



(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 I869957 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 01 月 11 日

(21)申請案號：112128990

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 08 月 02 日

(51)Int. Cl. : H01S3/108 (2006.01)

H01S3/13 (2006.01)

(30)優先權：2022/09/12 世界智慧財產權組織 PCT/JP2022/034084

(71)申請人：日商三菱電機股份有限公司(日本) MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION
(JP)

日本

(72)發明人：藤井俊輔 FUJII, SHUNSUKE (JP)；平山望 HIRAYAMA, NOZOMI (JP)

(74)代理人：洪澄文；洪茂

(56)參考文獻：

TW 201622278A

US 2008/0013163A1

US 2008/0261382A1

審查人員：李忠憲

申請專利範圍項數：9 項 圖式數：9 共 29 頁

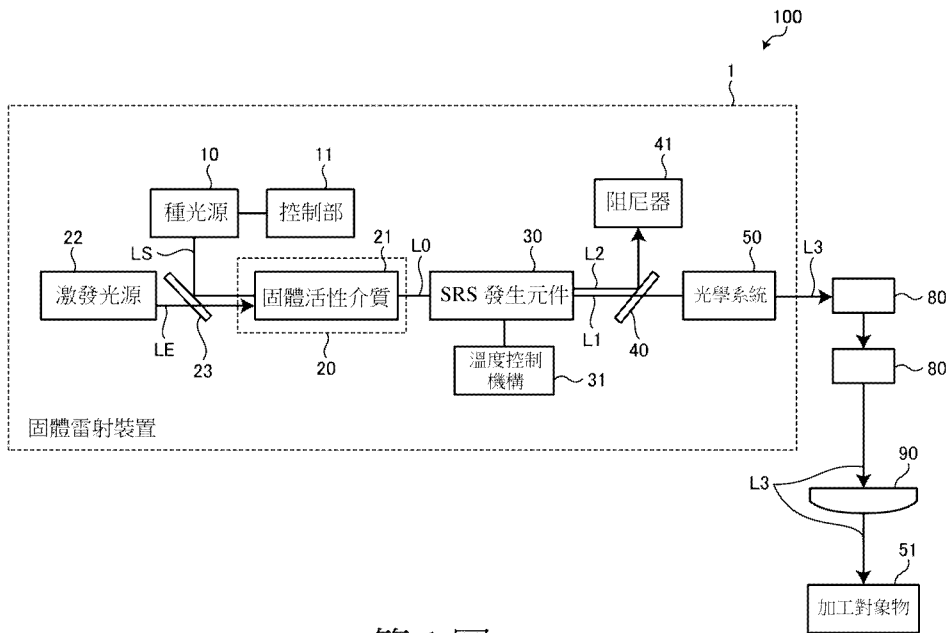
(54)名稱

固體雷射裝置以及固體雷射加工裝置

(57)摘要

固體雷射裝置(1)包括種光源(10)、固體放大器(20)、受激拉曼散射發生元件(30)、以及波長濾波器(40)。種光源(10)輸出第一波長的脈衝光(LS)。固體放大器(20)具有固體活性介質(21)，輸出放大脈衝光(LS)的第一波長的脈衝放大光(L0)。受激拉曼散射發生元件(30)配置在固體放大器(20)的後段，藉由受激拉曼散射將脈衝放大光(L0)以1%以上的波長轉換效率而波長轉換為第二波長，而輸出第一波長的第一脈衝光(L1)與第二波長的第二脈衝光(L2)。波長濾波器(40)利用波長的不同而從受激拉曼散射發生元件(30)輸出的第一脈衝光(L1)的光路分離第二脈衝光(L2)。

指定代表圖：



第 1 圖

符號簡單說明：

1: 固體雷射裝置

10: 種光源

11: 控制部

20: 固體放大器

21: 固體活性介質

22: 激發光源

23: 分光鏡

30: SRS 發生元件

31: 溫度控制機構

40: 波長濾波器

41: 阻尼器

50: 光學系統

51: 加工對象物

80: 偏向器

90: 聚光透鏡

100: 固體雷射加工裝置

L0: 脈衝放大光

L1: 第一脈衝光

L2: 第二脈衝光

L3: 第三脈衝光

LE: 激發光

LS: 脈衝光



I869957

【發明摘要】

【中文發明名稱】 固體雷射裝置以及固體雷射加工裝置

【中文】

固體雷射裝置（1）包括種光源（10）、固體放大器（20）、受激拉曼散射發生元件（30）、以及波長濾波器（40）。種光源（10）輸出第一波長的脈衝光（LS）。固體放大器（20）具有固體活性介質（21），輸出放大脈衝光（LS）的第一波長的脈衝放大光（L0）。受激拉曼散射發生元件（30）配置在固體放大器（20）的後段，藉由受激拉曼散射將脈衝放大光（L0）以1%以上的波長轉換效率而波長轉換為第二波長，而輸出第一波長的第一脈衝光（L1）與第二波長的第二脈衝光（L2）。波長濾波器（40）利用波長的不同而從受激拉曼散射發生元件（30）輸出的第一脈衝光（L1）的光路分離第二脈衝光（L2）。

【指定代表圖】 第1圖

【代表圖之符號簡單說明】

1:固體雷射裝置

10:種光源

11:控制部

20:固體放大器

21:固體活性介質

22:激發光源

23:分光鏡

30:SRS發生元件

31:溫度控制機構

40:波長濾波器

41:阻尼器

50:光學系統

51:加工對象物

80:偏向器

90:聚光透鏡

100:固體雷射加工裝置

L0:脈衝放大光

L1:第一脈衝光

L2:第二脈衝光

L3:第三脈衝光

LE:激發光

LS:脈衝光

【發明說明書】

【中文發明名稱】 固體雷射裝置以及固體雷射加工裝置

【技術領域】

【0001】 本揭露係關於出射在雷射加工中使用的雷射光的固體雷射裝置以及固體雷射加工裝置。

【先前技術】

【0002】 近年來，作為微細加工的雷射光源，廣泛利用輸出短脈衝光的固體雷射裝置。在這樣的固體雷射裝置中，大多採用主控振盪器功率放大器(Master Oscillator Power Amplifier, MOPA) 方式，從種光源輸出的微弱短脈衝光藉由包含固體活性介質的固體放大器而放大並輸出。作為MOPA方式的優點，可以舉出易於控制重複頻率的點、以及經由增加固體放大器的級數而易於得到高輸出的點等。

【0003】 在以MOPA方式的固體雷射裝置進行加工時，有時想暫時停止脈衝光的輸出，或者有時想在加工中改變脈衝光的重複頻率。在這種情況下，在固體放大器的固體活性介質藉由激發光源而激發的狀態下，當輸入到固體活性介質的脈衝光的脈衝間隔時間變長時，藉由激發光源而使得在固體活性介質儲存的能量過多。其結果，接著輸入到固體活性介質的脈衝光被過度放大，而輸出極大的峰值輸出的脈衝光。以下，也將這樣輸出的脈衝光稱為「巨脈衝」。由此巨脈衝會引起配置在後段的光學元件的損壞以及加工品質的降低。

【0004】 專利文獻1揭露了在暫時停止從裝置輸出脈衝光的情況下，可以避免由於固體放大器的過度激發而造成的損壞，並且可以避免輸出重新開始後光束傳播特性的劣化的雷射光源裝置。在專利文獻1記載的雷射光源裝置包括光

纖放大器以及固體放大器、非線性光學元件、光開關元件、以及控制部。光纖放大器以及固體放大器使用增益切換法放大從種光源輸出的脈衝光。非線性光學元件將從固體放大器輸出的脈衝光進行波長轉換。光開關元件允許或阻止脈衝光從光纖放大器傳播往固體放大器的傳播。控制部控制種光源以及光開關元件。

