻射偵測系統係用以產生對應於所偵測之熱輻射光之一電子訊號。所述系統也包含一控制器，用以接收來自熱輻射偵測系統之電子訊號，且對應地調整次雷射光強度與次雷射光之掃掠速度二者之至少其中一者。

本發明之另一概念係於一半導體晶圓之一表面形成一時間平均修正線影像之方法。所述方法包含在影像平面上形成一線影像，所述線影像在長軸方向具有一第一強度非均勻量。所述方法也包含，當量測來自於與被掃掠之次影像結合之該晶圓之表面之一部分之一輻射率時，於該線影像之至少一部份沿長軸方向掃掠且形成該次影像。所述方法更包含根據所量測之輻射率調整一掃掠速度與一次影像強度之其中一者，以形成一修

正線影像，所述修正線影像在長軸方向上具有低於所述第一強度非均勻量之一第二強度非均勻量。

本發明之另一概念係於一半導體晶圓之一表面形成一時間平均修正線影像之方法。所述方法包含於一影像平面上形成一線影像，所述線影像在長軸方向上具有一第一強度非均勻量。所述方法也包含形成至少部分重疊於所述線影像之次影像。所述方法也包含當量測來自於與被掃掠之次影像結合之該晶圓之表面之一部分之一輻射率與一反射率時，於長軸方向對至少一部份之主影像掃掠次影像。所述方法更包含根據所量測之反射率與輻射率計算一晶圓表面溫度。所述方法還包含根據所計算之該晶圓表面溫度調整一掃掠速度與一次影像強度之其中一者。

本發明額外的特色和優點會進一步詳述如後，其係所屬技術領域中具有通常知識者根據以下詳細說明、申請專利範圍及所附圖式所能容易理解或者是藉由實施本說明書的技術內容而能得知。

雖然本發明的技術內容已經以較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神所作些許之更動與潤飾，皆應涵蓋於本發明的範疇內，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【實施方式】

茲以實施例和圖示說明本發明，在任何可能的情況下，所有圖式中相同或類似的標號和符號指的是相同或類似的元件。

在此“線影像”一詞通常指的是藉由在影像平面上的光束所形成之拉長的光強度分布，因此不需要如傳統觀念般必須有“物體”。例如，線影像可以透過使用光束調整光學原理來形成，其使前述的光束在影像平面上達成線對焦。

此外，「時間平均線影像」一詞在本說明書的定義是指強度乃藉由量測一段時間內之平均值而得的線影像。

線影像形成光學系統

第 1A 圖為根據使用本說明書所揭露之主雷射系統及次雷射系統所繪製之線影像形成光學系統（系統）10 之示意圖。圖中所示之卡氏（Cartesian）座標系統係做為參考之用。系統 10 包含一個主雷射系統 20，其可發射一道沿著軸 A1 且在 Z 軸方向傳播的初始主雷射光束 22。光束調節光學系統 30 係沿著軸 A1 而設置在主雷射系統 20 的下游。光束調節光學系統 30 係設置來接收初始主雷射光束 22 並且藉此形成線影像形成光束 32（下稱主光束），線影像形成光束 32 在位於 X-Y 平面上之影像平面 IP 上形成線影像 36（下稱主影像）。主雷射系統 20 以及光束調節光學系統 30 構成一例示的具有光學路徑 OP1 之主光學系統 21。

第 2 圖為形成在影像平面 IP 上的理想化線影像 36 的示意圖。理想化線影像 36 具有寬度為 W_{1X} 之「短軸」，以及長度為 L_{1Y} 之「長軸」。第 2 圖之理想化線影像 36 也描繪出（亦即表示）一理想的「平坦頂部」等強度線。

第 3A 圖與第 3B 圖為依據寬度 W_{1X} 大約 0.025 mm 及長度 L_{1Y} 大約 10 mm 之理想化線影像 36 所繪製之標準化強度對距

離 (mm) 的關係圖。第 2 圖可以把它想成一個理想化等強度線圖，其具有單一、明確定義之等強度線，且強度被標準化為 1。

再參照第 3A 圖，請注意圖中虛線所標示沿短軸方向具有單一極大值之一平滑曲線（例，高斯曲線或近似高斯曲線），其同樣也是適合理想影像 36 之一短軸強度曲線。

再參照第 1A 圖，光束調節光學系統 30 可包含鏡頭、鏡片、光圈、濾片、主動光學元件（例如可變衰減器等）以及上述的組合。例示的光學調節系統 30 係揭露於美國第 7514305、7494942、7399945 及 6366308 號等專利以及美國第 12/800,203 號專利申請案，上述均一併參照於本案之中。

在一實施例中，具有表面 44 之平面工作件 40 係設置於影像平面 IP，因此工作件表面係實質上平展於影像平面。在一範例中，工作件 40 包含半導體晶圓。在以下討論中，依照討論內容的文意，工作件 40 也被指為晶圓 40。

目前為止說明書中有關系統 10 的記載，僅描述了傳統線影像形成光學系統。然而，透過參照第 1A 圖，本發明所揭露的系統 10 進一步包含了次雷射系統 50，其可發射一道沿著軸 A2 且在 Z 軸方向傳播的初始次雷射光 52，因此初始次雷射光 52 平行於軸 A1。系統 10 也包含掃掠光學系統 60，其沿著軸 A2 設置於次雷射系統 50 的下游。在一實施例中，一可變衰減器 56 係設置在次雷射系統 50 與掃掠光學系統 60 之間。次雷射系統 50 以及掃掠光學系統 60 定義具有一次光學路徑 OP2 之一次光學系統 51。

系統 10 更包含控制器 70，其可操作地連接於次雷射系統 50、選擇性地連接於可變衰減器 56、以及連接於掃掠光學系統 60。此外，其用以協調所述系統（與選擇性的可變衰減器 56）的運作，並且選擇性地藉由電控制訊號 S50、S56（選擇性地）及 S60 來協調作為系統 10 一部分的可變衰減器 56，如下所述。

掃掠光學系統係設置來接收次雷射光 50 以藉以形成掃掠雷射光束 62（後稱次光束），其在影像平面 IP 上形成次影像 66。參照第 4 圖，掃掠光學系統 60 係設置以根據掃掠曲線而在線影像 36 之至少一部份上掃掠次影像 66。掃掠曲線在長軸方向（Y 軸）掃掠主影像，如 Y 方向箭頭 68 所示。次影像 66 一般係小於主影像 36（亦即具有較小區域），且當次影像為靜止時，其至少與主影像 36 部分重疊。

在第 4 圖所示之實施例中，次影像 66 完全重疊於主影像 36，亦即次影像落在線影像中。部分重疊的次影像將延伸超過主影像 36 的邊界。是以，次影像 66 被稱為「至少部分重疊」於主影像 36。在某些例子中，例如在第 4 圖中，次影像係完全重疊於主影像。因此，次影像與主影像的「完全重疊」，該詞句在此不應被解釋為次影像完全覆蓋主影像。在某些情況下，次影像 66 完全重疊於主影像 36 且良好地落入主影像 36 中，亦即次影像具有一寬度 W_{2X} 實質上小於主影像 36 在線影像短軸上的寬度 W_{1X} 。在一實施例中，主影像 36 與次影像 66 的尺寸係根據一選擇強度值（亦即強度門檻值）來定義。

根據一掃掠曲線以掃掠相對於主影像 36 之次影像 66 將在以下做更詳細的描述。次影像 66 可以是各種一般形狀，例如

線形、圓形、橢圓形、矩形、方形等，其將達到形成修正線影像 36' 的功效，如下所述。

第 1B 圖類似於第 1A 圖，為系統 10 之一實施例，其中初始次雷射光 52 係藉由轉移部份初始主雷射光束 22 一部分 22' 所形成。在一實施例中，其可藉由沿軸 A1 設置分光器 BS 來達成轉移主雷射光束 22 的一部分 22' 的目的。一摺疊鏡 FM 係選擇地用來導引雷射光束的一部分 22' 沿著軸 A2 傳播，以使雷射光束的一部分可作為初始次雷射光 52 之用。分光器 BS 及摺疊鏡 FM 構成一光束分離光學系統 74 之一實施例，其可導引初始主雷射光束 22 的一部分 22' 而形成初始次雷射光 52。其餘光束分離光學系統 74 的變化在此均一併做了考量，包含分光器 BS 可以藉由小鏡子（圖中未示）來取代，其可偏移一小部分的初始主雷射光束 22 至摺疊鏡 FM。於第 1B 圖所示之實施例中，系統 10 仍包含二個光學路徑 OP1 與 OP2，且次光學系統 51 包含主雷射系統 20 而沒有次光學雷射系統 50。

在一實施例中，雷射光束 2 的一部分 22' 係透過一選擇性的光束調節光學系統 30' 來處理，光束調節光學系統 30' 係設置來形成調節後次光束 52，其在它的截面方向具有比雷射光束的一部分 22' 還要均勻的強度。光束調節光學系統 30' 係類似於光束調節光學系統 30，其可包含鏡頭、鏡片、光圈、濾片、主動光學元件（例如可變衰減器等）及前述組合以形成適合的光束 52，俾供掃掠光學系統 60 形成適合的次光束 62 之用。在一實施例中，控制器 70 係電性連接於光束調節光學系統 30' 以藉由控制訊號 S30' 來控制任一主動光學元件。

線影像強度不均勻性

第 5 圖為先前技術之等強度線圖，其係藉由量測受到傳統線影像形成系統所形成之線影像照射之半導體晶圓的熱輻射而得。等強度線係根據標準化強度而得。短軸方向係被延長以強調短軸方向上的強度變化。

第 6A 圖與第 6B 圖係根據第 5 圖之等強度線圖所分別繪製在短軸方向以及長軸方向的線影像 36 之強度和距離的關係圖。

參照第 5 圖、第 6A 圖與第 6B 圖，長軸強度曲線顯示出在第 6B 圖中二平行虛線所指範圍中大約有 20% 的強度變化。線影像強度曲線在長軸方向包含強度變化，其可歸因於各種不同因素，例如繞射、光學色差、光學錯位或上述組合。動態色差及/或錯位典型地會造成強度不均勻，其係以一種係沿長軸方向之時變傾斜的形式呈現。此現象有時稱之為「光束擺動 (beam wobble)」。由於殘熱效應或靜態錯位，線影像 36 的強度曲線也會具有靜態的傾斜。

大量長軸方向的強度不均勻性 (例如 20%) 是不被接受的，因為在某些應用上，例如雷射退火，其中晶圓的退火製程是需要高均溫性的。

第 7A 圖係沿長度方向之強度具有相當高不均勻性之一實施例的線影像 36 之等強度線圖，同時也顯示出沿著線影像之長軸方向掃掠之一實施例的次影像 66。第 7B 圖係沿第 7A 圖中線影像之長軸方向之強度對距離的關係圖，其顯示了次影像

係沿著線影像之長軸方向掃掠，如箭頭 68 所指，此外也顯示了次影像強度（虛線 69）沿掃描曲線的變化。

系統 10 透過次影像 66 來針對線影像強度低的地方提供額外的（次要的）強度，以改善主雷射系統 20 及光束調節光學系統 30 所形成之線影像 36 的強度均勻性。這有效地填補了線影像 36 之不均勻處而形成修正線影像 36'，其係為線影像 36 與選擇性掃掠之次影像 66 的時間平均組合。

第 8A 圖係為修正線影像 36' 在長軸方向的強度對距離的關係圖，顯示出疊合之時間平均修正線影像強度曲線，其係根據掃掠曲線並沿著長軸方向掃掠次影像而得。此疊合之修正線影像 36' 具有趨近理想「平坦上部 (flap top)」強度曲線之時間平均強度曲線，如第 2、第 3A 與第 3B 圖所示。

第 8B 圖為對應於第 8A 圖中修正線影像 36' 之等強度線圖。相較於第 7A 圖之等強度線圖，第 8B 圖中之等強度線在長軸方向具有較佳的強度均勻性。

修正線影像 36' 係為時間平均的以達到所需強度均勻性等級，例如 $\pm 5\%$ 或者更佳。時間平均可於次影像 66 在主影像 36 之至少一部份上單次掃掠或多次掃掠時取得，或是在主影像之長度上單次掃掠時取得，抑或是在主影像上多次來回（亦即相反方向）時取得。

當系統 10 係用於雷射退火時，主雷射系統 20 可包含高功率二氧化碳雷射，次雷射系統 50 可包含低功率二氧化碳雷射。或者如前述第 1B 圖所討論，單一高功率二氧化碳雷射可用來形成主雷射光束 32 及次雷射光 62。

在一實施例中，次影像 66 係藉由掃掠光學系統 60 而沿著主影像 36 之長軸掃掠，次影像 66 的掃掠時間 t_s 係大約等同或短於主影像 36 的駐留時間 t_d 。在此，掃掠時間 t_s 係指次影像 66 掃過掃掠路徑所需的時間，駐留時間 t_d 係指線影像 36 保持在影像平面 IP 上某一給定位置（點）的總時間，或者是當在工作件 40 設置在影像平面上時，在工作件表面 44 上某一點的時間。

在線影像 36 相對於固定影像平面 IP 或設置在影像平面上之工作件 40 掃掠之例子中（例如，工作件係相對線影像移動），駐留時間 t_d 係指線影像覆蓋於影像平面或工作件上一給定點的全部時間。

藉由使用上述系統和方法，修正線影像 36' 的強度不均勻性可低於線影像 36。其可藉由以下方法達成：i) 保持次影像 66 於一實質固定功率並且選擇性地調整（意指加快及/或減慢次影像的掃掠速度），ii) 選擇性地改變次影像的功率並且以固定速率掃掠，或 iii) 組合上述 i) 和 ii) 之方法。

在次影像 66 的總強度必須可變的情況下，可調的衰減器 56 可以被使用並且被控制器 70 之控制訊號 S56 所控制。控制器 70 亦可透過控制訊號 50 來調整次雷射系統 50，其為另一可行方案，或者與上述組合。

在一實施例中，掃掠曲線可被設置以使得次影像僅會在線影像 36 的選擇部分上掃掠。意指，只針對那些需要額外強度的部分進行掃掠。其可透過在那些不需額外強度之線影像的選擇部分掃掠具有實質上「零強度」之次影像 66 來達成。

雷射退火的功率需求

用於雷射退火之傳統線影像的典型強度變化通常在 10% 到 20% 之間，(意即 $\pm 5\%$ 到 $\pm 10\%$)。線影像 36 中由於功率密度變化所導致的製程溫度變化可用一功率密度變化參數 $\mu(y)$ 來表示，其中 y 是線影像 36 的長軸尺寸。 $\mu(y)$ 在退火溫度 1,300 °C 時之一典型的值為 1% to 2%。線影像 36 的典型尺寸為長度 $L_{1Y} = 10 \text{ mm}$ 以及寬度 $W_{1X} = 0.1 \text{ mm}$ ，主雷射光束 22 功率 P 為 500 W。因此，一種功率密度實施例或線影像 36 相關之強度 I_1 (功率 P_1 除以 A_1) 為：

$$I_1 = P_1/A_1 = P/(L_{1Y} \cdot W_{1X}) = (500\text{W})/([10 \text{ mm}] \cdot [0.1\text{mm}]) = 500 \text{ W/mm}^2$$

