



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201947207 A

(43)公開日：中華民國 108 (2019) 年 12 月 16 日

(21)申請案號：108114111

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 04 月 23 日

(51)Int. Cl.：

*G01N21/00 (2006.01)**H01S3/08 (2006.01)**H01S3/0941 (2006.01)**H01S5/065 (2006.01)*

(30)優先權：2018/05/03

美國

62/666,677

(71)申請人：美商寬騰矽公司 (美國) QUANTUM-SI INCORPORATED (US)

美國

(72)發明人：史屈爾茲 強納桑 C SCHULTZ, JONATHAN C. (US)；歐克雪夫 安卓 V OKISHEV, ANDREY V. (US)；萬格 奎格 WENGER, CRAIG (US)；拉斯羅普 布里塔尼 LATHROP, BRITTANY (US)；阿麥德 佛梭 R AHMAD, FAISAL R. (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：43 項 圖式數：15 共 70 頁

(54)名稱

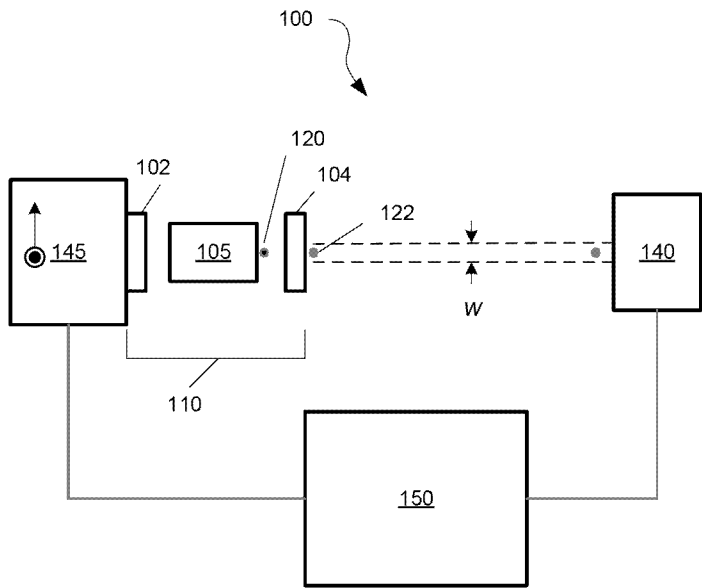
特徵化光學元件

(57)摘要

本發明揭示一種用於特徵化一光學元件之方法及裝置。該光學元件係一雷射之部分且安裝於一平移載物台上以橫向於一腔內雷射光束掃描該光學元件。記錄依據該光學元件之位置而變化之該雷射之一效能特性。

A method and apparatus for characterizing an optical element. The optical element is part of a laser and is mounted on a translation stage to scan the optical element transverse to an intracavity laser beam. A performance characteristic of the laser is recorded as a function of position of the optical element.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

- 100 . . . 光學特徵化裝置
- 102 . . . 腔端面鏡/端面鏡
- 104 . . . 腔端面鏡/端面鏡/腔鏡
- 105 . . . 增益介質
- 110 . . . 超短脈衝雷射/脈衝雷射/雷射/雷射系統/鎖模雷射
- 120 . . . 超短光學脈衝
- 122 . . . 光學脈衝/光束/脈衝/雷射光束
- 140 . . . 光學偵測系統
- 145 . . . 二維平移載物台/平移載物台
- 150 . . . 控制器
- w . . . 光束腰

【發明說明書】

【中文發明名稱】

特徵化光學元件

【英文發明名稱】

CHARACTERIZING AN OPTICAL ELEMENT

【技術領域】

【0001】 本申請案係關於用於特徵化一光學元件之器件及方法。

【先前技術】

【0002】 光學元件(諸如(但不限於)鏡、光學非線性晶體、可飽和吸收器、非線性自聚焦光學元件及光束塑形組件)係用於各種應用中。存在特定應用(諸如使用一光學元件來形成一雷射)，該等特定應用需要非常特定性質以確保該雷射如預期般執行。

【0003】 藉由實例，一可飽和吸收鏡(SAM)可用作一雷射腔之端面鏡。該SAM引起雷射被動地鎖模，從而產生超短雷射脈衝。在研究及開發之各種領域以及涉及時域分析之商業應用中，超短光學脈衝(即，小於約100皮秒之光學脈衝)係有用的。例如，超短光學脈衝對於時域光譜學、光學測距、時域成像(TDI)、光學同調斷層掃描(OCT)、螢光生命期成像(FLI)及用於基因定序之生命期解析螢光偵測可為有用的。超短脈衝對於包含光學通信系統、醫療應用及光電子器件之測試之商業應用亦可為有用的。

【0004】 上述應用通常對超短光學脈衝在一給定應用中有效具有特定要求。例如，脈衝持續時間(亦被稱為時間脈衝寬度，或簡稱為「脈衝寬度」)應小於針對一些應用之一臨限位準且光學功率應大於針對一些應

用之一臨限位準。一雷射之脈衝持續時間及光學功率係在很大程度上基於SAM之特性。因此，SAM必須能夠產生具有足夠大光學功率之足夠短脈衝以在一特定應用中 useful。

【0005】此外，當製造一雷射時，應選擇引起該雷射在一經指定泵抽功率或低於該經指定泵抽功率鎖模且在不具有非所要雷射行為(諸如Q切換)之情況下鎖模之一SAM。鏡及/或SAM亦應展現指示壽命及高於雷射之操作功率之一損壞臨限值之性質。

【發明內容】

【0006】本文中所描述之技術係關於用於特徵化光學元件之裝置及方法。

【0007】根據本申請案之一項態樣，提供一種光學特徵化裝置。該光學特徵化裝置包含經組態以產生一雷射光束之一雷射。該雷射包含一第一鏡及一第二鏡。該第二鏡安裝於經組態以使該第二鏡沿著一第一方向及一第二方向平移之一二維平移載物台上，其中該第一方向及該第二方向係垂直於藉由該雷射光束在該第二鏡之位置處之傳播方向界定之一第三方向。該第一鏡及該第二鏡界定該雷射之一雷射腔。

【0008】根據本申請案之一項態樣，提供一種光學特徵化裝置。該光學特徵化裝置包含經組態以產生具有一光束軸之一腔內雷射光束之一雷射。該光學特徵化裝置亦包含經配置以固持一光學元件，使得該光學元件接收該腔內雷射光束且可使該光學元件橫向於該軸移動之一定位安裝座。

【0009】根據本申請案之一項態樣，提供特徵化一光學元件之方法。該方法包含：橫向於具有一光束軸之一腔內雷射光束掃描該光學元件；及記錄依據該經掃描光學元件之位置而變化之該雷射之一效能特性。

【0010】可自下文描述結合隨附圖式更充分理解本發明教示之前述及其他態樣、實施方案、動作、功能性、特徵及實施例。

【圖式簡單說明】

【0011】熟習技術者將理解，本文中所描述之圖僅供圖解目的。應理解，在一些例項中，一些實施例之各項態樣可誇大或放大展示以促進對實施例之理解。在圖式中，貫穿各種圖，相同元件符號通常係指相同特徵、功能上類似及/或結構上類似元件。圖式不一定按比例，而是將重點放在繪示教示之原理上。圖式並不意欲以任何方式限制本發明教示之範疇。

【0012】圖1係根據一些實施例之一光學特徵化裝置之一方塊圖。

【0013】圖2描繪根據一些實施例之一系列脈衝。

【0014】圖3係根據一些實施例之一光學偵測系統之一示意圖。

【0015】圖4係根據一些實施例之一脈衝雷射之一示意圖。

【0016】圖5繪示根據一些實施例之一光學特徵化裝置之一部分。

【0017】圖6繪示根據一些實施例之用於一光學特徵化裝置之一端面鏡安裝座。

【0018】圖7繪示根據一些實施例之如何修改一脈衝雷射以獲得一光學特徵化裝置。

【0019】圖8繪示根據一些實施例之一脈衝半導體雷射。

【0020】圖9繪示根據一些實施例之一脈衝光纖雷射。

【0021】圖10係根據一些實施例之特徵化一光學元件之一方法之一流程圖。

【0022】圖11係根據一些實施例之用於判定一鎖模泵浦臨限值之一

方法之一流程圖。

【0023】圖12係根據一些實施例之一運算器件。

【0024】圖13A係根據一些實施例之一實例性功率圖。

【0025】圖13B係根據一些實施例之實例性脈衝寬度資料。

【0026】圖13C係根據一些實施例之一實例性脈衝寬度圖。

【0027】圖14A係根據一些實施例之實例性功率。

【0028】圖14B係根據一些實施例之一實例性雷射發射區(lasing regime)圖。

【0029】圖14C係根據一些實施例之一實例性脈衝寬度圖。

【0030】圖14D係根據一些實施例之一實例性功率圖。

【0031】圖14E係根據一些實施例之一實例性雷射發射區圖。

【0032】圖14F係根據一些實施例之一實例性脈衝寬度圖。

【0033】圖15A係根據一些實施例之一實例性雷射發射區圖。

【0034】圖15B係用於與圖15A之雷射發射區圖比較之一光學顯微鏡影像。

【0035】在結合圖式考量時將自下文闡述之詳細描述變得更明白本申請案之特徵及優點。當參考圖式描述實施例時，可使用方向性參考(「上方」、「下方」、「頂部」、「底部」、「左」、「右」、「水平」、「垂直」等)。此等參考僅旨在幫助讀者以一正常定向觀看圖式。此等方向性參考並不意欲描述一所體現器件之一較佳或唯一定向。一器件可以其他定向體現。

【實施方式】

【0036】

相關申請案

本申請案根據(35 USC 119(e))規定主張於2018年5月3日申請之標題為「CHARACTERIZING AN OPTICAL ELEMENT」之美國申請案第62/666,677號之優先權。

【0037】 介紹

【0038】 本發明者已認識並瞭解到，用於特徵化光學元件之習知技術未充分量測對於建置用於一特定應用之一雷射系統而言重要之特性。例如，鏡及可飽和吸收器(例如，可飽和吸收鏡(SAM))習知上藉由使用顯微鏡進行視覺觀察及/或用一外部雷射系統探測特徵化。雖然此等技術能夠量測一光學元件之特定性質，但用於特徵化一光學元件之習知技術量測與使用該光學元件之一雷射之效能間接相關之性質且並未直接量測對於建置具有特定性質之一雷射系統而言重要之特性。因此，本發明者已設想提供關於一光學元件之無法使用習知技術量測之資訊之光學特徵化技術。

【0039】 藉由實例且非限制地，一SAM可用作產生超短光脈衝之一雷射腔之一端面鏡。習知地，一SAM藉由在一顯微鏡下視覺上檢測該SAM及/或使用一分離雷射系統探測該SAM而特徵化。例如，可使用一雷射光束之反射量測來量測SAM在一不飽和狀態中之反射率及/或吸收率。此外，可習知地使用一脈衝雷射系統經由一泵浦探測技術量測SAM之弛緩時間(例如，SAM中之光電子自傳導帶弛緩至價帶所花費之時間)。本發明者認識並瞭解到，雖然視覺檢測、反射率及弛緩時間可為使一SAM量化之有用性質，但確保該等量測滿足特定條件及/或準則不足以判定在一雷射系統中使用該SAM將滿足預期效能準則。例如，習知技術對SAM之表面品質提供一些指導，但並不提供關於使用該SAM之一雷射之鎖模及

功率效能之直接資訊。

【0040】 本發明者認識並瞭解到，在一雷射系統中包含SAM及量測該雷射系統之性質提供關於併入有該特定SAM之一雷射之效能之直接資訊。特定言之，可直接量測該雷射之鎖模效能(重複率、泵浦臨限值、品質(例如，無Q切換))及光學功率。將由功率損耗或較差鎖模效能來證實SAM中之任何缺陷，從而容許一雷射系統之製造者選擇高品質且將滿足用於該雷射系統之所要效能準則之SAM。

【0041】 本發明者已進一步認識並瞭解到，在一雷射系統中包含光學元件之一光學特徵化技術在特徵化除SAM之外之光學元件方面係有用的。例如，可使用此一系統特徵化鏡以確保充足輸出雷射功率及鎖模效能。如與藉由用一分離及相異雷射系統之輸出探測光學元件來量測光學組件之特徵之習知方法相反，包含將在一雷射腔內特徵化之光學元件亦可提供使用習知技術不可能之額外靈敏度。此額外靈敏度出自於以下事實：一雷射系統之輸出雷射光束特性係依據該雷射系統之構成組件之品質及特性而變化。增加之靈敏度可部分歸因於在雷射腔中產生一同調光束時固有之光學回饋。除了特徵化鏡之外，可在一雷射腔內特徵化非線性光學元件，其中使用一腔內雷射光束可提供關於使用習知技術不可得之非線性光學元件之效能之額外資訊以及增加之靈敏度。

【0042】 此外，本發明者已認識並瞭解到，光學元件(諸如SAM)跨其等表面並不一定係一致的。在一SAM中存在可能對雷射功率損耗、較差鎖模效能或災難性故障負責之多個可能缺陷。因此，一些實施例將SAM或經特徵化之其他光學元件安裝於經組態以使SAM在法向於雷射腔之入射雷射光束之一平面中平移之一二維平移載物台上。藉由使用一二維

平移載物台，雷射光束之照明光點可遍及SAM之一部分或整個SAM光柵化。因此，可產生SAM之一二維圖以展示SAM之哪些部分具有影響雷射系統之效能之缺陷。在一些實例中，在一雷射系統之製造中可摒棄或不包含具有一或多個大型、不可用區域之SAM。若SAM具有小型或局部化至SAM之一小部分之不可用區域，則只要SAM經定位及配置，使得雷射光束之照明光點入射於SAM之被視為可用之一區域上，則SAM可包含於一雷射系統中(例如，該雷射系統在使用SAM之經識別部分時展現必要功率及鎖模能力)。

【0043】 本發明者亦已認識並瞭解到，在一光學元件特徵化裝置中，使光學元件易於移除及用另一光學元件替換可為有用的，使得可有效地特徵化多個光學元件。因此，光學元件定位於一雷射外殼之外，而非使光學元件定位於一雷射系統之一外殼內。在一些實施例中，光學元件可垂直於該雷射系統之平面而定向。例如，雷射系統之雷射腔可包含一鏡，該鏡在垂直於界定雷射腔之光學器件之一方向上將雷射光束反射出外殼，使得雷射光束入射於經特徵化之光學元件上。將經特徵化之光學元件定位於雷射外殼之外可具有以下額外優點：二維平移載物台不需要配裝至外殼中且平移載物台之運動範圍不受外殼限制。藉由消除必須將光學元件及平移載物台配裝至外殼中之約束，可特徵化原本將不可能之更大光學元件。例如，可在將任意尺寸之一整個SAM晶圓(例如，一吋、兩吋、三吋、四吋或五吋直徑晶圓)切割成個別組件之前特徵化該晶圓。藉由在切割之前特徵化晶圓，可摒棄SAM晶圓之較差品質部分，從而節省製造最終在一完成之雷射系統中將不可用之個別組件時習知上所花費之時間及精力。

【0044】 用於特徵化光學元件之技術及用於特徵化光學元件之器件

之各種闡釋性實例係在下文描述。然而，應瞭解，實施例並不限於根據以下實例之任一者操作，且其他實施例係可行的。

【0045】圖1描繪一實例性光學特徵化裝置100，在一些實施例中，其包含一超短脈衝雷射110、一光學偵測系統140、一二維平移載物台145及一控制器150。超短脈衝雷射110包含一增益介質105（其在一些實施例中可為一固態材料）、用於激發該增益介質之一泵浦源(未展示)及界定一光學雷射腔之端部之至少兩個腔端面鏡102、104。在一些實施例中，出於光束塑形、波長選擇及/或脈衝成形之目的，在該雷射腔中可具有一或多個額外光學元件。當操作時，脈衝雷射110可產生在腔之端面鏡102、104之間的雷射腔中來回循環且通過增益介質105之一超短光學脈衝120。腔鏡104之一者可部分透射該循環脈衝之一部分，使得一系列光學脈衝122自脈衝雷射110發射。在一些實施例中，端面鏡102可為容許脈衝雷射110被動地鎖模之一SAM。經發射脈衝可形成藉由一光束腰 w 特徵化之一光束(藉由虛線指示)。

