



(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 I614558 B

(45)公告日：中華民國 107 (2018) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：103120220

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 06 月 11 日

(51)Int. Cl. : **G02F1/35 (2006.01)** **G02F1/37 (2006.01)**
H01S3/109 (2006.01)

(30)優先權：2013/06/11 美國 61/833,716
 2014/06/02 美國 14/294,019

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

(72)發明人：莊勇何 CHUANG, YUNG-HO (US)；陸曉旭 LU, XIAOXU (CN)；費爾登 約翰
 FIELDEN, JOHN (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW	200627738A	CN	202167755U
JP	2004-86193A	US	5339324

審查人員：蕭盛澤

申請專利範圍項數：42 項 圖式數：11 共 63 頁

(54)名稱

深紫外光連續波雷射及產生深紫外光連續波雷射輻射之方法

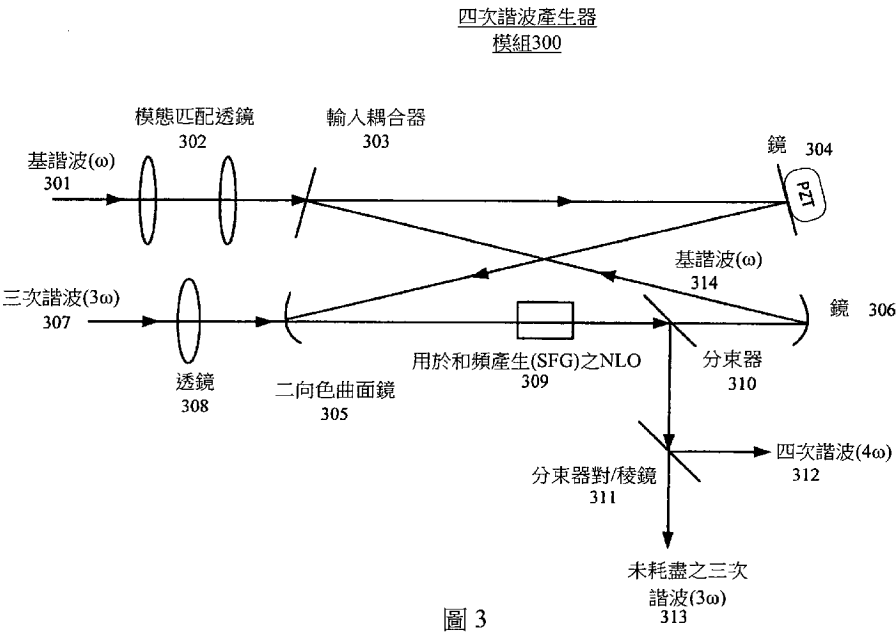
DEEP ULTRA-VIOLET (DUV) CONTINUOUS WAVE (CW) LASER AND METHOD OF
 GENERATING DUV CW LASER RADIATION

(57)摘要

一種深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射，其包含：一基諧波 CW 雷射，其經組態以產生具有在約 1 μ m 與 1.1 μ m 之間之一對應波長之一基諧波頻率；一個三次諧波產生器模組，其包含產生一個三次諧波及一選用二次諧波之一或多個週期性極化之非線性光學(NLO)晶體；及一個四次諧波產生器模組及一個五次諧波產生器中之一者。該四次諧波產生器模組包含經組態以使基諧波頻率與三次諧波組合以產生一個四次諧波之以該基諧波頻率諧振之一腔。該四次諧波產生器模組包含用於使基諧波頻率與三次諧波組合以產生一個五次諧波之以該基諧波頻率諧振之一腔，或用於使二次諧波與該三次諧波組合以產生該五次諧波之以該二次諧波頻率諧振之一腔。

A deep ultra-violet (DUV) continuous wave (CW) laser includes a fundamental CW laser configured to generate a fundamental frequency with a corresponding wavelength between about 1 μ m and 1.1 μ m, a third harmonic generator module including one or more periodically poled non-linear optical (NLO) crystals that generate a third harmonic and an optional second harmonic, and one of a fourth harmonic generator module and a fifth harmonic generator. The fourth harmonic generator module includes a cavity resonant at the fundamental frequency configured to combine the fundamental frequency with the third harmonic to generate a fourth harmonic. The fourth harmonic generator module includes either a cavity resonant at the fundamental frequency for combining the fundamental frequency with the third harmonic to generate a fifth harmonic, or a cavity resonant at the second harmonic frequency for combining the second harmonic and the third harmonic to generate the fifth harmonic.

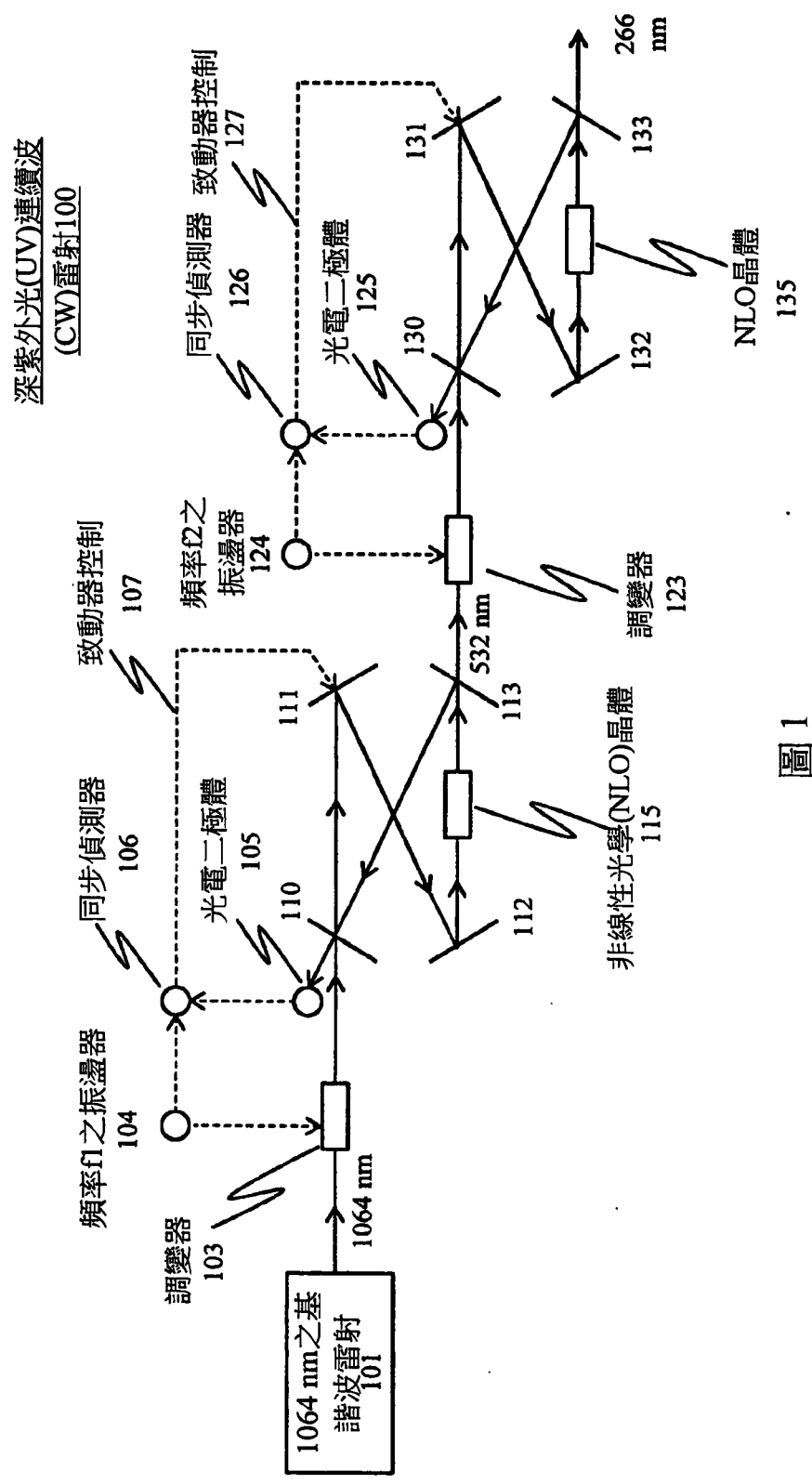
指定代表圖：



符號簡單說明：

- 300 . . . 四次諧波產生器模組/模組
- 301 . . . 基諧波(ω)
- 302 . . . 模態匹配透鏡
- 303 . . . 輸入耦合器
- 304 . . . 鏡
- 305 . . . 鏡
- 306 . . . 鏡
- 308 . . . 透鏡
- 309 . . . 非線性光學(NLO)晶體
- 310 . . . 分束器
- 311 . . . 分束器
- 312 . . . 四次諧波(4ω)
- 313 . . . 未耗盡之三次諧波(3ω)/三次諧波
- 314 . . . 未耗盡之基諧波(ω)/基諧波(ω)
- ω . . . 頻率/未耗盡之基諧波/基諧波/諧振基諧波/基諧波頻率
- 3ω . . . 三次諧波/三次諧波光
- 4ω . . . 四次諧波

