

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號： 97103203

※ 申請日期： 97.1.9

※IPC 分類：G02F1/37;H01S3/10

一、發明名稱：(中文/英文)

雷射光產生裝置

G02F 1/37 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/109 (2006.01)

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

日商新力股份有限公司

SONY CORPORATION

代表人：(中文/英文)

中鉢 良治

CHUBACHI, RYOJI

住居所或營業所地址：(中文/英文)

日本東京都港區港南1丁目7番1號

1-7-1 KONAN, MINATO-KU, TOKYO, 108-0075, JAPAN

國 籍：(中文/英文)

日本 JAPAN

三、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

增田 久

MASUDA, HISASHI

國 籍：(中文/英文)

日本 JAPAN

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項☐第一款或☐第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家(地區)申請專利：

【格式請依：受理國家(地區)、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 日本；2007年03月28日；特願2007-085305
- 2.

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

- 1.
- 2.

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於在使用雷射光源及複數外部共振器之結構中，用以利用單一調變信號來實現安定之共振狀態(鎖定)之雷射光產生裝置。

【先前技術】

作為雷射光產生裝置之外部共振器之安定鎖定方法，據知有FM邊帶法(「Pound-Drever-Hall Locking」法)，其廣泛利用於外部共振器之鎖定。於該FM邊帶法，為了產生誤差信號而必須利用配置於外部共振器前段之相位調變器來打出邊波(邊帶波)，但特別於調變紫外光來打出邊波之情況時，需要穿透率高且動作電壓低之高性能相位調變器。

將紫外光予以鎖定之情況時，為了避免紫外光造成相位調變器損傷，利用複數外部共振器來構成雷射光產生裝置，並藉由FM邊帶法同時將此等複數外部共振器鎖定，進行多階段之波長轉換。例如於利用兩個外部共振器之情況時，首先於第一外部共振器之前段配置第一相位調變器，並藉由FM邊帶法進行鎖定，接著將由第一外部共振器轉換過波長之光(波長轉換光)射入第二相位調變器，將其射入第二外部共振器並鎖定，進行波長轉換。

然而，於如上述利用複數外部共振器之結構中，於同時將各外部共振器予以鎖定之情況時，由於在各外部共振器之前段分別配置相位調變器，因此需要與外部共振器相同

數目之相位調變器。而且，由於相位調變器使用光學結晶(非線性光學元件)，因此一般甚為昂貴。故，增加相位調變器係成為裝置全體之大型化及成本上升之原因之一。

而且，波長轉換後之輸出光為紫外光之情況時，作為支援紫外光之相位調變器甚少有穿透率及性能指數優良者，而且由於需要高動作電壓，因此需要高電壓電源，或由於紫外光而受損傷，具有使用壽命短等缺點。

為了彌補該類缺點，提案將複數調變信號(載波)輸入於相位調變器，並進行多階段鎖定之方法(參考專利文獻1)。

[專利文獻1]日本特開2002-311467號公報

【發明內容】

(發明所欲解決之問題)

然而，專利文獻1所記載之方法雖可彌補以往的缺點，但另一方面由於利用複數調變信號，因此具有需要複數個用以產生調變信號之信號產生部，或者信號處理繁雜等問題。

因此，於欲以1個調變信號來進行多階段之外部共振器鎖定之情況時，要求增多由第一段之外部共振器所反射之調變光之比率，改善誤差信號之信號對雜訊比(S/N比)，藉此來使鎖定安定化，及於第一段之外部共振器，儘量使許多調變光穿透，以改善從下一階段以後之外部共振器所檢測到之誤差信號之S/N比，以使鎖定安定化。然而，於各外部共振器要符合雙方條件係處於取捨(trade-off)關係。因此，外部共振器全體在設定初始未被最佳化之情

況，或外部共振器之穿透頻寬由於經時變化之共振器損失或轉換效率而變化之情況時，具有含複數外部共振器之系統之鎖定(共振狀態)陷於不安定狀態之問題。

而且，於改善波長轉換效率或需要高輸出之波長轉換光時等，須於外部共振器照射高輸出之雷射光，轉換該雷射光之波長。因此，須將高強度之雷射光射入相位調變器，但由於相位調變器之損傷會構成問題，因此僅可將射入之雷射光之強度提高至相位調變器之損傷極限。若為了避免此而使用有效孔徑大之相位調變器，則使用於相位調變之光學結晶(非線性光學元件)之尺寸亦變大，具有成本增大的問題。因此，期待可利用低強度之雷射光來安定進行調變。

本發明係有鑑於該點所完成者，其目的在於使用複數外部共振器並按照FM邊帶法來產生所需之雷射光時，利用1個調變信號來實現各外部共振器之安定鎖定。

(解決問題之技術手段)

為了解決上述問題，本發明之雷射光產生裝置之特徵為包含：雷射光源；複數外部共振器，其係包含第一外部共振器及配置於比該外部共振器後段之第二外部共振器；相位調變器，其係配置於雷射光源與第一外部共振器間之光路上，且被施加1個調變信號；信號產生部，其係產生施加於相位調變器之調變信號；非線性光學元件，其係配置於各外部共振器內，進行射入之光之波長轉換；光路長可變機構，其係用以使各外部共振器之光路長分別變化；光

檢測器，其係分別接受來自各外部共振器之光；及控制電路，其係具有負回授之結構，以便從藉由該光檢測器所獲得之檢測信號及調變信號，來對於各外部共振器獲得誤差信號，並按照利用該誤差信號之FM邊帶法來控制光路長可變機構。上述調變信號之頻率設定為各外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值，藉由控制電路來對於各外部共振器控制光路長，將此等複數外部共振器同時保持於共振狀態。

作為S/N比之平均化之一例，以各外部共振器之誤差信號之S/N比之積成為最大或約略成為最大之方式，設定施加於相位調變器之調變信號之頻率。

若根據上述結構，由於檢測來自各段之外部共振器之誤差信號，以各段之誤差信號之S/N比被平均化之方式來設定調變信號之頻率，因此於所有外部共振器中均可實現安定之鎖定。特別以誤差信號之S/N比之積成為最大或約略成為最大之方式來設定調變信號之頻率之情況時，複數外部共振器全體而言會安定化。

於上述發明中宜具備調變頻率設定機構，其係取得起因於上述複數外部共振器之穿透頻寬變化之誤差信號，並將施加於相位調變器之調變信號之頻率設定為各外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值。

若根據上述結構，由於按照例如時效變化等所造成之穿透頻寬之變動，以各外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之方式來設定調變信號之頻率，因此對於起因於時效

變化之鎖定條件之變化，亦可實現安定之鎖定。

(發明之效果)

若根據本發明，於使用複數外部共振器並按照FM邊帶法來產生所需之雷射光時，檢測來自各段之外部共振器之誤差信號，以各個誤差信號之S/N比被平均化之方式設定調變信號之頻率，因此可利用1個調變信號來實現各外部共振器之安定鎖定。

【實施方式】

本發明係有關可連續振盪(CW)之雷射光源及使用複數外部共振器之雷射光產生裝置，其適於例如歷經複數階段進行波長轉換者。以下，一面參考附圖一面說明有關本發明之實施型態之例。

(第一實施型態)

首先，參考圖1~圖9來說明有關本發明之第一實施型態之雷射光產生裝置。圖1係用以概念性地說明本發明之基本結構之圖。

圖1中，雷射光產生裝置1具備輸出單一頻率之雷射光之雷射光源2。從雷射光源2射出之雷射光係經過相位調變器4、光學系統5而送至複數外部共振器6, 9, ..., 12。而且，設有用以產生施加於相位調變器4之調變信號之信號產生部3(具有用以產生振盪信號之局部振盪器)。此外，光學系統5除了包含模式匹配用之透鏡、稜鏡、鏡等以外，因應需要亦有包含篩選射入於下一段之外部共振器之光並使其穿透之分光鏡或吸收濾光器等之情況。

複數外部共振器6, 9, ..., 12係呈縱排配置，具有第一外部共振器及配置於比該外部共振器後段之第二外部共振器。以下，外部共振器6設為第一外部共振器，外部共振器9設為第二外部共振器來說明。此外，第一外部共振器未必要設為初段之外部共振器6，任一外部共振器均無妨，而且關於第二外部共振器9，若配置於比第一外部共振器6後段即可，任一外部共振器均無妨。但於雷射光源2與第一外部共振器間之光路上必須配置1個相位調變器4，然後從第一外部共振器輸出之光必須不經由藉由相位調變器4所進行之相位調變，並射入於第二外部共振器。

於各外部共振器6, 9, ..., 12之內部配置有非線性光學元件(或者非線性光學結晶)7, 10, ..., 13。非線性光學元件可舉出例如與產生第二高調波或產生和頻等相關連之波長轉換用元件。此外，亦可能於外部共振器內部配置具有增益放大作用之雷射介質，以取代非線性光學元件。

關於各外部共振器中之至少第一外部共振器6及第二外部共振器9，設有用以使光路長分別變化之光路長可變機構18。該光路長可變機構18係例如使用VCM(音圈馬達)等致動器、壓電元件等，將外部共振器之構成元件(鏡或光學元件)之位置或姿勢予以伺服控制，或者於結晶等施加電壓等，以控制光學特性(折射率等)。

此外，於雷射光源2與外部共振器間或連續之2個外部共振器間，配置有模式匹配用之光學系統5, 8, ..., 11，此等係使必要的光在兩者間效率良好地結合。

光檢測器14, 15, ..., 16係用以接受來自各外部共振器6, 9, ..., 12之光而設置, 其由例如將檢測到之光轉換為電性信號之光二極體等構成。此外, 光檢測器可舉出檢測外部共振器之反射光之型態、及檢測來自外部共振器之穿透光之型態, 從檢測信號大小之觀點考量, 宜為前者之型態。

信號處理電路17係用以接受藉由各光檢測器14, 15, ..., 16所獲得之檢測信號、及來自信號產生部3之調變信號(特定頻率之振盪信號), 並於進行同步檢波後獲得誤差信號之電路, 且將該誤差信號送出至光路長可變機構18。總言之, 由檢測誤差信號之信號處理電路17、及根據該誤差信號並按照FM邊帶法來使外部共振器之繞行光路長可變之光路長可變機構18, 來構成負回授結構之控制電路19。

於上述結構, 從雷射光源2射出之雷射光係射入於藉由信號產生部3施加有調變信號之相位調變器4, 並以特定頻率被給予相位調變後, 經過光學系統5而後射入於第一外部共振器6。然後, 藉由該外部共振器6內之非線性光學元件7所產生之光射入於第二外部共振器9。

來自第一外部共振器6及第二外部共振器9之光(反射光或穿透光)係由光檢測器14, 15分別檢測。然後, 根據藉由在信號處理電路17之檢波處理所獲得之各個誤差信號, 藉由光路長可變機構18, 對於各外部共振器控制為光路長(繞行光路長)成為雷射光波長之整數倍。總言之, 將各外部共振器之光路長予以可變控制, 以使誤差信號成為零。藉其, 此等複數外部共振器6, 9, ..., 12同時保持於共振狀

態(所謂鎖定狀態)。

圖2係表示使用1個相位調變器4來構成，能以FM邊帶法同時將2階段之外部共振器6, 9鎖定之雷射光產生裝置100。圖2中，雷射光產生裝置100係省略圖1所示之各光檢測器14, 15, ..., 16、信號處理電路17及光路長可變機構18之記載。圖2中，對於與圖1相對應之部分附上同一符號，並省略重複說明。

本實施型態係使用輸出縱單一模式之紅外光(例如波長 $\lambda=1064\text{ nm}$)之雷射光源2，其輸出光LT0僅穿透1個相位調變器4。此外，由於在相位調變器4施加有以信號源記號所表示之信號產生源3所產生之具有單一頻率 f_c 之高頻信號，因此穿透相位調變器4之光係於頻率 f_c 受到相位調變。

從本實施型態之信號產生部3所輸出之調變信號之一部分，係將從包含第一外部共振器6及第二外部共振器9之各外部共振器所獲得之誤差信號，作為在信號處理電路17(參考圖1)解調時之局部傳送信號使用。為了充分較大地確保在最終段之外部共振器(例如非線性光學元件12)之誤差信號之S/N比，如圖3所示將相位調變器予以兩極驅動係有效。

圖4係表示兩極驅動之相位調變器之電路例。圖4中，相位調變器40係第一相位調變器及第二相位調變器在絕緣狀態下結合而形成。

圖4中，產生特定驅動電壓 V (例如 $V=V_0\sin(2f_c t+\varphi_0)$)之電源部45與電源部46之一端連接於接地，並且電源部45之另

一端連接於第一相位調變器之一電極42，電源部46之另一端連接於第一相位調變器之一方(與電極42相反面)之電極44。然後，第一相位調變器之另一電極41與第二相位調變器之電極43在接觸之狀態下結合，電極41，43分別連接於接地。此等第一相位調變器及第二相位調變器之電極間距離分別形成標準之1個相位調變器之電極間距離 d 之一半 $d/2$ 。因此，第一相位調變器與第二相位調變器結合而成之相位調變器40之電極42與電極44之距離，係與標準之1個相位調變器之電極間距離 d 相同。

