



(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 I718087 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：103100936

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 01 月 10 日

(51)Int. Cl. : **B23K26/062 (2014.01)****B23K26/035 (2014.01)****H01S3/10 (2006.01)**

(30)優先權：2013/01/11 美國

61/751,810

(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：昂瑞斯 馬克 A UNRATH, MARK A. (US)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 200720002A

JP 2009-56474A

US 5841099A

US 6370174B1

US 2005/0128553A1

審查人員：蔡豐欽

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：12 共 45 頁

(54)名稱

雷射脈衝能量控制系統及方法

(57)摘要

本發明的系統和方法提供了雷射脈衝能量的控制和/或監測。一個示例的雷射加工設備包括：雷射系統，以產生雷射脈衝的射束；以及脈衝能量控制系統，以調整在脈衝接著脈衝的基礎上的射束中的每個雷射脈衝的脈衝能量。脈衝能量控制系統包括：開環前饋控制路徑，其基於繪製隨著脈衝重複頻率的函數的雷射脈衝能量的校準傳輸曲線而選擇脈衝能量傳輸值。雷射能量監視器測量在雷射脈衝的射束中的每個雷射脈衝的雷射脈衝能量。功率控制迴路可以基於從雷射能量監視器的回饋來進一步調整在雷射脈衝的射束中一個或多個雷射脈衝的脈衝能量。

Systems and methods provide laser pulse energy control and/or monitoring. An example laser processing apparatus includes a laser system to generate a beam of laser pulses and a pulse energy control system to adjust the pulse energy of each laser pulse in the beam on a pulse-by-pulse basis. The pulse energy control system includes an open loop feedforward control path that selects a pulse energy transmission value for each laser pulse based on a calibrated transmission curve that maps laser pulse energy as a function of pulse repetition frequency. A laser energy monitor measures the laser pulse energy of each laser pulse in the beam of laser pulses. A power control loop may further adjust the pulse energy of one or more laser pulses in the beam of laser pulses based on feedback from the laser energy monitor.

指定代表圖：

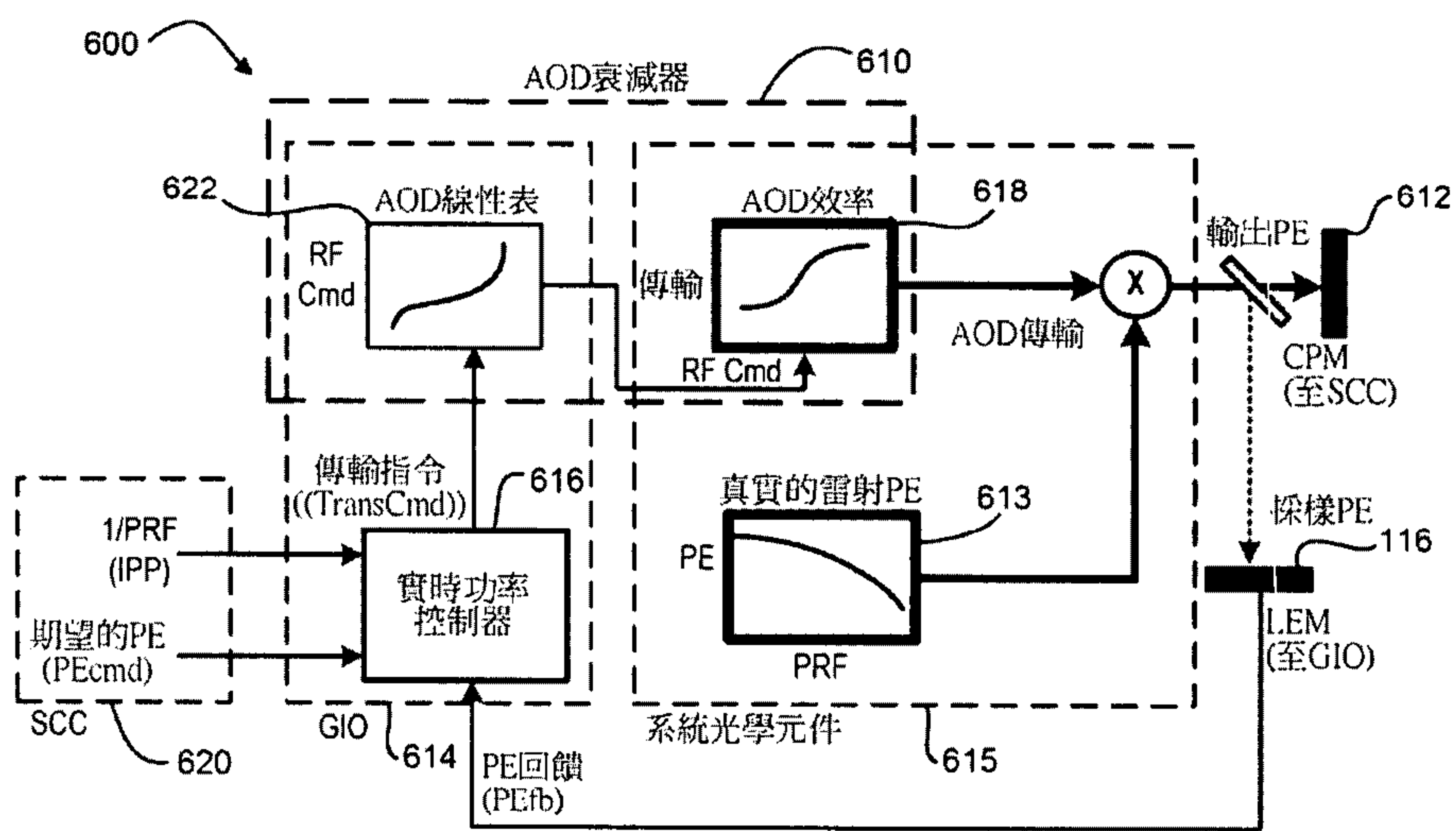


圖6

符號簡單說明：

- 116 . . . 雷射能量監測器
- 600 . . . 雷射功率控制系統
- 610 . . . AOD 衰減器
- 612 . . . 夾頭功率計
- 613 . . . 實際雷射 PE
- 614 . . . 線性模組
- 615 . . . 系統光學元件
- 616 . . . 功率控制器
- 618 . . . 傳輸
- 620 . . . 系統控制計算機
- 622 . . . 線性表

I718087

發明摘要

※ 申請案號：103100936

※ 申請日：103年1月10日

※IPC 分類：B23K 26/062 (2014.01)
B23K 26/035 (2014.01)
H01S 3/10 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

雷射脈衝能量控制系統及方法

LASER PULSE ENERGY CONTROL SYSTEMS AND METHODS

【中文】

本發明的系統和方法提供了雷射脈衝能量的控制和/或監測。一個示例的雷射加工設備包括：雷射系統，以產生雷射脈衝的射束；以及脈衝能量控制系統，以調整在脈衝接著脈衝的基礎上的射束中的每個雷射脈衝的脈衝能量。脈衝能量控制系統包括：開環前饋控制路徑，其基於繪製隨著脈衝重複頻率的函數的雷射脈衝能量的校準傳輸曲線而選擇脈衝能量傳輸值。雷射能量監視器測量在雷射脈衝的射束中的每個雷射脈衝的雷射脈衝能量。功率控制迴路可以基於從雷射能量監視器的回饋來進一步調整在雷射脈衝的射束中一個或多個雷射脈衝的脈衝能量。

【英文】

Systems and methods provide laser pulse energy control and/or monitoring. An example laser processing apparatus includes a laser system to generate a beam of laser pulses and a pulse energy control system to adjust the pulse energy of each laser pulse in the beam on a pulse-by-pulse basis. The pulse energy control system includes an open loop feedforward control path that selects a pulse energy

transmission value for each laser pulse based on a calibrated transmission curve that maps laser pulse energy as a function of pulse repetition frequency. A laser energy monitor measures the laser pulse energy of each laser pulse in the beam of laser pulses. A power control loop may further adjust the pulse energy of one or more laser pulses in the beam of laser pulses based on feedback from the laser energy monitor.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 6 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

116 雷射能量監測器

600 雷射功率控制系統

610 AOD衰減器

612 夾頭功率計

613 實際雷射PE

614 線性模組

615 系統光學元件

616 功率控制器

618 傳輸

620 系統控制計算機

622 線性表

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

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)

雷射脈衝能量控制系統及方法

LASER PULSE ENERGY CONTROL SYSTEMS AND METHODS

【相關申請案】

【0001】 本申請根據35 U.S.C.§119(e)主張2013年1月11日提交的美國臨時申請案第61/751,810號，其藉由引用而將其整體併入本文。

【技術領域】

【0002】 本發明的揭露內容一般涉及雷射加工設備以及使用其之加工工件的方法。

【先前技術】

【0003】 在工件的一個或多個材料內的特徵（例如，通孔、盲孔、溝槽、擊潰、切口和其他特徵）的雷射加工可以是對雷射功率為敏感的。在許多應用中（例如，於這些特徵藉由遞送雷射脈衝在工件上而被雷射加工中），形成特徵的速度或效率且最終地形成的所述特徵的品質可以對遞送到工件上的個別的脈衝的脈衝能量為非常敏感的。例如，當雷射加工例如印刷電路板、可撓性印刷電路或類似物的一工件時，當雷射處理（例如，燒蝕）諸如銅的一導電材料，相對高的脈衝能量可能是令人滿意的，然而，當雷射加工（如燒蝕）一介電材料而不在所述介電材料中引起熱效應（例如，由於炭化及/或熔化）且並不會損壞相鄰材料（如銅），相對低的脈衝能量可能是令人滿意的。

【0004】 控制或調整雷射功率或脈衝能量的常規方法包括衰減光學

元件（例如，偏振光學元件或聲光調整器），或者藉由改變至雷射介質的泵功率而雷射光學輸出功率的直接控制。這些傳統的方法具有缺點，包括緩慢的速度（例如，用於機械調整偏振光學元件）、在雷射傳送中的變化（例如，在雷射介質泵或Q-開關時間的控制中）或者缺乏與雷射加工設備的其他操作的協調。

【發明內容】

【0005】 本發明公開內容的實施例，如本文所述的範例，解決上述討論的限制以及與控制或調整雷射功率或脈衝能量的常規方法相關聯的其它限制。

【0006】 在某些實施例中，系統和方法提供雷射脈衝能量控制及/或監測。一種示例性雷射加工設備包括：一雷射系統，產生雷射脈衝的射束；以及一脈衝能量控制系統，調整在脈衝接著脈衝基礎（pulse-by-pulse basis）上於射束中的每個雷射脈衝的脈衝能量。所述脈衝能量控制系統包括：一開環前饋控制路徑，其基於繪製隨著雷射脈衝重複頻率的函數之雷射脈衝能量的校準傳輸曲線對於每個雷射脈衝選擇脈衝能量傳輸值。雷射能量監視器測量在雷射脈衝的射束中的每個雷射脈衝的雷射脈衝能量。功率控制迴路可以基於從雷射能量監視器的回饋來進一步調整在雷射脈衝的射束中一個或多個雷射脈衝的脈衝能量。

【0007】 從以下參照附圖進行的較佳實施例的詳細描述中，其它的態樣和優點將是顯而易見的。

【圖式簡單說明】

【0008】 圖1示意性地說明了根據本發明的一個實施例的雷射加工設

備。

【0009】 圖2示意性說明了與圖1所示的裝置的各個組件或系統相關聯的掃描場。

【0010】 圖3和圖4以圖形方式說明了根據本發明的某些實施例藉由掃描對於工件的射束位置所產生的斑點的圖案。

【0011】 圖5是示意性說明了形成圖4所示的斑點的圖案的製程的實施例。

【0012】 圖6示意性說明了根據一個實施例的雷射功率控制系統的一些組件。

【0013】 圖7示意性說明了根據一個實施例的雷射功率控制算法。

【0014】 圖8示意性說明了隨著脈衝週期的函數從一典型的雷射功率曲線發展至歸一化 $1/PE$ （脈衝能量）值。

【0015】 圖9說明了根據本發明揭示內容的實施例可以產生的一夾頭功率計（CPM）讀數瞬態。

【0016】 圖10示意性說明了穿過與不同的脈衝週期或脈衝重複頻率相關聯的相繼的製程區段的脈衝同步。

【0017】 圖11是根據一個實施例的示例性LET校準製程的流程圖。

【0018】 圖12是於圖1所示的工件的雷射加工期間根據用於功率控制的一個實施例而可以實現的示例操作順序的流程圖。

【實施方式】

【0019】 示例性實施例參照附圖而描述如下。許多不同的形式和實施例是可能的而不脫離本發明的精神和教導，因此本發明不應該被解釋為限

於本文所闡述的示例性實施例。相反地，提供這些示例性實施例是為了使本公開將是徹底和完整的，並且對熟知本領域的技術人士將傳達本發明的範疇。在附圖中，組件的尺寸和相對尺寸可以被誇大以為了清晰度。本文中使用的術語僅是用於描述具體示例實施例的目的並且不意圖限制。如本文所用，單數形式“一”、“一個”和“該”意圖包括複數形式，除非上下文另有明確說明。將進一步理解的是，術語“包括”及/或“包含”當使用於本說明書中指定所陳述的特徵、整數、步驟、操作、元件及/或組件的存在，但不排除存在或添加一個或多個其它特徵、整數、步驟、操作、元件、組件及/或它們的群組。除非另有規定，如引用時，一個值的範圍既包括該範圍的最高和最低的限制，也包括任何於其間的子範圍。

【0020】如本文所使用的，“功率控制”是用於描述雷射輸出功率的控制的通用術語。但是，本文描述的示例性實施例測量和控制一雷射脈衝的脈衝能量（pulse energy，PE）。對於一給定的脈衝重複頻率（pulse repetition frequency，PRF），雷射功率脈衝功率等於 $PE \times PRF$ 。對於一給定的PRF，PE控制等效於功率控制，並且這兩個術語有時可互換使用。此外，“PRF”可以藉由它的反轉、脈衝週期（pulse period，PP）或脈衝間週期（inter-pulse period，IPP）來指定。通常情況下，機器的用戶參考PRF，但功率控制執行指定脈衝週期。因此，這兩個術語可互換使用在適當情況下的此討論中。