【0005】 在專利文獻1記載的雷射光源裝置中，在來自種光源的脈衝光的輸出期間，以阻止從光纖放大器往固體放大器的脈衝光的傳播的方式，藉由控制部控制光開關元件。由此，可以實現即使不停止種光源，也可以停止來自非線性光學元件的脈衝光的輸出的輸出停止狀態。又，在輸出停止狀態，因為以在與來自種光源的脈衝光的輸出期間不同的期間允許光的傳播的方式，藉由控制部控制光開關元件，所以在前段的光纖放大器產生的自發輻射光雜訊傳播到後段的固體放大器，使得藉由激發光源而處於激發狀態的固體放大器的活性區域的能量放出。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

【0006】 [專利文獻1] 國際公開第2015/122375號

【發明內容】

[發明所欲解決之問題]

【0007】 然而，在專利文獻1記載的技術中，利用從配置在種光源與固體放大器之間的光纖放大器輸出的自發輻射光，而放出處於激發狀態的固體放大器的活性區域的能量。因此，在專利文獻1記載的技術無法應用於在種光源與固體放大器之間不使用光纖放大器的一般的固體雷射裝置。也就是說，在不具有光纖放大器的一般的固體雷射裝置中，難以預防巨脈衝的發生。又，在專利文

第 2 頁，共 19 頁(發明說明書)

P230153200TWF

獻1中，雖然揭露了預防巨脈衝的發生的技術，但在巨脈衝發生的情況下，難以抑制配置在光纖放大器以及固體放大器的後段的光學元件的損壞或加工品質的降低。因此，根據在專利文獻1記載的技術，在固體雷射裝置中存在無法避免由於非意圖的巨脈衝發生而造成光學元件等的損壞的問題。

【0008】 本揭露是鑑於上述情況而完成的，其目的在於得到可以抑制由於巨脈衝發生而造成配置在固體活性介質的後段的光學元件的損壞的固體雷射裝置。

[解決問題之手段]

【0009】 為了解決上述問題並達成目的，根據本揭露的固體雷射裝置包括種光源、固體放大器、受激拉曼散射發生元件、以及波長濾波器。種光源輸出第一波長的脈衝光。固體放大器具有輸出放大脈衝光的第一波長的脈衝放大光的固體活性介質。受激拉曼散射發生元件配置在固體放大器的後段，藉由受激拉曼散射將脈衝放大光以1%以上的波長轉換效率而波長轉換為第二波長，而輸出第一波長的第一脈衝光與第二波長的第二脈衝光。波長濾波器利用波長的不同而從受激拉曼散射發生元件輸出的第一脈衝光的光路分離第二脈衝光。

[發明的效果]

【0010】 根據本揭露的固體雷射裝置具有可以抑制由於巨脈衝發生而造成配置在固體活性介質的後段的光學元件的損壞的效果。

【圖式簡單說明】

【0011】

第1圖是示意性地示出包括實施方式1的固體雷射裝置的固體雷射加工裝置的構成的示例的圖。

第2圖是示意性地示出SRS發生元件的構成的其他示例的圖。

第3頁，共19頁(發明說明書)

P230153200TWF

第3圖是示出在Nd:YVO₄用於SRS發生元件並且將1064nm的脈衝光入射於SRS發生元件的情況下的對於SRS的波長轉換特性的示例的圖。

第4圖是示出實施方式2的固體雷射裝置的固體活性介質以及SRS發生元件的構成例的圖。

第5圖是示出實施方式2的固體雷射裝置的固體活性介質以及SRS發生元件的構成例的圖。

第6圖是示出實施方式2的固體雷射裝置的固體活性介質以及SRS發生元件的構成例的圖。

第7圖是示意性地示出實施方式3的固體雷射裝置的構成的示例的圖

第8圖是示意性地示出實施方式3的固體雷射裝置的構成的其他示例的圖

第9圖是示意性地示出實施方式4的固體雷射裝置的構成的示例的圖

【實施方式】

【0012】 以下，基於附圖詳細說明根據本揭露的實施方式的固體雷射裝置以及固體雷射加工裝置。

【0013】 實施方式1

第1圖是示意性地示出包括實施方式1的固體雷射裝置的固體雷射加工裝置的構成的示例的圖。固體雷射加工裝置100包括固體雷射裝置1、偏向器80、以及聚光透鏡90。固體雷射裝置1是，使用後述的固體活性介質21作為產生受激輻射的介質，而將在固體雷射加工裝置100的雷射光出射的裝置。固體雷射加工裝置100是，使用從使用固體活性介質21的固體雷射裝置1出射的雷射光，而進行加工對象物51的加工的裝置。也就是說，在固體雷射加工裝置100中，從固體雷射裝置1出射的雷射光經由偏向器80以及聚光透鏡90而照射到加工對象物51，並且使用於加工對象物51的加工。

【0014】 實施方式1的固體雷射裝置1包括種光源10、控制部11、固體放大器20、激發光源22、分光鏡23、受激拉曼散射 (Stimulated Raman Scattering, SRS) 發生元件30、溫度控制機構31、波長濾波器40、阻尼器41、以及光學系統50。

【0015】 種光源10產生並輸出第一波長的脈衝光LS。第一波長的脈衝光LS是以固體活性介質21放大的雷射光。種光源10例如由半導體雷射器、光纖雷射器等構成。或者，種光源10可以是由種光源10與放大器(未示出)構成的MOPA光源。

【0016】 控制部11控制從種光源10輸出的脈衝光LS的波長、脈衝寬度、重複頻率、輸出等各種條件。

【0017】 固體放大器20具有固體活性介質21，其放大從種光源10輸出的脈衝光LS並輸出作為放大的第一波長的脈衝光的脈衝放大光L0。固體活性介質21的種類對應第一波長(即從種光源10輸出的脈衝光LS的波長)的而選擇。在一示例中，在第一波長為1064nm的情況下，固體活性介質21使用Nd:YVO₄、摻釹鈮鋁石榴石 (Nd:Yttrium Aluminum Garnet, Nd:YAG) 較佳。在本發明中，將在YAG或YVO₄等固體的基材中摻雜Nd、Yb或Tm等雷射活性離子並藉由以預定波長激發而放大雷射光的性質(即，具有增益)的物體，稱為固體活性介質21。固體放大器20將放大後的第一波長的脈衝放大光L0輸出到SRS發生元件30。

【0018】 激發光源22是輸出激發固體活性介質21的雷射光LE的光源。在一示例中，激發光源22是以半導體雷射器構成。在固體活性介質21為Nd:YVO₄的情況下，從激發光源22輸出的雷射光LE的波長為波長808nm或波長878.6nm、888nm的連續光較佳。以下，將從激發光源22輸出的波長808nm或波長878.6nm、888nm的連續光也簡稱為激發光LE。

【0019】 分光鏡23是為了使來自種光源10的脈衝光LS與來自激發光源22的激發光LE相對於固體活性介質21在同軸上入射而設置的。這裡，分光鏡23以

反射來自種光源10的脈衝光L₁並且透射來自激發光源22的激發光L₂的方式構成。

【0020】 SRS發生元件30配置在固體放大器20的後段，以固體活性介質21放大的第一波長的脈衝放大光L₀的一部分藉由SRS轉換為第二波長的第二脈衝光L₂，並且輸出第一波長的第一脈衝光L₁與第二波長的第二脈衝光L₂。第二波長比第一波長更長。在實施方式1中，SRS發生元件30以1%以上的波長轉換效率藉由SRS將脈衝放大光L₀波長轉換為第二波長。SRS發生元件30例如使用YVO₄、GdVO₄、Ba(NO₃)₂、金剛石等材料。又，SRS發生元件30可以以上述材料作為基材並添加雷射活性離子而製成。在第一波長為1064nm並且SRS發生元件30為添加作為雷射活性離子的Nd在YVO₄的Nd:YVO₄的情況下，藉由SRS發生元件30而轉換的第二脈衝光L₂的第二波長為1176nm。