於此，從電源部45，46分別供給之電壓信號設為 V ，若於相位調變器40之兩電極42，44，同時施加隔著接地並極性相反之同相之電壓信號 $+V$ 與 $-V$ ，則相位調變器40之電極42與電極44間之電位差始終為 $2V$ 。因此，由於在相位調變器40產生通常之2倍電場，可使相位調變器為2倍，因此誤差信號之 S/N 比提高。此外，圖4中雖記為電源部45，46，但使用產生電壓信號 V 之1個電壓信號供給源(省略圖示)，來構成極性相反之同相之電壓信號之電路，並分別供給至相位調變器40亦可。

圖2中，穿透相位調變器4之光係經過包含透鏡等之光學系統5，並射入於第一外部共振器6。此外，此時，射入光與第一外部共振器6所設想之固有模式會良好地重疊(所謂模式匹配)。

關於第一外部共振器6，其由射入鏡21、因應需要所使用之複數片鏡22，23，24及波長轉換用之非線性光學元件20

構成。總言之，如圖示，射入鏡21及射出鏡22配置於主光路上，於兩者間配置有非線性光學元件20。然後，鏡23配置於鏡21側，鏡24配置於鏡22側，射入於鏡21之雷射光經過非線性光學元件20後，以鏡22, 23, 24之順序分別反射後回到鏡21，藉此形成第一外部共振器6。為了阻抗匹配，射入鏡21宜將反射率最佳化。

於本實施型態，作為非線性光學元件20係使用第二高調波產生(SHG)用之取得相位整合之結晶，或以週期分極反轉等方法取得相位整合之結晶。此情況下，對於從雷射光源2輸出之基本波之波長(例如 $\lambda=1064\text{ nm}$)，可轉換為一半波長(例如 $\lambda=532\text{ nm}$)。

此外，關於第一外部共振器6之繞行光路長，係成為可進行其可變控制之結構，藉由VCM(音圈馬達)或步進馬達等移動機構、或PZT等利用壓電現象之驅動機構，來使構成第一外部共振器6之鏡中之至少1個之位置或姿勢變化。而且，作為將第一外部共振器6之繞行光路長予以可變控制之其他方法，亦可考慮鏡以外之光學要素之例如稜鏡或光柵等。此外，亦有於非線性光學元件或光電結晶施加電壓，以使繞行光路長變化之方法。

藉由第一外部共振器6之鏡24所造成之反射光之一部分係於穿透鏡21後，由光檢測器14受光並進行信號檢測。

而且，由於在第一外部共振器6配置有波長轉換用之非線性光學元件20，因此效率良好地被波長轉換之輸出光係經過模式匹配用之光學系統8，並射入第二外部共振器9。

關於第一外部共振器6之輸出光，因應需要藉由分波鏡(省略圖示)等來與未被波長轉換之光分離即可。

關於第二外部共振器9，例如亦與第一外部共振器6相同，其由射入鏡31與複數片鏡32, 33, 34及波長轉換用之非線性光學元件30構成。總言之，如圖示，射入鏡31及射出鏡32配置於主光路上，於兩者間配置有非線性光學元件30。然後，鏡33配置於鏡31側，鏡34配置於鏡32側，從光學系統8射入於31之雷射光經過非線性光學元件30後，以鏡32, 33, 34之順序分別反射後回到鏡31，藉此形成第二外部共振器9。為了阻抗匹配，射入鏡31宜將反射率最佳化。

於本實施型態，作為非線性光學元件30係使用第二高調波產生用之取得相位整合之結晶，或以週期分極反轉等之方法取得相位整合之結晶。此情況下，對於從第一外部共振器6輸出之基本波之波長(例如 $\lambda=532\text{ nm}$)，可轉換為一半波長(例如 $\lambda=266\text{ nm}$)。

此外，與第一外部共振器6相同，關於第二外部共振器9之繞行光路長，係成為可進行其可變控制之結構，藉由VCM或步進馬達等移動機構、或PZT等驅動機構，來使構成第二外部共振器9之鏡中之至少1個之位置或姿勢變化。

藉由第二外部共振器9之鏡34所造成之反射光之一部分係於穿透鏡31後，由光檢測器15受光並進行信號檢測。

而且，第二外部共振器6係藉由配置於內部之非線性光學元件30效率良好地波長轉換，並穿透鏡32而射出之光會

成為第二外部共振器9之輸出光LT1而往外部照射。

如此，於第一外部共振器6，轉換射入之雷射光之波長之非線性光學元件20配置於主光路上，效率良好地被波長轉換之輸出光經由光學系統而射入於下一階段之第二外部共振器9。與第一外部共振器6相同，於第二外部共振器9，亦藉由FM邊帶法來將第二外部共振器9鎖定，並取出藉由非線性光學元件30波長轉換之輸出光。

圖5係表示包含相位調變器及光檢測器之控制系統之基本結構例。此外，關於第一及第二外部共振器6, 9亦製成相同之電路結構，因此於圖中一併表示兩電路共同之部分。

藉由信號產生部3來產生頻率 f_c 之調變信號，該調變信號施加於相位調變器4(圖中所示之「EOM(Electro-Optic Modulator：光電模組)」)，並如上述於雷射光加以相位調變。

藉由光檢測器(圖示之例中，就第一外部共振器6而言為光檢測器14，就第二外部共振器9而言為光檢測器15)所取得之來自各外部共振器6, 9之反射光之檢測信號、與作為局部傳送信號之調變信號(頻率 f_c 之高頻信號)送至檢波部47(圖5中，作為倍增器係以乘算器來表示)並進行同步檢波，藉此所獲得之誤差信號(將此記為「Err」)送至伺服控制部48。此外，其他雖省略圖示，但亦可附帶所謂「引入(Pull-in)」電路，其係根據來自全光量監視器之信號來判斷是否執行鎖定。

伺服控制部 48 係產生控制信號，以使誤差信號 Err 之位準成為零，藉由該控制信號控制外部共振器之光路長(繞行光路長)成為雷射光波長之整數倍。總言之，於圖 2 之例中，於第一外部共振器 6 控制鏡 23 之位置或姿勢，於第二外部共振器 9 控制鏡 33 之位置或姿勢。此外，關於鏡之移動機構、驅動控制電路等，使用習知之機構即可，因此省略進一步之說明。而且，省略信號處理所必要之電路，例如從受光後之檢測信號取出高頻信號所必要之濾波器等之圖示(或視為含於光檢測器等即可)，僅表示處理之基本要素。

外部共振器係處於模式匹配與阻抗匹配同時成立之狀態，且於外部共振器之光路長為某值時共振，並進一步每當該光路長恰變化雷射光之波長時成為共振狀態。

若於外部共振器在空間上良好地調整之狀態下掃描(sweep)(使繞行光路長變化)光路長可變機構 18，則藉由共振，來自外部共振器之反射光變小之範圍會週期性地產生。雷射光之波長設為 λ ，外部共振器之繞行光路長設為 L ，繞行於外部共振器內之雷射光之相位滯後設為 δ ，從外部射入有雷射光之鏡(例如鏡 21)之反射率設為 R_1 ，外部共振器內之第 j 個鏡之反射率設為 R_j ，鏡以外之第 j 個內建光學元件之穿透率(包含非線性光學元件之線性損失、非線性損失等)設為 T_j 時，以下式來賦予有效反射率 $R(\delta)$ 。

[數 1]

$$R(\delta) = \frac{(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_m})^2 + 4\sqrt{R_1 R_m} \sin^2(\delta/2)}{(1 - \sqrt{R_1 R_m})^2 + 4\sqrt{R_1 R_m} \sin^2(\delta/2)} \dots\dots (1)$$

其中

$$\delta = \frac{2\pi L}{\lambda} \quad ,$$

$$R_m = R_2 R_3 \cdots \times T_1 T_2 \cdots$$

由於藉由非線性光學元件所波長轉換之基本波成分亦成為有關基本波之損失，因此關於合成反射率 R_m ，亦必須考慮波長轉換率來計算(William Kozlovsky 等人，IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.24, No.6, p.913(1988))。合成反射率 R_m 係表示作為射入鏡除外之繞行穿透率(射入鏡以外之鏡之反射率之積與該外部共振器內雷射光通過之光學元件之穿透率之積相乘)，於本實施型態，將射入光與共振器模式之空間模式之重疊(模式匹配)效率約略作為1來逼近。 $R_1=R_m$ 時，成為取得阻抗匹配(整合)之狀態。

圖6係表示掃描外部共振器之有效反射特性，亦即掃描繞行光路長 L (相位滯後 δ)時之有效反射率 $R(\delta)$ 之變化。相位滯後 δ 原本為大值之數字，但為了簡化，使用僅減去 2π 之某整數倍之值 δ' ，橫軸取定相位滯後 δ' ，縱軸取定有效反射率 $R(\delta)$ 來表示有效反射特性。此外，由於射入光與共振器模式之空間模式之重疊效率 η_m 在通常情況下容易維持在70~95%，因此以 $\eta_m=1$ 來逼近。而且，為了簡化，外部共

振器之阻抗匹配視為成立， $R_1=R_m=0.95(95\%)$ 。

於式(1)中包含正弦函數 $\sin(\delta/2)$ 之二次方項，由此可知外部共振器之外觀反射率(有效反射率)係於「 $\delta'=p \cdot \Pi$ 」(p 為偶數)時突然降低，大部分射入光係射入於外部共振器內，於內部繞行之光之光強度變大。將此稱為「共振狀態」，保持共振狀態稱為「鎖定」。

為了對於振動或溫度變化等外部干擾，維持繞行光路長符合「 $\delta'=2 \cdot \Pi \cdot L/\lambda=p \cdot \Pi$ 」之條件，需要使繞行光路長 L 可變之控制機構。因此，使鏡(參考例如圖2之鏡23, 33)或非線性光學元件之位置等變化，或使用光電元件來使其折射率等變化即可。

圖7係表示第一外部共振器6之有效反射特性與調變頻率之關係，(A)為圖6所示之有效反射特性之 $\delta'=0$ 附近之放大圖，(B)係接受調變並射入於第一外部共振器6之光之光譜。(B)之橫軸表示換算為頻率，亦即換算為 δ' 之頻率差(從光之頻率 f_L 之差分值)。邊帶波之頻率 f_c 相當於何程度之相位滯後 δ' 係通常由「 $f_c=c\delta'/(2\Pi L)$ 」來賦予。 c 為真空中之光之速度。為了便於說明，射入光之頻率 f_L 表示於外部共振器之穿透帶區之中央，此相當於正確鎖定之情況。其表示射入光之頻率 f_L 與調變頻率 f_c 之和頻及差頻，並表示藉由適當地選擇同步檢波時所利用之信號產生部3(局部振盪器)之頻率，可選擇穿透帶區含有調變光之所需之調變頻率 f_c 。

於相位滯後 δ' 為 2Π 之整數倍，有效反射率週期性地變

小，反射光變成極小，射入光之大部分進入第一外部共振器6之內部。於圖7(A)，例如相位滯後 δ' 為 $\pm 0.2\pi$ 時，反射率為99.3%(穿透率0.7%)程度，相位滯後 δ' 為 $\pm 0.03\pi$ 時，反射率約77%(穿透率23%)。於圖7(A)所示之例中，有效反射率為峰值之50%之相位滯後 δ' 之範圍(半值全頻寬：以下稱為「穿透頻寬」) $\delta'_{0.5}$ 約為 0.033π 。此外，此亦可從外部共振器之外觀穿透率在峰點之值之一半之 δ' 求出。

如上述，由於第一外部共振器6鎖定時，有效反射率低，因此大部分射入光射入於第一外部共振器6。例如非線性光學元件20作為第二高調波產生用光學結晶，於對於基本波之波長產生其一半波長之光之情況時，關於比率高之相位調變成分，亦射入於第一外部共振器6內，並接受波長轉換。此時，光之頻率 $f_L(=c/\lambda)$ 與調變信號之頻率 f_c 干擾，於 f_L 周圍產生 $f_L \pm f_c$ 之邊波。然後，若此等係於第二外部共振器9反射率高之頻率，則可從該第二外部共振器9取出含該成分之反射光，並獲得誤差信號。亦即，關於頻率 f_c ，「 $f_L \pm f_c$ 」之光成分設定為大致穿透第一外部共振器6而於第二外部共振器9反射，此可利用於第二外部共振器9之鎖定。

因此，於如上述進行波長轉換之情況時，藉由雷射光源2所輸出之雷射光之波長作為「第一波長」，藉由第一外部共振器6內之非線性光學元件20所波長轉換之光之波長作為「第二波長」，該第二波長之光射入於第二外部共振器9時，關於第一波長之光可利用其反射光來獲得誤差信

號，將第一外部共振器6予以鎖定，並且關於第二波長之光可利用其反射光來獲得誤差信號，將第二外部共振器9同時予以鎖定。

如此，對於雷射光源2設置2階段之外部共振器6, 9，並且利用適當地設定之單一頻率 f_c 之調變信號，將該調變信號施加於相位調變器4而構成，藉此可利用FM邊帶法來將各外部共振器保持於共振狀態，而且因此不須於各外部共振器之前段分別配置相位調變器，僅需配置於第一外部共振器6之前段之1個相位調變器4即可。其中，關於屆時所期望之調變頻率之分配，針對已受到調變之光，符合以下條件即可：由第一外部共振器6反射邊波之一部分，然後其他邊波穿透第一外部共振器6，且於波長轉換後，由第二外部共振器9反射。