【0021】參考圖1所示，例如雷射加工設備100的一種雷射加工設備被配置為藉由沿著路徑P引導雷射脈衝的射束105以撞擊到工件102上以形成特徵（例如通孔、盲孔、溝槽、擊潰、切口以及其他特徵）在工件102的一個或多個材料內。特徵可以藉由控制雷射加工設備100以執行一個或多個工具

製造的動作（例如，衝擊鑽孔動作、環鋸鑽孔動作、刮削動作、路由動作、切斷動作、其他動作）來形成，其中每個工具製造的動作可以包括一個或多個步驟。如圖所示，雷射加工設備100可包括雷射系統104、夾頭106、工件定位系統108、射束定位系統110和射束調整系統112。雖然未示出，雷射加工設備100進一步可以包括一個或多個補充系統（例如，光學、反射鏡、分束器、擴束器及/或射束準直器），其被配置來塑造、展開、聚焦、反射及/或準直沿路徑P的任何一點處的雷射脈衝105的射束。在一個實施例中，一組的一個或多個補充系統可以被稱為“光學串列”。

【0022】 在一個實施例中，並且如將在本文更詳細地討論的，工件定位系統108c、射束定位系統110以及射束調整系統112的一個或多個或全部的操作可以被控制來改變雷射脈衝的射束105投射到工件102的位置（即，在相對於工件102的射束位置）。在另一個實施例中，正如也將在此更詳細地討論的，工件定位系統108、射束定位系統110以及射束調整系統112的一個或多個或全部的操作可被控制以改變射束位置相對於該工件102變化的速度及/或加速度。

【0023】 所述雷射系統104可以被配置為產生雷射脈衝的射束105。射束105內的雷射脈衝可以是例如具有在紅外、可見光或紫外光譜的波長。例如，射束105內的雷射脈衝可以具有例如1064奈米、532奈米、355奈米、266奈米和類似的波長。射束105內的雷射脈衝可以通常在從大約20kHz到大約2000kHz的範圍中的PRF處產生。然而，應當理解的是，所述脈衝重複頻率可小於20kHz或大於2000kHz。

【0024】 所述夾頭106可以作為能夠適當地和有利地支撐工件102的

任何夾頭來提供。在一個實施例中，夾頭106可以作為真空夾頭、靜電夾頭、機械夾頭或類似物或其之組合來提供。

【0025】 所述工件定位系統108被配置為沿著平行於X軸、Y軸及/或Z軸（其中，Z軸至少基本垂直於所述夾頭106的表面，並且其中所述X軸、Y軸和Z軸相互正交）的一個或多個方向轉移支撐工件102的夾頭106，以轉動夾頭106繞著X軸、Y軸及/或Z軸的一個或多個或類似物或它們的組合。在一個實施例中，工件定位系統108可以包括被配置來移動如上文所討論的夾頭的一個或多個載台。當工件102藉由夾頭106所支撐時，工件定位系統108可被操作以在相對於路徑P的第一掃描場（例如，第一掃描場200，如圖2所示）內（例如，沿X軸和Y軸）移動或掃描工件102。在一個實施例中，工件定位系統108可以被操作以從約400毫米至約700毫米（例如，約635毫米）的範圍內的距離沿著X軸的任何方向、從約400毫米至約700毫米（例如，大約533毫米）的範圍內的距離沿著Y軸的任何方向或者它們的組合掃描工件102。

【0026】 所述射束定位系統110被配置成偏轉、反射、折射、衍射或類似、或它們的組合雷射脈衝的射束105，以在相對於工件102的第二掃描區域（例如，第二掃描場202，如圖2所示）內掃描射束的位置。在一個實施例中，射束定位系統110可以被操作來從約1毫米至約50毫米（例如，約30毫米）的範圍內的距離沿著X軸的任何方向、從約1毫米至約50毫米（例如，大約30毫米）的範圍內的距離沿著Y軸的任何方向或者它們的組合掃描射束的位置。通常，射束定位系統110的操作可以被控制以大於藉由工件定位系統108可以在第一掃描場200內掃描工件102的速度及/或加速度相對於工件102掃描射束的位置。在圖示的實施例中，射束定位系統110包括一對檢流計（電

流計)為基礎的反射鏡110a和110b,其設置在所述路徑P內。每個反射鏡110a和110b被配置成可旋轉(例如,繞著X軸或Y軸),從而偏轉路徑P和掃描在第二掃描場202內的射束的位置。然而,應當理解的是,所述射束定位系統110可以任何其它合適的或有利的方式來配置。

【0027】 所述射束調整系統112被配置成偏轉、反射、折射、衍射或類似、或它們的組合雷射脈衝的射束,以在相對於工件102的第三掃描場(例如,第三掃描場204,如圖2所示)內掃描射束的位置。在一個實施例中,射束調整系統110可以被操作來從約0.05毫米至約0.2毫米(例如,約0.1毫米)的範圍內的距離沿著X軸的任何方向、約0.05毫米至約0.2毫米(例如,約0.1毫米)的範圍內的距離沿著Y軸的任何方向或它們的組合掃描射束位置。本領域的技術人士將會體認到以舉例的方式所提供的這些範圍以及射束的位置可以在更小或更大的範圍內掃描。通常,射束調整系統112的操作可以控制而以太於射束定位系統110可以在第二掃描場內掃描射束的位置的速度及/或加速度相對於工件102掃描射束的位置。在一個實施例中,射束調整系統112包括單一聲光偏轉器(AOD),其配置成偏轉雷射脈衝的射束105以在第三掃描場204內沿著X軸和Y軸掃描射束的位置。在另一個實施例中,射束調整系統112包括兩個AOD,其中第一AOD被配置為偏轉雷射脈衝的射束105和在第三掃描場204內沿著X軸掃描射束的位置以及第二AOD被配置為偏轉雷射脈衝的射束105和在第三掃描場204沿著Y軸掃描射束的位置。然而,應當理解的是,所述射束調整系統112可以任何其它合適的或有利的方式進行配置。例如,射束調整系統112可以包括一個或多個聲光調整器(AOMs)、電光偏轉器(EODs)、電光調整器(EOMs)或類似物或它們的組合以及(或

者作為代替) AOD。

【0028】 所述雷射加工設備100進一步可以包括通信地耦合到所述工件定位系統108的系統控制器114、射束定位系統110、射束調整系統112和雷射系統104。所述系統控制器被配置來控制這些系統(工件定位系統108、射束定位系統110、射束調整系統112及/或雷射系統104)的一個或多個或所有的上述操作，以在工件102內形成特徵(例如，通孔、盲孔、溝槽、擊潰、切口和其他特徵)。在一個實施例中，系統控制器114可以控制雷射系統104的操作(例如，從約20kHz至約2000kHz的範圍內)以改變藉由雷射系統104所產生的脈衝的PRF。

【0029】 在一個實施例中，系統控制器114可以控制射束調整系統112的操作以相對於工件102掃描射束的位置並且在工件102內形成“高特徵密度區域”(例如，包含小於或等於500微米或左右的間距所隔開的特徵的區域)。系統控制器114進一步可以控制射束定位系統110及/或工件定位系統108的操作，同時形成高特徵密度區域。

【0030】 在另一個實施例中，系統控制器114可以控制射束定位系統110的操作以相對於工件102掃描射束位置以及在工件102內的工件102內形成“中特徵密度區域”(例如，包含大於500微米或左右(諸如約1000微米)的間距所隔開的特徵的區域)。系統控制器114進一步可以控制射束調整系統112及/或工件定位系統108的操作，同時形成中特徵密度區域。

【0031】 在又另一實施例中，系統控制器114可以控制射束定位系統110的操作，並且進一步以協調的方式控制射束調整系統112的操作來克服高速速度限制、小面積定位誤差和射束定位系統110的帶寬限制。例如，如果

雷射加工設備100沒有包含射束調整系統112，射束定位系統110可被控制以相對於工件102掃描射束位置，致使射束內的雷射脈相繼地撞擊工件102，以形成如圖3所示的光斑的圓形圖案（如圖所示，光斑的圓圈形圖案具有約600微米的最大寬度）。但是，藉由射束調整系統112和射束定位系統110的協調操作，雷射加工設備100可以被配置以形成如圖4所示的光斑的方形圖案（如圖所示，光斑的方形圖案具有約600微米x約600微米的尺寸）。

【0032】 在一個實施例中，並且參考圖5，在圖4所示的光斑的圖案可以藉由控制射束定位系統110以在第二掃描場202內沿著諸如線500的一條線掃描射束位置，並且射束調整系統112可被控制以進一步在第三掃描場204（其中心位於線500的端部）內沿著一個方向（例如，藉由線502所指示，其中心在第三掃描場204內）掃描射束位置，使得雷射脈衝相繼地撞擊到工件102，以形成光斑504的方形圖案（例如，如圖4所示）。通過應用相對於圖5的上述討論的示例性製程，射束位置可以每秒約5公尺（公尺/秒）的速率在工件上方被掃描。然而，應當理解的是，射束調整系統112的操作和射束定位系統110的操作可以任何方式進行協調，從而在工件102上形成光斑的任何合適的或有益的圖案。

【0033】 一般而言，系統控制器114可以包括操作邏輯（未顯示），其定義各種控制功能，並且可以為專用硬體的形式，諸如硬連線狀態機、處理器執行編程指令及/或為本領域技術人士熟知會發生的不同的形式。操作邏輯可以包括數位電路、模擬電路、軟體或任何這些類型的混合組合。在一個實施例中，系統控制器114可包括處理器，例如可編程微控制器、微處理器或其它處理器，其可以包括根據操作邏輯安排成執行存儲在記憶體中

的指令的一個或多個處理單元。記憶器（例如，計算機可讀介質）可包括一種或多種類型，例如半導體、磁性及/或光學的種類、及/或可為揮發性及/或非揮發性種類。在一個實施例中，記憶體存儲可以藉由操作邏輯所執行的指令。可替代地或另外地，記憶體可以存儲藉由操作邏輯所操縱的數據。在一個配置中，操作邏輯和記憶體被包含在操作邏輯的控制器/處理器的形式中並且控制工件定位系統108、射束定位系統110及/或射束調整系統112的操作態樣，儘管在其它配置中它們可能是分開的。

【0034】 如本文所述，雷射加工設備100被配置為能使射束定位系統110和射束調整系統112的協同操作，以高速形成具有高精確位置的特徵。在其它實施例中，並且如後所述，雷射加工設備100進一步可以包括雷射功率控制（LPC）系統，其具有例如射束調整系統112和系統控制器114以及其它系統，諸如雷射能量監測器（LEM）116以及如將在下面更詳細地描述的其他組件、系統和子系統。一般地，LPC系統可以被配置為測量個別雷射脈衝的脈衝能量（例如，用於質量和控制的目的）、控制個別雷射脈衝的脈衝能量、促進對脈衝能量和PRF的快速變化、協調個別雷射脈衝的脈衝能量控制和射束位置、協調雷射脈衝的生成和調整、或類似或它們的組合。

A. 脈衝能量計量

【0035】 為了測量個別雷射脈衝的脈衝能量，雷射加工設備100進一步可以包括上述的LEM 116和分束元件118（例如，部分透射鏡、衍射射束分離器或類似物或它們的組合）。分束元件118被配置在射束定位系統110和射束調整系統112之間的路徑P內，並且被定向或以其它方式被配置為傳送射束105內的每個脈衝的一部分（例如，從能量的約1%至約2%的範圍內）

並且沿著朝向工件102的路徑P反射在射束105內的每個脈衝的剩餘部分。傳送通過分束元件118的射束105的部分可以被稱為採樣射束119。

【0036】 在一個實施例中，LEM 116被配置成藉由整合採樣射束119內的每個個別雷射脈衝的功率來測量採樣射束119內的每個雷射脈衝的脈衝能量。為了整合每個個別雷射脈衝的功率，LEM 116可以包括光電檢測器（如光電二極體，圖中未顯示，其配置成藉由所述採樣射束119內的脈衝而入射）以及一個或多個高速放大器、積分器和模擬-數位轉換器（ADC）。光電二極體可以被配置為將入射的雷射脈衝轉換成電流。電流然後可以藉由高速放大器而被放大及/或過濾。積分器（例如，可重置的積分器）然後整合經放大及/或濾波的電流以建立一訊號，該訊號正比於入射的雷射脈衝的總脈衝能量。積分器可以被重置（例如，在系統控制器114的控制之下），只要在雷射脈衝撞擊到光電二極體之前保持積分器在有效電壓範圍內。

【0037】 在某些實施例中，ADC然後讀取所述積分器的輸出兩次：第一ADC讀數可被執行在積分器被重置之後，但在雷射脈衝撞擊到光電二極體上之前；以及然後第二ADC讀數可以執行在雷射脈衝撞擊到光電二極體之後。在一個實施例中，兩個ADC讀數之間的延遲可以是固定的（例如，基於雷射的脈衝寬度、任意調節放大器的帶寬、或類似或它們的組合）。在另一個實施例中，兩個ADC讀數之間的延遲可以是可變的以計算隨著PRF的函數的脈衝寬度中的變化。對於採樣射束119內的任何特定的脈衝，兩個ADC讀數之間的差異可以根據光電二極體和電放大增益來縮放，並且可以解釋為表示（例如，作為“PE數據”）最終將撞擊到工件102上的相應的雷射脈衝的剩餘部分的脈衝能量脈衝能量（例如，給定的 μJ ）。在一個實施例

中，ADC可以讀取積分器輸出三次（例如，第二ADC讀數之後）來估計到積分器的光或電子偏壓輸入。這個估計的偏壓可以從測得的脈衝能量中減去，以提高耐用性，防止電偏壓中的熱變化或者光檢測器上的環境光的作用。