【0046】在一些實施例中，脈衝雷射110可包含用於經由倍頻將脈衝波長之至少一部分轉換成一較短波長或經由參數放大將脈衝波長之至少一部分轉換成一較長波長之一非線性光學元件(未展示)，諸如一非線性晶體。當此一頻率轉換發生時，脈衝雷射110可包含包括一第一波長之光之一第一光束及包括一第二波長之光之一第二光束。例如，增益介質105可依1064 nm進行雷射發射，從而產生1064 nm之脈衝。該等1064 nm脈衝可使用一非線性晶體(諸如KTP或BBO)經由二次諧波產生(SHG)轉換成532 nm脈衝。因此，光束122可包含1064 nm脈衝及532 nm脈衝兩者。

【0047】經發射脈衝122之經量測時間強度輪廓可如圖2中所描繪般

呈現。在一些實施例中，經發射脈衝之峰值強度值可近似相等，且輪廓可具有一高斯時間輪廓，但其他輪廓(諸如一 sech^2 輪廓)亦係可行的。在一些情況中，脈衝可能不具有對稱時間輪廓且可具有其他時間形狀。在一些實施例中，增益及/或損耗動態可產生具有不對稱輪廓之脈衝。各脈衝之持續時間可藉由一半高全寬(FWHM)值特徵化，如圖2中所指示。超短光學脈衝可具有小於100皮秒之FWHM值。

【0048】 自雷射發射之脈衝可藉由規則時間間隔T分離。在一些實施例中，T可藉由雷射中之主動增益及/或損耗調變速率來判定。對於鎖模雷射，T可藉由腔端面鏡102、104之間的一往返行進時間來判定。根據一些實施例，脈衝分離時間T可介於約1 ns與約100 ns之間。在一些情況中，脈衝分離時間T可介於約0.1 ns與約1 ns之間。在一些實施方案中，脈衝分離時間T可介於約100 ns與約2 μs 之間。

【0049】 在一些實施例中，光學偵測系統140可自雷射110接收一脈衝光束122且偵測該雷射光束之一或多個性質。來自光學偵測系統140之偵測結果係提供至控制器150以供分析。光學偵測系統140亦可包含導引光學器件以將雷射光束導引至各種偵測器之一者。例如，圖3繪示包含作為導引光學器件之一實例之一二向色鏡341及一光束分離器342之一實例性光學偵測系統140。二向色鏡341可反射一第一波長之光且透射一第二波長之光。例如，若雷射光束122包含1064 nm脈衝及532 nm脈衝兩者，則1064 nm光可被反射朝向用於量測1064 nm光之功率之一第一功率計343。光束分離器342可將532 nm光之一部分透射朝向用於量測532 nm光之功率之一第二功率計344。透射穿過光束分離器342之532 nm光經引導至一脈衝特徵化偵測器345。脈衝特徵化偵測器345經組態以量測藉由雷

射系統110輸出之532 nm脈衝之脈衝寬度。在一些實施例中，脈衝特徵化偵測器345可為一自相關器，諸如由APE製造之pulseCheck自相關器。一自相關器量測雷射脈衝之時間脈衝寬度。在其他實施例中，脈衝特徵化偵測器345可包含執行用於直接電場重建(SPIDER)或頻率解析光學閘控(FROG)之光譜干涉量測之一器件，該器件不僅可提供雷射脈衝之時間脈衝寬度，而且可提供雷射脈衝之全強度及相位輪廓。來自光學偵測系統140之個別偵測器之各者之偵測結果係提供至控制器150。

【0050】 實施例並不限於一特定光學偵測系統140。例如，圖1將光學偵測系統140繪示為完全在雷射系統110外部。然而，在一些實施例中，雷射系統自身內可包含一或多個偵測器。例如，在其中雷射腔係由複數個內部鏡形成之實施例中，一偵測器可放置於該等鏡之一或多者後面以偵測透射穿過鏡之雷射光束之一部分。此等偵測器可定位於雷射系統之一外殼內以量測雷射之功率。在一些實施例中，光學偵測系統140可包含可位於該外殼之外或外殼內部之一快速光電二極體。

【0051】 返回參考圖1，光學特徵化裝置100可包含經組態以使端面鏡102平移，使得雷射光束在端面鏡102上之照明光點可跨端面鏡102之表面掃描之一二維平移載物台145。使端面鏡102平移並不改變雷射腔之長度，此係因為平移載物台145之運動係垂直於雷射光束之入射光學脈衝122。在所繪示實施例中，圖1之二維平移載物台145之示意性描繪內之箭頭展示平移載物台使端面鏡102移動之兩個方向(在頁面平面中上下及進出頁面)。在一些實施例中，二維平移載物台145係由控制器150控制之一機動化平移載物台。在一些實施例中，二維平移載物台145可包含安裝於一第二一維平移載物台上之一第一一維平移載物台，其中該兩個平移載物台

之運動方向互相垂直。除了二維平移載物台145之外，一些實施例亦可包含控制端面鏡102之傾斜之一雙軸傾斜調整安裝座(未展示)。該傾斜調整安裝座可使用來自一或多個功率量測之回饋以確保端面鏡102經適當對準以最佳化脈衝雷射110之效能。

【0052】 如上文所陳述，光學特徵化裝置100包含用於控制平移載物台1145及自光學偵測系統140接收量測資料之一控制器150。如下文更詳細描述，控制器150可包含一儲存器件及一處理器。該儲存器件可儲存自光學偵測系統140接收之量測資料，以及在藉由該處理器執行時引起該處理器分析該量測資料之指令。該等指令可進一步控制平移載物台145之運動。

【0053】 實施例並不限於一光學特徵化裝置100之一特定光學佈局。在一些實施例中，光學特徵化裝置100具有類似於其中最終將包含經特徵化之光學元件之雷射系統之佈局之一佈局。在此等情況中，確保光學特徵化裝置100之儘可能多的性質與雷射系統相同可為有益的。例如，雷射腔之長度在光學特徵化裝置100及光學元件預期用於之雷射系統中可為相同的。在一些實施例中，可藉由修改一現有雷射系統而形成光學特徵化裝置100。

【0054】 鎖模雷射模組

【0055】 參考圖4，展示可經修改以形成一光學特徵化裝置100之一緊湊型鎖模雷射模組1-108之一實例。根據一些實施例，緊湊型鎖模雷射模組1-108可包含一雷射腔(其包含在可用作該雷射腔之一第一端面鏡之一輸出耦合器1-111與可用作該雷射腔之一第二端面鏡之可飽和吸收鏡(SAM) 1-119之間的光學元件)、其上安裝有鎖模雷射110之部分或所有組

件之一經成形之基礎底座2-105 (亦被稱為一外殼)、可使鎖模雷射之操作穩定化之至少一腔內光學元件2-128、可參與將來自雷射之一輸出轉換成一較短波長之倍頻元件2-170、2-164、2-160，及監測雷射之操作參數(諸如光學功率)並產生與藉由雷射產生之光學脈衝同步化之一電子時脈信號之電組件2-190、2-154、2-182、2-116。一泵浦模組2-140可安裝至基礎底座2-105且用於激發鎖模雷射之增益介質1-105。

【0056】 根據一些實施例，一緊湊型鎖模雷射模組1-108之基礎底座2-105可量測為長度L在約20 cm與約30 cm之間，高度H在約10 cm與約20 cm之間，且具有約10 mm與約30 mm之間的一厚度。在一些情況中，該等尺寸之一或多者可增大多至20%。根據一些實施例，由緊湊型鎖模雷射模組1-108佔用之一體積可為約30 cm × 18 cm × 3 cm或近似1620 cm³。根據一些實施方案，鎖模雷射模組1-108之總體形狀或外觀尺寸係具有比一高度H長之一長度L及遠小於該長度或該高度之一厚度，佔用小於2850 cm³之一體積且稱重小近似2千克或具有近似2千克之一重量之一板片。在一些情況中，模組1-108之重量係在1千克與2千克之間。

【0057】 在一些實施例中，基礎底座2-105可由鋁、鈦、鋁合金或鈦合金形成。在其他實施例中可使用其他材料。在一些實施方案中，基礎底座2-105可包含經加工或以其他方式形成(例如，藉由鑄造或組裝)為基礎底座之複數個腔2-102。在一些實施例中，12.5 mm直徑光學組件(或更小)可用於建構鎖模雷射110且部分或完全凹入至基礎底座2-105之腔2-102中，使得一罩蓋(未展示)可放置於腔2-102上方以保護腔內之組件免受外部環境因素及污染物之影響。在一些實施例中，一罩蓋可放置於腔2-102上方以密閉式密封腔之一或多者。

【0058】在腔2-102之間，可存在形成於基礎底座2-105中之肋2-107。在一些該等肋中，可存在容許腔內雷射光束穿過肋至相鄰腔之孔或開口(不可見)。根據一些實施例，可存在相對於基礎底座2-105之一邊緣成一角度延伸之一或多個對角肋2-107。例如，一對角肋2-107可跨基礎底座2-105沿著一邊角對邊角方向延伸。相較於不具有對角肋，對角肋2-107可使基礎底座2-105之扭轉剛度增加三倍。一經增加之扭轉剛度可幫助防止雷射操作之不穩定性及提高模組對作用於基礎底座2-105上之擾動力之抵抗力。在一些情況中，肋之至少部分可自一腔之一底部延伸至基礎底座2-105之一頂表面，使得用於雷射模組1-108之一或多個罩蓋(未展示)可附接至肋。在此方面，可使用任何合適罩蓋，包含(但不限於)一剛性金屬罩蓋(例如，具有大於近似1 mm之一厚度之一金屬)、一剛性聚合物罩蓋(例如，具有大於近似2 mm之一厚度之聚合物)或可密封至基礎底座2-105或使用一支撐件(例如，一金屬框架)抵靠基礎底座2-105固持之一可撓性材料(金屬或聚合物)。在一些情況中，一覆蓋材料包括使用一金屬框架(近似1.5 mm厚)抵靠基礎底座固持之Tyvek® (近似0.25 mm厚)。

【0059】在一些實施方案中，一或多個安裝部件2-103可定位於一或多個肋2-107處。安裝部件2-103可用於將緊湊型雷射模組1-108安裝至一儀器或其他平台。在一些情況中，安裝部件提供運動學安裝，使得各雷射模組1-108或相同雷射模組可重現地安裝於幾乎相同位置及對準中(例如，在 ± 100 微米內)。運動學安裝亦可減少由安裝程序引起之誘導應力。安裝部件2-103可包括螺孔或非螺孔。該等孔可為埋頭孔或柱坑孔。對於運動學安裝，可存在三個安裝部件2-103，用於其等之底表面(圖4中未展示)包括用於一第一安裝部件之一錐形接觸表面或環形接觸件、用於一第

二安裝部件之一楔形接觸表面或兩點接觸表面及用於一第三安裝部件之一平坦表面或單點接觸件。替代性地，安裝部件2-103處之兩個埋頭孔可用於將基礎底座2-105對準至一接納支撐結構。

【0060】雷射模組1-108之一鎖模雷射110可包括在雷射之腔之一輸出端處之一輸出耦合器1-111、一增益介質1-105及在雷射腔之一相對端處之一可飽和吸收鏡(SAM) 1-119。雷射腔內可存在多個鏡2-116、2-117、2-120、2-121、2-122、2-123、2-124、2-125以摺疊雷射之光軸1-125且使雷射腔之長度延伸以實現一所要脈衝重複率或脈衝分離時間間隔T。雷射腔內亦可存在光束塑形光學器件(例如，透鏡及/或彎曲鏡)以變更腔內雷射光束之一大小及/或形狀。

【0061】現將描述用於以1064 nm之一雷射發射波長操作之一鎖模雷射之實例性光學組件。將瞭解，本發明之實施例並不僅限於所描述之光學組件。一些實施方案中可使用更少或更多光學組件(例如，添加或移除鏡以改變脈衝重複率)，且組件上之光學塗層針對依不同波長進行雷射發射之雷射可為不同的。

【0062】增益介質1-105可包括安裝於將熱量消散至基礎底座2-105中之一導熱安裝座(例如，一鋁或銅塊或其他導熱材料)中之一摻雜釹之材料。當鎖模雷射依高平均功率(例如，高於300 mW)操作時，增益介質1-105中之熱透鏡效應發生。在一些情況中，此熱透鏡效應可使雷射之操作不穩定。為改良自增益介質至導熱安裝座之熱傳遞，可將增益介質1-105包覆於改良至導熱安裝座之熱傳遞之鈹箔或任何其他合適材料中。在一些情況中，銀環氧樹脂或任何其他合適導熱黏合劑可用於將增益晶體固定至熱安裝座。在一些情況中，增益介質1-105及導熱安裝座可安裝於可散熱

至基礎底座2-105中之一熱電冷卻器(TEC) 3-103上。該TEC或其他主動冷卻技術(諸如液體冷卻)可提供增益介質1-105之主動溫度控制及減少熱透鏡效應。

【0063】 剔除增益介質1-105之主動冷卻可降低雷射之成本及複雜性。增益介質之主動溫度控制無需用於本實施例之鎖模雷射110，甚至在高達10瓦特之光學泵抽功率用於泵抽增益介質時。出乎意料地，即使相關聯熱透鏡效應(正透鏡效應)可在該泵抽功率範圍內將增益介質之一熱誘導焦距自0屈光度改變至近似15屈光度，鎖模雷射110在此泵抽功率範圍內仍保持穩定地鎖模。對於超過15屈光度之熱透鏡效應，雷射腔可變為無法支援鎖模操作或連續波操作之一不穩定諧振器。在增益介質中之此一較大範圍之熱透鏡效應內之鎖模之穩定性係部分歸因於用於鎖模雷射110之光學組件之選擇及配置。根據一項實施例，鎖模操作之穩定性及改良效能關鍵地取決於在增益介質中發生熱透鏡效應。在實施例中，對於在正透鏡效應之1屈光度與15屈光度之間的熱透鏡效應之量，可獲得鎖模雷射110之穩定鎖模操作。即使熱透鏡效應可在此範圍內改變，仍無需對雷射腔進行機械調整以維持穩定鎖模。當增益介質1-105中之熱透鏡效應之量在正熱透鏡效應之8屈光度與12屈光度之間時，可獲得鎖模雷射之改良效能。對於連續波操作，可介於正熱透鏡效應之0屈光度與至少15屈光度之間。可藉由傳遞(例如，來自一氦氖雷射或雷射二極體之)一連續波雷射探測光束穿過增益介質1-105 (例如，以一角度)及量測在「泵浦光束打開」狀態與「泵浦光束關閉」狀態之間該探測光束在距增益介質一定距離處之一相對位移來量測熱透鏡效應之量(大於近似4屈光度)。一泵浦光束打開狀態係在雷射二極體泵浦光束打開並激發增益介質1-105以用於雷射110之鎖模雷

射發射時。低於4屈光度之值可難以準確地量測，此係因為相對位移變小。

【0064】在增益介質1-105中吸收一光學泵浦光束可引起增益介質中之熱透鏡效應。在實施例中，可藉由改變施加至增益介質1-105之一光學泵浦光束中之一功率量(例如，改變來自泵浦模組2-140之一功率量)來改變增益介質中之熱透鏡效應之量。此外或替代性地，可藉由調諧用於激發增益介質1-105之一光學泵浦光束之一光學波長來改變增益介質中之熱透鏡效應之量。調諧光學泵浦光束之波長可(例如)藉由調諧泵浦模組2-140中之一雷射二極體之一溫度而執行。調諧一泵浦光束之波長可改變該光學泵浦光束在增益介質1-105中之一吸收量。