於FM邊帶法中，使用相位調變器來調變雷射光，激發邊帶波，根據來自外部共振器之反射光所含之邊帶波而獲得誤差信號。於圖5中，對於檢波部47傳送藉由光檢波器14, 15所獲得之光檢測信號，並且對於檢波部17，從信號產生部3(內之局部振盪器)供給與調變信號之頻率 f_c 相等之頻率信號，若針對兩者之相位進行同步檢波，可獲得誤差信號Err。

圖8係放大表示根據光檢測信號及調變信號所產生之誤差信號(Err)之 δ 依存性之例，橫軸取定相位滯後 δ ，縱軸取定信號位準而表示。

誤差信號Err係於外部共振器6之共振波頻率接近雷射光

之頻率附近時，根據反射之兩邊帶波信號(兩邊波)之平衡所獲得之信號，關於從共振位置(作為一例， $\delta'=0$)之偏離表示其方向及大小。總言之，於圖8之右半面，若往正向前進於 δ' 軸，則到達值上升之正峰值，值從其急速降低，逐漸接近 δ' 軸。而且，於圖8之左半面，若往負向前進於 δ' 軸，則值降低，值從其急速上升而逐漸接近 δ' 軸。如此，由於圖形曲線圍繞 $\delta'=0$ 之原點約略具有 180° 之旋轉對稱性，因此可從誤差信號掌握從共振位置之偏離方向及大小。

以調變頻率調變射入光之頻率所產生之邊帶波係上邊帶波與下邊帶波之極性相反，因此於共振點(反射率極小點)附近，若以來自局部振盪器(信號產生部3)之局部傳送信號，來將共振器反射光所含之邊帶波信號(高頻成分)予以檢波，則會獲得因應邊帶波信號之平衡之誤差信號Err。配合局部振盪器之相位來使共振中心與誤差信號之零點對齊後，藉由伺服控制部48並經由鏡等來調整共振器繞行長L，並於共振點鎖定(FM邊帶法)。若於共振點鎖定，外部共振器之外觀反射率顯著下降，對於外部共振器之射入光之大部分會往該外部共振器內注入。同時於外部共振器內，功率遠比射入光大之光會繞行，亦可提高置於外部共振器內之非線性光學元件20之轉換效率。

第一外部共振器6處於共振狀態之情況時，巡迴於第一外部共振器6內之強光藉由非線性光學元件20轉換為其他波長(於SHG為 $1/2$ 波長)時，產生從轉換後之光之中心頻率

$2f_L$ 僅差異 $\pm f_c$ 之頻率之上下邊帶波，並作為輸出光經過光學系統 8 而射入於第二外部共振器 20。該邊帶波係使用於相當於下一階段之第二外部共振器 20 之鎖定。進一步於進行第三外部共振器之鎖定之情況時，符合邊波之一部分由第一外部共振器 6 反射，然後剩餘之邊波穿透第一外部共振器 6，且於波長轉換後由第二外部共振器 9 反射之條件即可。

於上述控制電路 19，若形成用以進行外部共振器之構成要素(鏡等)之位置修正等之負回授系統，控制各外部共振器之繞行光路長，以使誤差成為零，則可保持其共振狀態。此時，若於反射光中儘量多含邊帶(邊波帶之成分)，則誤差信號 Err 之振幅變大，可一般地增大信號對雜訊比(S/N比)。

可考慮各種 S/N 比之定義，例如可考慮將圖 8 所示之誤差信號(S字)之峰間之電壓差 $2V_1$ 之一半之值 V_1 (信號)，除以在峰間斜坡於示波器上所觀察到之線寬或粗度之 $\frac{1}{6}$ 之數值(雜訊)之值。此係由於在通常之情況下，線寬可視為變動之標準差 σ 或二次方均方根(RMS: Root Mean Square)之 6 倍(± 3 倍)。

圖 2 中，為了提高誤差信號之 S/N 比，邊帶波之頻率 f_c 宜充分比相當於第二外部共振器 9 之穿透頻寬之頻帶範圍大。另一方面，若邊帶波比相當於第一外部共振器 6 之穿透頻寬之頻率範圍大，則邊帶波之大部分會由第一外部共振器 6 反射，僅些微地侵入共振器內部。結果，具有從第

一外部共振器6射入於第二外部共振器9之波長轉換光之邊帶波量減少，用以將第二外部共振器9鎖定之誤差信號之S/N比惡化之取捨關係。

因此，於設計階段決定調變信號之頻率 f_c 時，作為系統安定度之1個尺度宜考慮從各階段之外部共振器所獲得之S/N比成為適當值，亦即成為平均化之值。例如考慮積P，考慮使該積P之值成為最大亦有效。若從第j個外部共振器所獲得之誤差信號之S/N比設為 $(S/N)_j$ (其中 $j=1, 2, \dots$)，則積P以下式來表示。

[數2]

$$P=(S/N)_1 \times (S/N)_2 \times \dots \dots \dots (2)$$

藉由求出將從n個外部共振器獲得之n個誤差信號之資料(S/N比之值)全部相乘後之n次方根，以求出從n個外部共振器獲得之誤差信號之S/N比之幾何平均(相乘平均)。算出之幾何平均係式(2)之積P成為最大時之值。

於雷射光產生裝置之設計階段，根據各種條件來決定對於鎖定最佳之載波頻率(調變信號之頻率)。然而，於設計值與製品化後之實際之雷射光產生裝置可能產生偏離。作為縮小從該設計值與實際之雷射光產生裝置(製品)之公差所產生之偏離之機構，宜具有可將調變信號之頻率予以初始設定之機構，以使獲自各階段之外部共振器之S/N比平均化。例如利用者能以手動來調整從信號產生部3所產生之調變信號之頻率之結構。或者，將信號產生部3與電腦(省略圖示)間連接為相互地可傳送資料，若利用者使用輸

入裝置，於電腦輸入最佳之調變信號之頻率值，則會根據輸入之調變信號之頻率之資料設定從信號產生部3傳送之調變信號之頻率。

一般而言，於可能之範圍內，使第二外部共振器9之穿透頻寬與第一外部共振器6之穿透頻寬相同或縮小較有利。而且，邊帶波之反射率據判宜約為20%至80%程度。若考慮此等並同時利用式(1)來計算，則適宜之邊帶波之頻率 f_c 係以第一外部共振器6之共振頻率為基點，並處於該第一外部共振器6之穿透頻寬頻率(半峰半寬)之0.5倍至2倍之範圍，且宜以第一外部共振器6之共振頻率為基點，並處於該第二外部共振器9之穿透頻寬之0.5倍以上之範圍。

於此，針對第一實施型態之雷射光產生裝置100來表示具體數值例。作為以單一頻率振盪之雷射光源2，使用以例如1064 nm振盪之環形共振器Nd:YAG雷射、或放大該類雷射或光纖DFB(Distributed Feedback Laser: 分布回授式雷射)雷射之光纖雷射等。將該雷射光源2之輸出射入於KTP等光電結晶所組成之相位調變器4。通常所進行之1階段之FM邊帶鎖定之情況下，施加於相位調變器4之電壓係藉由光電結晶之長度或有效之光電常數所決定之必要電場、及電極間距離來決定。

例如使用 r_{33} 成分(波克(Pockels)係數成分)之具有長度12 mm及電極間距離3 mm之光穿透面之KTP結晶中，約略數瓦特(W)至20瓦特(W)前後即足夠。本實施型態之情況下，調整各外部共振器之繞行光路長，若藉由第一外部共振器

6所造成之邊帶波之反射率約設為50%，第二外部共振器9之邊帶波之反射率約設為70%以上等即可，相同程度之電壓亦無問題。然而，共振之光之波長較長時等，依情況亦有需要其以上之電壓時。該情況下，若使用電性放大器，將信號產生部3所產生之調變信號放大至20 V~150 V程度，則鎖定會安定。而且，為了不提高電源電壓並有效地調變，如前述(參考圖4)於相位調變器4之兩極施加逆相之電壓信號來驅動亦有效。

於相位調變器4調變雷射光源2所產生之光，並經由光學系統5來射入於第一外部共振器6。此時之射入光與共振器模式之空間重疊稱為模式匹配，最大成為100%之效率。然而，由於以 M^2 值、雷射光之擴散角(BPP)等所表示之射束品質，實際上空間模式之重疊率多半為70~95%程度。若第一外部共振器6之繞行光路長為380 mm，則自由光譜區域(FSR; Free spectral range)約800 MHz，因此圖7(A)之 $\delta'=0.05\pi$ 係作為一波長之40分之一而相當於20 MHz。因此，施加於作為非線性光學元件20之光電結晶之高頻信號之頻率設為例如20 MHz。將20 MHz之高頻信號給予相位調變器4之情況下之有效反射率及邊帶波之狀況係與圖7(A)、(B)所示者約略相同之型態(相當於正確鎖定之情況)。此情況下，若鎖定，則射入於第一外部共振器6之邊帶波之大約90%係於射入鏡反射，並射入於設在光檢測器之鎖定侖服用光二極體，剩餘之10%射入於共振器內部。進入第一外部共振器6內部之邊帶波係繞行共振器內而達

到恆常狀態。不僅止於光之中心頻率 f_L ，邊帶波亦相同。若外部共振器處於恆常狀態時繞行共振器內部之光之功率設為繞行功率，則此時之繞行功率放大至射入光之功率之大約 $[1/(1-\sqrt{(R_1 R_m)})]$ 倍。

射入光之功率為20瓦特(W)，模式結合效率約略100%，射入鏡之反射率 R_1 及外部共振器之合成反射率 R_m 相同且 $R_1=R_m=95\%$ 之情況時，射入於第一外部共振器6之光之功率放大至約20倍之400 W。假設 $R_1=R_m=99.5\%$ ，則進一步增大，約成為200倍，該值亦可實現。作為具有400 W之繞行功率之光之非線性光學元件20之例，於射入於長度30 mm程度之LBO之結晶之情況下，可期待數瓦特位準之第二次高調波(532 nm)產生。從第一外部共振器6輸出之波長532nm之光係經由光學系統8而射入於第二外部共振器9。為了簡化，第二外部共振器9之繞行光路長亦設為380 mm。由於自由光譜區域(FSR)約800 MHz，因此若 $R_1=R_m=98\%$ ，則穿透頻寬(半峰半寬)之頻率範圍 δ' 為 0.013Π ，以半峰半寬則相當於16 MHz。若邊帶波為20 MHz，則該頻率為第二外部共振器9之穿透頻寬之0.5倍以上之頻率，該情況下，藉由第二外部共振器9反射射入光之大約60%程度，獲得S/N比高之誤差信號。

圖9係表示3段結構之外部共振器之鎖定時之有效反射率及誤差信號之一例。(A)進行從1064 nm往532 nm之波長轉換之第一段之外部共振器，(B)進行從532 nm往266 nm之波長轉換之第二段之外部共振器，(C)進行從266 nm往198

nm之波長轉換之第二段之外部共振器。從有效反射特性之曲線可理解，外部共振器之穿透頻寬係第二段比第一段窄，第三段比第二段窄。藉此，第三段之外部共振器之反射率上升，可獲得S/N比良好之誤差信號。

如以上所說明，若根據本實施型態，於由複數外部共振器所構成之鎖定系統中，可減低相位調變器之使用個數，可獲得成本刪減效果。而且，由於使用於鎖定系統之相位調變器之種類減少，因此會減低取得成本及混淆風險。

而且，藉由製成具備多段之外部共振器之結構，於以紅外光或可見光來進行相位調變之情況，相位調變器不會受到紫外光造成損傷，因此亦可刪減修理成本，而且可不需要相位調變器用之高電壓電源。

對於使用不同之複數頻率之調變信號之鎖定方法，1個信號產生部3即可等，具有可簡化系統結構之效果。

利用1個調變信號來將多階段之外部共振器同時鎖定之情況時，將從來自各階段之外部共振器之反射光所獲得之誤差信號之S/N比之積設定為接近最大值之值等，進行初始設定以使各外部共振器之誤差信號之S/N比成為最佳，可將各外部共振器所反射之調變光之比率全體予以最佳化，可使鎖定系統之鎖定動作安定化。

接著，說明有關根據本發明之第一實施型態之變形例。圖10係用以概念性地說明本發明之基本結構之變形例之圖。圖10所示之雷射光產生裝置100A與雷射光產生裝置1(參考圖1)之相異點為具備調變頻率設定機構49。圖10

中，與圖1相對應之部分係附上同一符號，並省略重複說明。

如既已說明，於雷射光產生裝置之設計階段，宜根據各種條件來決定最佳之調變信號之頻率。然而，對於起因於初始設定後，由於經時變化所造成之共振器損失增大或非線性光學元件之轉換效率降低等之外部共振器之穿透頻寬之變化，若固定調變信號之頻率，據判誤差信號之 S/N 比之積 P (式(2))會從最大值偏離。該情況下，為了使鎖定系統不至於變得不安定， S/N 比之積 P 宜始終維持在最大值或最大值附近。因此，設置根據供給自信號處理電路17之誤差信號，來使信號產生部3所產生之調變信號之頻率變化之調變頻率設定機構49，使用其以謀求雷射光產生裝置100之安定化。調變頻率設定機構49亦可藉由變化檢波相位來對應穿透頻寬之變化。