【0038】 應當理解的是，在ADC之前的放大器的設計會影響LEM 116的性能，並且這種設計的權衡可以進行在帶寬（穩定時間）、噪聲和增益之間。為了轉換在從約20kHz至約200kHz的範圍內的脈衝重複率的脈衝能量讀數，在ADC之前的放大器可以被設計成使得積分器的輸出穩定到在脈衝週期時間內（即， $1/PRF$ 內）的所需的脈衝能量轉換容限內。通過如上所述使用LEM 116測量脈衝能量，採樣射束119內的每個個別雷射脈衝的脈衝能量可以被測量，而不是相繼撞擊至光電二極體上的一個系列的雷射脈衝的平均功率。測量每個個別脈衝的脈衝能量，個別雷射脈衝的脈衝能量也可以被控制在一脈衝接著脈衝基礎上，並且在最終傳遞到工件102的雷射脈衝的脈衝能量中的誤差可以被修正在一脈衝接著脈衝基礎上。

B. 脈衝能量控制

【0039】 針對個別脈衝的脈衝能量的控制可以使用射束調整系統112來實現。在射束調整系統112包括一聲光（AO）裝置（例如，AOD、AOM）的一個實施例中，通過AO裝置發送的製程雷射束功率的小部分可以藉由改變施加到AO裝置的射頻（RF）功率的水平來控制。在雷射加工製程中，個別的雷射脈衝的脈衝能量可以藉由在脈衝接著脈衝基礎上適當地或有益地控制施加到AO裝置的RF功率來進行控制。諸如AOD和AOM的AO裝置具有非線性傳輸特性（與施加的RF功率相對）。因此，可能期望將這樣的AO裝

置的非線性傳輸特性繪製成線性傳輸響應。在另一個實施例中，射束調整系統112包括一電光（EO）裝置（例如，EOD、EOM）。例如，一EOM可以用來改變傳輸到工件102的處理雷射束功率的小部分。

【0040】 無論用於控制射束105內的雷射脈衝的脈衝能量的特定裝置，所使用的裝置應該足夠快以在脈衝接著脈衝基礎上進行操作，這可能需要約20kHz至約2000kHz的更新速率。藉由控制在脈衝接著脈衝基礎上的個別雷射脈衝的脈衝能量，雷射系統104可以恆定的PRF“自由運行”並且由雷射系統104產生的任何雷射脈衝的脈衝能量可以藉由射束調整系統112而被控制（例如，部分地衰減或完全衰減，從而被“消隱”至零功率）。如果雷射系統104的操作進行控制以啟動和停止產生雷射脈衝，消隱的脈衝雷射可提高雷射系統104（例如，標示、功率及/或射束品質的術語）的穩定性，其可受雷射系統104內的溫度變化所影響。

C. 脈衝能量刻度

【0041】 如上所述，在雷射加工設備100可以被配置為改變藉由脈衝接著脈衝基礎上的雷射系統104所產生的個別雷射脈衝的脈衝能量，並且可以改變生成雷射脈衝的PRF。在一個實施例中，雷射加工設備100可以被配置為非常迅速地改變脈衝能量及/或PRF（例如，一個脈衝間週期（IPP）內或在幾個脈衝間週期內，其中脈衝間週期對應於1/PRF）。在另一個實施例中，脈衝能量和PRF可以同時改變。當改變PRF及/或脈衝能量時，隨著PRF的函數的脈衝能量的校準可能是有用的。例如，一特定的工具製造的動作可以在在一個步驟中藉由以相對高的脈衝能量以及相對低的PRF發送雷射脈衝至工件102以及然後在隨後的步驟中以相對較低的脈衝能量以及相對

高的PRF發送雷射脈衝至工件102來被執行。依賴於脈衝能量輸出的回饋控制可能太慢，因為許多脈衝需要允許控制器來適當地調整傳輸以達到所期望的脈衝能量設定點。藉由實施開環前饋控制路徑（藉由脈衝能量與PRF相對繪製所支持），脈衝能量的變化可以迅速地實現而無需依賴較慢的回饋控制路徑。這可以在加工開始之前藉由繪製脈衝能量與PRF相對之間的關係來完成。由於雷射的特性可以隨時間而改變，這種繪製可以被週期性地重新更新，例如，在加工每個工件之前。

D. 脈衝能量控制與射束位置的協調

【0042】 根據本文公開的實施例，脈衝能量測量和脈衝能量控制可以被用於協調傳遞到工件102的特定雷射脈衝的脈衝能量與相對於工件102的特定雷射脈衝的射束位置。在一個實施例中，這種協調可以通過將雷射加工指令（例如，從系統控制器114發出至雷射系統104、工件定位系統108、射束定位系統110及/或射束調整系統112中的一個或多個）劃分成一系列分離的“製程區段”，其各自包括描述射束位置、雷射脈衝的脈衝能量設定值(可稱作“脈衝能量數據”)、或類似的資訊或者它們的組合。因此，系統控制器114可以包括區段加工子系統，其配置成過濾、劃分、加工或以其他方式轉換包含在每個“處理區段”中的資訊成射束位置指令和雷射脈衝能量指令。射束位置指令可以通過系統控制器114的射束位置控制子系統而執行，並且該雷射脈衝能量指令可能藉由雷射功率控制子系統來執行。

【0043】 在一個實施例中，區段加工子系統和雷射功率控制系統可以每個包括實時控制器。當射束位置指令從系統控制器的射束位置控制子系統114傳輸到工件定位系統108、射束定位系統110和射束調整系統112中的一

個或多個時，這些組件的一個或多個的操作可被控制，從而控制相對於工件102射束位置的定位。當雷射脈衝能量指令從系統控制器114的雷射功率控制系統傳遞到雷射功率控制系統、雷射系統104、工件定位系統108、射束定位系統110和射束調整系統112中的一個或多個時，這些組件的一個或多個的操作可以被控制，從而控制相對於工件102射束位置的定位。適當的同步時間延遲被包括在某些實施例中，以正確地將雷射脈衝的產生與射束位置同步。

【0044】 在一個實施例中，同步製程用於將射束內105的一系列的連續的雷射脈衝（例如，“雷射脈衝串列”）以相對於工件102的射束位置同步輸送至工件102。常見的雷射脈衝串列內的雷射脈衝可以具有（至少基本上）相同的脈衝能量以及藉由脈衝間週期（這裡也稱為簡單地作為“脈衝週期”）而（至少基本上）在時間上彼此間隔開的，使得雷射脈衝串列可以通過（至少基本上）均勻PRF為特徵。製程區段可能開始在任意時刻，並且可能不一定被同步到由雷射系統104產生的現有的脈衝串列（例如，基於雷射系統104本身的特徵或者基於由系統控制器114的外部控制）。製程區段通常與期望的雷射脈衝PRF(可稱作“時序數據”)和射束速度相關聯，以保持在工作102的射束位置的所期望的間隔（“咬口尺寸（bite size）”）。雷射脈衝串列可以在雷射系統104內而內部地產生，或者從雷射系統104的外部產生。製程區段的持續時間可以被設計成使得發射雷射脈衝的整數倍，其具有發射到所希望的工件位置的第一和最後一個雷射脈衝（在一些可接受的容差內，例如，<光斑直徑的5%-25%）。因此，在某些實施例中，第一雷射脈衝（在時間上）相對於製程區段的開始同步。

【0045】 在一個實施例中，第一雷射脈衝是藉由修改雷射脈衝指令串列而相對於製程區段的開始來同步，使得有效的雷射脈衝以相對於製程區段的開始的正確時間被發出。將會理解的是，許多雷射器產生最小值的PRF的雷射脈衝，以避免由於過大的脈衝能量（通常是正比於脈衝間週期）而損壞雷射系統104。為了避免不希望有的大的脈衝週期，用於新的製程區段（在用於所述製程區段所期望的PRF）的雷射脈衝串列的開始可以相對於先前產生的脈衝串列的結束來延遲，使得一個脈衝間週期被插入在兩個相繼地產生的雷射脈衝串列之間，其中，所述插入的脈衝間週期比與過大的能量脈衝相關聯的不期望地大的脈衝間週期還小。延遲一新的製程區段的上述製程可以在本文中被稱為“雷射脈衝串列再同步”。雷射脈衝串列再同步可以發生在當雷射脈衝的脈衝能量如上述被消隱的期間（例如，可能當射束位置從經加工後的特徵移動到工件上的新的特徵將被形成的另一個區域上時典型地發生，本文中被稱為“特徵間移動”）。在此再同步期間，雷射脈衝能量藉由射束調整系統（即，響應於輸入於此的再同步傳輸指令）被衰減至零或接近零。在另一個實施例中，例如，雷射脈衝串列是外部地生成的，製程區段之間的時間週期可以被調整以同步雷射脈衝和製程區段時序。

E. 射束調整協調與脈衝生成

【0046】 根據本文公開的實施例，AO裝置RD指令（振幅和頻率）可與入射到射束調整系統112的雷射脈衝串列同步。AO裝置RF波形的指令更新時序可以相對於由雷射系統104所產生的雷射脈衝為任意的。在一些實施例中，當雷射脈衝穿過AO晶體時，針對AO晶體內的聲波（由所施加的RF

指令而生成) 不含有瞬變為理想的。這樣的瞬變可能扭曲雷射脈衝的振幅或波前，並且有害地影響在工件102處的雷射加工的品質。為了避免這樣的瞬變，藉由雷射系統104的雷射脈衝的生成和射束調整系統112的AO裝置內所產生的雷射脈衝的調整可以被同步。在一個實現中，AO裝置RF指令可以針對圍繞每一個雷射脈衝的時間封包內的一可配置的時間週期而保持恆定。這允許AO裝置RF指令變為獨立地生成，而不考慮雷射脈衝生成的時序的細節。在一個實施例中，雷射脈衝的生成和調整的同步可能直接發生在與雷射系統104相關聯的控制器（未示出）和射束調整系統112。

F. 示例性雷射功率控制系統

【0047】 已經描述了與測量個別雷射脈衝的脈衝能量（例如，用於品質和控制的目的）、控制個別雷射脈衝的脈衝能量以促進對脈衝能量和PRF的快速變化、協調個別雷射脈衝的脈衝能量控制與射束位置以及協調雷射脈衝的生成和調整之相關聯的示例性實施例，雷射功率控制系統600以及其操作的示例性實施例現在將參考圖6和7來討論。在有關圖6和7所討論的示例性實施例中，上述的射束調整系統112將提供以作為AOD裝置（例如，被建構為偏轉雷射脈衝的射束105以沿著個X軸和Y軸中的一者或兩者在第三掃描場204內掃描射束位置），並且將在下文中被簡稱為“AOD”。

【0048】 參考圖6和7，圖6所示的示例性雷射功率控制系統600包括AOD功率和控制線性模組614和系統光學元件615。系統光學元件615可以包括例如圖1中所示的雷射系統104和圖7中所示的AOD光學元件711。雷射脈衝能量表或者簡化的雷射能量表（LET）710描述了在工件102與PRF相對的脈衝能量的可用值。LET 710可以在加工工件102之間進行校準以建立雷射系統

104和任何補充系統的性能的模型。AOD衰減器610藉由改變AOD光學元件711的傳輸而執行校準的光學功率衰減。也包含在雷射功率控制系統600內的上述LEM 116和夾頭功率計（CPM）612可以提供回饋以校準和控制通過通用輸入/輸出（IO）控制器（GIO）而傳輸到工件102的個別雷射脈衝的功率（例如，實時的通用IO控制器）。GIO可以被實現以作為圖1中所示的系統控制器114的一部分，或者可以是分開的。在這個例子中，GIO包括其他組件之間的AOD控制和線性模組614（在圖6和圖7所示）和可選的功率控制迴路（PCL）712（在圖7中示出）。如圖6所示，AOD控制和線性模組614包括實時功率控制器616和AOD線性表622。

【0049】 在雷射加工以在工件102內形成特徵期間，諸如LET 710、AOD衰減器610、LEM 116、CPM 612以及功率控制器616的功率控制組件可以協調實時功率控制和監測。LET 710是用來計算用於給定的脈衝能量（PE）和PRF設定點的標稱AOD傳輸適合。LEM 116及/或CPM 612驗證從所施加的AOD傳輸得出且傳遞到工件102的雷射脈衝的功率。當充分校準時，LET 710和AOD衰減器610允許功率控制器616以實現在脈衝接著脈衝基礎上的雷射脈衝能量的開環控制，假如由雷射系統104所產生的雷射脈衝的雷射功率（也在本文稱為“雷射頭輸出功率”）在週期的LET校準和AOD校準更新之間保持（至少基本上）穩定。在某些實施例中，PCL 712藉由不斷地調整AOD傳輸指令來調整來自雷射系統104的短期雷射功率波動，以維持所指令的PE，不管在原始雷射脈衝能量輸出的任何變化。上述功率控制組件的操作和校準如下所述。

1. 雷射脈衝能量表（LET）

【0050】 在雷射加工設備100中，雷射頭輸出脈衝能量是PRF的函數，並且這個函數隨時間而變化以作為雷射年齡。LET 710表示對於任意的PRF在最大AOD傳輸的工件102（在此也稱為“工作PE”或“工件PE”）處可用的雷射脈衝能量。LET 710是用來計算所需的AOD傳輸的最佳估計以提供在所需的PRF處的所要求的雷射工件102 PE。LET 710描述實際雷射PE 613（即，藉由如圖1所示的雷射系統104所產生的雷射PE）在工件102（PElaser）處為可用的。這不同於（並且可能高於）所指定的系統雷射功率，其用於引導雷射加工的安裝。所指定的系統雷射功率限制可以藉由分離的功率限制表來進行說明，這個表格是預先定義的以用於給定的系統設計（雷射和光學序列配置）並且既不進行校準也不更新。

【0051】 所需的AOD傳輸等於 PE_{cmd} / PE_{laser} ，其中 PE_{cmd} 是經選擇或指令的PE以及 PE_{laser} 是在工件上的實際的雷射PE（或真實的雷射PE）。如果LET 710提供隨著PRF的函數的 $1/PE$ 雷射，所需的傳輸可以藉由簡單的乘法而計算，如圖7所示。LET 710表的縮放和實現可以藉由分離出固定的縮放因子（ K_{pwr} ）714而進一步簡化，使得LET 710查詢表包含隨著脈衝週期（ $1/PRF$ ）的函數的衰減係數（ ≤ 1 ）。 K_{pwr} 714和LET 710表值的乘積然後在所需要的傳輸中導出以產生所要求的PE/PRF結合。