能量密度係為 $E = I_1 \cdot t_d$ ，其中 t_d 為主光束的駐留時間。能量密度的變化為：

$$\Delta E = \mu \cdot I_1 \cdot t_d$$

次雷射系統 50 必須提供次影像 66 具有足以補償主影像 36 中能量密度變異之能量密度 ΔE 。

在一實施例中，次影像 66 的寬度 W_{1X} 實質上與線影像 36 的寬度 W_{2X} 一樣，亦即 $W_{1X} \sim W_{2X}$ 。在這個實施例中，次影像 66 具有面積 $A_2 = W_{2X} \cdot W_{2Y} = W_{1X} \cdot W_{2Y}$ 。同樣在一實施例中，次影像係以掃掠時間 t_s 掃過線影像 36，掃掠時間 t_s 與主光束駐留時間 t_d 呈一比例關係，亦即 $t_s = v \cdot t_d$ ，其中 $0 < v < 1$ 。

次雷射系統 50 所必須提供之功率 P_2 係由以下方程式估計：

$$\text{Max } \{(\mu)\} \cdot I_1 \cdot t_d = (P_2 \cdot t_s) / (W_{1X} \cdot W_{2Y})$$

移項並令 $I_1 = P_1/(W_{1X} \cdot L_{1Y})$ ，則 P_2 可以表示為：

$$P_2 = P_1 \{W_{2Y}/L_{1Y}\} \cdot \{(\text{Max}(\mu))/v\}$$

令 $P_1 = 500\text{W}$, $\text{max}(\mu) = 0.02$, $v = 0.1$, $W_{2Y} = 0.1 \text{ mm}$, $L_{1Y} = 10 \text{ mm}$, 次功率 $P_2 \sim 1 \text{ W}$ 。使用寬裕的安全邊際 10 倍，而得到 $P_2 \sim 10\text{W}$ 。該次功率的大小可輕易地由許多商業上可取得的二氧化碳雷射來提供，且也可以透過重新引導一部份的高功率二氧化碳雷射光束而得。

次影像掃掠及控制

對於在至少一部份之主影像 36 上沿長軸（Y 方向）以固定速率 V 掃掠的次影像 66 而言，次影像 66 的功率係為如下所示之 y 的函數：

$$v \cdot P_2(y) = P_1 \cdot \mu(y) \cdot [W_{1X}/W_{1Y}]$$

其中次影像 66 在給定掃掠時間 t_s 下之中心（形心）的 y 位置係為 $y = V \cdot t_s$ 。

由於駐留時間的調整 t_d ， v 從常數變成沿主影像之距離的函數，亦即 $\rightarrow v(y)$ 。

如上所述，靜態和動態的線影像不均勻性可能會上升。靜態不均勻性可能導因於光束調整與殘熱等，而動態不均勻性（俗稱光束擺動）可能導因於光束路徑中折射率的變異以及光學顫動。典型的線影像均勻性中動態變化的頻率不超過 100Hz。

補償主影像之靜態不均勻性的方法包含在一組一或多個測試（空白）晶圓上掃掠主影像 36。此方法也包含量測每一晶圓之熱輻射（熱輻射率）以獲得主影像 36 在長軸方向上的強度變化值。在此，係假設晶圓的發射正比於主影像 36 的強

度。更精確來說，晶圓溫度係正比於強度，因為根據蒲朗克方程式 (Planck's equation)，被加熱之晶圓的熱輻射係與溫度有關。在本文所採用之強度量測中，此假設一般而言是正確的。

晶圓量測之統計分析 (例如平均化) 可以被用來決定主影像 36 之一代表性主影像 36R (意即代表性強度曲線)。接著其可用來定義次影像 66 的掃掠曲線，次影像 66 實質上補償了代表性主影像 36R 之靜態不均勻性。疊合的代表主影像 36R 可儲存在記憶體中 (例如控制器 70 中)，且可用作掃掠產品晶圓時之溫度基礎閉迴路控制。

為了解決系統 10 之任何操作參數飄移，例如主雷射系統 20 中雷射的老化以及光束調節光學系統 30 中的元件老化，代表性主影像 36R 可以週期性地更新，例如利用主影像 36 執行更多晶圓曝光與量測。代表性主影像 36R 在考量某些事件的情況下也可以週期性地更新，例如在包含系統 10 之主保養手續後，又例如光學重新對位、更換光學元件及保養或更換雷射等。

為了補償線影像 36 之時變強度不均勻性，次影像 66 的掃掠曲線可以透過使用即時回饋系統來控制。再參照第 1A 圖，在一實施例中，系統 10 包含熱輻射偵測系統 80 (例如 CMOS 影像攝影機或 CCD 陣列) 能夠偵測大約 1,300 °C 時的熱輻射而拍攝沿著長軸的發射影像 (發射曲線)。熱輻射偵測系統 80 設置來觀察主影像 36 以及拍攝其發射影像，並且產生代表所拍攝之熱影像之訊號 S80。訊號 S80 係提供給控制器 70，在一實施例中，其係設置來儲存和處理收錄於以訊號 S80 呈現的發射影像。在一實施例中，熱輻射偵測系統 80 以每秒 200 幀或

更快的速率來擷取影像，以便對發生在主影像 36 上之強度變化提供足夠的取樣頻率。

控制器 70 處理訊號 S80 並且執行光束曲線 (beam profile) 分析 (例如發射影像的統計平均以及將所量測之熱輻射轉換為強度) 以形成代表性主影像 36R。代表性主影像 36R 的即時補償便隨之藉基於代表性主影像 36R 所計算而得之次影像掃掠曲線而完成。然後，控制器 70 提供控制訊號 S50 予次雷射系統以及控制訊號 S60 予掃掠光學系統 60，以進行根據次影像掃掠曲線之次影像掃掠程序。

在一實施例中，控制器 70 係為電腦或者包含電腦，例如個人電腦或工作站。或者其也可以是一個由任何可程式邏輯裝置，例如一或多種微處理器、中央處理單元 (CPUs)、浮點閘陣列 (FPGAs) 或特定用途集成電路 (ASICs) 所組成的獨立控制系統。除了一或多個諸如可程式邏輯裝置，控制器 70 也可以包含匯流排結構以連接處理器至記憶體裝置，例如硬碟，以及連接至適當的輸入和輸出裝置 (例如個別連接至鍵盤和顯示器)。

在一實施例中，FPGA 可設置來執行發射影像分析，以及設置成具有共享記憶體之即時控制器單元，以及設置來執行直接記憶體存取與共享記憶體之間的資料傳輸。

在本實施例之另一態樣中，控制器 70 可以利用具有影像擷取以及處理子系統之分散式邏輯，其包含影像擷取硬體以及利用一可程式邏輯裝置 (例如 FPGA) 用以控制和處理熱影像資料。在一實施例中，子系統通訊連接於即時控制子系統，其

可利用微處理器與相關周邊裝置來執行即時操作系統。即時控制子系統可被用來與其他系統控制器通訊連接，以及執行與影像處理和次影像控制有關的命令及控制功能。子系統之間的通訊可以可透過下列任何組合；通訊介面（例如乙太網路、RS422）、共享邏輯匯流排以及共享記憶體匯流排。

主影像 36 強度的動態不穩定性時常以線性強度傾斜的形式呈現，如第 9 圖所示，其繪製了強度(次數)對長軸距離(mm)的關係圖。強度曲線的傾斜特性藉由虛線 88 呈現。強度曲線的傾斜典型地係隨時間而改變，通常具有大約 100 Hz 的頻率或更低。某種動態強度變化形式的隨機特性，例如前述的傾斜，會妨礙預先的量測以及嗣後嘗試利用次影像 66 的補償。

當量測圖案化晶圓時，發射影像可能非常複雜。第 10A 圖以及第 10B 圖為類似第 9 圖之代表圖，用以表示形成於圖案化矽晶圓表面之線影像 36 所測得之熱輻射影像。每張圖包含區域 90，其中發射強度被調致在一相當高之空間頻率，其導因於將晶圓加工成半導體晶片（亦即積體電路）時所形成之不同裝置結構（線、形狀、穿孔、切口、對位圖案等）所構成之晶圓圖案。

因此，在一實施例中，來自熱輻射偵測系統 80 且以訊號 S80 呈現之發射影像被低通濾波後，接著以一方法處理，該方法考量到與靜態代表性主影像 36R 做比較。然後對次影像 66 之掃掠曲線的適當調整便藉此完成。第 10C 圖類似於第 10B 圖，但其中發射影像（訊號 S80）已被低通濾波器過濾，以移除導因於晶圓圖案之高頻調變。

由於在給定頻率 f (例如 100Hz) 所發生之主影像 36 改變，發射影像擷取以及隨後的次影像掃掠曲線計算必須發生在 $2f$ (例如 200Hz) 的頻率。

雷射退火系統

典型的半導體製程的雷射退火係在圖案化晶圓上執行。圖案化晶圓的吸收隨著圖案尺寸、圖案密度以及雷射波長而改變。以波長遠長於圖案尺寸之雷射進行雷射退火已被證實可減少散射，且因此可增加晶圓吸收。

第 11 圖係包含線影像形成系統 10 之系統 100 的示意圖。一例示的可適用於線影像形成光學系統 10 之系統 100 其描述於美國專利號碼第 7,612,372、7,154,066、及 6,747,245 號專利中，所述專利均已在此具體地被引用。

圖中系統 10 係產生主光束 32 並且掃掠次光束 62 以形成修正線影像 36'。主光束 32 與次光束 62 具有波長 (例如名義上 10.6 微米，可來自相同或個別的二氧化碳雷射)，其可在選擇條件下加熱晶圓 40。此條件包含，例如，加熱晶圓 40 或以一預熱光源 (圖中未示) 的熱輻射照射晶圓，所述熱輻射具有大於晶圓之半導體能階之能量，藉此使晶圓吸收主光束 32 與次光束 60 而達到足以加熱晶圓至退火溫度的程度。

一例示的以一第三 (預熱) 光源照射晶圓使晶圓更能吸收二氧化碳雷射波長，在以下將參照第 16 圖合併討論。此外，其也記載於本說明書所引用之美國專利號碼第 7098155、7148159、及 7482254 號專利中。在一較佳實施例中，主光束 32 與次光束 62 具有相同或實質相同之波長。

晶圓 40 係被具有上表面 112 之托盤 110 所支撐。在一實施例中，托盤 110 係被設置來加熱晶圓 40。托盤 110 依次被載台 120 所支撐，載台 120 依次被平臺 130 所支撐。在一實施例中，托盤 110 係整合於載台 120 中。在另一實施例中，載台 120 係可移動，包含可以平移和轉動。

晶圓 40 係以具有半導體結構的方式呈現，半導體結構係以源極 150S 與汲極 150D 的形式形成於或接近於晶圓表面 44 的位置，而成為電路（例如電晶體）156 的一部分。須注意的是，在第 11 圖中，相較於晶圓 40 的尺寸而言，電路 156 中源極 150S 與汲極 150D 的相對尺寸係被明顯擴大以便於繪製。實際上，源極 150S 與汲極 150D 非常的淺，其深度僅深入晶圓表面 40 大約 1 微米或更低。源極 150S 與汲極 150D 構成上述晶圓圖案，當拍攝主影像 36 之發射影像時，其可導致高頻調變。

在一實施例中，系統 100 更包含控制器 170，電性連接於系統 10（包含控制器 70；參照第 1A 圖與第 1B 圖）以及載台控制器 122。載台控制器 122 電性耦接於載台 120，且設置以根據控制器 170 的指令來控制載台的移動。控制器 170 一般係設置來控制系統 100 的運作，特別是系統 10 和載台控制器 120。

在一實施例中，控制器 170 係為或者是包含電腦，例如個人電腦或工作站，其可在任一著名電腦公司取得，例如戴爾電腦公司。控制器 170 較佳地包含任一商業上可取得之微處理器、一適當的匯流排結構以連接處理器至記憶體裝置，例如硬碟，以及連接至適當的輸入和輸出裝置（例如個別連接至鍵盤和顯示器）。

再參照第 11 圖以及第 1A 圖與第 1B 圖，主光束 32 係被導引至晶圓表面 44 而在其上形成主影像 36，而次光束 62 係根據前述所討論的掃掠曲線而在至少一部份主影像上掃掠次影像 66 而形成修正線影像 36'。

在一實施例中，修正線影像 36' 係被掃掠過具有邊緣 40E 之晶圓表面 44 如箭頭 180 所標示。第 12 圖係修正線影像 36' 之晶圓掃掠路徑 200 (虛線) 示意圖。晶圓掃掠路徑 200 包含數量為 n 之直線掃掠區段 202-1、202-2、...、202- j ...202- n 。相鄰線性掃掠區段 (例如 202- j 及 202- $j+1$) 係藉由步階修正線影像 36' 所形成且彼此相隔階距 DS 。階距 DS 通常小於線影像長度 L_{LY} ，如此一來相鄰直線掃掠區段 202 之線影像 36 便至少有部分重疊。本文所揭露之雷射退火系統對傳統雷射退火系統，二者之線影像重疊量將在以下進一步討論。

在晶圓掃掠路徑 200 上掃掠修正線影像 36' 會導致晶圓表面 44 被快速加熱 (深度可達 1 微米或更少) 一溫度 (例如介於 1000 °C 至 1,300 °C 之間)。此足以活化源極 150S 與汲極 150D 中之摻雜物，而同時允許晶圓表面的快速冷卻，如此一來摻雜物便不至於發生實質上的擴散，因此維持了源極與汲極的淺度。

對於直線晶圓掃掠區段 202，修正線影像 36' 在晶圓表面 44 的典型掃掠速率係在 25 mm/sec 到 1000 mm/sec 之範圍中。在一實施例中，線影像 36' 和晶圓 40 二者或二者之一可在定義晶圓掃掠路徑 200 的掃掠過程中移動。

提高產能

半導體製程領域之雷射退火需要對整個退火區域都具有非常精確的溫度控制。大多情況，尖峰溫度驅動退火製程。

參照第 13A 圖，在退火光束形成長軸方向不均勻之線影像 36 的案例中，特別是在線影像端點 36E，當階距 DS 過大時，缺口 G 會形成於相鄰掃掠區段 202 之間，而導致晶圓表面 44 的一部份（第 11 圖）沒有被完全照射。假如階距 $DS = L_{1Y}$ ，亦即階距與線影像 36 的長度相同時，缺口 G 一般會發生。

須注意的是，在一實施例中，當線影像被掃掠過晶圓時，線影像長度 L_{1Y} 係根據雷射退火發生在長軸方向的距離來定義。此量測通常對應於線影像中之一給定強度門檻，且與線影像掃掠速率（或者等效地，駐留時間 t_d ）有關。

因此，對於相鄰掃掠區段 202 而言，使線影像 36 重疊通常為必須的，以改善在晶圓 40 上的退火均勻性。在傳統雷射退火系統中，線影像 36 在相鄰掃掠區段 202 之間係被其長度 L_{1Y} 的一半或更少（亦即 $DS \leq L_{1Y}/2$ ，或至少 50% 重疊）而階梯化，因此晶圓上的每一點係被線影像掃掠二次。此現象以圖示說明於第 13B 圖中，其顯示兩個重疊的長軸線影像曲線及線影像，相鄰掃掠區段 202 之傳統線影像 36 在其端點 36E 的地方具有明顯的強度非均勻性。不幸地，藉由實質上的重疊相鄰掃掠區段上的線影像，也會同時減少晶圓的產能。

在一實施例中，考慮一個 10 mm 長的影像 36，以及晶圓掃掠路徑 200 之相鄰掃掠區段的階距 DS 為 5 mm（亦即 50% 線影像重疊）。對 300 mm 晶圓執行雷射退火需要 $(300 \text{ mm}) / (5 \text{ mm}) = 60$ 步。對於略小的階距 $DS = 2.5 \text{ mm}$ （亦即 75%