【0065】在一些實施方案中，增益介質1-105可包括可依1064 nm提供雷射發射之釩酸釹(例如， $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$)。在其他實施例中可使用其他固態晶體，諸如(但不限於) $\text{Nd}:\text{YAG}$ 、 $\text{Nd}:\text{YLF}$ 及 $\text{Cr}:\text{鎂橄欖石}$ 。在一些實施方案中，替代性地或此外，一釩酸釹增益介質1-105可用於依1342 nm提供雷射發射，前提是腔中之光學組件經設計及塗佈以用於依此波長進行雷射發射。在一些情況中，增益介質可具有在3 mm與11 mm之間的一長度。在一些實施例中，增益介質之長度可在5 mm與9 mm之間。在一些情況中，釹摻雜劑位準(原子%)可在0.10%與1%之間。在一些實施方案中，摻雜劑位準可在0.10%與0.50%之間。在一些實施方案中，摻雜劑位準可在0.24%與0.30%之間。根據一些實施例，晶體長度可為近似7 mm且摻雜劑位準可為近似0.27%。對於近似7 mm之長度，明顯高於0.3%之摻雜劑位準(原子%)可使雷射在較高操作功率下之操作不穩定(例如，誘導更高階空間模式中之雷射發射，或使鎖模不穩定或終止)，此可非所要地需要重

新調整腔內組件。例如，在1%摻雜之情況中，鎖模在高於一特定泵抽功率位準下終止，且腔內光學元件必須經重新調整以恢復鎖模。增益介質1-105之橫向尺寸或若干橫向尺寸可為任何合適值(例如，在1 mm與4 mm之間)。增益介質可呈一圓柱形棒、矩形桿或任何其他形狀之形式。

【0066】 根據一些實施例，增益介質1-105之端面可針對雷射發射波長 λ_1 (其針對釹酸釹可為約1064 nm)及針對泵抽波長 λ_p (其針對釹酸釹可為約808 nm)經抗反射塗佈。在一些實施例中，增益介質之一端面可用一輸出耦合器塗層塗佈，使得該端面作為雷射腔之一端面鏡且不需要使用一分離輸出耦合器1-111。

【0067】 增益介質1-105可以其中增益介質之端面具有相對於雷射腔之光軸1-125成約1度與約3度之間的一角度定向之法向向量之一定向安裝於一不可調整安裝座(不提供精細角調整或位置調整之一安裝座)中。例如，用於增益介質之一導熱安裝座可包含其中放置增益介質1-105之一凹部。該凹部可將增益介質對準至該導熱安裝座。導熱安裝座可接著配準至基礎底座2-105上之部件(例如，經加工表面、銷、螺孔之任一者或組合)以將增益介質按一角度對準至雷射腔之光軸1-125。根據一些實施方案，增益介質1-105可經切割及定向於其安裝座中，使得其與預期用於進行雷射發射之一有利偏振對準。例如，增益介質1-105可經定向以用平行於圖4中之Y軸之一線性偏振進行雷射發射。

【0068】 根據一些實施例，用於一緊湊型鎖模雷射之一輸出耦合器1-111可為具有10-5 (刮挖(scratch and dig))之一表面品質及至多 $\lambda/10$ 之一波前誤差之一高品質雷射光學器件。輸出耦合器1-111之一表面可用一多層介電質塗佈以針對雷射發射波長 λ_1 提供具有約75%與約95%之間的一值

之一反射率且容許(在具有最小反射比之情況下)透射用於激發增益介質1-105之一泵抽波長 λ_p 。在一些實施例中，雷射發射波長可為約1064 nm且泵抽波長可為約808 nm，但在其他實施例中可使用其他波長。在一些實施方案中，輸出耦合器在雷射發射波長下之反射率係在82%與88%之間。在此反射率範圍內之一輸出耦合器提供一所要量之輸出功率與雷射之穩定操作且在雷射之一操作範圍內在可飽和吸收鏡1-119上提供適當量之通量。

【0069】輸出耦合器1-111之一第二表面(朝向雷射輸出)針對泵抽波長及雷射發射波長兩者可用一抗反射塗層塗佈，且可相對於輸出耦合器之反射表面成一角度(例如，在約1度與約4度之間)定向。來自輸出耦合器1-111之輸出(透射)表面之雷射發射波長之少量反射可明顯地及不利地加寬來自鎖模雷射之脈衝。根據一些實施例，輸出耦合器上之塗層係二向色的，以便在具有可忽略反射之情況下透射泵抽波長 λ_p 。

【0070】根據一些實施例，輸出耦合器1-111可安裝於提供相對於圍繞兩個正交軸(例如，圍繞圖4中之Y軸及X軸)之光軸1-125之角調整之一雙軸可調整安裝座中。在一些實施例中，輸出耦合器1-111可安裝於可整合至基礎底座2-105中之一不可調整安裝座中。一不可調整安裝座降低緊湊型雷射之成本及複雜性。在又其他實施例中，輸出耦合器1-111可形成為增益介質1-105之一端面上之一多層光學塗層來代替包括一透明基板及一或多個光學塗層之一分離光學組件。

【0071】改變輸出耦合器1-111與增益介質1-105之間的一距離可改變鎖模脈衝時間輪廓之FWHM值(亦被稱為脈衝持續時間)。可隨著輸出耦合器1-111與增益介質1-105之間的該距離在0 mm與10 mm之間改變而實

現雷射之鎖模，且脈衝持續時間可在此距離範圍內藉由選擇不同距離而在近似9皮秒與近似38皮秒之間改變以獲得不同脈衝持續時間。根據一些實施例，輸出耦合器1-111與增益介質1-105之間的距離係設定於4 mm與8 mm之間。

【0072】 當輸出耦合器1-111處之雷射之腔內光束腰在100微米與180微米之間(光束半徑以 $1/e^2$ 位準量測)時，實現在一平均雷射發射功率範圍內之穩定及有效操作。輸出耦合器1-111處之光束腰之值係部分藉由腔內光學器件(諸如彎曲鏡2-117)，藉由輸出耦合器至彎曲鏡之距離及藉由增益介質1-105中之泵浦光束腰而判定。根據一些實施例，增益介質中之雷射發射波長之光束腰可顯著小於增益介質1-105中之泵浦光束腰。例如，用於增益介質中之雷射發射波長之光束腰在增益介質中可介於100微米與150微米之間，且用於泵浦光束之一最小腰可在180微米與250微米之間，其中泵浦光束可能並非圍繞其光軸完全對稱。輸出耦合器1-111處及增益介質1-105中之光束腰之值亦可受第二彎曲鏡2-127之焦距及第二彎曲鏡2-127至可飽和吸收鏡1-119之距離影響。具有小於雷射二極體泵浦光束之用於鎖模雷射110之雷射發射光束之一光束腰可改良鎖模雷射操作之穩定性(例如，使雷射不易受歸因於增益介質1-105中之雷射光束與雷射二極體泵浦光束之相對運動而引起之功率及鎖模波動之影響)。術語「光束腰」係用於指代雷射光束強度在光束之相對側上自一峰值降至一 $1/e^2$ 值之空間範圍。一圓形光束可藉由一單一光束腰特徵化。一橢圓形光束可藉由兩個光束腰特徵化：一個光束腰針對光束之短軸且一個光束腰針對光束之長軸。

【0073】 在雷射腔之一相對端處，可安裝一可飽和吸收鏡(SAM) 1-

119。該SAM可包括展現非線性光學吸收之一多層半導體結構(例如，一多量子井)及形成於一基板上之一高反射體(例如，布拉格(Bragg)反射體)。該非線性光學吸收可誘導雷射中之被動鎖模。例如，SAM在低光學強度下可展現較高吸收及損耗，且可在高光學強度下漂白或展現較少吸收及較少損耗。半導體結構可與SAM中之高反射體間隔，使得半導體結構定位於由入射於高反射體上及自高反射體反射之光場產生之一光學駐波之近似一峰值強度。一SAM之一實例係可自德國Jena之BATOP Optoelectronics GmbH購得之零件號SAM-1064-5-10ps-x。由於SAM之非線性光學吸收，雷射優先在一脈衝操作模式中操作(經被動鎖模)，此係因為光學脈衝之高強度相比雷射之較低強度、連續波操作在腔中經歷較少損耗。

【0074】根據一些實施例，SAM可由一砷化鎵半導體組合物形成。SAM可自一較大基板或晶圓切割，且可呈具有跨SAM之面之在1 mm與3 mm之間的一最大尺寸之正方形形狀。SAM之吸收之一弛緩時間可在10 ps與30 ps之間。SAM之一未飽和吸收可在2%與6%之間。SAM之調變深度可在SAM之未飽和吸收之60%與74%之間。在一些實施方案中，弛緩時間係近似25 ps且未飽和吸收係近似4%。此一SAM 1-119可支援具有在12 ps與20 ps之間的脈衝持續時間之鎖模雷射發射。在一些實施例中，SAM之一飽和通量可為約70微焦耳/cm² (μJ/cm²)。

【0075】來自腔內雷射光束之在SAM上之光學通量應針對一砷化鎵SAM之長時間操作保持低於2.5 微焦耳/cm² (mJ/cm²)。在等於5 mJ/cm²或更高之值下，SAM可能損壞。在一些實施方案中，SAM上之通量可保持低於SAM之飽和通量之約10倍。可藉由控制SAM處之光束腰(例如，用定

位於雷射腔中之一彎曲鏡2-127)及藉由憑藉選擇輸出耦合器1-111之反射率來控制腔內功率而控制SAM上之通量。根據一些實施例，當輸出耦合器反射率係在82%與88%之間時，SAM處之一光束腰係在80微米與120微米之間。

【0076】 在輸出耦合器1-111與SAM 1-119之間，可存在多次摺疊雷射腔之光軸之複數個鏡。此等鏡之一些(例如，鏡2-115、2-120、2-121、2-122、2-123、2-124、2-125)可具有平坦表面且安裝於不可調整安裝座中。根據一些實施例，鏡2-117、2-127之兩者可具有彎曲表面且包括一聚焦反射體。在一些情況中，可使用另一類型之聚焦光學器件(例如，一透鏡或複合透鏡)來代替聚焦反射體用於鏡2-117、2-127 (例如，若腔內光束未在鏡2-117或鏡2-127之位置處摺疊)。對於用於摺疊雷射之光軸之平面鏡及彎曲鏡，鏡之反射率針對將使用鏡之入射角之雷射發射波長可為非常高。例如，此一鏡之反射率可在一些情況中大於99%，且又在一些情況中大於99.5%。摺疊鏡之一或多者之表面品質可為至少10-5 (刮挖)且一波前誤差可為至多 $\lambda/10$ 。在一些情況中，摺疊鏡之一或多者之表面品質可為至少40-20 (刮挖)且一波前誤差可為至多 $\lambda/10$ 。用於刮挖表面品質之一較高值可顯著降低摺疊鏡之成本。

【0077】 在一些實施方案中，鏡之至少一者(例如，鏡2-124)可針對自增益介質1-105至SAM 1-119之一單次透射多次摺疊腔內光束。對於圖4中所展示之實例性組態，用於自增益介質1-105行進至SAM 1-119之一光學脈衝1-120之一彈跳序列係自鏡2-115、2-117、2-120、2-121、2-122、2-123、2-124、2-125、2-124、2-127、2-124且接著至SAM 1-119之一反射序列。在此序列中，腔內鏡2-124之一者係用於多次反射且在光束自雷

射腔之一端行進至另一端時，入射角在此鏡上針對至少兩次反射在正負號上反轉。例如且參考圖4，在光束自輸出耦合器1-111行進至SAM 1-119時，鏡2-124上之第一入射角係在+Z方向上且第二入射角係在-Z方向上。在自SAM 1-119反射之後，脈衝將接著以反向彈跳序列返回至增益介質。藉由使緊湊型雷射模組內之光軸多次摺疊，可延伸腔長度以獲得低於200 MHz且低至50 MHz之一脈衝重複率。該脈衝重複率將取決於部分藉由腔中之鏡之間的彈跳次數及鏡之間的距離判定之雷射腔之長度。根據一些實施例，可藉由在腔內在第一彎曲鏡2-117與第二彎曲鏡2-127之間重新定位鏡及添加或移除鏡以增加或減小輸出耦合器110與可飽和吸收鏡1-119之間的光學路徑長度而改變脈衝重複率。因為腔內光束係在第一彎曲鏡2-117與第二彎曲鏡2-127之間近似準直，所以相比光束在此區域中未準直之情況可更容易地改變脈衝重複率。在一些實施方案中，額外整合式光學安裝座可形成於基礎底座中以用於重新定位鏡以獲得不同脈衝重複率。

【0078】 如上文所提及，本發明者已認識並瞭解到，對於一生物光電晶片上之樣本之大規模並行分析，期望低於200 MHz且低至50 MHz之脈衝重複率。然而，使用多個鏡(其中一些鏡使用多次)需要鏡相對於彼此之一非常高度之穩定性以在數小時之時間段內維持穩定鎖模雷射發射。將鏡抵靠支撐表面整合式安裝於包含加固肋之一基礎底座2-105中可實現鏡之必要穩定性及穩定鎖模操作。

【0079】 在一些實施方案中，一個摺疊鏡2-115可經組態以控制腔內之輻射偏振及容許監測泵浦光束輻射(指示為圖4中之加粗虛線)。例如，摺疊鏡2-115可經塗佈以依大於99%或甚至在一些情況中大於99.5%之一高反射率反射s偏振(在基礎底座之平面外沿著Y方向之偏振)，及具有

針對正交p偏振之一較低反射率，使得防止p偏振中之雷射發射。在一些情況中，摺疊鏡2-115可為發射p偏振之超過20%且以高反射率反射s偏振之一偏振光束分離器。摺疊鏡2-115可另外透射大部分或幾乎所有泵浦光束輻射至定位於鏡後面之一光偵測器2-116。在一些實施例中，摺疊鏡可包含一二向色塗層以容許透射泵浦光束輻射。在其他實施例中，可不使用一二向色塗層，且用於雷射發射波長之塗層可容許使泵浦光束輻射充足透射穿過摺疊鏡2-115以用於偵測。可將來自光偵測器2-116之一輸出提供至PCB 2-190以用於信號處理及/或傳輸至一外部信號處理器。

【0080】 在一些實施例中，可在雷射腔內設計及定位兩個彎曲鏡2-117、2-127以獲得增益介質1-105及SAM 1-119內之所要光束腰大小。一第一彎曲鏡2-117可定位於雷射腔之靠近增益介質1-105之一第一部分中。一第二彎曲鏡2-127可定位於雷射腔之靠近SAM 1-119之一第二部分中。至少在該等彎曲鏡之間，可存在摺疊雷射之光軸及使雷射腔長度在一腔長度延伸區域中延伸之複數個摺疊鏡。在彎曲鏡2-127與SAM 1-119之間可另外存在多次摺疊腔內雷射光束以使腔之長度在腔長度延伸區域中延伸之一鏡2-124。例如，彎曲鏡2-127及鏡2-124可在自此兩個反射體之緊接連續彈跳時摺疊腔內光束三次，如圖4中所指示。

【0081】 根據一些實施例，第一彎曲鏡2-117可為一球形反射體且具有介於240 mm與260 mm之間的一焦距 f_1 。對此反射體之該焦距之一容限可為焦距之 $\pm 1\%$ 。本發明者已發現，具有近似250 mm之一焦距之第一彎曲鏡2-117可放置於距輸出耦合器1-111 230 mm與310 mm之間且可獲得具有不同特性之穩定鎖模操作。根據一些實施例，第一彎曲鏡可定位於距輸出耦合器280 mm與300 mm之間以在緊湊型雷射模組之大範圍之操作

功率內獲得穩定鎖模操作。在此組態中，增益介質1-105可定位於距輸出耦合器4 mm與8 mm之間。第一彎曲鏡2-117之焦距及第一彎曲鏡2-117相對於增益介質1-105及輸出耦合器1-111之位置，及第二彎曲鏡2-127之焦距及第二彎曲鏡2-127相對於SAM 1-119之位置可判定增益介質中之腔內光束之光束腰。

【0082】 在其他實施例中，第一彎曲鏡2-117之一焦距可具有其他值。例如，一較短焦距 $f_1 < 230$ mm可用於以較低功率操作之一更緊湊型鎖模雷射。在實施例中，輸出耦合器1-111可放置成與第一彎曲鏡2-117相距在焦距 f_1 之30%內之一值範圍中之一距離 d_1 (例如， $0.7f_1 < d_1 < 1.3f_1$)。在一些情況中， $0.9f_1 < d_1 < 1.3f_1$ 。