圖式



三次諧波產生器
模組200

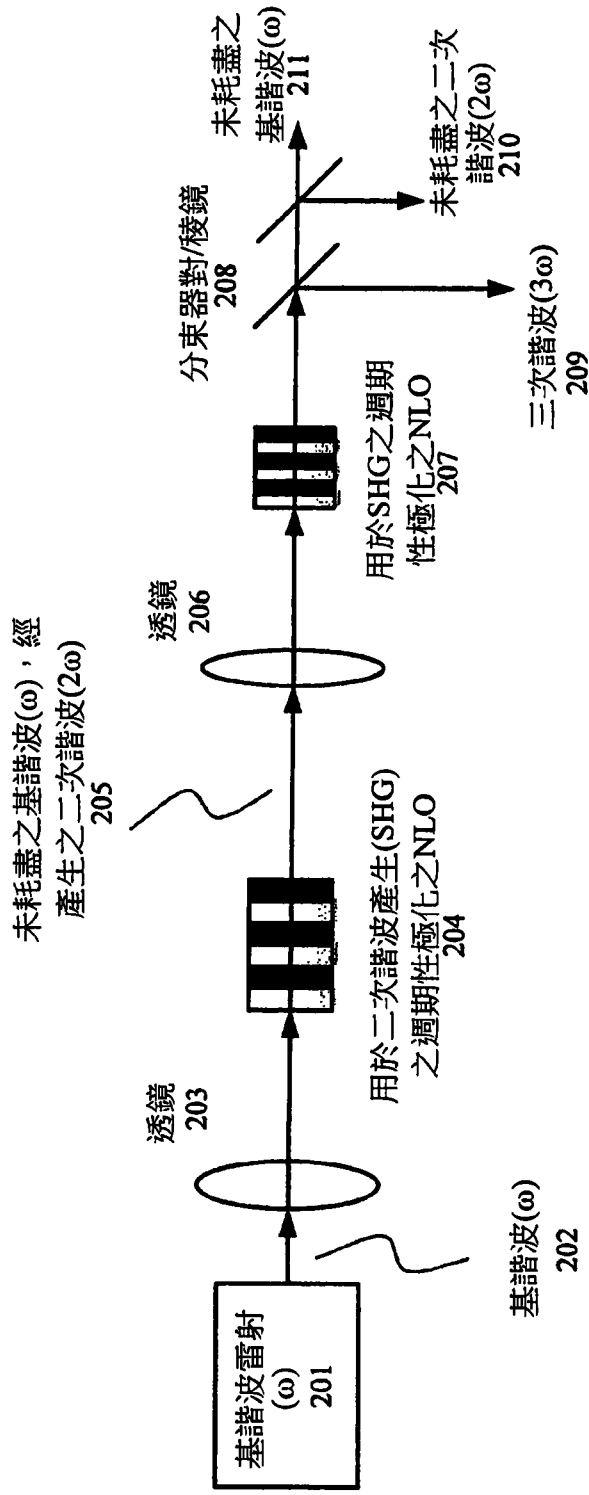


圖 2A

三次諧波產生器
模組220

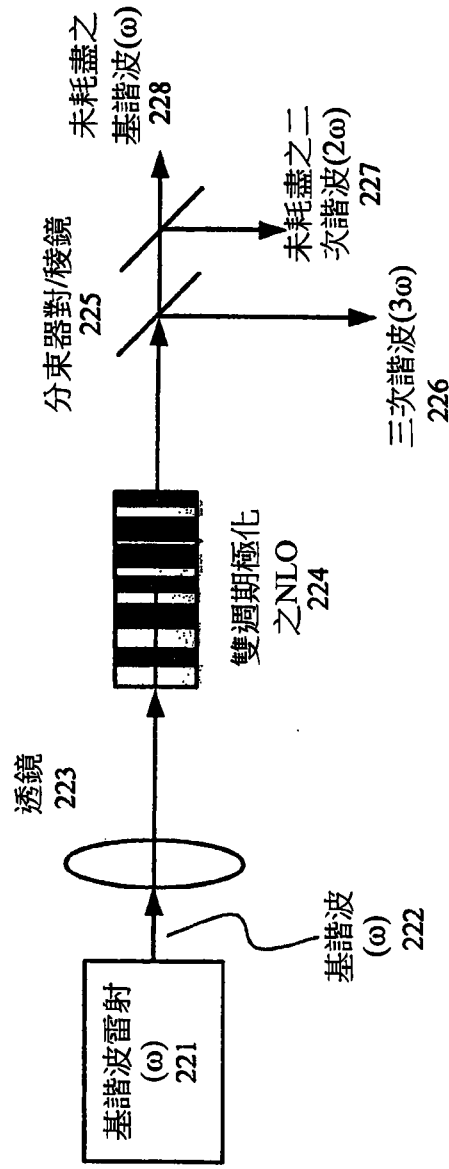


圖 2B

三次諧波產生器
模組230

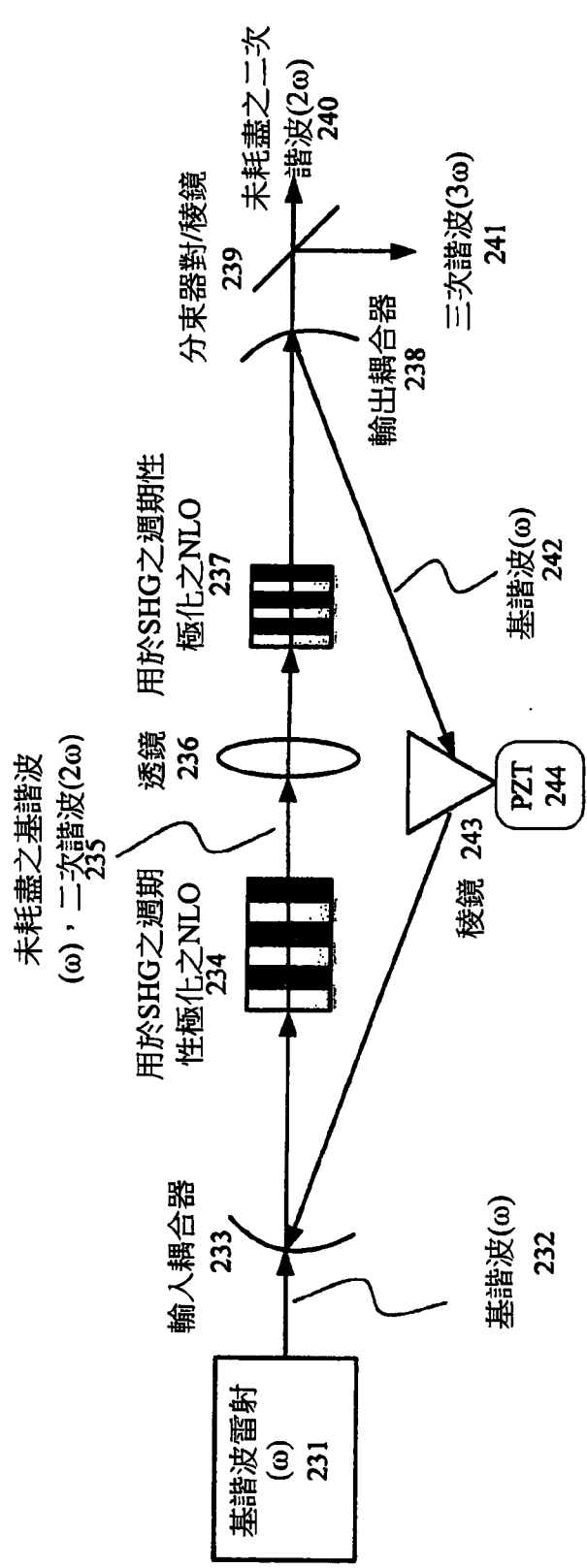


圖 2C

四次諧波產生器
模組300

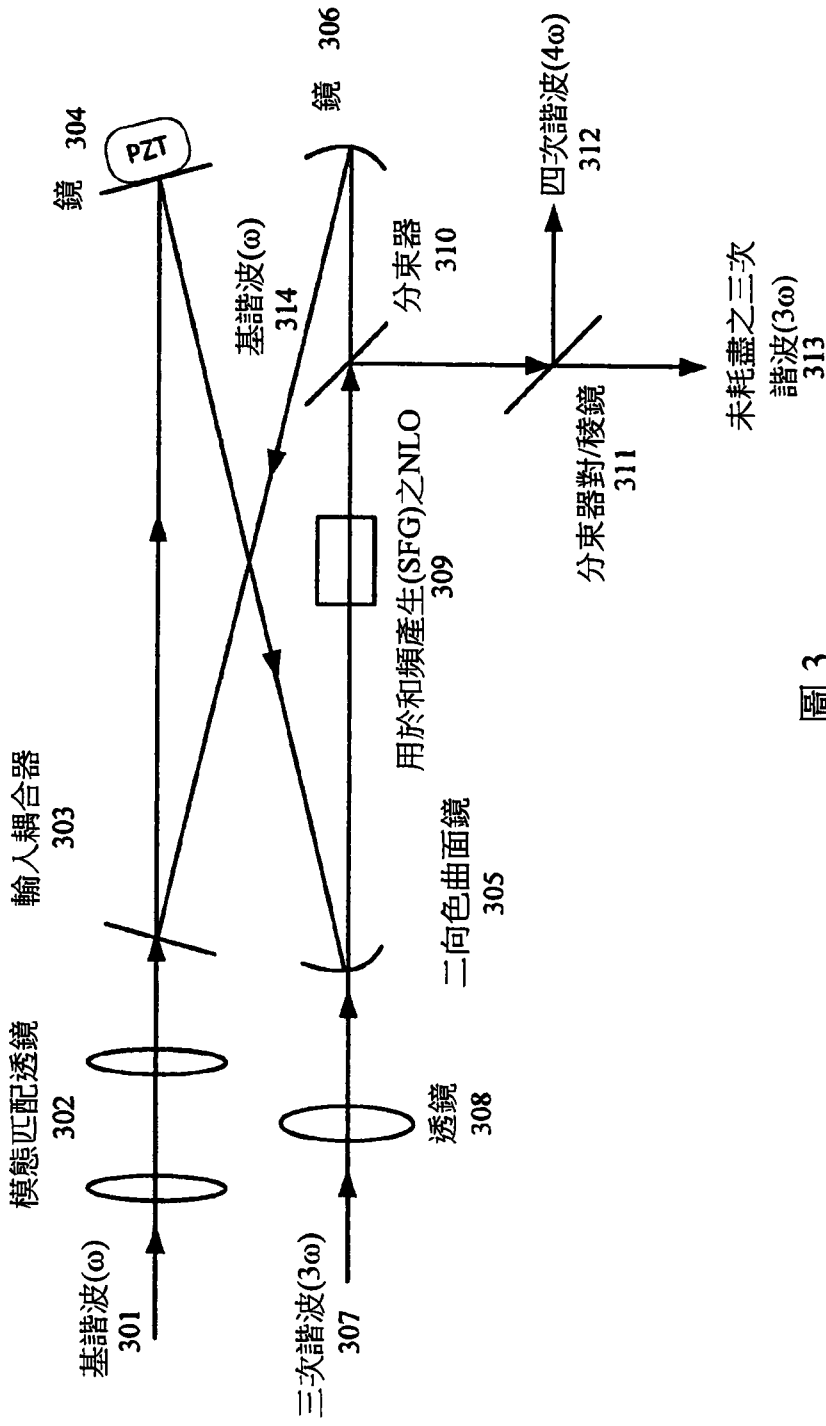


圖 3

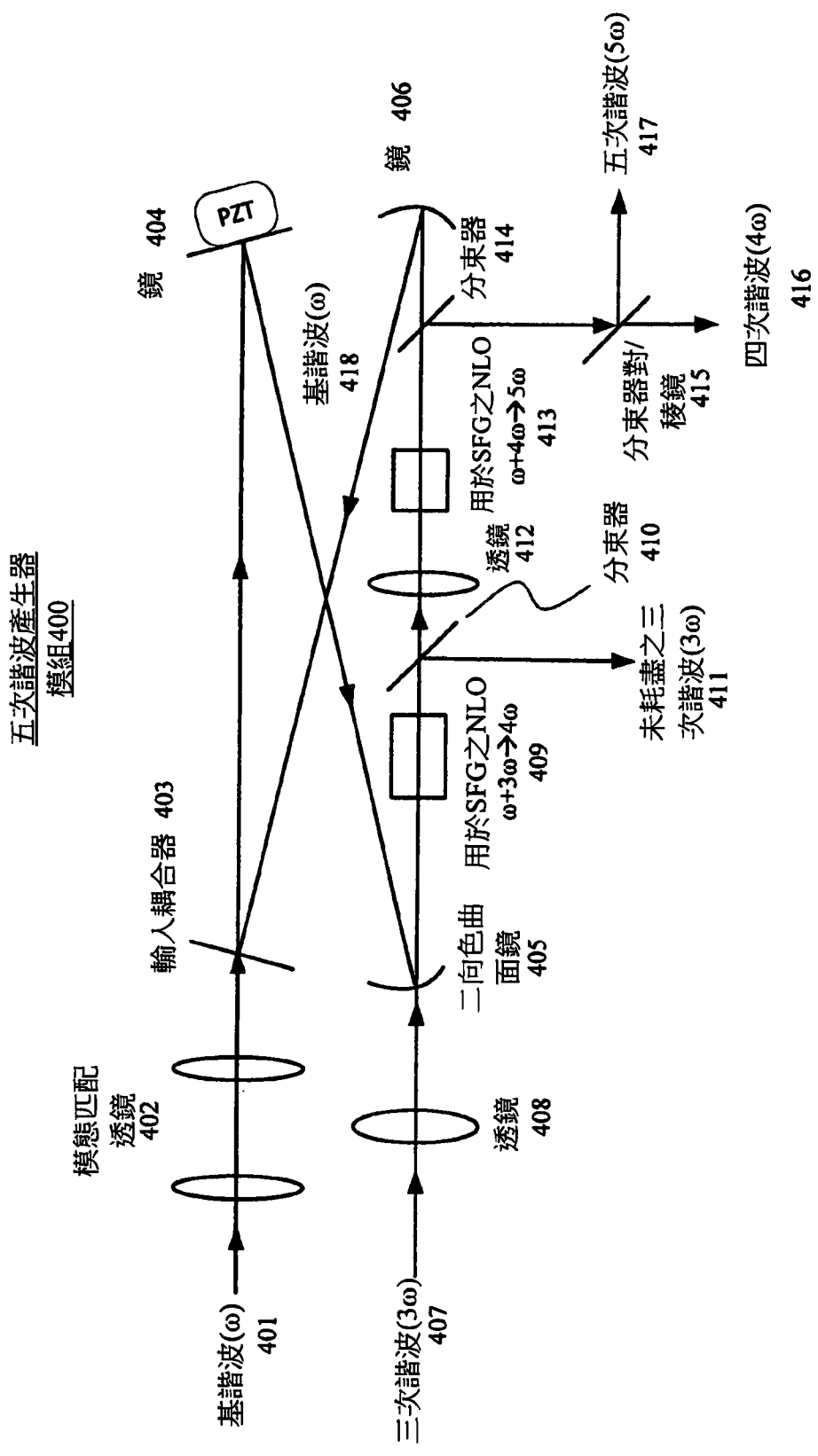


圖 4

五次諧波產生器
模組 500

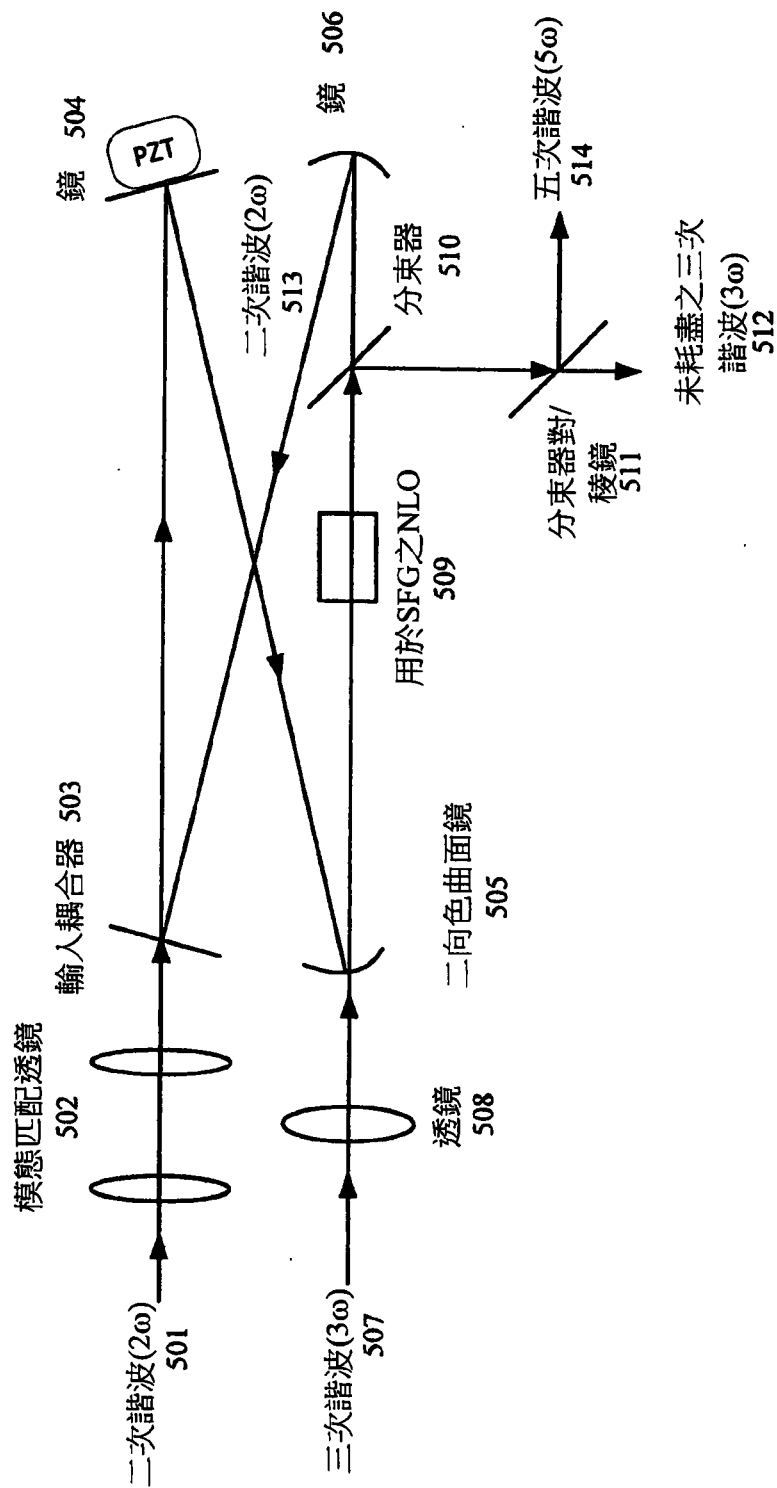


圖 5

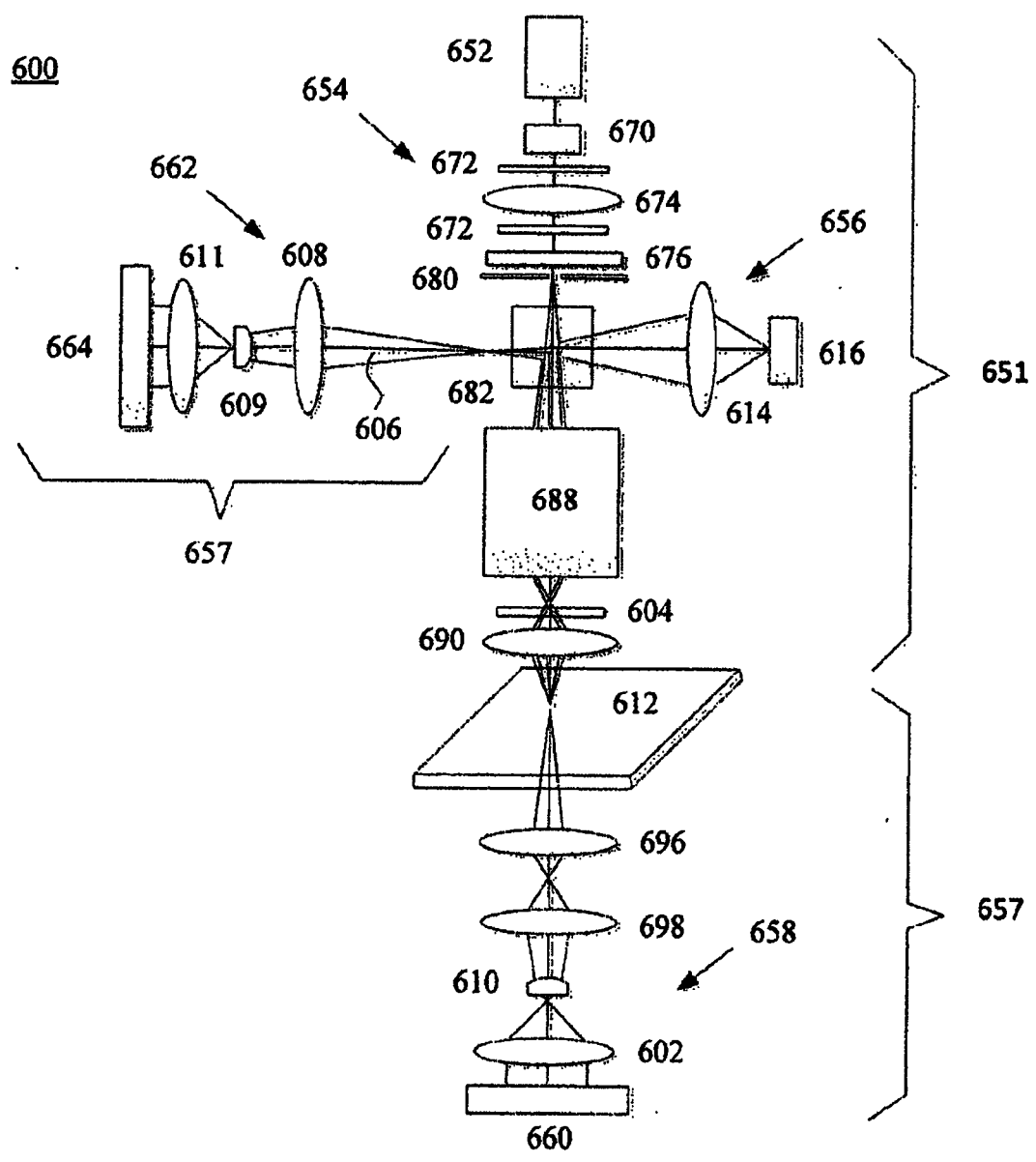


圖 6

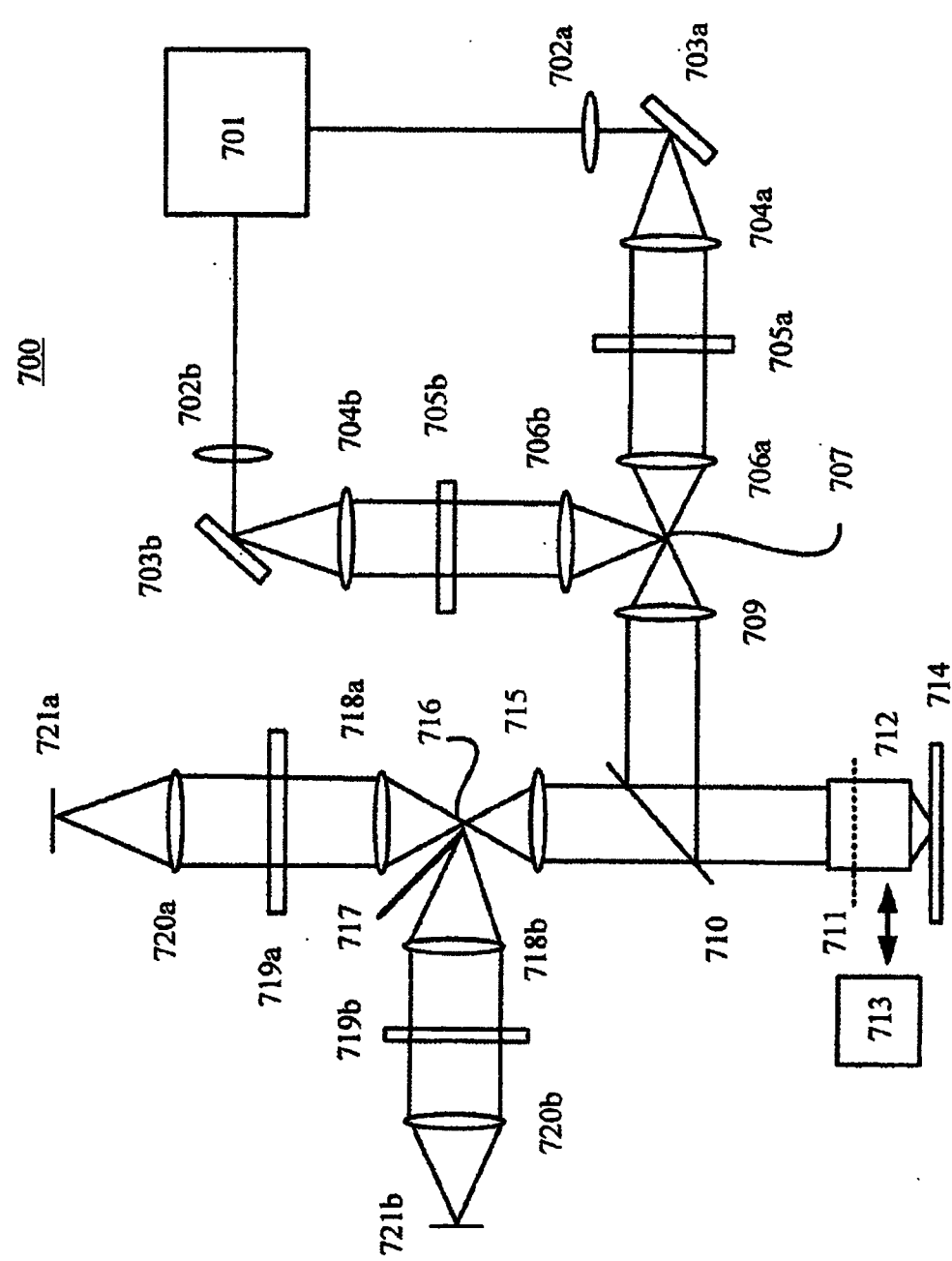


