



(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 I672879 B

(45)公告日：中華民國 108 (2019) 年 09 月 21 日

(21)申請案號：104132616

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 10 月 02 日

(51)Int. Cl. : *H01S3/00 (2006.01)* *H01S3/108 (2006.01)*
G02F1/35 (2006.01) *G01N21/84 (2006.01)*
G01N21/95 (2006.01)

(30)優先權：2014/10/03 美國 62/059,368
 2015/10/01 美國 14/872,890

(71)申請人：美商克萊譚克公司 (美國) KLA-TENCOR CORPORATION (US)
 美國

(72)發明人：莊 勇和 艾力克斯 CHUANG, YUNG-HO ALEX (US)；阿姆斯壯 J 喬瑟夫
 ARMSTRONG, J. JOSEPH (US)；杜立賓斯基 維拉得摩 DRIBINSKI, VLADIMIR
 (RU)；鄧 宇俊 DENG, YUJUN (US)；費爾登 約翰 FIELDEN, JOHN (US)；章
 繼東 ZHANG, JIDONG (CN)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

US	5742626A	US	6373869B1
US	2013/0313440A1	US	2014/0111799A1
US	2014/0204963A1		

審查人員：張錦昇

申請專利範圍項數：44 項 圖式數：14 共 85 頁

(54)名稱

183 奈米雷射及檢測系統

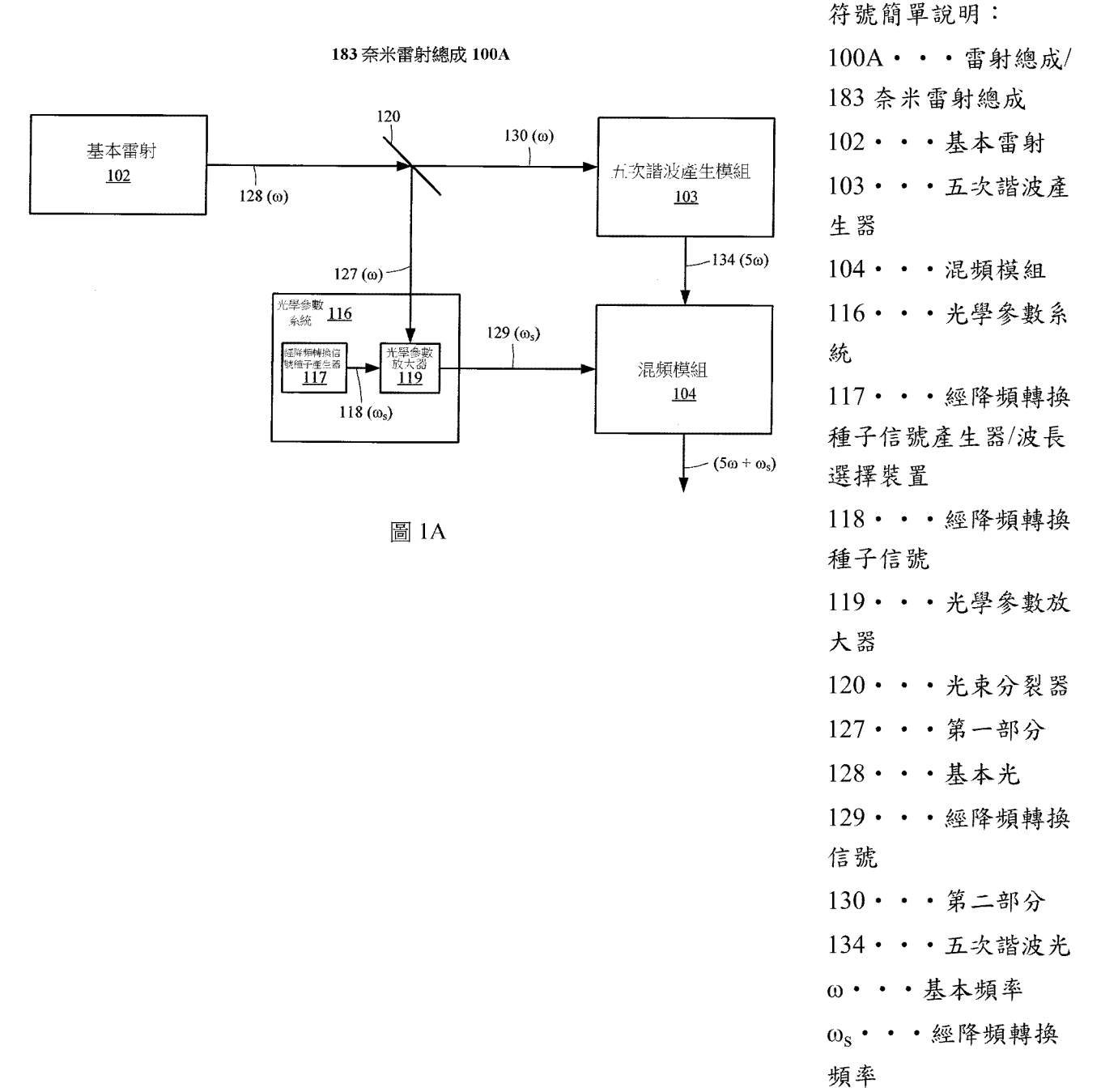
(57)摘要

本發明揭示一種用於產生處於大約 183 奈米之一輸出波長之雷射輸出光之雷射總成，其包含一基本雷射、一光學參數系統(OPS)、一個五次諧波產生器及一混頻模組。該基本雷射產生處於一基本頻率之基本光。該 OPS 產生處於一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號。該五次諧波產生器產生該基本光之一個五次諧波。該混頻模組混合該經降頻轉換信號與該五次諧波以產生處於等於該五次諧波頻率與該經降頻轉換頻率之一總和之一頻率之該雷射輸出光。該 OPS 藉由產生處於該經降頻轉換頻率之一經降頻轉換種子信號且然後混合該經降頻轉換種子信號與該基本光之一部分而產生該經降頻轉換信號。該頻率混合、頻率轉換或諧波產生中之至少一者利用一經退火、經氬處理或經氬處理之 CLBO 晶體。

A laser assembly for generating laser output light at an output wavelength of approximately 183 nm includes a fundamental laser, an optical parametric system (OPS), a fifth harmonic generator, and a frequency mixing module. The fundamental laser generates fundamental light at a fundamental frequency. The OPS generates a down-converted signal at a down-converted frequency. The fifth harmonic generator generates a fifth harmonic of the fundamental light. The frequency mixing module mixes the down-converted signal and the fifth harmonic to produce the laser output light at a frequency equal to a sum of the fifth harmonic frequency and the down-converted frequency. The OPS generates the down-converted signal by generating

a down-converted seed signal at the down-converted frequency, and then mixing the down-converted seed signal with a portion of the fundamental light. At least one of the frequency mixing, frequency conversion or harmonic generation utilizes an annealed, deuterium-treated or hydrogen-treated CLBO crystal.

指定代表圖：



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】

183奈米雷射及檢測系統

183NM LASER AND INSPECTION SYSTEM

優先權申請

本申請案主張由Chuang等人於2014年10月3日申請之標題為「183NM LASER AND INSPECTION SYSTEM」之美國臨時專利申請案第62/059,368號之優先權。

相關申請案

本申請案與由Chuang等人於2013年3月12日申請且以引用方式併入本文中之標題為「Solid-State Laser and Inspection System Using 193nm Laser」之美國專利申請案13/797,939相關。

【技術領域】

本發明係關於一種雷射，且具體而言，係關於一種產生接近183奈米之輻射且適於供在對光罩(photomask)、倍縮光罩(reticle)及/或晶圓之檢測中使用之固態或光纖雷射。雷射較佳係一脈衝式雷射，諸如一Q切換雷射或一鎖定模式雷射。本發明進一步係關於一種使用在接近183奈米之一波長下操作之一雷射之檢測系統。

【先前技術】

用於產生處於193奈米之光之準分子雷射在此項技術中係眾所周知的。令人遺憾地，由於此等雷射之低雷射脈衝重複率及其在其雷射介質中使用有毒且腐蝕性氣體(此導致高持有成本)，因此此等雷射極其不適於檢測應用。

用於產生接近193奈米之固態及光纖雷射亦係習知的。例示性雷

射使用兩個不同基本波長(例如由Lei等人提出之US 2014/0111799)或基本波長之八次諧波(例如讓與Tokuhisa等人之US 7,623,557)，此兩者中之任一者皆需要昂貴或無法大批量生產之雷射或材料。另一方法(讓與Mead等人之US 5,742,626)尚未引進具有如半導體檢測應用所需之穩定輸出及高功率(在於服務事件之間可連續運行達三個月或三個月以上之一雷射通常需要大約1 W或更大)之一商用產品。此外，此等雷射中之大部分具有極其低功率輸出且限於數MHz或更少之雷射脈衝重複率。

隨著半導體裝置尺寸縮小，可致使一裝置故障之最大顆粒或圖案缺陷之大小亦縮小。因而，出現對偵測經圖案化及未經圖案化半導體晶圓上之較小顆粒及缺陷之一需要。由顆粒散射之光(其中該等顆粒比彼光之波長小)之強度通常與該顆粒之尺寸之一高次方成比例(舉例而言，來自一經隔離小球體顆粒之光之總散射強度與該球體之直徑之六次方成正比且與該波長之四次方成反比)。由於經散射光之經增加強度，因此較短波長通常將提供優於較長波長之對偵測小顆粒及缺陷之敏感度。

由於自小顆粒及缺陷散射之光之強度通常係極低的，因此需要高照明強度來產生可在一極短時間內被偵測之一信號。可需要1W或更大之平均光源功率位準。在此等高平均功率位準下，一高脈衝重複率係所要的，此乃因重複率越高，每脈衝之能量越低，且因而損壞正受檢測之系統光學器件或物品之風險越低。高重複率在高速檢測中亦係所要的，此乃因一高重複率(諸如約50 MHz或更高)允許針對每一影像收集諸多脈衝，從而引起對脈衝至脈衝間在強度上之變化之較低敏感度。

因此，出現對一雷射且較佳地對產生短於193奈米之輻射且適於供在對光罩、倍縮光罩及/或晶圓中使用之一固態或光纖雷射之一需

要。明顯地，高速下之此等檢測通常需要多個MHz (例如，在某些情形中大於50 MHz)之最小雷射脈衝重複率。

【發明內容】

本發明係關於用於使用一基本雷射藉助於產生並混合基本雷射光之一個五次諧波與一經降頻轉換信號而產生183奈米雷射光之一雷射總成及相關聯方法，其中該經降頻轉換信號係藉助於以下方式產生：產生具有一所需經降頻轉換頻率之一低功率經降頻轉換種子信號，且然後混合該經降頻轉換種子信號與該基本雷射光之一部分以產生處於比該經降頻轉換種子信號大十倍或十倍以上之一峰值功率位準之經降頻轉換信號。除與利用五次諧波光產生該183奈米輸出雷射光相關聯之效率之外，根據本發明之用於產生經降頻轉換信號之兩步式方法提供優於習用方法之數個優點。首先，產生較低功率經降頻轉換種子信號之初始步驟藉助於最小化光學組件至具有長於約4 μm 之波長之高功率閒置頻率(其被大多數非線性晶體以致使失真及/或損壞之一方式吸收)之曝露而促進避免用以產生較高功率經降頻轉換信號之此等組件之失真及損壞。其次，產生處於一相對低功率之經降頻轉換種子信號促進對經降頻轉換頻率之較大控制，此繼而促進對該183奈米雷射輸出光之微調諧。本發明之另一優點在於其促進使用各種組件之183奈米雷射總成之製造，藉此藉助於允許製造商在製造時選擇及利用易於獲得及/或相對低價之組件而提供製造靈活性。舉例而言，所闡述之各種實施例藉助於混合一選定基本頻率(例如，具有大約1064奈米或大約1030奈米之對應基本波長)與一對應經降頻轉換信號頻率(例如，具有在大約1250奈米至大約1420奈米之範圍內或在大約1400奈米至大約1830奈米之範圍內之對應經降頻轉換波長)而產生183奈米雷射輸出光。處於功率與重複率之各種組合之能夠產生此等基本頻率中之至少一者之基本雷射通常易於以合理價格獲得。由於一光學參數

系統(OPS)以促進控制經降頻轉換信號頻率之一方式產生經降頻轉換信號，因此本發明允許一製造商針對充分相信將產生該183奈米雷射輸出光之一給定製造運行而選擇最低價格或最易獲得之基本雷射。

根據本發明之一實施例，雷射總成包含一基本雷射、一光學參數系統(OPS)、一個五次諧波產生器及一混頻模組。該基本雷射經組態以產生具有一基本波長(例如，等於大約1064奈米、大約1053奈米、大約1047奈米或大約1030奈米中之一者)及一對應基本頻率之基本光。該OPS光學耦合至該基本雷射使得該OPS接收該基本光之一第一部分，且經組態以產生具有所需經降頻轉換頻率 ω_s 之經降頻轉換信號。在一項實施例中，所需經降頻轉換頻率(ω_s)低於基本頻率(ω)且高於基本頻率之50% (亦即， $0.5\omega < \omega_s < \omega$)。五次諧波產生器接收基本光之一第二部分，視情況地亦接收一個四次諧波，且經組態以產生五次諧波光(亦即，具有等於基本頻率的五倍之一個五次諧波頻率(5ω))。該混頻模組經光學耦合以接收來自OPS之經降頻轉換信號及來自五次諧波產生器之五次諧波光，且經組態以藉助於可操作地混合經降頻轉換信號與五次諧波光而產生183奈米雷射輸出光。根據本發明，該OPS包含：一經降頻轉換種子信號產生器(例如，一種子雷射或一光學參數振盪器)，其經組態以產生處於一所需經降頻轉換頻率且處於一相對低(第一)峰值功率位準之一經降頻轉換種子信號；及一光學參數放大器(OPA)，其經組態使得該經降頻轉換種子信號與該基本光之一部分藉由通過一非線性晶體一次而混合，藉此產生處於經降頻轉換頻率且處於比經降頻轉換種子信號高十倍(或十倍以上)之一(第二)峰值功率位準之經降頻轉換信號。該OPS亦經組態以產生處於一適當經降頻轉換頻率及峰值功率位準之經降頻轉換信號，使得經降頻轉換頻率與五次諧波頻率之一總和產生在大約180奈米至大約185奈米之範圍內之雷射輸出光。

在替代性實施例中，該基本雷射經組態以產生處於具有等於大約1064奈米、大約1053奈米、大約1047奈米及大約1030奈米中之一者之一對應波長之一基本頻率之基本光，且該OPS經組態以產生處於一經降頻轉換信號頻率及對應波長之經降頻轉換信號，該經降頻轉換信號在與基本頻率之五次諧波(例如，針對大約1064奈米之一基本波長之大約1250奈米至1420奈米)混合時產生處於大約183奈米之雷射輸出光。藉由另一實施例之方式，當基本波長係大約1030奈米時，產生具有大約1400奈米至1830奈米之一波長之經降頻轉換信號，且針對大約1047奈米或大約1053奈米波長之基本雷射，產生具有介於約1290奈米與1580奈米之間的一波長之經降頻轉換信號。在替代性實施例中，用於產生本文中闡述之大約183奈米之一輸出波長之雷射總成利用係Q切換式雷射、鎖定模式雷射或準連續波雷射之基本雷射。由於在最終混頻模組中使用接近非臨界相位匹配，因此彼最終轉換級係有效的且對不對準係相對不敏感，從而允許處於約1W至20W或更大之範圍內之功率位準之穩定輸出。

在一項實施例中，五次諧波產生器及混頻模組中之至少一者包含一經退火、經氫處理或經氘處理硼酸鉍鋰(CLBO)晶體，其經組態以經接近非臨界地相位匹配以用於藉由混合介於約206奈米與213奈米之間的一波長與一紅外線波長而產生接近183奈米之一波長。由於接近非臨界相位匹配，因此該混頻係極有效的(例如，非線性係數可係大約或稍大於 1 pm V^{-1})且走離角度小(例如，小於約30 mrad)。在一較佳實施例中，該經退火CLBO晶體保持於接近50°C之一恆定溫度下。

根據例示性實施例，經降頻轉換種子信號產生器經組態以產生處於在1 mW至500 mW之範圍內之一較低(第一)平均功率位準之經降頻轉換種子信號，且該OPA經組態以產生處於在1 W至20 W (或更高)之範圍內之一(第二)功率位準之較高功率經降頻轉換信號。在一項例

示性實施例中，OPS之經降頻轉換種子信號產生器係使用直接產生經降頻轉換種子信號之一個二極體雷射實施，且在其他例示性實施例中，經降頻轉換種子信號產生器係使用經組態以藉助於轉換基本光之一部分產生經降頻轉換種子信號之一光學參數振盪器(OPO)實施。在例示性實施例兩者中，光學參數系統之OPA包含：一光束組合器，其經組態以組合第一基本光部分與經降頻轉換種子信號；一非線性晶體，其經組態以藉由基本光之第一部分之受激降頻轉換而放大經降頻轉換種子信號；及一光束分裂器(波長分離器)，其經組態以分離經降頻轉換信號與不期望頻率。在一目前較佳實施例中，在OPS中利用非線性晶體(例如，在OPA及選用OPO)中使用週期性極化非線性光學晶體(例如，由鋯酸鋰(LN)、經氧化鎂摻雜鋯酸鋰(Mg:LN)、化學計量比鉬酸鋰(SLT)、經氧化鎂摻雜化學計量比鉬酸鋰(Mg:SLT)或磷酸鈦氧鉀(KTP)形成之週期性極化非線性光學晶體而實施)。

根據本發明之一替代性實施例，藉由以類似於上文所闡述之一方式混合五次諧波光與一經降頻轉換信號而產生183奈米雷射輸出光，但在此情形中，藉由降頻轉換基本雷射光之一個二次諧波(亦即，代替降頻轉換處於基本頻率之光)產生經降頻轉換信號。當使用具有1064奈米之一波長之基本雷射光時，二次諧波光包括處於可見綠色光譜中之光(亦即，二次諧波光具有532奈米之波長)，藉以使用一「綠色泵激」之OPO產生經降頻轉換信號避免與自1064奈米基本光產生1.3 μm 經降頻轉換信號相關聯之問題(亦即，由吸收具有大於4 μm 之波長之閒置信號致使之OPS中之非線性晶體之失真/損壞)，因此消除對產生在上文所闡述之實施例中利用之較低功率種子信號之需要。然而，藉由降頻轉換532奈米光產生一1.3 μm 經降頻轉換信號引起限制可用於「綠色泵激」之OPO中之非線性晶體之類型(亦即，目前較佳非線性晶體係LBO)之其他問題，且降頻轉換程序係較低效的。

本文中亦揭示用於檢測一物品(諸如，一半導體晶圓、一光罩或一倍縮光罩)之系統及方法。此等系統及方法包含在最終頻率加總級中使用接近非臨界相位匹配產生接近183奈米之一輸出波長之一雷射。

除其較短波長之外，本發明之183奈米雷射與193奈米雷射相比亦具有數個優點。與產生193奈米作為六次或八次諧波之雷射相比，本發明之183奈米雷射具有使用處於數十W至數百W之功率位準之易於獲得之基本波長之優點。與藉由混合一個五次諧波與一信號頻率產生193奈米之雷射相比之一優點在於183奈米雷射之混頻模組係更有效的，此乃因CLBO係經接近非臨界地相位匹配以用於自大約206奈米至大約213奈米之範圍內之一個五次諧波波長產生183奈米。此允許信號頻率及五次諧波更有效地轉換為最終輸出且亦使混頻模組更穩定。又一優點在於對於具有介於約1.25 μm 與約1.83 μm 之間的一對應波長之一信號頻率，與閒置頻率相比之顯著更多能量進入信號中，藉此引起基本功率之更有效轉換(與接近2.1 μm 之一信號波長相比，其中幾乎相等量之功率必須進入信號及閒置頻率中)。

【圖式簡單說明】

圖1A及圖1B係展示根據本發明之替代性例示性實施例之例示性183奈米雷射總成之簡化方塊圖。

圖2係展示根據本發明之一實施例之用於圖1A之183奈米雷射總成中之一例示性五次諧波產生器之一簡化方塊圖。

圖3展示根據本發明之替代性實施例之由圖1A之183奈米雷射總成產生且在圖1A之183奈米雷射總成內混合以產生183奈米雷射輸出光之例示性波長之一表。

圖4係展示根據本發明之一實施例之用於圖1A之183奈米雷射總成中之一例示性混頻模組之一簡化方塊圖。

圖5係展示根據本發明之一實施例之視情況地用於圖1A之183奈米雷射總成中以增加基本雷射光功率之一放大器模組之一簡化方塊圖。

圖6A及圖6B係展示根據本發明之替代性具體實施例之經組態以產生用於圖1A之183奈米雷射總成中之經降頻轉換信號之例示性光學參數系統之簡化方塊圖。

圖7展示在一個感測器上同時偵測兩個影像或信號通道之一倍縮光罩、光罩或晶圓檢測系統。

圖8圖解說明包含多個物鏡及上文所闡述經改良193奈米雷射中之一者之一例示性檢測系統。

圖9圖解說明將一垂直入射雷射暗場照明添加至一折反射成像系統。

圖10A圖解說明用於檢測一表面之區之包含一照明系統及一集光系統之一表面檢測設備。

圖10B圖解說明用於一表面檢測設備之一例示性集光系統陣列。

圖11圖解說明可用於檢測一表面上之異常之一表面檢測系統。

圖12圖解說明經組態以使用垂直及傾斜照明光束兩者來實施異常偵測之一檢測系統。

圖13圖解說明與一檢測或度量衡系統中之上文所闡述之183奈米雷射一起使用之一例示性脈衝倍增器。

圖14係展示根據本發明之另一替代性實施例之一183奈米雷射總成之一簡化方塊圖。

【實施方式】

本發明係關於對用於半導體製作行業中之檢測系統之一改良，且特定而言，係關於用於此類檢測系統之能夠以避免與先前技術方法相關聯之問題之一方式產生具有在大約180奈米至大約185奈米之範圍