【0083】 在一些實施方案中，第一彎曲鏡2-117可安裝於僅提供兩個自由度以用於調整鏡相對於雷射之光軸之定向角(平面內及平面外角度)之一可調整安裝座中。一可調整安裝座可容許一操作者在雷射進行雷射發射時精細地調整光學組件之位置(X、Y、Z之一或多者)及/或定向(相對於入射腔內光束之光軸之俯仰及/或橫擺)，使得可針對穩定性、光束品質、輸出功率及/或脈衝特性調諧雷射之操作。例如，可藉由鏡安裝座上之測微計及/或精細螺紋式螺釘調整來實現微調。應注意，一可調整件並非第一彎曲鏡2-117之一要求。此外，用於形成雷射腔之其他鏡亦可用於精細地調整腔對準。

【0084】 提供用於第一彎曲鏡2-117之僅兩個自由度及用於一摺疊鏡(例如，鏡2-123)之僅一個自由度作為用於在雷射進行雷射發射時即時對準雷射腔之僅有調整可降低緊湊型鎖模雷射模組之成本及複雜性。在其他情況中，用於第一彎曲鏡2-117之鏡安裝座可包含(例如)用於調整鏡之

位置之額外自由度。根據一些實施例，可在調整彎曲鏡2-117之後對泵浦模組2-140進行調整以對準或重新對準泵浦光束及增加來自鎖模雷射之輸出功率。

【0085】 一第二彎曲鏡2-127可為一球形反射體且具有介於240 mm與260 mm之間的一焦距 f_2 。對此反射體之該焦距之一容限可為焦距之 $\pm 1\%$ 。本發明者已發現，具有近似250 mm之一焦距之第二彎曲鏡2-127可放置於距SAM 1-119 260 mm與290 mm之間且可獲得具有不同特性之穩定鎖模操作。根據一些實施例，第二彎曲鏡可定位於距SAM 1-119 270 mm與285 mm之間以在緊湊型雷射模組之大範圍之操作功率內獲得穩定鎖模操作。第二彎曲鏡2-127之焦距及第二彎曲鏡2-127相對於SAM 1-119之位置可判定SAM 1-119處之腔內光束之光束腰且亦影響增益晶體處之光束腰。

【0086】 在其他實施例中，第二彎曲鏡2-127之一焦距可具有其他值。例如，一較短焦距 $f_2 < 240$ mm可用於以較低功率操作之一更緊湊型鎖模雷射。在實施例中，SAM 1-119可放置成與第二彎曲鏡2-127相距在焦距 f_2 之20%內之一值範圍中之一距離 d_2 (例如， $0.8f_2 < d_2 < 1.2f_2$)。在一些情況中， $f_2 < d_2 < 1.2f_2$ 。

【0087】 第二彎曲鏡2-127可安裝於一不可調整安裝座中(例如)以降低雷射模組之成本及複雜性。如上文所描述，雷射腔中之所有反射組件(惟第一彎曲鏡2-117及摺疊鏡2-123除外)可安裝於自對準、不可調整安裝座中。此外，第一彎曲鏡2-117可僅具有兩個自由度用於角調整且摺疊鏡2-113可僅具有一個自由度用於角調整。本發明者已發現，根據一些實施例，鎖模雷射腔可僅使用此三個調整對準以用於長時間段之穩定操作。例

如，第一彎曲鏡2-117可用於將一光束自增益介質1-105轉向至安裝於一固定位置中以接收該光束之SAM 1-119。可藉由調整摺疊鏡2-123上之單自由度之角調整而適應任何平面外偏差(在圖4中之 $\pm Y$ 方向上)。若SAM 1-119不接收法向入射之腔內光束以便沿著相同路徑反射回光束，則可藉由在第二彎曲鏡2-127上平移腔內光束來調整SAM上之入射角。因為SAM 1-119幾乎處於第二彎曲鏡之焦點處，所以光束在此鏡上之一平移變更SAM處之入射角。可藉由對第一彎曲鏡2-117進行角調整而使腔內光束跨第二彎曲鏡之表面平移。亦可對第一彎曲鏡進行調整直至腔內光束自SAM 1-119自行反射回。

【0088】 本發明者已發現，腔內雷射光束在SAM上之光點尺寸對於第一彎曲鏡2-117與雷射之輸出耦合器1-111之間的距離變化比對於第二彎曲鏡2-127與SAM 1-119之間的距離變化可能更敏感。此結果係與第一彎曲鏡2-117與第二彎曲鏡2-127之間的經延伸腔長度有關。此經延伸腔長度可大於雷射腔之長度之一半，腔內雷射光束可在其內近似準直。彎曲鏡2-117與輸出耦合器1-111之間的距離變化可影響經延伸腔中之準直，此可放大第二彎曲鏡2-127處之光束大小之變化。相比第二彎曲鏡2-127與SAM 1-119之間的距離變化，此放大繼而更強烈地影響SAM 1-119中之光點尺寸。因此，第一彎曲鏡2-117之位置可用於調整SAM 1-119上之通量。在一些實施例中，可藉由增加第二彎曲鏡2-127之焦距來減小放大效應。

【0089】 當雷射腔如上文所描述般對準及組態，使得增益介質1-105中之一光束腰在100微米與150微米之間且SAM 1-119處之該光束腰在80微米與120微米之間時，本發明者已發現，雷射腔滿足用於光學諧振器之一「穩定性準則」(熟習雷射技術者已知之一條件)，該「穩定性準則」

跨越增益介質1-105中及針對兩個彎曲鏡2-117、2-127之 $\pm 1\%$ 之焦距誤差之熱透鏡效應之自0屈光度至15屈光度之一變化。在高光學功率下，增益介質1-105可自泵浦輻射獲取可觀熱量，且經加熱之增益介質可產生具有取決於該介質之溫度之一聚焦功率(屈光度)之一光學透鏡(亦被稱為熱透鏡效應)。對於經光學泵抽、高功率之雷射，歸因於此熱透鏡效應之變化可使雷射不穩定且壓制雷射發射在泵抽功率上自一初始穩定操作點增加達50%。本發明者已觀察到，緊湊型鎖模雷射模組1-108針對泵抽功率自2瓦特至8瓦特之變動(泵抽功率自一初始穩定操作點增加300%)維持穩定鎖模操作。用於雷射腔之穩定性範圍係出乎意料地大，且容許緊湊型鎖模雷射在大範圍之腔內及輸出功率內操作。例如，來自雷射之平均輸出功率可在此泵抽功率範圍內在350毫瓦特與3.5瓦特之間改變，而FWHM脈衝持續時間保持在12皮秒與18皮秒之間。此輸出可經倍頻以在532 nm之一波長下產生一相同持續時間之脈衝，例如，其中平均功率位準在100毫瓦特與1.5瓦特之間。

【0090】 根據一些實施例，可存在安裝於雷射腔內之光學組件以有助於穩定化鎖模雷射之操作及/或改良鎖模雷射之光束品質。例如，一空間模式濾波器2-118可定位於雷射腔中且經組態以防止在更高階空間模式中之雷射發射。模式濾波器2-118可包括任何合適形狀(例如，圓形、卵形、新月形、正方形、矩形、多邊形等)之一孔徑。該孔徑可安裝於一不可調整安裝座中，或可經安裝使得其可在橫向於腔內光束之光軸之方向上移動。在一些情況中(例如，一虹膜)，可調整孔徑之大小。在各項實施例中，孔徑將雷射發射操作限於雷射腔之最低階橫向空間模式，此可改良鎖模之穩定性。

【0091】 在一些實施例中，光束轉向組件可包含於雷射模組1-108中用於動態穩定化及對準。例如，可藉由一致動器2-162自動地操作可以相對於腔內光束之一角度旋轉之一或多個抗反射塗佈之雷射窗口或光學平板2-128以使腔內光束在SAM 1-119上平移及/或改變腔內光束在SAM 1-119上之一入射角。可存在實現對雷射窗口2-128之自動化俯仰或橫擺調整之介於一致動器與雷射窗口之間的機械連桿組2-164及用於雷射窗口之一俯仰或橫擺安裝座。致動器2-162可包括一步進馬達、壓電傳感器、電容性傳感器或任何其他合適致動器。

【0092】 一腔內雷射窗口之旋轉將使射出光束沿著旋轉方向自雷射窗口橫向偏移。可藉由將司乃耳定律(Snell's law)應用於雷射窗口之兩個介面來判定橫向偏移之量。若雷射窗口定位於第二彎曲鏡2-127與SAM 1-119之間，則雷射窗口之旋轉將主要使腔內光束在SAM上平移。此雷射窗口之旋轉可用於藉由跨SAM移動腔內光束而延長SAM之生命期。一掃描運動可減少SAM之疲勞，或若SAM已損壞，則可將光束移離損壞點。若雷射窗口2-128如圖4中所描繪定位於第二彎曲鏡2-127之前，則雷射窗口之旋轉將主要改變腔內光束在SAM上之入射角。此雷射窗口之旋轉可用於動態地對準或重新對準雷射腔以獲得及/或維持穩定鎖模操作。

【0093】 指示雷射效能且可用於自動地調整腔內光束轉向組件之信號可包含泵抽功率(用安裝於泵浦模組中之光偵測器2-116或一泵浦光偵測器(未展示)偵測)、雷射功率及/或脈衝特性(用可對雷射發射波長敏感之一雷射輸出光偵測器2-154偵測)及二次諧波功率(用一雙重輸出光偵測器2-182偵測)之任一者或組合。該信號或該等信號可被提供至PCB 2-190上之電路以用於處理及產生操作一或多個致動器2-162之回饋控制信號。在一

些實施例中，雷射輸出光偵測器2-154及雙重輸出光偵測器2-182之一或兩者可安裝於PCB 2-190上且透過定位於鎖模雷射模組1-108之一側中之一孔及/或窗口(未展示)接收輻射。在一些實施方案中，一腔內光束轉向組件之旋轉可經自動化以基於一或多個回饋信號微調腔對準及/或改變腔內光束在SAM 1-119上之一位置。

【0094】根據一些實施例，可另外或替代性地藉由誘導增益介質1-105中之不對稱熱梯度來獲得腔對準。不對稱熱梯度可影響熱透鏡效應及變更增益介質1-105內之折射率，使得在腔內雷射光束穿過增益介質1-105時引起腔內雷射光束中之小角度偏轉。在一些實施方案中，一或多個溫度控制器件(例如，電阻性加熱元件、TEC冷卻器或其等之一組合)可耦合至增益介質之一或多側。根據一些實施例，增益介質1-105可具有熱耦合至增益介質之兩個至四個面(四個縱向邊緣)之兩個至四個獨立操作之溫度控制器件(圖4中未展示)。熱耦合件可包括定位於一溫度控制器件與增益介質1-105之面之間的熱環氧樹脂或銅箔。一溫度控制器件亦可包含至該溫度控制器件之一相對側上之一散熱器(諸如雷射塊)之熱耦合。在一些情況中，溫度控制器件之一或多者之操作可提供橫向於光軸1-125之光束偏轉。藉由選擇性地變更溫度控制器件處之溫度，腔內雷射光束可經轉向及重新對準。在一些情況中，可與增益介質中之熱光束轉向合作地調整一或多個腔內雷射窗口2-128以(例如)在SAM上重新定位腔內光束及/或維持雷射之穩定鎖模操作。

【0095】本發明者已認識並瞭解到，鎖模雷射之平均功率及/或光譜特性可決定穩定、鎖模操作。例如，若鎖模操作期間之雷射之平均功率降至低於一特定值，則在SAM 1-119中可能不存在足夠非線性光學吸收來支

援鎖模。雷射可接著進行Q切換並損壞SAM 1-119。在一些情況中，雷射之平均輸出功率之快速波動可指示除了鎖模之外，雷射亦在Q切換，此可能損壞SAM 1-119。在一些實施例中，可包含至少一感測器2-154（例如，一光電二極體）且其經配置以感測藉由雷射110產生之光學功率及/或輸出雷射之脈衝或鎖模特性。例如，可在光譜上分析來自一第一感測器2-154之一信號以偵測靠近鎖模頻率之邊帶，該等邊帶可指示Q切換之開始及/或雷射110之鎖模脈衝系列中之不穩定性。一第二感測器（未展示）可偵測藉由雷射110產生之平均光學功率。若該經感測之平均雷射功率漂移至低於一預設位準及/或若藉由第一感測器2-154偵測邊帶或功率波動，則可執行一自動化腔對準例行工作以恢復功率及/或可關閉雷射以進行維修。在一些情況中，指示鎖模脈衝系列中之不穩定性之邊帶係歸因於更高階空間腔模式之雷射發射。例如，可藉由自動地或手動地調整一腔內空間模式濾波器2-118而校正此等不穩定性。根據一些實施例，對雷射發射波長敏感之一或多個感測器2-154可安裝於PCB 2-190上。

【0096】 在一些情況中，可處理額外信號以分析雷射行為。例如，可用一泵抽功率感測器2-116（其可為一光電二極體或其他合適光偵測器）結合來自雷射之平均功率位準來評估泵抽功率。在一些實施例中，此外或替代性地可用感測器2-182（其可為一光電二極體或其他合適光偵測器）監測倍頻功率之量。例如，在平均雷射功率保持幾乎恆定時平均倍頻功率之減小可指示鎖模脈衝長度之變化，或關於倍頻光學組件之一問題。

【0097】 緊湊型鎖模雷射模組1-108之組件附接至基礎底座2-105，使得雷射腔實質上在一單一平面中。本發明者已認識到，為修改此一雷射模組以適於用作一光學特徵化裝置，使SAM 2-128在不同於其餘組件之一

平面中將係有用的。特定言之，SAM 2-128可安裝於在雷射模組1-108之外殼外面之一安裝座中，該安裝座使SAM 2-128沿著垂直於雷射腔之其他光學組件之一方向定向。

【0098】圖5中展示此實施例之一實例，其中繪示一光學特徵化裝置之一部分500。一鎖模雷射模組1-108包含外殼501。鎖模雷射模組1-108之大部分組件係在外殼501內之一單一平面中。定位於外殼501之外之一安裝座502包含其中可放置一光學組件(諸如一鏡或一SAM)之一容槽。安裝座502經配置使得該光學組件自上方落入。雷射光束自上方入射於光學組件上。安裝座502安裝於一機動化二維平移載物台上，該機動化二維平移載物台包含可在水平平面中控制光學組件在安裝座502內之位置之兩個馬達部分510、511。

【0099】圖6展示安裝座502之一特寫圖，其中一SAM 601安置於該安裝座內。在一些實施例中，安裝座502可具有容納一整個SAM晶圓之一較大安裝區域。一整個SAM晶圓無法配裝於外殼501內，但藉由將安裝座502定位於外殼501之外，存在充足空間用於掃描一完整晶圓。

【0100】為修改圖4之現有鎖模雷射模組1-108，使得端面鏡在外殼之外，雷射光束必須經重新引導至外殼501之外。為實現此，在基礎底座2-105中於藉由圖4中之黑色圓2-107指示之位置處形成一孔。一選截鏡(pick-off mirror)定位於該孔上方以使雷射光束向下反射穿過該孔而非容許雷射光束入射於腔內鏡2-124及SAM 1-119上。雖然圖4之大部分鏡經組態以在藉由基礎底座2-105建立之平面內有效地反射s偏振光，但添加至雷射模組1-108之該選截鏡經組態以有效地反射p偏振光。圖7中展示對現有鎖模雷射模組1-108之修改，其中藉由選截鏡703使雷射光束反射穿過孔

701。圖7之虛線表示在無修改之情況下之雷射光束路徑，其將包含離開SAM 705之反射。在一些實施例中，在一未經修改系統中之自選截鏡703至SAM 705之位置之距離係等於自選截鏡703至安裝座502中之SAM 601之距離。藉由保持距離相同，使用此設置量測之雷射之特性將與在未經修改位置中包含SAM之未經修改鎖模雷射模組1-108之行為最為相似。