【0052】 LET條目是從雷射功率數據所生成。圖8示出由示例性雷射功率曲線的進展（例如，在雷射功率和PE與PRF相對的方面來說），對著隨著脈衝週期的函數的PE，對著隨著脈衝週期的函數的歸一化的 $1/PE$ 值。縮放因子 K_{pwr} 714被計算以在包含最低雷射PE（即，最大傳輸情況）的PRF處提供正確的傳輸。在雷射PE較高的所有其他的脈衝週期，LET條目是 <1.0 ，

並且傳輸可以適當地按比例縮小。

【0053】 在一個實施例中，LET 710可以被用於實現適應速度加工，其中當藉由雷射系統104所產生的雷射脈衝的雷射功率隨時間降低，射束位置相對於工件102進行掃描的速度和雷射PRF可以（例如，自動地）調整，以維持期望的咬口尺寸和脈衝能量。適應速度加工也可以允許相對未加工的雷射系統104的較大功率，以最大限度地利用以在整個雷射器的使用壽命中提高產量。

2. AOD衰減器

【0054】 通過被偏轉的射束105的光學傳輸的衰減，AOD提供用於射束偏轉和功率控制兩者。如上面所討論，傳輸可以藉由改變施加至AOD單元的RF功率水平而進行調整。AOD的傳輸（即，傳輸618的衍射效率或AOD效率）的變化是所施加的RF功率和頻率的非線性函數。這種非線性關係被校準以線性化實際傳輸與指令傳輸相對。

3. LEM和CPM

【0055】 如上面所討論，LEM 116可以針對每個個別的雷射脈衝讀取雷射脈衝能量（PE）值，並從中產生PE數據。PE數據被同步到雷射系統104的雷射Q開關指令，其在指定的PRF處運行，且非同步至數位訊號處理器（DSP）採樣週期。LEM讀數針對偏移和縮放因子進行修正，以將它們轉換成PE數據。根據某些實施例，LEM 116提供與雷射脈衝能量相關的數據 - 而不是雷射功率。如果需要的話，LEM PE數據可以藉由瞬時雷射PRF乘以PE被轉換成雷射功率。DSP（以及通過非實時指令的系統控制計算機（SCC）620）可以（通過數據記錄器）提供對單一採樣功率讀數或一連串功率讀

數的使用。

【0056】 CPM 612是系統中用於功率測量的參考感測器。LEM讀數可以對著CPM 612校正，以確保實時功率設置和監控的準確性。

G. 功率校準

【0057】 為了測量雷射能量和控制雷射功率，雷射加工設備的某些組件可能需要校準。在一般情況下，然而，校準和功率設置方法可以概括如下：(1) CPM 612對著外部參考來校準；(2) LEM 116使用CPM 612而校準；(3) LET 710使用LEM 116來校準；(4) AOD衰減線性使用LEM 116來校準；(5) 對於給定的PE/PRF設定點，標稱AOD傳輸（NomTrans）根據LET 710來計算；(6) 在應用加工期間，LEM回饋被用來監測功率錯誤情況，並且可以選擇性地用於微調實時的AOD傳輸指令；以及(7) LEM校準716可以定期更新，以隨著光學傳輸變化保持LEM校準。校準步驟的詳細情況如下所述。

1. CPM校準

【0058】 在CPM校準期間，或者在後續操作中的CPM 612的任何使用期間，在允許功率變化之間的穩定週期（如3秒）之後，CPM讀數（功率和偏移兩者）在時間週期（例如，2秒）上且於一個數量的讀數（例如，100個讀數）上被平均。圖9顯示了可以根據本發明的實施例來產生的CPM讀數瞬態。CPM讀數可以用於CPM偏移而進行調整，其可以對功率計溫度為敏感的。偏移可以在每次使用CPM 612期間進行測量。為了最大限度地提高精確度，CPM偏移（具有所施加的零雷射功率）可以在經提供功率的讀數之後來讀取，減少由於CPM加熱的熱誤差。如上述的相同平均化製程可以使

用。

2. 雷射能量監控器 (LEM) 校準

【0059】 脈衝能量的LEM讀數針對偏移和縮放進行修正，從而導致LEM PE讀數PElem（例如，以 μJ 為單位），根據以下內容：

$$\text{PElem} = (\text{LemCount} - \text{LemOffset}) * \text{LemSF},$$

其中LemCount是來自LEM 116的原始ADC讀數，其中LemSF和LemOffset是藉由測量一系列的功率水平與LEM 116和CPM 612兩者而從零到最大功率來計算。

【0060】 LEM校準716可以是作為用戶互動程序和自動程序兩者為可利用的（例如，在雷射加工設備100的運行期間）。在一個實施例中，用戶互動程序包括所收集的數據和最佳擬合線的顯示，並且測量統計數值。自動化的程序可以是以相應的錯誤檢測和報告而自動運行。每個LEM校準716後，更新的SF和偏移值可以被記錄在用於診斷和光學降級的追蹤的日誌中。在某些實施例中，LEM驗證例程係設置，其重複LEM校準716，但是使用現有的校準數據來產生用於顯示和統計數值報告的曲線擬合線。在一個實施例中，為了進行校準LEM 716所需要的時間小於1秒。

3. AOD線性校準

【0061】 AOD線性校準建立用於AOD衰減的線性表622。但應當理解的是，AOD線性校準程序簡單地線性化AOD傳輸618（即，AOD線性表622是用於線性化AOD的非線性傳輸響應，如示意性地藉由AOD效率傳輸618與RF指令相對來表示），並且不取決於（即，為不敏感）雷射系統104或光學串列的特性。如果這個測試是運行在固定的PRF，偕同PRF的傳輸損耗或雷

射功率變化都是無關緊要的。雖然這個校準採用針對回饋的LEM 116，回饋只需要是線性的。校準算法可以忽略LEM縮放和偏移。因為對於固定的雷射PRF的LEM 116的線性誤差相對較小（例如， $< 1\%$ ），LEM校準716不是用於AOD線性校準的先決條件。

【0062】 AOD線性校準可以在運行期間中作為用戶互動程序和自動程序兩者為可利用的。在一個實施例中，用戶互動程序包含相關數據和進度更新的顯示。在一個實施例中，自動化程序是以合適的錯誤檢測和報告而自動運行的。在進行的自動重新校準之前，有利於驗證AOD線性性能（例如，在重新校準之前使用現有的線性數據）以及記錄在用於診斷追蹤的日誌中的最大誤差。此外，在某些實施例中，每一個新的線性表存儲在時間標記的文件，以支持AOD性能追蹤。

4. 雷射脈衝能量表（LET）校準

【0063】 在LEM 116對著CPM 612校準之後，LET 710採用LEM讀數校準。這允許LET校準只在面板加工之前快速運行，提供能夠支持開環實時功率控制的有效校準。使用LEM讀數的LET校準提供了快速校準（例如， < 1 秒），因為LEM 116沒有響應滯後時間。使用LEM 116作為參考感測器適當地產生雷射降級效果。LEM的116和工件102之間的傳輸損耗佔LEM校準716的誤差範圍內。由於在LEM 116和工件102（或CPM 612）之間的光學傳輸損耗的變化，LEM 116定期重新校準。

【0064】 在某些實施例中，LET校準可作為用戶互動程序、全自動程序或它們的組合為可利用的。（在系統校準期間典型地進行的）互動程序允許用戶檢視數據結果並且指定用於自動程序的校準參數。自動程序可以在

每一個雷射加工工件102之前運行，不一定需要任何用戶互動，除非是在錯誤的情況下。

【0065】 在LET校準期間，AOD傳輸指令在整個AOD偏轉範圍的最大線性傳輸處保持恆定。圖11是根據一個實施例的LET校準製程1100的流程圖。LET校準製程1100包括移動1110到CPM 612以轉儲功率。用於自動LET校準，根據某些實施例，自動LET校準是在先前的雷射加工順序的結束處執行以最小化附加費用。LET校準製程1100進一步包括在整個全部校準AOD範圍上指揮1112 AOD傳輸至最大傳輸。用於遮住雷射的操作PRF範圍的預定數目的PRF設置（例如，至少20 PRF設置），LET校準製程1100重複：設置1114 PRF到下一個校準值；打開1116雷射系統104；以及收集1118 LEM數據在當前PRF值的樣本的所選數目（例如，至少1000個樣本）。收集1118 LEM數據樣本進一步可以包括施加LEM校準716以將數據轉換到 μJ ，並且存儲（針對校準數據的）平均值和（針對診斷的）標準偏差。LET校準製程1100進一步包括查詢1120是否存在覆蓋雷射的操作PRF範圍的PRF設置的預定數目中的額外PRF設置。如果有額外PRF設置，LET校準製程1100返回到設置1114 PRF至下一個校準值，打開1116雷射系統以及收集1118 LEM數據在當前（下一個）PRF值的樣本。

【0066】 一旦LEM數據被收集以用於每個PRF設置，LET校準製程1100進一步包括嵌合1122曲線至所得的PE與PRF相對的數據來過濾在每個PRF設置處的短期雷射波動，以及查詢1124錯誤是否是在LEM測量被檢測出。如果在任何PRF設置的LEM測量的標準偏差超過第一預定閾值（例如，5%），或者如果任何PRF設置的曲線擬合和平均PE讀數之間的差異超過第二

預定閾值（例如，1%），LET校準製程1100包括報告1126錯誤。LET校準製程1100包括在曲線擬合多項式的基礎上建立1128歸一化（例如，最大為1.0，如圖8所示）的1/PE與IPP相對的查詢表。IPP是藉由例如40奈秒的整數倍所指定。在某些實施例中，查詢表包括整個雷射器的操作範圍內用於IPP的所有有效條目。例如，一個雷射系統可以操作在從40kHz至90kHz的PRF範圍內，導致25微秒至11.1微秒的IPP，或者278至625計數（348個條目）的40奈秒IPP。LET校準製程1100進一步包括下載1130 LET校準表至GIO。

【0067】 在某些實施例中，包括上文所討論的互動校準製程，LET校準製程1100進一步包括圖形地顯示1132所產生的數據。在這種實施例中，數據標繪圖呈現以用於綜述，其可以包括下面的例子：用於在覆蓋所得的多項式擬合曲線的每個測試PRF數據點處的最小、最大和平均LEM讀數的數據點；在每個PRF數據點處的LEM讀取的標準偏差（以平均值的%）；及/或用於每個PRF數據點的曲線擬合和平均讀數（例如，以平均值的%）之間的差異。

【0068】 此外，或在其它實施例中，LET校準製程1100包括執行1133 LET驗證程序來驗證性能。示例性LET驗證程序包括：單點測試，其中用戶指定了工件102功率和PRF，並且在CPM 612處讀取所產生的功率；及/或自動驗證程序，類似於AOD線性驗證，其掃過在特定的脈衝能量設置處的所有脈衝週期。回饋是從LEM 116取得。誤差以圖形地報告而作為PRF的函數。

H. 實時功率控制

【0069】 在一個實施例中，因為GIO具有Q-開關（QSW）時序、LEM讀數、IPP指令和PE指令的使用，GIO實現實時功率控制。如上所述，功率

控制指令可以與至雷射系統104內雷射脈衝產生的QSW時序的指令同步。在某些實施例中，有效LEM讀數只能在QSW指令使雷射系統104產生雷射脈衝之後為可用的。由於DSP和GIO之間的雷射指令的排列，DSP具有對相對於雷射指令的LEM回饋數據的時序的有限的知識。封包GIO內的功率控制功能簡化了數據處理和錯誤報告。

【0070】 在一個實施例中，根據未加工校準LET 710下載到GIO只是在面板加工之前，實時功率控制是開環的。來自LEM感測器的PE回饋(PEfb)被修正以用於縮放因子和偏移。PEfb從對應的PE指令(PEcmd)減去而提供用於錯誤檢查的PE錯誤。注意的是，PEcmd可以實時地改變，並且因此GIO從相應的PEcmd訊號中減去PEfb。

【0071】 GIO功率控制器616流動PEfb、PE誤差(PEerr)以及傳輸指令(TransCmd)至DSP以用於錯誤檢查和診斷記錄，這將在下面更詳細地描述。注意的是， $PEcmd = PEfb + PEerr$ ，並且如果有必要的話可以由DSP衍生出，或者如果更方便的話加入到GIO數據流。GIO功率控制器616在數據流中從DSP接收PEcmd和IPP。

1. 功率控制迴路

【0072】 可選的功率控制迴路(PCL) 712可以被包含以監測實時的PE錯誤，並且調整AOD傳輸指令(例如，減少PE錯誤)。圖6的概述放至PCL 712在系統功率控制子系統的範圍內，而圖7詳細地描述PCL 712中的訊號流動。PCL 712是可選的，因為開環控制可以整個合理的時間週期(例如，幾分鐘)為精確的。如果開環性能被發現有不足之處，PCL 712可以實施。

【0073】 PCL 712可以被配置成在加工期間調整指令AOD傳輸，以維

持所需要的PE設定值。為了避免噪聲敏感度和發送指令的過度抖動，錯誤在施加被選擇為響應時間和噪聲敏感度之間（即，噪聲和穩定時間之間）的折衷的修正增益阿爾法（ α ）後整合。積分器輸出（DeltaTrans）修改標稱傳輸（NomTrans，從LET 710計算出以用於所指令的IPP和PE），以根據下面的公式建立最終的AOD傳輸指令。請注意，在某些實施例中的這些方程式一旦QSW循環就被評估（即，具有PEfb的每個更新）。

$$\text{DeltaTrans}(k) = \text{DeltaTrans}(k-1) - \alpha * (\text{PEfb} - \text{PEcmd}) / \text{PEcmd}$$

$$\text{TransCmd}(k) = \text{NomTrans} * [1 + \text{DeltaTrans}(k)]$$

【0074】 DeltaTrans是在傳輸指令的相對變化。當開環傳輸估計NomTrans是最準確的（名義上完全相同）時，DeltaTrans可以經LET 710的重新校準而設置為零。在某些實施例中，這發生在工件每次進行雷射加工。注意的是，算法包括藉由PEcmd而除，其可能在GIO韌體中為困難的。第二查詢表可以被用來傳輸PEcmd到1/PEcmd以藉由乘法來代替除法。