內(例如，大約183奈米)之一平均輸出波長且具有1W或更大之一平均光源功率位準之雷射光之雷射總成。提供以下說明以使熟習此項技術者能夠製作並使用如在一特定申請案及其要求之內容脈衝中提供之本發明。在以下說明中應注意，在無限制條件地述及一波長之情況下，可假定波長係真空中之波長。

圖1A及圖1B係分別展示根據本發明之替代性例示性實施例之183奈米雷射總成100A及100B之簡化方塊圖。儘管雷射總成100A及100B在某些方面不同，但每一雷射總成100A及100B利用實質上相同組之核心光學組件，亦即，雷射總成100A及100B中之每一者包含一基本雷射102、一光學參數系統(OPS) 116、一個五次諧波產生器(出於下文闡釋之原因使用圖1A中之「103」及圖1B中之「157」對其加以識別)，以及一混頻模組104，該等組件經配置且經組態以產生具有在大約180奈米至大約185奈米之範圍內且最佳地大約183奈米之一頻率之雷射輸出光140。應注意，此等核心組件係由圖1A及圖1B中之每一者中之相同或類似元件符號識別，以指示此等核心組件在該兩個例示性實施例中之每一者中以相同或一類似方式經組態及起作用。具體地，在每一實施例中，基本雷射102經組態以產生具有一基本波長(例如，大約1064奈米)及一對應基本頻率 ω 之基本光128。類似地，在每一實施例中，OPS 116光學耦合至基本雷射102，使得OPS 116接收基本光128之一部分127作為輸入光，且OPS 116經組態以產生一經降頻轉換信號129。以一類似方式，五次諧波產生器103光學耦合至基本雷射102，使得五次諧波產生器103接收基本光128之至少一部分130作為輸入光，且五次諧波產生器103經組態以產生處於等於基本頻率 ω 的五倍之一個五次諧波頻率 5ω 之五次諧波光134。混頻模組104經光學耦合以接收來自OPS 116之經降頻轉換信號129及來自五次諧波產生器103之五次諧波光134兩者作為輸入光，且經組態以藉助於混合經降頻

轉換信號129與五次諧波光134而產生雷射輸出光140。

根據本發明之一態樣，OPS 116利用一經降頻轉換種子信號產生器117（例如，一個二極體雷射或一OPO）及一光學參數放大器(OPA) 119來產生處於一經降頻轉換頻率 ω_s 之經降頻轉換信號129，使得當在混頻模組104中與五次諧波光134混合時，產生處於所要波長(亦即，在大約180奈米至大約185奈米之範圍內)之雷射輸出光140。具體地，經降頻轉換種子信號產生器117經組態以產生具有與經降頻轉換信號129相同之經降頻轉換頻率 ω_s 但具有實質上比經降頻轉換信號129低之一(第一)峰值功率位準之一經降頻轉換種子信號118。如本文中所使用，片語「經降頻轉換」意欲指示經降頻轉換信號129之經降頻轉換頻率 ω_s 係比基本雷射信號128之基本頻率 ω 低之頻率。在一具體實施例中，經降頻轉換頻率 ω_s 亦高於基本頻率 ω 之50% (1/2) (亦即， $0.5\omega < \omega_s < \omega$)。OPA 119經組態以混合經降頻轉換種子信號118與基本光部分127以產生處於所需(第二)峰值功率位準(亦即，比第一峰值功率位準大十倍)之經降頻轉換信號129。藉由混合較低功率經降頻轉換種子信號118與基本光而產生較高功率經降頻轉換信號129之一個優點在於：更加易於控制低功率雷射光之穩定性及頻寬，因此產生處於較低(第一)峰值功率位準之經降頻轉換種子信號118促進對經降頻轉換信號129之經降頻轉換頻率 ω_s 之更大控制。使用較低功率經降頻轉換種子信號118產生較高功率經降頻轉換信號129之另一優點在於：此方法促進使經降頻轉換種子信號118及基本光部分127僅通過OPA 119一次便產生經降頻轉換信號129，此(如下文以額外細節所闡釋)最小化在較高功率經降頻轉換信號用以產生183奈米雷射輸出光140時由閒置頻率導致的經降頻轉換信號129之失真。

下文參考雷射總成100A (圖1A)之詳細闡述以額外細節闡述上文述及之核心組件中之每一者之功能配置及操作。除非另有規定，否則

下文參考圖1A提供之額外細節適用於在雷射總成100B中使用之對應核心組件，且因此出於簡潔目的自圖1B之闡述(下文)省略對額外細節之重複。

參考圖1A，除上文述及之核心組件以外，雷射總成100A利用光學地耦合於基本雷射102與OPS 116及五次諧波產生器103兩者之間的一光束分裂器120。具體地，基本雷射102產生被引導至光束分裂器120上之基本光128，光束分裂器120用以將基本光128劃分成兩個部分：沿一第一(例如，朝下)方向被引導至OPS 116之一第一部分127，以及沿一第二(例如，水平)方向被引導至五次諧波產生器103之一第二部分130。OPS 116使用OPA 119來降頻轉換基本光部分127並將具有經降頻轉換頻率 ω_s 之經降頻轉換信號129傳輸至混頻模組104。五次諧波產生器103(五次諧波產生模組)轉換基本光部分130並將五次諧波光134傳輸至混頻模組104。混頻模組104混合經降頻轉換信號129與五次諧波光134以產生雷射輸出光140。

參考圖1A之左邊部分，使用已知技術組態基本雷射102以產生處於一基本頻寬(範圍) $\Delta\omega$ 內之基本頻率之基本光(fundamental light)128(在行業中簡稱為「基本光(fundamental)」)。在一項實施例中，基本雷射102經組態使得產生處於對應於大約1064奈米之一紅外線波長之一基本頻率 ω 之基本光128。在一例示性實施例中，基本雷射102係使用一Nd:YAG (經釹摻雜鈮鋁石榴石)雷射介質或一經Nd摻雜釩酸鈮雷射介質中之一者或藉由一經鏡摻雜光纖雷射來實施。適合基本雷射可自Coherent Inc. (包含具有80 MHz及120 MHz之重複率之Paladin系列中之模型)、Newport Corporation (包含Explorer系列中之模型)及其他製造商商業購得為脈衝式(Q切換、鎖定模式或準CW)。用於此等基本雷射之雷射功率位準可介於自若干毫瓦至數十瓦特或更多之範圍內。在一替代性例示性實施例中，基本雷射102係由使用產生處於接近

1053奈米或1047奈米之一基本波長之基本雷射光之一Nd:YLF (經釹摻雜氟化鈮鋰)雷射介質之一雷射實施。在又一例示性實施例中，基本雷射102可藉由產生處於接近1030奈米之一基本波長之基本雷射光之一經鏡摻雜光纖雷射來實施。

參考圖1A中之基本雷射102之右邊，光束分裂器120用以將基本光128劃分成分別被引導至OPS 116及五次諧波產生器103之基本光部分127及130。在一較佳實施例中，光束分裂器120包括一標準量具或其他波長選擇裝置，其等自基本波長選擇第一部分及第二部分使得第二部分130包括比第一部分127窄的基本波長頻寬內之一波長範圍。使用用於光束分裂器120之一波長選擇裝置允許雷射之輸出頻寬獨立於基本雷射102之頻寬地受控制。一波長選擇裝置可如何用以控制一深UV雷射(諸如產生接近183奈米之一波長之雷射)之輸出頻寬之進一步細節可在由Deng等人於2014年6月9日申請之美國專利申請案14/300,227中發現。此專利申請案以引用方式併入本文中。在一項實施例中，183奈米雷射總成100A經組態以在高於1 MHz之重複率下操作，此對於高速檢測應用係重要的。為達成此高重複率操作，基本雷射102係使用在大於或約50 MHz之一重複率下操作之一鎖定模式或準CW基本雷射來實施，此對半導體晶圓、光罩及倍縮光罩之高速檢測係尤其有利的，此乃因與相同功率之一較低重複率雷射相比，使用此等高重複率允許高速影像採集且減小每一脈衝之峰值功率(且因此致使對光學器件及對正受檢測之物品之較小損壞)。儘管本文中使用促進產生處於所要183奈米波長之雷射輸出光140之各種基本波長闡述本發明，但可使用不同基本波長(亦即，當與一適當信號頻率混合時)產生183奈米之數奈米內之其他波長。除非在所附申請專利範圍中另有規定，否則利用此類雷射之此類雷射及系統被視為在本發明之範疇內。

位於圖1A中之光束分裂器120下方之OPS 116經組態以接收並降頻轉換基本光128之第一部分127，使得此降頻轉換產生處於所需經降頻轉換頻率 ω_s 之一經降頻轉換信號129(亦即，使得混合經降頻轉換信號129與五次諧波光134產生處於大約183奈米之輸出雷射光140)。在替代性實施例中，OPS 116包含一光學參數振盪器(OPO)、一光學參數放大器(OPA)，或一OPO與一OPA兩者之一組合。

根據本發明之一態樣，OPS 116亦包含一波長選擇裝置117，諸如一體積佈雷格(Bragg)光柵或一窄頻帶穩定種子二極體，其結合OPO或OPA操作以判定經降頻轉換信號129之頻率 ω_s 及頻寬，其中基於基本光128之頻率/波長及雷射輸出光140之所要波長選擇用於一給定特定實施例中之選擇性特定波長。舉例而言，當基本雷射102產生處於大約1064奈米之一波長(諸如介於約1064奈米與約1065奈米之間的一波長)之基本光128時，則波長選擇裝置117由一具體波長選擇裝置實施，該具體波長選擇裝置致使OPS 116產生處於對應於介於約1250奈米與約1420奈米之間的一波長之一頻率之經降頻轉換信號129，使得當與由五次諧波產生器103基於1064奈米基本頻率產生之五次諧波光134混合時，致使雷射總成100A產生處於介於約182奈米與約185奈米之間的一波長之雷射輸出光140。在另一實例中，當基本雷射102產生處於大約1053奈米之一波長(亦即，諸如介於約1053奈米與約1054奈米之間的一波長)之基本光128時，則波長選擇裝置117係由另一具體波長選擇裝置實施，該另一具體波長選擇裝置指示OPS 116產生處於對應於介於約1290奈米與約1520奈米之間的一波長之一頻率之經降頻轉換信號129，以便產生處於介於約181奈米與約185奈米之間的一波長之雷射輸出光140。在又一實例中，當基本雷射102產生處於大約1047奈米之一波長(亦即，諸如介於約1047奈米與約1048奈米之間的一波長)之基本光128時，則波長選擇裝置117係由又一具體波長選擇

裝置實施，該又一具體波長選擇裝置致使OPS 116產生處於對應於介於約1290奈米與約1580奈米之間的一波長之一頻率之經降頻轉換信號129，以便產生處於介於約180奈米與約185奈米之間的一波長之雷射輸出光140。在一最終實例中，當基本雷射102產生處於大約1030奈米之一波長(亦即，諸如介於約1029奈米與約1031奈米之間的一波長)之基本光128時，則波長選擇裝置117係由又一具體波長選擇裝置實施，該又一具體波長選擇裝置致使OPS 116產生處於對應於介於約1400奈米與約1830奈米之間的一波長之一頻率之經降頻轉換信號129，以便產生處於介於約179奈米與約185奈米之間的一波長之一雷射輸出光140。給定此等例示性值，熟習此項技術者將理解如何針對一給定基本頻率及雷射輸出波長選擇一適當波長選擇裝置。

又參考圖1A，將基本光128之第二部分130自光束分裂器120朝向五次諧波產生器103引導，五次諧波產生器103經組態且用以藉助於轉換基本部分130產生具有係基本頻率 ω 的五倍之一頻率之五次諧波光134。若第二基本部分130之頻寬比基本光128之頻寬窄(亦即，由於光束分裂器120包括一波長選擇裝置)，則五次諧波光134亦將具有比其在不使用一波長選擇裝置之情況下直接自基本光128產生之情形窄之一頻寬。

圖2展示根據一目前較佳實施例之五次諧波產生器103，其包含一第一倍頻模組(二次諧波產生模組) 202、一選用光束分裂器/稜鏡212、一第二倍頻模組(四次諧波產生模組) 203、一選用光束分裂器/組合器213、一頻率加總模組(五次諧波產生模組) 204，以及一選用光束分裂器或波長分離器214。一般而言，五次諧波產生器103用以藉助於以下方式產生五次諧波光134：利用倍頻模組202及203轉換處於基本頻率 ω 之輸入信號之一部分(亦即，第二基本部分130)以產生處於基本頻率的四倍(4ω)之四次諧波雷射光203A，且然後利用頻率加總模組

204以四次諧波雷射光203A與輸入光之一未經消耗部分。根據一目前較佳實施例，第一倍頻模組202、第二倍頻模組203及頻率加總模組204中之至少一者係使用一經退火CLBO晶體，一經氘處理CLBO晶體或一經氫處理CLBO晶體來實施。

五次諧波產生器103藉助於以下方式產生四次諧波雷射光203A：藉由第一倍頻模組202產生二次諧波雷射光202A，且然後使用第倍頻模組203使二次諧波雷射光202A加倍。參考圖2之左側，第一倍頻模組202接收並轉換處於基本頻率 ω 之基本部分130以形成處於係基本頻率之兩倍(2ω)的二次諧波光202A。第倍頻模組203接收並轉換二次諧波光202A以形成處於係基本頻率之四倍(4ω)的四次諧波光203A。離開第一倍頻模組202之基本光130之一未經消耗部分202B可藉由一光束分裂器或稜鏡212而與二次諧波光202A分離且朝向頻率加總模組204引導。在一項實施例中(未展示)，未經消耗基本部分202B不與二次諧波202A分離且與二次諧波光202A共傳播穿過第倍頻模組203以與四次諧波203A實質上一致地到達頻率加總模組204。分離未經消耗基本部分202B與二次諧波光202A之一個優點在於：可將一適當時間延遲施加至未經消耗基本部分202B或四次諧波光203A，使得兩個雷射脈衝實質上同時到達頻率加總模組204。又一優點在於：可在用於適當波長之每一路徑中單獨地最佳化用於引導及/或聚焦光之光學元件(諸如鏡、透鏡及稜鏡(未展示))。

在一項實施例中，未經消耗二次諧波部分203B (亦即，未用於第倍頻模組203內的二次諧波光之一部分)藉由選用光束分裂器/組合器213而與四次諧波203A分離。光束分裂器/組合器213可包括一或多個光束分裂器及/或一或多個稜鏡。光束分裂器/組合器213可(若需要)組合未經消耗基本部分202B與四次諧波203A，使得其等一起傳播至頻率加總模組204。

參考圖2之右側，頻率加總模組204藉由加總四次諧波光203A與未經消耗基本光部分202B而產生五次諧波光134。選用光束分裂器或波長分離器214在某些實施例中用以自五次諧波光205分離出任何未經消耗基本部分及四次諧波204B。光束分裂器214可包括一稜鏡、一偏振光束分裂器，一個二向色光束分裂器或光學元件之一組合。

在一項較佳實施例中，二次諧波產生模組202包括用於頻率轉換之三硼酸鋰(LBO)晶體。在其他實施例中，二次諧波產生模組202包括用於頻率轉換之一CLBO、BBO或其他非線性晶體。在五次諧波產生器103之一項較佳實施例中，四次諧波產生模組203包括用於頻率轉換之一CLBO晶體。在其他實施例中，四次諧波產生模組203可包括用於頻率轉換之一BBO或其他非線性晶體。在五次諧波產生器103之一項較佳實施例中，頻率加總模組203包括用於頻率加總之一CLBO晶體。在其他實施例中，頻率加總模組204可包括用於頻率加總之一BBO或其他非線性晶體。

圖3展示用於圖1中展示之183奈米雷射之例示性波長範圍(以奈米為單位)之一表。對於每一基本雷射類型，展示一例示性短波長基本部分及一例示性長波長基本部分，連同所要輸出波長(表中展示之實例中之183奈米)所需之對應於諧波及經降頻轉換信號之波長。一基本雷射之精確波長取決於諸多因素，包含雷射介質之精確組合物、雷射介質之操作溫度及光學腔之設計。使用一給定雷射介質之相同雷射線之兩個雷射可以由於前述及其他因素而相差零點幾奈米或數奈米之波長操作。熟習適當技術者將理解如何針對經降頻轉換信號選擇適當波長以便自接近於表中所列之彼等波長之任何基本波長產生所要輸出波長。類似地，若所要輸出波長與183奈米相差數奈米，則該所要輸出波長亦可藉由對用於經降頻轉換信號之波長之一適當調整而達成。

圖4展示根據一較佳實施例之供在雷射總成100A (圖1A)中使用之

混頻模組104。混頻模組104包含一非線性晶體402，其在較佳實施例中包括包含一輸入表面442及一相對輸出表面452之一經退火(經氬處理或經氫處理)硼酸鉍鋰(CLBO)晶體。非線性晶體402經定位以在輸入表面442處接收五次諧波光134 (亦即，來自五次諧波產生器103)及經降頻轉換信號129 (來自OPS產生器116)兩者，使得信號129及光134兩者大致共線地進入非線性晶體402(例如，在方向410上，由圖4中之虛線箭頭所指示)，且經聚焦至安置於晶體402內側或靠近於晶體402之對應光束腰(未展示光束腰)。對於在處於大約 50°C 之一溫度之CLBO中與具有接近1433奈米之一波長之一經降頻轉換信號總和具有接近206奈米之一波長之一個五次諧波之I型匹配，相位匹配角度係大約 74.9° 。對於在處於大約 50°C 之一溫度之CLBO中與具有接近1274奈米之波長之一經降頻轉換信號總和具有接近213奈米之一波長之一個五次諧波之I型匹配，相位匹配角度係大約 85.7° 。此等實例之兩者皆展示可達成具有高效率及低走離之接近非臨界相位匹配以用於產生接近183奈米之波長。此等波長組合僅係實例且並不意在限制本發明之範疇。熟習適當技術者理解如何選擇波長、溫度及角度之不同組合以達成相位匹配。

在某些實施例中，晶體402之輸入表面442經截切及定位以便大致處於相對於五次諧波光134 (亦即，相對於方向410及五次諧波光134之偏振)之布儒斯特(Brewster)角。此角度最小化五次諧波波長之反射，且因此促進避免在某些實施例中對輸入表面442上之一抗反射塗層之一需要。在其他實施例中，一抗反射塗層(未展示)施加至表面442以減少處於五次諧波及/或信號波長之反射光。晶體402之輸出表面452可經塗佈或未經塗佈。在一項實施例中，晶體402之輸出表面452經截切且維持於相對於雷射輸出光140之布儒斯特角下，且不經塗佈。應注意，若使用I型相位匹配，則雷射輸出光140之偏振較佳地垂

直於輸入波長之(亦即，五次諧波光134及經降頻轉換信號129之)偏振，且因此布儒斯特角輸出表面452必須經適當地截切。不塗佈輸出表面452之優點在於塗層可在曝露於密集UV輻射時具有一較短使用壽命。

又參考圖4，在較佳實施例中，混頻模組104可使用一或多個光學元件(光學器件) 405以分離所要輸出波長(亦即，處於大約183奈米之雷射輸出光140)與其他不期望波長451 (例如，五次諧波光134之未經消耗部分及/或經降頻轉換信號129之未經消耗部分)。光學器件405可包含一光束分裂器、一稜鏡、一光柵或其他光學元件。在某些實施例中，走離與晶體402之輸出表面452之角度之組合可達成雷射輸出140與其他波長之充分分離使得不需要光學器件405。

在183奈米雷射之較佳實施例中，由於使用一高功率經降頻轉換信號129而在晶體402中消耗五次諧波光134之一實質分離或幾乎所有部分。儘管此可導致自基本光128 (圖1中)至雷射輸出光140之較低總體轉換效率，但針對一給定輸出功率使用處於信號波長之較大功率及處於五次諧波之較小功率之一雷射器可具有一較長壽命且可需要較低頻率維護，此乃因深UV光(諸如四次及五次諧波)可容易致使對雷射器內之光學器件損壞及光污染。

應注意，在該等實施例之任一者中，鏡、稜鏡、潛望鏡等可視需要用以引導基本波長或其他波長。舉例而言，稜鏡、光束分裂器、光束組合器及經二向色塗佈鏡可視需要用以分離及組合光束。鏡與光束分裂器之各種組合可用於以任何適當順序在不同頻率轉換級之間分離且路由各種波長。頻率轉換晶體、稜鏡光束分裂器或透鏡之面可以大約等於一入射波長之布儒斯特角之一角度經截切以便在不使用一抗反射塗層之情況下最小化或控制反射。此截切可尤其有利於其中入射UV輻射之彼等表面，此乃因抗反射塗層可在曝露於UV時降級且因此

可降級雷射之可靠性(若用於此等表面上)。波片(包含布儒斯特角波片或延遲器)或其他光學元件可用以視需要旋轉波長中之任何者之偏振以使偏振與下一頻率轉換或混頻級之適當晶軸對準。在讓與Armstrong之標題為「High Damage Threshold Frequency Conversion System」之美國專利8,711,470中更詳細地闡述布儒斯特角光學器件在DUV雷射中之使用。此專利以引用方式併入本文中。

以上闡述及相關聯圖圖解說明用於產生具有大約183奈米之一波長之光之各種雷射。闡述某些具體波長及波長範圍以便圖解說明實施例。類似上文闡述之彼等實施例之產生比183奈米短或長數奈米之一不同波長之其他雷射實施例係可能的且在本發明之範疇內。