圖 7

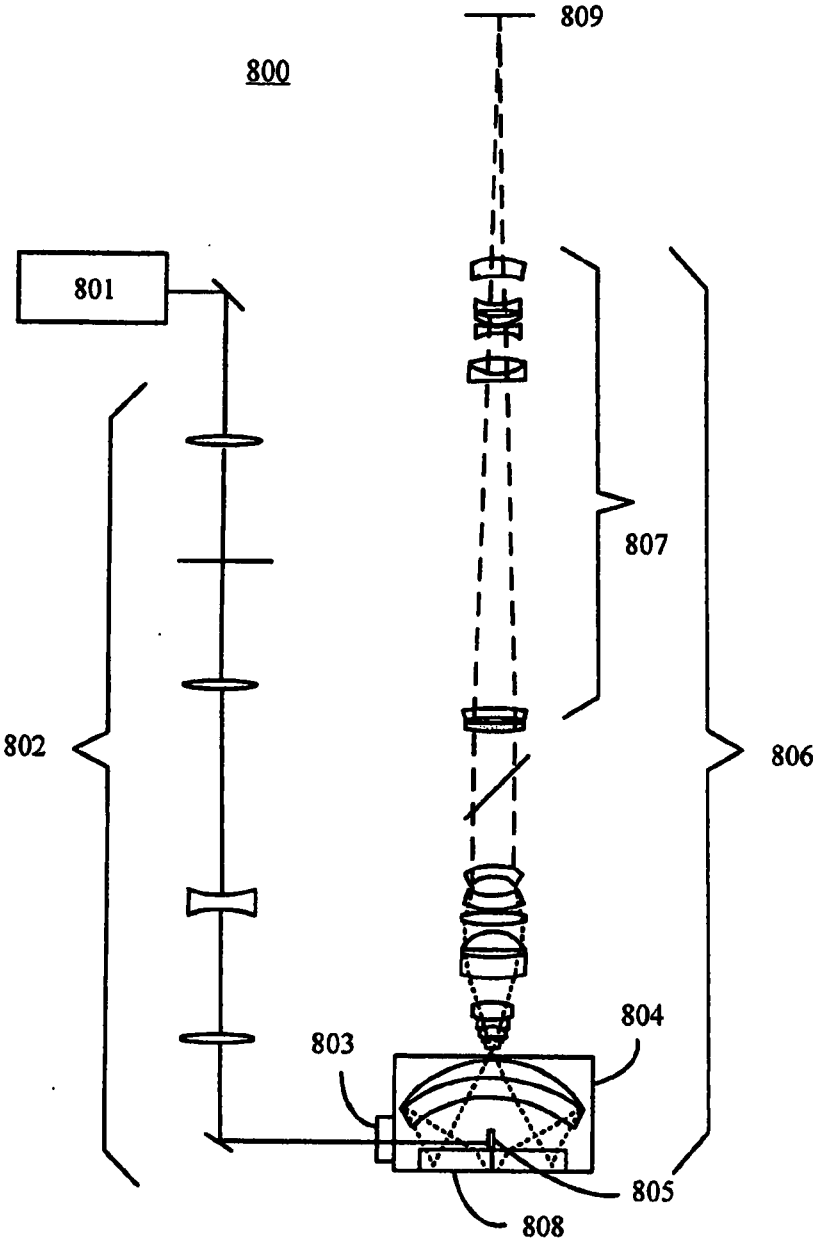


圖 8

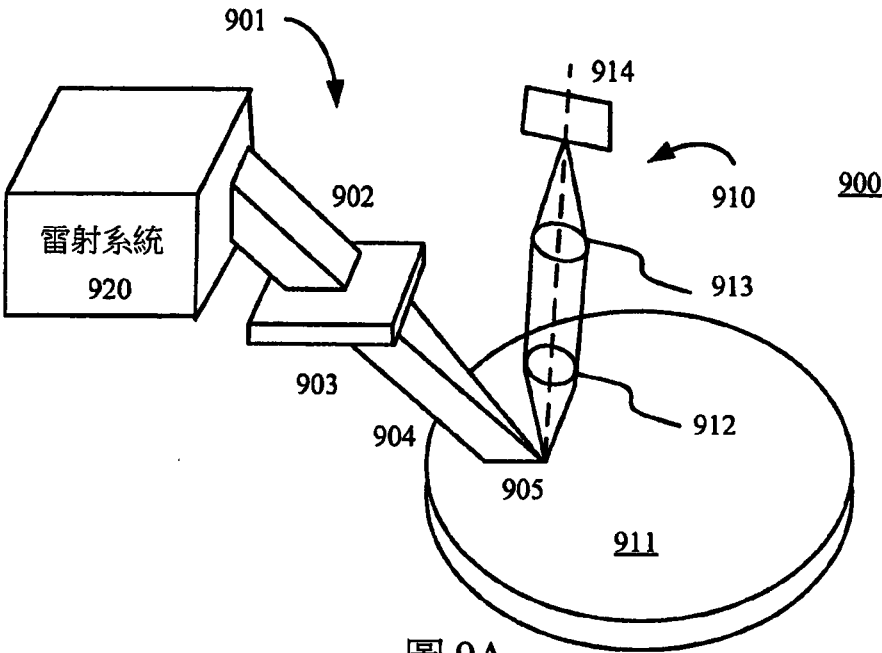


圖 9A

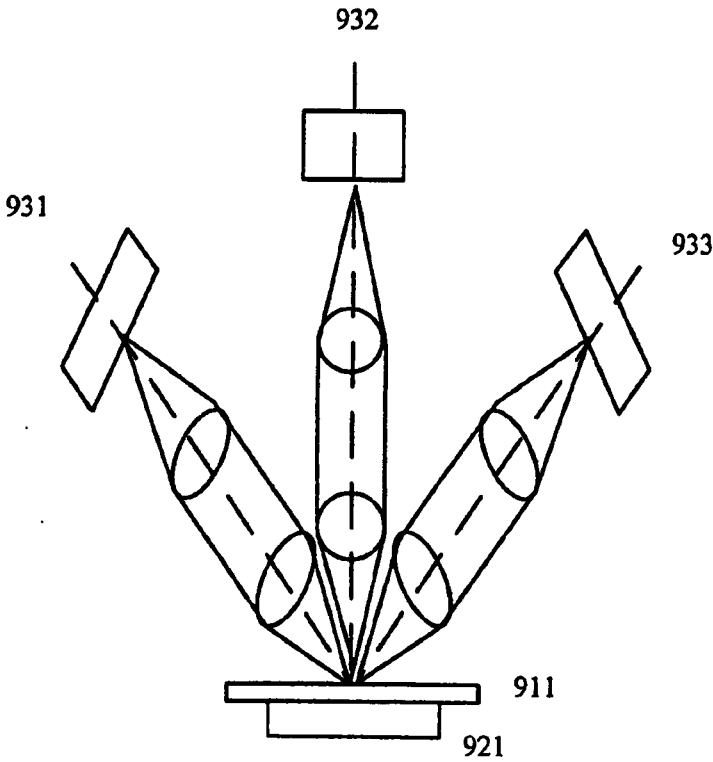


圖 9B

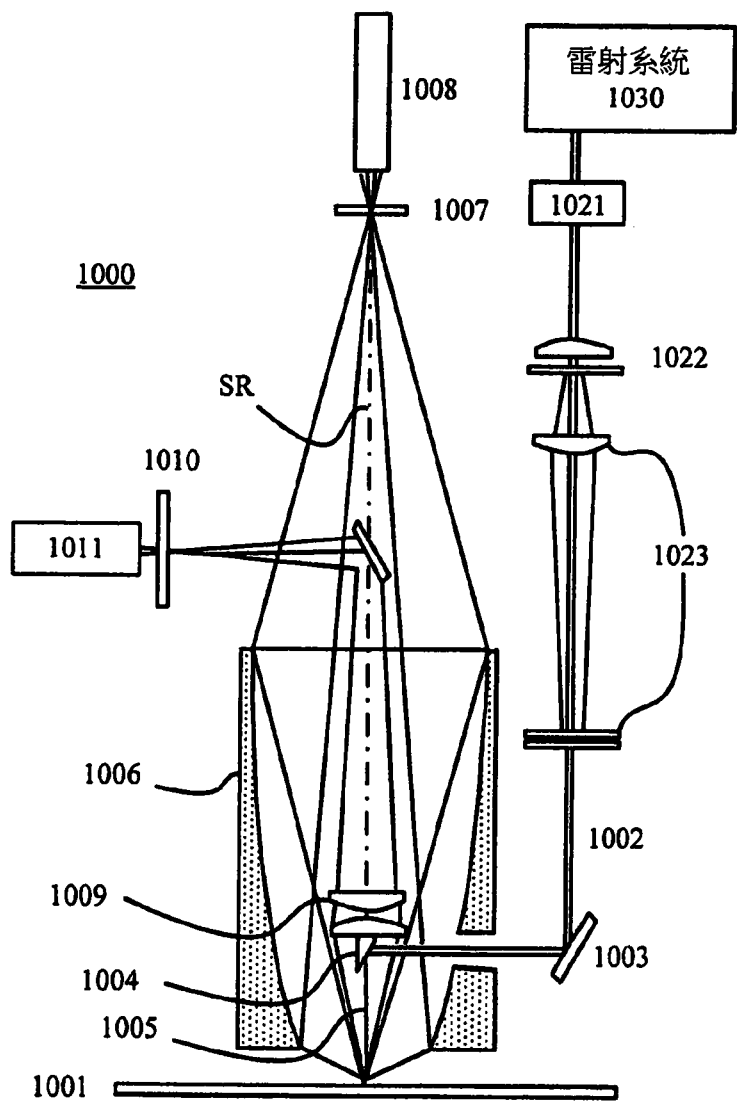


圖 10

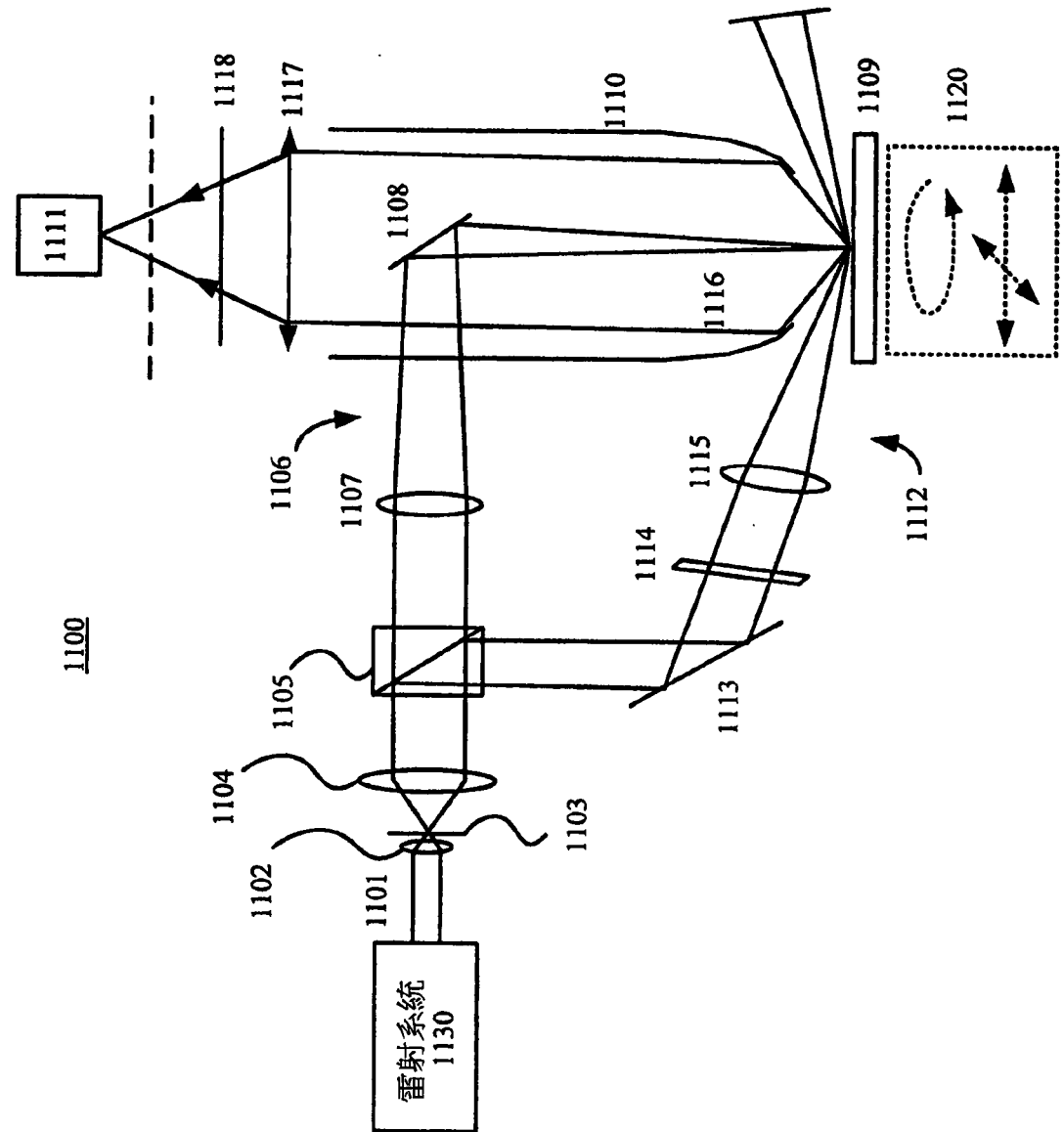


圖 11

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】

深紫外光連續波雷射及產生深紫外光連續波雷射輻射之方法
DEEP ULTRA-VIOLET (DUV) CONTINUOUS WAVE (CW)
LASER AND METHOD OF GENERATING DUV CW LASER
RADIATION

[相關申請案交叉參考]