I. 示例性運行時間操作

【0075】 圖12是可以根據用於圖1示出的工件102的雷射加工期間的功率控制的一個實施例而可以實現的示例性操作序列1200的流程圖。操作序列1200包括設置和加載1210應用程序。在應用程序安裝期間，操作序列1200對著功率限制表驗證功率設置，其在每個系統庫存為硬編碼的（hardcoded）。操作序列1200還警告用戶容忍或功率水平違規，如果檢測到的話。操作序列1200進一步包括開啟1212雷射快門以及查詢1214 LEM/AOD校準超時週期是否已過期。如果LEM/AOD校準超時週期已過期，則操作序列1200包括在CPM 612上移動1216，對著CPM 612重新調整1218 LEM 116（例

如，使用自動製程)，並且重新校準1220 AOD線性（例如，使用自動製程）。

【0076】 操作序列1200進一步包括查詢1222應用程序配方設置中的雷射功率控制是否啟用。如果啟用了雷射功率控制，操作序列1200包括更新1224 LET 710藉由運行自動校準程序、存儲1226校準文件中的LET 710、下載1228更新的LET 710到GIO以及重置1230在GIO功率控制器616中的DeltaTrans為零。

【0077】 操作序列1200進一步包括查詢1232任何PE/PRF組合是否超過藉由LET 710所描述的系統功能。假如PE/PRF組合超過了系統功能，操作序列1200包括發出1234錯誤的信號以及中止加工。因此，操作序列1200執行關閉1236雷射快門。然而，如果PE/PRF組合沒有超過藉由LET 710所描述的系統功能，操作序列1200包括運行1238觀看對齊和應用（面板/圖案）對齊、處理1240應用程序以及監測1242用於功率控制統計數值和錯誤的實時功率控制回饋。在加工完成後，操作序列1200可以進一步包括記錄1244 PE控制統計數值（例如，最小值、最大值、平均值和RMS誤差作為經指令的PE的百分比）及/或載入任何功率控制錯誤，並且報告任何錯誤條件給用戶。操作序列1200藉由關閉1236雷射快門而結束。在某些實施例中，AOD作為雷射快門來行動。在這種實施例中，關閉1236雷射快門包括發送傳輸指令給AOD以用於零傳輸。

【0078】 示於圖12的示例性操作序列1200的某些細節將在下面進一步討論。

1. 應用程序安裝

【0079】 在某些實施例中，應用程序根據特定的系統功率來設置，藉

由功率限制表所描述。基於特定的雷射性能（PE與PRF相對）以及光學序列配置（效率），根據相應於庫存的選擇，這個表可以預先計算。在一個實施例中，估計的光學效率根據AOD操作偏轉範圍而增大。

2. PE容限檢查和錯誤記錄

【0080】 雷射加工期間的PE的適當控制有利於理想的過程控制。在某些實施例中，PE誤差是實時監測的，並且PEfb和PEerr被記錄以用於製程控制和診斷數據。監控可以決定PE讀數是否在一些預先定義或用戶定義的加工容限內。為了避免由於固有的雷射脈衝不穩定所致的虛假錯誤，PE誤差在容限檢查之前被過濾。由於偕同整合過濾器在PCL 712中，因為PE數據到達可變時間間隔，錯誤過濾器隨著每個PE樣本而更新，而不是恆定的採樣率。用以設置功率容限閾值的實時指令被傳遞到DSP以設置功率容限檢查。

【0081】 在一個實施例中，功率控制數據（例如，TransCmd、PECMD、PEfb和PEerr）被記錄以用於故障診斷。這個數據可被存儲在循環緩衝器，並且當容限錯誤時可以被檢索。在檢測到PE容限錯誤時，記錄被觸發來捕獲錯誤事件周圍的一定數量的PE數據的樣本（例如，至少100個樣品）。

【0082】 在一個實施例中，如果檢測到功率容限錯誤，暫停工件102的雷射加工。在一個實施例中，用戶可以在加工錯誤發生的特徵的附近恢復面板加工。一些加工冗餘或間隙是可以接受的（因為在錯誤的附近將進行雷射加工的工件102的區域很可能會廢棄）。在一個實施例中，加工錯誤的背景被呈現給用戶（例如，具有標明故障位置的工件的圖形也可以經由顯示而呈現給用戶）。

3. 功率容限政策

【0083】 在SCC水平，當運行應用程序時，容限檢查可以為可選的。如果容限檢查被禁用，實時功率控制仍然可以如上所述來應用，但是LET 710可能無法重新校準，並且運行時間容限檢查可能被禁用。

【0084】 在一個實施例中，並且參考圖10，脈衝週期(PP)(即， $1/PRF$)可以在製程區段之間（例如，製程區段“n”和隨後的製程區段“n +1”之間）改變而無同步盲區（deadzone），以允許在脈衝週期或PRF中的“無縫”變化。在從一個脈衝週期到另一個的期間，只有兩個脈衝週期存在，也就是說，兩者之間沒有中間或異常高或低的脈衝週期。這允許雷射系統104在可預見的脈衝能量以任何的脈衝週期產生雷射脈衝1000。通常地，上述AOD傳輸在這兩個脈衝週期設定之間變化，以控制在每個製程區段中傳遞到工件102的雷射脈衝1000的PE裝置。

【0085】 為了使在脈衝週期之間（例如， PP_n 和 PP_{n+1} 之間切換）的傳輸至少基本上“無縫”，GIO在最後 PP_n 期間（例如，在1002處指定）指定新的脈衝週期。GIO識別這種新的脈衝週期（例如， PP_{n+1} ），並且根據這個新的值來設定隨後的雷射脈衝。DSP安排這個指令的時機，使得 PP_n 和 PP_{n+1} 之間的切換發生在正確的時間（例如，在 $1\mu s$ 內）。

【0086】 在一個實施例中，相對於區段邊界1004的雷射脈衝的時序被說明。在一個實施例中，射束位置的速度可以在製程區段之間改變，導致在咬口尺寸中的變化以用於與新的脈衝週期 PP_{n+1} 相關聯的一個傳輸脈衝1006。在另一個實施例中，用於在新的製程區段n+1期間所產生的雷射脈衝的AOD傳輸被建立，因為新的脈衝週期 PP_{n+1} 可能會改變用於新的製程區段

n+1的藉由雷射系統生成的雷射脈衝的PE。因此，傳輸脈衝1006是藉由適當的製程區段內以適當的PE指令（AOD傳輸）藉由雷射系統104所生成。

【0087】 根據圖10所示的實施例的脈衝同步製程，在製程區段開始之後，在特定製程區段期間所產生的第一雷射脈衝在初始週期1008內產生（例如，等於與所述特定製程區段相關聯的脈衝週期的二分之一）（例如，如果PPn為 $1\mu s$ ，然後初始週期可能是 $0.5\mu s$ ）。在另一個實施例中，在製程區段開始之後，在特定製程區段期間所產生的最後雷射脈衝於終結週期1010內產生（例如，等於與所述特定製程區段相關聯的脈衝週期的二分之一）（例如，如果PPn是 $1\mu s$ ，然後終結週期可能是 $0.5\mu s$ ）。

【0088】 對於那些本領域技術人士可以理解許多變化可以對上述實施例的細節執行而不偏離本發明的基本原則。因此，本發明的範圍應該僅由下面的申請專利範圍所決定。

【符號說明】

【0089】

100 雷射加工設備

102 工件

104 雷射系統

105 雷射脈衝

106 夾頭

108 工件定位系統

110 射束定位系統

110a 反射鏡

110b 反射鏡

112 射束調整系統

114 系統控制器

116 雷射能量監測器

118 分束元件

119 採樣射束

200 第一掃描場

202 第二掃描場

204 第三掃描場

500 線

502 線

504 光斑

600 雷射功率控制系統

610 AOD衰減器

612 夾頭功率計

613 實際雷射PE

614 線性模組

615 系統光學元件

616 功率控制器

618 傳輸

620 系統控制計算機

622 線性表

710 雷射能量表

711 AOD光學元件

712 功率控制迴路

714 縮放因子

716 LEM校準

1000 雷射脈衝

1002 最後的PPn期間的新的脈衝週期

1004 區段邊界

1006 傳輸脈衝

1008 初始週期

1010 終結週期

1100 LET校準製程

1110-1133流程步驟

1200 操作序列

1210-1244 流程步驟

申請專利範圍

1. 一種雷射加工設備，所述設備包括：
一控制器，與射束調整系統一起使用，所述射束調整系統可操作以回應輸入於此的一傳輸指令來衰減雷射脈衝能量，所述控制器配置成：
接收時序數據，所述時序數據表示將被導引到所述射束調整系統的不同組雷射脈衝之脈衝重複頻率（PRF）；
接收脈衝能量數據，所述脈衝能量數據對應於所述射束調整系統傳輸的期望雷射脈衝能量；
輸出不同的傳輸指令，該不同的傳輸指令至少部分基於所接收的代表不同的所述脈衝重複頻率之所述時序數據和所述脈衝能量數據產生；以及
在輸出該不同的傳輸指令之間，輸出再同步傳輸指令，所述再同步傳輸指令輸出至所述射束調整系統且因而用於衰減或消隱該射束調整系統所傳輸的雷射脈衝能量，其中被衰減的所述雷射脈衝能量小於所述期望雷射脈衝能量且在輸出該不同的傳輸指令之間輸出。
2. 根據申請專利範圍第1項的雷射加工設備，進一步包括所述射束調整系統。
3. 根據申請專利範圍第2項的雷射加工設備，進一步包括一雷射系統，其可操作以產生所述雷射脈衝，其中所述射束調整系統係排列以接收所述雷射脈衝。
4. 根據申請專利範圍第3項的雷射加工設備，其中所述雷射系統可操作以產生至少兩個脈衝重複頻率的雷射脈衝。
5. 根據申請專利範圍第3項的雷射加工設備，進一步包括一定位系統，

以相對於工件協調所述雷射脈衝的射束的一或多個位置，所述定位系統包含所述射束調整系統。

6. 根據申請專利範圍第2項的雷射加工設備，進一步包括：

一雷射能量監視器(LEM)，可操作以測量藉由所述射束調整系統所傳輸的每個雷射脈衝的雷射脈衝能量且產生對應於此的脈衝能量數據。

7. 根據申請專利範圍第6項的雷射加工設備，其中所述控制器進一步配置成：

接收對應於藉由所述雷射能量監視器所測量的該雷射脈衝能量之所述脈衝能量數據；以及

至少部分基於接收的所述時序數據、對應於所述期望雷射脈衝能量之所述脈衝能量數據和對應於藉由所述雷射能量監視器所測量的該雷射脈衝能量之所述脈衝能量數據來產生所述傳輸指令。

8. 根據申請專利範圍第4項的雷射加工設備，其中，所述控制器進一步配置成藉由參考一雷射脈衝能量表（LET）來產生所述傳輸指令，其中所述雷射脈衝能量表表示針對所述至少兩個脈衝重複頻率，所述射束調整系統能隨著脈衝重複頻率的函數來衰減雷射脈衝能量的程度。

9. 根據申請專利範圍第2項的雷射加工設備，其中，所述射束調整系統包含聲光偏轉器（AOD）。

10. 根據申請專利範圍第6項的雷射加工設備，進一步包括：

一夾頭功率計（CPM），其可操作以提供一參考感測器，用於所述設備中的功率測量，其中，對應於藉由所述雷射能量監視器所測量的該雷射脈衝能量之所述脈衝能量數據藉由所述夾頭功率計提供的測量而校準。