上文所闡述圖並不意在表示組件之實際佈局。上文所闡述圖展示程序中所涉及之主要光學模組，但未展示每一光學元件。熟習適當技術者將理解如何依據上文所闡述圖及其相關聯闡述建立183奈米雷射。應理解，可視需要使用更多或更少光學組件來引導光。在適當之情況下，可使用透鏡及/或曲面鏡來將光束腰聚焦至在非線性晶體內側或靠近於非線性晶體之實質上圓形或橢圓形剖面之焦點。可使用稜鏡、光束分裂器、光柵或繞射光學元件來在需要時在每一頻率轉換器或混頻器模組之輸出處導向或分離不同波長。可視情況使用稜鏡、經塗佈鏡或其他元件來在通至頻率轉換器及混頻器之輸入處組合不同波長。可視情況使用光束分裂器或經塗佈鏡來將一個波長劃分成兩個光束。可使用濾光器來在任何級之輸出處阻擋或分離非所要波長。可視需要使用波板來旋轉偏振。可視需要使用其他光學元件。在某些情形中，允許來自一個頻率轉換級之未經消耗光傳遞至下一級(儘管在後續級中並不需要彼光)係可接受的。若功率密度足夠低而不導致損壞且若存在對所要頻率轉換程序極少干擾(舉例而言，由於晶體角處無相位匹配或由於光之偏振)，則上述情形可接受。熟習適當技術者將

理解在183奈米雷射之實施方案中係可能的之各種折中及替代方案。

在一較佳實施例中，產生二次諧波之第一倍頻模組202 (圖2)可包含一個三硼酸鋰(LBO)晶體，其可在室溫與約200°C之間的溫度下係實質上非臨界相位匹配的(針對晶體平面之適當選擇)以用於產生在介於約515奈米與約532奈米之間的一波長範圍內之一個二次諧波。在其他實施例中，第一倍頻模組202可包含一個硼酸鉍鋰(CLBO)晶體或一個β硼酸鋇(BBO)晶體，其中之任一者可係臨界相位匹配的以用於產生在介於約515奈米與約532奈米之間的一波長範圍內之一個二次諧波。

產生四次諧波之第倍頻模組203 (圖2)及產生五次諧波之頻率加總模組204可在CLBO、BBO或其他非線性晶體中使用臨界相位匹配。在較佳實施例中，倍頻模組203及頻率加總模組204兩者包括CLBO晶體。

頻率轉換級(包含在圖1A、圖2及圖4中所展示者)中之任一者可有利地使用由Dribinski等人申請之標題為「Laser With High Quality, Stable Output Beam, And Long Life High Conversion Efficiency Non-Linear Crystal」之美國專利第8,873,596號中揭示之方法及系統中之某些或所有方法及系統。此專利以引用方式併入本文中。

頻率轉換級(包含在圖1A、圖2及圖4中所展示者)中之任一者可包含一或多個保護性環境，諸如在由Armstrong申請之標題為「Enclosure for controlling the environment of optical crystals」之美國專利8,298,335中所闡述者。此專利以引用方式併入本文中。應注意，一單個保護性環境可封圍多個級或一單個級。

頻率轉換級(包含在圖1A、圖2及圖4中所展示者)中之任一者可併入有：讓與Dribinski等人之標題為「Alleviation of laser-induced damage in optical materials by suppression of transient color centers

formation and control of phonon population」之美國專利8,298,335中之任一者中闡述之方法或系統；由Armstrong申請之標題為「Measuring crystal site lifetime in a non-linear optical crystal」之美國專利8,824,514中闡述之設備或方法中之任一者；由Genis申請之標題為「Laser crystal degradation compensation」之美國專利第8,976,343號中闡述之設備及方法中之任一者；由Genis於2013年6月19日申請之標題為「Preferential shift direction to prolong the life and minimize perturbations of a scanning nonlinear optical crystal」之美國臨時專利申請案61/837,053中闡述之系統及方法中之任一者；以及由Armstrong等人分別於2012年6月29日、2013年2月7日申請之兩者標題為「Scan rate for continuous motion of a crystal in a frequency converted laser」之美國臨時專利申請案61/666,675及61/762,269中闡述之系統及方法中之任一者。雷射可進一步併入有讓與Armstrong之標題為「Dynamic wavefront control of a frequency converted laser system」之美國專利8,686,331中闡述之系統及方法中之任一者。所有此等專利、申請案及臨時申請案皆以引用方式併入本文中。

應進一步注意，頻率轉換級(包含在圖1A、圖2及圖4中所展示者)中之任一者可有利地使用經氘、氫及/或氟摻雜或處理非線性晶體。此類晶體可藉由在由Dribinski等人於2010年9月3日申請之美國專利第9,023,152號中闡述或在由Chuang等人於2012年6月1日申請之美國專利申請案13/488,635以及由Dribinski等人於2014年4月8日申請之美國專利申請案14/248,045 (此兩者同在申請中)中闡述之程序或方法中之任一者形成、處置或處理。此等專利及申請案以引用方式併入本文中。該等經摻雜或處理晶體可在涉及深UV波長之彼等級(包含倍頻模組203、頻率加總模組204，以及混頻模組104)中尤其有用。

在某些實施例中，為產生處於基本波長之足夠功率，一或多個

放大器可用以增加基本波長之功率。若使用兩個或兩個以上放大器，則應較佳地使用一個種子雷射來對所有放大器進行播種使得該等放大器皆輸出處於相同波長之同步化雷射脈衝。圖5圖解說明其中一種子雷射503可產生處於所要基本波長(例如，大約1064奈米、大約1053 nm、大約1047 nm或大約1030 nm)之穩定化窄頻帶種子雷射光504之一例示性放大器模組500。在某些實施例中，種子雷射503係一經Nd摻雜YAG雷射、一經Nd摻雜釩酸釷雷射、一經Nd摻雜YLF雷射、一光纖雷射或一穩定化二極體雷射中之一者。種子光504行進至一第一放大器507，第一放大器507將光放大至一較高功率位準以產生基本光128。在一項實施例中，第一放大器507包括經Nd摻雜YAG或經Nd摻雜釩酸釷。在一項實施例中，一放大器泵浦505包含可泵激第一放大器507之一雷射。在某些實施例中，此泵激可使用以大約808奈米波長或以大約888奈米波長操作之一或多個二極體雷射進行。在其他實施例中，第一放大器507可包括一經Yb摻雜光纖放大器。

圖5亦圖解說明可用於放大器模組500之某些實施例中之例示性額外組件。由於OPO/OPA 116、第一倍頻模組202及頻率加總模組204(圖1A及圖2)接收基本雷射波長作為一輸入且取決於需要接近183奈米波長之輸出功率，因此可需要可以所需頻寬、穩定性及光束品質在一單個放大器中便利地產生之更多基本雷射光。實際上，增加一光學放大器之功率輸出可導致增加頻寬、由於熱透鏡效應或其他效應所致之光束品質之降級、減少穩定性及/或縮短使用壽命。

因而，在放大器模組500之某些實施例中，第一放大器507及一額外第二放大器517可用以分別產生兩個基本雷射輸出128及528，其中如上文述及地利用基本光128，且光528可被引導至不同頻率轉換級(未展示)以代替(舉例而言) 127 (在圖1A中)或202B (在圖2中)。第二放大器517可與第一放大器507實質上相同。在一項實施例中，一放大器

泵浦515包含可泵激第二放大器517之一雷射。放大器泵浦515可與放大器泵浦505實質上相同。明顯地，同一種子雷射503可用以播種兩個雷射以便確保輸出128及528處於相同波長且係同步的。一光束分裂器或稜鏡511及一鏡或稜鏡512可劃分種子光504且將其之一分率引導至第二放大器517。

圖6A及圖6B分別根據兩個替代例示性實施例之展示一OPS 116D及一OPS 116E。如上文參考圖1A所述及，OPS 116包含產生一較低功率經降頻轉換種子信號118之一經降頻轉換信號種子產生器(DCSSG) 117，然後使用一光學參數放大器(OPA) 119將較低功率經降頻轉換種子信號118與基本光部分127組合以產生較高功率經降頻轉換信號129，然後將較高功率經降頻轉換信號129傳輸至混頻模組104以用於與五次諧波光134混合。如在以下例示性實施例中所陳述，OPS 116D及OPS 116E利用類似OPA結構，但利用兩個不同DCSSG配置。具體地，在OPS 116D (圖6A)利用一種子雷射以直接產生經降頻轉換種子信號之情況下，OPS 116E (圖6B)利用一光學參數振盪器以藉由轉換基本雷射光之一部分而產生經降頻轉換種子信號。在以下闡述中陳述此等方法中之每一者之優點。

參考圖6A，OPS 116D通常包含一經降頻轉換信號種子產生器(DCSSG) 117D，其使用一種子雷射603實施，且OPA 119D包含一光束組合器611、一非線性晶體607及一光束分裂器621。種子雷射603經組態以直接產生處於所要經降頻轉換信號頻率 ω_s 之經降頻轉換種子光118D，並將經降頻轉換種子光118D引導至OPA 119D中之光束組合器611上。光束組合器611經組態及經定位以接收處於基本頻率 ω 之基本光部分127 (輸入雷射光)與經降頻轉換種子光118D兩者，並組合(亦即，沿著共線路徑引導)基本光部分127與經降頻轉換種子光118D兩者使得其等進入非線性晶體607。非線性晶體607經組態以藉由基本光部

分127之受激降頻轉換而放大經降頻轉換種子信號118，並朝向光束分裂器(波長分離器) 621傳輸經放大信號。光束分裂器621經組態以分離經降頻轉換信號129與自非線性晶體607接收之經放大信號中存在之其他頻率，並將經降頻轉換信號129引導至混頻模組(未展示)。在以下段落中以額外細節闡述此等組件中之每一者。

在一較佳實施例中，種子雷射603使用一個二極體雷射或一低功率光纖雷射實施，且經組態以產生處於經降頻轉換信號頻率 ω_s 之種子雷射光604，種子雷射光604然後用以為處於彼頻率之降頻轉換程序進行播種。種子雷射603僅需具有大約1 mW至數百mW之平均功率。在一較佳實施例中，種子雷射603藉由使用(舉例而言)一光柵並使溫度穩定化而經穩定化。種子雷射頻率及頻寬判定經降頻轉換信號129之頻率及頻寬。使用一種子雷射之一優點在於與一高功率雷射相比更加易於控制較低功率雷射之穩定性及頻寬。一穩定窄頻寬種子雷射判定經降頻轉換信號129之頻寬及穩定性。在一項實施例中，種子雷射603產生實質上垂直於基本光(亦即，輸入雷射光127)之偏振而經偏振之偏振光，然後將該偏振光引入至非線性轉換器607中。

在一項實施例中，光束組合器611 (例如，一稜鏡)包含一個二向色塗層，其有效地反射一第一波長且同時透射一第二波長，使得基本光部分127及經透射種子雷射光118D實質上共線地行進穿過非線性轉換器607。舉例而言，如在圖6A中所指示，光束組合器611反射基本光部分127並透射種子雷射光118D，使得此兩者實質上共線地經傳輸穿過非線性轉換器607，如所展示。在一替代實施例(未展示)中，光束組合器經組態且經配置以透射基本光部分並反射種子雷射光，使得此兩者實質上共線地行進穿過非線性轉換器。

在一項實施例中，非線性晶體607使用針對輸入雷射頻率 ω 及經降頻轉換信號頻率 ω_s 可相位匹配或準相位匹配之任何適合非線性光學

晶體或週期性極化非線性光學晶體實施。在一項較佳實施例中，非線性晶體607包括週期性極化鋁酸鋰、週期性極化經氧化鎂摻雜鋁酸鋰、週期性極化化學計量比鋁酸鋰(PPSLT)、週期性極化經氧化鎂摻雜化學計量比鋁酸鋰及週期性極化磷酸鈦氧鉀(PPKTP)中之一者。

在一項實施例中，光束分裂器621 (例如，一稜鏡)使用已知技術而經組態及經定位以分離經降頻轉換信號129與不期望頻率623 (例如，未經消耗基本頻率及一閒置頻率)。在一項實施例(未展示)中，未經消耗基本頻率可以一設定時間延遲再循環返回至非線性轉換器607之輸入以匹配基本光部分127之下一傳入雷射脈衝。

圖6B圖解說明根據一第二例示性實施例之一OPS 116E，其藉助於轉換基本雷射光之一部分產生處於所需經降頻轉換信號頻率 ω_s 之高功率經降頻轉換信號129 (諸如大於約3W)。OPS 116E通常包含：一光束分裂器631，其經組態以將處於基本頻率 ω 之基本光部分127分裂成一第一子部分127A及一第二子部分127B；一光學參數振盪器(OPO；亦即，經降頻轉換種子信號產生器) 117E，其經組態以藉助於轉換基本光子部分127A產生經降頻轉換種子信號118E；及一OPA 119E，其經組態以混合經降頻轉換種子信號118E與(第二)基本光子部分127B。OPO 117E包含一第一聚焦鏡632、一非線性晶體633、一第二聚焦鏡634、一波長選擇器637，以及一輸出耦合器636，其等如所展示可操作地經組態以形成一光學腔，在該光學腔中，藉助於聚焦鏡632及634以及非線性晶體633而在波長選擇器637與輸出耦合器636之間反射光。類似於OPS 116D (圖6A)之OPA，OPA 119E包含一光束組合器640、一非線性晶體641及波長分離器642。在以下段落中以額外細節闡述此等組件中之每一者。

參考圖6B之左側，在一項實施例中，藉由光束分裂器631劃分處於基本頻率 ω 之基本光部分(輸入雷射光) 127，使得被引導至OPO

117E之子部分127A包含輸入雷射光127之能量之50%以下，且被引導至OPA 119E之子部分127B包含輸入雷射光127之能量之50%以上。子部分127A藉助於通過聚焦鏡632而進入OPO 117E。聚焦或模式匹配光學器件(未展示)可在OPO 117E於接近非線性晶體633之中心處聚焦子部分127A之前放置於輸入雷射光127之光路徑中。

非線性晶體633針對相位匹配或準相位匹配經設計以用於自處於頻率 ω 之子部分127A產生處於信號頻率 ω_s 之光。在一項實施例中，非線性晶體633包括一週期性極化材料，諸如週期性極化鋯酸鋰(PPLN)或週期性極化化學計量比鉬酸鋰(PPSLT)。未藉由非線性晶體633轉換為信號頻率光之任何輸入雷射光通過聚焦鏡634且可傾卸。聚焦鏡634較佳地亦應傳輸在非線性晶體633中形成之閒置頻率。

在一項實施例中，聚焦鏡634經組態成對處於信號頻率 ω_s 之光具有高反射性，且經配置以將處於在非線性晶體633中形成或通過非線性晶體633之信號頻率之光引導至輸出耦合器636。輸出耦合器636傳輸入射於其上之處於信號頻率 ω_s 之一第一分率之光(諸如大約20%之一分率)且反射一第二分率之光(諸如大約80%)。將處於信號頻率 ω_s 之第二分率之光反射回至聚焦鏡634，聚焦鏡634將光穿過非線性晶體633重新引導至聚焦鏡632，聚焦鏡632繼而將光重新引導至波長選擇器637。

波長選擇器637使用已知技術經組態為對於以所要信號頻率 ω_s 為中心之一窄範圍之頻率係高反射性的。舉例而言，波長選擇器637可反射大約0.2奈米FWHM之一波長範圍。波長選擇器637對於判定雷射輸出140 (參見(例如)圖1a)之波長係重要的，此乃因雷射輸出140之波長係對應於基本波長之五次諧波與信號頻率 ω_s 之總和之波長。在一項實施例中，波長選擇器637包括一體積佈雷格光柵。在一較佳實施例中，波長選擇器637保持於一恆定溫度下以便確保其中心波長保持恆

定。在一項實施例中，可藉由調整波長選擇器637之溫度而對雷射輸出140之波長做出小調整以便改變信號頻率 ω_s 。

處於信號頻率 ω_s 之經降頻轉換光在自波長選擇器637反射後返回至聚焦鏡632，聚焦鏡632將其引導回至非線性晶體633。處於信號頻率 ω_s 之光自非線性晶體633至聚焦鏡634至輸出耦合器636、返回至聚焦鏡634穿過非線性晶體633至聚焦鏡632、至波長選擇器637、返回至聚焦鏡632以及返回至非線性晶體633所循之光學路徑長度應使得處於信號頻率 ω_s 之光之每一脈衝與輸入雷射光127之一脈衝實質上同時地回到非線性晶體633。此配置用以確保輸入雷射光127及處於信號頻率之光之脈衝實質上共傳播穿過非線性晶體633以啟用輸入雷射光至處於信號頻率 ω_s 之光之受激降頻轉換。在一較佳實施例中，光學路徑長度應使得處於信號頻率 ω_s 之光之脈衝與輸入雷射光127之脈衝之到達時間之失配小於輸入雷射光127之一脈衝之一寬度之約10%。

在一項實施例中，聚焦鏡632及634經組態以包含經設定焦距，使得處於信號頻率之光之脈衝在剛經闡述之完整的往返行程之後回到非線性晶體633，在接近非線性晶體之中心處聚焦且與輸入雷射光127之脈衝實質上空間上地重疊。在替代性實施例中，波長選擇器637及/或輸出耦合器636可代替聚焦鏡632及634或另外地聚焦處於信號頻率 ω_s 之光。在另一實施例中，一或多個透鏡可用以代替聚焦鏡或另外地重新聚焦信號頻率。

亦應注意，可調換輸出耦合器636與波長選擇器637之相對位置，只要做出適當佈局改變以併入有額外鏡及/或稜鏡以將處於信號頻率 ω_s 之光及輸入雷射光之第二部分127B重新引導至光束組合器640即可。圖6B中展示之佈局意欲係說明性的以闡釋操作之原理。

此項技術中已知之其他OPO組態可代替OPO 117E。舉例而言，可使用一環形腔OPO或蝶形腔OPO。可在不背離本發明之範疇之情況

下對OPO 117E做出其他修改。舉例而言，一鏡可代替波長選擇器637而使用，且一透射性波長選擇器(未展示)可包含於信號頻率 ω_s 之光學路徑中。額外平面鏡或稜鏡可包含於OPO 117E中以(舉例而言)在維持一緊湊總體大小的同時達成所要光學路徑長度。

對於高功率雷射輸出140 (諸如1 W或更大之一功率)，直接自基本雷射光而非自基本光之二次諧波產生信號波長 ω_s 係較佳的，此乃因浪費較少功率，且因而可針對一給定輸出功率而使用一較低功率基本雷射102 (例如圖1A)。一般而言，一OPO可能夠產生信號頻率 ω_s 之一高平均輸出功率(諸如數瓦特或更大之功率)，如產生約1 W或更大之雷射輸出140所需的高平均輸出功率一樣。本發明旨在自接近1 μm 之一基本波長產生具有介於約180奈米與185奈米之間的一波長之一雷射輸出140。此需要對應於介於約1.2 μm 與約1.6 μm 之一波長之一信號頻率 ω_s (在圖3中展示某些實例性波長組合)。產生相對於基本雷射之波長之此一短波長意味與信號頻率同時形成之閒置頻率必須具有一長波長，諸如長於約4 μm 之一波長。適用於自接近1 μm 之一波長產生介於約1.2 μm 與約1.6 μm 之間的信號波長之現成可用的高增益高品質非線性晶體(諸如PPLN及PPSLT)在長於約4 μm 之波長處係強吸收性的。若OPO 117E用以產生處於所要範圍內之一信號頻率之高功率，則閒置頻率亦將含有顯著功率。由於閒置頻率被非線性晶體633吸收，因此在閒置頻率功率係高的之情況下將在非線性晶體633內形成顯著溫度梯度。此等溫度梯度局部地改變非線性晶體633之光學性質，從而導致產生之處於信號頻率 ω_s 之光之一不規則量變曲線，且同樣地導致OPO 117E之不穩定操作。

在本發明中，藉由操作OPO 117E以便產生處於信號頻率 ω_s 之一相對低輸出功率(諸如數百mW之一平均功率)而克服此等問題。在此一輸出功率下，非線性晶體633之局部加熱係最小的且OPO 117E可以

針對經降頻轉換種子信號118E之良好量變曲線而穩定地操作。非線性晶體633可經選擇以便(舉例而言)藉由使用具有一高非線性係數之一長長度之一材料(諸如PPLN或PPSLT)而最大化轉換效率，具有對損壞或熱性質較少顧慮。

在本發明中，由OPO 117E產生之處於信號頻率 ω_s 之光118E藉由OPA 119E放大至如經降頻轉換信號129之所需功率位準。光束組合器640組合輸入雷射光127之第二部分與來自OPO 117E之處於信號頻率 ω_s 之光。自光束分裂器631至光束組合器640之光學路徑長度應使得輸入雷射光之脈衝與處於信號頻率 ω_s 之光之脈衝實質上同時地到達光束組合器640。額外鏡、稜鏡或其他光學組件可放置於631與640之間的光學路徑中及/或636與640之間的光學路徑中，以確保脈衝實質上同時地到達640。透鏡、曲面鏡或其他光學元件(未展示)可根據需要用於任一光路徑中以確保輸入雷射光127之第二部分與處於信號頻率 ω_s 之光實質上空間上地重疊且兩者在接近非線性晶體641之中心處聚焦。