【0101】 雖然圖4至圖7繪示可經修改以用作一光學特徵化裝置之一特定雷射模組，然實施例並不受限於此。其他雷射系統亦可經修改以作為一光學特徵化裝置。圖8繪示可在一些實施例中使用之一鎖模半導體雷射且圖9繪示可在一些實施例中使用之一鎖模半導體雷射。

【0102】 參考圖8，根據一些實施例，鎖模雷射二極體4-100可產生將直接用於探測樣本或進行量測之一所要波長(例如，藍色、綠色或紅色波長)之脈衝。在一些情況中，藉由一雷射二極體產生之脈衝可經轉換成另一波長(例如，倍頻)以用於探測或量測應用。例如，一鎖模雷射二極體可產生紅外波長之脈衝，且此等脈衝可經倍頻至光譜之藍色、綠色或紅色區域。

【0103】 一鎖模半導體雷射可包括一雷射二極體4-105及一可飽和吸收鏡3-120。根據一些實施例，可藉由形成於半導體雷射二極體4-105之一端上之一反射塗層4-112及可飽和吸收鏡3-120來界定雷射腔之端部。SAM 3-120可安裝於一二維平移載物台上以容許跨SAM 3-120掃描雷射光束之照明光點。雷射腔可包含重新塑形來自雷射二極體之一光束及/或改變來自雷射二極體之該光束之發散度之一第一光學系統OS₁。雷射腔可進一步包含可重新塑形腔內光束及/或將腔內光束聚焦至可飽和吸收鏡上之一第二光學系統OS₂。在一些實施例中，雷射腔可包含一光學延遲元件3-

110。一鎖模雷射二極體可依一波長 λ_1 進行發射雷射且產生具有短於約100 ps之持續時間之一系列超快脈衝。

【0104】 在一些實施方案中，一雷射二極體4-105可包含在一光學波導結構之任一端上之光學塗層。光學塗層4-110、4-112可藉由任何合適沈積程序(諸如一氣相沈積程序或一物理沈積程序)形成。在一些實施方案中，雷射二極體之一第一端可包含用作雷射腔之一輸出耦合器之一部分透射塗層4-112。透射塗層4-112可透射雷射光束之一部分至腔外部以提供一系列超快脈衝。根據一些實施例，塗層4-112之透射比可在近似2%與近似15%之間，且其反射率可在約98%與約85%之間。雷射二極體4-105之一相對端可用一抗反射塗層4-110塗佈，以便容許來自雷射二極體之大部分輻射在無顯著反射之情況下穿過至雷射腔中。例如，抗反射塗層4-110可反射雷射發射波長 λ_1 之小於1%。

【0105】 使用鎖模雷射二極體對於並不需要高功率量(例如，超過約300 mW之功率位準)之一些實施例可為有利的。鎖模雷射二極體之一優點在於其等緊湊型尺寸及減少雷射中所使用之光學元件之數目。因為雷射發射介質可為非常小(例如，寬度小於5 mm)，所以在一些實施例中可使用鎖模雷射二極體之陣列。在一些實施方案中，一鎖模雷射二極體陣列可共用共同光學元件。例如，兩個或兩個以上雷射二極體可共用一或多個光學元件(例如，一光學延遲元件3-110、光學系統OS₁、OS₂及可飽和吸收鏡3-120之一或多者)。

【0106】 參考圖9，亦可使用鎖模光纖雷射產生超快脈衝。一鎖模光纖雷射5-200可包含用於二極體泵浦固態雷射中之光學元件。然而，在一鎖模光纖雷射中，增益介質包括亦可提供用於雷射腔之一光學延遲元件

之光纖5-120之一長度。根據一些實施例，一二極體泵浦源3-105可提供耦合至光纖5-120之一端中之一泵抽波長 λ_p ，如圖9中所描繪。

【0107】 在一些實施方案中，光學耦合元件可經製造或接合於光纖5-120之相對端處。例如，一第一光學元件5-210可接合至光纖之一第一端或形成於光纖之該第一端上。該第一光學元件可包括直接附接或憑藉一支撐結構附接至光纖之一端之一球透鏡或一梯度折射率透鏡。此外，第一光學元件5-210可包含透射絕大部分(例如，超過約98%)泵抽波長 λ_p 及反射絕大部分(在約98%與約85%之間)雷射發射波長 λ_l 之一二向色塗層。因此，第一光學元件5-210可包括用於光纖雷射5-200之一輸出耦合器。

【0108】 第二光學元件5-220可包括形成於光纖之一端上之一二向色塗層，在一些實施例中，該二向色塗層經設計以透射絕大部分(例如，超過約98%)雷射發射波長 λ_l 及將絕大部分(例如，超過約98%)泵抽波長 λ_p 反射回至光纖中。在一些實施例中，第二光學元件5-220可包括直接附接至光纖之一端或憑藉一支撐結構與光纖之該端耦合之一球透鏡或一GRIN透鏡。例如，一GRIN透鏡可用一光學黏合劑黏合至光纖之一端，且該GRIN透鏡之一暴露端可用經設計以透射絕大部分(例如，超過約98%)雷射發射波長 λ_l 及將絕大部分(例如，超過約98%)泵抽波長 λ_p 反射回至光纖中之一二向色塗層塗佈。根據一些實施例，可存在用於將來自雷射二極體3-105之泵浦輻射耦合至光纖中之一第一光學透鏡系統OS₁，及用於將來自光纖之輻射聚焦至可安裝於一二維平移載物台上之可飽和吸收鏡3-120上之一第二光學透鏡系統OS₂。

【0109】 參考圖10，繪示特徵化一光學元件(諸如一SAM)之一方法1000。在方塊1001，一控制器(例如，圖1之控制器150)使用二維平移載

物台(例如，圖1之載物台145)將該SAM移動至一初始位置。在方塊1003，該控制器(例如，圖1之控制器150)使用光學偵測系統量測雷射光束之至少一性質。在方塊1005，控制器判定是否存在待量測之SAM之額外部分。若是，則方法1000返回至方塊1001，其中控制器使用平移載物台以調整SAM相對於雷射光束之照明光點之位置。若不存在待量測之額外位置，則方法1000繼續進行至方塊1007，其中控制器判定雷射光束之一或多個性質。在方塊1009，控制器基於雷射光束之該一或多個性質產生SAM之一二維圖。方法1000之實施例並不限於圖10中所呈現之動作順序。例如，一些實施例可在方塊1005之前在量測各性質時執行方塊1007(判定雷射之一或多個性質)。

【0110】 在一些實施例中，可在一給定掃描中量測一個以上性質。存在不同方法用於量測不同性質。在一些實施方案中，可在該掃描之各位置處進行多個量測。替代性地，可在針對一第二量測之一第二掃描之後針對一第一量測完成一第一掃描。各掃描無需具有相同數目個位置或相同「解析度」，一掃描之解析度係藉由其上安裝SAM之平移載物台之步長判定。

【0111】 如先前所提及，光學偵測系統可偵測脈衝雷射之數個性質，包含脈衝寬度、與各經發射波長相關聯之一功率及/或一快速光電二極體信號。在方塊1003中量測之此等數量可用於判定與SAM之品質有關之雷射之額外性質。但一些性質對於在不需要額外分析之情況下特徵化SAM係有用的。例如，在發射532 nm之光脈衝及1064 nm之光脈衝兩者之一雷射系統中，光脈衝之各光束之功率對於該雷射系統之效能而言可為重要的。例如，使用一SAM之一雷射系統可預期產生532 nm之光之一特

定功率。因此，跨SAM之面映射532 nm之光之功率係待執行之一重要特徵化。

【0112】 類似地，如藉由脈衝特徵化偵測器345量測之雷射脈衝之時間脈衝寬度係藉由掃描SAM之面量測之雷射系統之一有用特性。在一些實施例中，自相關器信號係擬合至一 sech^2 曲線(其之FWHM係用作時間脈衝持續時間)。

【0113】 可自經量測數量導出之一第一性質係脈衝雷射是否為連續波(CW)、被動鎖模(ML)或Q切換(QS)。一雷射系統之製造者想要確保該雷射係鎖模的，而非Q切換。特定SAM傾向於進行Q切換，因此跨SAM之表面映射鎖模能力係在判定SAM是否應用於一經製造雷射系統中時之一有用量測。用於判定雷射是否為CW、鎖模或Q切換之一技術係基於來自快速光電二極體之信號。當一雷射係CW時，快速光電二極體信號不含有脈衝。當一雷射係鎖模時，快速光電二極體信號含有具有近似恆定強度之規則間隔之脈衝。當一雷射係Q切換時，快速光電二極體信號含有在一相對較短時間尺度上強度波動之脈衝。因此，可分析快速光電二極體信號以判定對於一給定操作參數集存在此三種操作條件中之哪一操作條件。

【0114】 可自經量測數量導出之一第二性質係一損壞臨限值。因為量測該損壞臨限值需要永久地損壞SAM，所以無法形成一損壞臨限值之一圖。代替性地，可在圍繞SAM之周邊之幾個位置處測試損壞臨限值。用於量測損壞臨限值之一技術係基於532 nm之光脈衝之功率。泵浦電流可增加，此在達到損壞臨限值之前將導致532 nm之光之功率增加。當達到損壞臨限值時，將導致532 nm之光學功率之突然下降。因此，判定損壞臨限值可包含分析來自針對一功率下降監測532 nm之光之功率之功率

計之信號。

【0115】 可自經量測數量導出之一第三性質係SAM之一壽命。本發明者已認識到，較差品質及較短壽命之一SAM可在運行一特定時間段之後自發地自鎖模改變至Q切換。例如，在約24小時至72小時之連續操作之後，使用一較差品質SAM之一雷射可自發地開始Q切換。因此，針對Q切換之正負號監測快速光電二極體信號可用於判定SAM之壽命。替代性地或此外，所產生之光脈衝之功率可用於判定壽命。本發明者已認識到，當一雷射操作達約24小時至72小時之一時間段時，532 nm及/或1064 nm之光脈衝之功率可下降且該功率下降之速率係與SAM之壽命有關。因此，若功率以大於一特定臨限速率之一速率下降，則SAM可被視為較差品質。因為壽命量測係非常慢的(例如，需要24小時至72小時)，所以可執行SAM之一掃描。代替性地，SAM之一信號量測可用於特徵化整個SAM。

【0116】 可自經量測數量導出之一第四性質係一鎖模泵浦臨限值(亦被稱為一鎖模電流臨限值)。此性質係雷射系統將依其被動地鎖模之雷射泵浦之電流之最小值。存在可用於判定鎖模泵浦臨限值之多種技術。在一些實施例中，為減少進行判定所花費之時間(尤其是最壞情況時間)，使用結合圖11所描述之一二元搜尋策略來判定鎖模泵浦臨限值。實施例並不限於此方法。另一方法係以最小可能泵浦電流開始且以一步長遞增該電流直至雷射鎖模。然而，此類型方法比二元搜尋方法更耗時。

【0117】 圖11係判定用於具有一特定SAM之光學特徵化裝置之鎖模泵浦臨限值之一方法1100的一流程圖。在方塊1101，控制器150初始化用於二元搜尋之一電流範圍及步長。該初始電流範圍可藉由一預定最小泵浦電流及一預定最大泵浦電流定義。例如，該初始最大泵浦電流可比泵浦能

夠產生之最大電流低一或兩個步長。

【0118】 在方塊1103，控制器將泵浦電流設定為在電流範圍之中點處且判定雷射是否係鎖模。控制器可使用如上文所論述之快速光電二極體信號判定雷射是否係鎖模。替代性地，來自脈衝特徵化偵測器之信號可用於判定雷射是否係鎖模。

【0119】 在方塊1105，若控制器在方塊1103判定雷射在中點電流值下未鎖模，則方法1100繼續進行至方塊1113。在方塊1113，控制器保存目前中點值作為範圍之新的最小泵浦電流。方法1100接著繼續進行至方塊1115，其中控制器判定新範圍是否小於步長。若是，則控制器150在方塊1117判定無法找到任何鎖模泵浦臨限值且方法1100結束。若否，則控制器150返回至方塊1103。

【0120】 在方塊1105，若控制器在方塊1103判定雷射在中點電流值下鎖模，則方法1100繼續進行至方塊1107。在方塊1107，控制器保存目前中點值作為範圍之新的最大泵浦電流。方法1100接著繼續進行至方塊1109，其中控制器判定此是否為雷射在方塊1103被判定為鎖模之第三連續時間。若是，則控制器150在方塊1111保存目前中點值作為鎖模泵浦臨限值且方法1100結束。若否，則控制器150返回至方塊1103。方法1100進行方塊1109之判定以避免鎖模之虛假偵測(此可在低於實際鎖模臨限值下發生)。

【0121】 在一些實施例中，在執行一光學元件之一特徵化時並未判定所有上述提及之性質。可針對任何給定特徵化例行工作判定任何性質子集。

【0122】 圖1之控制器150可使用一運算器件實施。圖12繪示可在實施本文中所描述之技術之一系統中使用之呈一運算器件1200之形式之一

運算器件之一實例性實施方案，但其他實施方案亦可行。例如，運算器件1200可實施為圖1中之控制器150。應瞭解，圖12並不意欲為作為一控制器操作之一運算器件或根據本文中所描述之技術操作之一系統之任何其他運算器件之必要組件之一描繪，亦不意欲為一全面描繪。

【0123】 運算器件1200可包括至少一處理器1202、至少一輸入/輸出介面1204、一顯示器1206及電腦可讀儲存媒體1210。例如，運算器件1200可為一可穿戴器件、一桌上型或膝上型個人電腦、一個人數位助理(PDA)、一智慧型行動電話、一平板電腦、一伺服器或任何其他合適運算器件。(若干)輸入/輸出介面1204可為使運算器件1200能夠與平移載物台及/或光學偵測系統之組件有線及/或無線通信之任何合適硬體及/或軟體。(若干)輸入/輸出介面1204可包含與無線存取點、開關、路由器、閘道器及/或其他網路連結設備以及用於在兩個或兩個以上電腦之間交換資料之(若干)任何合適有線及/或無線通信媒體通信之一網路介面(包含網際網路)。電腦可讀媒體1210可經調適以儲存待藉由處理器1202處理之資料及/或待藉由處理器1202執行之指令。處理器1202實現資料之處理及指令之執行。資料及指令可儲存於電腦可讀儲存媒體1210上且可(例如)實現運算器件1200之組件之間的通信。

【0124】 在一些實施例中，器件1200可包含用於向器件1200之一使用者呈現光學組件之表面之二維圖之一顯示器1206。

【0125】 儲存於電腦可讀儲存媒體1210上之資料及指令可包括實施根據本文中所描述之原理操作之技術之電腦可執行指令。在圖12之實施中，電腦可讀儲存媒體1210儲存實施一控制器設施1216及儲存各種資訊(諸如來自光學偵測系統之量測資料1212及由分析量測資料1212所引起之

分析資料1214)之電腦可執行描述指令。媒體1210可另外儲存用於一控制器設備1216之指令，該等指令可實施上文所描述之用於控制光學特徵化裝置100之技術之任一者。

【0126】 雖然圖12中未繪示，但一運算器件1200可另外具有一或多個組件及周邊設備，包含容許一使用者與控制器件1200互動及提供輸入至器件1200之一使用者介面。此等器件可包含鍵盤及指標器件(諸如滑鼠、觸控墊及數位化輸入板)。作為另一實例，一運算器件可透過語音辨識或以其他可聽格式接收輸入資訊。

【0127】 實例性結果

【0128】 圖13A至圖13C繪示藉由使用光學特徵化裝置100針對具有一100微米掃描步長之二乘二(2 x 2)毫米SAM映射532 nm之光脈衝之輸出功率及脈衝寬度而獲得之實例性結果。圖13A展示跨SAM之面之532 nm之輸出功率。如可見，邊緣展現低功率。此外，存在靠近SAM之中心之亦展現低功率之一位置(藉由圖13A之虛線圓指示)。此可為SAM中之一缺陷之一指示。在此情況中，該缺陷看上去足夠小，使得SAM可在一雷射系統中使用，但SAM應經配置使得雷射光束之照明光點在不同於缺陷之一位置處。圖13B展示針對SAM上之一單一位置之一自相關器量測結果。 sech^2 擬合之FWHM係用作脈衝寬度。圖13C係針對跨SAM之面之所有位置之脈衝寬度之一圖。在其中圖13A之功率圖指示一可能缺陷之相同位置處，光學特徵化裝置之雷射之脈衝寬度相對於SAM之其他部分顯著增加。圖13A及圖13C之兩個圖可一起用於判定如何在一雷射腔內最佳定位SAM，或若其品質不足則究竟是否要使用SAM。