本申請案主張2013年6月11日由Chuang等人申請之名為「CW DUV Laser with Improved Stability」之美國臨時專利申請案第61/833,716號之優先權，該案以引用的方式併入本文中。

【先前技術】

半導體檢測及計量學需要非常穩定、低雜訊之光源以偵測小缺陷及/或進行小尺寸之非常精密量測。UV光源(即，具有波長100 nm至400 nm之光源)係非常重要的，此係因為一般而言，小波長對小缺陷或尺寸給定較佳敏感度。

低雜訊、高穩定度雷射係對可見及近紅外光之波長可用。然而，存在具有大於250 mw之功率之非常少的可用深UV CW雷射，且該等雷射係昂貴的、有雜訊的、具有較差長期穩定性且可能需要頻繁調整或維護。

當前可用深UV (DUV)(即，短於300 nm之一波長) CW雷射藉由產生一紅外光(IR)基諧波雷射之四次諧波而操作。使用兩個頻率轉換級：第一級產生二次諧波且第二級產生四次諧波。各頻率轉換級使用一非線性光學(NLO)晶體。

倍頻程序取決於電場強度之平方。若晶體內部之功率密度為低，則轉換程序係非常無效率的。幾瓦特或幾十瓦特功率之一紅外光雷射在聚焦於一NLO晶體中時由於低功率密度而產生非常少二次諧

波。此與一類似平均功率位準之一脈衝雷射相反，該脈衝雷射可產生大量二次諧波(在最佳情況中大致50%輸入可轉換至二次諧波)，此係因為峰值功率密度高於平均功率密度許多倍。

DUV CW (連續波)雷射使用諧振腔以增大NLO晶體中之功率密度以改良轉換效率。未轉換至二次諧波之穿過一NLO晶體之大部分光係在諧振腔中再循環以便增建功率密度。容許二次諧波穿出諧振腔。最終，功率密度增建至其中作為二次諧波離開該諧振腔之功率加該諧振腔中之損耗等於輸入功率之一位準。因此，為產生深UV波長，此等腔之兩者必須串聯連接。第一諧振腔藉由再循環IR基諧波而產生二次諧波(即，一可見波長，通常一綠光波長，諸如532 nm)，且第二諧振腔藉由再循環該二次諧波而產生四次諧波(即，一深UV波長，諸如266 nm)。

圖1繪示包含兩個諧振腔之一例示性深UV CW雷射100。在雷射100中，用於產生二次諧波之一第一腔包含鏡110、111、112及113以及一NLO晶體115。用於產生四次諧波之一第二腔包含鏡130、131、132及133以及一NLO晶體135。顯著地，此等腔必須經受主動控制。對於該第一腔之控制包含一振盪器104 (產生頻率f1之一信號)、一調變器103、一光電二極體105以及一同步偵測器106 (產生控制鏡111之位置之一致動器控制信號107)。對於該第二腔之控制包含一振盪器124 (產生頻率f2之一信號)、一調變器123、一光電二極體125以及一同步偵測器126 (產生控制鏡131之位置之一致動器控制信號127)。

雷射100包含一基諧波雷射101，該基諧波雷射101產生波長為1064 nm之IR光。此IR光透過鏡110進入第一腔且在自鏡111及112反射之後進入NLO晶體115。該IR光中進入晶體115之一部分經轉換至532 nm之一波長之二次諧波。該532 nm光穿過鏡113且經引導至第二腔。穿過NLO晶體115之大部分IR光在未經轉換之情況下自該NLO晶體射

出且自鏡113反射，該鏡113經塗佈以便反射1064 nm光而透射532 nm光。自鏡113反射之光返回到達輸入鏡110。鏡110上之塗層經設計以對自鏡113以射線之入射角到達之IR高度反射，而對自基諧波雷射101到達之傳入IR輻射高度透射。

為在第一腔中增建一高功率密度，已圍繞該第一腔循環之IR輻射與傳入輻射同相而到達鏡110為重要的。此同相到達可藉由使用機械移動鏡111（例如，藉由一壓電傳感器或一音圈）以維持正確腔光學路徑長度之一伺服控制件來實現。一光電二極體105監測在第一腔中循環之光之一小部分以提供一信號至該伺服控制件。輸入雷射射束係藉由調變器103以頻率 f_1 調變，以提供藉由伺服控制件使用以判定第一腔是否需要調整且若如此則判定沿著哪一方向之一時變信號。上文所描述之用於第一腔之伺服控制迴路係通常用作及稱為一Pound-Drever-Hall (PDH)控制。其理論係藉由Appl. Phys. B 31，第97頁至105頁（1983年），Drever等人之「Laser phase and frequency stabilization using an optical resonator」描述。額外細節可在（例如）1994年11月22日發佈之名為「Laser light beam generating apparatus」之美國專利第5,367,531號以及（1998年）Black之LIGO Technical note LIGO-T980045-00-D中找到。

通常用於雷射伺服控制迴路中之另一方案係Hänsch-Couillaud (HC)技術。在此方案中，射束在進入腔之前不需要進行調變，然而，其僅對偏光敏感之腔起作用。此方案偵測總反射或透射射束之偏光變化以判定腔是否在諧振。關於此方案之進一步細節可在Opt. Commun. 35(3)，441（1980年），Hänsch及Couillaud之「Laser frequency stabilization by polarization spectroscopy of a reflecting reference cavity」中找到。

第二腔以實質上類似於第一腔（惟輸入波長係532 nm及輸出波長

係266 nm除外)之一方式操作。針對該等波長適當選取第二腔組件之塗層及材料。在雷射100中，一第二調變器123在光進入第二腔之前以頻率 f_2 調變該光。該光透過鏡130進入該第二腔且在自鏡131及132反射之後進入NLO晶體135。進入晶體135之該光之一部分經轉換至266 nm之一波長之四次諧波。該266 nm光穿過鏡133且經引導至雷射100之輸出。穿過NLO晶體135之大部分光在未經轉換之情況下自該NLO晶體射出且自鏡133反射，該鏡133經塗佈以便反射532 nm光而透射266 nm光。自鏡133反射之光返回到達輸入鏡130。鏡130上之塗層經設計以對自鏡133以射線之入射角到達之光高度反射，而對自調變器123到達之傳入光高度透射。光電二極體125偵測循環光之一小部分。藉由同步偵測器126使用來自125之信號以產生控制鏡131之位置以維持腔之正確光學路徑長度之一控制信號127。

在一些實施例(未展示)中，省略調變器123及振盪器124且因此兩個伺服迴路以相同調變頻率操作。在又其他實施例(未展示)中，省略調變器103及123兩者。在此情況中，基諧波雷射101藉由操作雷射使得產生兩個模態來產生一經調變輸出。可選取具有一波長分離及相對振幅之該兩個模態使得藉由該兩個模態之衝擊產生一適當調變之輸出。

注意，一或兩個腔可包括兩個或三個鏡，而非四個鏡。

在一些先前技術裝置中，可藉由放置於NLO晶體135與鏡133之間之一分束器(未展示)來使DUV輸出波長與再循環可見光分離。在一些先前技術裝置中，週期性極化之非線性光學(NLO)材料係用於頻率轉換，以產生具有準相位匹配之綠光及/或UV CW光。當前不存在能夠產生有用於半導體檢測之功率位準之DUV光之可用週期性極化之材料。

如上文所闡釋，在先前技術裝置中，可串聯使用兩個倍頻腔。

在此情況中，第一腔以對應於IR區域中之一波長之基諧波頻率諧振，且第二腔針對具有IR光之波長之一半之一波長之二次諧波頻率諧振。對於相同量之腔光學路徑長度變化，第二腔之相變係第一腔之兩倍。因此，該第二腔歸因於其較高敏感度而更難穩定。此外，來自第一腔之雜訊通常耦合至第二腔中且可在相當大程度上影響穩定度，藉此危害該第二腔之轉換效率。顯著地，第二腔之回饋迴路不能區分來自其輸入光及來自該腔自身之雜訊。因此，第二腔連續嘗試補償失配。因此，此類型之先前技術CW DUV雷射通常非常有雜訊的且需要用於穩定度之複雜伺服迴路。

先前技術裝置之另一限制係在於，腔之回饋迴路可僅調整腔長度以補償腔光學路徑長度變化。不能藉由調整腔長度來補償腔焦點或像散之變化。

例如，一非線性晶體內之一溫度梯度產生該晶體內之一非均勻折射率分佈。該晶體之平均折射率之任何變化改變腔中之平均光學路徑長度且可藉由一實體腔長度變化來補償。然而，折射率之空間變動可改變腔中之光學器件之焦距及/或可產生在循環雷射射束之焦點中之像散。原則上，若該腔併入可偵測焦點變化之一感測器，則可藉由腔長度之一變化來補償焦點之變化，但所需之腔長度變化將不與維持光學路徑長度所需之腔長度變化相同以保持該腔諧振。因此，校正焦點將引起雷射之輸出功率降低或變得不穩定。因為像散係由不同方向之不同焦點位置引起，所以沒有腔長度變化可補償像散。焦點及像散變化在第二腔中通常係比在第一腔中更嚴重之一問題，此係因為DUV光可誘發比藉由基諧波或二次諧波光誘發更大之NLO晶體性質之變化。

因此，需要具有大於約250 mw之功率位準、具有低雜訊、良好長期穩定度，而同時克服一些或全部上述缺點之DUV CW雷射。

【發明內容】

根據本文中所描述之改良雷射系統及相關聯技術，可僅使用一諧振腔或使用兩個IR諧振腔產生具有對應於一IR雷射之基諧波頻率之四次諧波或五次諧波之頻率之深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射系統。相較於先前技術DUV CW雷射，該等改良雷射系統具有較不複雜之回饋迴路及更佳之穩定度。

一DUV CW雷射系統包含一基諧波CW雷射、一個三次諧波產生器及一個四次諧波產生器。該基諧波CW雷射經組態以產生具有約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻率。該三次諧波產生器模組包含產生一個三次諧波之至少一週期性極化之非線性光學(NLO)晶體。該四次諧波產生器模組包含以基諧波頻率諧振之一腔。該四次諧波產生器模組經組態以使基諧波頻率與三次諧波組合以產生一個五次諧波。

另一DUV CW雷射系統包含一基諧波CW雷射、一個三次諧波產生器及一個五次諧波產生器。該基諧波CW雷射經組態以產生具有約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻率。該三次諧波產生器模組包含產生一個三次諧波之至少一週期性極化之NLO晶體。該五次諧波產生器模組包含用於使基諧波頻率與三次諧波組合以產生一個五次諧波之以該基諧波頻率諧振之一腔。

又另一DUV CW雷射系統包含一基諧波CW雷射、一個三次諧波產生器及一個五次諧波產生器。該基諧波CW雷射經組態以產生具有約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻率。該三次諧波產生器模組包含產生一個二次諧波及一個三次諧波之至少一週期性極化之NLO晶體。該五次諧波產生器模組包含用於使該二次諧波與三次諧波組合以產生一個五次諧波之以該二次諧波頻率諧振之一腔。

各種實施例可具有以下特徵。三次諧波產生器模組可能並不使

用一諧振腔。該三次諧波產生器模組可進一步包含以基諧波頻率諧振之一腔。至少一週期性極化之NLO晶體可產生二次諧波或三次諧波。該至少一週期性極化之NLO晶體可包含用於直接產生三次諧波之一雙週期極化之晶體。三次諧波產生器模組可包含兩個週期性極化之NLO晶體。該至少一週期性極化之NLO晶體可在溫度上受到控制以最大化三次諧波產生效率。基諧波頻率可聚焦至具有實質上平行於該至少一週期性極化之NLO晶體之一極化深度之一短軸之一橢圓射束。三次諧波產生器模組可使用具有長於 $2\ \mu\text{m}$ 之一域週期之一週期性極化之NLO晶體，以達成用於三次諧波之和頻產生之三階準相位匹配。可使用電光調變以提高三次諧波轉換效率。四次諧波產生器模組可能使三次諧波不在一腔中再循環。五次諧波產生器模組可能使三次諧波不在腔中再循環。

本發明描述一種自對應於約 $1\ \mu\text{m}$ 至 $1.1\ \mu\text{m}$ 之一波長之一基諧波頻率產生一個四次諧波之方法。藉由使用一週期性極化之非線性光學(NLO)晶體轉換基諧波頻率之一部分而產生一個二次諧波頻率。該基諧波頻率之另一部分係與該二次諧波組合以產生一個三次諧波。藉由在以基諧波頻率諧振之一腔中使該基諧波頻率之另一部分與三次諧波組合而產生四次諧波。在此方法中，與使用串聯之一基諧波腔及一個二次諧波腔之先前技術系統相比較，未使用以二次諧波諧振之腔。因為二次諧波具有為基諧波頻率之波長之一半之一波長，所以以二次諧波頻率諧振之一腔與以基諧波頻率諧振之一腔相比更不穩定且更傾向於漂移及不穩定性。

本發明描述一種自對應於約 $1\ \mu\text{m}$ 至 $1.1\ \mu\text{m}$ 之一波長之一基諧波頻率產生一個五次諧波之方法。使用一週期性極化之NLO晶體將基諧波頻率之一部分轉換至一個二次諧波。該基諧波頻率之另一部分係與該二次諧波組合以產生一個三次諧波。藉由在以基諧波頻率諧振之一腔

中使該基諧波頻率之另一部分與三次諧波組合而產生一個四次諧波。藉由在該腔內部使該四次諧波與一再循環基諧波頻率組合而產生一個五次諧波。

本發明描述一種自對應於約 $1\ \mu\text{m}$ 至 $1.1\ \mu\text{m}$ 之一波長之一基諧波頻率產生一個五次諧波之方法。藉由使用一週期性極化之NLO晶體將基諧波頻率之一部分轉換至一個二次諧波。該基諧波頻率之另一部分係與該二次諧波組合以產生一個三次諧波。藉由在以二次諧波頻率諧振之一腔中使該二次諧波與該三次諧波組合而產生一個五次諧波。

在一實施例中，並未將產生二次諧波之NLO晶體放置於任何諧振腔中。在此實施例中，僅使用一諧振腔，即，產生四次諧波及五次諧波之腔。在另一實施例中，在以基諧波頻率諧振之一腔中含有產生二次諧波及三次諧波之NLO晶體。在此實施例中，使用兩個諧振腔，兩個腔皆僅以基諧波頻率諧振。

在一實施例中，並未將產生二次諧波頻率及三次諧波頻率之NLO晶體放置於任何諧振腔中。在此實施例中，僅使用以二次諧波頻率諧振之一腔：產生五次諧波之腔。在另一實施例中，在以基諧波頻率諧振之一腔中含有產生二次諧波及三次諧波之NLO晶體。在此實施例中，使用兩個諧振腔：一腔以基諧波頻率諧振接著另一腔以二次諧波頻率諧振，如在先前技術裝置中般。顯著地，與先前技術裝置相比較，此組態產生一更高頻率。

注意，若基諧波雷射產生 $1064\ \text{nm}$ 之一波長，則四次諧波頻率將對應於 $266\ \text{nm}$ 之一波長且五次諧波頻率將對應於約 $213\ \text{nm}$ 之一波長。基諧波雷射之雷射介質可包含一摻鎂光纖、一摻釹鈮鋁石榴石晶體、一摻釹釩酸釹晶體或摻釹釩酸釹。

直接三次諧波產生係歸因於光學介質之小 $\chi^{(3)}$ 非線性及相位匹配約束而為困難的。因此，在本文中所揭示之改良雷射中，三次諧波產

生係視為以輸入射束之倍頻開始及隨後和頻產生之一級聯程序，其中兩個程序皆基於具有一 $\chi^{(2)}$ 非線性之非線性晶體材料。

在一個三次諧波產生器模組之一實施例中，週期性極化之晶體係用於準相位匹配(QPM)。與使用塊狀NLO晶體之較佳相位匹配之情況相比較，QPM使可對於全部相互作用之波使用相同偏光方向且此常常對應於使用非線性張量之一較強元件。轉換效率可比對於臨界相位匹配顯著更高。傳播方向可沿著晶體光軸使得避免空間走離(walk-off)且接受角為大。此外，週期性極化之晶體可具有降低之光折射，此係因為不同定位之域之效應趨於互相取消。