光束組合器640將光脈衝引導至非線性晶體641。非線性晶體641藉由第二基本光子部分127B之受激降頻轉換而放大處於信號頻率 ω_s 之光。波長分離器642分離經降頻轉換信號129與任何未經消耗輸入雷射光643及任何閒置頻率。波長分離器642可包括一偏振光束分裂器(若經降頻轉換信號129具有不同於輸入雷射光之一偏振)、一個二向色鏡，一佩林-勃洛卡(Pellin-Broca)稜鏡或此項技術中已知之任何其他適當波長分離器。非線性晶體641可包括針對輸入雷射頻率 ω 及經降頻轉換信號頻率 ω_s 可相位匹配或準相位匹配之任何適合非線性光學晶體或週期性極化非線性光學晶體。在一項較佳實施例中，非線性晶體641包括PPSLT或週期性極化經Mg摻雜SLT。此等材料尤其適用於處於較高功率位準之操作。

由於經降頻轉換信號129僅通過非線性晶體641一次，因此晶體641中之熱梯度致使比將在經組態以產生一類似輸出功率之一OPO中致使的低之光量變曲線降級。亦即，若OPA 119E被一OPO (例如，經組態為諸如OPO 117E)替代，則將需要處於信號頻率 ω_s 之光多次通過其非線性晶體(例如，OPO 117E中之非線性晶體633)，從而導致藉由閒置頻率之顯著加熱。因此，藉由利用首先產生一較低功率種子信號且然後混合種子信號與基本光之一部分以產生處於所需頻率及功率位準之經降頻轉換信號129之兩步式方法，本發明克服僅使用一OPO來產生一高功率經降頻轉換信號129之一明顯限制。

參考圖1B，如上文所述及，雷射總成100B與雷射總成100A (圖1A)類似之處在於此雷射總成兩者皆包含：一基本雷射102，其經組態以產生具有一基本波長 ω 之基本光128；一OPS 116，其光學耦合至接收基本光128之一部分127且產生一經降頻轉換信號129；一個五次諧波產生器157(五次諧波產生模組)；及一混頻模組104，其經組態以接收並混合經降頻轉換信號129與來自五次諧波產生器157之五次諧波雷射光134以產生雷射輸出光140。另外，OPS 116藉助於利用DCSSG 117產生處於經降頻轉換波長 ω_s 之較低功率經降頻轉換種子信號118且然後混合經降頻轉換種子信號118與基本光部分127而產生經降頻轉換信號129。

雷射總成100B與雷射總成100A (圖1A)之間的第一差異在於由基本雷射102產生之全部基本光128傳輸至一個二次諧波產生器153(二次諧波產生模組)，且自離開二次諧波產生器153之未經使用基本光182獲得供應至OPS 116及五次諧波產生器157之部分127及130。此方法圖解說明對其中基本雷射102輸出第二基本光及未經使用基本光之情形(亦即，其中基本雷射實際上包含二次諧波產生器153)之一有利替代。為促進此替代，一第一光束分裂器181用以分離離開二次諧波

產生模組102之二次諧波光189與未經使用基本光182，使得二次諧波光189傳輸至一個四次諧波產生器155(四次諧波產生模組)，且使得未經使用基本光182傳輸至一第二光束分裂器183，第二光束分裂器183產生分別被引導至OPS 116及五次諧波產生器157之部分127及130。

除上文述及之差異以外，雷射總成100B之操作與雷射總成100A之操作基本上相同。二次諧波產生器153與第一倍頻模組202 (圖2)實質上類似地起作用且可實質上類似地經組態。四次諧波產生器155與第二倍頻模組203 (圖2)實質上類似地起作用且可實質上類似地經組態。五次諧波產生器157與頻率加總模組204 (圖2)實質上類似地起作用且可實質上類似地經組態。換言之，諧波產生器153、155及157執行與五次諧波產生器103實質上相同之功能，但在各個模組之間具有一不同基本路由。

圖7至圖12圖解說明可包含上文所闡述183奈米雷射中之一者之系統。此等系統可用於光罩、倍縮光罩或晶圓檢測及度量衡應用中。

圖7展示使用一單個感測器770同時地偵測兩個影像或信號通道之一倍縮光罩、光罩或晶圓檢測系統700。照明源(雷射總成) 709經組態以產生具有如本文中所闡述在大約180奈米至大約185奈米之範圍內(例如，183奈米)之一輸出波長之雷射輸出光710。照明源709可進一步包括一脈衝重複率倍增器及/或一同調性減少方案。兩個影像/信號通道可在一受檢測物件(其安置於載台730上)係透明的(舉例而言，一倍縮光罩或光罩)時包括經反射及透射光，且可包括兩個不同照明模式，諸如入射角、偏振狀態、波長範圍或其某一組合。

如在圖7中所展示，檢測系統700包含照明中繼(第一)光學器件715及720，其等係使用已知技術經組態以將照明(雷射輸出光) 710自源709中繼至安置於載台730上之正受檢測物件的光學系統。受檢測物件可係將受檢測之一倍縮光罩、一光罩、一半導體晶圓或其他物品。

檢測系統700亦包含影像中繼(第二)光學器件740、755及760，其等係使用已知技術經組態以將被受檢測物件影響(亦即，反射、散射及/或透射)的照明710之一部分710'中繼至一感測器770之光學系統。對應於兩個通道之經偵測信號或影像之資料經展示為資料780且傳輸至一電腦(未展示)以用於處理。

可經組態以量測來自倍縮光罩或光罩之經透射及反射光之一倍縮光罩或光罩檢測系統之其他細節闡述於讓與Emery等人之美國專利5,563,702、讓與Kvamme等人之美國專利7,352,457以及讓與Brown等人之美國專利7,528,943中，其等專利以引用方式併入本文中。

圖8圖解說明包含多個物鏡及上文所闡述183奈米雷射總成中之一者之一例示性檢測系統800。在系統800中，來自一雷射源801之照明發送至照明子系統之多個區段。照明子系統之一第一區段包含元件802a至806a。透鏡802a聚焦來自雷射源801之光。來自透鏡802a之光然後自鏡803a反射。出於圖解說明之目的將鏡803a放置於此位置處，且可將其定位於別處。來自鏡803a之光然後由透鏡804a收集，該透鏡形成照明光瞳平面805a。可取決於檢測模式之需要而將用以修改光之一光圈、濾波器或其他裝置放置於光瞳平面805a中。來自光瞳平面805a之光然後通過透鏡806a且形成照明場平面807。

照明子系統之一第二區段包含元件802b至806b。透鏡802b聚焦來自雷射源801之光。來自透鏡802b之光然後自鏡803b反射。來自鏡803b之光然後由透鏡804b收集，該透鏡形成照明光瞳平面805b。可取決於檢測模式之需要而將用以修改光之一光圈、濾波器或其他裝置放置於光瞳平面805b中。來自光瞳平面805b之光然後通過透鏡806b且形成照明場平面807。來自第二區段之光然後被鏡或反射性表面重新定向使得照明場平面807處之照明場光能量由經組合之照明區段組成。

場平面光然後在反射離開一光束分裂器810之前由透鏡809收

集。透鏡806a及809在物鏡光瞳平面811處形成第一照明光瞳平面805a之一影像。同樣地，透鏡806b及809在物鏡光瞳平面811處形成第二照明光瞳平面805b之一影像。一物鏡812 (或替代地813)然後獲取光瞳光且在樣本814處形成照明場807之一影像。物鏡812或物鏡813可靠近於樣本814而定位。樣本814可在一載台(未展示)上移動，該載台使該樣本定位於所要位置中。自樣本814反射且散射之光由高NA折反射物鏡812或物鏡813收集。在物鏡光瞳平面811處形成一經反射光瞳之後，光能量在成像子系統中形成一內部場816之前通過光束分裂器810及透鏡815。此內部成像場係樣本814及對應地照明場807之一影像。此場可空間分離成對應於照明場之多個場。此等場中之每一者可支援一單獨成像模式。舉例而言，一個成像模式可係一明場成像模式，而另一者可係一暗場成像模式。

可使用鏡817重新定向此等場中之一者。經重新定向之光然後在形成另一成像光瞳819b之前通過透鏡818b。此成像光瞳係光瞳811及對應地照明光瞳805b之一影像。可取決於檢測模式之需要而將用以修改光之一光圈、濾波器或其他裝置放置於光瞳平面819b中。來自光瞳平面819b之光然後通過透鏡820b且在感測器821b上形成一影像。以類似方式，經過鏡或反射表面817之光由透鏡818a收集且形成成像光瞳819a。來自成像光瞳819a之光然後在偵測器821a上形成一影像之前由透鏡820a收集。成像於偵測器821a上之光可用於不同於成像於感測器821b上之光之一成像模式。

系統800中所採用之照明子系統係由雷射源801、集光光學器件802至804、靠近於一光瞳平面805而放置之光束塑形組件及中繼光學器件806及809組成。一內部場平面807位於透鏡806與809之間。在一項較佳組態中，雷射源801可包含上文所闡述之183奈米雷射中之一者。

關於雷射源801，儘管圖解說明為具有兩個透射點或透射角度之一單個均勻區塊，但實際上此表示能夠提供兩個照明通道之一雷射源，舉例而言，該兩個照明通道係諸如通過元件802a至806a之以一第一頻率(例如，接近183奈米之一深UV波長)之雷射光能之光能之一第一通道，以及諸如通過元件802b至806b之以一第二頻率(例如，來自相同雷射之一不同諧波，諸如4次或5次諧波，或來自一不同雷射之一光)之雷射光能之光能之一第二通道。

儘管來自雷射源801之光能量經展示為90度間隔發射，且元件802a至806a及802b至806b以90度角定向，但實際上光可以各種定向發射，未必呈二維，且組件可以不同於如所展示之方式定向。圖8因此簡單地係所採用組件之一表示且所展示之角度或距離既非按比例調整亦非設計所特定需要。

可在使用光圈塑形概念之當前系統中採用靠近於光瞳平面805a/805b而放置之元件。使用此設計，可實現均勻照明或接近均勻照明以及個別點照明、環形照明、四極照明或其他所要圖案。

可在一般成像子系統中採用針對該等物鏡之各種實施方案。可使用一單個固定物鏡。該單個物鏡可支援所有所要之成像及檢測模式。若成像系統支援一相對大的場大小及相對高的數值孔徑，則可達成此一設計。可藉由使用放置於光瞳平面805a、805b、819a及819b處之內光圈而將數值孔徑減小至一所要值。

亦可如圖8中所展示地使用多個物鏡。舉例而言，儘管展示兩個物鏡812及813，但任何數目係可能的。可針對雷射源801所產生之每一波長來最佳化此一設計中之每一物鏡。此等物鏡812及813可具有固定位置或移動至靠近於樣本814之位置中。為將多個物鏡移動接近於該樣本，可如標準顯微鏡上一樣常見地使用旋轉之鏡頭轉盤。用於將物鏡移動得靠近於一樣本之其他設計係可行的，包含但不限於在一載

台上橫向平移該等物鏡及使用一測角器沿一弧平移該等物鏡。另外，可根據本系統達成固定物鏡與一鏡頭轉盤上之多個物鏡之任一組合。

此組態之最大數值孔徑可接近或超過0.97，但可在某些例項中更小。在此高NA折反射成像系統之情況下可能之寬範圍之照明及集光角度連同其大的場大小一起允許該系統同時支援多個檢測模式。如可在先前段落瞭解到，可結合照明裝置使用一單個光學系統或機器來實施多個成像模式。針對照明及集光所揭示之高NA准許使用相同光學系統實施成像模式，從而允許針對不同類型之缺陷或樣本之成像最佳化。

該成像子系統亦包含中間影像形成光學器件815。影像形成光學器件815之目的係形成樣本814之一內部影像816。在此內部影像816處，可放置一鏡817以對應於該等檢測模式中之一者來重新定向光。在此位置重新定向光係可能的，此乃因用於該等成像模式之光係空間分離的。可以數個不同形式來實施影像形成光學器件818 (818a及818b)及820 (820a及820b)，包含一變焦距縮放鏡、具有聚焦光學器件之多個遠焦鏡筒透鏡或多個影像形成變倍鏡筒。於2011年6月7日頒佈且以引用方式併入本文中之美國專利7,957,066闡述關於系統800之額外細節。

圖9圖解說明經組態為具有明場及暗場檢測模式之一檢測系統之一例示性折反射成像系統900。系統900可併入有兩個照明源：一雷射901，以及一寬頻光照明模組920。在一項實施例中，雷射901可包含如本文中所闡述之一183奈米雷射。

在一暗場模式中，將來自雷射901之光引導至適應光學器件902，其控制正受檢測之表面上之雷射照明光束大小及輪廓。機械殼體904包含一孔隙及窗口903，以及一稜鏡905以沿著光學軸以法向於一樣本908之表面之入射重新引導雷射。稜鏡905亦引導來自樣本908

之表面特徵之鏡面反射離開物鏡906。物鏡906將由樣本908散射之光收集且將其聚焦於一感測器909上。用於物鏡906之透鏡可以一折反射物鏡912、一聚焦透鏡群組913及一鏡筒透鏡區段914之一般形式提供，該等透鏡可視情況地包含一縮放能力。

在一明場模式中，寬頻照明模組920將寬頻光引導至光束分裂器910，光束分裂器910將彼光朝向聚焦透鏡群組913及折反射物鏡912反射。折反射物鏡912用寬頻光照明樣本908。自樣本908反射或散射之光由物鏡906收集並聚焦於感測器909上。寬頻照明模組920包括(舉例而言)一雷射泵激之電漿光源或一弧光燈。寬頻照明模組920亦可包含一自動聚焦系統以提供一信號以控制樣本908相對於折反射物鏡912之高度。

讓與Chuang等人之標題為「Beam delivery system for laser dark-field illumination in a catadioptric optical system」之美國專利7,345,825、讓與Armstrong之標題為「External beam delivery system for laser dark-field illumination in a catadioptric optical system」之美國專利8,665,536以及讓與Armstrong之標題為「External beam delivery system using catadioptric objective with aspheric surfaces」之美國專利8,896,917進一步詳細闡述系統900，該等美國專利全部以引用方式併入本文中。

圖10A圖解說明包含照明系統1001及用於檢測表面1011之區域之集光系統1010之一表面檢測設備1000。如圖10A中所展示，一雷射系統1020引導一光束1002穿過一透鏡1003。在一較佳實施例中，雷射系統1020包含上文所闡述之183奈米雷射中之一者、一經退火晶體及用以在標準操作期間藉由保護晶體免受水分或其他環境污染來維持該晶體之經退火狀態之一殼體。第一光束塑形光學器件可經組態以自該雷射接收一光束且將該光束聚焦至在該晶體中或靠近該晶體之一光束腰

處之一橢圓剖面。

透鏡1003經定向使得其主平面實質上平行於一樣本表面1011且因此照明線1005形成於透鏡1003之聚焦平面中之表面1011上。另外，光束1002及經聚焦光束1004以一非正交入射角引導至表面1011。特定而言，光束1002及經聚焦光束1004可以自一法向方向約1度與約85度之間的一角度引導至表面1011。以此方式，照明線1005實質上在經聚焦光束1004之入射平面中。

集光系統1010包含用於收集自照明線1005散射之光之透鏡1012，以及用於將來自透鏡1012之光聚焦至包括一光敏偵測器陣列之一裝置(諸如電荷耦合裝置(CCD) 1014)上之透鏡1013。在一項實施例中，CCD 1014可包含一線性偵測器陣列。在此類情形中，CCD 1014內之線性偵測器陣列可經定向成平行於照明線1015。在一項實施例中，CCD 1014可係一電子轟擊CCD或突崩光偵測器之一線性陣列。在一項實施例中，可包含多個集光系統，其中該等集光系統中之每一者包含類似組件，但在定向上不同。

舉例而言，圖10B圖解說明用於一表面檢測設備之一實例性集光系統1031、1032及1033陣列(其中為簡潔起見未展示其照明系統，例如類似於照明系統1001之彼照明系統)。集光系統1031中之第一光學器件收集自樣本1011之表面沿一第一方向散射之光。集光系統1032中之第二光學器件收集自樣本1011之表面沿一第二方向散射之光。集光系統1033中之第三光學器件收集自樣本1011之表面沿一第三方向散射之光。應注意，第一、第二及第三路徑係與樣本1011之該表面成不同入射角。支撐樣本1011之一平台1035可用以致使光學器件與樣本1011之間的相對運動使得可掃描樣本1011之整個表面。於2009年4月28日頒予Leong等人且以引用方式併入本文中之美國專利7,525,649進一步詳細闡述表面檢測設備1000及其他多個集光系統。

圖11圖解說明可用於檢測一表面1101上之異常之一表面檢測系統1100。在此實施例中，表面1101可由包括上文所闡述之183奈米雷射中之一者之一雷射系統1130之一實質上靜止照明裝置部分照明。雷射系統1130之輸出可連續通過偏振光學器件1121、一光束擴展器與光圈1122以及光束形成光學器件1123以擴展並聚焦該光束。

經聚焦雷射光束1102然後被一光束摺疊組件1103及一光束偏轉器1104反射以朝向表面1101引導光束1105以用於照明該表面。在較佳實施例中，光束1105實質上法向或垂直於表面1101，但在其他實施例中光束1105可與表面1101成一傾斜角度。

在一項實施例中，光束1105實質上垂直或法向於表面1101且光束偏轉器1104朝向光束轉彎組件1101反射來自表面1103之光束之鏡面反射，藉此用作一屏蔽以防止該鏡面反射到達偵測器。鏡面反射之方向係沿著線SR，該線係法向於樣本之表面1101。在其中光束1105法向於表面1101之一項實施例中，此線SR與照明光束1105之方向一致，其中此共同參考線或方向在本文中稱作檢測系統1100之軸線。在光束1105與表面1101成一傾斜角度之情形下，鏡面反射之方向SR將與光束1105之傳入方向不一致；在此例項中，指示該表面之方向係法向之線SR稱作檢測系統1100之集光部分之主軸線。

由小顆粒散射之光係由鏡1106收集且朝向光圈1107及偵測器1108引導。由大顆粒散射之光係由透鏡1109收集且朝向光圈1110及偵測器1111引導。應注意，某些大顆粒將散射亦被收集且引導至偵測器1108之光，且類似地，某些小顆粒將散射亦被收集且引導至偵測器1111之光，但此光相比於各別偵測器經設計以偵測之經散射光之強度具有相對低強度。在一項實施例中，偵測器1111可包含一光敏元件陣列，其中該光敏元件陣列中之每一光敏元件經組態以偵測該照明線之一經放大影像之一對應部分。在一項實施例中，檢測系統可經組態以用於偵

測未經圖案化晶圓上之缺陷。於2001年8月7日頒予Marx等人且以引用方式併入本文中之美國專利6,271,916進一步詳細闡述檢測系統1100。

圖12圖解說明經組態以使用法向及傾斜照明光束兩者來實施異常偵測之一檢測系統1200。在此組態中，包含上文所闡述之183奈米雷射中之一者之一雷射系統1230可提供一雷射光束1201。一透鏡1202透過一空間濾波器1203聚焦光束1201且透鏡1204校準該光束且將其傳送至一偏振光束分裂器1205。光束分裂器1205將一第一偏振分量傳遞至法向照明通道且將一第二偏振分量傳遞至傾斜照明通道，其中第一分量與第二分量正交。在法向照明通道1206中，第一偏振分量係由光學器件1207聚焦且被鏡1208朝向一樣本1209之一表面反射。由樣本1209散射之輻射由一拋物面鏡1210收集且聚焦至一偵測器或光電倍增管1211。

在傾斜照明通道1212中，第二偏振分量被光束分裂器1205反射至一鏡1213，鏡1213將此光束反射穿過一半波板1214且由光學器件1215聚焦至樣本1209。源自傾斜通道1212中之傾斜照明光束且被樣本1209散射之輻射由拋物面鏡1210收集且聚焦至偵測器或光電倍增管1211。偵測器或光電倍增管1211具有一針孔或狹縫入口。該針孔或狹縫及經照明光點(自表面1209上之法向及傾斜照明通道)較佳地在拋物面鏡1210之焦點處。

拋物面鏡1210將來自樣本1209之散射輻射校準成一經校準光束1216。經校準光束1216然後由一物鏡1217聚焦且穿過一分析器1218至光電倍增管1211。應注意，亦可使用具有除拋物面形狀之外的形狀之曲面鏡表面。一儀器1220可提供該等光束與樣本1209之間的相對運動使得光點跨越樣本1209之表面掃描。於2001年3月13日頒予Vaez-Iravani等人且以引用方式併入本文中之美國專利6,201,601進一步詳細

闡述檢測系統1200。

圖13圖解說明與一檢測或度量衡系統(諸如上文所闡述之檢測系統中之一者)中之上文所闡述之183奈米雷射一起使用之一例示性脈衝倍增器1300。脈衝倍增器1300經組態以自來自一183奈米雷射(未展示)之每一輸入脈衝1301產生脈衝串。輸入脈衝1301撞擊於一光束分裂器1307上。每一脈衝之部分由一光束分裂器1307沿一輸出方向1302傳輸且部分進入環形腔。如在由Chuang等人於2012年12月11日申請且以引用方式併入本文中之標題為「Semiconductor inspection and metrology system using laser pulse multiplier」之美國專利申請案13/711,593 (在本文中為‘593申請案)所闡釋，當用作一脈衝率二倍器時，若環形腔及光束分裂器1307係無損的，則光束分裂器1307應較佳地透射每一雷射脈衝之能量的約三分之一且反射約三分之二至環形腔中。如在‘593申請案中所闡釋，此等透射及反射值可經修改以考量光束分裂器及腔損失以便維持一脈衝率二倍器中之實質上相等能量輸出脈衝。

在一雷射脈衝進入環形腔之後，其自一曲面鏡1305反射且朝向一曲面鏡1306引導。鏡1306將光往回朝向鏡1305重新引導。在來自該等鏡兩者之多次反射(圖13中展示之實例中，來自每一鏡之兩次反射)之後，脈衝通過補償器板1308且返回到達光束分裂器1307。補償器板1308意欲補償雷射脈衝在其傳輸穿過環形腔內側之光束分裂器1307時之位移。較佳地，補償器板1308具有與光束分裂器1307實質上相同之厚度及折射率。若補償器板1308放置於與光束分裂器1307相同之環形腔光路徑之部分中(如所展示)，則補償器板1308較佳地應以相對於光路徑之與光束分裂器1307相等之一角度但相反方向定向。另一選擇係，補償器板1308可以一適當定向放置於環形腔之另一部分中。