圖11係表示包含相位調變器及光檢測器之控制系統之基本結構之變形例。此外，關於第一及第二外部共振器6, 9，由於電路結構相同，因此圖中一併表示兩電路共同之部分。而且，圖11中，與圖5相對應之部分係附上同一符號，並省略重複說明。

首先，藉由信號產生部3，產生初始設定為頻率 f_c 之調變信號，該調變信號施加於相位調變器4(EOM)，於雷射光加以相位調變。

藉由光檢測器(於圖示之例中，就第一外部共振器6而言為光檢測器14，就第二外部共振器9而言為光檢測器15。)14,

15所獲得之來自各外部共振器6, 9之反射光之檢測信號、及作為局部傳送信號之調變信號(頻率 f_c 之高頻信號)係送至檢波部47。檢波部47係藉由以光檢測器14, 15所檢測到之檢測信號、及來自局部傳送器(信號產生部3)之頻率 f_c 之局部傳送信號, 進行同步檢波, 產生誤差信號Err。該誤差信號Err送至伺服控制部48, 並且送至調變頻率設定機構49。

伺服控制部48係產生控制信號, 以使誤差信號Err之位準成為零, 藉由該控制信號控制為外部共振器之光路長(繞行光路長)成為雷射光波長之整數倍。另一方面, 調變頻率設定機構49監視從檢波部47輸入之誤差信號Err, 根據該誤差信號Err, 控制信號產生部3對於相位調變器4供給之調變信號之頻率或檢波相位。

藉由此結構, 除了與上述第一實施型態同樣之效果, 即使在由於經時變化之共振器損失或轉換效率, 外部共振器之穿透頻寬變化, 仍可取得起因於外部共振器之穿透頻寬變化之誤差信號, 將施加於相位調變器之調變信號之頻率設定為各外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值。例如維持誤差信號之S/N比之積成為最大等, 控制為各外部共振器之S/N比始終為最佳, 以使鎖定系統不至於不安定, 可始終保持安定。

(第二實施型態)

圖12係表示有關本發明之第二實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。圖12中, 與圖2相對應之部分係附上同

一符號，並省略重複說明。為了充分較大地確保在最終段之外部共振器9之誤差信號之S/N比，於相位調變器4與第一外部共振器6間置入具放大作用之元件等亦有效。因此，於圖12所示之雷射光產生裝置200，對於有關第一實施型態之雷射光產生裝置100(參考圖1)，於相位調變器4與第一外部共振器6間之光路上配置放大器50，其以外則與有關第一實施型態之雷射光產生裝置100之結構同等。

圖12中，於雷射光源2產生之雷射光LT0係藉由相位調變器4，以單一頻率之調變信號接受相位調變後，經過光學系統5、放大器50，並進一步經由光學系統5a而射入於第一外部共振器6。其後之動作係與圖1之例相同，由第一外部共振器6予以波長轉換之光射入於後段之第二外部共振器9，進一步由第二外部共振器9予以波長轉換之光LT2輸出至外部。

假設於放大器50之後方配置有相位調變器4之情況時，唯恐由放大器50放大之高輸出之光會對於相位調變器4給予損傷。因此，將雷射光LT0予以相位調變後，於放大器50放大，其後射入於第一外部共振器6並予以波長轉換，係對於鎖定系統之簡化及增長使用壽命有效。

作為放大器50之例，可考慮光纖放大器、或藉由塊體之雷射介質之固體雷射放大器、使用半導體晶片之半導體雷射放大器等。近年來，由於雙包層光纖之發展，容易取得對於具有高NA值之數值孔徑之包層，使來自亮度低之高輸出半導體雷射等之激發光進行同軸傳搬，以放大射入於

芯之雷射光之光纖雷射放大器，本實施型態亦適合該類結構之放大器50。

若根據本實施型態，由於製成以放大前之低輸出進行相位調變，於放大後進行波長轉換之結構，因此除了第一實施型態所發揮之效果，還可防止相位調變器損傷，同時較高地維持波長轉換後之光輸出或波長轉換效率。

(第三實施型態)

圖13係表示有關本發明之第三實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。圖13中，與圖2相對應之部分係附上同一符號，並省略重複說明。本實施型態之雷射光產生裝置300具備第一外部共振器60及第二外部共振器9A。第一外部共振器60係使用例如射入鏡61與複數片鏡62~65及雷射介質66來構成。雷射介質66配置於鏡62及鏡63之光路上，於該雷射介質66及鏡63之延長線上，配置有光學系統67及激發光源68。其係從激發光源68輸出之激發光係經由光學系統67而射入於鏡63，穿透鏡63之激發光照射於雷射介質66之結構。從雷射光源2輸出之雷射光LT0係藉由相位調變器4，以特定頻率之調變信號接受相位調變後，經由光學系統5而射入於第一外部共振器60。射入於第一外部共振器60之光係經過鏡61，62、雷射介質66，並進一步依序反射於鏡63，64，61，65而射入於後段之第二外部共振器9A。然後，由第二外部共振器9予以波長轉換之光LT3輸出至外部。

雷射光產生裝置300係於相位調變器4，以單一頻率將來

自雷射光源2之輸出光LT0予以相位調變後，藉由光學系統5注入於第一外部共振器60並放大之方式，其稱為注入同步(注入鎖定)。該情況下，若第一外部共振器60之縱模式(共振頻率)與注入光LT0之頻率一致，則光進入第一外部共振器60內，由雷射介質66放大，因此藉由同步表現出第一外部共振器60之反射率變大。因此，若從鏡65取出反射光之一部分，利用含於其之邊帶波並以FM邊帶法來鎖定，則可從第一外部共振器60擷取比射入光LT0之輸出大之光。該光經過光學系統8並射入於第二外部共振器9A，由非線性元件30A進行波長轉換等。由於在第一外部共振器60不進行波長轉換，因此此時之第二外部共振器9A之鎖定係利用與使用於第一外部共振器60之鎖定相同頻率之光及邊帶波。

若根據本實施型態，由於在第一外部共振器內設置雷射介質，構成為放大注入光，因此可謀求系統結構之簡化(省空間化)，並且將功率提高之光往第二外部共振器射入，因此可提高第二外部共振器之轉換效率。其他則發揮與第二實施型態同樣之效果。

(第四實施型態)

圖14係表示有關本發明之第四實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。圖14中，與圖2及圖13相對應之部分係附上同一符號，並省略重複說明。本實施型態之雷射光產生裝置400具備第一外部共振器70及第二外部共振器9，於第三實施型態之注入同步用之第一外部共振器60，進一步

配置作為波長轉換結晶之非線性光學元件20。

第一外部共振器70係使用例如射入鏡71與複數片鏡72~74、波長轉換用之非線性光學元件20及雷射介質66來構成。雷射介質66配置於鏡72及鏡73之光路上，於該雷射介質66及鏡73之延長線上，配置有光學系統67及激發光源68。其係從激發光源68輸出之激發光係經由光學系統67而射入於鏡73，穿透鏡73之激發光照射於雷射介質66之結構。

從雷射光源2輸出之雷射光LT0係藉由相位調變器4，以單一頻率之調變信號接受相位調變後，經由光學系統5而射入於第一外部共振器70。射入於第一外部共振器70之光係經過鏡71，72、雷射介質66，並進一步依序反射於鏡73，74，71，從鏡72射入於後段之第二外部共振器9。然後，由第二外部共振器9予以波長轉換之光LT4輸出至外部。從第一外部共振器70之鏡71之反射光、及第二外部共振器9之鏡31之反射光所含之邊帶波獲得誤差信號，根據該誤差信號來進行各外部共振器70，9之鎖定。

若根據本實施型態，除了於第三實施型態所發揮之效果，還具有一面於第一外部共振器放大射入光，同時以極高之效率來進行波長轉換之特徵。

(第五實施型態)

圖15係表示有關本發明之第五實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。圖15中，與圖2相對應之部分係附上同一符號，並省略重複說明。於上述第一~第四實施型態，

主要說明有關輸入一種波長並輸出其他波長之波長轉換。本實施型態係說明有關使用第一外部共振器6之輸出光、其他雷射光輸入光、共有波長轉換結晶之第二外部共振器80及第三外部共振器90，來進行2波長輸入1波長輸出之情況。

第二外部共振器80設有4片鏡81~84、及差頻混合用之非線性光學元件110。亦即，形成從第一外部共振器6射入於鏡81之光係於經過非線性光學元件110後，於鏡82,83依序反射並回到鏡81之光路。單一頻率之雷射光源96之輸出光係經過模式匹配用光學系統95而射入於第三共振器90。第三外部共振器90係設有4片鏡91~94及非線性光學元件110，非線性光學元件110係與第二外部共振器80間共有。形成從雷射光源96射入於鏡91之光係於鏡92反射，經過非線性光學元件110後，於鏡93, 94依序反射而回到鏡91之光路。

關於與第一外部共振器6及第二外部共振器9相關連之鎖定用之控制，與既已說明之方法相同，將例如頻率 f_c 之調變信號施加於相位調變器4，並且使根據頻率 f_c 之信號之光之調變成分(邊帶波)由第一外部共振器6反射，剩餘之光之調變成分穿透第一外部共振器6，並由第二外部共振器9反射。然後，來自雷射光源96之光與來自第一外部共振器6之輸出光係於光混合用之非線性光學元件110被予以頻率加算，結果從該非線性光學元件110獲得輸出光LT5。

例如於第一外部共振器6，將從雷射光源2輸出之532 nm

之光予以波長轉換為 266 nm，並於第二外部共振器 80 鎖定，同時於第三外部共振器 90 鎖定其他雷射輸出，兩者之光在非線性光學元件 110(波長轉換結晶)內，透過和頻混合、差頻混合等而轉換為所需波長。

波長轉換除了第二次高調波產生、和頻產生、差頻產生等以外，亦有藉由 OPO(光參數共振器)等來產生長波長光之方式，可考慮各種變形例。

如以上所說明，可採用如下結構：從雷射光源 2 輸出之雷射光係於穿透施加有調變信號之相位調變器 4 後，藉由配置於第一外部共振器 6 內之非線性光學元件 20 予以波長轉換，其後不經過其他相位調變器即依序射入於複數外部共振器(例如縱排配置之外部共振器)之結構。然後，於此情況下，藉由利用從調變信號及有關各外部共振器之光檢測信號所產生之誤差信號之 FM 邊帶法，可將各外部共振器同時保持於共振狀態。

此外，為了外部共振器之安定鎖定，調變來自雷射光源 2 之輸出光所產生之邊帶波或其等之和頻信號或差頻信號之各個，必須對於對應之調變信號之頻率(來自信號產生部 3 之傳送頻率)處於安定之位置關係。因此，於同步檢定時，宜可對於個別之邊帶波獨立地調整相位延遲量。例如圖 5 中，構成如於光檢測器 14, 15 與檢波部 17 間介插延遲電路，可針對光檢測信號之相位延遲進行調整即可。

作為上述各實施型態之非線性光學元件之使用材料，可舉出 KTiOPO_4 (KTP)、 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO)、 LiB_3O_5 (LBO)、

MgO : LiNbO₃、或 PP-KTiOPO₄、PP-MgO : LiNbO₃、PP-MgO : S-LiNbO₃、PP-S-LiTaO₃、PP-MgO : S-LiTaO₃ 等非線性光學材料。此外，於此，「PP」係意味「Periodical Poling(週期分極反轉構造)」，藉由對於非線性光學結晶施加電壓施加等所造成之週期分極控制，可獲得具有週期分極反轉構造之非線性光學元件。此等材料係配合使用波長，以符合相位整合條件之適當角度來加工，或藉由製作適當之週期分極反轉構造來符合(擬似)相位整合條件。

「S」係意味「Stoichiometric(化學計量組成)」。而且，非線性光學元件之大小宜設為比外部共振器內部之基本波及轉換波之射束尺寸大適當量之尺寸。此外，此等之光學結晶亦利用於和頻產生、參數振盪、第三高調波產生等波長轉換。

而且，於上述各實施型態，轉換波長相同之情況係附上同一符號，並利用相同之非線性光學元件(光學結晶)來記載，但其他光學結晶亦可。轉換波長不同之情況時，即使為相同之光學結晶，方位或覆膜波長仍會不同。當然亦可依各轉換波長來改變使用之光學結晶。

本發明不限定於上述實施型態例所說明之結構，例如雷射光產生裝置中之共振器內之折返反射部或共振器間結合用之透鏡等之光學元件之零件數、材料結構等，可於不脫離本發明結構之範圍內進行各種變形、變更。而且如上述，於波長轉換用之非線性光學元件所產生之高調波不限定於2次高調波，3次以上之高調波亦可，而且亦可適用於