【0129】 圖14A至圖14F繪示來自使用光學特徵化裝置之一不同

SAM之實例性結果。圖14A係具有100微米步長之532 nm雷射脈衝之功率之一圖；圖14B係具有一100微米步長之雷射發射區(即，CW (關閉)、Q切換(QS)或鎖模(ML))之一圖；圖14C係具有一100微米步長之脈衝寬度之一圖。又，SAM之邊緣並未提供充足功率、鎖模或脈衝寬度。此外，存在靠近SAM之中心之如藉由該位置處之雷射Q切換及顯著大於SAM之面上之其他位置之脈衝寬度所指示之一缺陷。圖14D至圖14F係使用25微米之一較小步長放大該缺陷之圖。圖14D係在缺陷附近之532 nm雷射脈衝寬度之功率之一圖；圖14E係在缺陷附近之雷射發射區之一圖；圖14F係在缺陷附近之脈衝寬度之一圖。

【0130】 本發明者藉由使用一光學顯微鏡視覺上檢測SAM (參見圖15B)而研究其中雷射發射區指示存在一缺陷之SAM之位置(參見圖15A)。SAM上在缺陷之位置處無缺陷可見。因此，本發明者已認識並瞭解到，一些實施例之特徵化技術能夠偵測使用習知技術(諸如視覺檢測)不可偵測之光學組件(諸如SAM)中之缺陷。在一些實施例中，光學特徵化裝置能夠探測一光學元件之非線性特性(一光學顯微鏡無法探測)。此外，光學特徵化裝置可用一腔內雷射光束探測一光學元件(諸如光學顯微鏡之習知檢測技術無法探測)。

【0131】 其他考量

【0132】 因此已描述一光學特徵化裝置之若干實施例之若干態樣，應瞭解，熟習此項技術者將易於想到各種變更、修改及改良。此等變更、修改及改良意欲為本發明之部分，且意欲落於本發明之精神及範疇內。雖然已結合各項實施例及實例描述本發明教示，但本發明教示並不意欲限於此等實施例或實例。相反地，本發明教示涵蓋各種替代例、修改及等效

物，如熟習此項技術者將瞭解。

【0133】 例如，可修改實施例以在一雷射腔中包含比上文所描述更多或更少之光學組件。此外，雷射腔組態可不同於經展示為具有在光學路徑中具有更多或更少轉彎或摺疊之一些雷射腔之雷射腔組態。此外，雖然已描述將一端面鏡及/或SAM安裝於一平移載物台上之實施例，但不在雷射腔之端部處之其他光學元件亦可安裝於一平移載物台上以特徵化。以此方式，光學元件可經定位以接收一腔內雷射光束以用於特徵化光學元件之目的。

【0134】 雖然已描述及繪示各項發明實施例，但一般技術者將易於設想用於執行功能及/或獲得結果及/或所描述之優點之一或多者之各種其他構件及/或結構，且此等變動及/或修改之各者被認為落於所描述之發明實施例之範疇內。更一般而言，熟習此項技術者將易於瞭解，所描述之所有參數、尺寸、材料及組態意欲為實例且實際參數、尺寸、材料及/或組態將取決於本發明教示所用於之特定應用或若干應用。熟習此項技術者將認識到或能夠僅使用常規實驗確定對所描述之特定發明實施例之許多等效物。因此，應理解，上述實施例僅舉例而言呈現，且可在隨附發明申請專利範圍及其等之等效物之範疇內依除如特定所描述及主張之外以其他方式實踐發明實施例。本發明之發明實施例可係關於所描述之各個別特徵、系統、系統升級及/或方法。另外，若兩個或兩個以上此等特徵、系統、系統升級及/或方法不相互不一致，則此等特徵、系統、及/或方法之任何組合包含於本發明之發明範疇內。

【0135】 此外，儘管可指示某些實施例之一些優點，然應瞭解，並非每個實施例將包含每個所描述優點。一些實施例可能不實施被描述為有

利之任何特徵。因此，前文描述及圖式係僅舉例而言。

【0136】 本申請案中所引用之所有文獻及類似材料(包含但不限於，專利、專利申請案、文章、書籍、論文及網頁)，無關於此等文獻及類似材料之格式為何，全部以引用的方式明確併入。在所併入之文獻及類似材料之一或多者與本申請案不同或矛盾之情況下(包含但不限於所定義術語、術語用法、所描述技術或類似者)，以此申請案為準。

【0137】 所使用之章節標題係僅用於組織目的且不應被解釋為以任何方式限制所描述之標的物。

【0138】 又，所描述之技術可體現為一方法(已提供該方法之至少一實例)。可使作為該方法之部分執行之動作依任何合適方式排序。因此，可建構其中依不同於所繪示之順序之一順序執行動作之實施例，該順序可包含同時執行一些動作，即使該等動作在闡釋性實施例中展示為循序動作。

【0139】 如所定義及所使用，所有定義應被理解為控制字典定義、以引用之方式併入之文件中之定義，及/或所定義術語之普通含義。

【0140】 術語「光學」可用於指代紫外、可見、近紅外及短波紅外光譜帶。

【0141】 片語「特性波長」或「波長」可用於指代一有限輻射頻寬內之一中心或主要波長。在一些情況中，其可指代在一輻射頻寬內之一峰值波長。

【0142】 片語「特性能量」或「能量」可用於指代與一特性波長相關聯之一能量。

【0143】 術語「大約」、「近似」及「實質上」可在引用一值時使

用，且意欲涵蓋所引用值加上及減去合理變動。變動量可在一些實施例中小於5%、在一些實施例中小於10%且又在一些實施例中小於20%。在其中一裝置可在一大的值範圍(例如，包含一或多個數量級之一範圍)內適當運作之實施例中，變動量可為兩倍。例如，若一裝置針對在自20至350之範圍內之一值適當運作，則「近似80」可涵蓋40與160之間的值。

【0144】術語「相鄰」可用於指代兩個元件彼此緊鄰配置(例如，在小於該兩個元件之一較大者之一橫向或垂直尺寸之約五分之一之一距離內)。在一些情況中，在相鄰元件之間可存在中介結構或層。在一些情況中，相鄰元件可彼此直接相鄰而無中介結構或元件。

【0145】除非明確相反指示，否則如說明書及發明申請專利範圍中所使用，不定冠詞「一」及「一個」應被理解為意謂「至少一個」。

【0146】如說明書及發明申請專利範圍中所使用，片語「及/或」應被理解為意謂所結合元件之「任一者或兩者」，即，在一些情況中結合地存在且在其他情況中分離地存在之元件。應依相同方式解釋使用「及/或」列出之多個元件，即，如此結合元件之「一或多者」。可視需要存在除由「及/或」子句特定識別之元件之外之其他元件，無論其是否與特定識別之該等元件相關或無關。因此，舉一非限制性實例，參考「A及/或B」在與開放式用語(諸如「包括」)一起使用時可係指：在一項實施例中，僅包含A(視需要包含除B之外之元件)；在另一實施例中，僅包含B(視需要包含除A之外之元件)；在又另一實施例中，包含A及B兩者(視需要包含其他元件)等。

【0147】如說明書及發明申請專利範圍中所使用，「或」應被理解為具有與如上文所定義之「及/或」相同之含義。例如，當分離一清單中

之物項時，「或」或「及/或」應被解釋為包含性的，即，包含數個元件或元件清單及視需要額外未列舉物項之至少一者但亦包含一者以上。僅明確相反指示之術語，諸如「之僅一者」或「之恰好一者」或在發明申請專利範圍中使用時「由…組成」，將係指包含數個元件或元件清單之恰好一個元件。一般而言，在前面有排他性術語(諸如「任一個」、「之一者」、「之僅一者」或「之恰好一者」)時，如所使用之術語「或」應僅被解釋為指示排他性替代例(即，「一個或另一個但並非兩個」)。當在發明申請專利範圍中使用時，「基本上由…組成」應具有如其在專利法領域中所使用之普通含義。

【0148】 如說明書及發明申請專利範圍中所使用，涉及一或多個元件之一清單之片語「至少一者」應被理解為意謂選自該元件清單中之元件之任一或多者的至少一元件，但未必包含該元件清單內特定列出之每一元件之至少一者且不排除該元件清單中之元件之任何組合。此定義亦容許：可視需要存在除片語「至少一者」所涉及之該元件清單內特定識別之元件之外之元件，無論其是否與特定識別之該等元件相關或無關。因此，舉一非限制性實例，「A及B之至少一者」(或等效地，「A或B之至少一者」，或等效地，「A及/或B之至少一者」)在一實施例中，可係指至少一A，視需要包含一個以上A，但不存在B(且視需要包含除B之外之元件)；在另一實施例中，可係指至少一B，視需要包含一個以上B，但不存在A(且視需要包含除A之外之元件)；在又另一實施例中，可係指至少一A(視需要包含一個以上A)及至少一B(視需要包含一個以上B)(且視需要包含其他元件)等。

【0149】 在發明申請專利範圍中以及在上文說明書中，所有過渡性

片語(諸如「包括」、「包含」、「攜載」、「具有」、「含有」、「涉及」、「固持」、「由……組成」及類似者)應被理解為開放式的，即，意謂包含(但不限於)。僅過渡性片語「由...組成」及「基本上由...組成」應分別為封閉式或半封閉式過渡性片語。

【0150】 發明申請專利範圍不應被視為限於所描述之順序或元件，除非如此陳述。應理解，一般技術者可在不脫離隨附發明申請專利範圍之精神及範疇之情況下做出形式及細節之各種改變。主張落在以下發明申請專利範圍及其等等效物之精神及範疇內之所有實施例。

【符號說明】

【0151】

- 1-105 增益介質
- 1-108 緊湊型鎖模雷射模組/鎖模雷射模組/模組/緊湊型雷射模
 組/雷射模組
- 1-111 輸出耦合器
- 1-119 可飽和吸收鏡(SAM)
- 1-120 光學脈衝
- 1-125 光軸
- 2-102 腔
- 2-103 安裝部件
- 2-105 經成形之基礎底座/基礎底座
- 2-107 肋/對角肋/黑色圓
- 2-115 鏡/摺疊鏡
- 2-116 電組件/鏡/光偵測器/泵抽功率感測器

2-117	鏡/彎曲鏡/第一彎曲鏡
2-118	空間模式濾波器/模式濾波器
2-120	鏡
2-121	鏡
2-122	鏡
2-123	鏡/摺疊鏡
2-124	鏡/腔內鏡
2-125	鏡
2-127	第二彎曲鏡/鏡/彎曲鏡
2-128	腔內光學元件/雷射窗口/光學平板/腔內雷射窗口/可飽和吸收鏡(SAM)
2-140	泵浦模組
2-154	電組件/雷射輸出光偵測器/感測器/第一感測器
2-160	倍頻元件
2-162	致動器
2-164	倍頻元件/機械連桿組
2-170	倍頻元件
2-182	電組件/感測器
2-190	電組件/PCB
3-103	熱電冷卻器(TEC)
3-105	二極體泵浦源/雷射二極體
3-110	光學延遲元件
3-120	可飽和吸收鏡(SAM)

4-100	鎖模雷射二極體
4-105	雷射二極體
4-110	光學塗層/抗反射塗層
4-112	反射塗層/光學塗層/部分透射塗層/透射塗層/塗層
5-120	光纖
5-200	鎖模光纖雷射/光纖雷射
5-210	第一光學元件
5-220	第二光學元件
100	光學特徵化裝置
102	腔端面鏡/端面鏡
104	腔端面鏡/端面鏡/腔鏡
105	增益介質
110	超短脈衝雷射/脈衝雷射/雷射/雷射系統/鎖模雷射
120	超短光學脈衝
122	光學脈衝/光束/脈衝/雷射光束
140	光學偵測系統
145	二維平移載物台/平移載物台
150	控制器
341	二向色鏡
342	光束分離器
343	第一功率計
344	第二功率計
345	脈衝特徵化偵測器

500	光學特徵化裝置之部分
501	外殼
502	安裝座
510	馬達部分
511	馬達部分
601	可飽和吸收鏡(SAM)
701	孔
703	選截鏡
705	可飽和吸收鏡(SAM)
1000	方法
1001	方塊
1003	方塊
1005	方塊
1007	方塊
1009	方塊
1100	方法
1101	方塊
1103	方塊
1105	方塊
1107	方塊
1109	方塊
1111	方塊
1113	方塊

1115	方塊
1117	方塊
1200	運算器件/器件/控制器件
1202	處理器
1204	輸入/輸出介面
1206	顯示器
1210	電腦可讀儲存媒體/電腦可讀媒體
1212	量測資料
1214	分析資料
1216	控制器設施
H	高度
L	長度
OS ₁	第一光學系統/光學系統/第一光學透鏡系統
OS ₂	第二光學系統/光學系統/第二光學透鏡系統
T	規則時間間隔
w	光束腰
λ_1	波長/雷射發射波長
λ_p	泵抽波長



201947207

【發明摘要】

【中文發明名稱】

特徵化光學元件

【英文發明名稱】

CHARACTERIZING AN OPTICAL ELEMENT

【中文】

本發明揭示一種用於特徵化一光學元件之方法及裝置。該光學元件係一雷射之部分且安裝於一平移載物台上以橫向於一腔內雷射光束掃描該光學元件。記錄依據該光學元件之位置而變化之該雷射之一效能特性。

【英文】

A method and apparatus for characterizing an optical element. The optical element is part of a laser and is mounted on a translation stage to scan the optical element transverse to an intracavity laser beam. A performance characteristic of the laser is recorded as a function of position of the optical element.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

- | | |
|-----|--------------------------|
| 100 | 光學特徵化裝置 |
| 102 | 腔端面鏡/端面鏡 |
| 104 | 腔端面鏡/端面鏡/腔鏡 |
| 105 | 增益介質 |
| 110 | 超短脈衝雷射/脈衝雷射/雷射/雷射系統/鎖模雷射 |

120	超短光學脈衝
122	光學脈衝/光束/脈衝/雷射光束
140	光學偵測系統
145	二維平移載物台/平移載物台
150	控制器
w	光束腰

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種光學特徵化裝置，其包括：

一雷射，其經組態以產生一雷射光束，該雷射包括：

一第一鏡；及

一第二鏡，其安裝於經組態以使該第二鏡沿著一第一方向及一第二方向平移之一二維平移載物台上，其中該第一方向及該第二方向係實質上垂直於藉由該雷射光束在該第二鏡之一位置處之傳播方向界定之一第三方向，其中該第一鏡及該第二鏡界定該雷射之一雷射腔。

【第2項】

如請求項1之光學特徵化裝置，其中該第一鏡係經組態以發射來自該雷射腔之該雷射光束之至少一部分之一輸出耦合器。

【第3項】

如請求項1或2之光學特徵化裝置，其中該雷射進一步包括進一步界定該雷射腔之複數個腔內鏡。

【第4項】

如請求項3之光學特徵化裝置，其中該複數個腔內鏡之一第一腔內鏡經組態以反射一第一偏振類型之光較佳於一第二偏振類型之光，且該複數個腔內鏡之該等其他腔內鏡經組態以反射該第二偏振類型之光較佳於該第一偏振類型之光。