如在‘593申請案中所闡釋，無光束分裂器1307及補償器板1308之

環形腔類似於在 Herriott 等人之「Off-axis Spherical Mirror Interferometers」(Applied Optics 3, #4, 第523至526頁(1964))以及在 Herriott 等人之「Folded Optical Delay Lines」(Applied Optics 4, #8, 第883至889頁(1965))中闡述之環形腔。如在此等參考中所闡述，自每一鏡之反射之次數僅取決於兩個鏡相對於該等鏡之離隙 d 之曲率半徑，且不取決於光進入環形腔之精確角度。舉例而言，若兩個鏡之曲率半徑係 d (亦即每一鏡之焦距係 $d/2$)，則在自每一鏡之兩次反射之後，每一脈衝將經重新聚焦且將返回到達其起始點(圖13中之光束分裂器1307)。Herriott 等人(1964)給出鏡之焦距(且因而曲率半徑)之值針對離開每一鏡之2、3、4、6、12及24次反射而為 d 之一倍數。如由 Herriott 等人(1964)所闡釋，其他反射次數係可能的。如由 Herriott 等人(1964)所闡述，反射不必位於一個平面中，其取決於反射次數及光自光束分裂器1307入射於鏡1305上之角度。與使用自每一鏡之兩次反射之一腔相比，自每一鏡之兩次以上反射使腔更加緊湊。然而，由於在每次鏡反射中丟失一定量之光，因此在鏡反射損失並非如此小(如在(舉例而言)深UV波長下)時，每鏡兩次反射將係較佳的，但在每反射之損失係小的(舉例而言在紅外線，visible或接近UV波長)時，每鏡兩次以上反射可係可用的。應注意，環形腔之長度且因此環形腔之聚焦可藉由調整距離 d 而經調整。

當一雷射脈衝在橫越腔之後往回到達光束分裂器1307時，脈衝之一部分將沿方向1302被反射出環形腔且部分將往回傳輸至環形腔中。脈衝倍增器1300將重新聚焦雷射脈衝(而不管輸入雷射脈衝之光束腰之位置如何)，使得在方向1302上離開之輸出脈衝將呈現為具有與輸入脈衝大致或實質上類似之發散及光束腰位置。在脈衝倍增器1300之某些較佳實施例中，來自方向1301之輸入雷射脈衝將實質上經校準以便最小化入射於光束分裂器1307上之功率密度。然後輸出雷射

脈衝亦將實質上經校準。

週期性地，一新輸入脈衝1301由雷射提供至脈衝倍增器1300。在一項實施例中，雷射可以大約80 MHz之一重複率產生大約0.015奈秒(ns)雷射脈衝，且腔可使該重複率加一倍。應注意，可藉由針對鏡1305與1306之距離 d 及曲率半徑之選擇而控制環形腔之光學路徑長度且因此環形腔之延遲，其在確保雷射脈衝之重新聚焦的同時控制反射次數。

該環形腔長度可稍微大於或稍微小於自脈衝間隔除以倍增因數直接計算出之標稱長度。此導致並非全部脈衝恰好同時到達偏振光束分裂器且因此稍微加寬輸出脈衝。舉例而言，當輸入脈衝重複率係80 MHz時，該腔延遲針對 $\times 2$ 之一頻率倍增將在標稱上係6.25 ns。在一項實施例中，可使用對應於6.27 ns之一延遲之一腔長度使得經多重反射之脈衝不與一傳入脈衝恰好同時到達。此外，針對80 MHz輸入脈衝重複率之6.27 ns腔長度亦可有利地加寬脈衝且減小脈衝高度。具有不同輸入脈衝率或不同倍增因數之其他脈衝倍增器可具有不同腔延遲。

適於與檢測及度量衡系統中之一183奈米雷射一起使用之脈衝倍增及替代脈衝倍增器之更多細節可發現於上文述及之‘593申請案中，由Chuang等人於2012年6月1日申請且標題為「Semiconductor Inspection And Metrology System Using Laser Pulse Multiplier」之美國專利申請案13/487,075中，以及由Chuang等人於2015年1月14日申請之標題為「Laser Pulse Multiplication Using Prisms」之序列號為14/596,738之美國專利申請案中。所有此等申請案皆以引用方式併入本文中。

除上文陳述之藉助於使用基本光產生經降頻轉換信號產生183奈米雷射輸出光之解決方案之外，藉助於降頻轉換二次諧波光產生適合的經降頻轉換信號亦係可能的。舉例而言，圖14展示包含圖1A及圖

1B之實施例中利用之相同組件中之數者(且因此使用相同元件符號對該等組件加以識別)之一雷射總成1400。具體地，雷射總成1400包含經組態以產生具有一基本波長 ω 之基本光128之一基本雷射102，且利用一光束分裂器120將基本光128劃分成部分127及130，其中將部分130引導至一個五次諧波產生器157。應注意，另一選擇係，可以類似於圖1B中繪示之一方式自來自二次諧波產生器153之輸出之未經消耗基本光取得經引導至五次諧波產生器之基本光之部分130。另外，類似於圖1B中展示之方法，雷射總成1400包含產生傳輸至五次諧波產生器157之二次諧波光175及四次諧波光162之一個二次諧波產生器153及一個四次諧波產生器155。最後，雷射總成1400包含一OPS 116C，其用以產生處於一經降頻轉換頻率 ω_s 之經降頻轉換信號129，使得在經降頻轉換信號129隨後於一混頻模組104中與五次諧波光134混合時，產生在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之雷射輸出光140。

根據本發明之實施例，雷射總成1400不同於圖1A及圖1B之實施例之處在於OPS 116C包含接收並降頻轉換一個二次諧波光部分177(其藉助於一光束分裂器174自二次諧波產生器153之輸出被劃分)之一「綠色泵激」之光學參數振盪器(OPO) 117C。在上文述及之共同基本雷射之各個頻率(亦即，具有介於自1030奈米至1064奈米之範圍內之對應波長)下，二次諧波光部分177之一個二次諧波頻率 2ω 具有在515奈米至532奈米之範圍內之對應波長，其通常在與可見綠色光相關聯之範圍內(亦即，495奈米至570奈米)。如此，OPO 117C在其輸入係在可見綠色光譜中之光之意義上而言係「綠色泵激的」。如在圖14之左下部分之虛線框中所指示，OPO 117C以其他方式以類似於OPO 117E(上文所論述)之一方式經構造及組態以將二次諧波光部分177降頻轉換為一適合經降頻轉換信號頻率(例如，532奈米至大約1.3微

米)。亦即，除了非線性晶體633C (下文論述)之外，形成由OPO 117C利用之連續波單諧振OPO配置之光學組件與上文參考OPO 117E闡述之彼等組件實質上相同，且如此為了簡便起見此處不重複對其之闡述。此方法之一優點在於其避免對一低功率種子信號之需要(亦即，此乃因532奈米光之降頻轉換不產生由大多數非線性晶體吸收之頻率)，因此簡化OPS 116C，此乃因僅使用一OPO及一選用光束分裂器642C (其可用以自經降頻轉換信號129移除不期望頻率(如在圖14中所展示))便達成經降頻轉換信號129之產生。

儘管雷射總成1400中利用之綠色泵激之OPO方法已經用以使用綠色泵激之OPO 117C成功地產生處於經降頻轉換頻率 ω_s (例如，1.3 μm)之經降頻轉換信號129 (其係產生183奈米輸出雷射光所需的)，但使用二次諧波(綠色)光產生經降頻轉換信號129限制可用於OPO 117C中之非線性晶體之類型，且綠色光之轉換比較低基本頻率之轉換效率低。亦即，在高功率位準下，與較高頻率(例如，OPO 117E；參見圖6B)一起利用之較佳非線性晶體(例如，PPSLT)中之諸多者受可見綠色光譜(例如，532奈米)中之光之雙光子吸收損壞。為解決此問題，綠色泵激之OPO 117C較佳地使用一個三硼酸鋰(LBO)晶體實施非線性晶體633C，此乃因LBO晶體具有比鋯酸鋰或SLT大之一帶隙，且因此不經受由處於綠色光頻率之高功率引起之損壞。然而，甚至在一LBO晶體(或另一綠色光容忍晶體)用於OPO 117C中時，綠色光之降頻轉換對於每個1.3 μm 光子產生一非所要大約900奈米光子，因此進行至OPO 117C中之功率的一半以上被損失，從而使雷射總成1400比雷射總成100A及100B (上文所闡述)效率低。

根據又一可能實施例，可產生類似於圖1A中所展示之一雷射總成，其中OPS 116被替換為利用一個硒化鋰鈹(LISE)晶體之一習用OPO。發明者相信此方法應起作用，此乃因LISE晶體被認為不強吸收

約6 μm 之頻率，且因此應不會由於加熱而顯著地變形或經歷損壞。然而，LISE晶體係新的，且充分高品質LISE晶體之可用性在目前係不可測定的。

本文中所闡述之183奈米雷射可在一檢測或度量衡系統中結合光學器件用以塑形脈衝，減小同調性或減少斑紋。脈衝塑形、同調性及斑紋減少設備及方法之進一步細節論述於2015年7月14日頒佈之美國專利第9,080,990號以及亦在2015年7月14日頒佈之美國專利第9,080,991號中。此等專利之兩者皆以引用方式併入本文中。

本文中所闡述之結構及方法之各種實施例僅圖解說明本發明之原理且並非意欲將本發明之範疇限制於所闡述之特定實施例。舉例而言，可將除了CLBO、LBO或BBO或週期性極化材料之外的非線性晶體用於某些頻率轉換、諧波產生及混頻級。

【符號說明】

100A	雷射總成/183奈米雷射總成
100B	雷射總成/183奈米雷射總成
102	基本雷射
103	五次諧波產生器
104	混頻模組
116	光學參數系統
116C	光學參數系統
116D	光學參數系統
116E	光學參數系統
117	經降頻轉換種子信號產生器/波長選擇裝置
117C	光學參數振盪器
117D	經降頻轉換信號種子產生器
117E	光學參數振盪器

- 118 經降頻轉換種子信號
- 118D 經降頻轉換種子光/種子雷射光
- 118E 經降頻轉換種子信號
- 119 光學參數放大器
- 119D 光學參數放大器
- 119E 光學參數放大器
- 120 光束分裂器
- 127 第一部分/部分
- 127A 基本光子部分/第一子部分/子部分
- 127B 第二基本光子部分/第二子部分/子部分/輸入雷射光之第二部分
- 128 基本光
- 129 經降頻轉換信號
- 130 第二部分/部分
- 134 五次諧波光
- 140 雷射輸出
- 153 二次諧波產生器
- 155 四次諧波產生器
- 157 五次諧波產生器
- 162 四次諧波光
- 174 光束分裂器
- 175 二次諧波光
- 177 二次諧波光部分
- 181 第一光束分裂器
- 182 基本光
- 183 第二光束分裂器

189	二次諧波光
202	第一倍頻模組/倍頻模組
202A	二次諧波雷射光/二次諧波光/二次諧波
202B	未經消耗部分/未經消耗基本光/未經消耗基本光部分
203	第倍頻模組/倍頻模組
203A	四次諧波光/四次諧波/四次諧波雷射光
203B	未經消耗二次諧波部分
204	頻率加總模組
204B	四次諧波
212	光束分裂器/稜鏡
213	光束分裂器/組合器
214	光束分裂器或波長分離器
402	非線性晶體/晶體
405	光學元件(光學器件)
410	方向
442	輸入表面/表面
451	不期望波長
452	相對輸出表面/布儒斯特角輸出表面
500	放大器模組
503	種子雷射
504	種子光/穩定化窄頻帶種子雷射光
505	放大器泵浦
507	第一放大器
511	光束分裂器或稜鏡
512	鏡或稜鏡
515	放大器泵浦

517	第二放大器
528	基本雷射輸出/光
603	種子雷射
607	非線性轉換器/非線性晶體
611	光束組合器
621	光束分裂器/波長分離器
623	不期望頻率
631	光束分裂器
632	第一聚焦鏡/聚焦鏡
633	非線性晶體
633C	非線性晶體
634	第二聚焦鏡/聚焦鏡
636	輸出耦合器
637	波長選擇器
640	光束組合器
641	非線性晶體/晶體
642	波長分離器
642C	光束分裂器
643	未經消耗輸入雷射光
700	倍縮光罩、光罩或晶圓檢測系統/檢測系統
709	照明源/雷射總成/源
715	中繼(第一)光學器件
720	中繼(第一)光學器件
730	載台
740	影像中繼(第二)光學器件
755	影像中繼(第二)光學器件

760	影像中繼(第二)光學器件
770	感測器
780	資料
800	檢測系統/系統
801	雷射源
802a	元件/透鏡
802b	元件/透鏡
803a	鏡
803b	鏡
804a	透鏡
804b	透鏡
805a	第一照明光瞳平面/光瞳平面
805b	光瞳平面/照明光瞳平面
806a	透鏡/元件
806b	透鏡/元件
807	照明場平面/照明場/內部場平面
809	透鏡/中繼光學器件
810	光束分裂器
811	光瞳/物鏡光瞳平面
812	物鏡
813	物鏡
814	樣本
815	透鏡/影像形成光學器件/中間影像形成光學器件
816	內部影像/內部場
817	鏡/反射表面
818a	影像形成光學器件/透鏡

818b	影像形成光學器件/透鏡
819a	光瞳平面/成像光瞳
819b	光瞳平面/成像光瞳
820a	影像形成光學器件/透鏡
820b	影像形成光學器件/透鏡
821a	偵測器
821b	感測器
900	折反射成像系統/系統
901	雷射
902	適應光學器件
903	孔隙及窗口
904	機械殼體
905	稜鏡
906	物鏡
908	樣本
909	感測器
910	光束分裂器
912	折反射物鏡
913	聚焦透鏡群組
914	鏡筒透鏡區段
920	寬頻照明模組
1000	表面檢測設備
1001	照明系統
1002	光束
1003	透鏡
1004	經聚焦光束

1005	照明線
1010	集光系統
1011	樣本
1012	透鏡
1013	透鏡
1014	電荷耦合裝置
1020	雷射系統
1031	集光系統
1032	集光系統
1033	集光系統
1035	平 台
1100	表面檢測系統/檢測系統
1101	表面
1102	經聚焦雷射光束
1103	光束摺疊組件
1104	光束偏轉器
1105	光束
1106	鏡
1107	光圈/偵測器
1108	偵測器
1109	透鏡
1110	光圈
1111	偵測器
1121	偏振光學器件
1122	光束擴展器與光圈
1123	光束形成光學器件

- 1130 雷射系統
- 1200 檢測系統
- 1201 雷射光束/光束
- 1202 透鏡
- 1203 空間濾波器
- 1204 透鏡
- 1205 光束分裂器/偏振光束分裂器
- 1206 法向照明通道
- 1207 光學器件
- 1208 鏡
- 1209 樣本
- 1210 拋物面鏡
- 1211 偵測器或光電倍增管
- 1212 傾斜照明通道
- 1213 鏡
- 1214 半波板
- 1215 光學器件
- 1216 經校準光束
- 1217 物鏡
- 1218 分析器
- 1220 儀器
- 1230 雷射系統
- 1300 脈衝倍增器
- 1301 輸入脈衝/新輸入脈衝/方向
- 1302 輸出方向/方向
- 1305 鏡/曲面鏡

1306	鏡/曲面鏡
1307	光束分裂器
1308	補償器板
1400	雷射總成
d	距離/離隙
SR	線/鏡面反射之方向
ω	基本頻率
ω_s	經降頻轉換頻率



公告本

I672879

發明摘要

※ 申請案號: 104132616

※ 申請日: 104年10月2日

※IPC 分類:

H01S 3/00 (2006.01)

H01S 3/108 (2006.01)

G02F 1/35 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

G01N 21/95 (2006.01)

【發明名稱】

183奈米雷射及檢測系統

183NM LASER AND INSPECTION SYSTEM

【中文】

本發明揭示一種用於產生處於大約183奈米之一輸出波長之雷射輸出光之雷射總成，其包含一基本雷射、一光學參數系統(OPS)、一個五次諧波產生器及一混頻模組。該基本雷射產生處於一基本頻率之基本光。該OPS產生處於一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號。該五次諧波產生器產生該基本光之一個五次諧波。該混頻模組混合該經降頻轉換信號與該五次諧波以產生處於等於該五次諧波頻率與該經降頻轉換頻率之一總和之一頻率之該雷射輸出光。該OPS藉由產生處於該經降頻轉換頻率之一經降頻轉換種子信號且然後混合該經降頻轉換種子信號與該基本光之一部分而產生該經降頻轉換信號。該頻率混合、頻率轉換或諧波產生中之至少一者利用一經退火、經氬處理或經氫處理之CLBO晶體。

【英文】

A laser assembly for generating laser output light at an output wavelength of approximately 183 nm includes a fundamental laser, an optical parametric system (OPS), a fifth harmonic generator, and a frequency mixing module. The fundamental laser generates fundamental light at a fundamental frequency. The OPS generates a down-converted signal at a down-converted frequency. The fifth harmonic generator generates a fifth harmonic of the fundamental light. The frequency mixing module mixes the down-converted signal and the fifth harmonic to produce the laser output light at a frequency equal to a sum of the fifth harmonic frequency and the down-converted frequency. The OPS generates the down-converted signal by generating a down-converted seed signal at the down-converted frequency, and then mixing the down-converted seed signal with a portion of the fundamental light. At least one of the frequency mixing, frequency conversion or harmonic generation utilizes an annealed, deuterium-treated or hydrogen-treated CLBO crystal.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（1A）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- 100A 雷射總成/183奈米雷射總成
- 102 基本雷射
- 103 五次諧波產生器
- 104 混頻模組
- 116 光學參數系統
- 117 經降頻轉換種子信號產生器/波長選擇裝置
- 118 經降頻轉換種子信號
- 119 光學參數放大器
- 120 光束分裂器
- 127 第一部分
- 128 基本光
- 129 經降頻轉換信號
- 130 第二部分
- 134 五次諧波光
- ω 基本頻率
- ω_s 經降頻轉換頻率

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

申請專利範圍

1. 一種用於產生具有在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之一輸出波長之雷射輸出光之雷射總成，該雷射總成包括：

一基本雷射，其經組態以產生具有一基本頻率之基本光；

一光學參數系統(OPS)，其耦合至該基本雷射，使得該OPS接收該基本光之一第一部分，且該OPS經組態以產生具有小於該基本頻率之一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號；

一個五次諧波產生器，其耦合至該基本雷射，使得該五次諧波產生器接收該基本光之一第二部分，且該五次諧波產生器經組態以產生具有等於該基本頻率的五倍之一個五次諧波頻率之五次諧波光；及

一混頻模組，其經光學耦合以接收來自該OPS之該經降頻轉換信號及來自該五次諧波產生器之該五次諧波光，且經組態以藉由混合該經降頻轉換信號與該五次諧波光而產生該雷射輸出光，

其中該OPS包括：

一經降頻轉換種子信號產生器，其經組態以產生具有該經降頻轉換頻率及一第一功率位準之一經降頻轉換種子信號；及

一光學參數放大器(OPA)，其經組態使得該經降頻轉換種子信號與該基本光之一部分藉由通過一非線性晶體一次而混合，其中該非線性晶體經組態使得該混合產生處於比該第一功率位準大十倍之一第二功率位準之該經降頻轉換信號，且

其中該OPS經組態使得該經降頻轉換頻率與該五次諧波頻率之一總和產生在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之該雷射輸出光。

2. 如請求項1之雷射總成，其中該基本雷射經組態以產生處於具有等於大約1064奈米、大約1053奈米、大約1047奈米及大約1030奈米中之一者之一對應波長之該基本頻率之該基本光。
3. 如請求項1之雷射總成，其中該五次諧波產生器及該混頻模組中之至少一者包括一經退火硼酸銻鋰(CLBO)晶體、一經氘處理CLBO晶體及一經氫處理CLBO晶體中之一者。
4. 如請求項1之雷射總成，其中該OPA包括：
 - 一光束組合器，其經組態以組合該基本光之該第一部分與該經降頻轉換種子信號；
 - 一非線性晶體，其經組態以接收該經降頻轉換種子信號並藉由該基本光之該第一部分之受激降頻轉換而放大該經降頻轉換種子信號；及
 - 一光束分裂器，其經組態以分離該經降頻轉換信號與自該非線性晶體接收之其他頻率，且將該經降頻轉換信號引導至該混頻模組。
5. 如請求項4之雷射總成，其中該經降頻轉換種子信號產生器經組態以產生處於在1 mW至500 mW之範圍內之該第一功率位準之該經降頻轉換種子信號，且其中該OPA經組態以產生處於在1 W至20 W之範圍內之該第二功率位準之該經降頻轉換信號。
6. 如請求項4之雷射總成，其中光束組合器進一步經組態以反射一第一波長同時透射一第二波長，使得該基本光部分與該經降頻轉換種子信號實質上共線地傳輸穿過該非線性晶體。
7. 如請求項6之雷射總成，其中該非線性晶體包括週期性極化鈮酸鋰(PPLN)、週期性極化經氧化鎂摻雜鈮酸鋰、週期性極化化學計量比鈮酸鋰(PPSLT)、週期性極化經氧化鎂摻雜化學計量比鈮