【0021】 SRS發生元件30可以具有設置在脈衝放大光L₀的入射的面（即入射面）的相對於第一波長的光抑制反射的抗反射塗膜、以及設置在第一脈衝光L₁以及第二脈衝光L₂出射的面（即出射面）的相對於第一波長以及第二波長的光抑制反射的抗反射塗膜。藉由設置在入射面的抗反射塗膜，可以抑制脈衝放大光L₀返回種光源10、激發光源22、以及固體活性介質21。又，藉由設置在出射面的抗反射塗膜，可以抑制第一脈衝光L₁以及第二脈衝光L₂返回種光源10、激發光源22、以及固體活性介質21。

【0022】 第2圖是示意性地示出SRS發生元件的構成的其他示例的圖。如第2圖所示，SRS發生元件30可以不設置抗反射塗膜在脈衝放大光L₀的入射面301以及第一脈衝光L₁與第二脈衝光L₂的出射面302。又，SRS發生元件30以脈衝放大光L₀相對於SRS發生元件30的入射面301以布魯斯特角 θ_{Bi} 入射、並且第一脈衝光L₁以及第二脈衝光L₂相對於SRS發生元件30的出射面302以布魯斯特角 θ_{Bo} 出射的方式配置。

【0023】 通常，在透射型光學元件的入出射面設置抗反射塗膜。抗反射塗膜的損壞閾值大多低於光學元件的本體（bulk）或界面。另一方面，如第2圖所示，當脈衝光以布魯斯特角 θ_{Bi} 、 θ_{Bo} 入出射於光學元件時，即使沒有抗反射塗膜，也可以降低在入出射面的反射率。因此，可以避免抗反射塗膜的損壞，並且難以發生光學元件的損壞。又，在脈衝光以布魯斯特角 θ_{Bi} 、 θ_{Bo} 入出射於光學元件的情況下，由於可以不設置抗反射塗膜在SRS發生元件30的入射面301以及出射面302，所以具有可以避免抗反射塗膜的損壞的優點。

【0024】 返回第1圖，溫度控制機構31控制SRS發生元件30的溫度。在一示例中，溫度控制機構31具有將SRS發生元件30加熱到預定溫度的加熱部、以及控制加熱部的加熱的加熱控制部。如後所述，溫度控制機構31控制SRS發生元件30的溫度，使得在SRS發生元件30的波長轉換效率為1%以上。

【0025】 波長濾波器40利用波長的不同而從來自SRS發生元件30輸出的第一脈衝光L1以及第二脈衝光L2分離第二脈衝光L2。也就是說，波長濾波器40從來自SRS發生元件30輸出的第一脈衝光L1的光路分離第二脈衝光L2。在第1圖的示例中，波長濾波器40使從SRS發生元件30出射的第一脈衝光L1以及第二脈衝光L2中的一方透射、另一方反射。由此，作為兩個波長的光的第一脈衝光L1以及第二脈衝光L2在空間上分離。在第1圖的示例中，波長濾波器40使第一脈衝光L1透射、第二脈衝光L2反射。

【0026】 阻尼器41配置在以波長濾波器40反射的第二脈衝光L2的光路上。阻尼器41衰減第二脈衝光L2。此外，阻尼器41可以是功率計等的測量儀器。

【0027】 光學系統50配置在第一脈衝光L1透射波長濾波器40的光路上。以波長濾波器40分離的第一脈衝光L1通過光學系統50。雖然光學系統50由用於傳送第一脈衝光L1的透鏡或反射鏡構成，但是可以對應於本揭露的固體雷射裝置1的用途適當構成。在一示例中，在欲進一步放大第一脈衝光L1的輸出的情況

下，可以在光學系統50設置固體放大器。或者，在欲藉由諧波產生（harmonic generation）將第一脈衝光L1波長轉換成二次、三次或四次諧波的情況下，則可以在光學系統50設置諧波產生用的非線性光學元件。第三脈衝光L3是以光學系統50施行適當處理後的脈衝光，從固體雷射裝置1輸出。

【0028】 偏向器80使從固體雷射裝置1輸出的第三脈衝光L3偏向。具體而言，偏向器80使第三脈衝光L3的在加工對象物51的照射位置任意變位。設置兩個偏向器80，使得第三脈衝光L3的照射位置可以在加工對象物51上在相互正交的兩個方向上變位較佳。偏向器80的一示例是檢流計掃描器。此外，在固體雷射裝置1不具有光學系統50的情況下，則偏向器80使從波長濾波器40輸出的脈衝光偏向。

【0029】 聚光透鏡90將以偏向器80偏向的脈衝光（在第1圖的情況下為第三脈衝光L3）聚集到加工對象物51的任意位置而照射。由此，第三脈衝光L3照射到加工對象物51，並進行雷射加工。

【0030】 此外，在第1圖中，雖然示出波長濾波器40使第一脈衝光L1透射、第二脈衝光L2反射的情況，但是相反地使第一脈衝光L1反射、第二脈衝光L2透射也可以。在這種情況下，阻尼器41配置在波長濾波器40的透射側，並且光學系統50配置在波長濾波器40的反射側較佳。

【0031】 在實施方式1中，將SRS利用於脈衝光的波長轉換。利用這種SRS的脈衝光的波長轉換與作為一般波長轉換的手法的諧波產生相比存在優點。在諧波產生中，入射於非線性光學元件的脈衝光的波長被波長轉換為1/2倍或1/2倍以下。通常，隨著入射的脈衝光的波長變短，光學元件的本體或塗膜的損害閾值變低。因此，在以諧波產生將巨脈衝波長轉換的情況下，存在非線性光學元件與波長濾波器40等光學元件容易被短波長化的巨脈衝損壞的問題。另一方面，在SRS中，雖然第一波長的脈衝光的一部分被波長轉換為第二波長的脈衝

光，但第二波長比第一波長更長。因此，與第一波長相比，波長轉換為第二波長的巨脈衝難以損壞SRS發生元件30與波長濾波器40等的光學元件。

【0032】 又，由於用於諧波產生的三硼酸鋰（ LiB_3O_5 , LBO）、硼酸鉍鋰（ $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$, CLBO）等的非線性光學元件具有吸濕性，所以需要進行濕度管理。另一方面，由於在SRS發生元件30中，可以使用用於固體雷射介質的Nd:YVO₄等，所以不需要如LBO、CLBO等那樣的特殊的環境以及處理，並且可以容易地導入到習知的固體雷射裝置的內部。

【0033】 在實施方式1中，在SRS發生元件30的波長轉換效率設定為1%以上較佳。從SRS發生元件30輸出的SRS光的強度 I_{SRS} 由下式（1）給出。

$$\text{【0034】 } I_{\text{SRS}} = I_{\text{Raman0}} \cdot \exp(g_{\text{Raman}} \cdot I_{\text{Pump}} \cdot L) \dots (1)$$