【第5項】

如請求項4之光學特徵化裝置，其中：

該雷射光束在該第一鏡與該第一腔內鏡之間的第一平面中傳播；
且

該雷射光束沿著並不在該第一平面中之該第三方向傳播。

【第6項】

如請求項1或2之光學特徵化裝置，其進一步包括經組態以量測該雷射光束之至少一特性之一光學偵測系統。

【第7項】

如請求項6之光學特徵化裝置，其中該光學偵測系統包括一功率計。

【第8項】

如請求項6之光學特徵化裝置，其中該光學偵測系統包括一快速光電二極體。

【第9項】

如請求項6之光學特徵化裝置，其中該光學偵測系統包括一脈衝特徵化偵測器。

【第10項】

如請求項9之光學特徵化裝置，其中該脈衝特徵化偵測器包括一自相關器。

【第11項】

如請求項1或2之光學特徵化裝置，其進一步包括經組態以使用該二維平移載物台使該第二鏡平移使得該雷射光束入射於該第二鏡之至少一選定部分上之一控制器。

【第12項】

如請求項11之光學特徵化裝置，其中該控制器進一步經組態以自用

於該第二鏡之該複數個部分之各者之至少一偵測器接收一量測結果。

【第13項】

如請求項12之光學特徵化裝置，其中該量測結果係一快速光電二極體信號、一時間脈衝寬度及一光學功率量測之一或多者。

【第14項】

如請求項12之光學特徵化裝置，其中該控制器進一步經組態以判定一鎖模電流臨限值。

【第15項】

如請求項14之光學特徵化裝置，其中該控制器進一步經組態以基於一快速光電二極體信號判定一鎖模電流臨限值。

【第16項】

如請求項14之光學特徵化裝置，其中該控制器經組態以使用一二元搜尋判定該鎖模電流臨限值。

【第17項】

如請求項12之光學特徵化裝置，其中該控制器經組態以判定該光學特徵化裝置之一損壞臨限值。

【第18項】

如請求項17之光學特徵化裝置，其中該控制器經組態以基於一光學功率量測判定該損壞臨限值。

【第19項】

如請求項12之光學特徵化裝置，其中該控制器經組態以判定該光學特徵化裝置之一壽命。

【第20項】

如請求項19之光學特徵化裝置，其中該控制器經組態以基於一光學功率量測判定該壽命。

【第21項】

如請求項12之光學特徵化裝置，其中該控制器進一步經組態以產生該第二鏡之一或多個性質之一二維圖。

【第22項】

如請求項1或2之光學特徵化裝置，其進一步包括：

一外殼，其包括一底板，其中：

該第一鏡安裝於該外殼內之該底板上；且

該第二鏡定位於該外殼之外。

【第23項】

如請求項1或2之光學特徵化裝置，其中該第二鏡係一可飽和吸收鏡(SAM)。

【第24項】

如請求項1或2之光學特徵化裝置，其進一步包括在該雷射光束之一路徑中定位於該第一鏡與該第二鏡之間的一增益介質。

【第25項】

如請求項1或2之光學特徵化裝置，其中該第二鏡係該雷射腔之一端面鏡。

【第26項】

一種光學特徵化裝置，其包括：

一雷射，其經組態以產生具有一光束軸之一腔內雷射光束；

一定位安裝座，其經配置以固持一光學元件使得該光學元件接收該

腔內雷射光束且可使該光學元件實質上橫向於該光束軸移動。

【第27項】

如請求項26之光學特徵化裝置，其中該腔內雷射光束探測該光學元件之一非線性特性。

【第28項】

如請求項26或27之光學特徵化裝置，其中該腔內雷射光束探測該光學元件之實質上用光學顯微鏡不可見之一光學特性。

【第29項】

如請求項26或27之光學特徵化裝置，其中該光學元件界定該雷射之一雷射腔。