酸鋰及週期性極化磷酸鈦氧鉀(PPKTP)中之一者。

8. 如請求項1之雷射總成，其中該OPS之該經降頻轉換種子信號產生器包括一個二極體雷射。

9. 如請求項1之雷射總成，

其中該OPS進一步包括經組態以將該基本光之該第一部分分裂成一第一子部分及一第二子部分之一光束分裂器，

其中該經降頻轉換種子信號產生器包括經組態以藉由轉換該第一子部分而產生該經降頻轉換種子信號之一光學參數振盪器(OPO)；且

其中該OPA經組態以混合該經降頻轉換種子信號與該第二子部分。

10. 如請求項9之雷射總成，

其中該經降頻轉換信號具有對應於該經降頻轉換頻率之一經降頻轉換波長，

其中該OPO包括一第一聚焦鏡、一非線性晶體、一第二聚焦鏡、一波長選擇器以及一輸出耦合器，其等可操作地經組態以形成一腔，在該腔中，藉助於該第一聚焦鏡及該第二聚焦鏡以及該非線性晶體在該波長選擇器與該輸出耦合器之間反射光，

其中該波長選擇器經組態成對於具有在該經降頻轉換波長之大約0.2奈米之一波長範圍內之波長之光具有高反射性，且

其中該輸出耦合器經組態以傳遞在該波長選擇器與該輸出耦合器之間反射的該光之一部分作為該經降頻轉換種子信號。

11. 如請求項10之雷射總成，其中該OPS包括：

一光束組合器，其經組態以組合該第二子部分與該經降頻轉換種子信號；及

一非線性晶體，其經組態以藉由該第二子部分之受激降頻轉

換而放大該經降頻轉換種子信號，

其中自光束分裂器至該光束組合器之一光學路徑長度經設定使得該第二子部分之脈衝與該經降頻轉換種子信號之脈衝實質上同時地到達該光束組合器。

12. 如請求項1之雷射總成，其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約1250奈米至大約1830奈米之範圍內之一信號波長。
13. 如請求項12之雷射總成，其中該基本雷射經組態使得該基本頻率具有大約1064.4奈米之一對應波長，且其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約1250奈米至大約1420奈米之範圍內之一信號波長。
14. 如請求項12之雷射總成，其中該基本雷射經組態使得該基本頻率具有大約1030奈米之一對應波長，且其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約1400奈米至大約1830奈米之範圍內之一信號波長。
15. 如請求項12之雷射總成，其中該基本雷射包括一鎖定模式雷射、一準連續波雷射、雷射二極體及一光纖雷射中之一者。
16. 一種檢測系統，其包括：

一雷射總成，其經組態以產生具有在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之一輸出波長之雷射輸出光；

第一光學器件，其經組態以將該雷射輸出光自該雷射總成引導至一正受檢測物件；

第二光學器件，其經組態以收集受該正受檢測物件影響的該雷射輸出光之一影像部分，並將該影像部分引導至一或多個感測器，

其中該雷射總成包括：

一基本雷射，其經組態以產生具有一基本頻率之基本光；

一光學參數系統(OPS)，其耦合至該基本雷射使得該OPS接收該基本光之一第一部分，且該OPS經組態以產生具有小於該基本頻率之一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號；

一個五次諧波產生器，其耦合至該基本雷射使得該五次諧波產生器接收該基本光之一第二部分，且該五次諧波產生器經組態以產生具有等於該基本頻率的五倍之一個五次諧波頻率之五次諧波光；及

一混頻模組，其經光學耦合以接收來自該OPS之該經降頻轉換信號及來自該五次諧波產生器之該五次諧波光，且經組態以藉由混合該經降頻轉換信號與該五次諧波光而產生該雷射輸出光，

其中該OPS包括：

一經降頻轉換種子信號產生器，其經組態以產生具有該經降頻轉換頻率及一第一功率位準之一經降頻轉換種子信號；及

一光學參數放大器(OPA)，其經組態以混合該經降頻轉換種子信號與該基本光之一部分，使得該混合產生處於比該第一功率位準大十倍之一第二功率位準之該經降頻轉換信號，且

其中該OPS經組態使得該經降頻轉換頻率與該五次諧波頻率之一總和產生在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之該雷射輸出光。

17. 如請求項16之檢測系統，其中該檢測系統包括一暗場檢測系統。
18. 如請求項16之檢測系統，其進一步包括經組態以減小被引導至

該正受檢測物件之該雷射輸出光之同調性之一聲光調變器及一電光調變器中之至少一者。

19. 如請求項16之檢測系統，其進一步包括經組態以增加該雷射總成之一脈衝重複率之一脈衝率倍增器。
20. 如請求項16之檢測系統，其中該第二光學器件經組態以將一經反射影像部分及一經透射影像部分同時地引導至一單個感測器。
21. 如請求項16之檢測系統，其中該第一光學器件包括一或多個組件，其等經組態以引導該雷射輸出光使得該雷射輸出光在該正受檢測物件上形成一照明線。
22. 如請求項16之檢測系統，其中該第一光學器件包括一或多個組件，其等經組態以引導該雷射輸出光使得該雷射輸出光在該正受檢測物件上形成多個同時被照明之光點。
23. 如請求項16之檢測系統，其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約1250奈米至大約1830奈米之範圍內之一信號波長。
24. 如請求項23之檢測系統，其中該五次諧波產生器包括一經退火CLBO晶體、一經氘處理CLBO晶體及一經氫處理CLBO晶體中之至少一者。
25. 一種產生波長在大約180奈米與185奈米之間的光之方法，該方法包括：

產生處於具有大約1064.4奈米之一對應基本波長之一基本頻率之基本光；

降頻轉換該基本光之一第一部分，使得該降頻轉換產生處於具有介於大約1250奈米與大約1420奈米之間的一對應經降頻轉換波長之一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號；

轉換該基本光之一第二部分，使得該轉換產生處於該基本頻率之一個五次諧波頻率之五次諧波光；及

混合該五次諧波光與該經降頻轉換信號，使得該混合產生具有對應於該經降頻轉換頻率與該五次諧波頻率之一總和之一輸出波長之輸出雷射光，

其中降頻轉換該基本光之該第一部分包含：

產生具有該經降頻轉換頻率及一第一功率位準之一經降頻轉換種子信號；及

混合該經降頻轉換種子信號與該基本光之該第一部分，使得該混合該經降頻轉換種子信號產生處於比該第一功率位準大十倍之一第二功率位準之該經降頻轉換信號，且

其中該混合該五次諧波光與該經降頻轉換信號包括使該五次諧波光及該經降頻轉換信號通過一經退火CBLO晶體、一經氘處理CLBO晶體及一經氫處理CLBO晶體中之至少一者。

26. 一種產生波長在大約180奈米與185奈米之間的光之方法，該方法包括：

產生處於具有大約1030奈米之一對應基本波長之一基本頻率之基本光；

降頻轉換該基本光之一第一部分，使得該降頻轉換產生處於具有介於大約1400奈米與1830奈米之間的一對應經降頻轉換波長之一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號；

轉換該基本光之一第二部分，使得該轉換產生處於該基本頻率之一個五次諧波頻率之五次諧波光；及

混合該五次諧波光與該經降頻轉換信號，使得該混合產生具有對應於該經降頻轉換頻率與該五次諧波頻率之一總和之一輸出波長之輸出雷射光，

其中降頻轉換該基本光之該第一部分包含：

產生具有該經降頻轉換頻率及一第一峰值功率位準之一經降頻轉換種子信號；及

混合該經降頻轉換種子信號與該基本光之該第一部分，使得該混合該經降頻轉換種子信號產生處於比該第一功率位準大十倍之一第二峰值功率位準之該經降頻轉換信號，且

其中該混合該五次諧波光與該經降頻轉換信號包括使該五次諧波光及該經降頻轉換信號通過一經退火CBLO晶體、一經氘處理CLBO晶體及一經氫處理CLBO晶體中之至少一者。

27. 一種檢測一樣本之方法，該方法包括：

產生處於具有大約1030奈米之一對應基本波長之一基本頻率之脈衝雷射光；

降頻轉換該基本光之一第一部分，使得該降頻轉換產生處於具有介於大約1400奈米與1830奈米之間的一對應經降頻轉換波長之一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號；

轉換該基本光之一第二部分，使得該轉換產生處於該基本頻率之一個五次諧波頻率之五次諧波光；

混合該五次諧波光與該經降頻轉換信號，使得該混合產生具有對應於該經降頻轉換頻率與該五次諧波頻率之一總和之一輸出波長之輸出雷射光；

將該輸出雷射光引導至一正受檢測物件上；及

收集受該正受檢測物件影響的該雷射輸出光之一影像部分，並將該影像部分引導至一或多個感測器，

其中降頻轉換該基本光之該第一部分包含：

產生具有該經降頻轉換頻率及一第一功率位準之一經降頻轉換種子信號；及

混合該經降頻轉換種子信號與該基本光之該第一部分，使得該混合該經降頻轉換種子信號產生處於比該第一功率位準大十倍之一第二功率位準之該經降頻轉換信號，且

其中該混合該五次諧波光與該經降頻轉換信號包括使該五次諧波光及該經降頻轉換信號通過一經退火CBLO晶體、一經氘處理CLBO晶體及一經氫處理CLBO晶體中之至少一者。

28. 一種用於產生具有在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之一輸出波長之雷射輸出光之雷射總成，該雷射總成包括：

一基本雷射，其經組態以產生具有一基本頻率之基本光；

一個二次諧波產生器，其耦合至該基本雷射使得該二次諧波產生器接收該基本光之一第一部分，該二次諧波產生器經組態以產生具有等於該基本頻率的兩倍之一個二次諧波頻率之二次諧波光；

一光學參數系統(OPS)，其耦合至該基本雷射使得該OPS接收具有該基本光之一個二次諧波頻率之一個二次諧波光部分，且該OPS經組態以產生具有小於該基本頻率之一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號；

一個五次諧波產生器，其耦合至該基本雷射使得該五次諧波產生器接收該基本光之一第二部分，且該五次諧波產生器經組態以產生具有等於該基本頻率的五倍之一個五次諧波頻率之五次諧波光；及

一混頻模組，其經光學耦合以接收來自該OPS之該經降頻轉換信號及來自該五次諧波產生器之該五次諧波光，且經組態以藉由混合該經降頻轉換信號與該五次諧波光而產生該雷射輸出光，

其中該基本雷射經組態以產生該基本光使得該二次諧波光部

分包括可見綠色光，

其中該 OPS 包括經組態以藉由降頻轉換該二次諧波光而產生該經降頻轉換信號之一光學參數振盪器，且

其中該 OPS 經組態使得該經降頻轉換頻率與該五次諧波頻率之一總和產生在大約 180 奈米與大約 185 奈米之範圍內之該雷射輸出光。

29. 如請求項 28 之雷射總成，

其中該經降頻轉換信號具有對應於該經降頻轉換頻率之一經降頻轉換波長，

其中該 OPS 包括一第一聚焦鏡、一非線性晶體、一第二聚焦鏡、一波長選擇器及一輸出耦合器，其等可操作地經組態以形成一腔，在該腔中，藉助於該第一聚焦鏡及該第二聚焦鏡以及該非線性晶體在該波長選擇器與該輸出耦合器之間反射光，

其中該波長選擇器經組態成對於具有在該經降頻轉換波長之大約 0.2 奈米之一波長範圍內之波長之光具有高反射性，

其中該輸出耦合器經組態以傳遞在該波長選擇器與該輸出耦合器之間反射的該光之一部分作為該經降頻轉換種子信號，且

其中該非線性晶體包括一個三硼酸鋰(LBO)晶體。

30. 如請求項 28 之雷射總成，其中該基本雷射經組態以產生處於具有等於大約 1064 奈米、大約 1053 奈米、大約 1047 奈米及大約 1030 奈米中之一者之一對應波長之該基本頻率之該基本光。

31. 如請求項 28 之雷射總成，其中該五次諧波產生器及該混頻模組中之至少一者包括一經退火 CLBO 晶體、一經氘處理 CLBO 晶體及一經氫處理 CLBO 晶體中之一者。

32. 如請求項 28 之雷射總成，其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約 1250 奈米至大約 1830 奈米之範圍內之

一信號波長。

33. 如請求項32之雷射總成，其中該基本雷射經組態使得該基本頻率具有大約1064.4奈米之一對應波長，且其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約1250奈米至大約1420奈米之範圍內之一信號波長。
34. 如請求項32之雷射總成，其中該基本雷射經組態使得該基本頻率具有大約1030奈米之一對應波長，且其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約1400奈米至大約1830奈米之範圍內之一信號波長。
35. 如請求項32之雷射總成，其中該基本雷射包括一鎖定模式雷射、一準連續波雷射、雷射二極體及一光纖雷射中之一者。
36. 一種檢測系統，其包括：

一雷射總成，其經組態以產生具有在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之一輸出波長之雷射輸出光；

第一光學器件，其經組態以將該雷射輸出光自該雷射總成引導至一正受檢測物件；

第二光學器件，其經組態以收集受該正受檢測物件影響的該雷射輸出光之一影像部分，並將該影像部分引導至一或多個感測器，

其中該雷射總成包括：

一基本雷射，其經組態以產生具有一基本頻率之基本光；

一個二次諧波產生器，其耦合至該基本雷射使得該二次諧波產生器接收該基本光之一第一部分，該二次諧波產生器經組態以產生具有等於該基本頻率的兩倍之一個二次諧波頻率之二次諧波光；

一光學參數系統(OPS)，其耦合至該基本雷射使得該OPS接

收具有該基本光之一個二次諧波頻率之一個二次諧波光，且該OPS經組態以產生具有小於該基本頻率之一經降頻轉換頻率之一經降頻轉換信號；

一個五次諧波產生器，其耦合至該基本雷射使得該五次諧波產生器接收該基本光之一第二部分，且該五次諧波產生器經組態以產生具有等於該基本頻率的五倍之一個五次諧波頻率之五次諧波光；及

一混頻模組，其經光學耦合以接收來自該OPS之該經降頻轉換信號及來自該五次諧波產生器之該五次諧波光，且經組態以藉由混合該經降頻轉換信號與該五次諧波光而產生該雷射輸出光，

其中該基本雷射經組態以產生該基本光使得該二次諧波光部分包括可見綠色光，

其中該OPS包括經組態以藉由降頻轉換該二次諧波光而產生該經降頻轉換信號之一光學參數振盪器，且

其中該OPS經組態使得該經降頻轉換頻率與該五次諧波頻率之一總和產生在大約180奈米與大約185奈米之範圍內之該雷射輸出光。

37. 如請求項36之檢測系統，其中該檢測系統包括一暗場檢測系統。
38. 如請求項36之檢測系統，其進一步包括經組態以減小被引導至該正受檢測物件之該雷射輸出光之同調性之一聲光調變器及一電光調變器中之至少一者。
39. 如請求項36之檢測系統，其進一步包括經組態以增加該雷射總成之一脈衝重複率之一脈衝率倍增器。
40. 如請求項36之檢測系統，其中該第二光學器件經組態以將一經

反射影像部分及一經透射影像部分同時地引導至一單個感測器。

41. 如請求項36之檢測系統，其中該第一光學器件包括一或多個組件，其等經組態以引導該雷射輸出光使得該雷射輸出光在該正受檢測物件上形成一照明線。
42. 如請求項36之檢測系統，其中該第一光學器件包括一或多個組件，其等經組態以引導該雷射輸出光使得該雷射輸出光在該正受檢測物件上形成多個同時被照明之光點。
43. 如請求項36之檢測系統，其中該光學參數系統經組態使得該經降頻轉換信號具有在大約1250奈米至大約1830奈米之範圍內之一信號波長。
44. 如請求項43之檢測系統，其中該五次諧波產生器包括一經退火CLBO晶體、一經氘處理CLBO晶體及一經氫處理CLBO晶體中之至少一者。