極化週期判定波長(針對該等波長可準相位匹配特定非線性程序)。正確極化週期之計算係基於自(例如)近似Sellmeier方程式獲得之折射率值。

藉由產生基諧波頻率及使用高品質週期性極化之晶體之一高功率單頻率IR雷射源，一單遍次方案可產生足以用於隨後和頻產生階段之三次諧波頻率。

【圖式簡單說明】

圖1繪示包含兩個諧振腔之一例示性先前技術深UV CW雷射。

圖2A繪示呈一單遍次組態之一例示性三次諧波產生器模組。

圖2B繪示具有用於有效三次諧波產生之一單晶體之另一例示性三次諧波產生器模組。

圖2C繪示包含提高用於三次諧波產生之基諧波功率之一諧振腔之又另一例示性三次諧波產生器模組。

圖3繪示包含一蝴蝶結腔之一例示性四次諧波產生器模組。

圖4繪示一例示性五次諧波產生器模組，該五次諧波產生器模組經組態以在一蝴蝶結腔中使來自一個四次諧波產生器模組之四次諧波與基諧波之一未耗盡部分組合以產生五次諧波。

圖5繪示另一例示性五次諧波產生器模組，該五次諧波產生器模組經組態以使來自一個三次諧波產生器模組之一個三次諧波與二次諧波之一未耗盡部分(及/或一個二次諧波)組合來執行和頻產生以產生一個五次諧波。

圖6繪示經組態以量測來自一基板之透射及反射光之一例示性光罩或光遮罩檢測系統。

圖7繪示包含具有不同波長或波長範圍之多個光源之一例示性檢測系統，其中具有針對不同波長範圍最佳化之不同物鏡。

圖8繪示具有暗場及明場檢測模式之一例示性反射折射成像系統。

圖9A及圖9B繪示使用斜線照明之一暗場檢測系統。

圖10繪示可用於檢測一表面上之異常之一表面檢測系統。

圖11繪示經組態以使用法線照明射束及斜照明射束實施異常偵測之一檢測系統。

【實施方式】

圖2A繪示呈一單泵抽遍次組態之一例示性三次諧波產生器模組200。在此實施例中，以一頻率 ω 操作之一基諧波雷射201產生基諧波202。定位一透鏡203以將基諧波202聚焦至用於二次諧波產生(SHG)之一第一週期性極化之NLO晶體204。定位一消色差透鏡206，以使來自NLO晶體204之未耗盡之基諧波(ω)及經產生之二次諧波(2ω) 205聚焦於用於和頻產生(SFG)之一第二週期性極化之NLO晶體207上。在一些實施例中，透鏡206可包括一雙合透鏡。注意，NLO晶體204、207及/或透鏡203、206之表面可經適當塗佈，用於在頻率之一或多者處之高透射。一分束器對208 (或一稜鏡)可用於分離一經產生之三次諧波(3ω) 209、一未耗盡之二次諧波(2ω) 210及一未耗盡之基諧波(ω) 211。

在一些實施例中，NLO晶體204、207之一或多者可包括鋯酸鋰(LiNbO_3)、化學計量鋯酸鋰(SLT)、鋯酸鋰(LiTaO_3)、磷酸鈦氧鉀(KTP)、砷酸鈦氧鉀(KTA)及/或摻雜質材料(諸如摻氧化鎂之鋯酸鋰(MgO:LiNbO_3)或摻氧化鎂雜質之化學計量鋯酸鋰(MgO:SLT))。在本文中所描述之改良雷射系統之一些實施例中，長於10 nm之晶體可用於達成高於 $0.012\%/W^2$ 之一轉換效率。

在一實施例中，控制NLO晶體204、207之溫度以最大化相位匹配效率。在另一實施例中，透鏡203、206可將其等各自射束沿著週期性極化之NLO晶體的深度方向聚焦至具有較短軸之一橢圓形狀，此係因為極化週期在表面附近比晶體內部深處可更均勻具有更少缺陷，尤其在所需極化週期短時。例如，可將基諧波及二次諧波聚焦至具有實質上平行於晶體之頂表面而定向之約 $400\text{ }\mu\text{m}$ 之一長軸及實質上垂直於該晶體之該頂表面之約 $100\text{ }\mu\text{m}$ 之一短軸之一橢圓形狀，而非將基諧波及二次諧波聚焦至約 $200\text{ }\mu\text{m}$ 之射束直徑。因為極化晶體之大部分均勻區域可在表面之約 $100\text{ }\mu\text{m}$ 內，所以保持橢圓之短軸至約 $100\text{ }\mu\text{m}$ 或更小可改良轉換效率及晶體壽命。在較佳實施例中，諧波之一者將聚焦至稍大於另一者之一光點，使得該兩個諧波之小的相對位移將對轉換效率產生最小效應。因為更多基諧波功率比二次諧波功率可用，所以比基諧波更緊密地聚焦二次諧波係較佳的。例如，可將基諧波聚焦至約 $400\text{ }\mu\text{m}$ 乘約 $100\text{ }\mu\text{m}$ 之一橢圓，而將二次諧波聚焦至約 $380\text{ }\mu\text{m}$ 乘約 $80\text{ }\mu\text{m}$ 之一橢圓。

用於UV和頻之有效產生之一階準相位匹配(QPM)條件通常具有小於約 $2\text{ }\mu\text{m}$ 之一域週期。一些實施例使用具有長於 $2\text{ }\mu\text{m}$ 之一域週期之和頻產生階段之三階準相位匹配。儘管三階準相位匹配對於一給定晶體長度導致較不有效之轉換，然此較長域週期可對三次諧波產生器模組產生足夠效率，而同時簡化週期性極化之NLO晶體之製造。

圖2B繪示具有用於一有效三次諧波產生之一單晶體之另一個三次諧波產生器模組220。在此實施例中，以一頻率 ω 操作之一基諧波雷射221產生基諧波222。定位一透鏡223以將基諧波222聚焦至用於產生二次諧波及三次諧波之一雙週期極化之NLO晶體224。此一晶體容許透過一級聯準相位匹配相互作用耦合兩個分離光學參數程序(即，倍頻及和頻產生)，藉此容許直接自一超點降晶體樣本產生三次諧波。雙週期及起點降極化之NLO材料之一理論描述可在<http://arxiv.org/abs/1109.2751v1> (2011年)，Antonosyan等人之「Phase-reversed structures in superlattice of nonlinear materials」中找到。一雙週期鉭酸鋰結構之一實例可在Japanese Journal of Applied Physics，第40卷，第6841頁至6844頁(2001年)，Liu等人之「Quasi-Cw Ultraviolet Generation in a Dual-periodic LiTaO₃ Superlattice by Frequency Tripling」中找到。此等研究報告之兩者皆以引用的方式併入本文中。雙週期極化之NLO晶體224對於三次諧波產生可具有比使用串聯之兩個塊狀晶體或週期性極化之晶體之三次諧波產生更高之一效率及更簡單之一光路徑。雙週期極化之NLO晶體224及/或透鏡223之表面可經適當塗佈以用於在頻率之一或多者之高透射。分束器對225(或一稜鏡)可用於分離一經產生之三次諧波(3ω) 226、一未耗盡之二次諧波(2ω) 227及一未耗盡之基諧波(ω) 228。

在一些實施例中，可採用電光效應以操縱耦合波之相位匹配條件及能量分配以提高非線性轉換效率。此可藉由沿著NLO晶體之長度施加一DC電場達成。此可如何提高非線性轉換之一描述可在Applied Optics，第23卷，第4980頁至4984頁(2005年)，Huang等人之「Effect of electro-optic modulation on coupled quasi-phase-matched frequency conversion」中找到，該案以引用的方式併入本文中。

圖2C繪示包含提高用於三次諧波產生之基諧波功率之一諧振腔

之又另一例示性三次諧波產生器模組230。在此實施例中，以一頻率 ω 操作之一基諧波雷射231產生基諧波232。定位一輸入耦合器233 (諸如一曲面鏡)以將基諧波232聚焦至用於二次諧波產生之一第一週期性極化之NLO晶體234。定位一消色差透鏡236 (或一雙合透鏡)以將來自第一週期性極化之NLO晶體234之一經產生之二次諧波(2ω)及一未耗盡之基諧波(ω) 235聚焦至用於和頻產生之一第二週期性極化之NLO晶體237。NLO晶體234、237及/或透鏡236之表面可經適當塗佈以用於在頻率之一或多者之高透射。二次諧波頻率及三次諧波頻率係透過一輸出耦合器238耦合離開腔，該輸出耦合器238係對於基諧波(ω)高度反射且對於二次諧波(2ω)及三次諧波(3ω)高度透射。在一實施例中，輸出耦合器238係藉由一鏡實施。一分束器對239 (或稜鏡)可分離未耗盡之二次諧波(2ω) 240及未耗盡之三次諧波(3ω) 241。在自輸出耦合器238反射之後，殘餘基諧波(ω) 242係在其穿過一稜鏡243、返回至輸入耦合器233及在腔內部循環時經準直。在一實施例中，稜鏡243係附接至用於腔長度回饋控制之一壓電傳感器(PZT；piezo-electric transducer) 244。

在一實施例中，亦可藉由在輸出耦合器238之前增加一分束器以避免複雜塗層及對輸出耦合器238之可能損壞而使二次諧波(2ω)及三次諧波(3ω)光與諧振基諧波(ω)分離。注意，儘管圖2C展示包含輸入耦合器233、輸出耦合器238及稜鏡243之一個三角形腔，然可使用任何形狀之腔，包含一蝴蝶結腔(bow tie cavity)或一矩形腔。

在一實施例中，可由一或多個鏡取代稜鏡243。在另一實施例中，稜鏡243具有呈布魯斯特角(Brewster's angle)或接近於布魯斯特角之其傳入及離開表面，藉此使抗反射塗層不必要的。注意，儘管稜鏡243可針對腔長度控制來回移動，然稜鏡243外之路徑方向未改變。在又另一實施例中，一雙週期極化之NLO晶體可用於腔中，而非兩個週期性極化之NLO晶體，藉此產生一更高效率及一更簡單光路徑，如上

文參考圖2B所闡釋。

圖3繪示包含一蝴蝶結腔之一個四次諧波產生器模組300。在此實施例中，基諧波(ω) 301在進入該蝴蝶結腔之前穿過一或多個模態匹配透鏡302，以將該基諧波301聚焦及耦合至該蝴蝶結腔中。該蝴蝶結腔包含一輸入耦合器303、鏡304、305、306及一NLO晶體309。在一實施例中，輸入耦合器303係藉由一鏡實施。在模組300中，三次諧波(3ω)307透過鏡305（例如，一個二向色曲面鏡(dichroic curved mirror)）進入蝴蝶結腔且在用於和頻產生之NLO晶體309內部與基諧波頻率(ω)重疊。鏡305經適當塗佈以容許三次諧波有效地穿過而同時高效率地反射基諧波。

在一較佳實施例中，NLO晶體309係包括一材料(諸如氫退火硼酸鉍鋰(CLBO)、三硼酸鉍(CBO)、三硼酸鋰(LBO)、四硼酸鋰(LB4)或 β -硼酸鋇(BBO))之一單塊狀晶體。用於NLO晶體309之一單塊狀晶體之優點係在於，將需要一非常短的極化週期以用於在一週期性極化之晶體中產生短波長之四次諧波。在所需品質之情況下製造此等短的極化週期可為困難或昂貴的。NLO晶體309之兩個表面可使用用於三次諧波(3ω)及四次諧波(4ω)之高透射之一適當塗層針對基諧波(ω)布魯斯特切割。

一(或若干)透鏡308使NLO晶體309之中心附近之三次諧波(3ω)聚焦。一分束器310(或稜鏡或二向色鏡)可使四次諧波(4ω) 312及一未耗盡之三次諧波(3ω) 313反射離開腔。該四次諧波312及該三次諧波313係用分束器311(或稜鏡)進一步分離。在此實施例中，未耗盡之基諧波(ω) 314穿過分束器310且在腔內部循環以增建強度。若基諧波(ω) 314足夠強，則自三次諧波光(3ω)至四次諧波(4ω)之轉換效率係非常高。在此實施例中，僅使用以基諧波頻率諧振之腔產生四次諧波頻率。

在一些實施例中，使用其他形狀之腔(諸如一delta形狀或一駐波

腔)，而非具有一蝴蝶結腔。若使用一駐波腔，則在與經注入之三次諧波光相同之方向上產生四次諧波。

使用如上文所描述般產生之二次諧波頻率、三次諧波頻率及四次諧波頻率，可產生一較短波長(諸如對應於基諧波之五次諧波之波長)。較短波長可進一步改良各種檢測應用之解析度。

圖4繪示一例示性五次諧波產生器模組400，該五次諧波產生器模組400經組態以在一蝴蝶結腔中使來自一個四次諧波產生器模組(例如，參見圖3)之四次諧波與基諧波之一未耗盡部分組合以產生五次諧波。模態匹配透鏡402 (或透鏡)將基諧波401聚焦及耦合至該腔中。包含鏡403 (輸入耦合器)、404、405、406之腔以基諧波頻率諧振。三次諧波(3ω) 407穿過鏡405 (例如，一個二向色曲面鏡)且在一第一NLO晶體409中與基諧波頻率(ω)重疊。一透鏡408使NLO晶體409之中心附近之三次諧波(3ω)聚焦。NLO晶體409加總基諧波頻率(ω)及三次諧波(3ω)以產生四次諧波(4ω)。一分束器410反射任何未耗盡之三次諧波(3ω) 411而有效地透射四次諧波(4ω)及一未耗盡之基諧波(ω)。消色差透鏡412 (或雙合透鏡)使一第二NLO晶體413之中心附近之未耗盡之基諧波(ω)及四次諧波(4ω)聚焦以藉由頻率加總產生五次諧波(5ω)。NLO晶體409可包含CLBO、CBO、LBO、LB4、BBO等，而NLO晶體413可包含CLBO、LB4或BBO。分束器414 (或二向色鏡或稜鏡)係用於使基諧波頻率(ω) 418通過及將一經產生之五次諧波(5ω) 417及任何未耗盡之四次諧波(4ω) 416轉移離開腔。一個二向色分束器415 (或稜鏡)進一步分離四次諧波416及五次諧波417。在一些實施例中，可使用一單一分束器(或稜鏡)使基諧波、四次諧波及五次諧波彼此分離。穿過分束器414之未耗盡之基諧波光(ω) 418在蝴蝶結腔內部循環。在此實施例中，僅使用以基諧波頻率諧振之一腔產生五次諧波頻率。

圖5繪示另一例示性五次諧波產生器模組500。在此實施例中，

一NLO晶體509可在使來自一個三次諧波產生器模組(例如, 參見圖2B)之一個三次諧波(3ω) 507與二次諧波(2ω) 513之一未耗盡部分(及/或二次諧波501)組合中執行和頻產生以產生一個五次諧波514。為提高轉換效率, 將一個二次諧波501耦合至包括鏡503 (輸入耦合器)、504、505、506及一NLO晶體509之一諧振腔中。三次諧波(3ω) 507透過鏡505 (例如, 一個二向色曲面鏡)進入該腔且與二次諧波(2ω) 513在NLO晶體509中重疊。鏡505經塗佈以便使三次諧波507有效地通過而有效地反射二次諧波501、513。因此, 此組態係實質上類似於四次諧波產生器模組(例如, 展示於圖3中), 惟該腔針對二次諧波(2ω)而非基諧波頻率(ω)諧振除外。在一實施例中, NLO晶體509包括BBO, 此係因為BBO可對於二次諧波及三次諧波之頻率加總相位匹配。NLO晶體509之兩個表面可針對二次諧波(2ω)布魯斯特切割(Brewster-cut)且可經適當塗佈以用於三次諧波(3ω)及五次諧波(5ω)之高透射。模態匹配透鏡502 (或透鏡)將二次諧波501聚焦及耦合至該腔中。一透鏡(或若干透鏡) 508使NLO晶體509之中心附近之三次諧波(3ω) 507聚焦。一分束器510 (或二向色鏡或稜鏡)使五次諧波(5ω) 514及未耗盡之三次諧波(3ω) 513反射離開腔。可使用另一分束器或稜鏡511使此兩個不同諧波512及514進一步分離。在此實施例中, 可藉由一單稜鏡或分束器使二次諧波、三次諧波及五次諧波彼此分離。

注意, 當五次諧波產生器模組500係與三次諧波產生器模組(諸如200或220)(兩者皆不使用一腔)組合時, 則與先前技術裝置中之至少兩個腔相比僅使用一腔產生五次諧波。當五次諧波產生器模組500係與三次諧波產生器模組230 (其使用一單腔)組合時, 則使用以基諧波頻率諧振之一腔及以二次諧波頻率諧振之一第二腔產生五次諧波。使用兩個諧振腔之先前技術CW雷射僅產生四次諧波。因此, 包含分別以基諧波及二次諧波諧振之兩個腔之實施例具有針對相同數目個腔產生