圖式

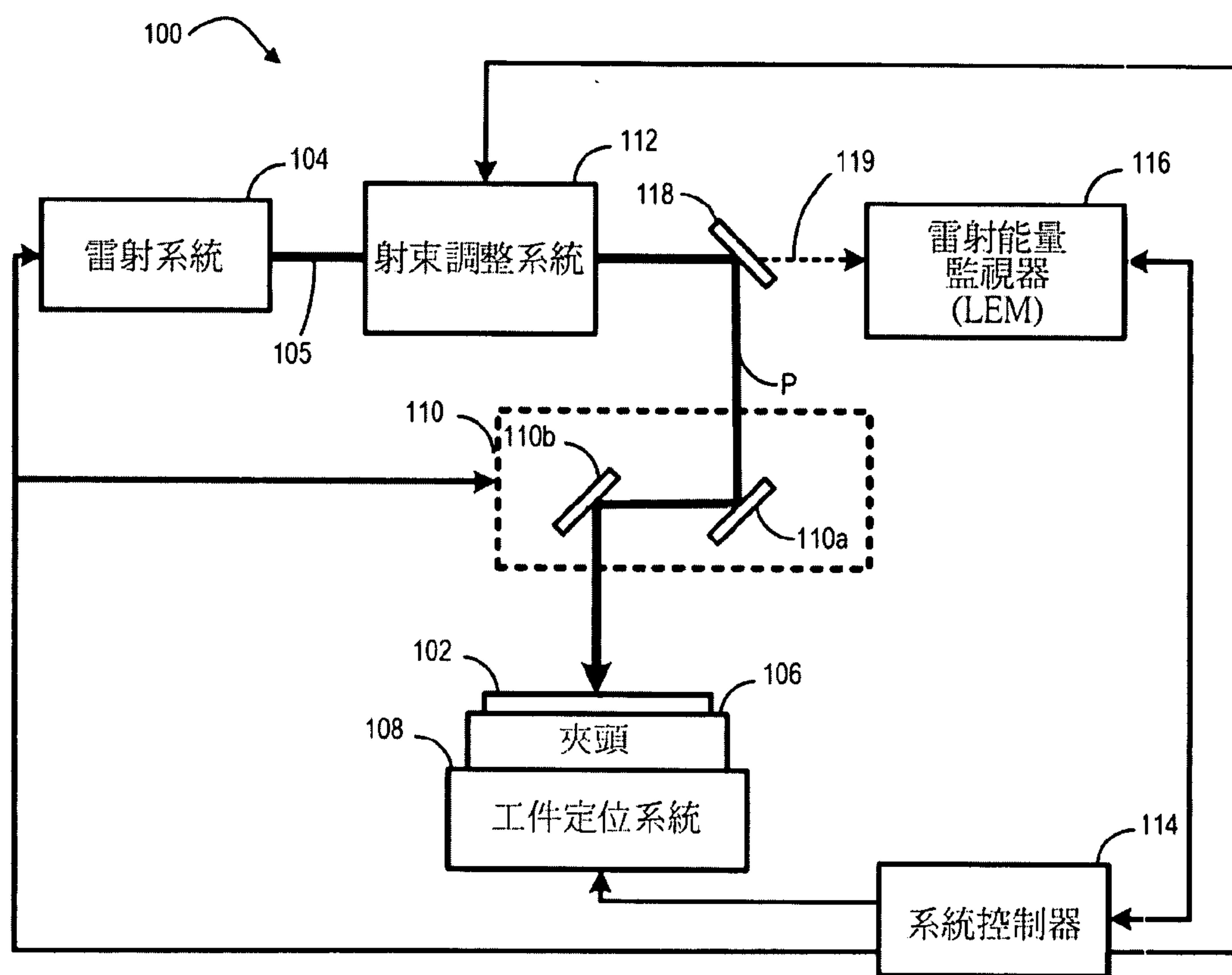


圖 1

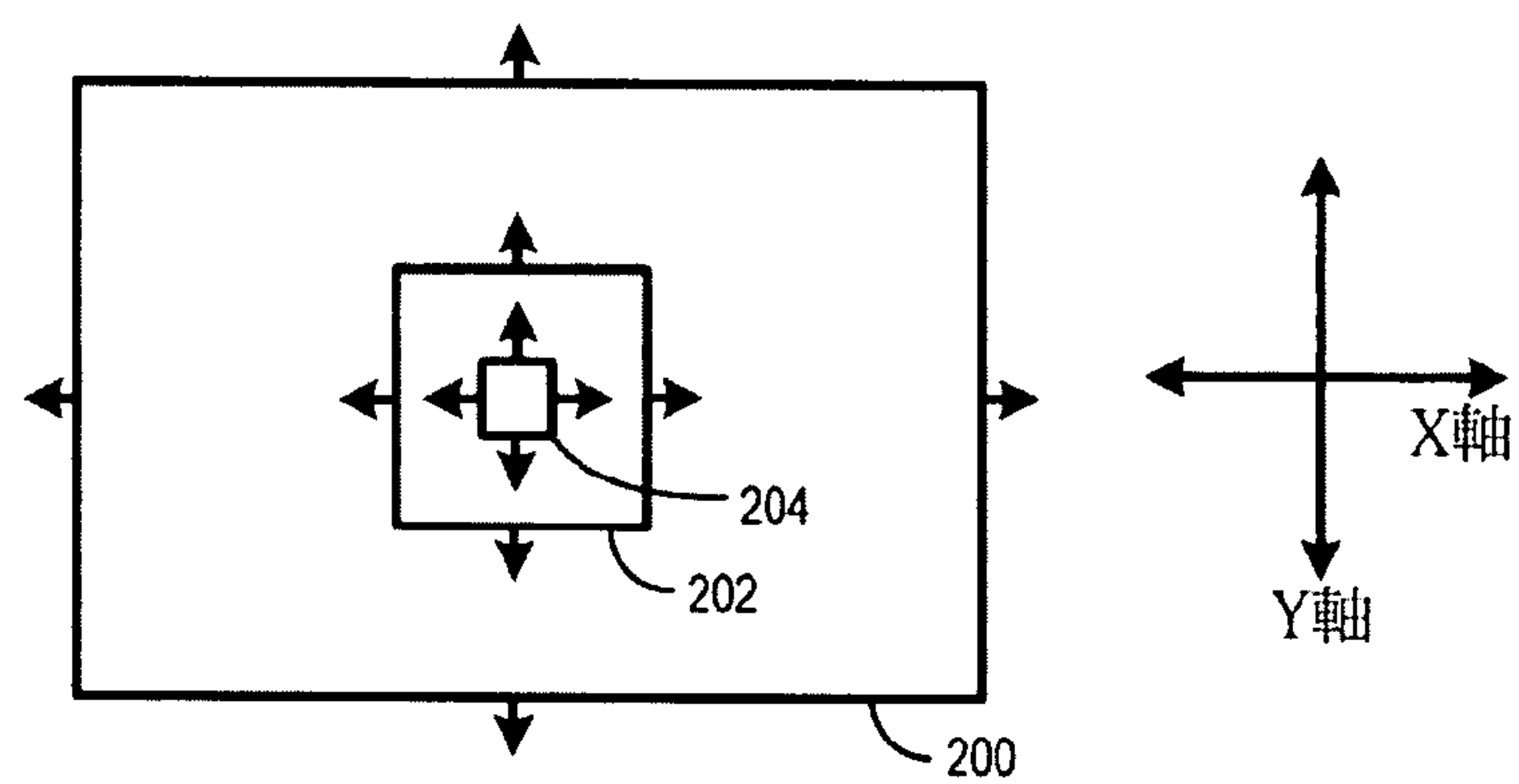


圖2

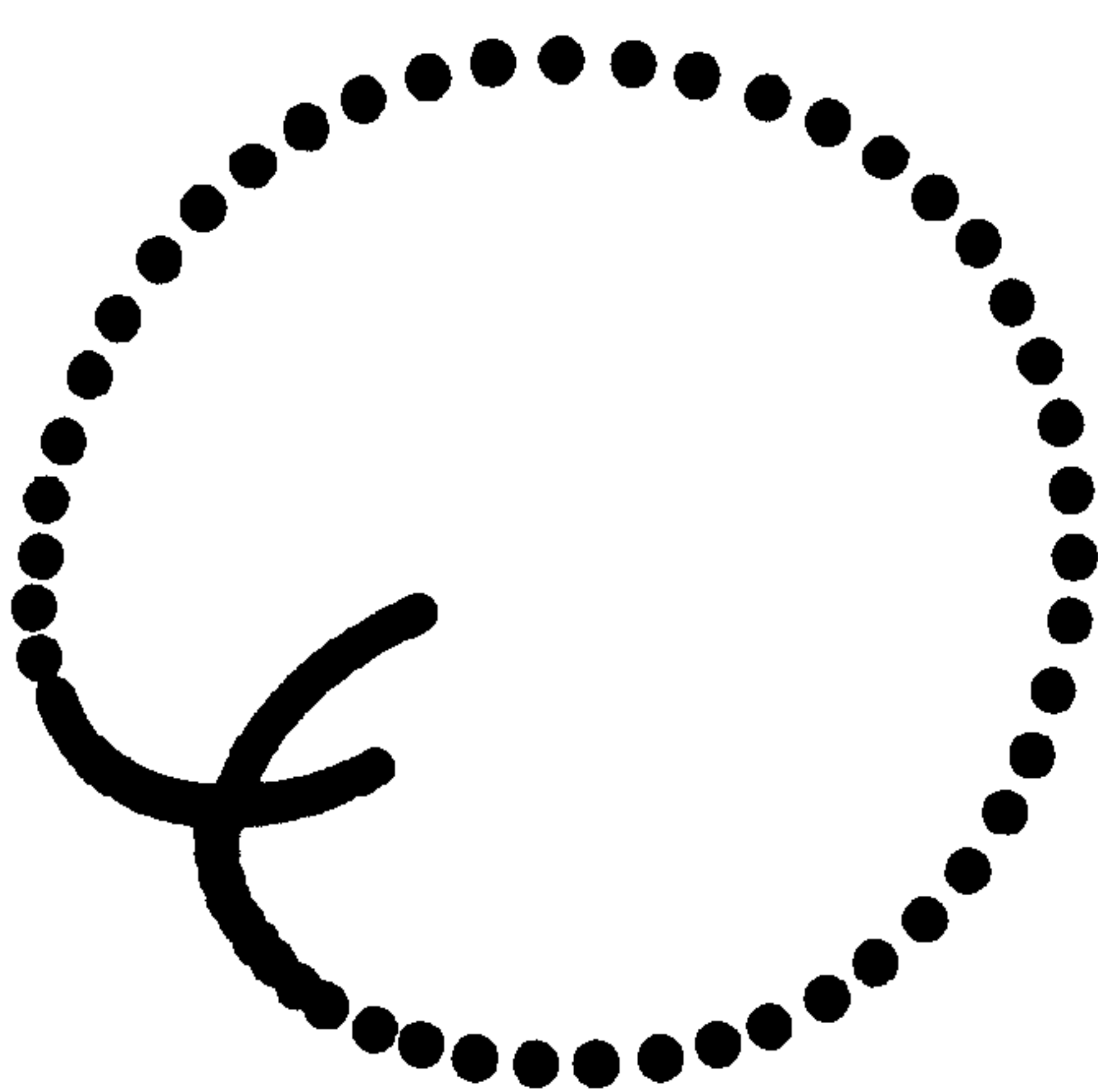


圖3

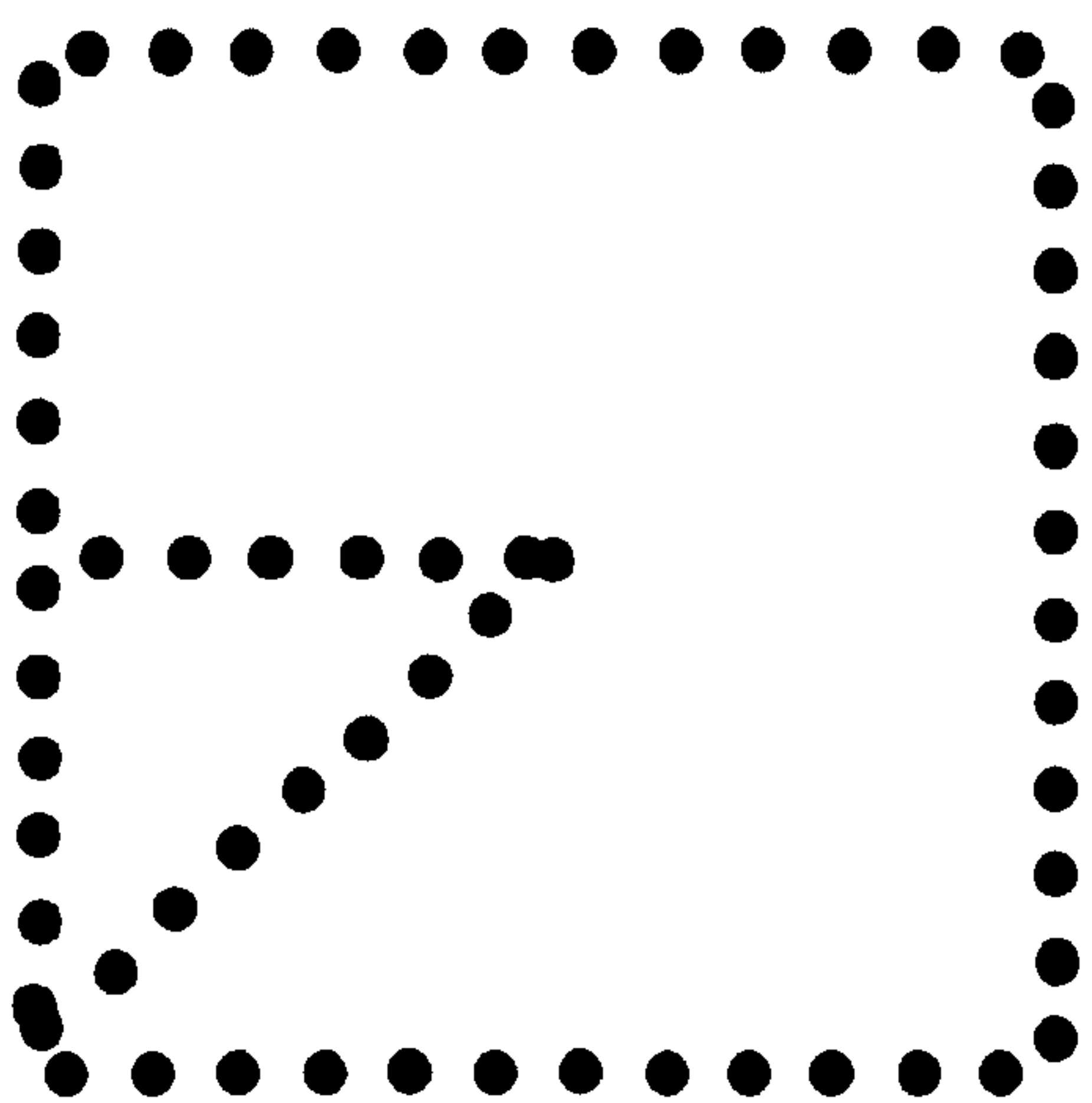


圖4