藉由和頻產生所進行之高調波產生、藉由參數振盪進行轉換之情況。

【圖式簡單說明】

圖1係表示本發明之基本結構例之圖。

圖2係表示有關本發明之第一實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。

圖3係表示兩極驅動之相位調變器之概略之立體圖。

圖4係表示圖3所示之兩極驅動之相位調變器之電路例之圖。

圖5係表示包含相位調變器及光檢測器之控制系統之結構例之圖。

圖6係表示外部共振器之有效反射特性之曲線圖。

圖7(A)、(B)係表示有效反射特性與調變頻率之關係之曲線圖。

圖8係供誤差信號之S/N之測定方法之說明之圖。

圖9(A)~(C)係表示各外部共振器之鎖定時之有效反射特性與誤差信號之關係之曲線圖。

圖10係表示圖1所示之基本結構之變形例之圖。

圖11係表示圖5所示之控制系統之結構之變形例之圖。

圖12係表示有關本發明之第二實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。

圖13係表示有關本發明之第三實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。

圖14係表示有關本發明之第四實施型態之雷射光產生裝置

置之結構例之圖。

圖 15 係表示有關本發明之第五實施型態之雷射光產生裝置之結構例之圖。

【主要元件符號說明】

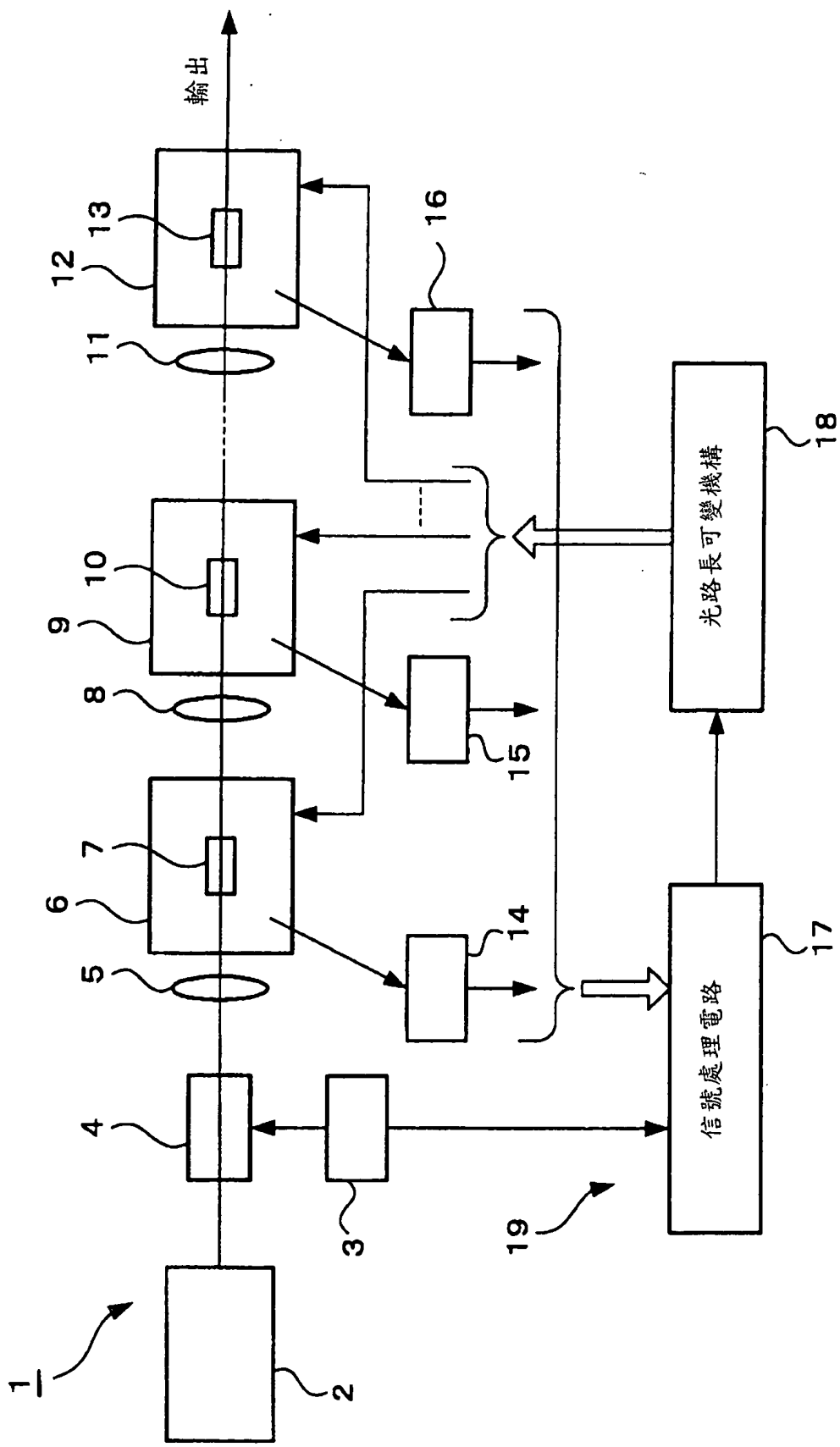
1, 100, 100A, 200, 300, 400, 500	雷射光產生裝置
2, 68, 96	雷射光源
3	信號產生部
4	相位調變器
6, 60, 70	第一外部共振器
7, 10, 13, 20, 30, 30A, 110	非線性光學元件
9, 9A, 80	第二外部共振器
14, 15, 16	光檢測器
17	信號處理部
18	光路長可變機構
19	控制電路
47	檢波部
48	伺服控制部
49	調變頻率設定機構
90	第三外部共振器

五、中文發明摘要：

本發明係於使用複數外部共振器並按照FM邊帶法來產生所需之雷射光時，利用1個調變信號來實現安定之鎖定。於雷射光產生裝置1設置雷射光源2、相位調變器4與用以於其施加調變信號之信號產生部3、及複數外部共振器6, 9。而且，於外部共振器6, 9中設置非線性光學元件7, 10，並且設置用以變化各外部共振器6, 9之光路長之光路長可變機構18。利用接受來自各外部共振器6, 9之光之光檢測器14, 15之檢測信號來獲得誤差信號，並按照FM邊帶法來控制光路長可變機構18，藉此形成與共振器長之控制相關連之負回授結構之控制電路19。此時，藉由將調變信號之頻率設定為獲自各外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值，以實現各外部共振器之安定鎖定。