線影像重疊)，晶圓上每一點被退火四次，且晶圓掃掠路徑 200 需要 120 步。

參照第 13C 圖，修正線影像 36' 可在邊緣 36E' 處具有較陡峭的強度曲線，因此相鄰掃掠區段 202 之修正線影像 36' 的重疊部分必須明顯較少。藉由增加相鄰掃掠區段之階距 DS，使其接近線影像 36' 之全長 L_{1Y} ，產能可因此得以改善。

在一實施例中，修正線影像 36' 之相鄰掃掠路徑 202 間所需的重疊量係小於 50%，且可以小至 5%（亦即 $L_{1Y}/20 \leq DS \leq L_{1Y}/2$ ）。典型修正線影像 36' 之線影像重疊量在 5% 至 10% 之範圍中（亦即 $L_{1Y}/20 \leq DS \leq L_{1Y}/10$ ）。因此，對具有 10 mm 長之線影像 36'，階距 DS 可以大到 9.5 mm，因而只要 32 步即可完成 300 mm 晶圓的雷射退火。

晶圓雷射退火的產能係與晶圓掃掠路徑 200 之相鄰掃掠區段的步數直接相關。典型晶圓掃掠路徑 200 之「跨移與掃掠（step and scan）」大約需要 1 秒的時間。因此，對於前述雷射退火的例子而言，傳統雷射退火系統具有 50 至 75% 之線影像重疊量，其大約需 60 秒至 120 秒的時間來對一晶圓進行雷射退火。相較之下，本發明之雷射退火系統具有 5% 至 10% 之線影像重疊量，僅大約需 32 秒至 34 秒的時間。因此，透過使用修正線影像 36' 來進行雷射退火，晶圓雷射退火的產能可以增加至接近 2 倍。

提高產能

如同前述以及參照第 1A 圖與第 1B 圖，系統 100 包含一熱輻射偵測系統 80。在捕捉輻射圖案以及製程所需的時間內，

可能伴隨著如第 1A 圖與第 1B 所示之熱輻射偵測系統 80 之熱輻射圖案的改變。這可能會導致輻射圖案的改變，並隨而導致較差於最佳修正線影像 36'。

第 14 圖係類似於第 1A 圖，繪製一例示的系統 10，其具有供熱輻射偵測系統之二者可擇一的配置。第 16 圖之熱輻射偵測系統 80 包含一分光鏡 (dichroic mirror) 82，其係沿介於掃掠光學系統 60 與次雷射系統 50 之間之軸 A1 設置。雙色分光鏡 82 係用以通過波長為 λ_{52} 之初始次雷射光 52，且用以反射來自晶圓表面 44 之熱輻射光 62。其中熱輻射光具有波長 λ_E ，其接近但不等於波長 λ_{52} 。分光鏡係沿軸 A1 設置，因而定義一光軸 A3，其與軸 A2 夾一角度，例如夾一直角。熱輻射偵測系統也沿著光軸 A3 依序包含一偏光器 84、一聚焦鏡頭 86、一帶通濾波器 88 以及一光學偵測器 92。光學偵測器 92 包含一或多個光學偵測器元件 94。在一實施例中，光學偵測器 92 包含單一個光學偵測器元件 94。

熱輻射偵測系統 80 包含掃掠光學系統 60，其也用以自初始次雷射光 52 形成掃過晶圓表面 44 之掃掠雷射光束 62。熱輻射偵測系統 80 因而實質上與次影像 66 共享相同的視野 (field of view, FOV)。其係以輻射自晶圓表面 44 且被掃掠光學系統 60 所收集之具有波長 λ_E 之輻射光 63 而繪示說明。因此，掃掠光學系統 60 之 FOV 以及熱輻射偵測系統 80 (也包含掃掠光學系統) 在次影像 66 之掃掠過程中，實質上係重疊且彼此通過。

在系統 10 之操作中，如第 14 圖所示，輻射光 63 係被晶圓表面 44 所輻射，其係源自被修正線影像 36' (或者是只有被

次影像 66) 所加熱。輻射光 63 被掃掠光學系統 60 所收集且被導向分光鏡 82。分光鏡係被配置 (例, 鍍膜, 圖中未示) 以反射輻射光 63 向下至軸 A3 而到偏光器 84, 偏光器 84 具有與次雷射系統 50 相同的偏振。偏振後之輻射光 63 進一步前進至聚焦鏡頭 86, 其聚焦輻射光線至光偵測器 92。設置於光偵測器 92 前方之帶通濾波器 88 用以濾除落在與輻射光 63 (波長 λ_E 可被視為窄熱輻射光波長帶 $\Delta\lambda_E$ 之一中心波長) 有關之窄波長帶 $\Delta\lambda_E$ 以外的波長。

因此, 當修正線影像 36' 掃掠晶圓表面 44 時, 輻射光 63 係被一個點接一個點的收集。在一實施例中, 輻射波長 λ_E 接近於次雷射光 52 之波長 λ_{52} 以保持像差在一可容忍的範圍內。在一例示的聚焦鏡頭中, 其係被用以至少部分地補償來自於掃掠光學系統在輻射波長 λ_E 下操作時所產生的像差。在一實施例中, λ_E 係與 λ_{52} 相差 100 nm 至 200 nm。

第 14 圖之熱輻射偵測系統 80 允許來自於晶圓表面 44 之熱輻射光線 63 與次影像 66 的掃掠二者實質上同時地被偵測。因為輻射光 63 的偵測係使用一快速光學偵測器 92 來完成, 相對應之電子輻射訊號 S80 在次影像 66 之閉路控制中, 幾乎可立即取得。此使次影像 66 為了補償線影像 36 之強度非均勻性所作的變化的速度可以獲得改善。第 14 圖中的系統 10 的配置與第 1A 圖與第 1B 圖所示相比也沒那麼複雜, 因為它並不需要 2D 影像擷取以及影像的事後處理。

溫度控制

為了精確的控制晶圓表面 44 的溫度，必須能精確的量測它的溫度。上述輻射光 63 的偵測本身並無法提供晶圓表面溫度。為了量測晶圓表面 44 的溫度，輻射率 ϵ 必須被量測。在一給定的溫度下，輻射率 ϵ 與波長 λ_E 、視角、以及輻射光 63 的偏振有關。

一種量測輻射率 ϵ 的方法是決定在波長 λ_E 下的晶圓的反射率以及穿透率。在一實施例中，其可藉由使用次雷射光 62 來達成。假設此雷射系統 52 之波長 λ_{52} 係大於或接近矽吸收邊緣（意即約 1.1 μm ），則輻射率 ϵ 可以藉由量測次雷射光入射晶圓 40 之反射率與穿透率來得到。然而，在 λ_{52} 小於 1 微米或者 λ_{52} 大於 1 微米，伴隨因雷射退火而導致之高晶圓表面溫度的情況，晶圓穿透率可以被忽略，僅需量測晶圓反射率即可。

為了精確，當多的反射自晶圓表面 44 之次光束 62 之反射光 62R 被收集是最好的。第 15 圖矽為收集光學系統 300 之特寫，其用以收集反射光 62R。所顯示之收集光學系統 300 係相對於一掃掠光學系統 60 設置，在所示之一實施例中，其包含一掃掠鏡 61M 以及一聚焦鏡頭 61L。收集光學系統 300 係與系統 100 整合且包含沿 A4 軸之一體成形之球體 310，球體 310 具有一光圈 312。光學偵測器 320 係相鄰地設置於光圈 312 旁以偵測自一體成形之球體之光圈離開的光線。

在一實施例中，至少一中性密度濾鏡(neutral density filter) 316 係設置在光圈 312 以及光學偵測器 320 之間以控制抵達光偵測器 320 之光線強度。光偵測器 320 產生一光學偵測器訊號 S320，其代表一體成形之球體 310 所收集到之反射光 62R 的功

率。光偵測器 320 也提供所述訊號（後稱收集功率訊號）至控制器 70。

請再參照第 14 圖，系統 100 包含一功率偵測器 350，用以即時量測入射至晶圓表面 44 之總功率。在一實施例中，功率偵測器係整合至次雷射系統 50 中。功率偵測器 350 產生一電子訊號 SP（後稱輻射功率訊號），其代表所偵測到的功率。而在第 14 圖所示之一實施例中，係代表初始次雷射光 52 之功率。功率偵測器 350 提供一電子訊號 SP 至控制器 70。需注意的是，功率偵測器 350 可以位在晶圓表面 44 與次雷射系統之間的任何地方。

在第 14 圖所示之例子中，功率偵測器 350 係位在掃掠光學系統之上游，在決定真正入射晶圓表面 44 之次光束 62 之總功率時，掃掠光學系統的傳送必須列入考量。特別地，掃掠光學系統的傳送可以被提供至控制器 70 以計算次雷射光 62 的總功率。

輻射功率訊號 SP 以及反射功率訊號 S320 可以即時地被量測。藉由比對此二個訊號（包含上述任何考慮掃掠光學系統 60 之傳送的計算），當次影像 66 掃過晶圓表面 44，輻射率 ϵ 可以根據一逐點（point-by-point）的基礎來計算。然後，所計算之輻射率 ϵ 可以被用來獲得一局部溫度量測，其與晶圓表面 44 之任何圖案所導致之輻射率變異不甚相關。因而允許用以形成修正線影像 36' 之次雷射光 62 所需之總功率的閉路控制。

在一實施例中，溫度 T 可藉由輻射率以及以下方程式計算而得：

$$W_{\lambda} = \varepsilon \cdot \Omega \cdot \frac{C_1}{\lambda_E^5 (e^{C_2/\lambda_E T} - 1)}$$

其中， ε 係為所量測之輻射率， Ω 係為熱輻射光 62 被收集之立體角 (solid angle)， c_1 與 c_2 為已知的常數， W_{λ} 係為一被量測之輻射訊號。熱輻射偵測系統 80 較佳地係在一已知溫度下被校正，例如與退火製程有關之熔化溫度。

因為輻射率 ε 係為波長 λ_E 的函數，使 λ_E 足夠接近 λ_{52} (例如，150 nm) 可保證足夠的精確溫度計算，且因此而有精確的次雷射系統 50 的閉路控制。

反射光 62R 包含反射元件與非反射成分，後者係主要來自晶圓表面圖案。因此，輻射率量測的精確度係為收集光學系統 300 之數值光圈的函數。在一實施例中，收集光學系統 300 具有一數值光圈 0.2。在一實施例中，收集光學系統 300 設置以具有一數值光圈，因而當與未補償輻射率變異之晶圓表面溫度量測相比時，任何起因於未收集所有反射光 62R 所導致之輻射率計算錯誤變得不重要。

第 16 圖類似於第 14 圖，繪製一例示的系統 10，其包含預熱光源 400，預熱光源 400 沿光軸 A5 設置，光軸 A5 係與光軸 A2 交會。預熱光源 400 沿光軸 A5 輻射一預熱光束 402。預熱光束 402 具有一波長，其小於 1 微米。例示的預熱光源包含二極體雷射、532 nm 固態雷射、綠光光纖雷射等，或其他類似的雷射。

分光鏡 410 係設置在光軸 A2 與 A5 的交會處，其係相鄰於次雷射系統 50。分光鏡 410 係設置以反射預熱光束 402 以及

傳送初始次雷射光 52。預熱光束 402 隨後沿著實質上相同於初始次雷射光 52 以及次雷射光 62 之光學路徑，被提供至晶圓表面 44 以在晶圓表面 44 上形成影像 460。分光鏡 410 因此允許預熱光束 402 以及初始次雷射光 52 同時傳播穿過掃掠光學系統 60。

熱輻射偵測系統 80 之分光鏡 82 係用以傳送預熱光束 402。在一實施例中，掃掠光學系統 60 係用以調和初始次雷射光 52 以及預熱光束 402 之間的波長差異。在一實施例中，光學系統 420 係配置在預熱光源 400 以及分光鏡 420 之間。光學系統 420 係用以與掃掠光學系統 60 結合而在晶圓表面 44 形成影像 460。

在一實施例中，第 16 圖之配置可以被使用，其中晶圓 40 的溫度必須在執行雷射退火前先提高。在一實施例中，此種預熱所具有的優點係記載於美國專利申請案公開號第 2010/0084744 號，該專利係被本案所引用。

雖然本發明的技術內容已經以較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神所作些許之更動與潤飾，皆應涵蓋於本發明的範疇內，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

第 1A 圖為一例示線影像形成光學系統之示意圖，其係根據本說明書所揭露之內容，使用主要及次雷射系統。

第 1B 圖類似於第 1A 圖，其繪製藉由轉移部份主雷射光束以形成次雷射光之一實施例。

第 2 圖為理想化線影像的示意圖。

第 3A 圖與第 3B 圖為依據第 2 圖理想化線影像而繪製之標準化強度對距離 (mm) 的關係圖，分別以高斯曲線 (虛線) 代表沿著短軸 (掃掠) 方向之標準化強度分布曲線，以及以方形線代表沿著長軸 (相交於掃掠方向) 方向之標準化強度分布曲線。

第 4 圖類似於第 2 圖，但顯示出一個小於線影像 (主要影像) 之次影像，且重疊於線影像，其中次影像係根據掃掠曲線而沿著主要影像的長軸方向掃掠。

第 5 圖為先前技術之等強度線圖，其係藉由量測受到傳統線影像形成光學系統所形成之線影像照射之晶圓的熱輻射而得。

第 6A 圖與第 6B 圖係根據第 5 圖之等強度線圖所分別繪製在短軸方向以及長軸方向的強度和距離的關係圖。

第 7A 圖係沿長度方向之強度具有相當高不均勻性之一例示的線影像之等強度線圖，同時也顯示出沿著長軸掃掠之一例示的次影像。

第 7B 圖係第 7A 圖中，線影像在長軸方向的強度和距離關係圖，並且顯示出沿著線影像之長軸方向掃掠的次影像以及根據掃掠曲線之次影像強度變化（虛線）。

第 8A 圖係為線影像在長軸方向的強度對距離的關係圖，顯示出疊合之時間平均修正線影像強度曲線，其係根據掃掠曲線並沿著長軸方向掃掠次影像而得。

第 8B 圖為對應於第 8A 圖中修正線影像之等強度線圖，相較於第 7A 圖中由傳統方式所形成之線影像的等強度線圖，其時間平均修正線影像沿長軸方向上顯現出較佳的強度均勻性。

第 9 圖為長軸方向強度（次數）對距離（mm）的關係圖，其繪製了一條沿線影像長軸方向之強度曲線的一個例示斜線。

第 10A 圖與第 10B 圖類似於第 9 圖，係用以表示形成於圖案化矽晶圓表面之線影像所測得之熱輻射影像，並且顯示一總合高空間頻率特性，其係晶圓表面圖案的光散射所導致。

第 10C 圖類似於第 10A 圖與第 10B 圖，圖示之發射圖形係被低通濾波器過濾而移除了因晶圓圖案所造成之光散射所導致的高頻調變。

第 11 圖係一實施例中雷射退火系統之示意圖，其包含本發明之線影像形成系統，用以形成具有相當高強度均勻性掃掠修正線影像，可應用於半導體晶圓之退火。

第 12 圖為半導體晶圓的部分俯視圖，說明在一個晶圓表面上掃掠修正線影像之晶圓掃掠路徑。晶圓掃掠路徑具有相鄰的直

線掃掠路徑區段，其被一階距 DS 所分隔，而導致相鄰直線掃掠路徑之修正線影像的邊緣有部分重疊。

第 13A 圖為執行雷射退火時，線影像強度及其相對應之傳統線影像（實線與虛線）的示意圖，傳統線影像係與晶圓掃掠路徑之相鄰掃掠路徑區段相關聯，其說明了當線影像沿長軸方向並非實質上均勻且相鄰掃掠路徑區段未提供線影像重疊時，強度差距係如何形成。