一較短波長之一優點。

如在先前技術CW雷射中，可使用標準PDH (Pound-Drever-Hall) 或HC (Hänsch-Couillaud)鎖定技術穩定腔。藉由透過一控制信號(未展示)調整一鏡(諸如圖3中之鏡304、圖4中之鏡404或圖5中鏡504)或稜鏡(諸如圖2B中之稜鏡225)之位置而調整腔長度以維持諧振。一PZT、音圈或其他機構可用於調整可移動組件之位置。

熟習此項適當技術者將理解，用於三次諧波產生及隨後和頻產生階段之其他轉換效率改良方法將在本發明之範疇內。

本文中所描述之產生一基諧波IR雷射之四次諧波之改良雷射之實施例不需要以二次諧波頻率諧振之一腔，該腔比以基諧波頻率諧振之一腔更不穩定且更傾向於漂移。在一實施例中，僅以基諧波頻率諧振之一腔係用於產生一基諧波IR雷射之四次諧波。在另一實施例中，兩個諧振腔係用於產生一基諧波IR雷射之四次諧波，但兩個腔僅以基諧波頻率諧振。

本文中所描述之產生一基諧波IR雷射之五次諧波之改良雷射之實施例與使用兩個腔之先前技術裝置相比產生一較短波長。產生一基諧波IR雷射之五次諧波之一第一實施例僅使用以基諧波頻率諧振之一個腔。產生一基諧波IR雷射之五次諧波之一第二實施例使用皆以基諧波頻率諧振之兩個腔。產生一基諧波IR雷射之五次諧波之一第三實施例僅使用以二次諧波頻率諧振之一個腔。產生一基諧波IR雷射之五次諧波之一第四實施例可藉由二次諧波頻率之諧振腔之前使用基諧波頻率之一諧振腔而以五次諧波產生較高功率。

與先前技術裝置相比，改良CW DUV雷射系統將具有較不複雜之回饋迴路(其等具有更佳穩定性)及/或產生對應於一較短波長之一較高頻率。

圖6至圖11繪示可包含本文中所描述之改良DUV CW雷射之例示

性晶圓檢測、光罩或光遮罩檢測及計量學系統。當此等雷射用於一檢測或計量學系統中時，其等可有利地結合2009年9月29日申請之名為「ILLUMINATION SUBSYSTEMS OF A METROLOGY SYSTEM, METROLOGY SYSTEMS, AND METHODS FOR ILLUMINATING A SPECIMEN FOR METROLOGY MEASUREMENTS」之同在申請中之經發表之PCT申請案WO 2010/037106及2011年9月22日申請之名為「ILLUMINATING A SPECIMEN FOR METROLOGY OR INSPECTION」之同在申請中之美國專利申請案第13/073,986號中所揭示之相干性及光斑降低之設備及方法，兩個申請案皆以引用的方式併入本文中。

圖6繪示經組態以量測來自一基板之透射及反射光之一例示性光罩或光遮罩檢測系統600。系統600一般包含一第一光學配置651及一第二光學配置657。如所展示，第一光學配置651包含至少一光源652、檢測光學器件654及參考光學器件656，而該第二光學配置657包含至少透射光光學器件658、透射光偵測器660、反射光光學器件662及反射光偵測器664。在一較佳組態中，光源652包含以上所描述之改良雷射之一者。

光源652經組態以發射穿過一聲光裝置670之一光射束，該聲光裝置670經配置以用於偏轉及聚焦該光射束。聲光裝置670可包含一對聲光元件(例如，一聲光預掃描器及一聲光掃描器)，該對聲光元件使光射束在Y方向上偏轉及使其在Z方向上聚焦。例如，大多數聲光裝置藉由發送一RF信號至石英或一晶體(諸如TeO₂)而操作。此RF信號引起一聲波行進穿過該晶體。由於該行進聲波，該晶體變得不對稱，此引起折射率貫穿該晶體而改變。此變化引起入射射束形成以一振盪方式偏轉之一聚焦行進光點。

當光射束自聲光裝置670射出時，其接著穿過一對四分之一波片

672及一中繼透鏡674。中繼透鏡674經配置以準直該光射束。接著，該經準直之光射束繼續其路徑直至其到達一繞射光柵676。繞射光柵676經配置以外擴(flaring out)該光射束且更特定言之將該光射束分離成三個相異射束，該三個相異射束可在空間上彼此區分(即，空間相異)。在大多數情況中，該等空間相異之射束亦經配置以等距隔開且具有實質上相等之光強度。

在三個射束離開繞射光柵676之後，其等穿過一孔徑680且接著繼續直至其等到達一分束器立方體682。分束器立方體682 (結合四分之一波片672)經配置以將射束分成兩個路徑，即，一路徑向下引導且另一路徑向右引導(在圖6中所展示之組態中)。向下引導之該路徑係用於將該等射束之一第一光部分分配至基板612，而向右引導之該路徑係用於將該等射束之一第二光部分分配至參考光學器件656。在大多數實施例中，將大部分光分配至基板612且將較小百分比之光分配至參考光學器件656，但百分比比率可根據各光學檢測系統之特定設計而改變。在一實施例中，參考光學器件656可包含一參考收集透鏡614及一參考偵測器616。參考收集透鏡614經配置以收集射束之部分且引導射束之該部分於參考偵測器616上，該參考偵測器616經配置以量測光強度。參考光學器件通常在此項技術中為人所熟知且為簡單起見將不會加以詳細論述。

自分束器682向下引導之三個射束係藉由一望遠鏡688接收，該望遠鏡688包含重新引導及擴展光之若干透鏡元件。在一實施例中，望遠鏡688係包含在一轉座上旋轉之複數個望遠鏡之一望遠鏡系統之部分。例如，可使用三個望遠鏡。此等望遠鏡之目的係改變在基板之掃描光點之大小且藉此容許選擇最小可偵測缺陷大小。更特定言之，望遠鏡之各者大體上表示一不同像素大小。就此點而言，一望遠鏡可產生一較大光點大小，從而使檢測更快且更不敏感(例如，低解

析度)，而另一望遠鏡可產生一較小光點大小，從而使檢測更慢且更敏感(例如，高解析度)。

從望遠鏡688觀看，三個射束穿過一物鏡690，該物鏡690經配置以將該等射束聚焦至一基板612之表面上。在該等射束與表面交叉為三個相異光點時，可產生反射光射束及透射光射束兩者。該等透射光射束穿過基板612，而該等反射光射束反射離開該表面。例如，該等反射光射束可反射離開該基板之不透明表面，且該等透射光射束可透射穿過該基板之透明區域。該等透射光射束係藉由透射光光學器件658收集且該等反射光射束係藉由反射光光學器件662收集。

關於透射光光學器件658，透射光射束在穿過基板612之後係藉由一第一透射透鏡696收集且憑藉一球面像差校正器透鏡698聚焦至一透射稜鏡610上。稜鏡610可經組態以具有針對該等透射光射束之各者之一琢面，該等琢面經配置以重新定位及折曲該等透射光射束。在大多數情況中，稜鏡610係用於分離射束使得其等各落在透射光偵測器配置660 (展示為具有三個相異偵測器)中之一單一偵測器上。因此，當射束離開稜鏡610時，其等穿過一第二透射透鏡602，該第二透射透鏡602將分離射束之各者個別地聚焦至三個偵測器之一者上，該三個偵測器之各者經配置以量測透射光之強度。

關於反射光光學器件662，反射光射束在反射離開基板612之後藉由物鏡690收集，接著該物鏡690引導該等射束朝向望遠鏡688。在到達望遠鏡688之前，該等射束亦穿過一四分之一波片604。一般而言，物鏡690及望遠鏡688以相對於如何操縱入射射束光學逆轉之一方式操縱收集射束。即，物鏡690重新準直該等射束且望遠鏡688減小其等大小。當該等射束離開望遠鏡688時，其等繼續(向後)直至其等到達分束器立方體682。分束器682經組態以與四分之一波片604一起運作以引導該等射束至一中心路徑606上。

接著，由一第一反射透鏡608收集在路徑606上繼續之射束，該第一反射透鏡608將該等射束之各者聚焦至一反射稜鏡609上，該反射稜鏡609包含針對該等反射光射束之各者之一琢面。反射稜鏡609經配置以重新定位及折曲反射光射束。類似於透射稜鏡610，反射稜鏡609係用於分離射束，使得其等各落在反射光偵測器配置664中之一單一偵測器上。如所展示，反射光偵測器配置664包含三個個別相異之偵測器。當射束離開反射稜鏡609時，其等穿過一第二反射透鏡611，該第二反射透鏡611將分離射束之各者個別地聚焦至三個偵測器之一者上，該三個偵測器之各者經配置以量測反射光之強度。

存在可由前述光學總成促進之多個檢測模式。例如，光學總成可促進一透射光檢測模式、一反射光檢測模式及一同時檢測模式。關於透射光檢測模式，透射模式偵測通常用於基板(諸如具有透明區域及不透明區域之習知光學遮罩)上之缺陷偵測。在光射束掃描遮罩(或基板612)時，光在透明點處穿透該遮罩且由透射光偵測器660偵測，該等透射光偵測器660係定位於該遮罩後，且量測由包含第一透射透鏡696、第二透射透鏡602、球面像差透鏡698及稜鏡610之透射光光學器件658收集之光射束之各者的強度。

關於反射光檢測模式，可對含有呈鉻、顯影光阻劑或其他特徵之形式之影像資訊的透明或不透明基板執行反射光檢測。藉由基板612反射之光沿著與檢測光學器件654相同之光學路徑向後穿過，但接著由一偏光分束器682轉移至偵測器664中。更特定言之，第一反射透鏡608、稜鏡609及第二反射透鏡611將來自經轉移光射束之光投射至偵測器664上。反射光檢測亦可用於偵測不透明基板表面之頂部上的污染。

關於同時檢測模式，利用透射光及反射光兩者以判定一缺陷之存在及/或類型。系統之兩個經量測值係如藉由透射光偵測器660感測

之透射穿過基板612之光射束之強度及如藉由反射光偵測器664偵測之反射光射束之強度。接著，可處理該兩個量測值以判定在基板612之一對應點處之缺陷(若有)之類型。

更特定言之，同時透射及反射偵測可揭示藉由透射偵測器感測之一不透明缺陷之存在，而反射偵測器之輸出可用於揭示缺陷之類型。舉一實例，一基板上之一銻點或一顆粒皆可導致來自透射偵測器之一低透射光指示，但一反射銻缺陷可導致來自反射光偵測器之一高反射光指示，且一顆粒可導致來自相同反射光偵測器之一較低反射光指示。因此，藉由使用反射及透射偵測兩者，吾人可定位銻幾何結構之頂部上之一顆粒，若僅檢查缺陷之反射特性或透射特性則不能完成此定位。此外，吾人可判定特定類型缺陷之訊符，諸如其等反射光強度與透射光強度之比率。接著，可使用此資訊以自動分類缺陷。

2008年4月1日發佈之名為「MULTIPLE BEAM INSPECTION APPARATUS」且以引用的方式併入本文中之美國專利第7,352,457號描述關於系統600之更多細節。對於關於可使用本發明之發明雷射之光罩或光遮罩檢測系統之更多細節亦參見美國專利第5,563,702號，該案以引用的方式併入本文中。利用本發明之改良雷射之光罩或光遮罩檢測系統可在一單一偵測器上同時偵測來自光罩或光遮罩之反射及透射影像，如美國專利第7,528,943號中所描述，該案以引用的方式併入本文中。

圖7繪示包含具有不同波長或波長範圍之多個光源之一例示性檢測系統700，其中具有針對不同波長範圍最佳化之不同物鏡。在系統700中，來自一雷射源701之照明係發送至照明子系統之多個區段。該照明子系統之一第一區段包含元件702a至706a。透鏡702a聚焦來自雷射701之光。接著，來自透鏡702a之光自鏡703a反射。為圖解目的，鏡703a放置於此部位處且可定位於別處。接著，藉由透鏡704a收集來

自鏡703a之光，該透鏡704a形成照明光瞳平面705a。可取決於檢測模式之要求將一孔徑、濾光器或修改光之其他裝置放置於光瞳平面705a中。接著，來自光瞳平面705a之光穿過透鏡706a且形成照明場平面707。

照明子系統之一第二區段包含元件702b至706b。透鏡702b聚焦來自雷射701之光。接著，來自透鏡702b之光自鏡703b反射。接著，藉由形成照明光瞳平面705b之透鏡704b收集來自鏡703b之光。可取決於檢測模式之要求將一孔徑、濾光器或修改光之其他裝置放置於光瞳平面705b中。接著，來自光瞳平面705b之光穿過透鏡706b且形成照明場平面707。接著，藉由鏡或反射表面重新引導來自該第二區段之光使得照明場平面707處之照明場光能包括經組合照明區段。

接著，場平面光在反射離開一分束器710之前藉由透鏡709收集。透鏡706a及709在物鏡光瞳平面711處形成第一照明光瞳平面705a之一影像。同樣地，透鏡706b及709在物鏡光瞳平面711處形成第二照明光瞳平面705b之一影像。接著，一物鏡712 (或替代性地713)獲取光瞳光且在樣本714處形成照明場707之一影像。物鏡712或物鏡713可緊鄰樣本714而定位。樣本714可在一載台(未展示)上移動，該載台將該樣本定位於所要部位中。藉由高NA反射折射物鏡712或物鏡713收集自樣本714反射及散射之光。在物鏡光瞳平面711處形成一反射光光瞳之後，光能在成像子系統中形成一內場716之前通過分束器710及透鏡715。此內成像場係樣本714及相應照明場707之一影像。此場可在空間上分離成對應於照明場之多個場。此等場之各者可支援一單獨成像模式。

可使用鏡717重新引導此等場之一者。接著，經重新引導之光在形成另一成像光瞳719b之前穿過透鏡718b。此成像光瞳係光瞳711及相應照明光瞳705b之一影像。可取決於檢測模式之要求將一孔徑、濾

光器或修改光之其他裝置放置於光瞳平面719b中。接著，來自光瞳平面719b之光穿過透鏡720b且在感測器721b上形成一影像。以一類似方式，經過鏡或反射表面717之光係藉由透鏡718a收集且形成成像光瞳719a。接著，來自成像光瞳719a之光在偵測器721a上形成一影像之前藉由透鏡720a收集。成像於偵測器721a上之光可用於不同於成像於感測器721b上之光之一成像模式。

系統700中採用之照明子系統係由雷射源701、收集光學器件702a、702b、703a、703b、704a及704b、緊鄰一光瞳平面705a及705b放置之射束塑形組件及中繼光學器件706a及706b及709組成。一內場平面707係定位於透鏡706a及706b與透鏡709之間。在一組態中，雷射源701可包含以上描述之改良雷射之一者。

關於雷射源701，雖然繪示為具有兩個透射點或透射角之一單一均勻區塊，但實際上此表示能夠提供兩個照明通道(例如，穿過元件702a至706a之光能(諸如一第一頻率之雷射光能)之一第一通道及穿過元件702b至706b之光能(諸如一第二頻率之雷射光能)之一第二通道)之一雷射源。可採用不同光照明模式，諸如在一通道中採用明場照明及在另一通道中採用一暗場模式。

雖然來自雷射源701之光能係展示為以90度間隔發射且元件702a至706a及元件702b至706b係定向成90度角，但實際上可以各種定向(不一定係二維)發射光，且該等組件可不同於所展示般進行定向。因此，圖7僅係所採用之組件之一表示且所展示之角度或距離並未按比例繪製亦非經設計特定要求。

可在使用孔徑塑形之概念之當前系統中採用緊鄰光瞳平面705a及705b放置之元件。使用此設計，可實現均勻照明或近似均勻照明以及個別點照明、環狀照明、四極照明或其他所需圖案。

可在一般成像子系統中採用針對物鏡之各種實施方案。可使用一單一固定物鏡。該單一物鏡可支援全部所要成像及檢測模式。若成

像系統支援一相對較大之場大小及相對較高之數值孔徑，則可達成此一設計。可藉由使用放置於光瞳平面705a、705b、719a及719b處之內孔徑而將數值孔徑減小至一所要值。