【第30項】

如請求項26或27之光學特徵化裝置，其中該光學元件係該雷射之一端面鏡。

【第31項】

如請求項26或27之光學特徵化裝置，其中該光學元件係可飽和吸收器。

【第32項】

一種特徵化一光學元件之方法，該方法包括：
實質上橫向於一雷射之一腔內光束掃描該光學元件；及
記錄依據該經掃描光學元件之一位置而變化之該雷射之一效能特性。

【第33項】

如請求項32之方法，其進一步包括提供將該效能特性之值映射至該

光學元件之位置之顯示資訊。

【第34項】

如請求項32或33之方法，其中該效能特性係與該光學元件之一光學上非線性性質相關聯。

【第35項】

如請求項32或33之方法，其中該效能特性係與該光學元件之實質上用光學顯微鏡不可見之一光學性質。

【第36項】

如請求項32或33之方法，其中該光學元件界定該雷射之一雷射腔。

【第37項】

如請求項32或33之方法，其中該光學元件係該雷射之一端面鏡。

【第38項】

如請求項32或33之方法，其中該光學元件係可飽和吸收器。

【第39項】

如請求項32或33之方法，其中該效能特性包括該雷射之一光學功率。

【第40項】

如請求項32或33之方法，其中該效能特性包括該雷射之一時間脈衝寬度。

【第41項】

如請求項32或33之方法，其中該效能特性包括一鎖模泵浦臨限值。

【第42項】

如請求項41之方法，其進一步包括使用一二元搜尋判定該鎖模泵浦

臨限值。

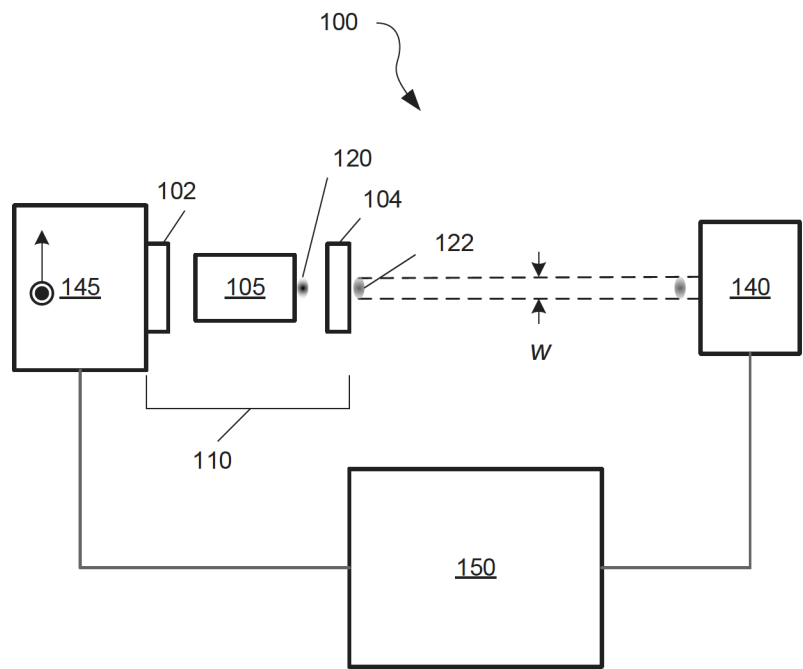
【第43項】

如請求項42之方法，其中使用一二元搜尋判定該鎖模泵浦臨限值包括：

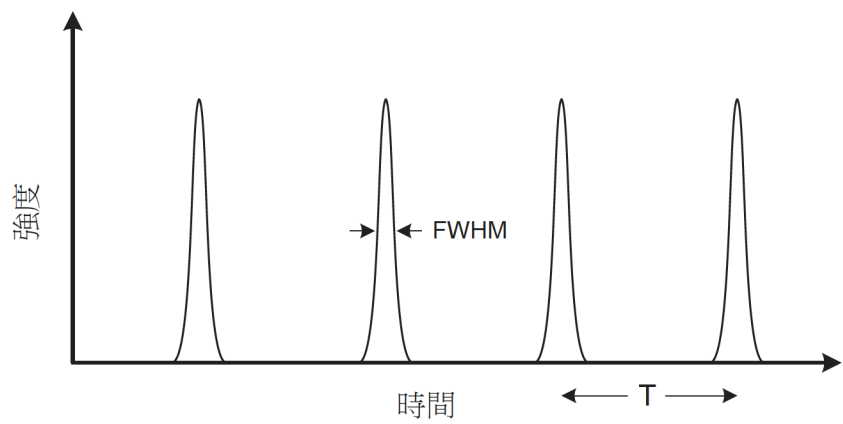
定義一泵浦電流範圍；及

使用實質上等於該泵浦電流範圍之一中點之一電流泵抽該雷射。

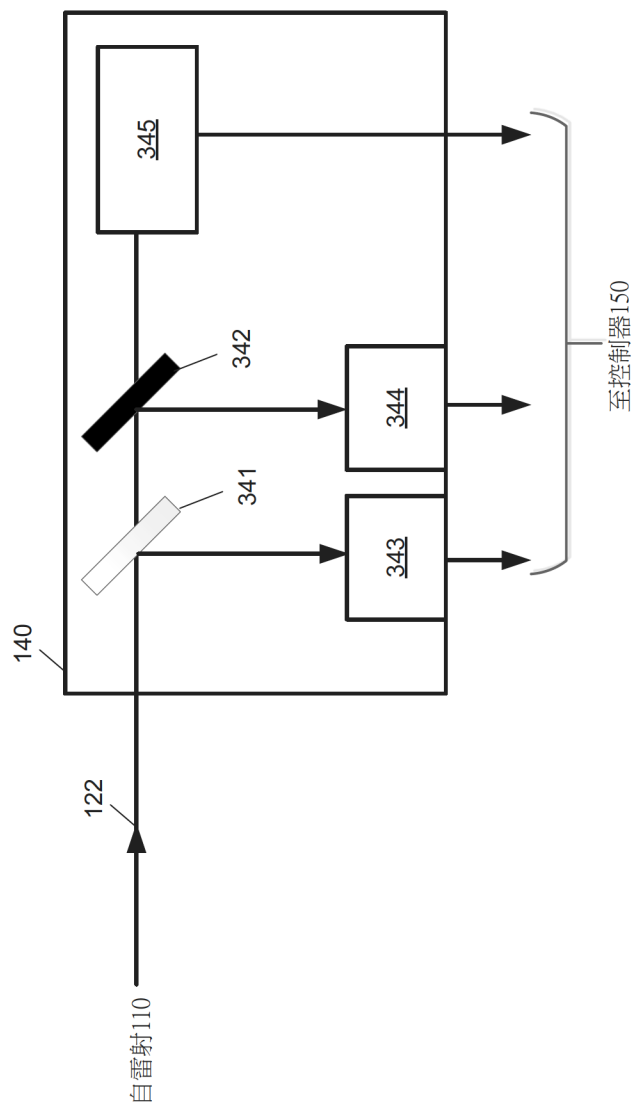
【發明圖式】



【圖1】

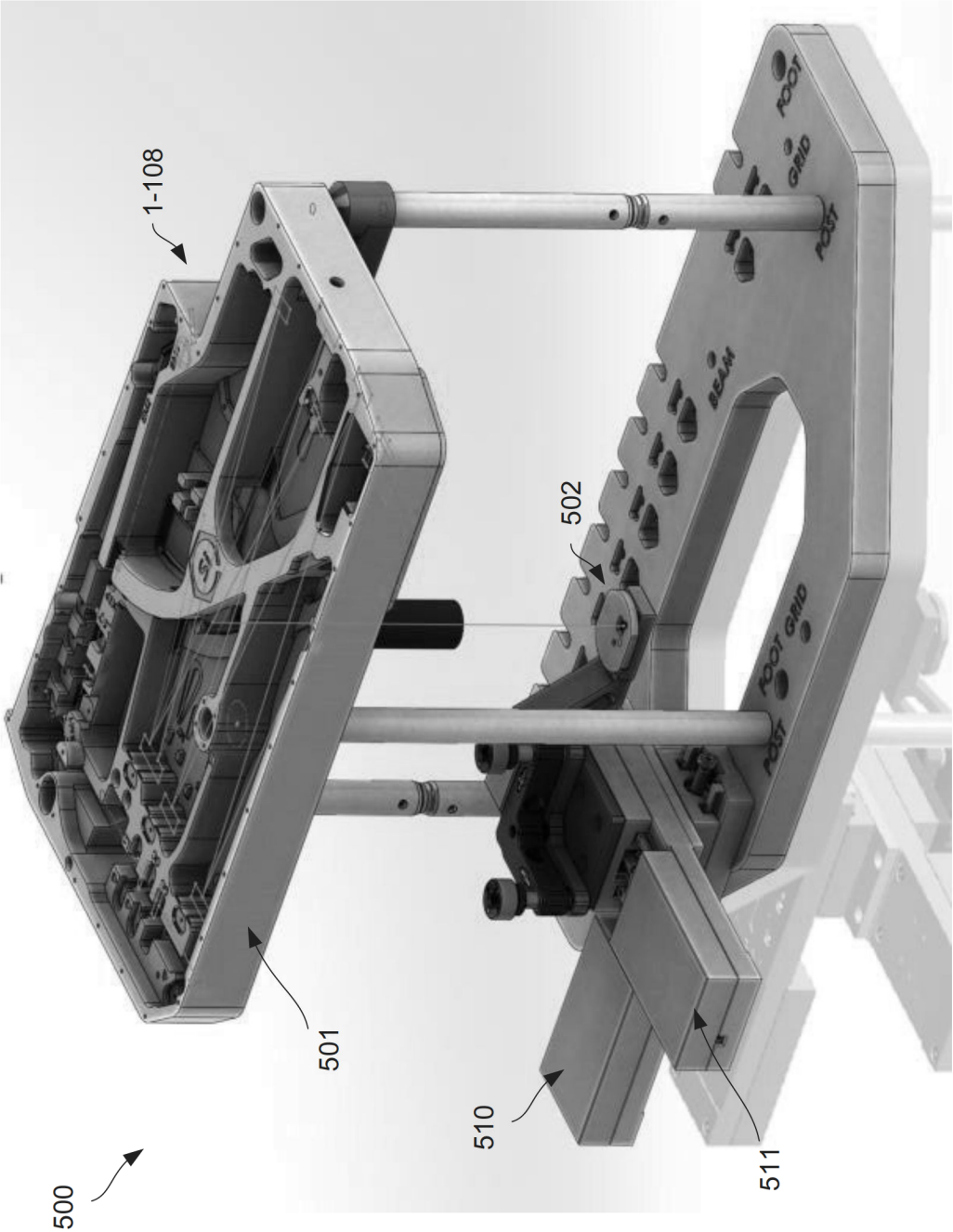


【圖2】

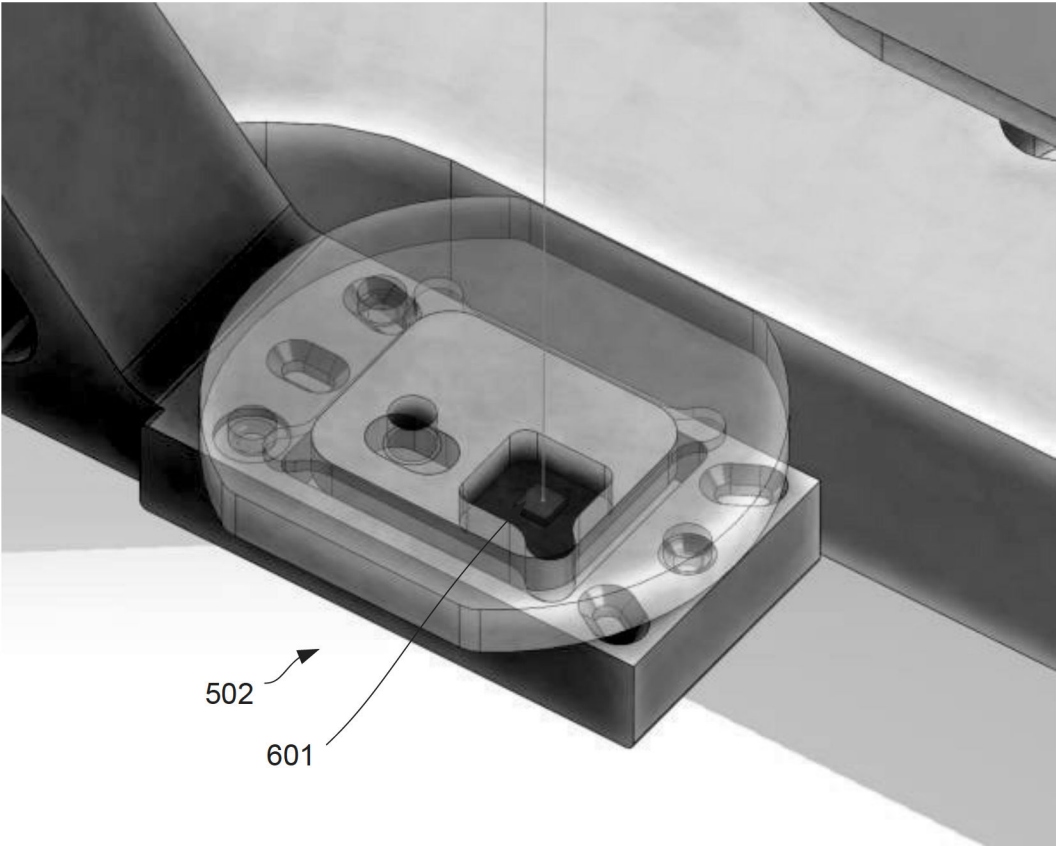


【圖3】

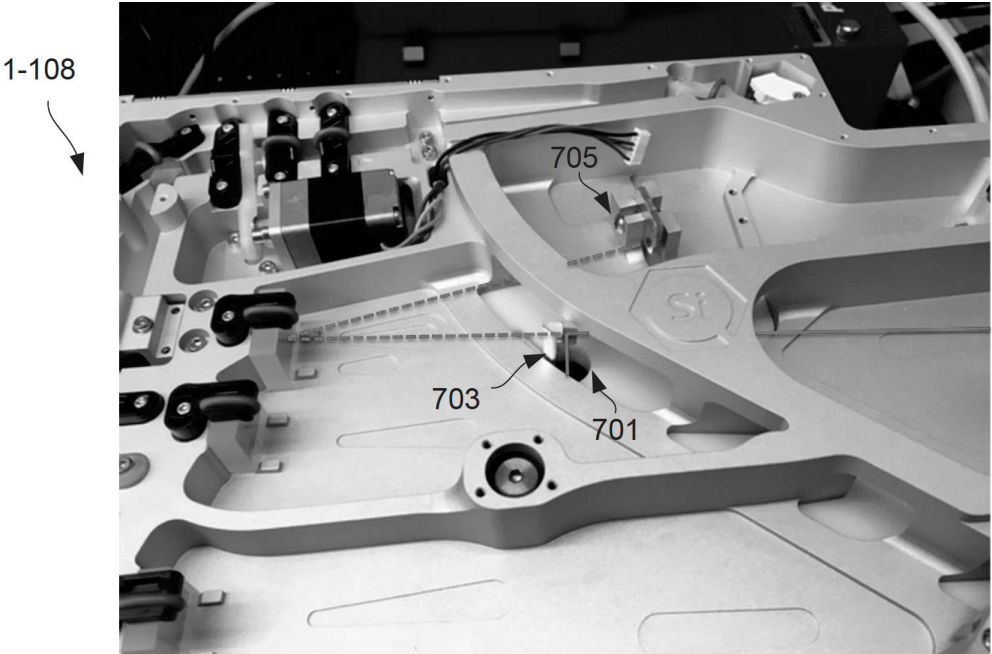




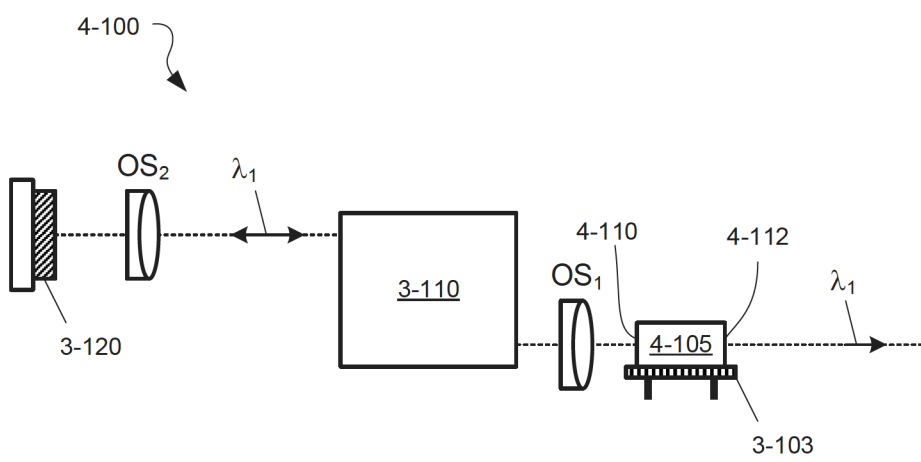
【圖5】



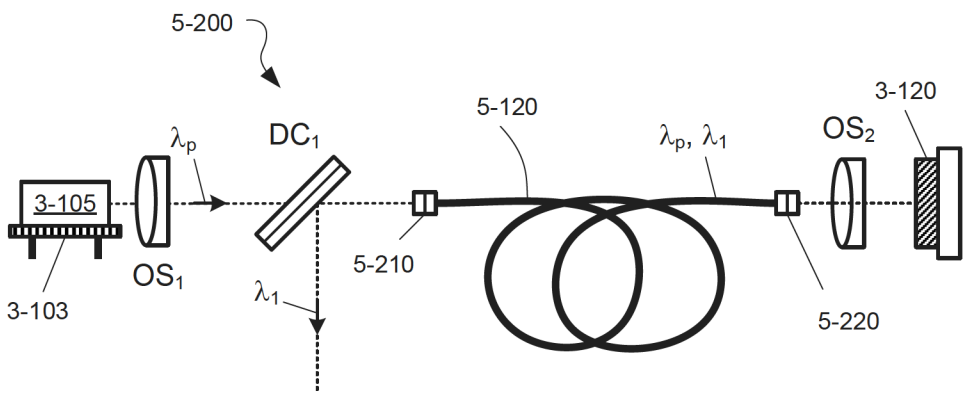
【圖6】



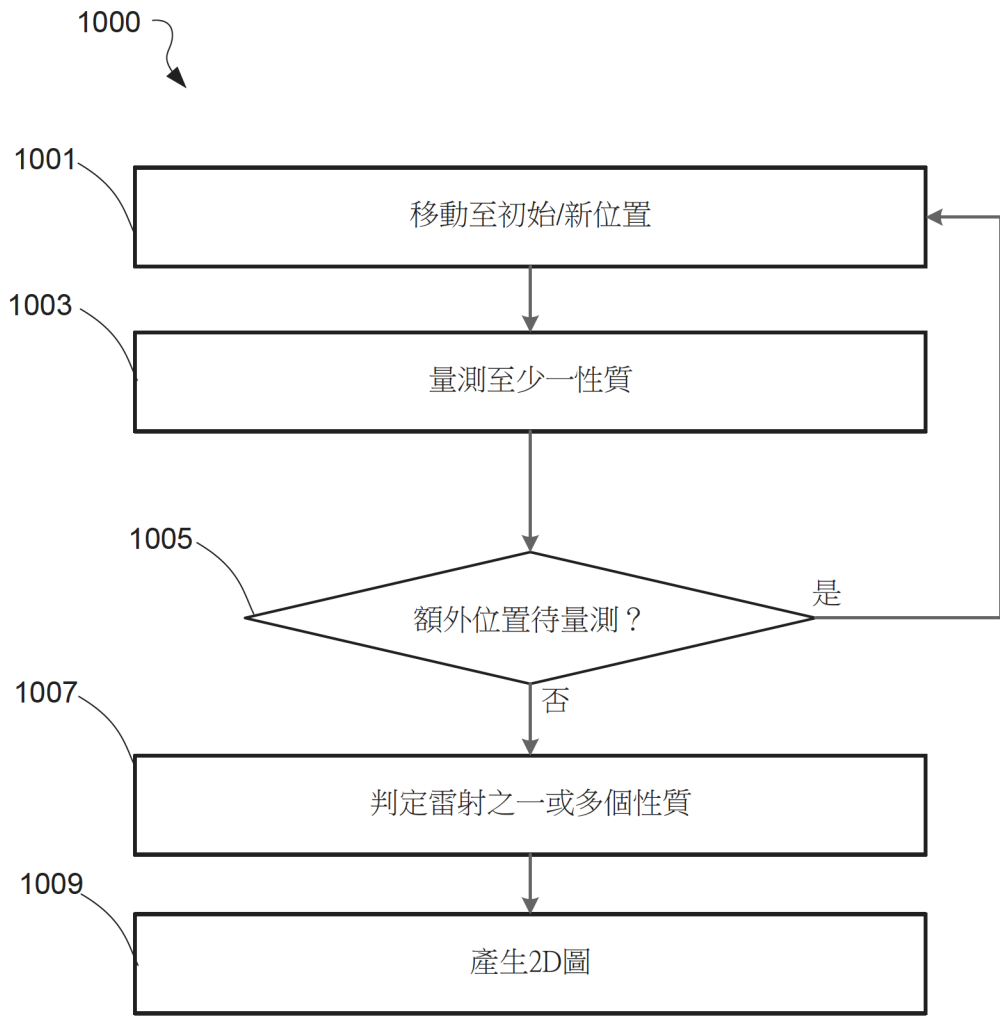
【圖7】



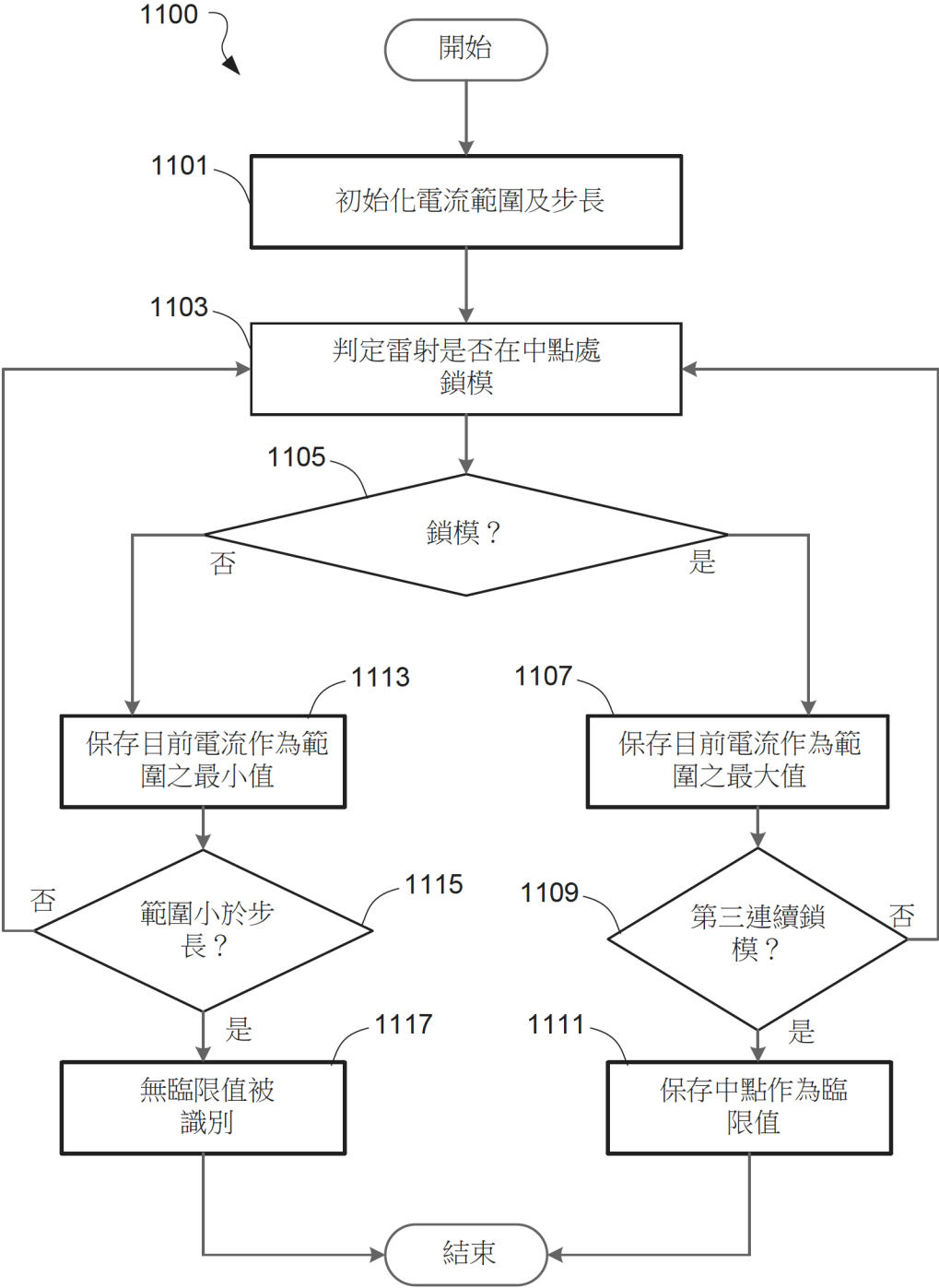
【圖8】



【圖9】



【圖10】

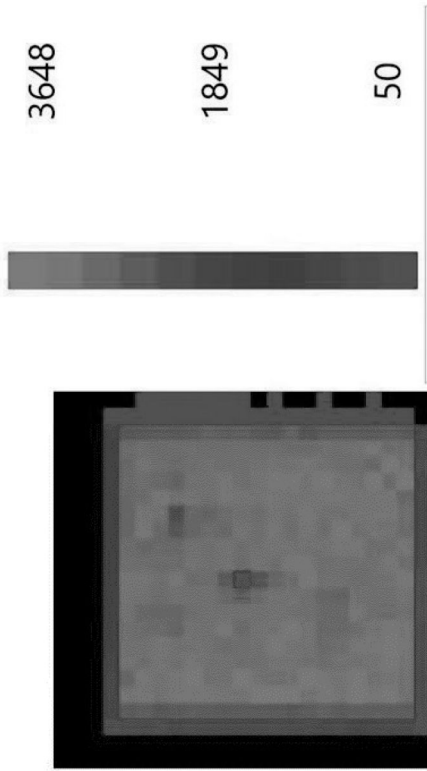


【圖11】



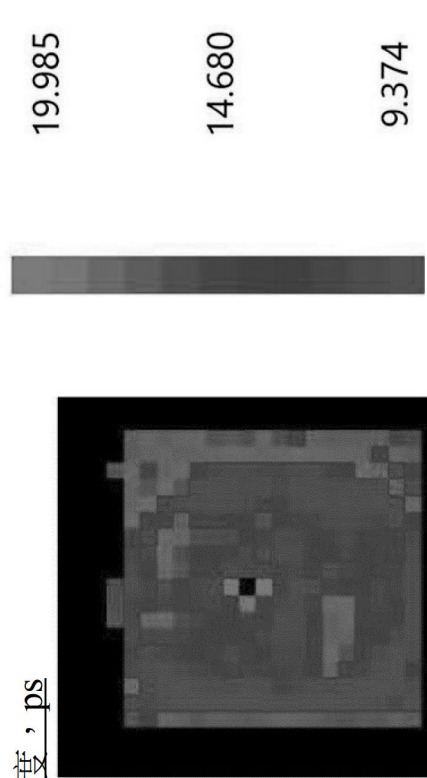
【圖12】

功率(532 nm) , a.u.



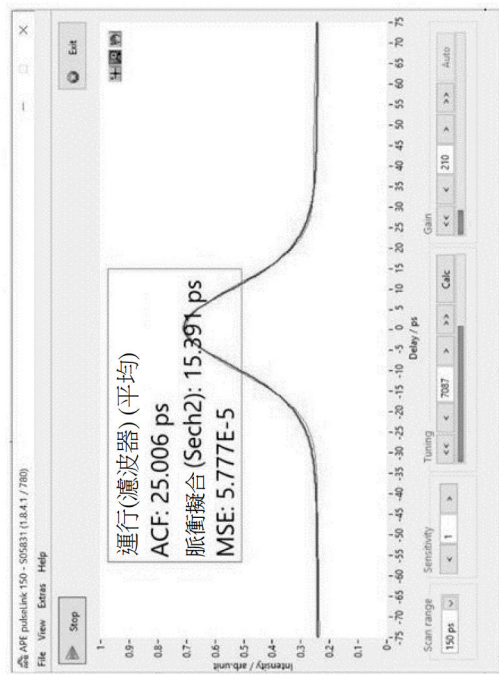
【圖13A】

脈衝寬度 , ps



【圖13C】

自相關器輸出顯示



自相關函數(ACF)係由對應於實際脈衝寬度之sech²函數擬合。

【圖13B】