第 13B 圖類似於第 13A 圖，顯示出傳統線影像之相鄰掃掠區段之長軸方向線影像具有 50%重疊的情況。

第 13C 圖近似於第 13B 圖，但其顯示出強度曲線以及晶圓掃掠路徑之相鄰掃掠路徑區段之修正線影像，其中所需之重疊總量遠小於第 13B 圖所示之傳統線影像。

第 14 圖為近似於第 1A 圖所示之線影像形成光學系統，惟其具有針對熱輻射偵測系統之一加強配置。

第 15 圖為用以量測反射自晶圓表面之次光束之總量之一例示收集光學系統之特寫示意圖，其作為製程的一部份以即時計算局部晶圓表面溫度。

第 16 圖類似於第 14 圖，繪製一實施例，包含一預熱光源用以預熱晶圓以執行本發明之雷射退火製程。

【主要元件符號說明】

1 線影像形成光學系統

20 主雷射系統

- 22 主雷射光束
- 22' 主雷射光束的一部分
- 30、30' 光束調節光學系統
- 32 線影像形成光束（主光束）
- 36 線影像（主影像）
- 36' 修正線影像
- 36E 端點
- 36E' 邊緣
- 36R 代表性主影像
- 40 工作件
- 400 預熱光源
- 410 分光鏡
- 40E 邊緣
- 44 表面
- 50 次雷射系統
- 52 次雷射光
- 56 衰減器
- 60 掃掠光學系統
- 61L 聚焦鏡頭
- 61M 掃掠鏡
- 62 掃掠雷射光束（次光束）
- 62R 反射光

- 63 輻射光
- 66 次影像
- 68 Y 方向箭頭
- 69 虛線
- 70 控制器
- 74 光學分離光學系統
- 80 熱輻射偵測系統
- 82 分光鏡
- 84 偏光器
- 86 聚焦鏡頭
- 88 帶通濾波器
- 90 區域
- 92 光學偵測器
- 94 光學偵測元件
- 100 雷射退火系統
- 110 托盤
- 120 載台
- 122 載台控制器
- 150S 源極
- 150D 汲極
- 170 控制器
- 200 晶圓掃掠路徑

202	晶圓掃掠區段
A1	光軸
A2	光軸
A3	光軸
A4	光軸
A5	光軸
BS	分光器
DS	階距
FM	摺疊鏡
G	缺口
IP	影像平面
S30'	控制訊號
S50	控制訊號
S56	控制訊號 S56
S60	控制訊號
S80	電子訊號

七、申請專利範圍：

1. 一種線影像形成光學系統，用以對具有一表面之半導體晶圓進行熱退火，包含：

一主光學系統，用以形成一線影像，該線影像具有一長軸以及沿該長軸之一第一強度不均勻量；

一次雷射系統，產生一次雷射光，具有一次雷射光波長以及一次雷射光強度；

一掃掠光學系統，具有一第一視野，該第一視野用以接收次雷射光且在該晶圓之該表面上形成一次影像，其中該次影像至少部分重疊於該線影像，且掃掠過該線影像之至少一部分以形成一時間平均修正線影像，該時間平均線影像具有一第二強度不均勻量，該第二強度不均勻量小於該第一強度不均勻量；

一熱輻射偵測系統，用以偵測來自該晶圓之該表面之一熱輻射光，該熱輻射光穿過該掃掠光學系統以及穿過該掃掠光學系統之一第二視野，該第二視野實質上與第一視野相同，該熱輻射偵測系統用以產生對應於所偵測之該熱輻射光之一電子訊號；及

一控制器，用以接收該電子訊號藉以調整該次雷射光強度與該次雷射光之一掃掠速度之至少其中一者。

2. 如請求項 1 所述之線影像形成光學系統，其中該熱輻射光具有不同於該次雷射光波長之一發射波長，該發射波長與該次雷射光波長相差 100 nm 至 200 nm 之間。

3. 如請求項 1 所述之線影像形成光學系統，其中該熱輻射偵測系統更包含：

一分光鏡，設置在介於次雷射系統與掃掠光學系統之間之一光學路徑上，該分光鏡用以傳送該次雷射光以及反射該熱輻射光；

一偏光器，用以接收和偏振被反射之該熱輻射光以使其具有相同於次雷射光的偏振；

一聚焦鏡頭，用以聚焦被偏振之該熱輻射光；

一光學偵測器，用以接收被聚焦且被偏振之該熱輻射光；

及

一帶通濾波器，設置於該分光鏡與該光學偵測器之間，用以使熱輻射光通過以及阻擋具有次雷射光波長之光線。

4. 如請求項 1 所述之線影像形成光學系統，更包含：

一收集光學系統，用以接收反射自該晶圓之該表面之次雷射光之光線，且對應地產生一光學偵測訊號以代表反射光的總功率；

一功率偵測器，位於該次雷射系統中，用以量測該次雷射光之總功率；及

其中該控制器用以根據反射光的總功率以及次雷射光的總功率來計算該次雷射光之一反射率。

5. 如請求項 4 所述之線影像形成光學系統，其中該控制器用以根據所量測到之熱輻射率以所計算出之反射率來計算該晶圓之該表面之一溫度。
6. 如請求項 4 所述之線影像形成光學系統，其中該收集光學系統更包含一體成形之一球體以及一光學偵測器。
7. 如請求項 1 所述之線影像形成光學系統，更包含：
一預熱光源，發射具有一波長小於 1 微米之一預熱光束，該預熱光束經由該掃掠光學系統而被導向該晶圓之該表面。
8. 一種在一半導體晶圓之一表面上形成時間平均修正線影像的方法，包含：

在一影像平面上形成一線影像，該線影像在長軸方向上具有一第一強度非均勻量；

當量測來自於與被掃掠之次影像結合之該晶圓之表面之一部分之一輻射率時，於該線影像之至少一部份沿長軸方向掃掠且形成該次影像；及

根據所量測之輻射率調整一掃掠速度與一次影像強度之其中一者，以形成一修正線影像，該修正線影像在長軸方向上具有低於該第一強度非均勻量之一第二強度非均勻量。

9. 如請求項 8 所述之方法，更包含：根據所量測到之輻射率以及來自該晶圓之表面之該次影像之一反射率決定一溫度，以及根據所決定之該溫度調整該掃掠速度與該次影像強度之其中一者。