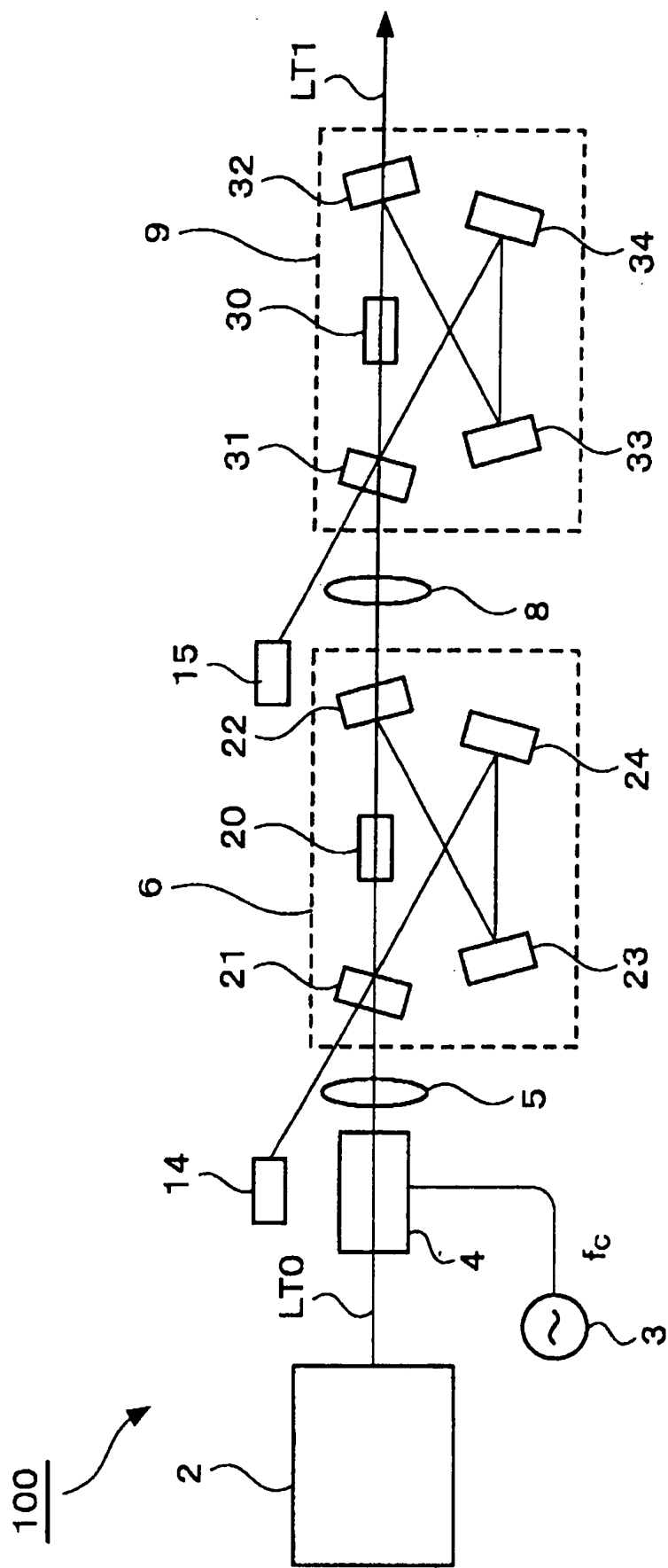
六、英文發明摘要：

十一、圖式：



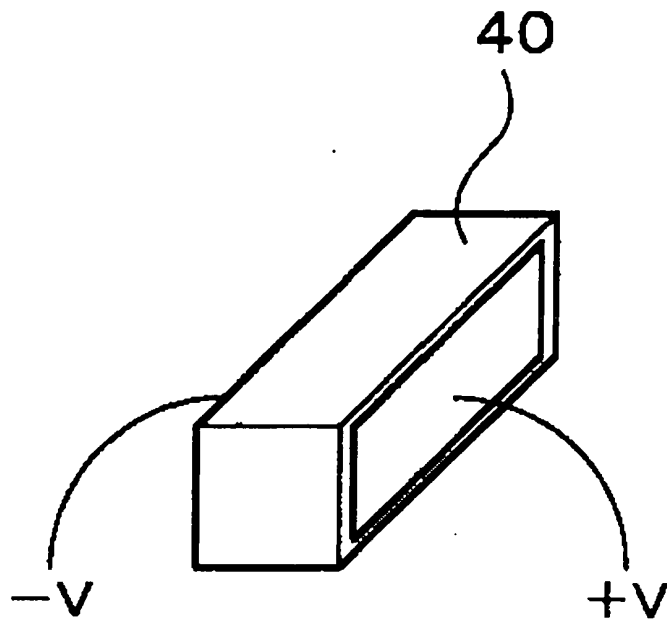
基本結構

圖 1



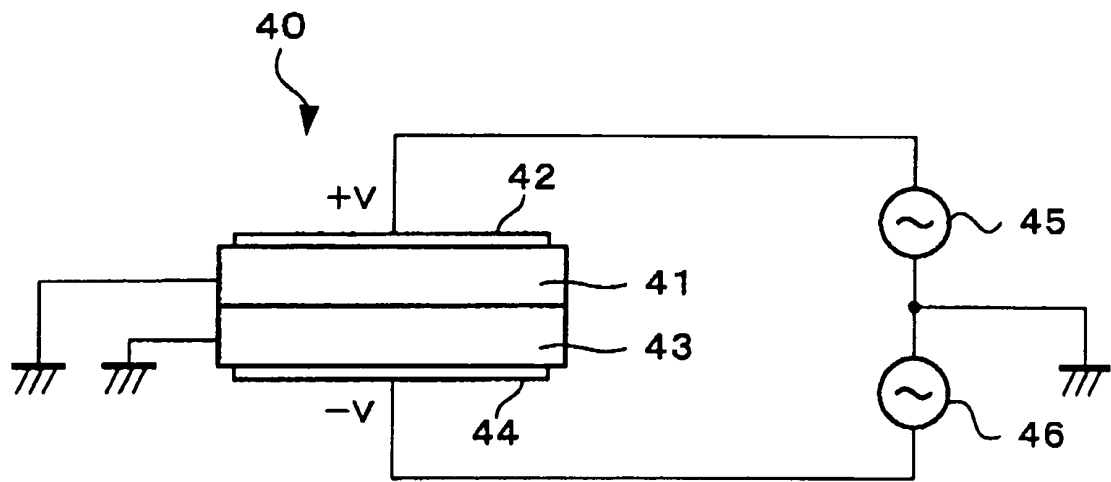
第一實施型態之雷射光產生裝置

圖 2



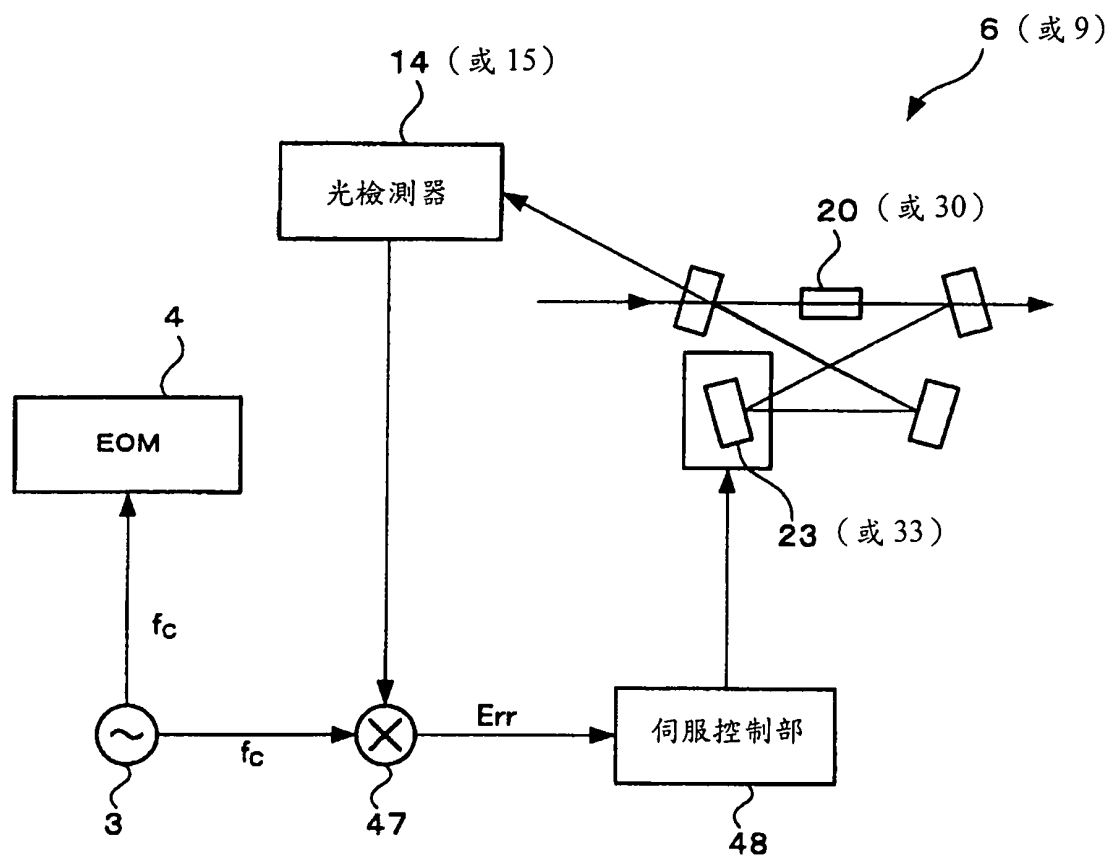
兩極驅動之相位調變器

圖 3