【0035】 這裡， I_{Raman0} 是第二波長的脈衝光在SRS發生元件30的入射面301的強度， g_{Raman} 是SRS發生元件30的拉曼增益係數， I_{Pump} 是入射於SRS發生元件30的第一波長的脈衝放大光L0的峰值強度， L 是SRS發生元件30的長度。SRS發生元件30的長度 L 是在SRS發生元件30的脈衝光的行進方向的長度。又，SRS的波長轉換效率 η 可以用下式（2）表示。

$$\text{【0036】 } \eta = I_{\text{SRS}}/I_{\text{Pump}} \dots (2)$$

【0037】 由式（1）以及式（2）可知，由於SRS的波長轉換效率 η 相對於第一脈衝光L1的峰值強度非線形地增加，在入射脈衝光的峰值強度比決定的額定峰值強度增加更多的情況下，波長轉換效率 η 增加。即，相對於額定峰值強度以上的第一脈衝光L1，SRS發生元件30作為衰減器而發揮作用。經由藉由波長濾波器40將從SRS發生元件30出射的第二脈衝光L2從第一脈衝光L1的光路排除，在巨脈衝發生的情況下，可以避免因巨脈衝而造成光學系統50的損壞以及加工對象物51的加工品質的降低。也就是說，即使巨脈衝發生，由於波長轉換效率 η 增加，在SRS發生元件30大量生成被阻尼器41吸收的第二脈衝光L2。由

此，可以抑制從SRS發生元件30輸出的第一脈衝光L1的峰值強度變大到超過需要。

【0038】 為了使波長轉換效率 η 為1%以上，在式(1)的指數函數中，即，將 $g_{\text{Raman}} \cdot I_{\text{pump}} \cdot L$ 的值設定為「15」以上「30」以下較佳。在一示例中，在將Nd:YVO₄用於SRS發生元件30的情況下，由於在Nd:YVO₄的拉曼模式中拉曼增益係數最大的893cm⁻¹處的拉曼增益係數為4.5cm/GW，因此設定 I_{pump} 以及L使得 $I_{\text{pump}} \cdot L$ 的值為「3GW/cm」以上且「7 GW/cm」以下較佳。

【0039】 另一方面， g_{Raman} 具有溫度越高則變得越小，並且溫度越低則變得越大的性質。也就是說，經由藉由溫度控制機構31調整SRS發生元件30的溫度，可以得到與改變 I_{pump} 或L的情況相同的效果。因此，如上所述，在實施方式1的固體雷射裝置1中，包括控制SRS發生元件30的溫度的溫度控制機構31較佳。藉由以溫度控制機構31調整SRS發生元件30的溫度，對於任意的 $I_{\text{pump}} \cdot L$ 可以得到1%以上的波長轉換效率。因此，經由利用SRS的強度取決於SRS發生元件30的溫度而控制SRS發生元件30的溫度，可以控制SRS的波長轉換效率，並且可以得到避免因巨脈衝而造成配置在固體活性介質21的後段的SRS發生元件30以及波長濾波器40的損壞這樣的效果。

【0040】 如上所述，在 g_{Raman} 可以保持恆定的情況下，可以將 I_{pump} 以及L設置為使得波長轉換效率 η 為1%以上，固體雷射裝置可以不具有溫度控制機構31。另一方面，在設定任意的 I_{pump} 以及L的情況下，為了使 g_{Raman} 變化以使波長轉換效率 η 為1%以上，固體雷射裝置1包括溫度控制機構31較佳。

【0041】 第3圖是示出在Nd:YVO₄用於SRS發生元件並且將1064nm的脈衝光入射於SRS發生元件的情況下的對於SRS的波長變換特性的一示例的圖。橫軸示出1064nm入射平均輸出，即1064nm的脈衝光的入射平均輸出，左縱軸示出1064nm出射平均輸出，即1064nm的脈衝光的出射平均輸出，右縱軸示出1176nm

出射平均輸出，即作為SRS波長的1176nm的脈衝光的出射平均輸出。在本實驗中，由於入射脈衝光的光束直徑、脈衝寬度以及重複頻率是恆定的，所以1064nm的峰值輸出以及峰值強度與平均輸出成正比。SRS發生在1064nm入射平均輸出在某特定值以上，可以確認1064nm出射平均輸出的降低以及1176nm出射平均輸出的增加。

【0042】 在實施方式1的構成中，在SRS發生元件30的材質以及在光軸方向的長度、以及入射於SRS發生元件30的脈衝放大光L0的光束直徑為恆定的情況下，脈衝放大光L0的峰值輸出以使得從SRS發生元件30出射的第一脈衝光L1的峰值輸出為最大的方式設定較佳。根據第3圖，在1064nm出射平均輸出為最大的1064nm入射平均輸出中，在1064nm入射平均輸出為 $\pm 10\%$ 變化的情況下，1064nm出射平均輸出的變化為 $\pm 1\%$ 以下。具體而言，在橫軸的1064nm入射平均輸出在40W以上50W以下的範圍中，左側縱軸的1064nm出射平均輸出為約36W的恆定的值。也就是說，相對於1064nm的入射平均輸出的變動的1064nm出射平均輸出的變動降低，並且具有提高出射平均輸出的安定性的效果。如上所述，由於在第3圖的實驗的平均輸出的變化意味峰值輸出的變化，所以經由設定1064nm入射峰值輸出，使得1064nm出射峰值輸出為最大，可以得到同樣的效果。然而，使1064nm的出射峰值輸出（即，傳輸透射功率）最大，與SRS的發生相關的輸出之外的條件，即，SRS發生元件30的材質以及在光軸方向的長度、以及入射於SRS發生元件30的脈衝放大光L0的光束直徑為被決定的狀態是需要的。

【0043】 在實施方式1中，通過SRS發生元件30以及波長濾波器40的脈衝光的光束直徑大較佳。在以實施方式1的構成而巨脈衝發生的情況下，由於第一波長的巨脈衝而SRS發生元件30有損壞的可能性。又，由於波長轉換為第二波長的巨脈衝而SRS發生元件30以及波長濾波器40有損壞的可能性。一般來說，因脈衝光的光學元件的損害閾值取決於脈衝光的峰值強度。即，入射於光學元件的

脈衝光的光束直徑越大，越難以損壞。另一方面，SRS的閾值取決於脈衝光的峰值強度以及介質長度。也就是說，在經由將通過SRS發生元件30的脈衝光的光束直徑擴大而脈衝光的峰值強度降低的情況下，藉由增長SRS發生元件30的介質長度而使期望的SRS光發生是可能的。此結果，在巨脈衝發生的情況下，可以安定地得到避免因巨脈衝而造成配置在固體活性介質21的後段的SRS發生元件30以及波長濾波器40的損壞這樣的效果。

【0044】 作為增大通過SRS發生元件30的光束直徑的手段，增大從固體活性介質21出射的脈衝放大光L0的發散角較佳。或者，可以以使脈衝放大光L0以會聚的狀態從固體活性介質21出射、並且在集光點的後方脈衝放大光L0再次變化為發散的狀態後脈衝放大光L0入射於SRS發生元件30的方式配置SRS發生元件30。

【0045】 根據實施方式1，在脈衝放大光L0的峰值輸出大於決定的額定峰值輸出的情況下，脈衝放大光L0藉由SRS發生元件30而被波長轉換，並且藉由波長濾波器40而從光路被分離。此結果，具有可以抑制因巨脈衝發生而造成配置在固體活性介質21的後段的光學元件的損壞以及加工對象物51的加工品質的降低這樣的效果。