10. 如請求項 8 所述之方法，更包含：

藉由具有一光學路徑之一次光學系統形成該次影像；及

對該次光學系統之該光學路徑之至少一部份執行輻射率的量測。

11. 如請求項 8 所述之方法，更包含：使用一掃掠光學系統以掃掠該次影像。

12. 如請求項 8 所述之方法，更包含：藉由具有波長小於 1 微米之一預熱光束，局部地加熱該晶圓之該表面。

13. 一種於一半導體晶圓之一表面上形成時間平均修正線影像的方法，包含：

於一影像平面上形成一線影像，該線影像在長軸方向上具有一第一強度非均勻量；

形成一次影像，至少部分重疊於該線影像；

當量測來自於與被掃掠之次影像結合之該晶圓之表面之一部分之一輻射率與一反射率時，於長軸方向對至少一部份之主影像掃掠該次影像；

根據所量測之該反射率與該輻射率計算一晶圓表面溫度；及

根據所計算之該晶圓表面溫度調整一掃掠速度與一次影像強度之其中一者。

14. 如請求項 13 所述之方法，更包含：

以具有一光學路徑之一次光學系統形成該次影像；及

對該次光學系統之該光學路徑之至少一部份執行輻射率的量測。

15. 如請求項 13 所述之方法，更包含：使用一掃掠光學系統以掃掠該次影像。