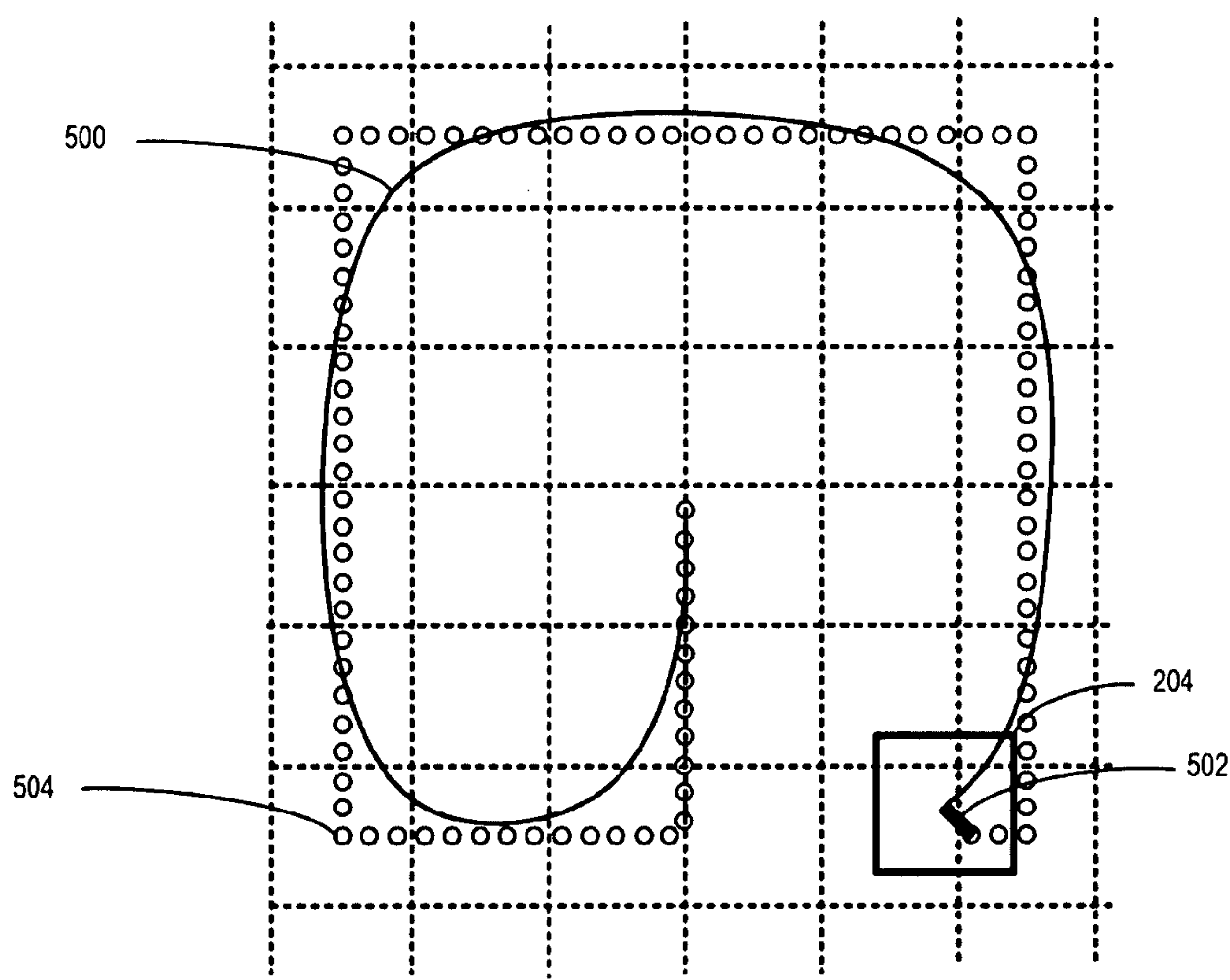


圖5

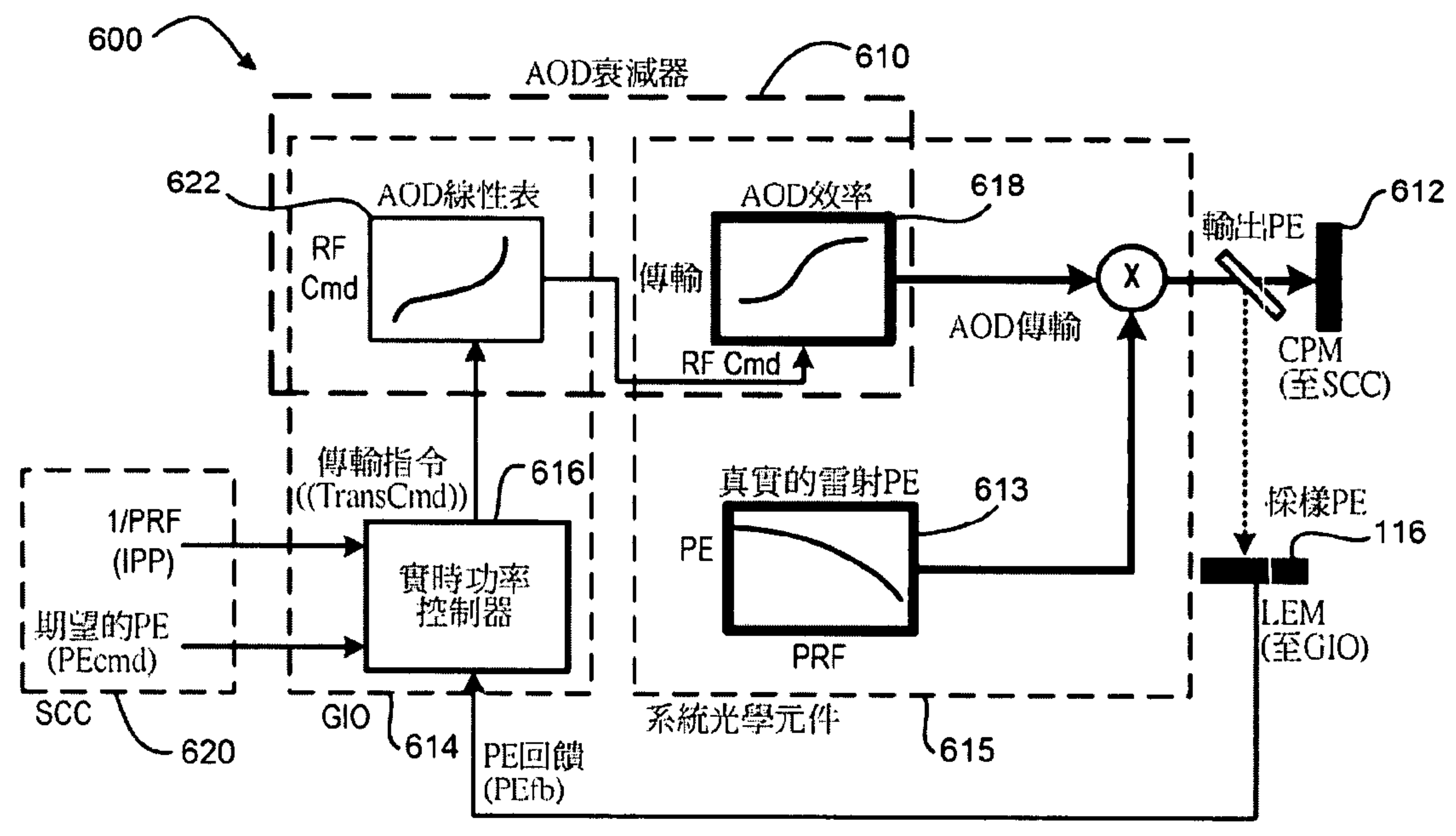


圖6

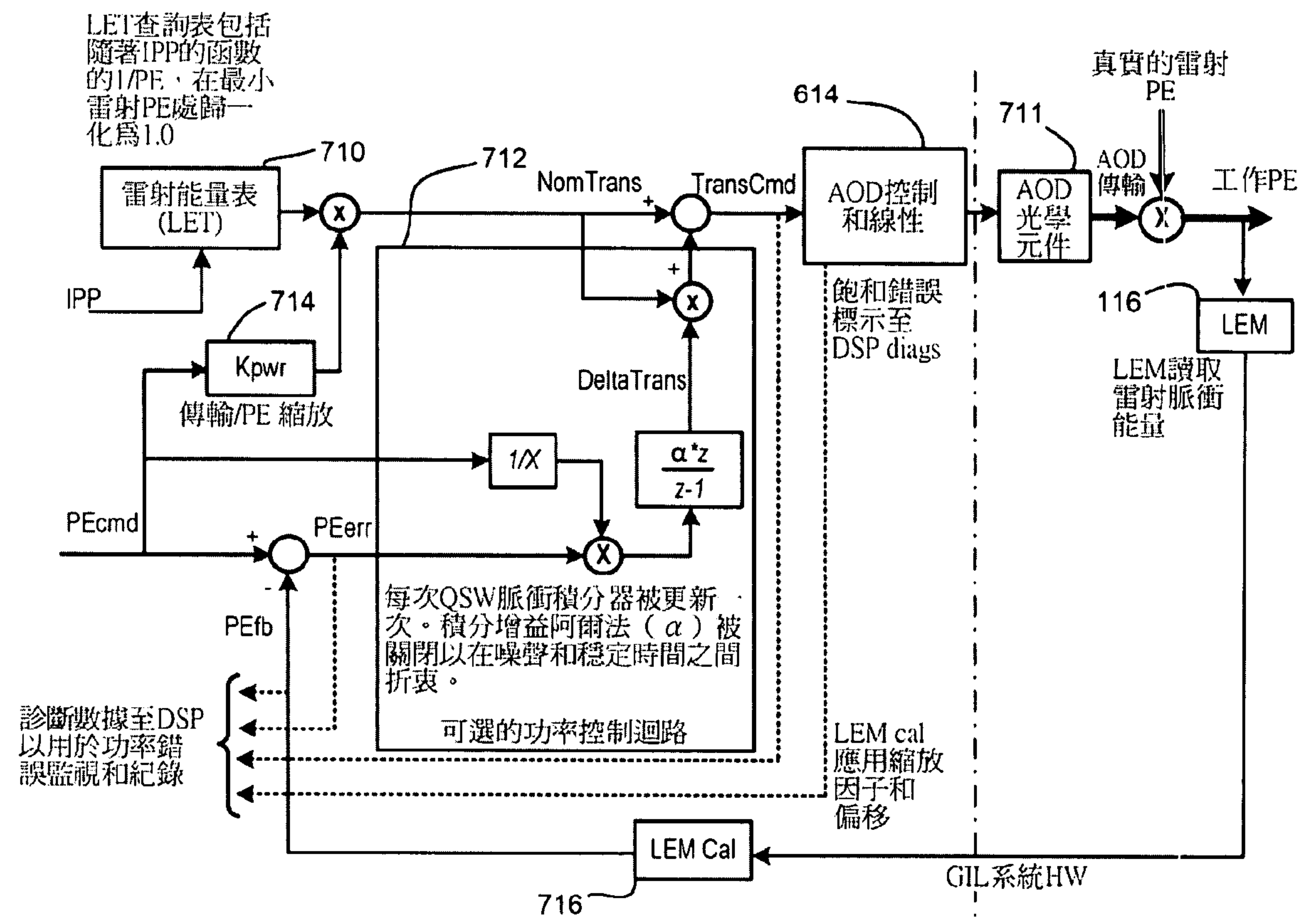


圖7

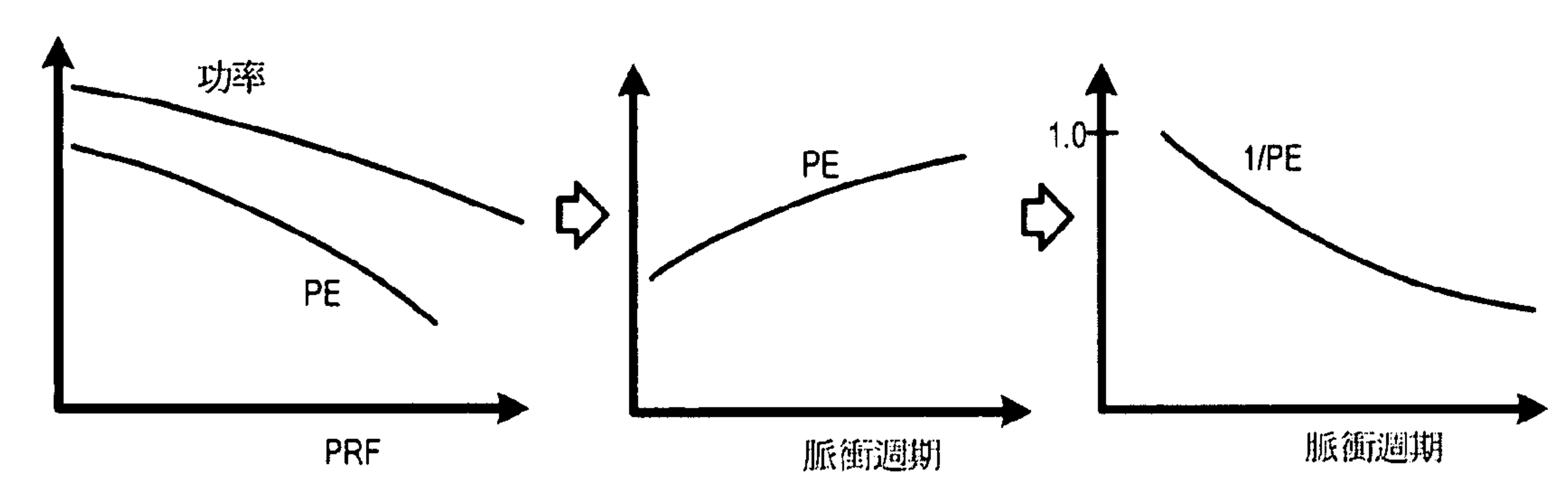


圖8