【0046】 實施方式2

在實施方式2中，SRS發生元件30可以與固體活性介質21為相同的材料，SRS發生元件30也可以與固體活性介質21為相同的基材的非摻雜材料或低摻雜材料。即，SRS發生元件30可以是，相對於與固體活性介質21的基材相同的基材，而將與摻雜到固體活性介質21的雷射活性離子相同的雷射活性離子，以固體活性介質21的雷射活性離子的濃度以下的濃度摻雜的低摻雜材料。或者，SRS發生元件30也可以是，不含有雷射活性離子的與固體活性介質21的基材相同的基材的非摻雜材料。非摻雜材料或低摻雜材料配置在固體活性介質21的後段較佳。

另外，非摻雜材料或低摻雜材料可以與固體活性介質21分離而配置在固體活性介質21的後段，或者可以接合於固體活性介質21的脈衝放大光L0出射的面。

【0047】 第4圖至第6圖是示出實施方式2的固體雷射裝置的固體活性介質以及SRS發生元件的構成例的圖。在一示例子中，將作為0.2at.% 的雷射活性離子的Nd摻雜於作為基材的YVO₄的Nd:YVO₄使用於固體活性介質21的情況下的SRS發生元件30中，可以使用第4圖至第6圖示出的材料。在第4圖中，示出了SRS發生元件30為與固體活性介質21相同的材料的摻雜濃度為0.2at.%Nd:YVO₄的情況。在第5圖中，示出了SRS發生元件30為與固體活性介質21的基材相同的基材，並且為未摻雜雷射活性離子的摻雜材料（即非摻雜的YVO₄）的情況。在第6圖中，示出了SRS發生元件30是，相對於與固體活性介質21的基材相同的基材的YVO₄，而將與摻雜到固體活性介質21的雷射活性離子相同的Nd，以固體活性介質21的雷射活性離子的濃度以下的濃度摻雜的低摻雜材料的情況。在第6圖中，摻雜濃度為0.1at.%的Nd:YVO₄用作SRS發生元件30。

【0048】 因此，經由在SRS發生元件30使用與固體活性介質21相同的材料、與固體活性介質21相同的基材的非摻雜材料、或者雷射活性離子的濃度低於固體活性介質21的低摻雜材料，可以減少固體雷射裝置1的構件數量或構件種類。又，經由將SRS發生元件30接合於固體活性介質21的脈衝放大光L0出射的面，可以使包括固體活性介質21以及SRS發生元件30的固體雷射裝置1小型化。

【0049】 實施方式3

第7圖是示意性地示出實施方式3的固體雷射裝置的構成的示例的圖。此外，在實施方式3中，因為固體活性介質21與波長濾波器40之間的光路的構成與實施方式1不同，所以在第7圖中，示出固體活性介質21與波長濾波器40之間的光路的構成。

【0050】 在實施方式3中，如第7圖所示，固體雷射裝置1在固體活性介質

21與波長濾波器40之間在SRS發生元件30的後段，更包括折疊鏡60a、60b、阻尼器61、移動機構62、平行平面基板63、以及旋轉機構64。

【0051】 在光的行進的光路上的配置中，折疊鏡60a、60b配置在SRS發生元件30與波長濾波器40之間。換言之，光依次通過SRS發生元件30、折疊鏡60a、60b、波長濾波器40。又，在光路上的配置中，也可以在SRS發生元件30的入射面301與波長濾波器40之間設置至少一個折疊鏡60a、60b，在第7圖的示例中，為示出設置兩個折疊鏡60a、60b的情況。以下，折疊鏡60a、60b在不各自區分的情況下被稱為折疊鏡60。折疊鏡60反射從SRS發生元件30出射的第一波長的第一脈衝光L1，並且透射第二波長的第二脈衝光L2。折疊鏡60以使得第一波長的第一脈衝光L1至少兩次以上透射SRS發生元件30的方式配置。但是，在第7圖的示例中，藉由後述的移動機構62調整SRS發生元件30的位置，使得第一脈衝光L1兩次透射SRS發生元件30。

【0052】 第8圖是示意性地示出實施方式3的固體雷射裝置的構成的其他示例的圖。第8圖示出調整SRS發生元件30的位置，使得由折疊鏡60反射的光（即第一脈衝光L1）全部透射SRS發生元件30的狀態。使SRS發生元件30從第8圖的狀態往紙面內的上方移動時，如第7圖所示，以折疊鏡60b反射的第一脈衝光L1為不透射SRS發生元件30的狀態。如第8圖所示，被所有折疊鏡60反射的第一脈衝光L1透射SRS發生元件30的位置稱為基準位置。此外，經由適當設定折疊鏡60對第二脈衝光L2的透射率，可能構成為使得被部分反射的第二脈衝光L2入射於SRS發生元件30，並且在SRS發生元件30的波長轉換效率為1%以上。

【0053】 阻尼器61衰減以折疊鏡60透射的第二脈衝光L2。因此，在第7圖的示例中，阻尼器61配置在折疊鏡60的透射側。此外，阻尼器61可以是功率計等的測量儀器。

【0054】 移動機構62使SRS發生元件30移動。如第8圖所示，在SRS發生元

件30藉由移動機構62而位在基準位置的情況下，SRS發生元件30具有的大小可以透射從固體活性介質21出射的第一脈衝光L1以及由折疊鏡60a、60b反射的第一脈衝光L1的全部。也就是說，在基準位置，SRS發生元件30構成爲第一脈衝光L1透射次數爲折疊鏡60的數量+1次。移動機構62使SRS發生元件30移動，使得透射SRS發生元件30的第一脈衝光L1的次數可以在從1次到折疊鏡60的數量+1次的範圍內改變。

【0055】 根據式(1)，SRS強度取決於SRS發生元件30的長度與入射於SRS發生元件30的第一波長的脈衝光的峰值強度。在實施方式3中，經由第一波長的脈衝光(即脈衝放大光L0以及第一脈衝光L1)複數次往復SRS發生元件30，而可以增加有效元件長度。又，由於使作爲第二波長的SRS分量的第二脈衝光L2透射折疊鏡60而被排除在第一波長的光路之外，所以式(1)中的 I_{Raman} 通過折疊鏡60的次數實質上變爲0。此結果，與介質長度長的SRS發生元件30一次通過的情況相比，在實施方式3中具有提高相對於巨脈衝的衰減率的效果。因此，經由移動機構62使SRS發生元件30移動，可以使第一脈衝光L1通過SRS發生元件30的次數與第一脈衝光L1通過SRS發生元件30的通過距離改變。

【0056】 另外，經由使SRS發生元件30向從固體放大器20出射的脈衝放大光L0的行進方向移動，可以使被折疊鏡60反射的第一脈衝光L1入射於SRS發生元件30的光束直徑改變。在一示例中，如在實施方式1中說明的那樣，移動機構62可以使SRS發生元件30移動，使得入射於SRS發生元件30的第一脈衝光L1的光束直徑變大。此外，變更從固體活性介質21出射的脈衝放大光L0的發散角，也可以使入射於SRS發生元件30的光束直徑改變。但是，實際上，經由變更入射於固體活性介質21的脈衝光LS的發散角，使得入射於SRS發生元件30的光束直徑改變。

【0057】 因此，在實施方式3中，移動機構62使被折疊鏡60反射的第一脈

衝光L1入射於SRS發生元件30的光束直徑、第一脈衝光L1通過SRS發生元件30的次數、以及第一脈衝光L1通過SRS發生元件30的通過距離中的至少一個改變。

【0058】 平行平面基板63配置在配置於波長濾波器40的前段的折疊鏡60b與波長濾波器40之間。平行平面基板63具有作為第一脈衝光L1入射的面的入射面、與作為第一脈衝光L1出射的面的射出面相互為平行的形狀。