16. 如請求項 13 所述之方法，更包含：藉由具有波長小於 1 微米之一預熱光束，局部地加熱該晶圓之該表面。

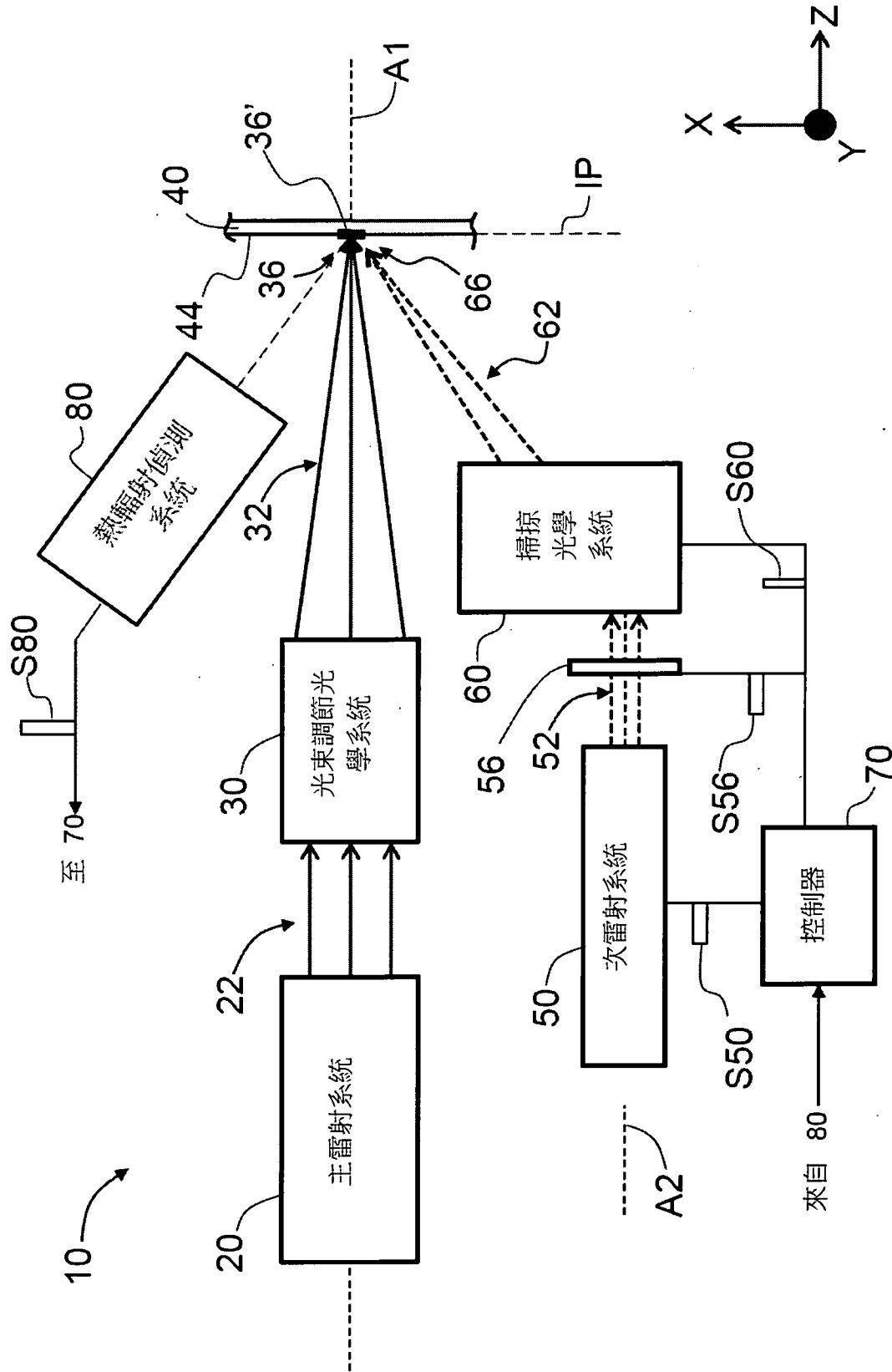
17. 如請求項 13 所述之方法，更包含：

使用一體成形之一球體，配置該球體以捕捉反射自該晶圓表面之被掃掠之該次影像之光線；及

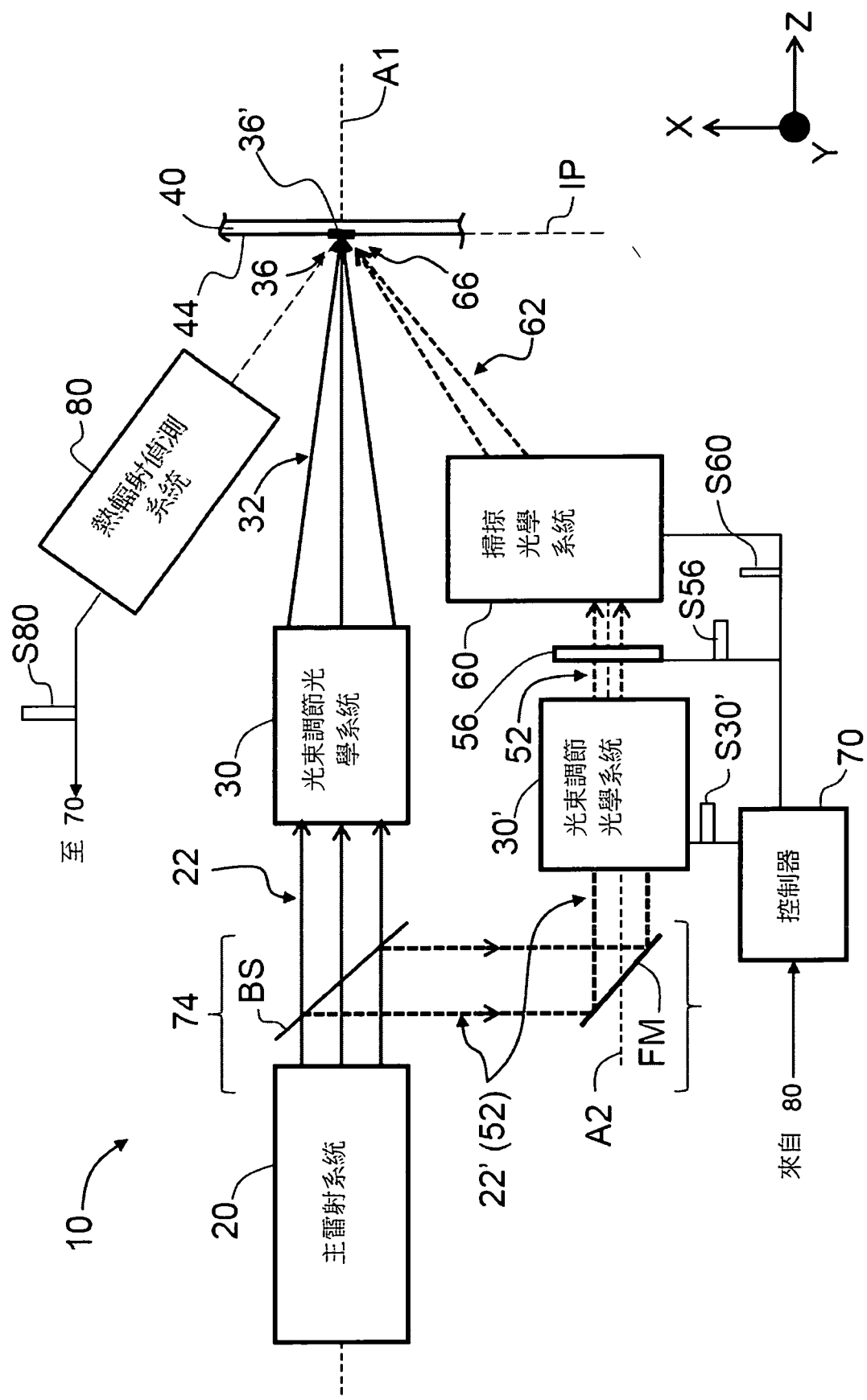
量測次影像之功率。

18. 如請求項 17 所述之方法，更包含：自一次雷射系統產生一次光線以形成該次影像，以及使用位於該次雷射系統內之一功率偵測器量測該次影像之功率。

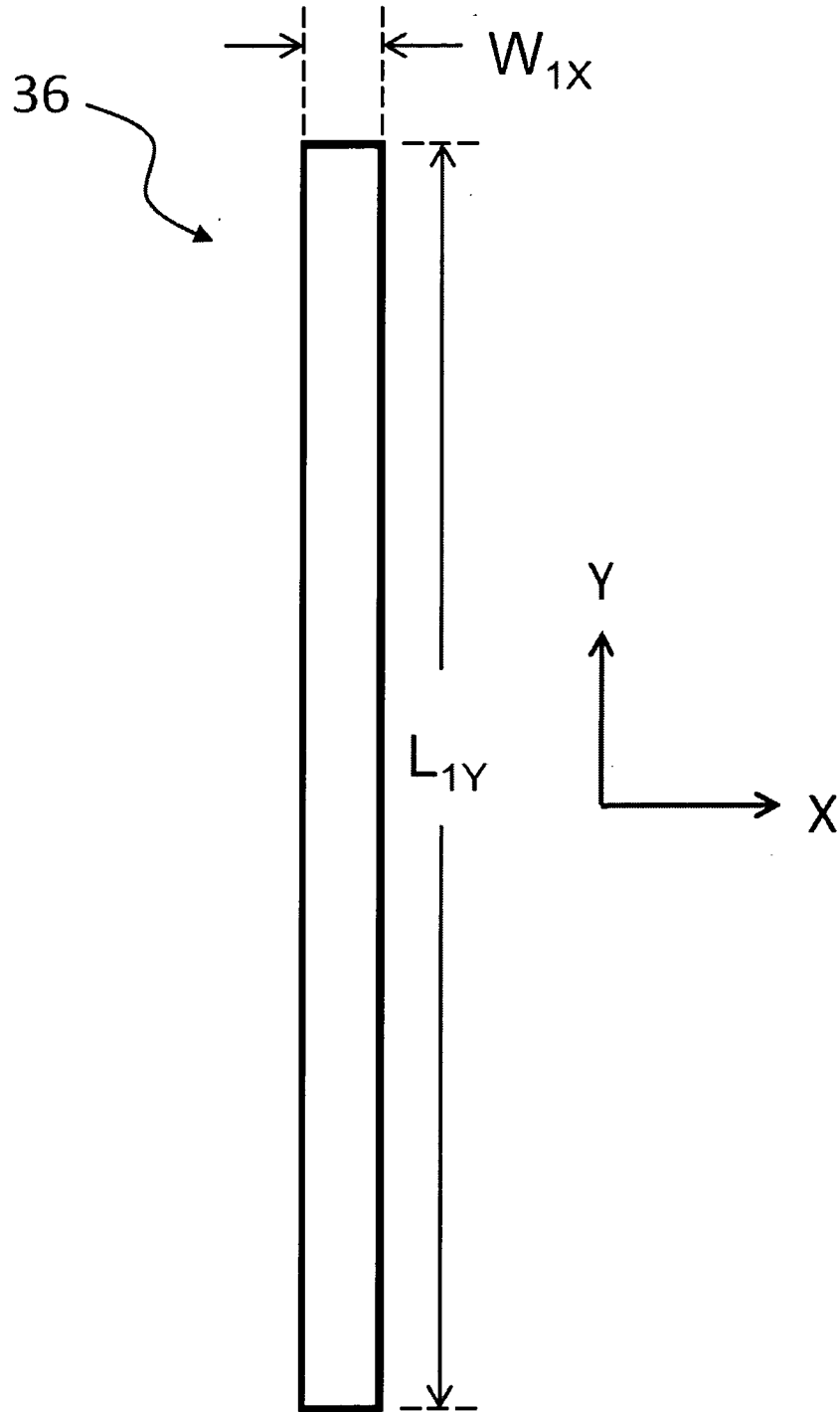
八、圖式：



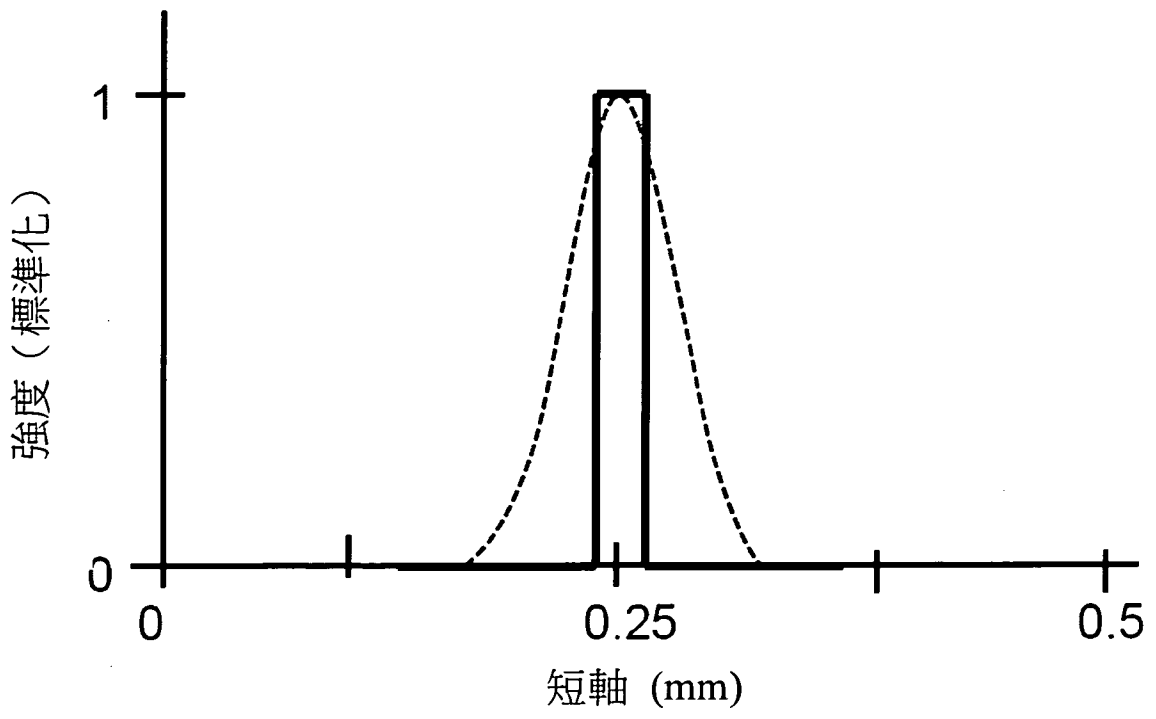
第 1A 圖



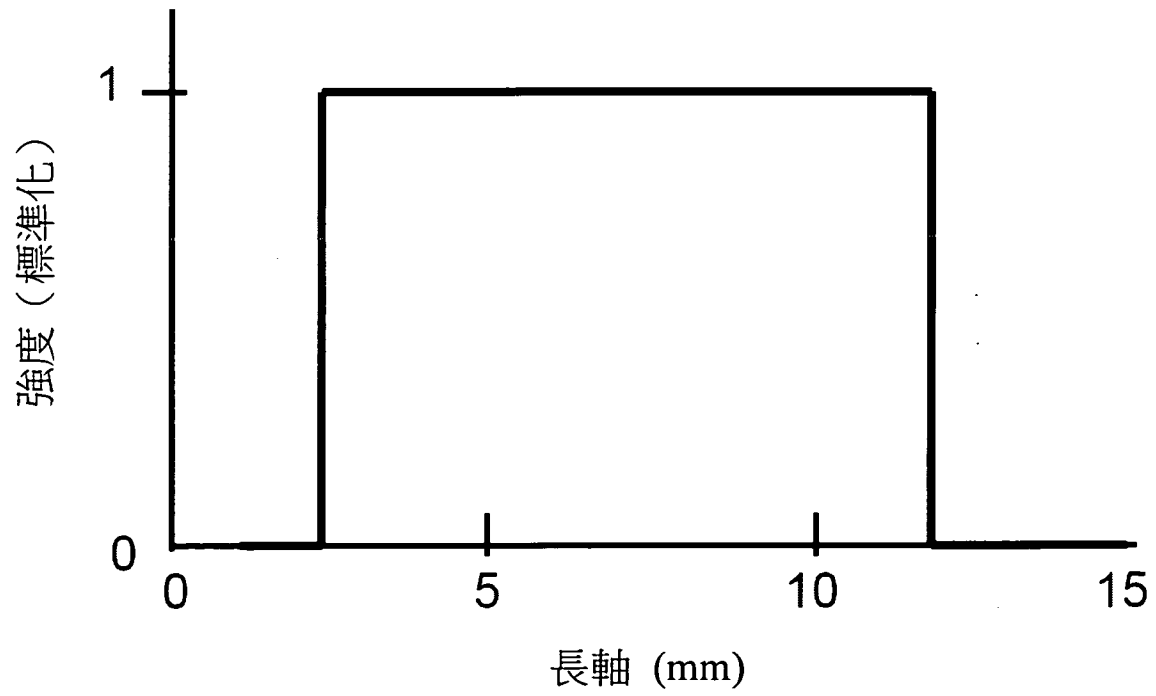
第 1B 圖



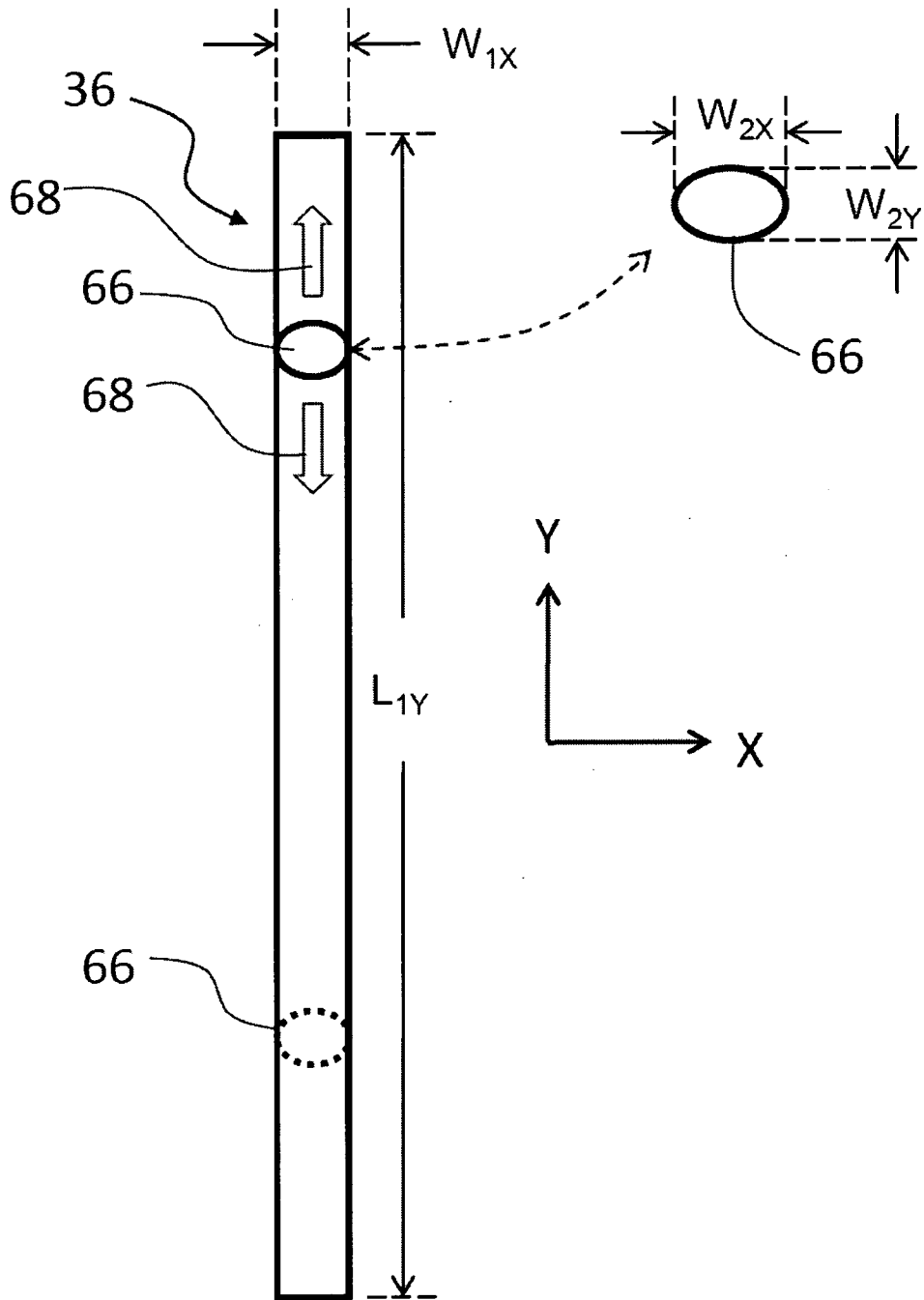