圖式

183 奈米雷射總成 100A

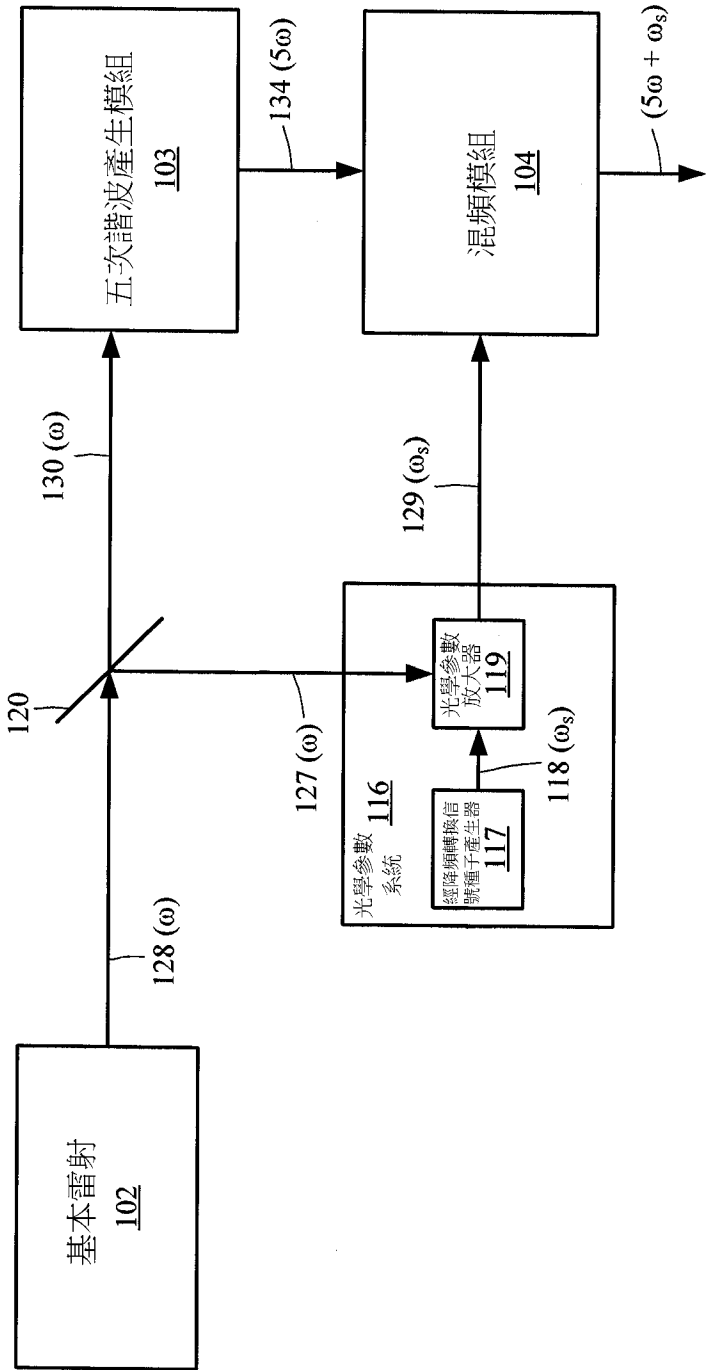


圖 1A

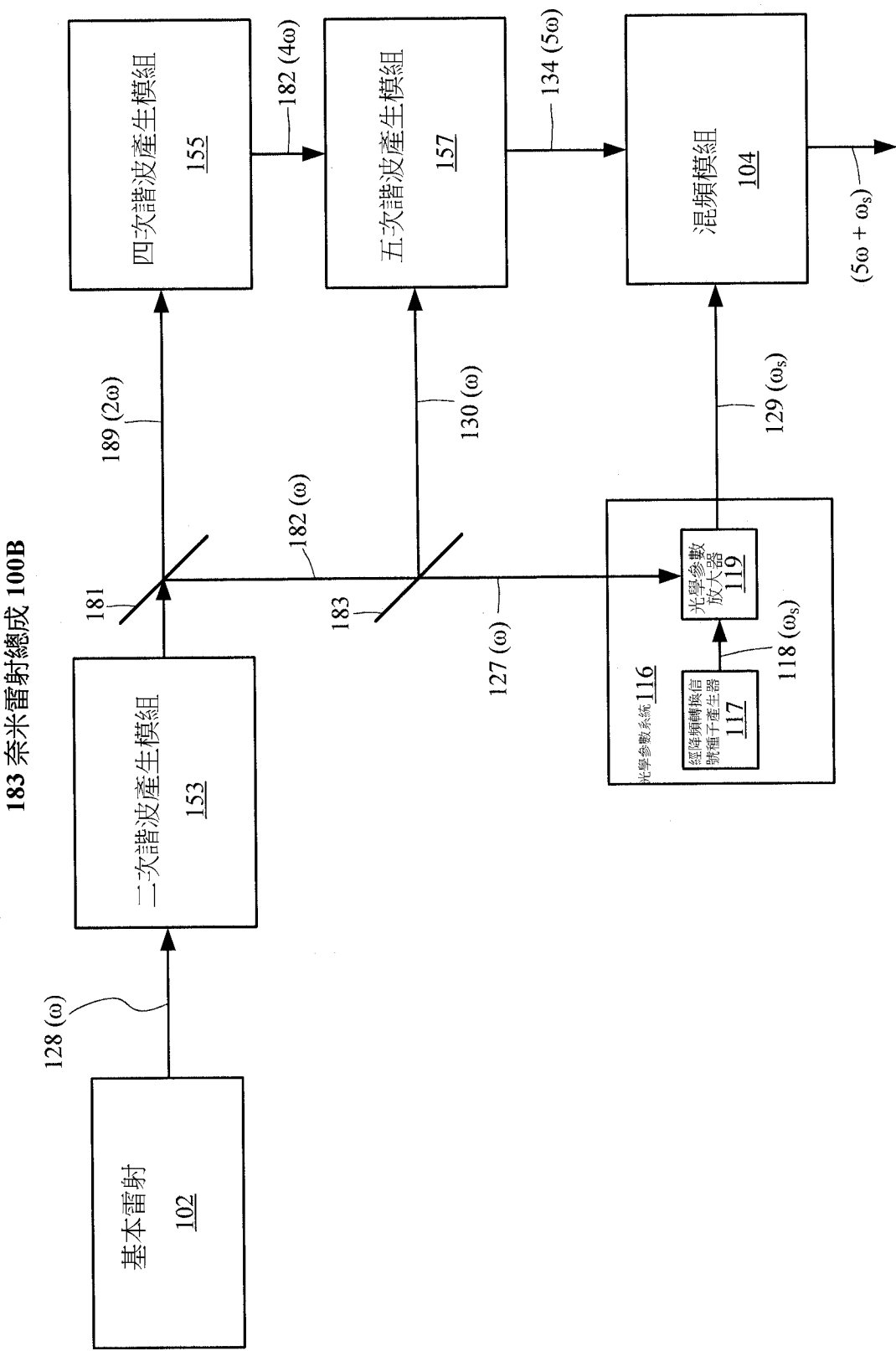


圖 1B

五次諧波產生器
103

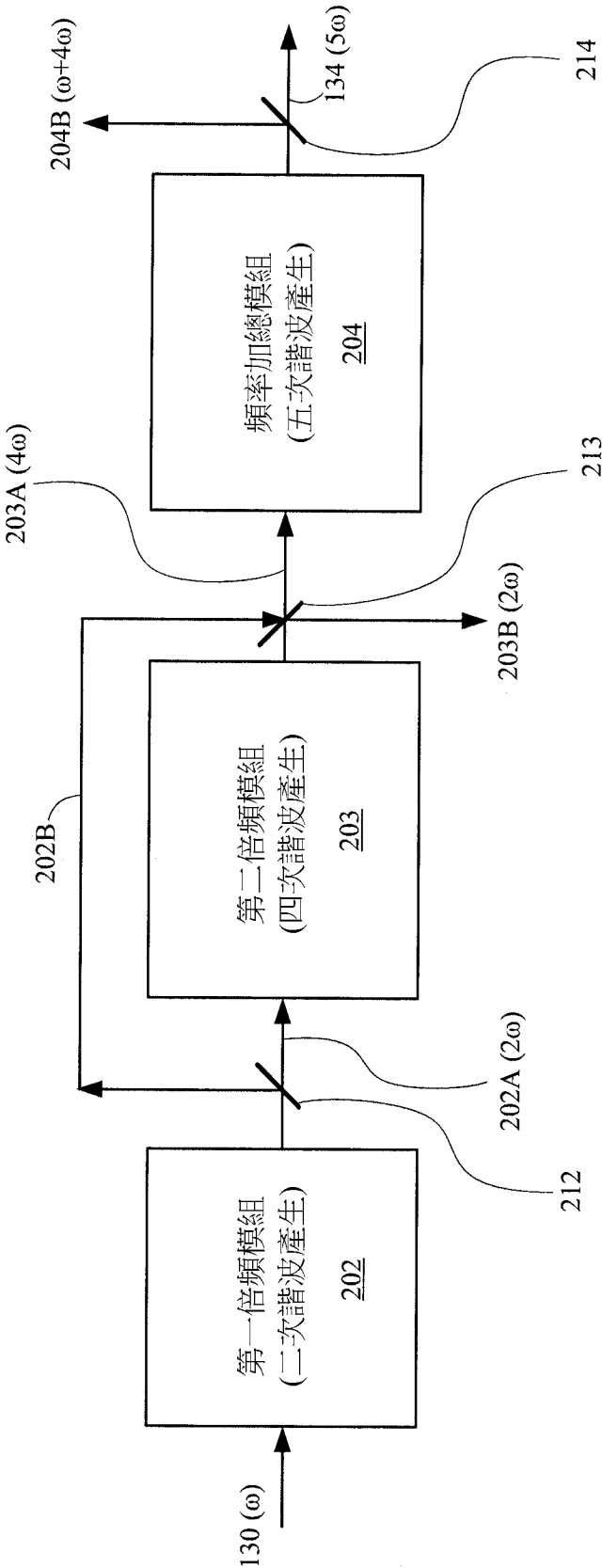


圖 2

基本雷射類型	Nd:釹酸鹽、Nd:YAG、 經 Yb 摻雜光纖		經 Yb 摻雜光纖	
	基本波長 (短)	基本波長 (長)	基本波長 (短)	基本波長 (長)
諧波				
ω	1064.0	1065.0	1029.0	1031.0
ω_s	1307	1299	1652	1626
2ω	532.0	532.5	514.5	515.5
4ω	266.0	226.3	257.3	257.8
5ω	212.8	213	205.8	206.2
$5\omega + \omega_s$	183	183	183	183

圖 3

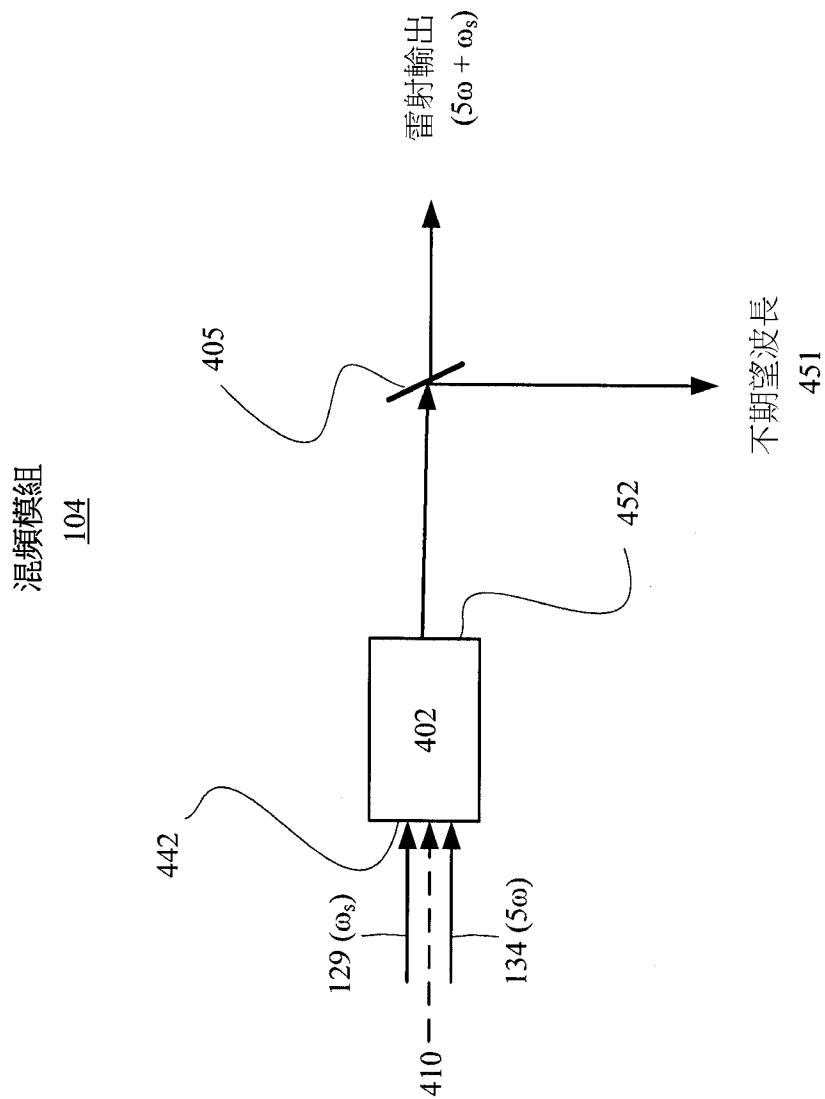
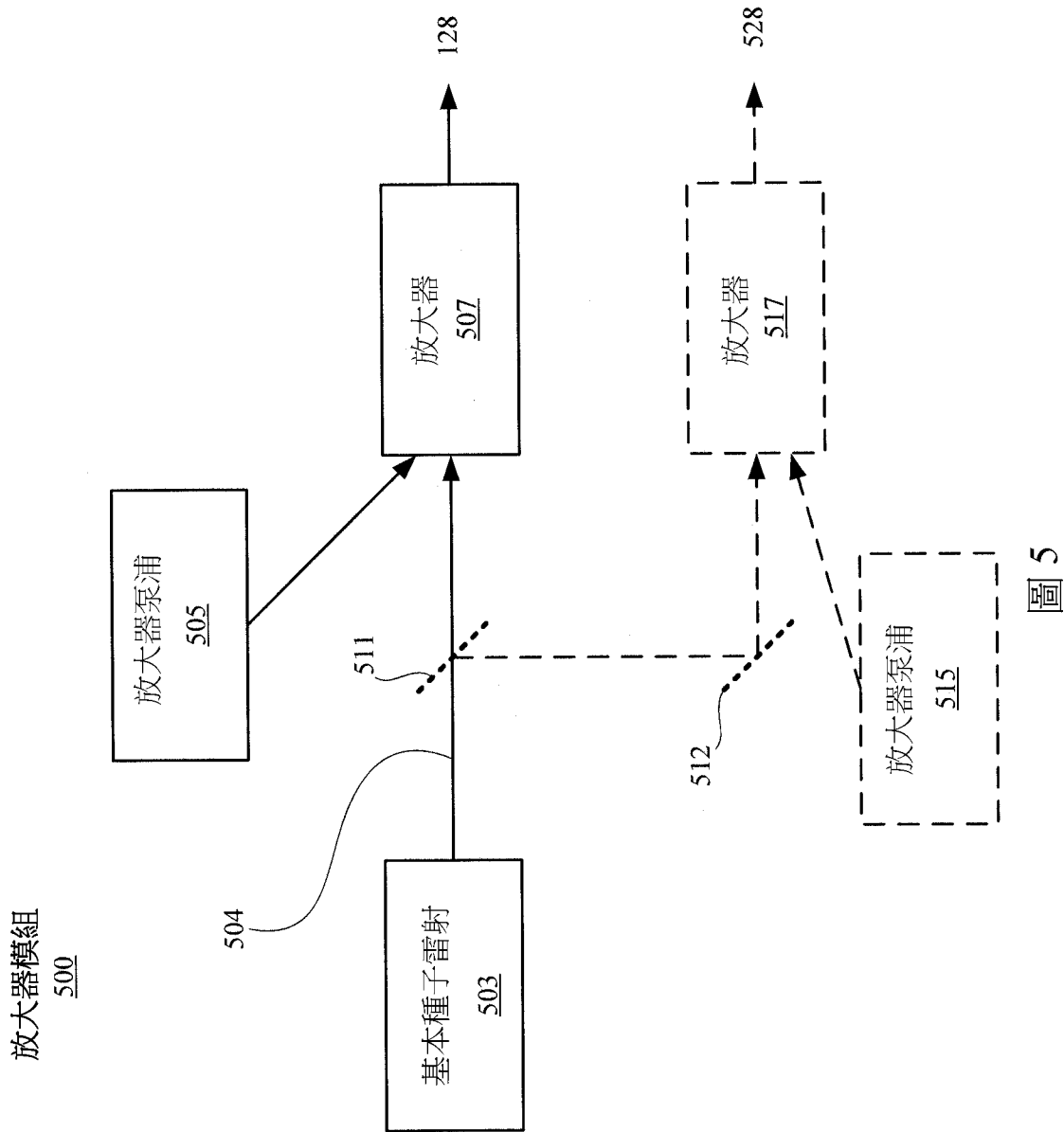