【0059】 旋轉機構64藉由使平行平面基板63旋轉，而使平行平面基板63的入射面與第一脈衝光L1的光軸之間的角度改變。在一示例中，旋轉機構64使平行平面基板63繞平行於平行平面基板63的入射面並相互正交的兩個軸旋轉。旋轉機構64經由使平行平面基板63旋轉而校正由第一脈衝光L1通過SRS發生元件30而產生的光軸偏移。

【0060】 在實施方式3中，包括使被折疊鏡60反射的第一脈衝光L1入射於SRS發生元件30的光束直徑、第一脈衝光L1通過SRS發生元件30的次數、以及第一脈衝光L1通過SRS發生元件30的通過距離中的至少一個改變的移動機構62。藉由以移動機構62使SRS發生元件30移動，第一波長的脈衝光通過SRS發生元件30的次數可以從1次至折疊鏡60的數量+1次之間改變。又，經由改變通過的次數，可以增長實質的SRS發生元件30的介質長度。另外，經由增大入射於SRS發生元件30的光束直徑，可以抑制光學元件的損壞的可能性。因此，經由使第一脈衝光L1複數次往復SRS發生元件30，並且在各折疊鏡60的反射時除去第二脈衝光L2，具有可以提高在巨脈衝發生的情況下的巨脈衝的衰減率這樣的效果。

【0061】 又，在實施方式3中，包括作為在SRS發生元件30的後段的平行平板的平行平面基板63、以及使平行平面基板63旋轉的旋轉機構64。經由使用旋轉機構64，適當地設定平行平面基板63的入射面與第一脈衝光L1的光軸之間的角度，可以校正因第一脈衝光L1複數次通過SRS發生元件30而產生的光軸偏移。

【0062】 實施方式4

第9圖是示意性地示出實施方式4的固體雷射裝置的構成的示例的圖。此外，在實施方式4中，因為固體活性介質21與波長濾波器40之間的光路的構成與實施方式1不同，所以在第9圖中，示出固體活性介質21與波長濾波器40之間的光路的構成。

【0063】 在實施方式4中，如第9圖所示，固體雷射裝置1更包括光圈70。光圈70配置在SRS發生元件30的後段。光圈70是形成開口的板狀構件。光圈70為圓形的開口較佳。光圈70具有去除通過光圈70的脈衝光（即第一脈衝光L1以及第二脈衝光L2）中發散角大於預定值的分量，並且透射發散角小於預定值的分量的功能。

【0064】 通常，在非波導型的本體元件發生的第二波長的SRS光具有比第一波長的脈衝光大的發散角的分量。因此，如實施方式4，經由將光圈70配置在SRS發生元件30的後段，具有可以選擇性地去除發散角大的第二波長的脈衝分量這樣的效果。

【0065】 以上的實施方式所示的構成僅為示例，可以與其他已知技術組合，或者可以將實施方式彼此組合，在不脫離本發明的範圍的情況下，也可以省略或變更構成的一部分。

【符號說明】**【0066】**

1:固體雷射裝置

10:種光源

11:控制部

20:固體放大器

- 21:固體活性介質
- 22:激發光源
- 23:分光鏡
- 30:SRS發生元件
- 31:溫度控制機構
- 40:波長濾波器
- 41,61:阻尼器
- 50:光學系統
- 51:加工對象物
- 60,60a,60b:折疊鏡
- 62:移動機構
- 63:平行平面基板
- 64:旋轉機構
- 70:光圈
- 80:偏向器
- 90:聚光透鏡
- 100:固體雷射加工裝置
- 301:入射面
- 302:出射面
- L0:脈衝放大光
- L1:第一脈衝光
- L2:第二脈衝光
- L3:第三脈衝光
- LE:激發光

LS:脈衝光

θ_{Bi} , θ_{Bo} :布魯斯特角

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種固體雷射裝置，包括：

種光源，輸出第一波長的脈衝光；

固體放大器，具有固體活性介質，輸出放大前述脈衝光的第一波長的脈衝放大光；

受激拉曼散射發生元件，配置在前述固體放大器的後段，藉由受激拉曼散射將前述脈衝放大光以1%以上的波長轉換效率而波長轉換為第二波長，並輸出前述第一波長的第一脈衝光與前述第二波長的第二脈衝光；以及

波長濾波器，利用波長的不同，從前述受激拉曼散射發生元件輸出的前述第一脈衝光的光路分離前述第二脈衝光，

其中前述受激拉曼散射發生元件係：

相對於與前述固體活性介質的基材相同的基材，將與摻雜在前述固體活性介質的雷射活性離子相同的雷射活性離子，以前述固體活性介質的前述雷射活性離子的濃度以下的濃度摻雜的低摻雜材料、或是作為不含前述雷射活性離子的前述基材的非摻雜材料，

在前述固體活性介質的後段與前述固體活性介質分離，或者接合於前述固體活性介質的前述脈衝放大光出射的面而配置。

【請求項2】 如請求項1所述的固體雷射裝置，其中前述受激拉曼散射發生元件是以前述脈衝放大光相對於前述受激拉曼散射發生元件的入射面以布魯斯特角入射，並且前述第一脈衝光相對於前述受激拉曼散射發生元件的出射面以布魯斯特角出射的方式配置。

【請求項3】 如請求項1所述的固體雷射裝置，更包括溫度控制機構，控制前述受激拉曼散射發生元件的溫度。

【請求項4】 如請求項1至3中任一項所述的固體雷射裝置，更包括反射前述

第一脈衝光並透射前述第二脈衝光的折疊鏡，

其中前述折疊鏡是以將在前述折疊鏡反射的前述第一脈衝光入射於前述受激拉曼散射發生元件的方式，配置在前述受激拉曼散射發生元件與前述波長濾波器之間的光的行進的光路上。

【請求項5】 如請求項4所述的固體雷射裝置，更包括使前述受激拉曼散射發生元件移動的移動機構，

其中前述移動機構使被前述折疊鏡反射的前述第一脈衝光入射於前述受激拉曼散射發生元件的光束直徑、前述第一脈衝光通過前述受激拉曼散射發生元件的次數、以及前述第一脈衝光通過前述受激拉曼散射發生元件的通過距離中的至少一個改變。

【請求項6】 如請求項4所述的固體雷射裝置，更包括：

平行平面基板，配置在前述受激拉曼散射發生元件的後段，具有相互平行的人射面以及出射面；以及

旋轉機構，使前述平行平面基板旋轉，而使前述入射面與前述第一脈衝光的光軸之間的角度改變。

【請求項7】 如請求項1至3中任一項所述的固體雷射裝置，更包括光圈，配置在前述受激拉曼散射發生元件的後段，去除前述第一脈衝光以及前述第二脈衝光中發散角大於規定值的分量，並且使前述發散角小於前述規定值的分量透射。

【請求項8】 如請求項1至3中任一項所述的固體雷射裝置，其中在前述受激拉曼散射發生元件的材質以及在光軸方向的長度、與入射於前述受激拉曼散射發生元件的前述脈衝放大光的光束直徑被決定的狀態下，以從前述受激拉曼散射發生元件出射的前述第一脈衝光的峰值輸出為最大的方式，決定前述脈衝放大光的峰值輸出。

【請求項9】一種固體雷射加工裝置，其中包括：

種光源，輸出第一波長的脈衝光；

固體放大器，具有固體活性介質，輸出放大前述脈衝光的第一波長的脈衝放大光；

受激拉曼散射發生元件，配置在前述固體放大器的後段，藉由受激拉曼散射將前述脈衝放大光以1%以上的波長轉換效率而波長轉換為第二波長，並輸出前述第一波長的第一脈衝光與前述第二波長的第二脈衝光；