第 2 圖



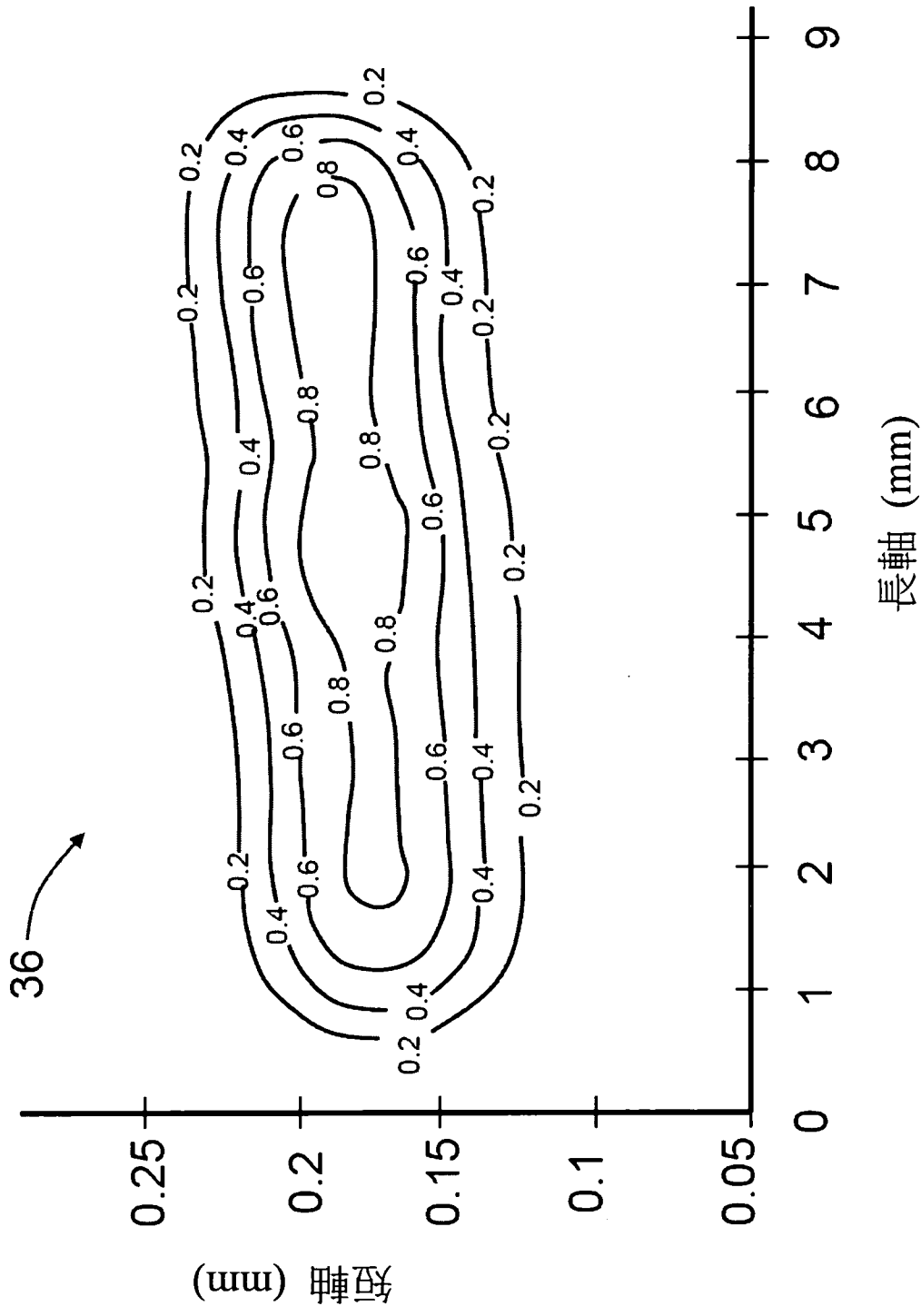
第 3A 圖



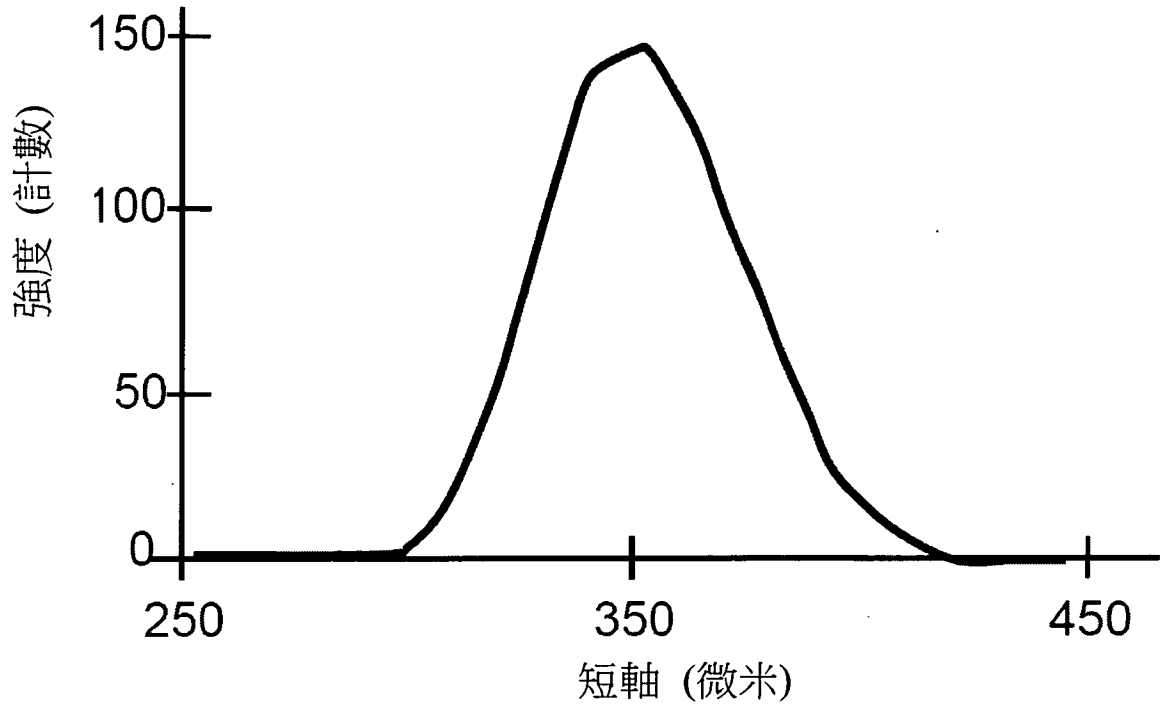
第 3B 圖



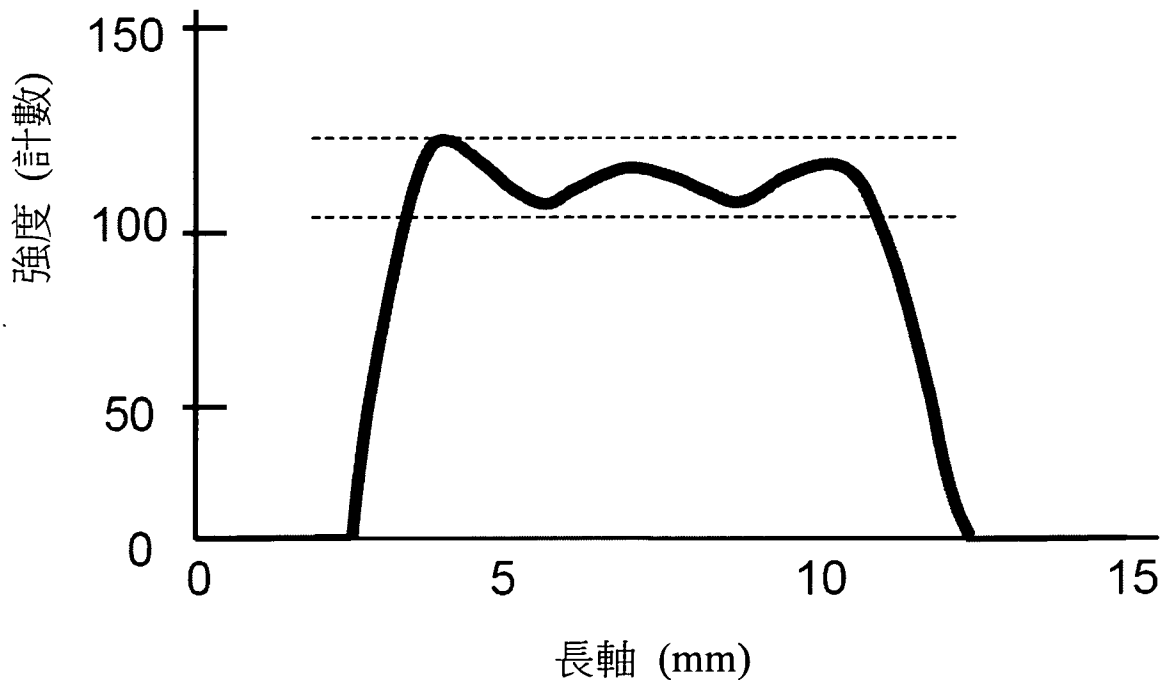
第 4 圖



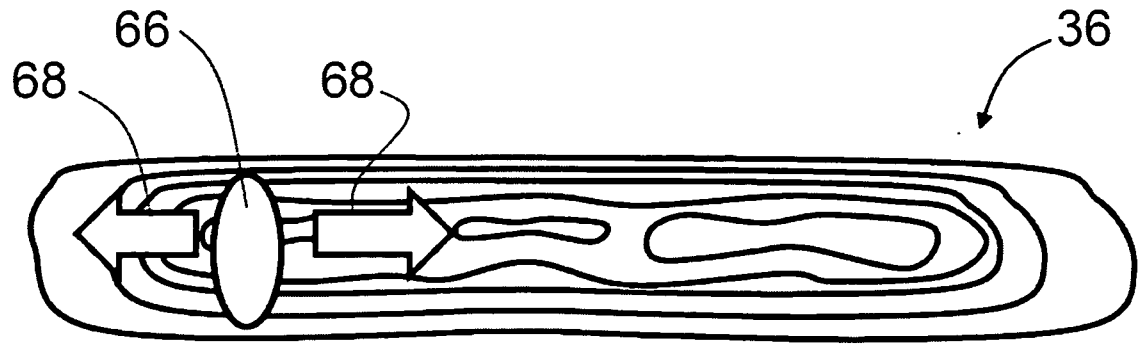
第 5 圖



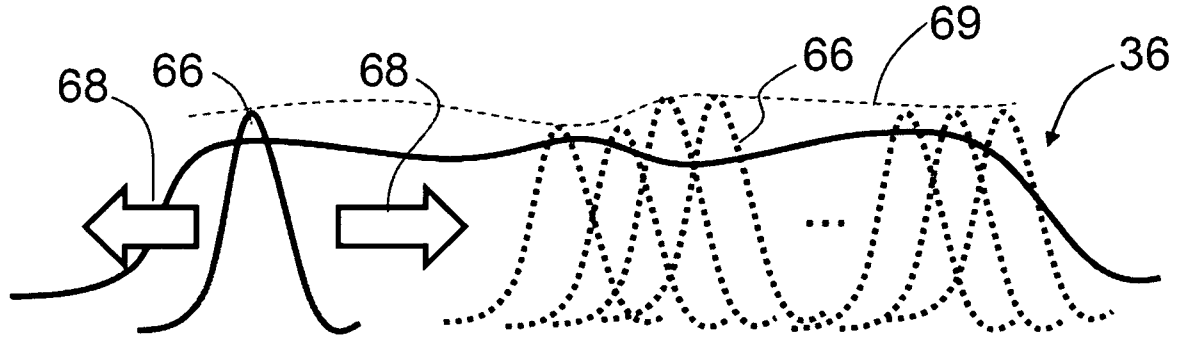
第 6A 圖



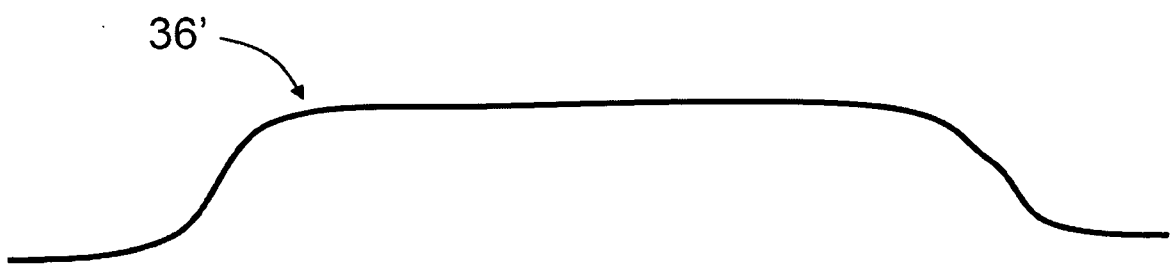
第 6B 圖



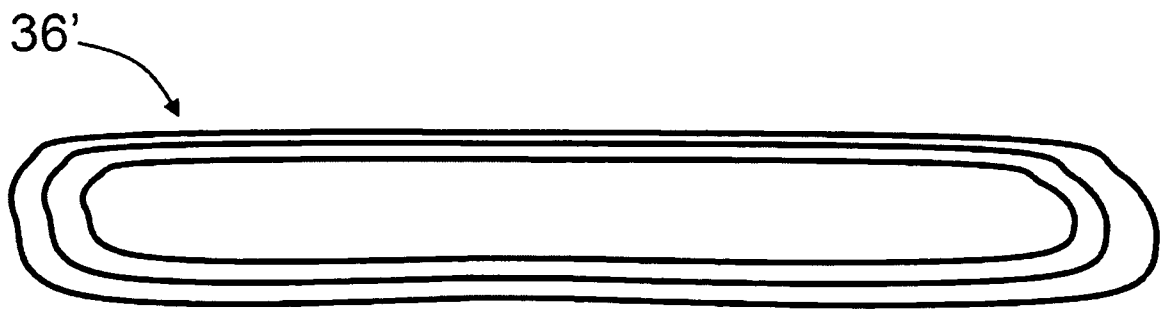
第 7A 圖



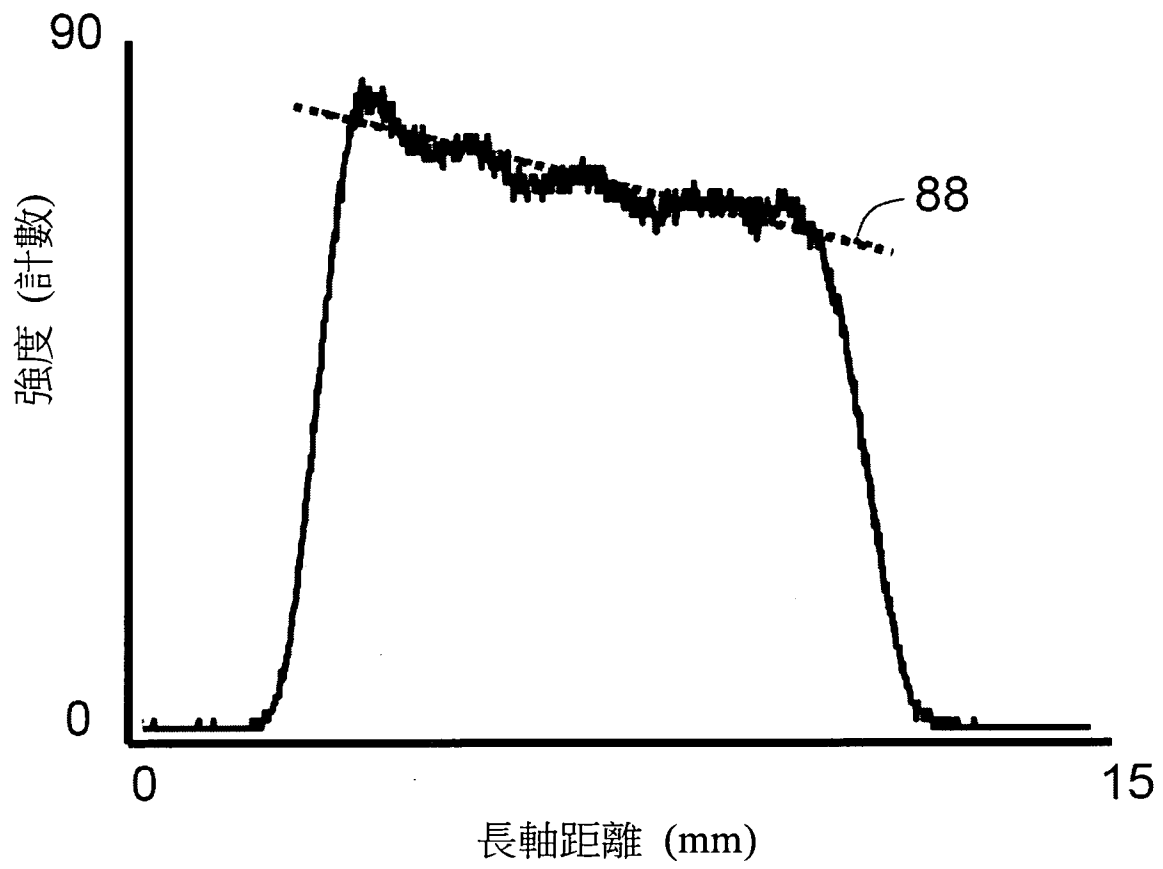
第 7B 圖



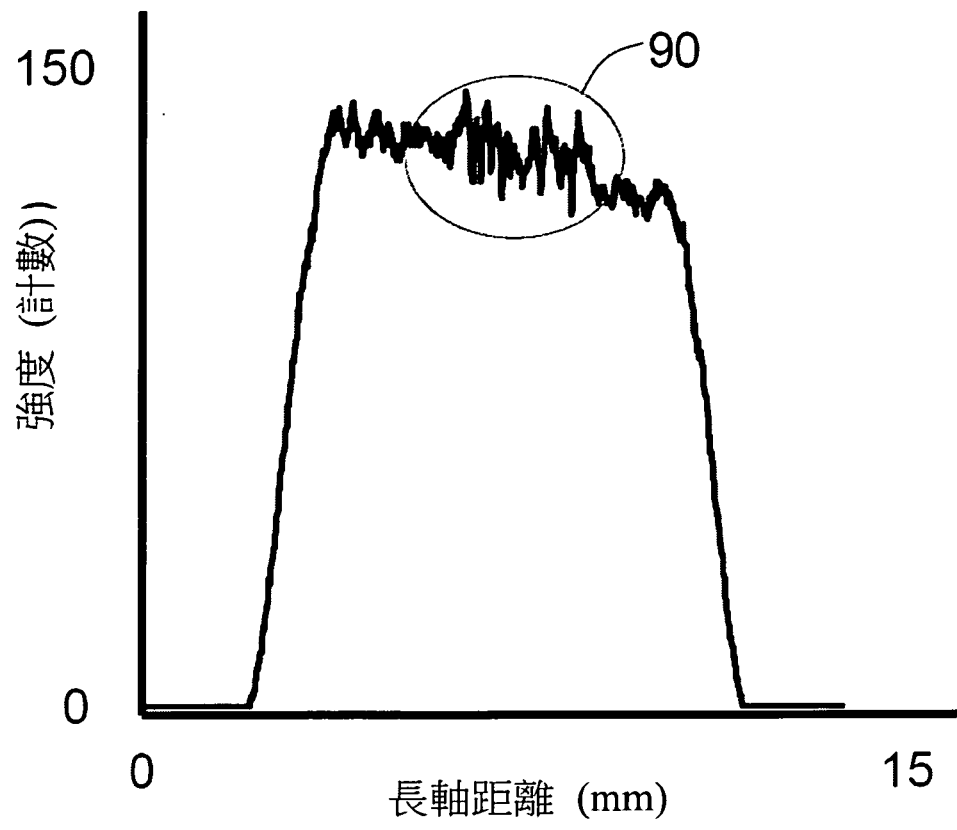
第 8A 圖



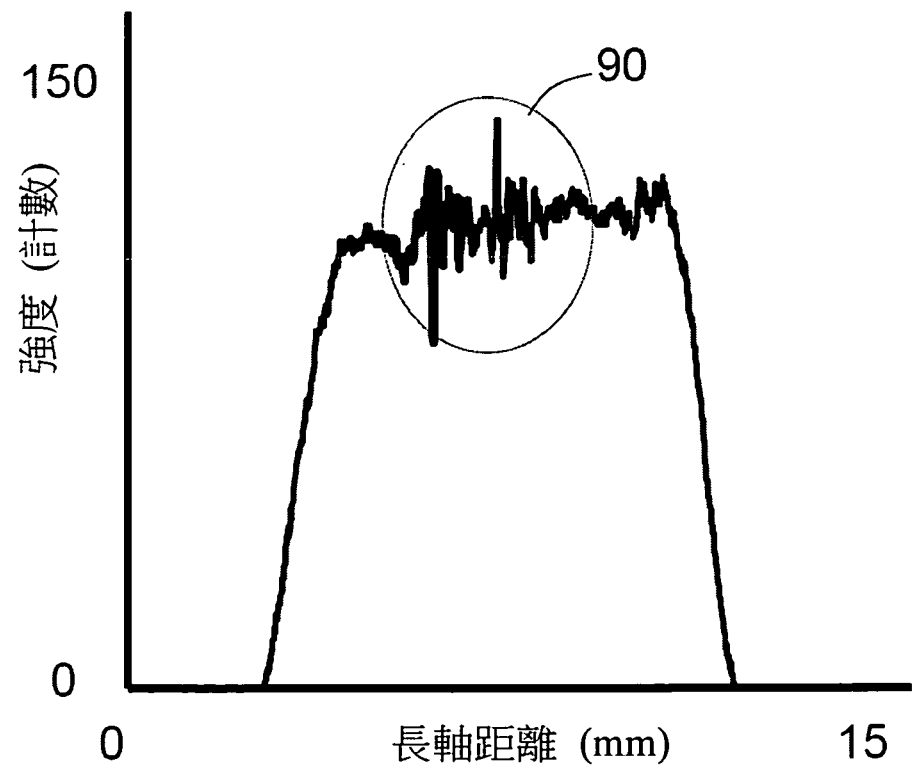