亦可如圖7中所展示般使用多個物鏡。例如，儘管展示兩個物鏡712及713，然任何數目個物鏡係可行的。可針對藉由雷射源701產生之各波長最佳化此一設計中之各物鏡。此等物鏡712及713可具有固定位置或移動至緊鄰樣本714之位置中。為移動多個物鏡而緊鄰該樣本，可如標準顯微鏡上常見般使用旋轉轉座。可使用用於在一樣本附近移動物鏡之其他設計，該等設計包含(但不限於)在一載台上橫向平移該等物鏡及使用一測角器在一弧上平移該等物鏡。此外，可根據本系統達成固定物鏡及一轉座上之多個物鏡之任何組合。

此組態之最大數值孔徑可接近或超過0.97，但可在某些例項中較高。此高NA反射折射成像系統可能具有之廣泛範圍之照明及收集角結合其大的場大小容許該系統同時支援多個檢測模式。如可從前文段落瞭解，可使用一單一光學系統或結合照明裝置之機器實施多個成像模式。所揭示之用於照明及收集之高NA允許使用相同光學系統實施成像模式，藉此容許最佳化對於不同類型之缺陷或樣本之成像。

成像子系統亦包含中間影像形成光學器件715。該影像形成光學器件715之目的係形成樣本714之一內影像716。在此內影像716處，可放置一鏡717以重新引導對應於檢測模式之一者之光。可重新引導在此部位處之光，此係因為用於成像模式之該光在空間上分離。可以若干不同形式(包含一可變焦距變焦鏡頭(varifocal zoom)、具有聚焦光學器件之多個遠焦管透鏡或多個影像形成磁管(mag tube))實施影像形成光學器件718 (718a及718b)及720 (720a及720b)。2009年7月16日發表之名為「SPLIT FIELD INSPECTION SYSTEM USING SMALL CATADIOPTIC OBJECTIVES」且以引用的方式併入本文中之美國公

開申請案第2009/0180176號更詳細地描述檢測系統700。

圖8繪示具有暗場及明場檢測模式之一例示性反射折射成像系統800。在系統800中，照明區塊包含一雷射801、用以控制經檢測表面上之照明射束大小及輪廓之適應性光學器件802、在一機械殼體804中之一孔徑及窗803以及沿著光軸以法線入射重新引導雷射至一樣本808之表面之一稜鏡805。稜鏡805亦沿著光學路徑引導來自樣本808之表面特徵之鏡面反射及來自一物鏡806之光學表面之反射至一影像平面809。可提供呈一反射折射物鏡、一聚焦透鏡群組及一變焦管透鏡區段807之一般形式之用於物鏡806之透鏡。在一較佳實施例中，可藉由以上描述之改良雷射之一者實施雷射801。圖8係在2007年1月4日發表之名為「Beam delivery system for laser dark-field illumination in a catadioptric optical system」且以引用的方式併入本文中之美國公開申請案第2007/0002465號中進一步詳細描述。

圖9A及圖9B繪示使用斜線照明之一暗場檢測系統。此檢測系統如所展示般可具有包含離軸及近法線收集之2個或3個不同收集系統。此暗場檢測系統亦可包含法線入射線照明(未展示)。包含圖9A及圖9B中所展示之系統之一解釋之更多細節係在2009年4月28日發佈之名為「Surface inspection system using laser line illumination with two dimensional imaging」且以引用的方式併入本文中之美國專利第7,525,649號中進一步詳細描述。

圖9A繪示用於檢測表面911之區域之包含照明系統901及收集系統910之一表面檢測設備900。如圖9A中所展示，一雷射系統920引導一光射束902穿過射束塑形光學器件903。在一較佳實施例中，該雷射系統920包含以上描述之雷射之一者。第一射束塑形光學器件903可經組態以自該雷射系統接收一射束，該射束經聚焦至表面911上。

定向射束塑形光學器件903使得其主平面實質上平行於一樣本表

面911，且因此照明線905係形成於表面911上於射束塑形光學器件903之焦平面中。此外，以一非正交入射角將光射束902及聚焦射束904引導至表面911。特定言之，可以與一法線方向成約 1° 與約 85° 之間之一角度將光射束902及聚焦射束904引導至表面911。以此方式，照明線905係實質上在聚焦射束904之入射平面中。

收集系統910包含用於收集自照明線905散射之光之透鏡912及用於將從透鏡912出來之光聚焦至包括一光敏感偵測器陣列之一裝置(諸如電荷耦合裝置(CCD) 914)上之透鏡913。在一實施例中，CCD 914可包含一線性偵測器陣列。在此等情況中，CCD 914內之該線性偵測器陣列可平行於照明線905而定向。在一實施例中，可包含多個收集系統，其中該等收集系統之各者包含類似組件但在定向上不同。

例如，圖9B繪示用於一表面檢測設備(其中為簡單起見未展示其照明系統，例如，類似於照明系統901)之收集系統931、932及933之一例示性陣列。收集系統931中之第一光學器件收集自樣本911之表面沿著一第一方向散射之光。收集系統932中之第二光學器件收集自樣本911之表面沿著一第二方向散射之光。收集系統933中之第三光學器件收集自樣本911之表面沿著一第三方向散射之光。注意，第一、第二及第三路徑係與樣本911之該表面成不同反射角。支撐樣本911之一平台921可用於引起光學器件與樣本911之間之相對運動使得可掃描樣本911之整個表面。

亦可在用於未圖案化晶圓之檢測系統(諸如圖10及圖11中所展示之該等檢測系統)中使用此雷射。此一檢測系統可如此等圖式中所展示般併入斜及/或法線入射照明及對於散射光之一較大收集立體角。

圖10繪示可用於檢測一表面1001上之異常之一表面檢測系統1000。在此實施例中，可藉由包括由以上描述之改良雷射之一者產生之一雷射射束之一雷射系統1030之一實質上固定照明裝置部分照明表

面1001。雷射系統1030之輸出可連續地穿過偏光光學器件1021、一射束擴展器及孔徑1022及射束形成光學器件1023以擴展及聚焦該射束。

接著，藉由一射束折疊組件1003及一射束偏轉器1004反射所得聚焦雷射射束1002以將射束1005引導朝向表面1001以用於照明該表面。在較佳實施例中，射束1005係實質上法向或垂直於表面1001，儘管在其他實施例中射束1005可與表面1001成一斜角。

在一實施例中，射束1005實質上垂直或法向於表面1001且射束偏轉器1004使來自表面1001之射束之鏡面反射朝向射束轉向組件1003反射，藉此用作防止該鏡面反射到達偵測器之一屏蔽。該鏡面反射之方向係沿著線SR，該線SR係法向於樣本之表面1001。在其中射束1005法向於表面1001之一實施例中，此線SR與照明射束1005之方向重合，其中此共同參考線或方向係在本文中稱為檢測系統1000之軸。在射束1005係與表面1001成一斜角之情況下，鏡面反射之方向SR將不會與射束1005之傳入方向重合；在此例項中，指示表面法線之方向之線SR係稱為檢測系統1000之收集部分之主軸。

藉由小顆粒散射之光係藉由鏡1006收集且引導朝向孔徑1007及偵測器1008。藉由大顆粒散射之光係藉由透鏡1009收集且引導朝向孔徑1010及偵測器1011。注意，一些大顆粒將散射亦經收集及引導至偵測器1008之光，且類似地一些小顆粒將散射亦經收集及引導至偵測器1011之光，但此光與各自偵測器經設計以偵測之散射光之強度相比較具有相對較低之強度。在一實施例中，偵測器1011可包含一光敏感元件陣列，其中該光敏感元件陣列之各光敏感元件經組態以偵測照明線之一放大影像之一對應部分。在一實施例中，檢測系統可經組態以用於偵測未圖案化晶圓上之缺陷。圖10係在2001年8月7日發佈之名為「**Process and assembly for non-destructive surface inspection**」且以引用的方式併入本文中之美國專利第6,271,916號中進一步詳細描述。

圖11繪示經組態以使用法線照明射束及斜照明射束兩者實施異常偵測之一檢測系統1100。在此組態中，包含以上描述之改良雷射之一者之一雷射系統1130可提供一雷射射束1101。一透鏡1102使該射束1101聚焦穿過一空間濾光器1103且透鏡1104準直該射束及將該射束傳送至一偏光分束器1105。分束器1105將一第一偏光分量傳遞至法線照明通道及將一第二偏光分量傳遞至斜照明通道，其中該等第一及第二分量係正交的。在該法線照明通道1106中，該第一偏光分量係藉由光學器件1107聚焦且藉由鏡1108反射朝向一樣本1109之一表面。藉由樣本1109散射之輻射係藉由一拋物面鏡1110收集且聚焦至一光電倍增管或偵測器1111。

在斜照明通道1112中，第二偏光分量係藉由分束器1105反射至一鏡1113（該鏡1113使此射束反射穿過一半波片1114）且藉由光學器件1115聚焦至樣本1109。源自該斜通道1112中之斜照明射束且藉由樣本1109散射之輻射亦藉由拋物面鏡1110收集且聚焦至偵測器1111。在一些實施例中，偵測器1111包括一光電倍增管、一突崩偵測器、一線性陣列偵測器、一電子撞擊線性陣列偵測器及一影像強化線性陣列偵測器之一者。注意，偵測器1111在其入口處具有一孔徑。該孔徑及照明光點或線（來自表面1109上之法線照明通道及斜照明通道）係較佳處於拋物面鏡1110之焦點處。

拋物面鏡1110將來自樣本1109之散射輻射準直成一準直射束1116。接著，準直射束1116係藉由一物鏡1117聚焦且穿過一檢偏鏡1118而至偵測器1111。注意，亦可使用具有除拋物面形狀以外之形狀之曲面鏡表面。一儀器1120可提供射束與樣本1109之間之相對運動使得跨樣本1109之表面掃描該等射束。類似於圖11中所展示之檢測系統之檢測系統係在2001年3月13日發佈之名為「Sample inspection system」且以引用的方式併入本文中之美國專利第6,201,601號中進一

步詳細描述。

上文所描述之本發明之結構及方法之各種實施例係僅繪示本發明之原理且不應意欲將本發明之範疇限於所描述之特定實施例。例如，不需要將基諧波雷射限於上文所列出之特定雷射類型。除了上文基諧波雷射類型之外，基諧波雷射亦可包含一個二極體雷射、一光纖雷射、一摻釹鈮鋰氟化物雷射或產生對應於約1 μm與約1.1 μm之間之一波長之一基諧波頻率之任何種類之雷射。除了上文所列出之該等NLO晶體以外之其他類型之NLO晶體可在諧波產生器模組之一或多者中經取代。上文所描述之一些諧波產生器模組包含一諧振腔。可使用此項技術中已知之任何類型之光學諧振腔，包含包括兩個、三個或四個鏡或稜鏡之該等光學諧振腔。透鏡、稜鏡、分束器或其他光學器件組件之任一者可包括布魯斯特角光學器件(諸如2014年4月29日頒予Armstrong之名為「High damage threshold frequency conversion system」之美國專利第8,711,460號中所描述之該等光學器件，該案以引用的方式併入本文中)。因此，本發明係僅藉由以下申請專利範圍及其等之等效物予以限制。

【符號說明】

100	深紫外光(UV)連續波(CW)雷射/雷射
101	基諧波雷射
103	調變器
104	振盪器
105	光電二極體
106	同步偵測器
107	致動器控制信號
110	鏡/輸入鏡
111	鏡

112	鏡
113	鏡
115	非線性光學(NLO)晶體/晶體
123	調變器/第二調變器
124	振盪器
125	光電二極體
126	同步偵測器
127	致動器控制信號/控制信號
130	鏡/輸入鏡
131	鏡
132	鏡
133	鏡
135	非線性光學(NLO)晶體/晶體
200	三次諧波產生器模組
201	基諧波雷射
202	基諧波
203	透鏡
204	第一週期性極化之非線性光學(NLO)晶體/非線性光學(NLO)晶體
205	未耗盡之基諧波(ω)及經產生之二次諧波(2ω)
206	消色差透鏡/透鏡
207	第二週期性極化之非線性光學(NLO)晶體/非線性光學(NLO)晶體
208	分束器對
209	經產生之三次諧波(3ω)
210	未耗盡之二次諧波(2ω)

211	未耗盡之基諧波(ω)
220	三次諧波產生器模組
221	基諧波雷射
222	基諧波
223	透鏡
224	雙週期極化之非線性光學(NLO)晶體
225	分束器對/稜鏡
226	經產生之三次諧波(3ω)
227	未耗盡之二次諧波(2ω)
228	未耗盡之基諧波(ω)
230	三次諧波產生器模組
231	基諧波雷射
232	基諧波
233	輸入耦合器
234	第一週期性極化之非線性光學(NLO)晶體/非線性光學(NLO)晶體
235	經產生之二次諧波(2ω)及未耗盡之基諧波(ω)
236	消色差透鏡/透鏡
237	第二週期性極化之非線性光學(NLO)晶體/非線性光學(NLO)晶體
238	輸出耦合器
239	分束器對
240	未耗盡之二次諧波(2ω)
241	未耗盡之三次諧波(3ω)
242	殘餘基諧波(ω)
243	稜鏡

244	壓電傳感器(PZT)
300	四次諧波產生器模組/模組
301	基諧波(ω)
302	模態匹配透鏡
303	輸入耦合器
304	鏡
305	鏡
306	鏡
308	透鏡
309	非線性光學(NLO)晶體
310	分束器
311	分束器
312	四次諧波(4ω)
313	未耗盡之三次諧波(3ω)/三次諧波
314	未耗盡之基諧波(ω)/基諧波(ω)
400	五次諧波產生器模組
401	基諧波
402	模態匹配透鏡
403	鏡
404	鏡
405	鏡
406	鏡
407	三次諧波(3ω)
408	透鏡
409	第一非線性光學(NLO)晶體/非線性光學(NLO)晶體
410	分束器

411	未耗盡之三次諧波(3ω)
412	消色差透鏡
413	第二非線性光學(NLO)晶體/非線性光學(NLO)晶體
414	分束器
415	二向色分束器
416	未耗盡之四次諧波(4ω)/四次諧波
417	經產生之五次諧波(5ω)/五次諧波
418	基諧波頻率(ω)/未耗盡之基諧波光(ω)
500	五次諧波產生器模組
501	二次諧波
502	模態匹配透鏡
503	鏡(輸入耦合器)
504	鏡
505	鏡
506	鏡
507	三次諧波(3ω)
508	透鏡
509	非線性光學(NLO)晶體
510	分束器
511	分束器或稜鏡
512	諧波
513	二次諧波(2ω)/未耗盡之三次諧波(3ω)
514	五次諧波(5ω)/諧波
600	光罩或光遮罩檢測系統/系統
602	第二透射透鏡
604	四分之一波片

606	中心路徑/路徑
608	第一反射透鏡
609	反射稜鏡/稜鏡
610	透射稜鏡/稜鏡
611	第二反射透鏡
612	基板
614	參考收集透鏡
616	參考偵測器
651	第一光學配置
652	光源
654	檢測光學器件
656	參考光學器件
657	第二光學配置
658	透射光光學器件
660	透射光偵測器/透射光偵測器配置
662	反射光光學器件
664	反射光偵測器/反射光偵測器配置/偵測器
670	聲光裝置
672	四分之一波片
674	中繼透鏡
676	繞射光柵
680	孔徑
682	分束器立方體/分束器/偏光分束器
688	望遠鏡
690	物鏡
696	第一透射透鏡

698	球面像差校正器透鏡/球面像差透鏡
700	檢測系統/系統
701	雷射源/雷射
702a	元件/透鏡
702b	元件/透鏡
703a	元件/鏡
703b	元件/鏡
704a	元件/透鏡
704b	元件/透鏡
705a	元件/照明光瞳平面/光瞳平面/第一照明光瞳平面
705b	元件/照明光瞳平面/光瞳平面/第二照明光瞳平面/照明光瞳
706a	元件/透鏡
706b	元件/透鏡
707	照明場平面/照明場/內場平面
709	透鏡/中繼光學器件
710	分束器
711	物鏡光瞳平面/光瞳
712	物鏡/高NA反射折射物鏡
713	物鏡
714	樣本
715	透鏡/中間影像形成光學器件/影像形成光學器件
716	內場/內影像
717	鏡/鏡或反射表面
718a	透鏡/影像形成光學器件
718b	透鏡/影像形成光學器件

719a	成像光瞳/光瞳平面
719b	成像光瞳/光瞳平面
720a	透鏡/影像形成光學器件
720b	透鏡/影像形成光學器件
721a	偵測器
721b	感測器
800	反射折射成像系統/系統
801	雷射
802	適應性光學器件
803	孔徑及窗
804	機械殼體
805	稜鏡
806	物鏡
807	變焦管透鏡區段
808	樣本
809	影像平面
900	表面檢測設備
901	照明系統
902	光射束
903	射束塑形光學器件/第一射束塑形光學器件
904	聚焦射束
905	照明線
910	收集系統
911	表面/樣本表面/樣本
912	透鏡
913	透鏡