波長濾波器，利用波長的不同，從前述受激拉曼散射發生元件輸出的前述第一脈衝光的光路分離前述第二脈衝光；

偏向器，使從前述波長濾波器輸出的脈衝光偏向；以及

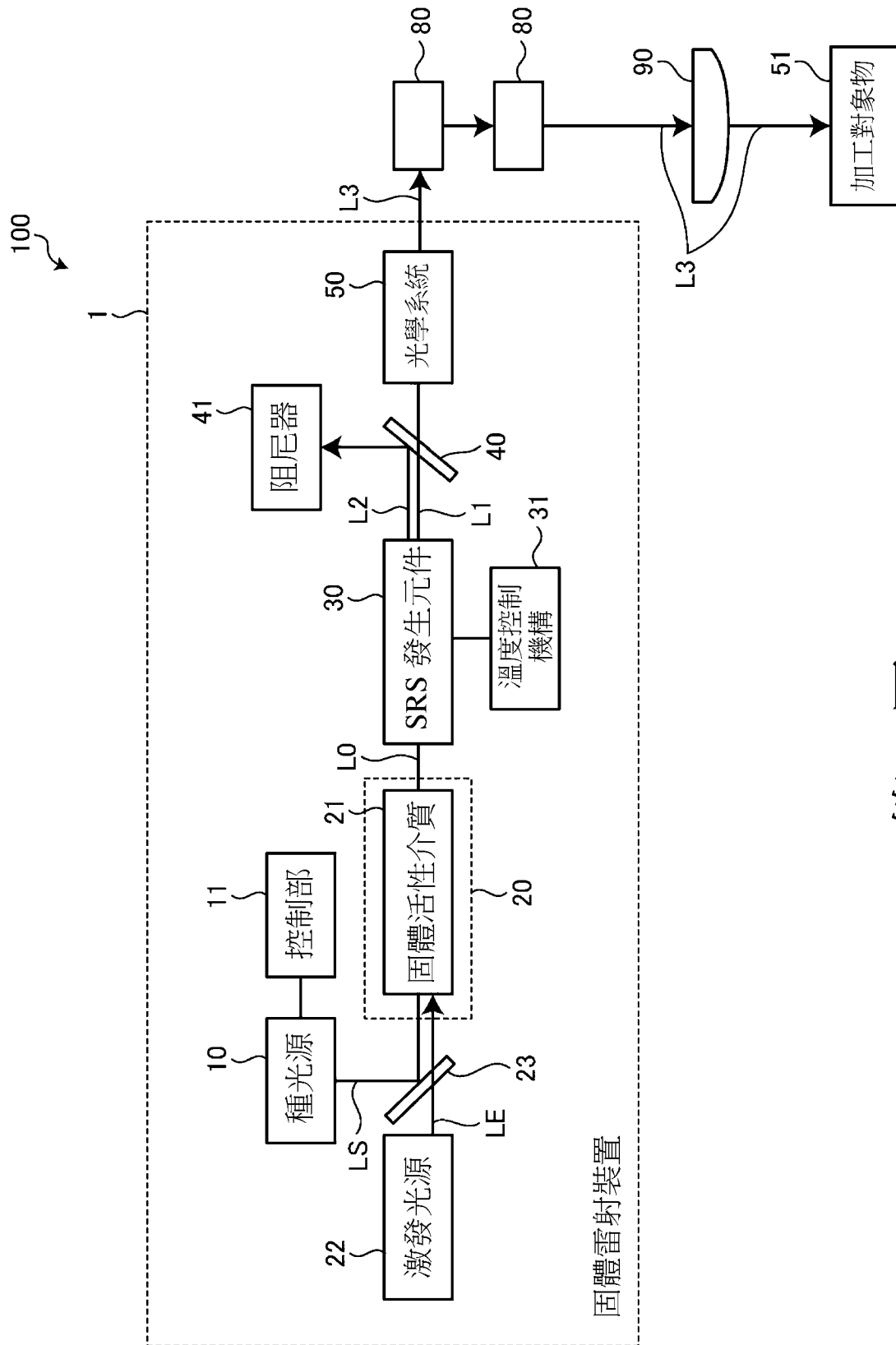
聚光透鏡，將以前述偏向器偏向後的脈衝光聚集到加工對象物的任意位置而照射，

其中前述受激拉曼散射發生元件係：

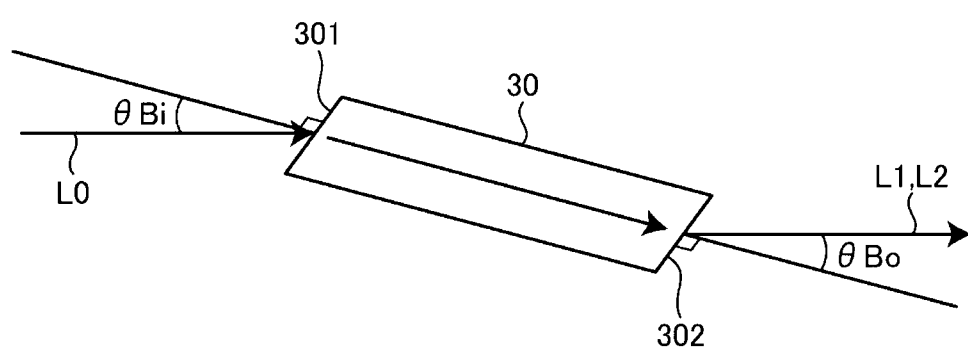
相對於與前述固體活性介質的基材相同的基材，將與摻雜在前述固體活性介質的雷射活性離子相同的雷射活性離子，以前述固體活性介質的前述雷射活性離子的濃度以下的濃度摻雜的低摻雜材料、或是作為不含前述雷射活性離子的前述基材的非摻雜材料，