使用兩極驅動之相位調變器之電路

圖 4



控制系統之結構

圖 5

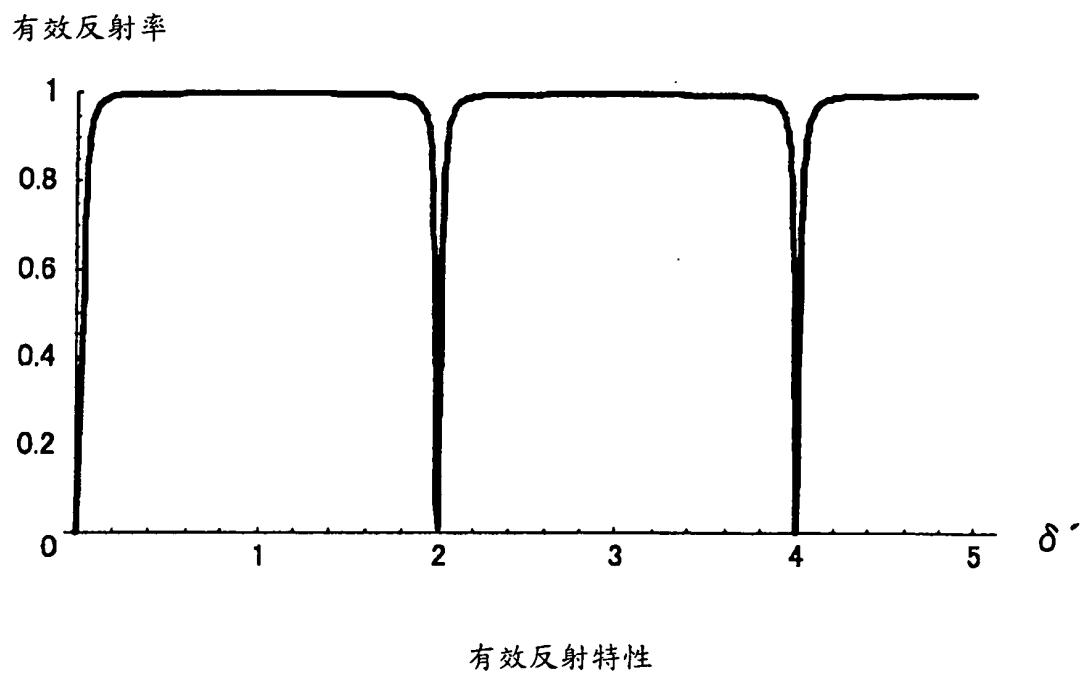
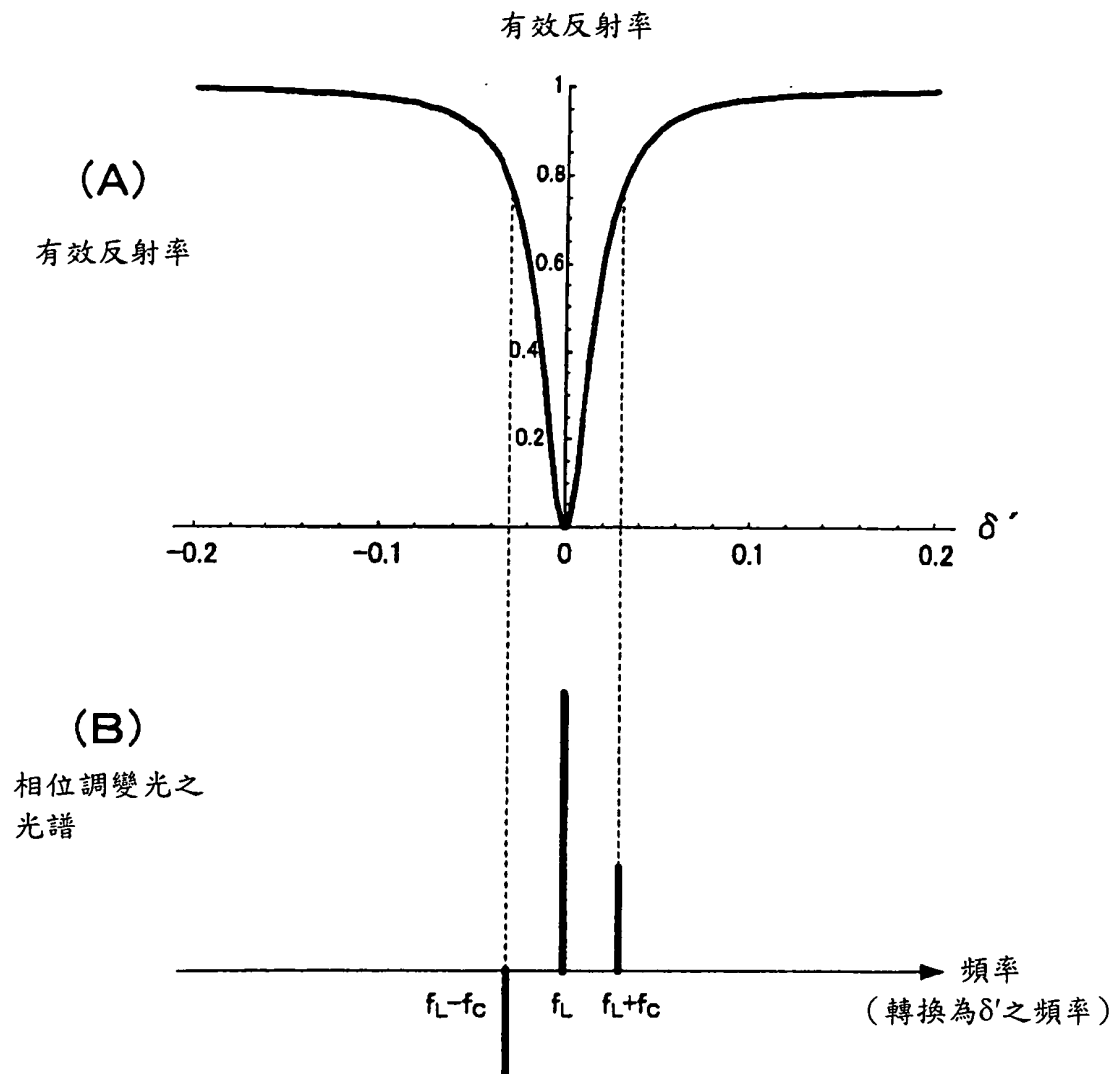


圖 6



有效反射特性與調變頻率之關係

圖 7

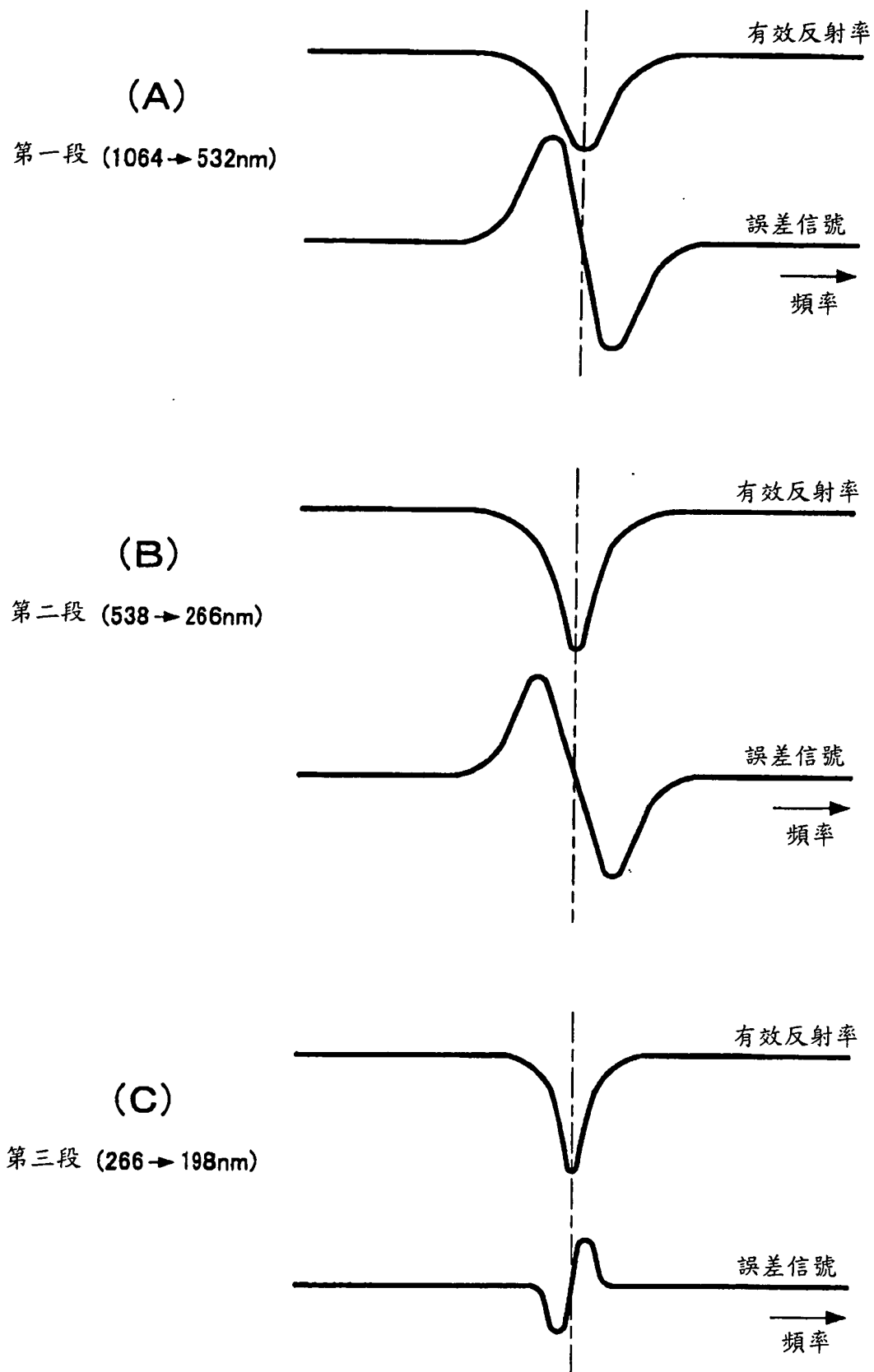
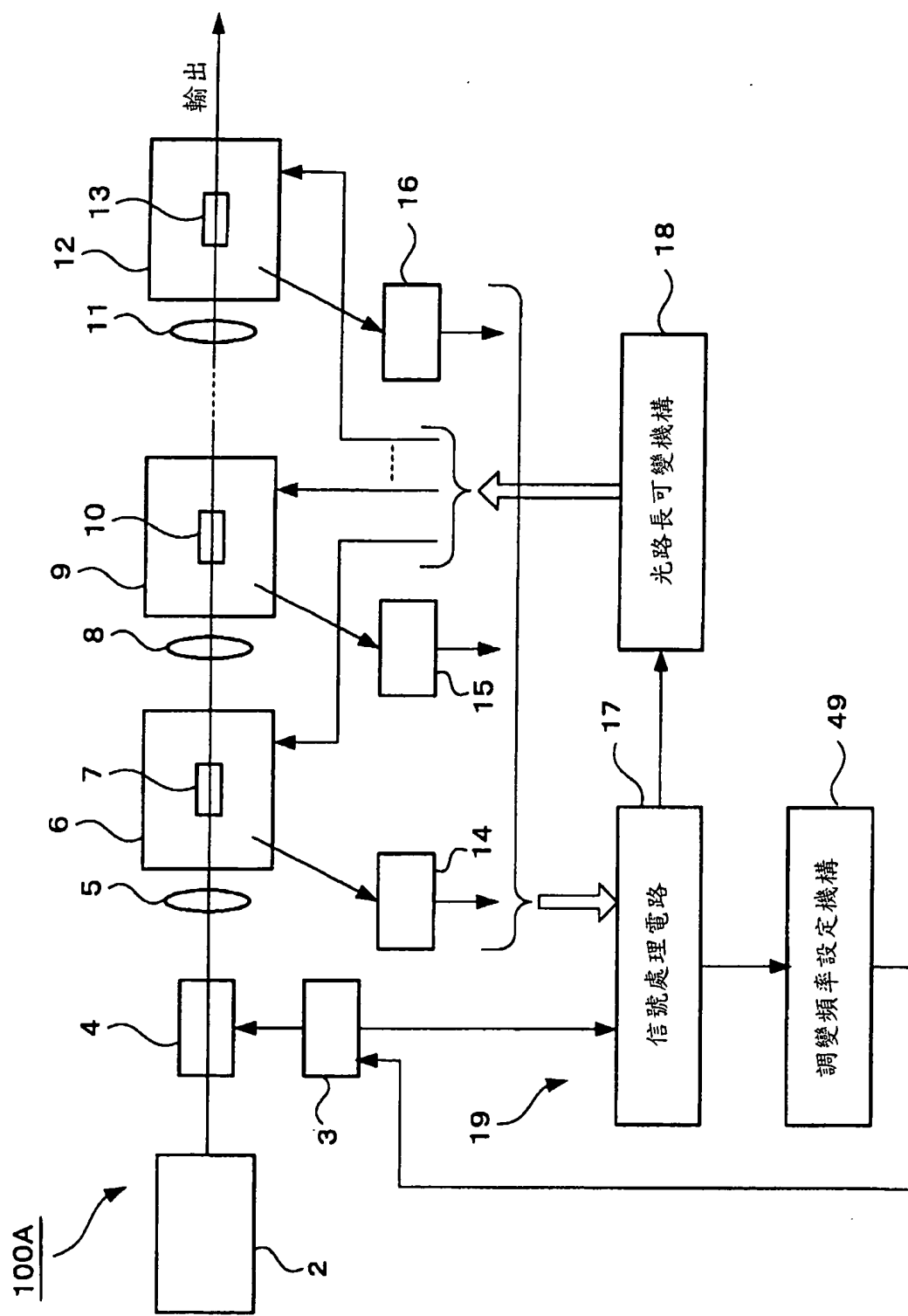