914	電荷耦合裝置(CCD)
920	雷射系統
921	平台
931	收集系統
932	收集系統
933	收集系統
1000	表面檢測系統/檢測系統
1001	表面
1002	所得聚焦雷射射束
1003	射束折疊組件/射束轉向組件
1004	射束偏轉器
1005	射束/照明射束
1006	鏡
1007	孔徑
1008	偵測器
1009	透鏡
1010	孔徑
1011	偵測器
1021	偏光光學器件
1022	射束擴展器及孔徑
1023	射束形成光學器件
1030	雷射系統
1100	檢測系統
1101	雷射射束/射束
1102	透鏡
1103	空間濾光器

1104	透鏡
1105	偏光分束器/分束器
1106	法線照明通道
1107	光學器件
1108	鏡
1109	樣本
1110	拋物面鏡
1111	光電倍增管或偵測器/偵測器
1112	斜照明通道/斜通道
1113	鏡
1114	半波片
1115	光學器件
1116	準直射束
1117	物鏡
1118	檢偏鏡
1120	儀器
1130	雷射系統
f1	頻率
f2	頻率
SR	線/鏡面反射之方向
ω	頻率/未耗盡之基諧波/基諧波/諧振基諧波/基諧波頻率
2ω	二次諧波
3ω	三次諧波/三次諧波光
4ω	四次諧波
5ω	五次諧波



公告本

發明摘要

申請日：

IPC分類：

※ 申請案號：103120220

※ 申請日：103年6月11日

G02F 1/35 (2006.01)※IPC 分類：**G02F 1/37** (2006.01)**H01S 3/109** (2006.01)

【發明名稱】

深紫外光連續波雷射及產生深紫外光連續波雷射輻射之方法

DEEP ULTRA-VIOLET (DUV) CONTINUOUS WAVE (CW)

LASER AND METHOD OF GENERATING DUV CW LASER

RADIATION

【中文】

一種深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射，其包含：一基諧波CW雷射，其經組態以產生具有在約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻率；一個三次諧波產生器模組，其包含產生一個三次諧波及一選用二次諧波之一或多個週期性極化之非線性光學(NLO)晶體；及一個四次諧波產生器模組及一個五次諧波產生器中之一者。該四次諧波產生器模組包含經組態以使基諧波頻率與三次諧波組合以產生一個四次諧波之以該基諧波頻率諧振之一腔。該四次諧波產生器模組包含用於使基諧波頻率與三次諧波組合以產生一個五次諧波之以該基諧波頻率諧振之一腔，或用於使二次諧波與該三次諧波組合以產生該五次諧波之以該二次諧波頻率諧振之一腔。

【英文】

A deep ultra-violet (DUV) continuous wave (CW) laser includes a fundamental CW laser configured to generate a fundamental frequency with a corresponding wavelength between about 1 μm and 1.1 μm , a third harmonic generator module including one or more periodically poled non-linear optical (NLO) crystals that generate a third harmonic and an optional second harmonic, and one of a fourth harmonic generator module and a fifth harmonic generator. The fourth harmonic generator module includes a cavity resonant at the fundamental frequency configured to combine the fundamental frequency with the third harmonic to generate a fourth harmonic. The fourth harmonic generator module includes either a cavity resonant at the fundamental frequency for combining the fundamental frequency with the third harmonic to generate a fifth harmonic, or a cavity resonant at the second harmonic frequency for combining the second harmonic and the third harmonic to generate the fifth harmonic.

申請專利範圍

1. 一種深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射，其包括：

一基諧波CW雷射，其經組態以產生具有在約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻率；

一個三次諧波產生器模組，其包含至少一週期性極化之第一非線性光學(NLO)晶體，該三次諧波產生器模組經定位以接收該基諧波頻率之一第一部分且經組態以產生一個三次諧波；及

一個四次諧波產生器模組，其包括：

複數個鏡，該複數個鏡經組態以形成以該基諧波頻率之該對應波長諧振之一腔；

一耦合器，其經組態以在該腔中耦合該基諧波頻率之一第二部分，使得該第二部分被引導沿著由該複數個鏡界定之一腔光學路徑；

一第二NLO晶體，其設置於該腔光學路徑中；

一或多個透鏡，該一或多個透鏡經組態以將該三次諧波聚焦於該第二NLO晶體內，使得該三次諧波與該第二NLO晶體內之該第二基諧波部分重疊，其中該第二NLO晶體經組態以使該基諧波頻率之該第二部分與該三次諧波組合以產生一個四次諧波；及

一分束器，其經組態以將離開該第二NLO晶體之該三次諧波之一未耗盡部分反射遠離該腔光學路徑，使得該未耗盡三次諧波部分不在該腔中再循環。

2. 如請求項1之雷射，其中該三次諧波產生器模組不使用一諧振腔。

3. 如請求項1之雷射，其中該三次諧波產生器模組進一步包括以該基諧波頻率諧振之一腔。

4. 如請求項1之雷射，其中該至少一週期性極化之第一NLO晶體產生一個二次諧波。
5. 如請求項1之雷射，其中該至少一週期性極化之第一NLO晶體產生該三次諧波。
6. 如請求項1之雷射，其中該至少一週期性極化之第一NLO晶體包括用於直接產生該三次諧波之一雙週期極化之晶體。
7. 如請求項1之雷射，其中該三次諧波產生器模組包括兩個週期性極化之NLO晶體。
8. 如請求項1之雷射，其中該至少一週期性極化之第一NLO晶體係在溫度上受到控制，以最大化三次諧波產生效率。
9. 如請求項1之雷射，其中該基諧波頻率係聚焦至具有實質上平行於該至少一週期性極化之第一NLO晶體之一極化深度之一短軸之一橢圓射束。
10. 如請求項1之雷射，其中該三次諧波產生器模組使用具有長於 $2\text{ }\mu\text{m}$ 之一域週期之一週期性極化之第一NLO晶體，以達成用於該三次諧波之和頻產生的三階準相位匹配。
11. 如請求項1之雷射，其中使用電光調變以提高三次諧波轉換效率。
12. 一種產生深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射輻射之方法，其包括：

產生具有約 $1\text{ }\mu\text{m}$ 與 $1.1\text{ }\mu\text{m}$ 之間之一對應波長之一基諧波頻率；

使用一週期性極化之第一NLO晶體將該基諧波頻率之一第一部分轉換至一個二次諧波；

使該基諧波頻率之另一部分與該二次諧波組合，以產生一個三次諧波；

藉由在以該基諧波頻率之該對應波長諧振之一腔中使該基諧波頻率之一第二部分與該三次諧波組合而產生一個四次諧波，其中該產生該四次諧波包括將該三次諧波聚焦於一第二NLO晶體內，該第二NLO晶體可操作地設置於該腔中且經組態以執行該基諧波頻率之該第二部分及該三次諧波之和頻產生；及

反射離開該第二NLO晶體之該三次諧波之一未耗盡部分使得該未耗盡三次諧波部分不在該腔中再循環。

13. 如請求項12之方法，其中未將用於二次諧波產生之該週期性極化之第一NLO晶體放置於任何諧振腔中。
14. 如請求項12之方法，其中在以該基諧波頻率諧振之另一腔中含有用於二次諧波產生之該第一NLO晶體及用於三次諧波產生之另一週期性極化之NLO晶體。
15. 如請求項12之方法，其中使用一雙週期極化之晶體來產生該二次諧波及該三次諧波。
16. 如請求項12之方法，其中使用兩個週期性極化之NLO晶體來產生該二次諧波及該三次諧波。
17. 如請求項12之方法，其中用於二次諧波產生之該週期性極化之第一NLO晶體包含LiNbO₃、SLT、LiTaO₃、KTP、KTA、MgO:LiNbO₃及MgO:SLT中之至少一者。
18. 如請求項12之方法，其中該至少一週期性極化之第一NLO晶體係在溫度上受到控制，以最大化三次諧波產生效率。
19. 如請求項12之方法，其中該基諧波頻率係聚焦至具有實質上平行於該週期性極化之第一NLO晶體之一極化深度之一短軸之一橢圓射束。
20. 如請求項12之方法，其中該三次諧波之該產生使用具有長於2 μm 之一域週期之一週期性極化之晶體，以達成三階準相位匹配。

21. 如請求項12之方法，其中使用電光調變以提高該三次諧波轉換效率。
22. 如請求項12之方法，其中該產生該四次諧波進一步包括將該三次諧波聚焦於包括氬退火CLBO、CBO、LBO、LB4或BBO之一單塊狀晶體內。
23. 一種深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射，其包括：
 - 一基諧波CW雷射，其經組態以產生具有在約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻率；
 - 一個三次諧波產生器模組，其經組態以使用該基諧波頻率之一第一部分來產生一個三次諧波；及
 - 一個五次諧波產生器模組，其包括：
 - 複數個光學元件，其形成以該基諧波頻率之該對應波長諧振之一腔，該複數個光學元件經組態以在該腔中可操作地耦合該三次諧波與該基諧波頻率之一第二部分，及
 - 第一及第二NLO晶體，其可操作地設置於該腔中，且共同地經組態以藉由將該第二基諧波頻率部分與該三次諧波結合來產生一個五次諧波。
24. 如請求項23之雷射，
 - 其中形成該腔之該複數個光學元件之一第一光學元件包括一輸入耦合器，且
 - 其中該五次諧波產生器模組進一步包括模態匹配透鏡，該等模態匹配透鏡經組態以藉由該輸入耦合器在該腔中聚焦及耦合該第二基諧波頻率部分。
25. 如請求項23之雷射，
 - 其中該複數個光學元件中之一第二光學元件包括一二向色曲面鏡(dichromatic curved mirror)，該二向色曲面鏡經組態以沿著

腔光學路徑(cavity light path)反射該第二基諧波頻率部分，且將該三次諧波傳入該腔中，使得該三次諧波與該第二基諧波頻率部分在該第一NLO晶體中重疊，且

其中該五次諧波產生器模組進一步包括一或多個第一透鏡，該一或多個第一透鏡經組態以將該三次諧波聚焦於該第一NLO晶體內。

26. 如請求項23之雷射，其中該第一NLO晶體經組態以藉由加總該第二基諧波頻率部分與該三次諧波來產生一四次諧波。
27. 如請求項23之雷射，其中該第一NLO晶體包括CLBO、CBO、LBO、LB4及BBO中之一者。
28. 如請求項23之雷射，其中該五次諧波產生器模組進一步包括一第一分束器，該第一分束器可操作地設置於腔光學路徑中且經組態以將穿過該第一NLO晶體之任何未耗盡的三次諧波轉移(divert)離開該腔。
29. 如請求項26之雷射，其中該五次諧波產生器模組進一步包括一或多個第二透鏡，該一或多個第二透鏡設置於該第一NLO晶體與該第二NLO晶體之間的腔光學路徑中，且經組態以將該第二基諧波頻率部分之一未耗盡部分及該四次諧波聚焦於該第二NLO晶體內，使得該五次諧波由該未耗盡之基諧波頻率部分及該四次諧波之頻率加總所產生。
30. 如請求項29之雷射，其中該一或多個第二透鏡包括一或多個消色差透鏡(achromatic lenses)。
31. 如請求項23之雷射，其中該第二NLO晶體包括CLBO、LB4及BBO中之一者。
32. 如請求項23之雷射，其中該五次諧波產生器模組進一步包括一第二分束器，該第二分束器經組態以沿著腔光學路徑傳輸已穿

過該第二NLO晶體之該基諧波頻率之一第二未耗盡部分，且經組態以將該五次諧波及該四次諧波之任何未耗盡部分轉移(divert)離開該腔。

33. 一種深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射，其包括：

- 一基諧波CW雷射，其經組態以產生具有在約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻率；

- 一個三次諧波產生器模組，其經組態以使用該基諧波頻率之一第一部分來產生一個三次諧波；及

- 一個五次諧波產生器模組，其包括：

 - 複數個光學元件，其經組態以形成一腔，該腔具有一蝴蝶結腔光學路徑且以該基諧波頻率之該對應波長諧振，該複數個光學元件之至少一者經組態以可操作地將該基諧波頻率之一第二部分與該三次諧波耦合進入該腔，

 - 一第一NLO晶體，其設置於腔光學路徑中；

 - 一或多個第一透鏡，其經組態以將該三次諧波聚焦於該第一NLO晶體內，其中該第一NLO晶體經組態以結合該第二基諧波頻率部分與該三次諧波以產生一四次諧波；

 - 一第二NLO晶體，其設置於腔光學路徑中；及

 - 一或多個第二透鏡，其經組態以將該四次諧波聚焦於該第二NLO晶體內，其中該第二NLO晶體經組態使得未耗盡之基諧波頻率部分與該四次諧波藉由頻率加總而結合以產生一個五次諧波。

34. 一種產生深紫外光(DUV)連續波(CW)雷射輻射之方法，其包括：

- 產生第一及第二基諧波頻率部分，該等第一及第二基諧波頻率部分各具有具約1 μm 與1.1 μm 之間之一對應波長之一基諧波頻

率；

將該第一基諧波頻率部分轉換至一個三次諧波；

藉由將該三次諧波聚焦於一第一NLO晶體內來產生一四次諧波，該第一NLO晶體可操作地設置於腔中且經組態以執行該第二基諧波頻率部分與該三次諧波之和頻產生(sum frequency generation)；

藉由將該四次諧波聚焦於一第二NLO晶體內來產生一五次諧波，該第二NLO晶體可操作地設置於腔中且經組態以執行該第二基諧波頻率部分之一未耗盡部分與該四次諧波之和頻產生；

將該五次諧波及該四次諧波之一未耗盡部分轉移離開該腔。

35. 如請求項34之方法，其中產生該四次諧波包括：

利用一輸入耦合器將該第二基諧波頻率部分耦合進入該腔內，使得該第二基諧波頻率部分沿著一腔光學路徑被導引向一二向色曲面鏡；及

利用該二向色曲面鏡反射該第二基諧波頻率部分且將該三次諧波耦合進入該腔，使得該第二基諧波頻率部分與該三次諧波兩者均沿著該腔光學路徑之一部份被導引向該第一NLO晶體。

36. 如請求項34之方法，其中產生該四次諧波進一步包括：利用一或多個第一透鏡將該三次諧波聚焦於該第一NLO晶體內，使得該三次諧波與該第二基諧波頻率部分在該第一NLO晶體中重疊。

37. 如請求項34之方法，其進一步包括將該三次諧波之一未耗盡部分轉移離開該第一NLO晶體，使得該未耗盡三次諧波部分不在該腔中再循環。

38. 如請求項34之方法，其中產生該五次諧波包括：利用一或多個第二透鏡將該四次諧波對焦於該第二NLO晶體內，使得藉由該第二基諧波頻率部分之一未耗盡部分與該四次諧波之頻率加總而

產生該五次諧波。

39. 如請求項34之方法，其進一步包括將該四次諧波之一未耗盡部分轉移離開該第二NLO晶體，使得該未耗盡四次諧波部分不在該腔中再循環。
40. 如請求項39之方法，其中轉移該未耗盡部分進一步包括利用一二向色鏡及一稜鏡之一者將該四次諧波之該未耗盡部分與該五次諧波兩者均轉移離開該腔，同時容許任何未耗盡基諧波頻率沿著腔光學路徑再循環。
41. 如請求項34之方法，其中產生該四次諧波包含利用一單塊狀晶體，該單塊狀晶體包括經氬退火之CLBO、CBO、LBO、LB4及BBO之其中一者。
42. 如請求項34之方法，其中產生該五次諧波包含利用一單塊狀晶體，該單塊狀晶體包括經氬退火之CLBO、LB4及BBO之其中一者。

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（3）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

300	四次諧波產生器模組/模組
301	基諧波(ω)
302	模態匹配透鏡
303	輸入耦合器
304	鏡
305	鏡
306	鏡
308	透鏡
309	非線性光學(NLO)晶體
310	分束器
311	分束器
312	四次諧波(4ω)
313	未耗盡之三次諧波(3ω)/三次諧波
314	未耗盡之基諧波(ω)/基諧波(ω)
ω	頻率/未耗盡之基諧波/基諧波/諧振基諧波/基諧波頻率
3ω	三次諧波/三次諧波光
4ω	四次諧波

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無