第 8B 圖



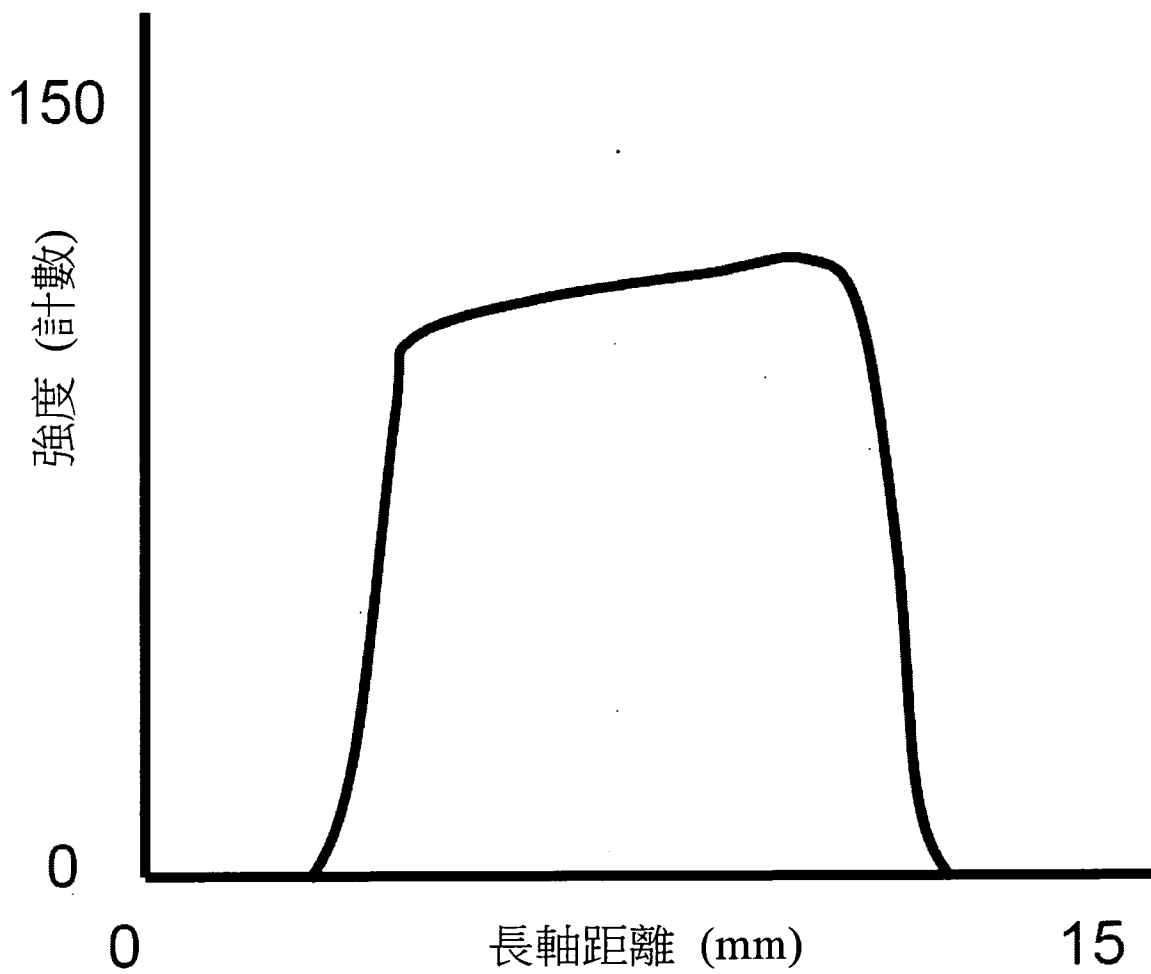
第 9 圖



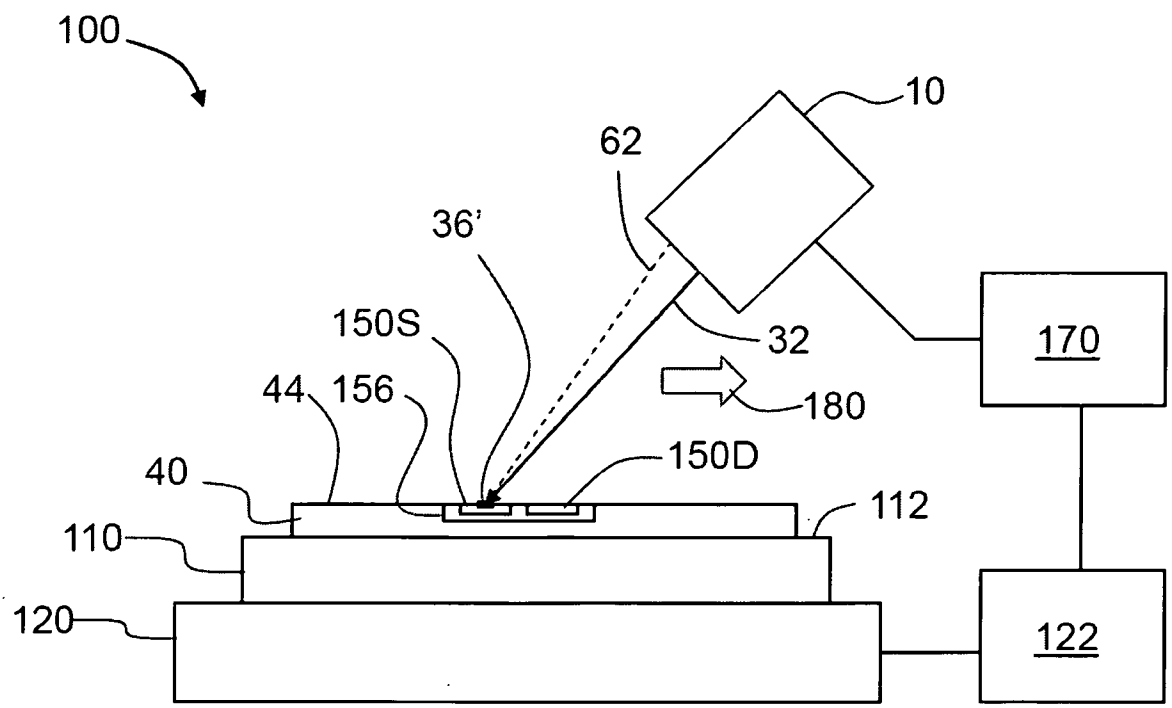
第 10A 圖



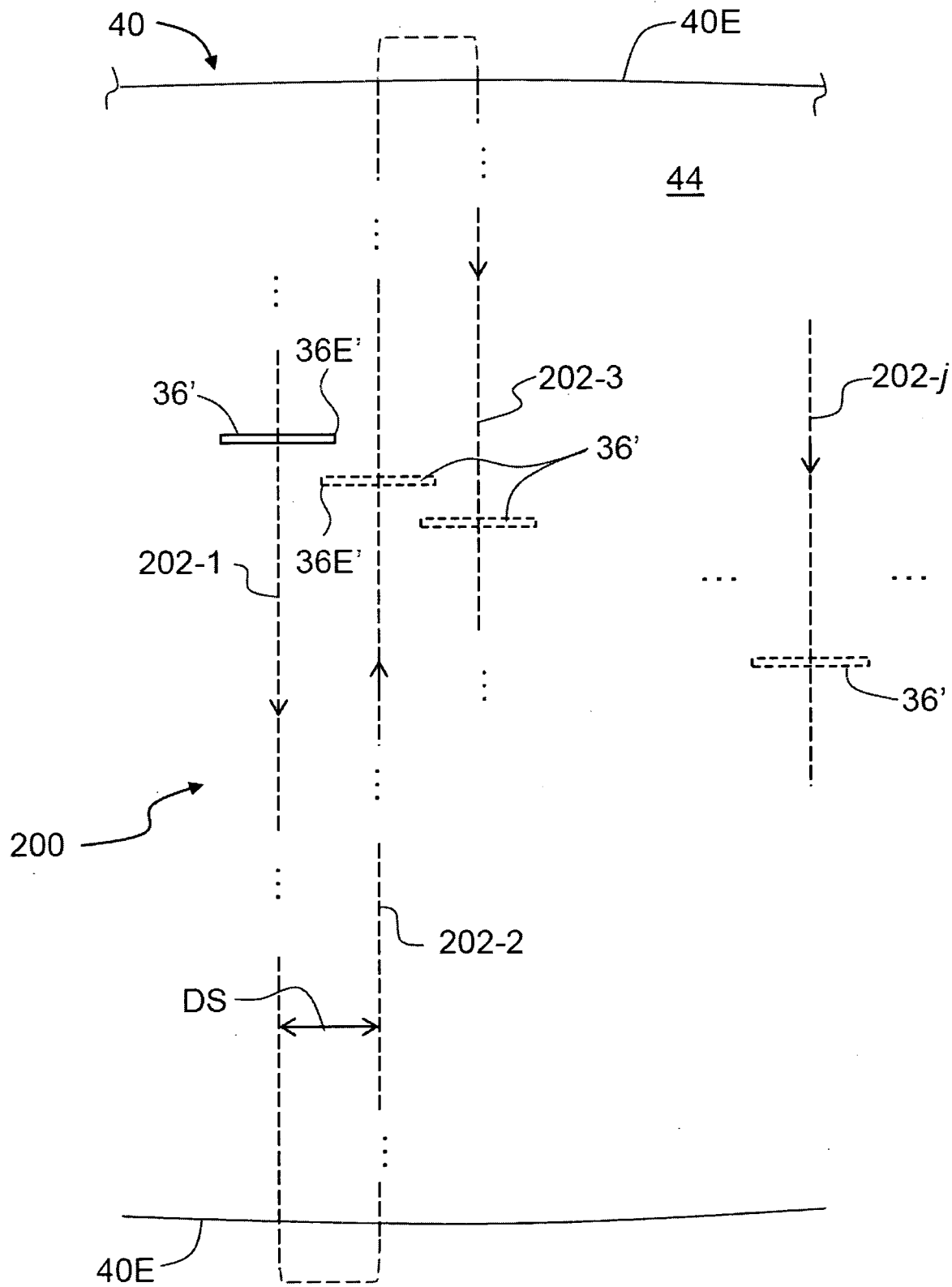
第 10B 圖



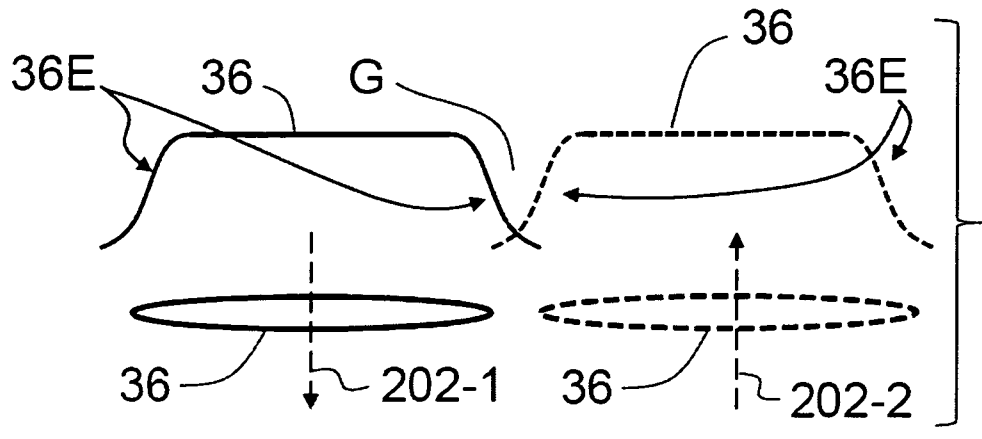
第 10C 圖



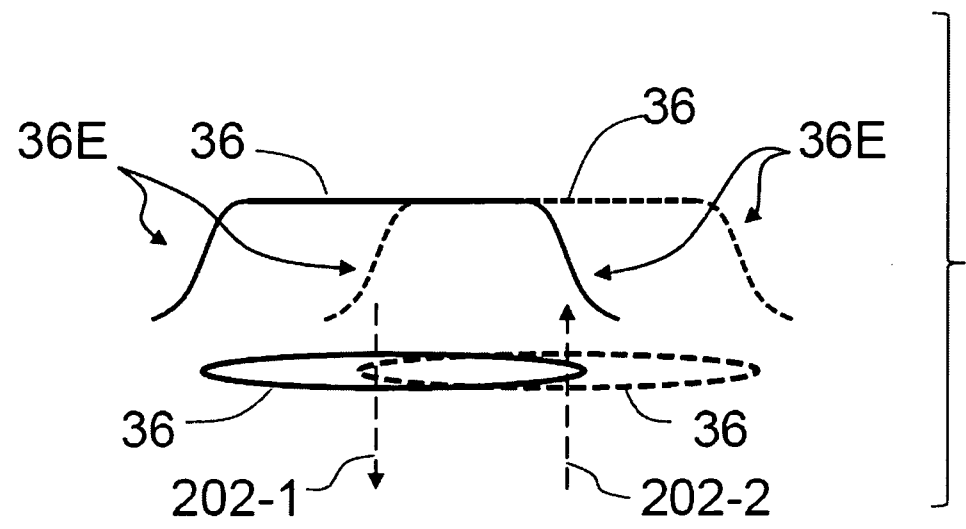
第 11 圖



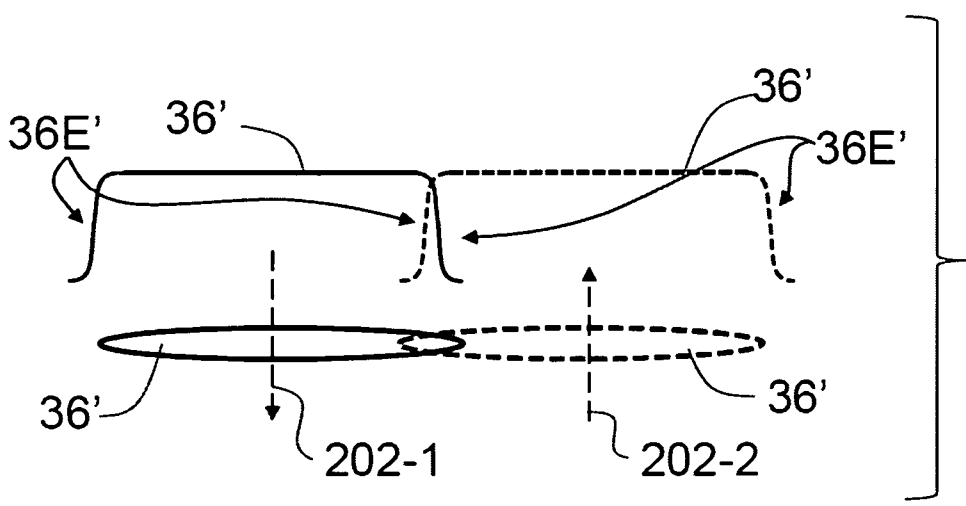
第 12 圖



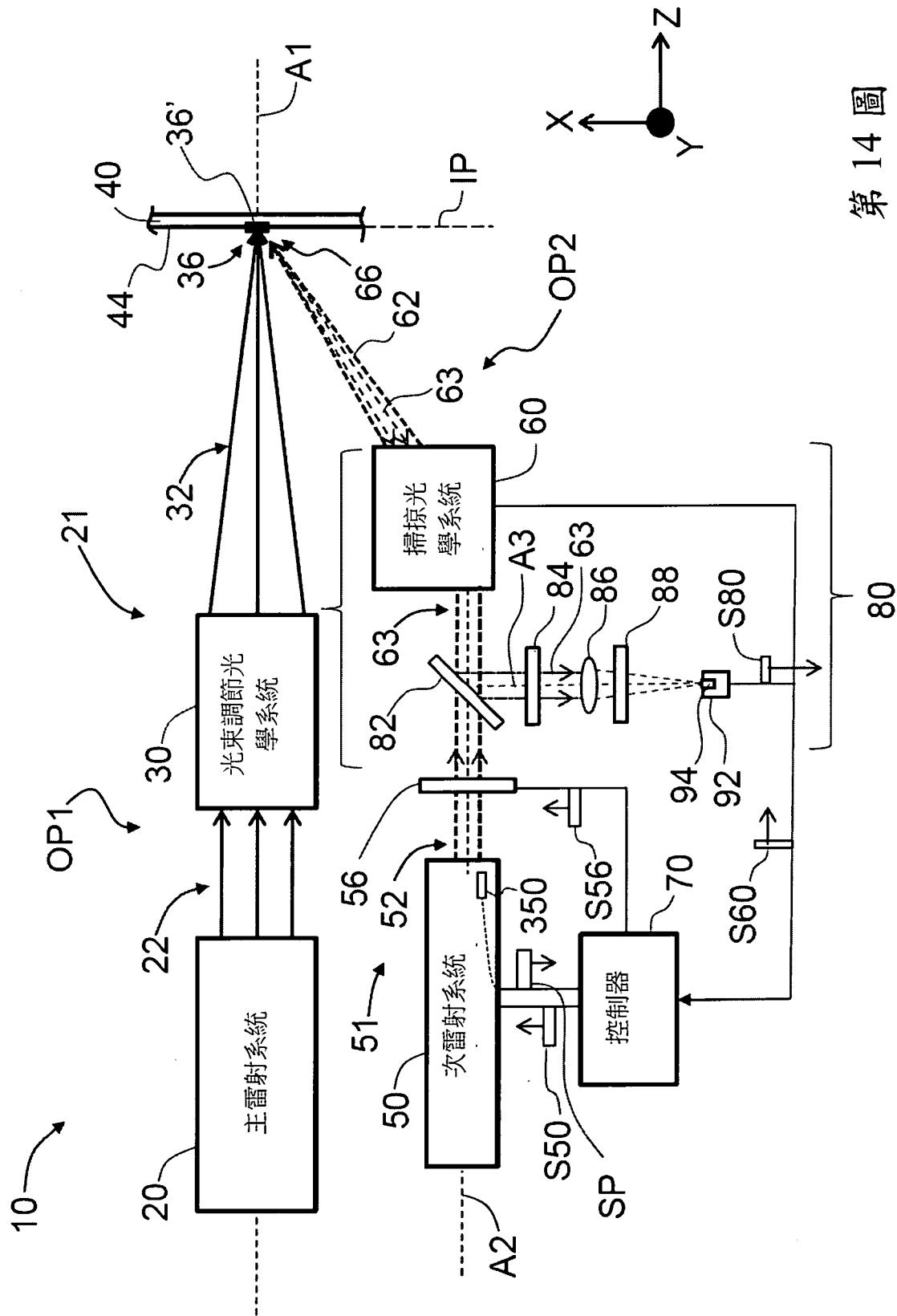
第 13A 圖



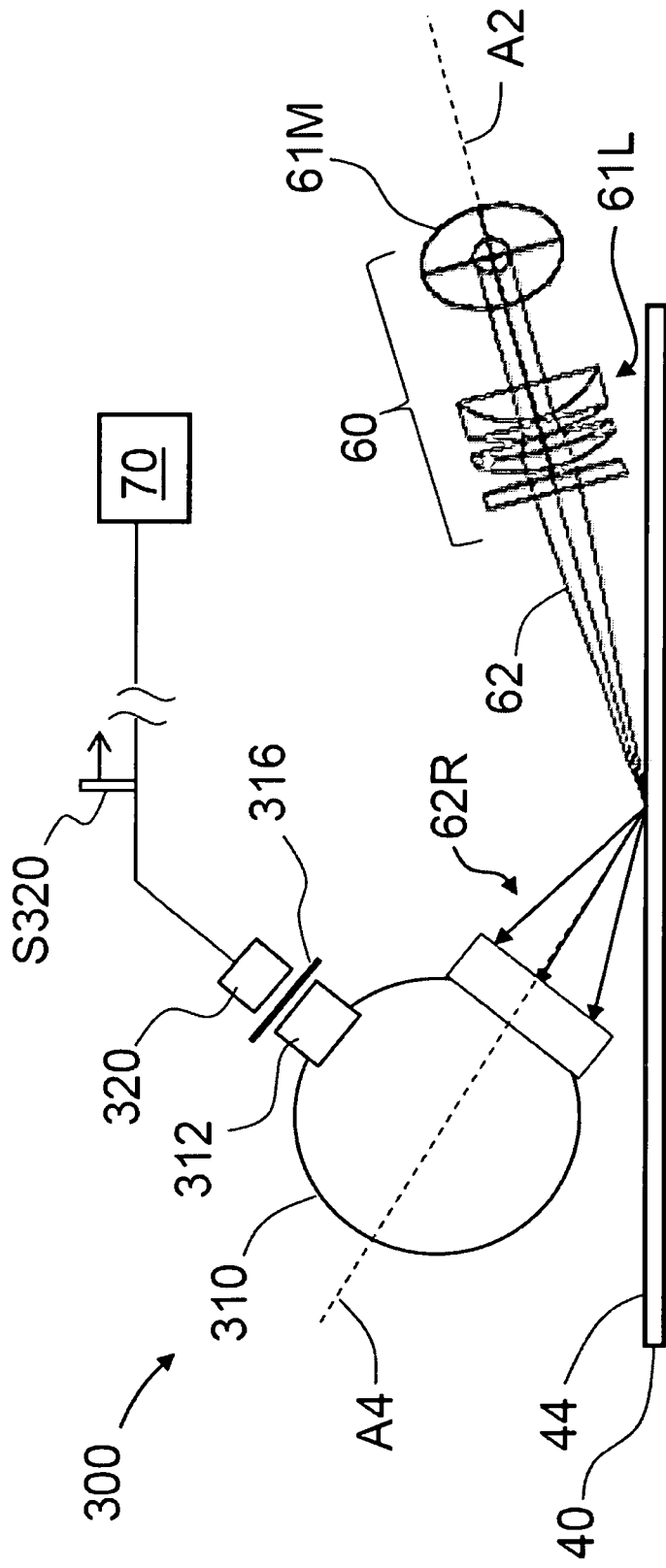
第 13B 圖



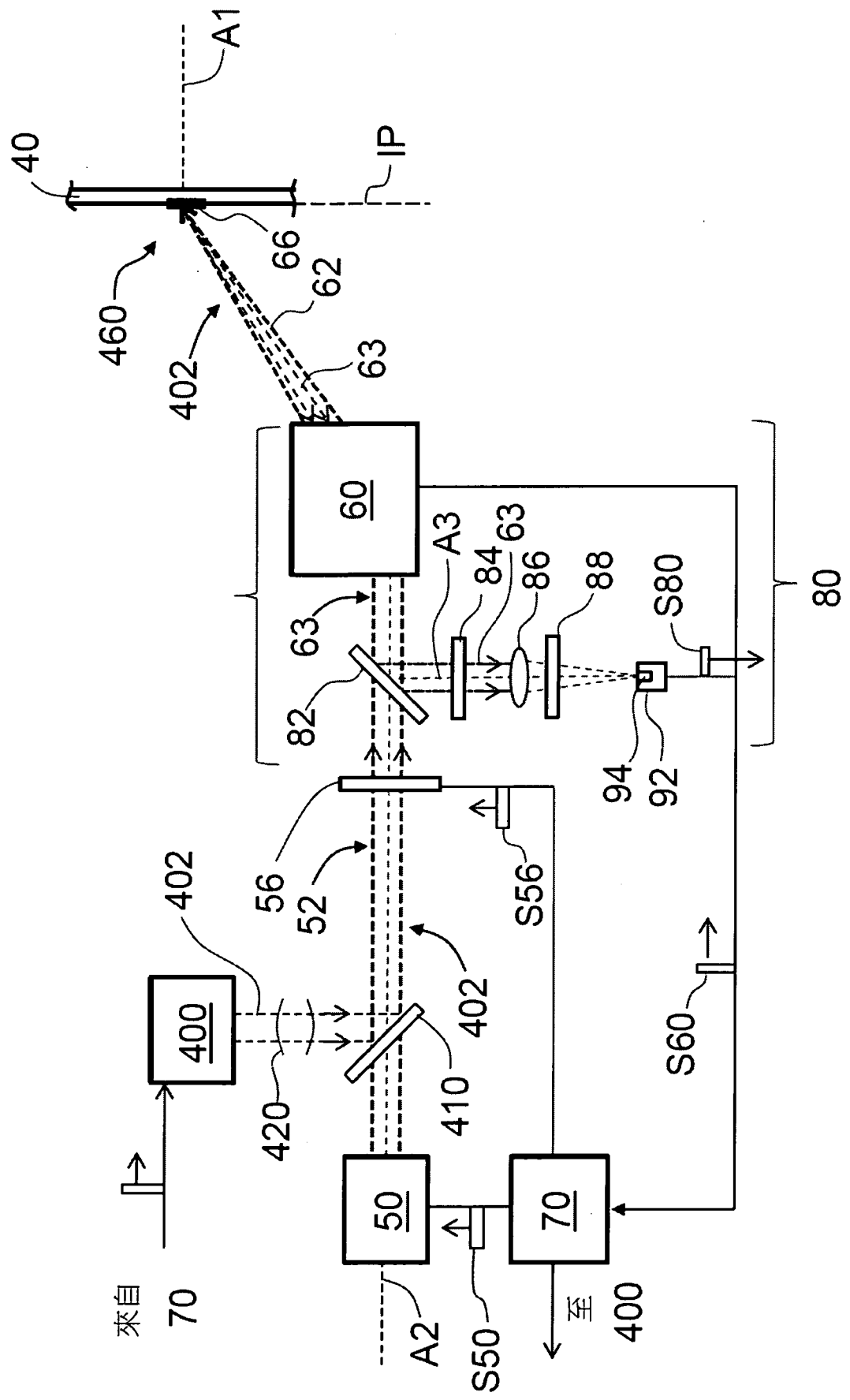
第 13C 圖



第 14 圖



第 15 圖



第 16 圖