在前述固體活性介質的後段與前述固體活性介質分離，或者接合於前述固體活性介質的前述脈衝放大光出射的面而配置。

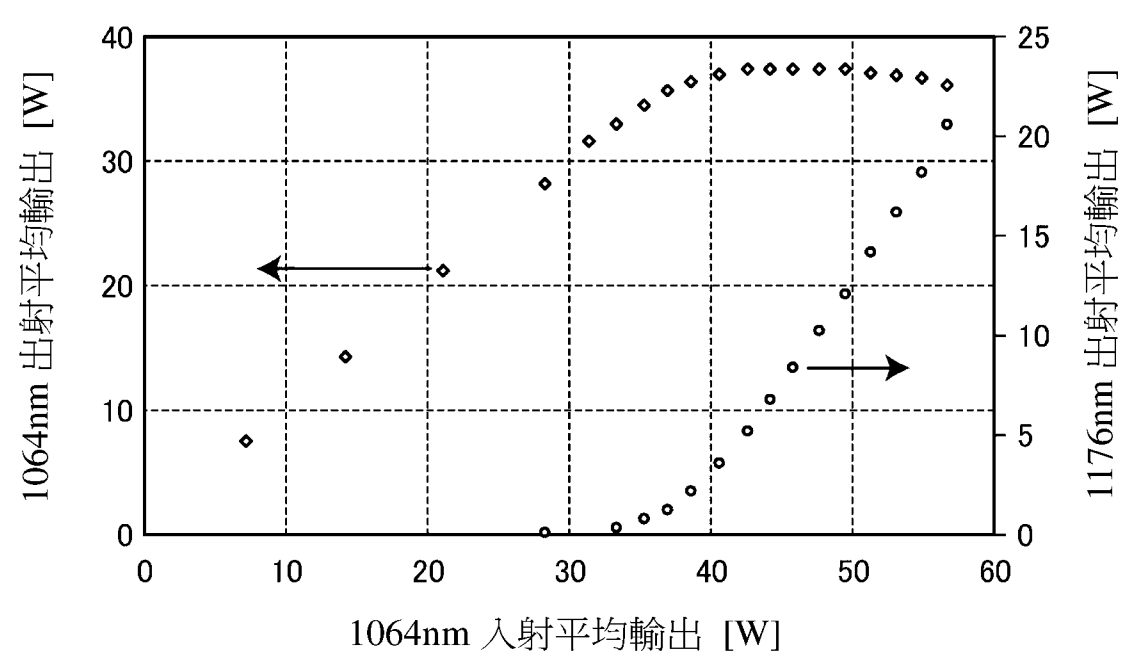
【發明圖式】



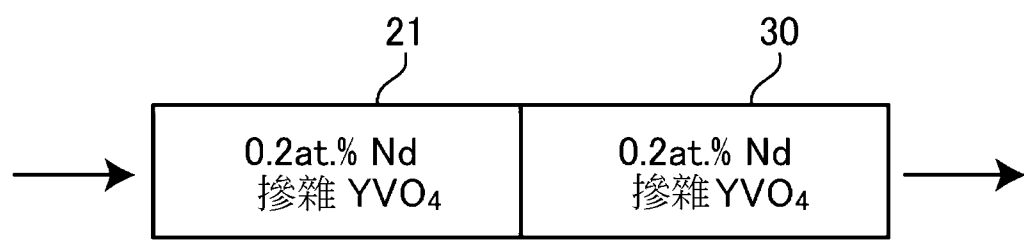
第 1 圖



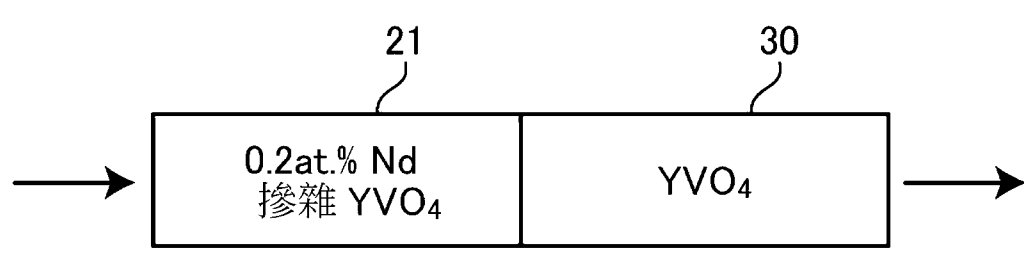
第 2 圖



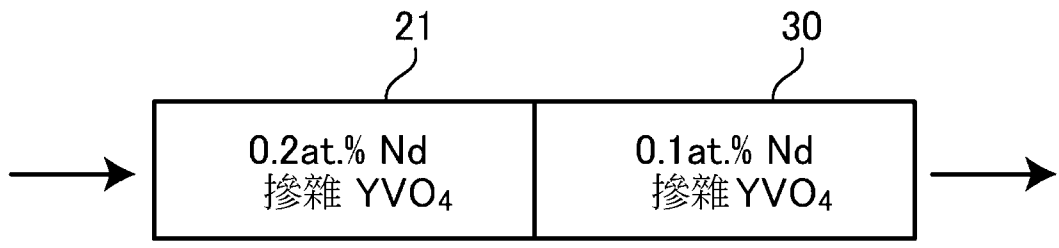
第 3 圖



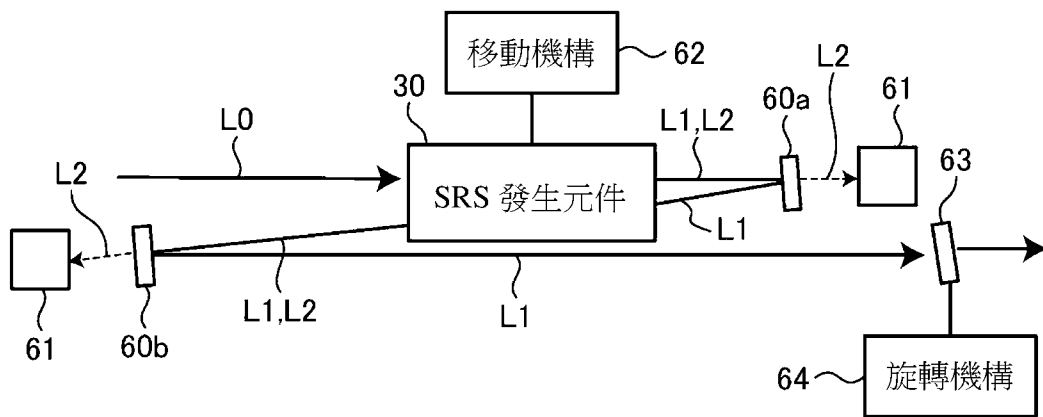
第 4 圖



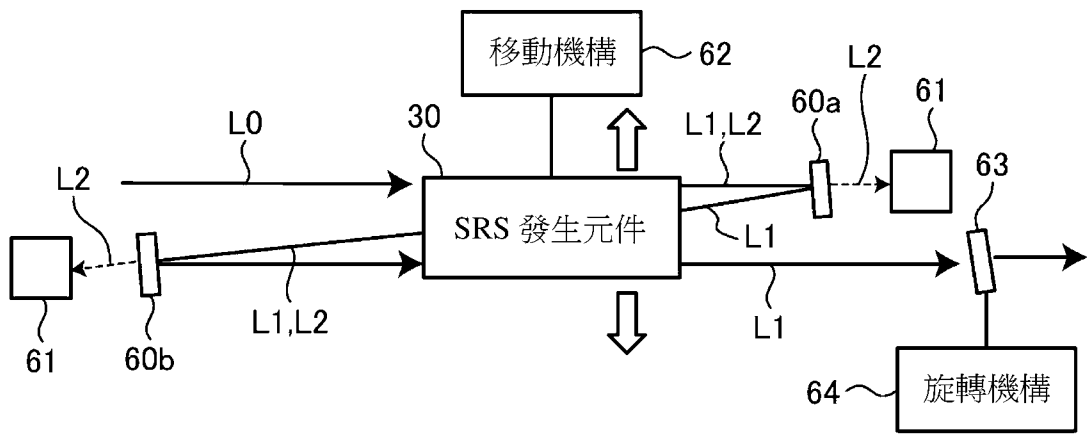
第 5 圖



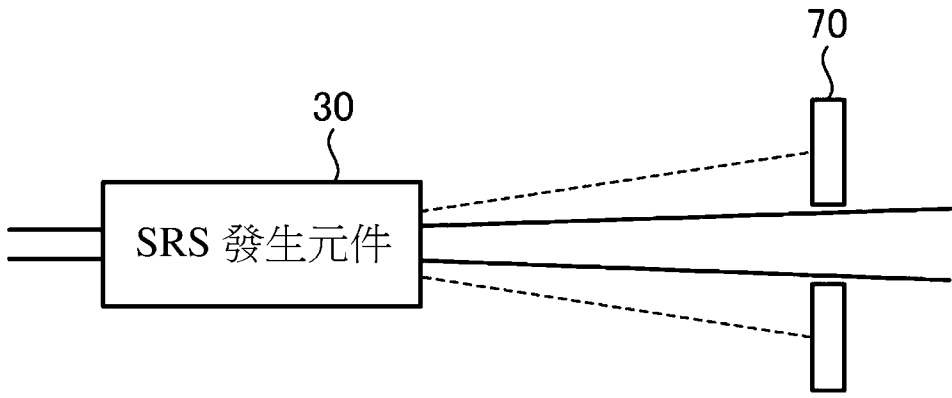
第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖



第 9 圖