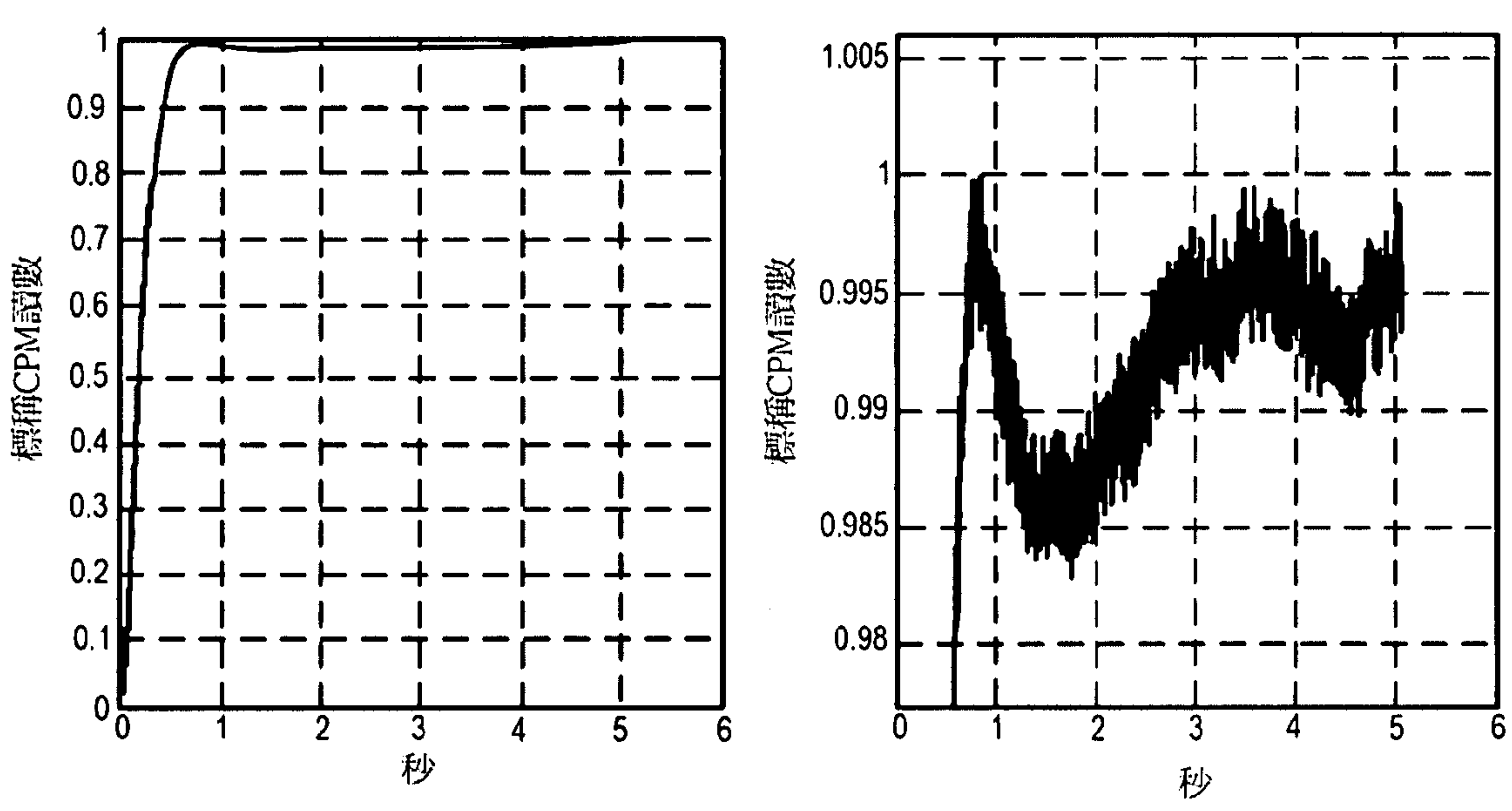


圖9



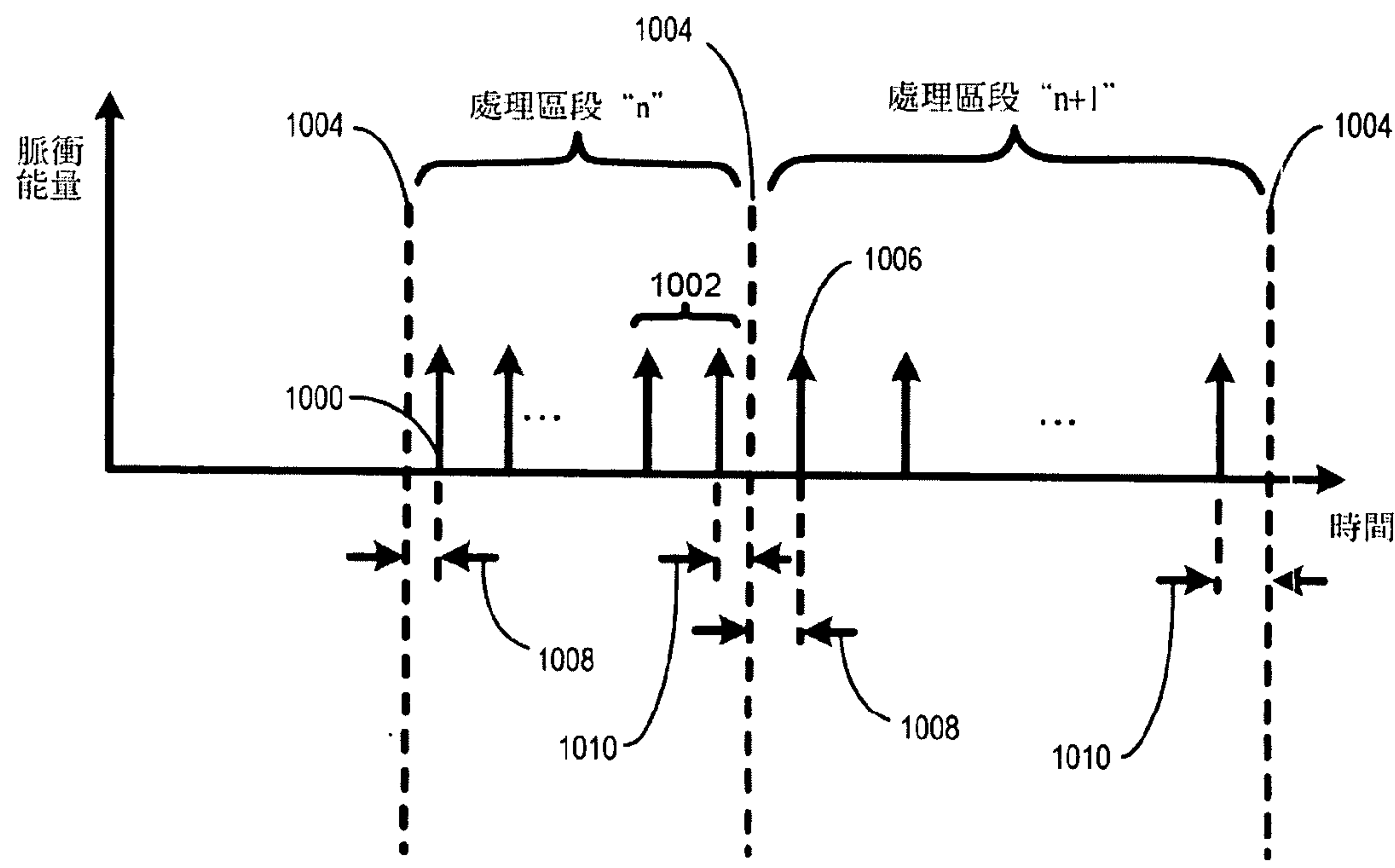


圖10

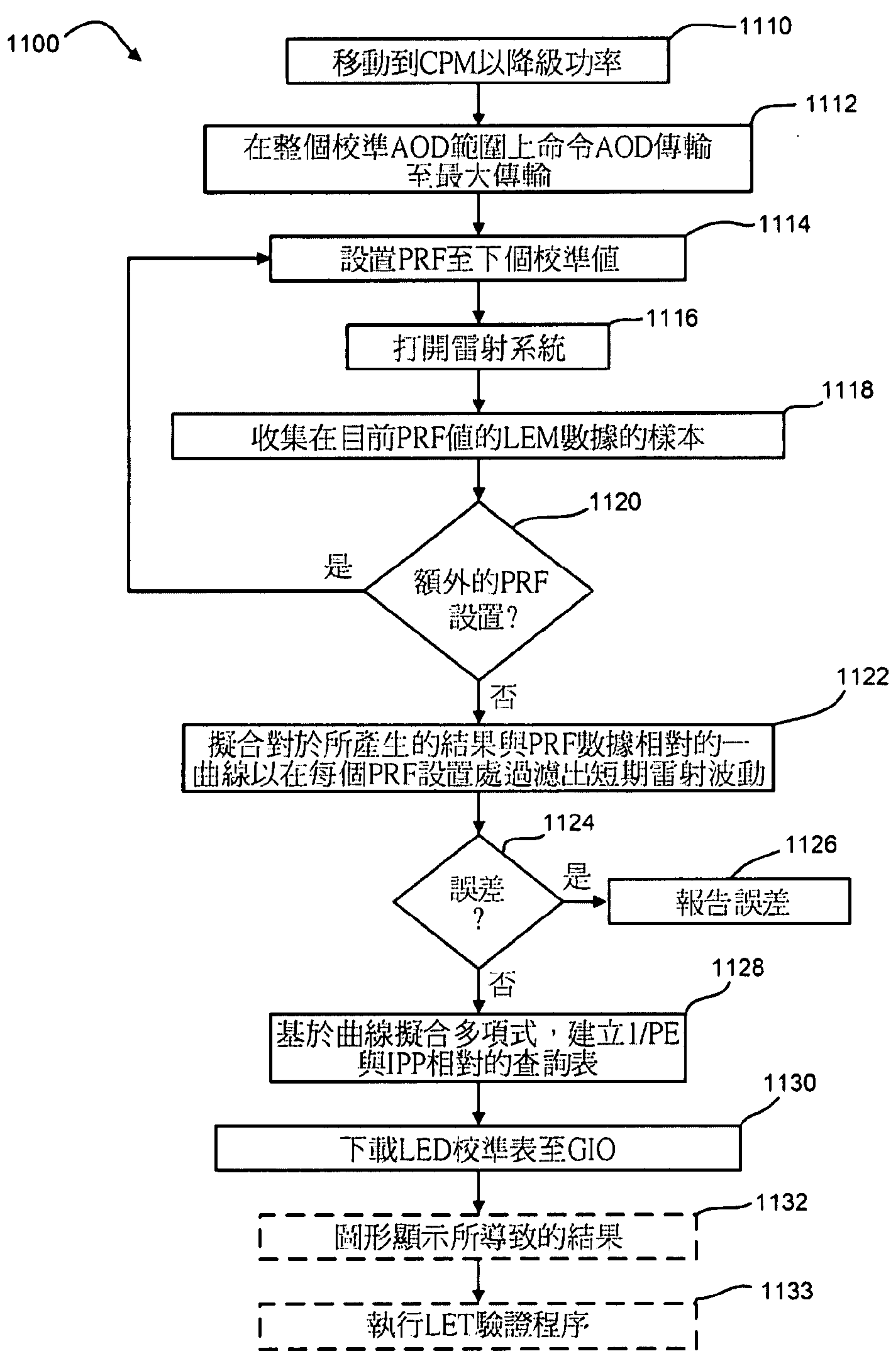


圖11



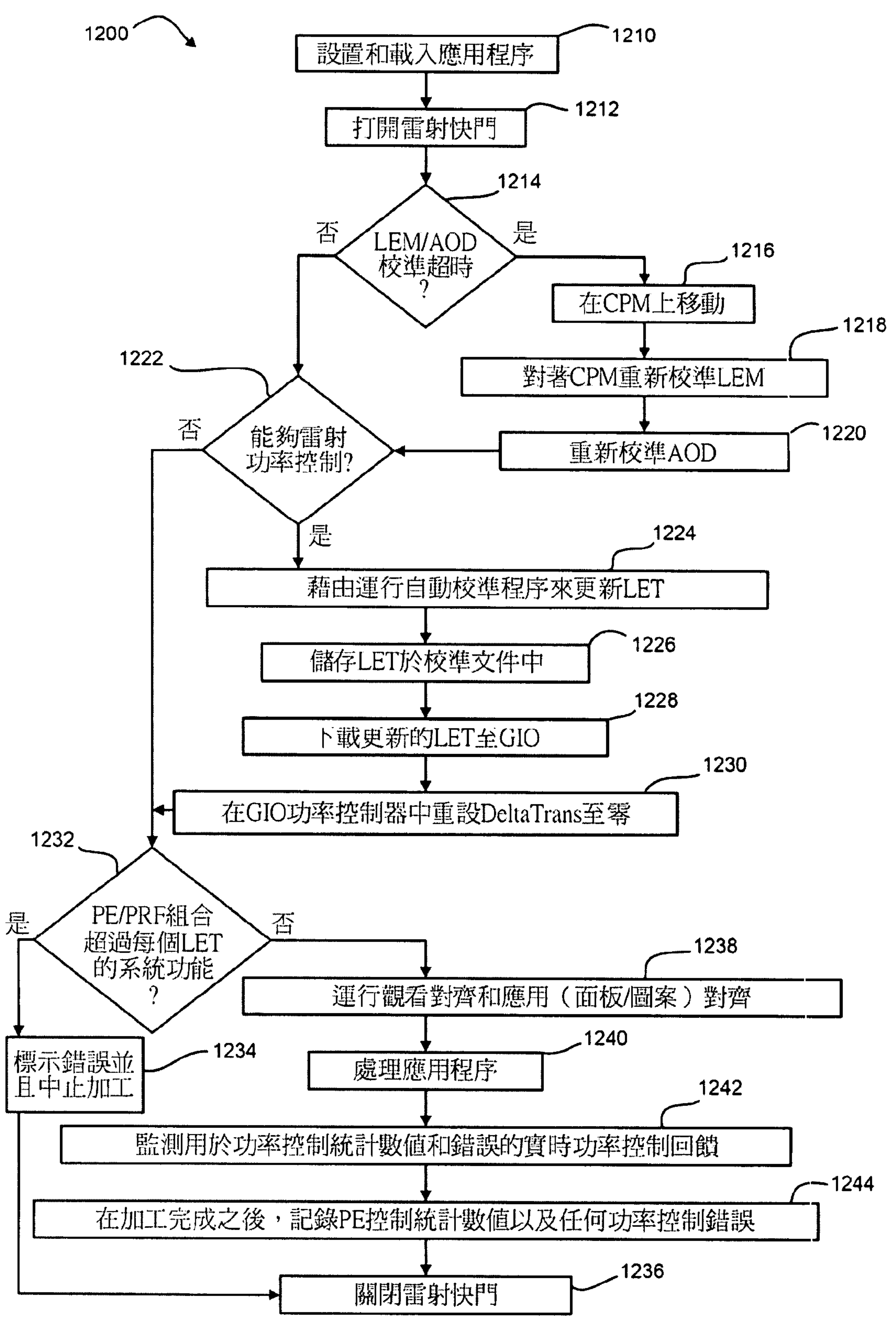


圖12