圖 4



光學參數系統 116D

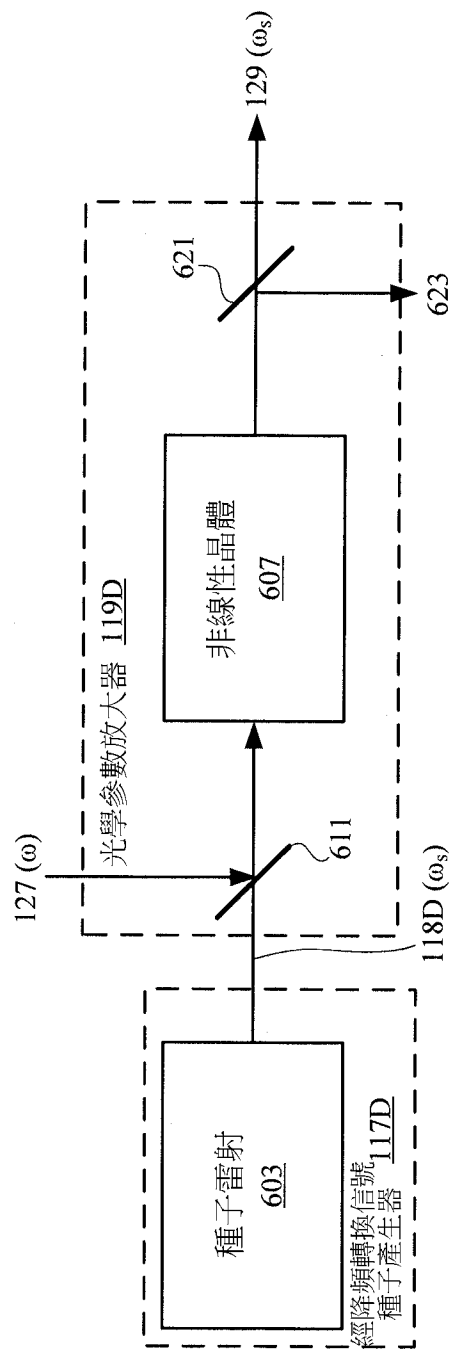


圖 6A

光學參數系統 116E

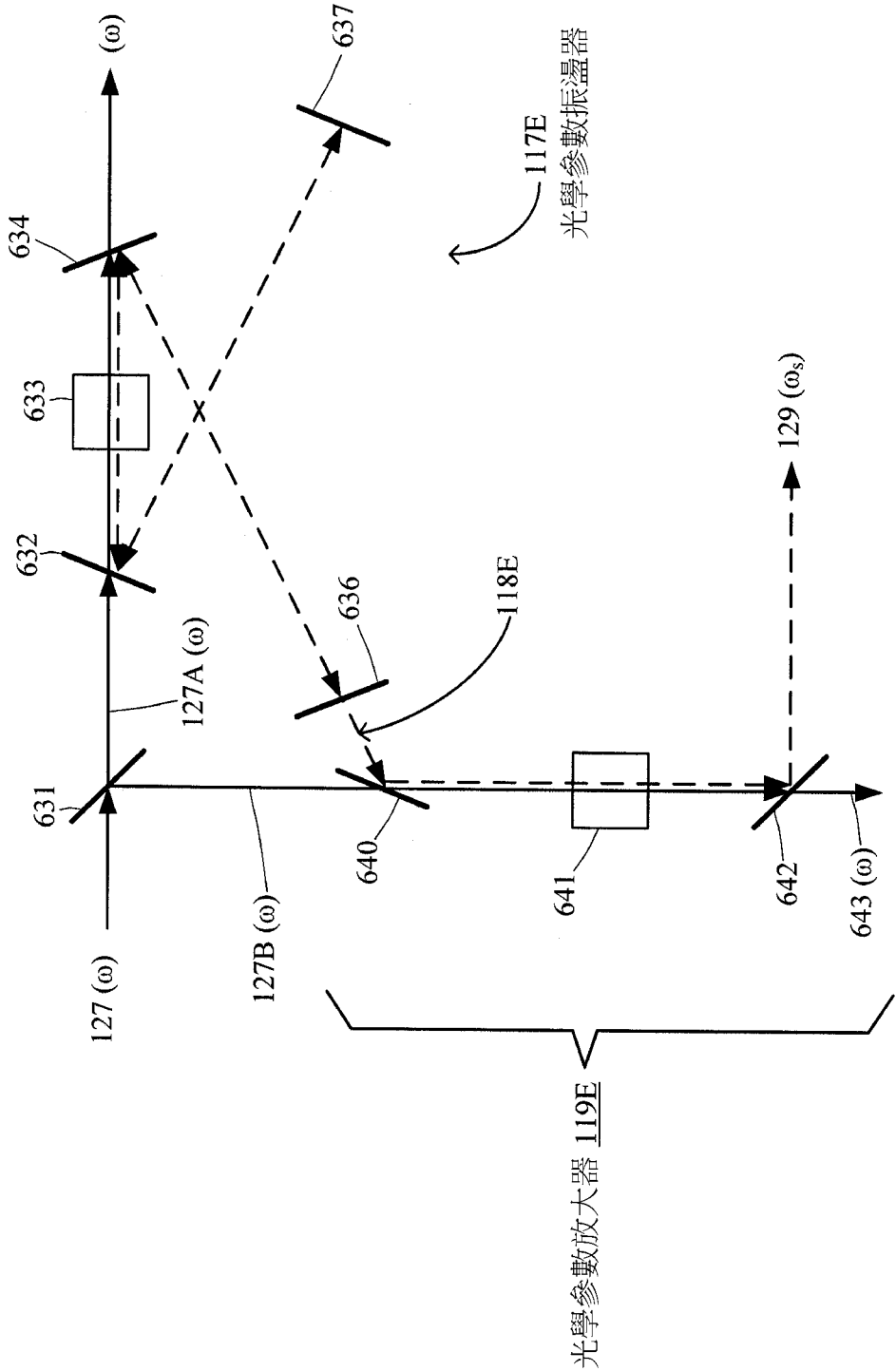


圖 6B

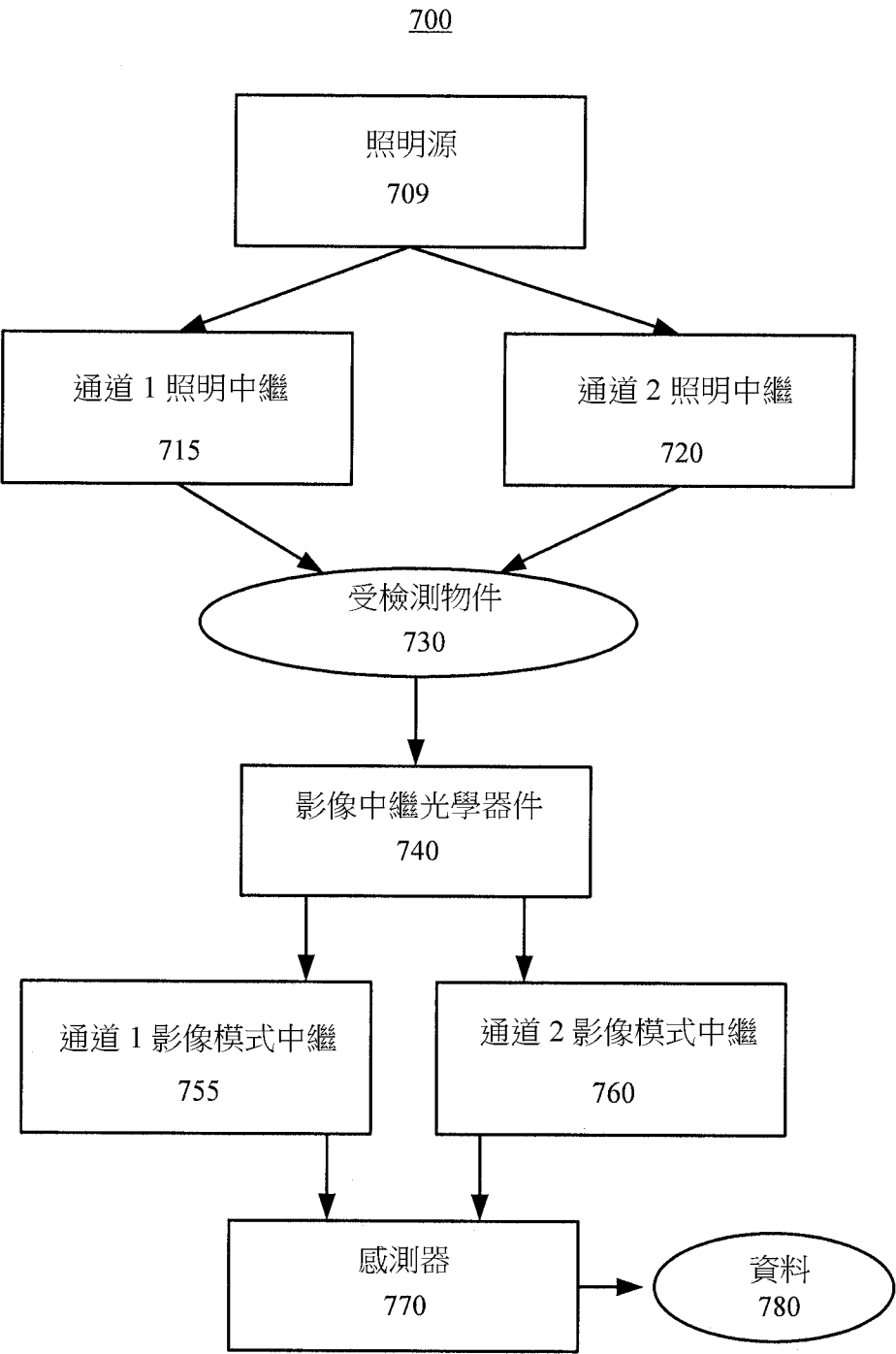


圖 7

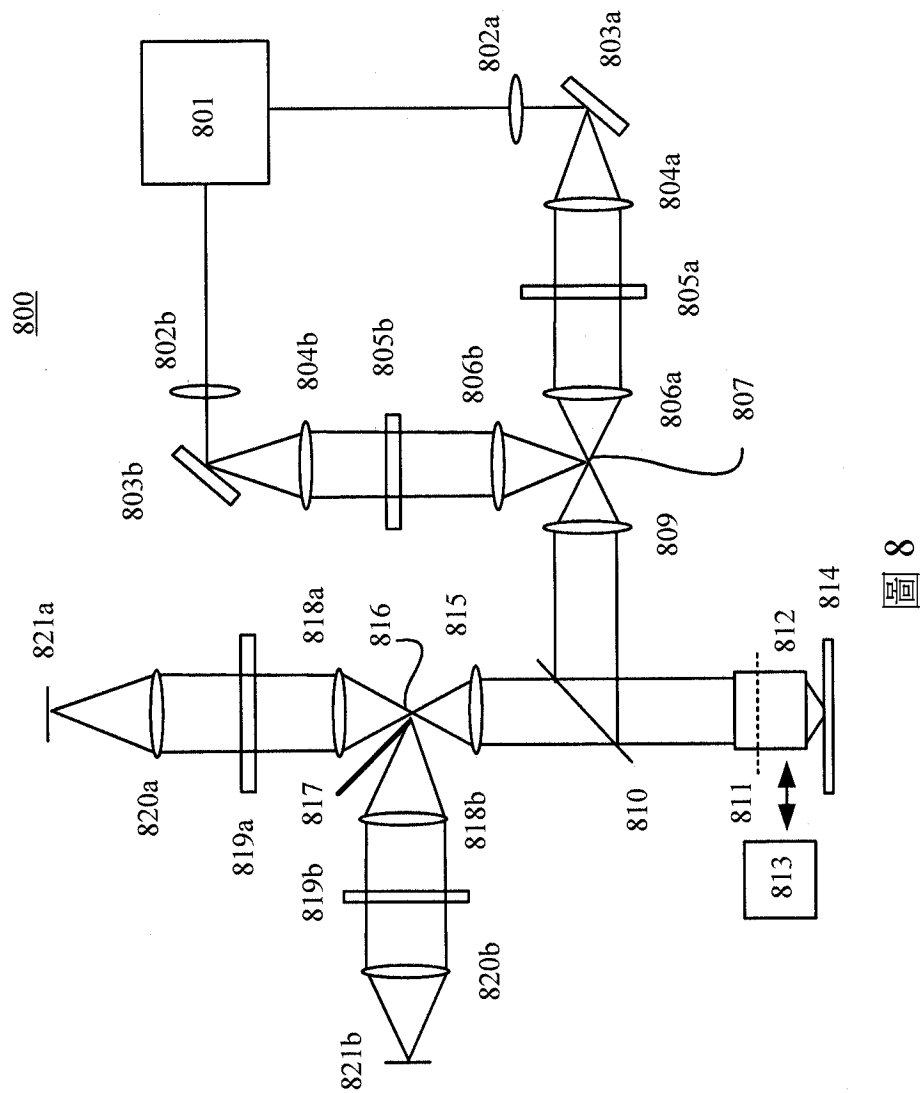


圖 8

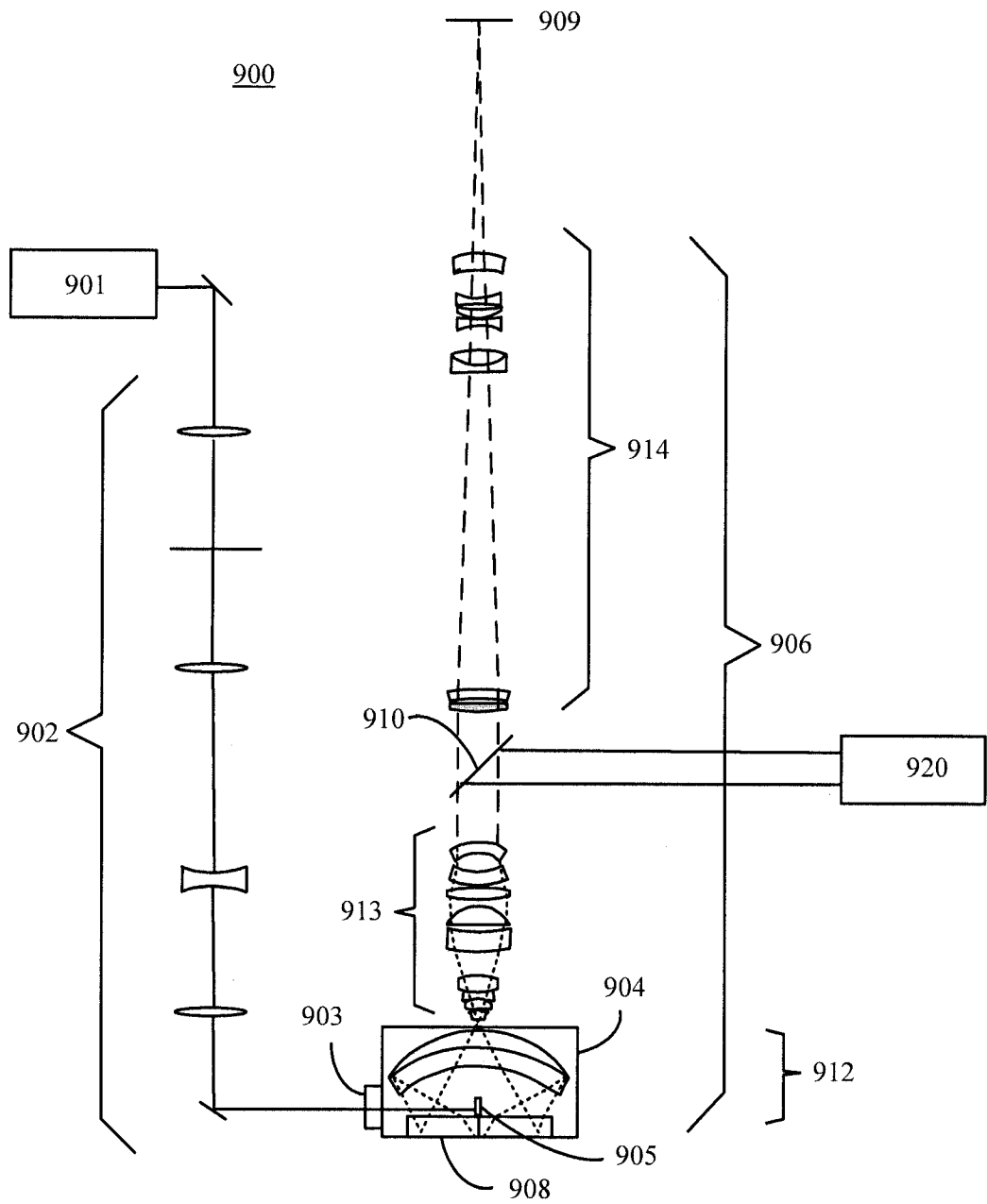


圖 9

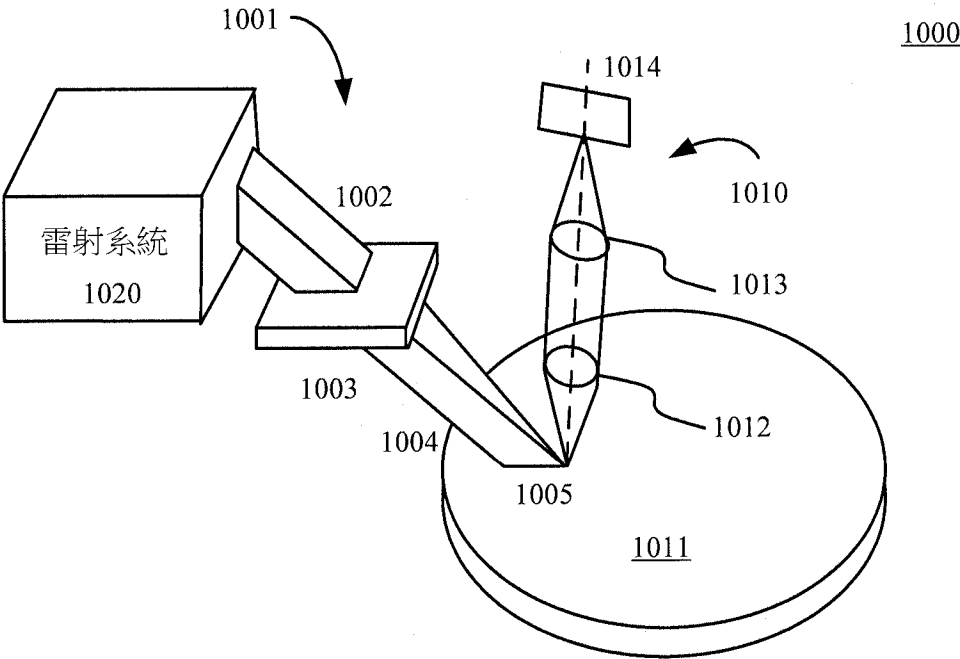


圖 10A

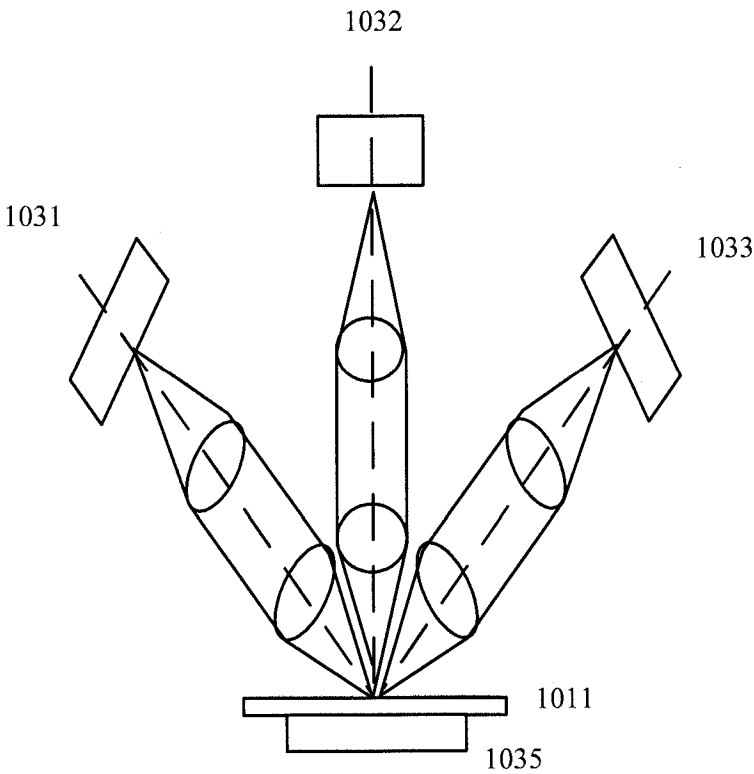


圖 10B

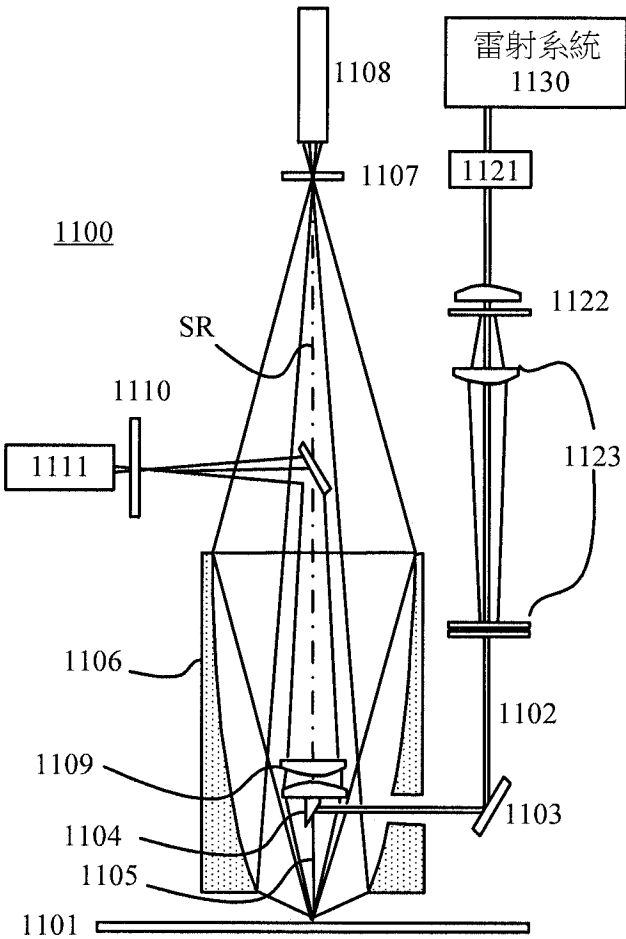


圖 11

1200

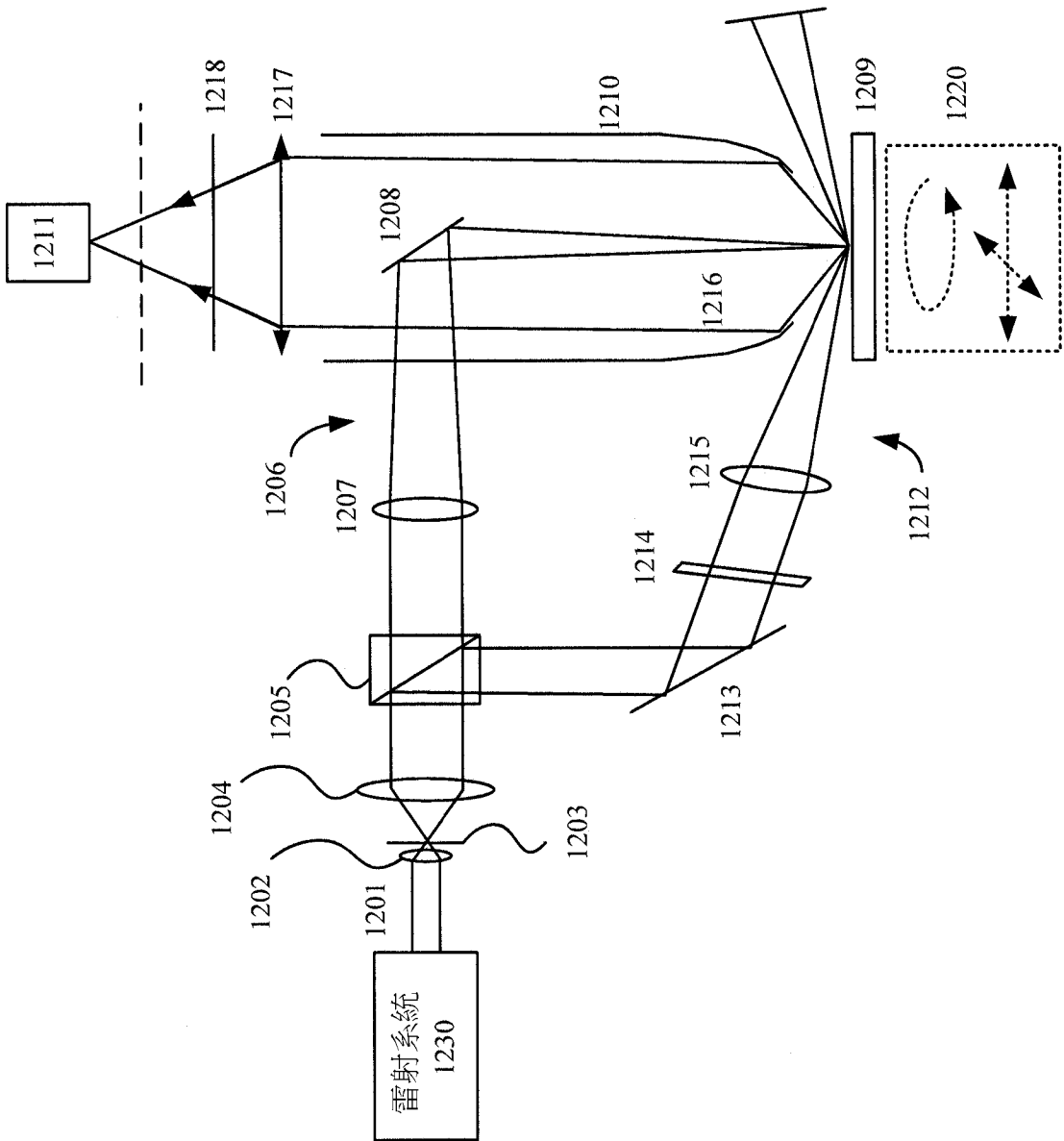


圖 12

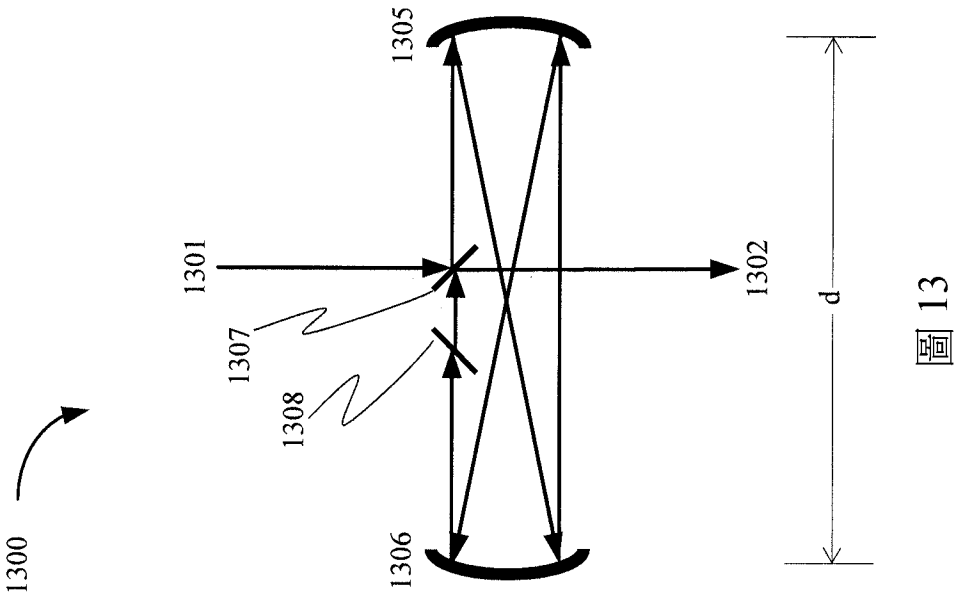


圖 13

183 奈米雷射總成 1400

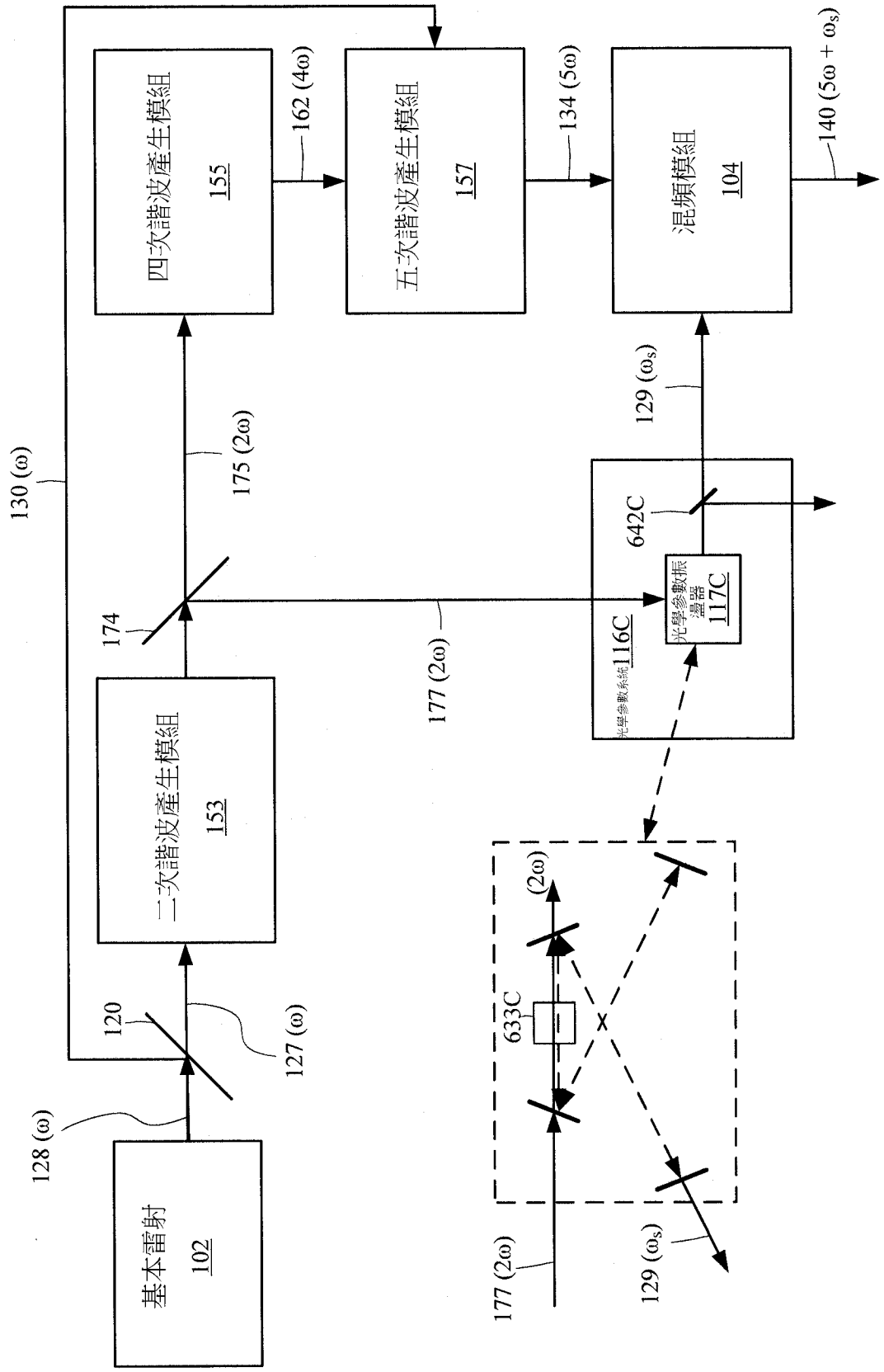


圖 14