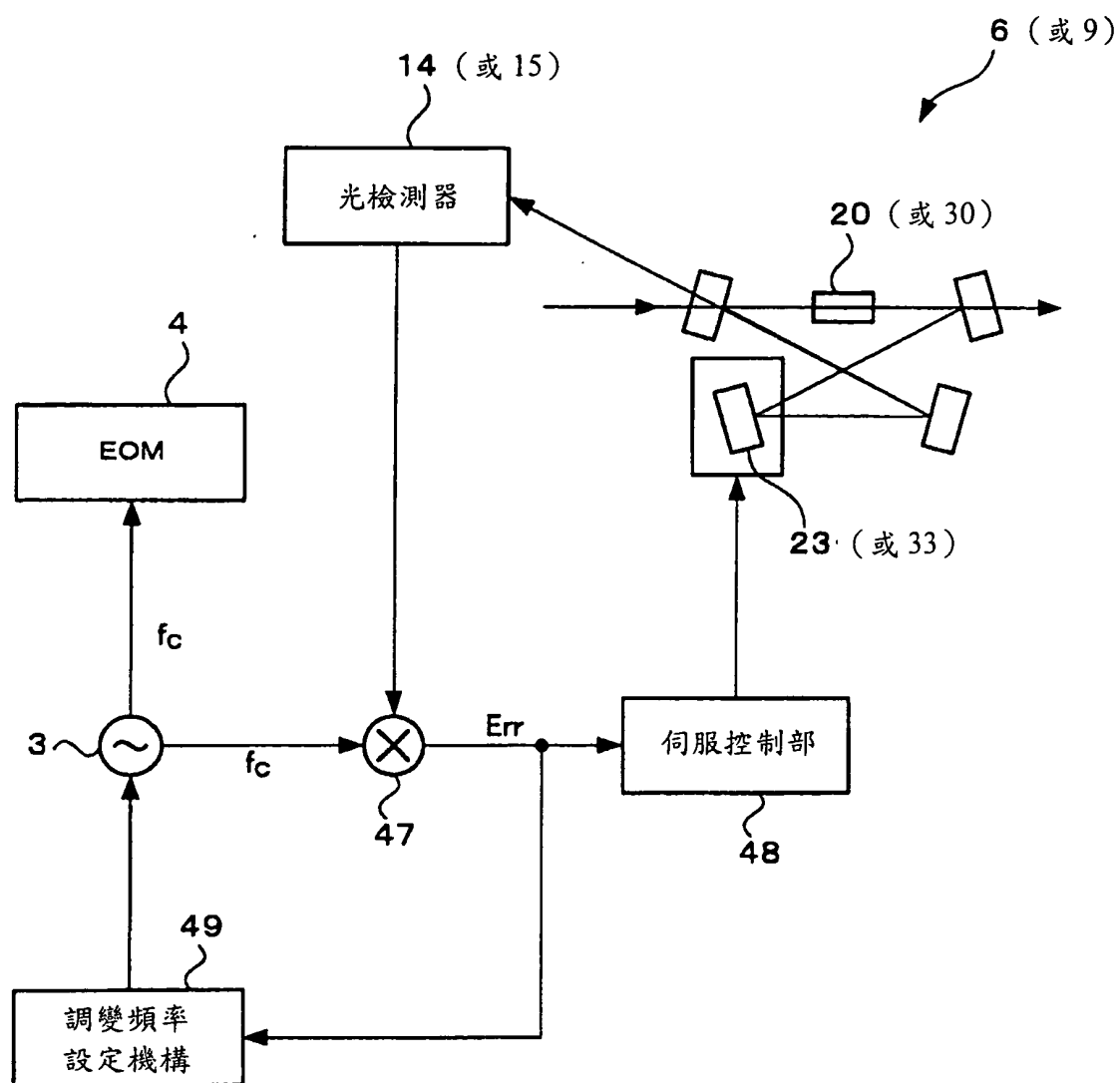
圖 9

鎖定時之有效反射率與誤差信號之關係



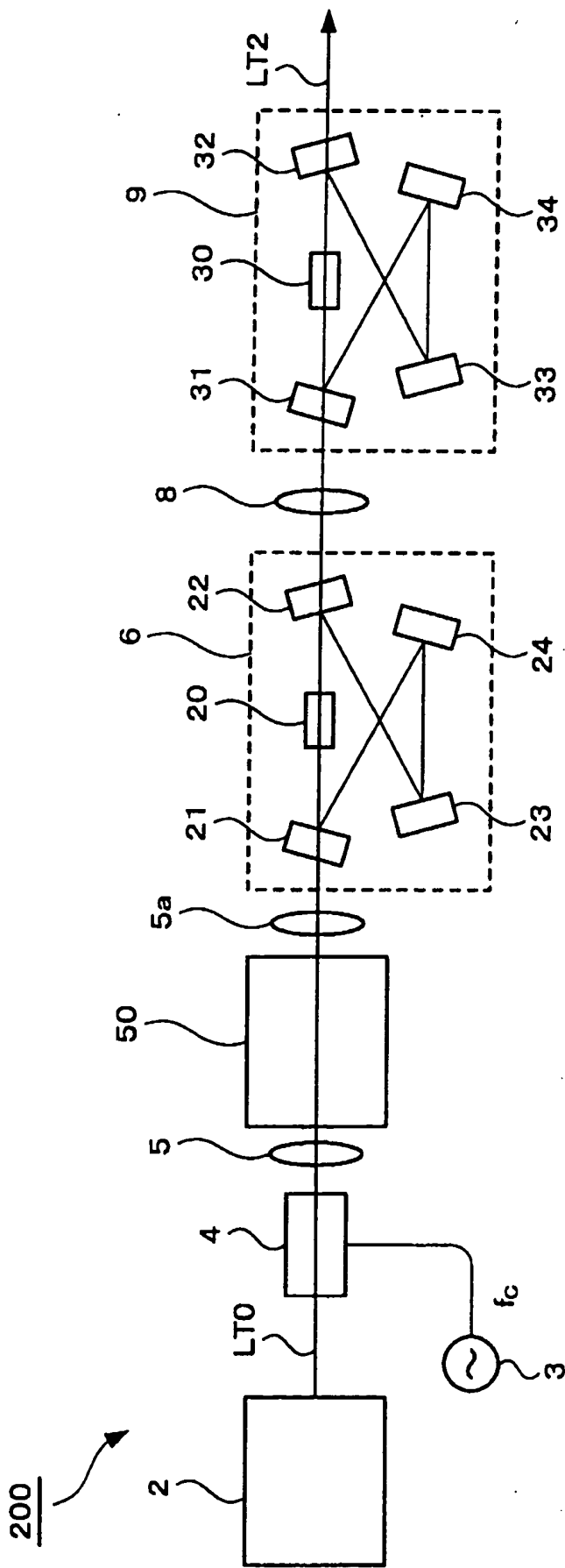
基本結構之變形例

圖 10



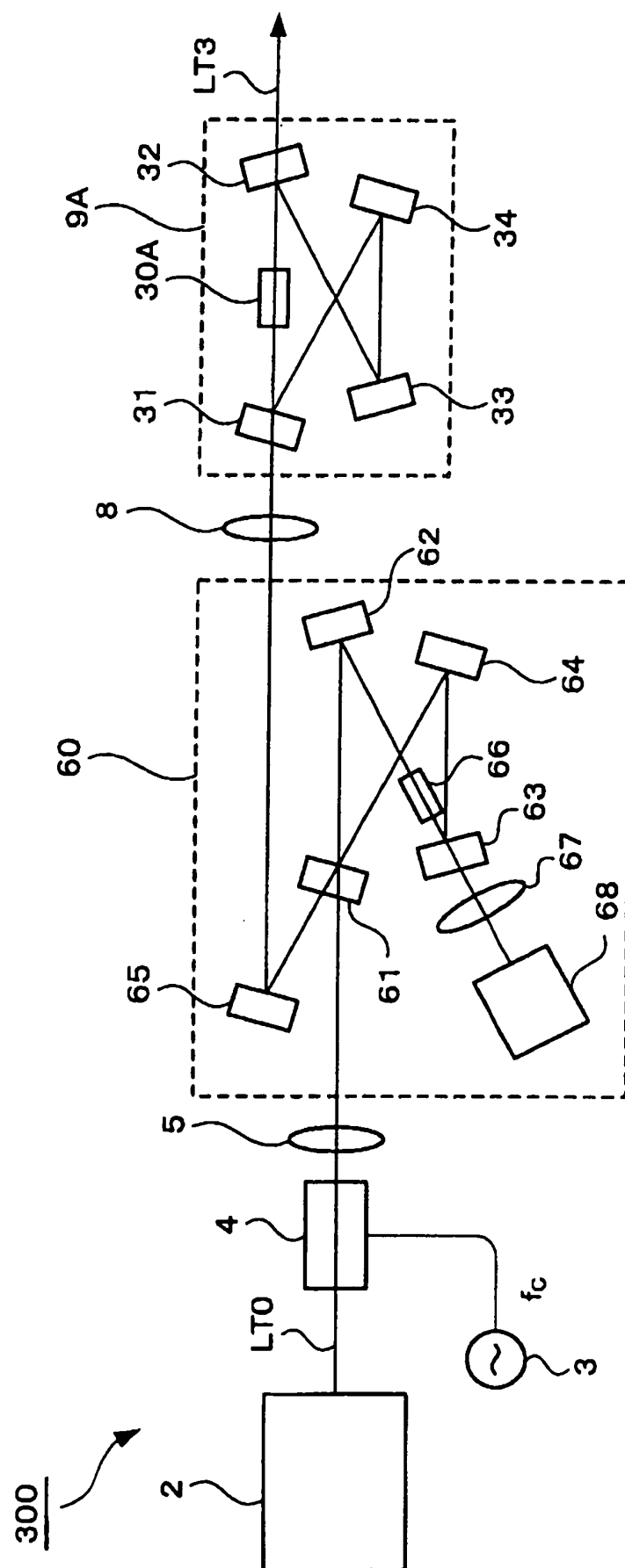
控制系統之結構之變形例

圖 11



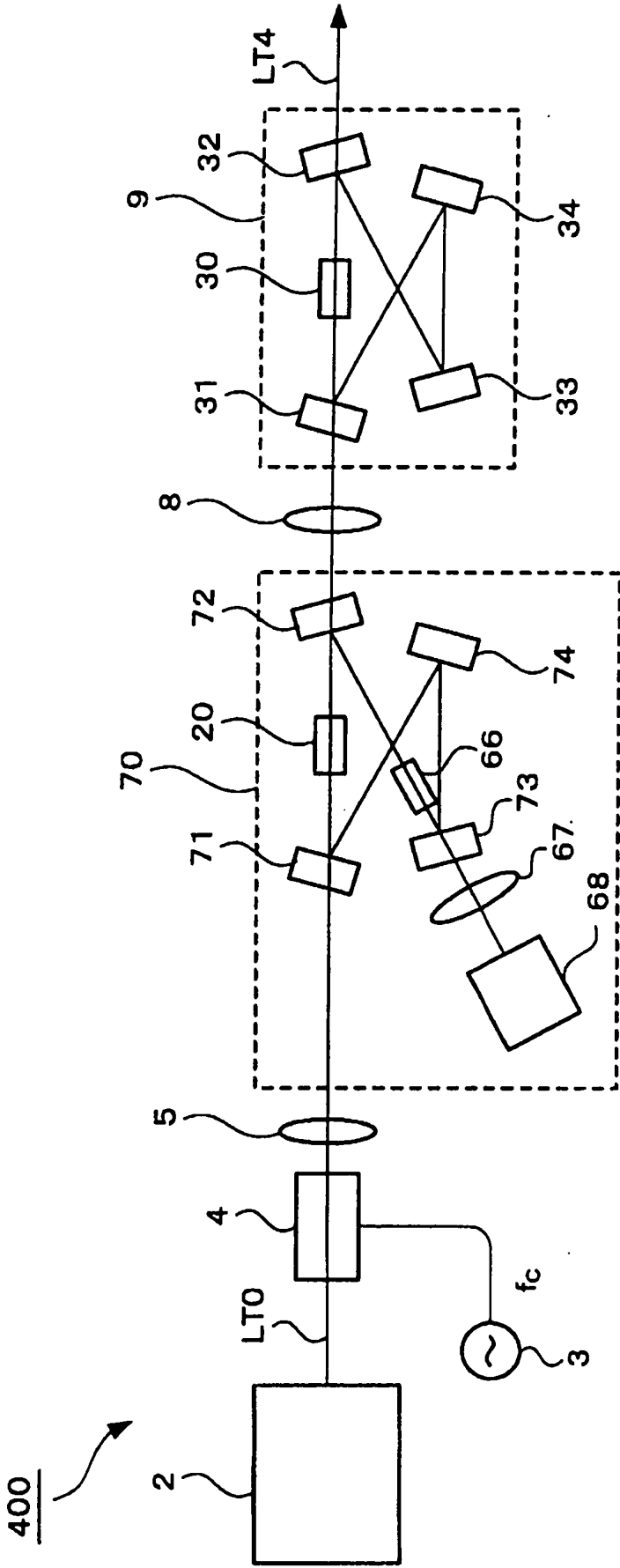
第二實施型態之雷射光產生裝置

圖 12



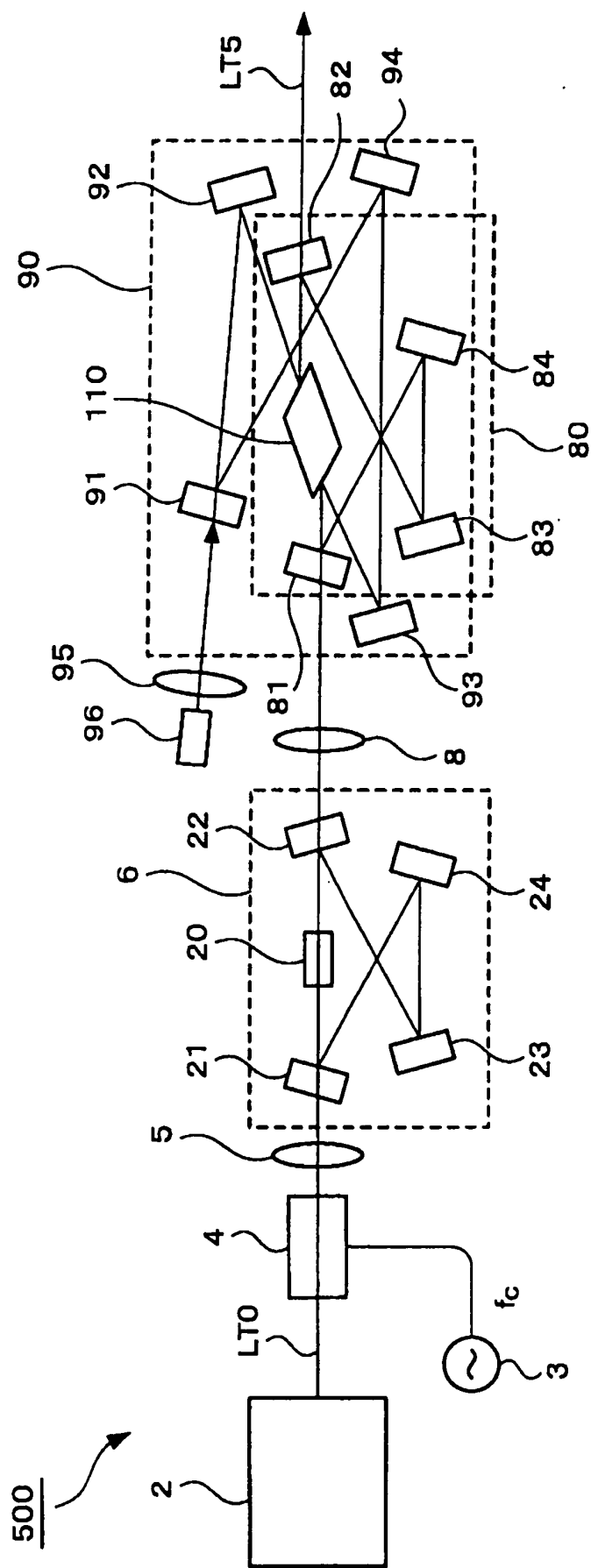
第三實施型態之雷射光產生裝置

圖 13



第四實施型態之雷射光產生裝置

圖 14



第五實施型態之雷射光產生裝置

15

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1	雷射光產生裝置
2	雷射光源
3	信號產生部
4	相位調變器
5, 8, 11	光學系統
6	第一外部共振器
7, 10, 13	非線性光學元件
9	第二外部共振器
12	外部共振器
14, 15, 16	光檢測器
17	信號處理部
18	光路長可變機構
19	控制電路

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

十、申請專利範圍：

101年4月10日修正本

1. 一種雷射光產生裝置，其特徵為包含：

雷射光源；

第一外部共振器及配置於比該外部共振器後段之第二外部共振器；

相位調變器，其係配置於前述雷射光源與前述第一外部共振器間之光路上，且被施加1個調變信號；

信號產生部，其係產生施加於前述相位調變器之調變信號；

非線性光學元件，其係配置於各外部共振器內，進行射入之光之波長轉換；

光路長可變機構，其係用以使各外部共振器之光路長分別變化；

光檢測器，其係分別接受來自各外部共振器之光；及

控制電路，其係具有負回授之結構，以便從藉由前述光檢測器所獲得之檢測信號及前述調變信號，來對於各外部共振器獲得誤差信號，並按照利用該誤差信號之FM邊帶法來控制前述光路長可變機構；

前述調變信號之頻率設定為各前述外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值，藉由前述控制電路來對於各外部共振器控制光路長，將此等複數外部共振器同時保持於共振狀態；

將前述雷射光予以相位調變所產生之邊帶波之頻率係設定為：以前述第一外部共振器之共振頻率為基點相當

於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上且2倍以下、及以前述第二外部共振器之共振頻率為基點相當於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上。

2. 一種雷射光產生裝置，其特徵為包含：

雷射光源；

第一外部共振器及配置於比該外部共振器後段之第二外部共振器；

相位調變器，其係配置於前述雷射光源與前述第一外部共振器間之光路上，且被施加1個調變信號；

放大器，其係配置於前述相位調變器與前述第一外部共振器間之光路上；

信號產生部，其係產生施加於前述相位調變器之調變信號；

非線性光學元件，其係配置於各外部共振器內，進行射入之光之波長轉換；

光路長可變機構，其係用以使各外部共振器之光路長分別變化；

光檢測器，其係分別接受來自各外部共振器之光；及

控制電路，其係具有負回授之結構，以便從藉由前述光檢測器所獲得之檢測信號及前述調變信號，來對於各外部共振器獲得誤差信號，並按照利用該誤差信號之FM邊帶法來控制前述光路長可變機構；

前述調變信號之頻率設定為各前述外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值，藉由前述控制電路來對於

各外部共振器控制光路長，將此等複數外部共振器同時保持於共振狀態；

將前述雷射光予以相位調變所產生之邊帶波之頻率係設定為：以前述第一外部共振器之共振頻率為基點相當於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上且2倍以下、及以前述第二外部共振器之共振頻率為基點相當於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上。

3. 一種雷射光產生裝置，其特徵為包含：

雷射光源；

第一外部共振器，其係於其內部具有增益介質；

第二外部共振器，其係配置於比前述第一外部共振器後段；

相位調變器，其係配置於前述雷射光源與前述第一外部共振器間之光路上，且被施加1個調變信號；

信號產生部，其係產生施加於前述相位調變器之調變信號；

非線性光學元件，其係配置於前述第一外部共振器除外之各外部共振器內，進行射入之光之波長轉換；

光路長可變機構，其係用以使各外部共振器之光路長分別變化；

光檢測器，其係分別接受來自各外部共振器之光；及

控制電路，其係具有負回授之結構，以便從藉由前述光檢測器所獲得之檢測信號及前述調變信號，來對於各外部共振器獲得誤差信號，並按照利用該誤差信號之FM

邊帶法來控制前述光路長可變機構；

前述調變信號之頻率設定為各前述外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值，藉由前述控制電路來對於各外部共振器控制光路長，將此等複數外部共振器同時保持於共振狀態；

將前述雷射光予以相位調變所產生之邊帶波之頻率係設定為：以前述第一外部共振器之共振頻率為基點相當於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上且2倍以下、及以前述第二外部共振器之共振頻率為基點相當於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上。

4. 一種雷射光產生裝置，其特徵為包含：

雷射光源；

第一外部共振器，其係於其內部具有增益介質；

第二外部共振器，其係配置於比前述第一外部共振器後段；

相位調變器，其係配置於前述雷射光源與前述第一外部共振器間之光路上，且被施加1個調變信號；

信號產生部，其係產生施加於前述相位調變器之調變信號；

非線性光學元件，其係配置於各外部共振器內，進行射入之光之波長轉換；

光路長可變機構，其係用以使各外部共振器之光路長分別變化；

光檢測器，其係分別接受來自各外部共振器之光；及

控制電路，其係具有負回授之結構，以便從藉由前述光檢測器所獲得之檢測信號及前述調變信號，來對於各外部共振器獲得誤差信號，並按照利用該誤差信號之FM邊帶法來控制前述光路長可變機構；

前述調變信號之頻率設定為各前述外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值，藉由前述控制電路來對於各共振器控制光路長，將此等複數外部共振器同時保持於共振狀態；

將前述雷射光予以相位調變所產生之邊帶波之頻率係設定為：以前述第一外部共振器之共振頻率為基點相當於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上且2倍以下、及以前述第二外部共振器之共振頻率為基點相當於穿透頻寬之半峰半寬之頻率範圍之0.5倍以上。

5. 如請求項1至4中任一項之雷射光產生裝置，其中

於分別形成於前述相位調變器之一面及與該一面相反面之電極，施加極性相反之同相之電壓信號。

6. 如請求項1至4中任一項之雷射光產生裝置，其中包含：

調變頻率設定機構，其係取得起因於前述複數外部共振器之穿透頻寬變化之誤差信號，並將施加於前述相位調變器之前述調變信號之頻率設定為各前述外部共振器之誤差信號之S/N比被平均化之值。

7. 如請求項1至4中任一項之雷射光產生裝置，其中

施加於前述相位調變器之前述調變信號之頻率係設定為：各前述外部共振器之誤差信號之S/N比之積成為最

大或約略最大之值。

8. 如請求項1至4中任一項之雷射光產生裝置，其中

將前述雷射光予以相位調變所產生之邊帶波之一部分係由前述第一外部共振器反射，其他邊帶波係穿透前述第一外部共振器且由第二外部共振器(9)反射。