



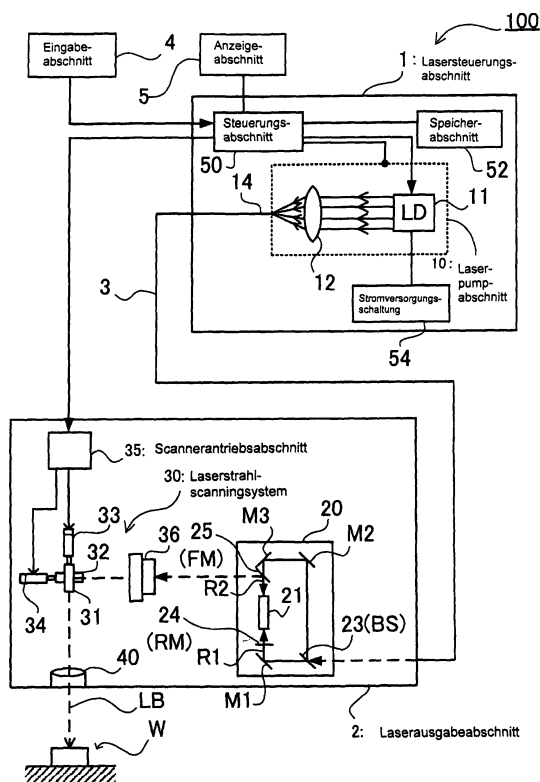
(10) **DE 10 2008 014 336 A1** 2008.09.18

Offenlegungsschrift

B23K 26/00 (2006.01)

(72) Erfinder:
Sato, Masao, Osaka, JP

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Laserbearbeitungs-
vorrichtung angegeben, die kompatibel ist mit einem An-
stieg in der Ausgabe der Pumplichtquelle, ohne den Refle-
ktionsgrad des Ausgabespiegels zu vergrößern. Ein festes
Lasermedium zum Erzeugen einer Laserschwingung,
wenn Pumplicht aus einer Pumplichtquelle durch zwei End-
flächen eintritt, ein Teilungselement zum Teilen von
Pumplicht, das von der Pumplichtquelle ausgegeben wird,
in zwei Wege derart, dass die entsprechenden Pumpkom-
ponenten des Pumplichts durch die entsprechenden End-
flächen des festen Lasermediums entlang der entspre-
chenden geteilten Wege eintreten, dichroitische Spiegel,
die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise
angeordnet sind, dass sie den entsprechenden Endflächen
gegenüberliegen, es ermöglichen, dass Pumplicht übertra-
gen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der End-
flächenseiten reflektieren, und Kondensorlinien, die ent-
lang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeord-
net sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüber-
liegen und Pumplicht, das durch die dichroitischen Spiegel
übertragen wird, derart kondensieren, dass der Durchmes-
ser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Laser-
mediums bestrahlt werden, kleiner wird als in der
TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums, sind vorgesehen,
und die Konfiguration ermöglicht es, dass Pumplicht durch
die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums
derart eintritt, dass das feste Lasermedium angeregt wer-
den kann.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Laserbearbeitungsvorrichtung und einen festen Laserresonator zum Bearbeiten, zum Beispiel Drucken, durch Bestrahlung eines zu bearbeitenden Objektes mit einem Laserstrahl, einschließlich einer Laserbeschriftungsvorrichtung.

[0002] Unter Verwenden einer Laserbearbeitungsvorrichtung wird ein vorbestimmter Bereich mit einem Laserstrahl gescannt und die Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes (Werkstück), zum Beispiel Teile oder Produkte, wird mit einem Laserstrahl bestrahlt, um so bearbeitet zu werden, zum Beispiel durch Drucken oder Beschriften. [Fig. 33](#) zeigt ein Beispiel der Konfiguration einer Laserbearbeitungsvorrichtung. Die Laserbearbeitungsvorrichtung, die in dieser Figur gezeigt ist, umfasst einen Lasersteuerungsabschnitt **901**, einen Laserausgabeabschnitt **902** und einen Eingabeabschnitt **904**. Pumplicht, das durch einen Laserspumpabschnitt **910** des Lasersteuerungsabschnitts **901** erzeugt wird, wird zum Laserausgabeabschnitt **902** übertragen, sodass ein festes Lasermedium **921**, das einen Resonator in einem Laserresonanzabschnitt **920** bildet, bestrahlt werden kann, und so wird eine Laserschwingung erzeugt. Laserschwingungslicht wird zur Emission durch eine Endfläche des festen Lasermediums **921** emittiert und der Durchmesser des Strahls wird vergrößert durch einen Strahlaufweiter **936**, und wird reflektiert von einem optischen Element und geleitet zu einem Laserstrahlscanningsystem **930**. Das Laserstrahlscanningsystem **930** reflektiert den Laserstrahl und polarisiert es in eine erwünschte Richtung, und die Oberfläche des Werkstückes W wird gescannt mit einem Laserstrahl LB, ausgegeben aus einem Arbeitsbereichslichtkondensorabschnitt **940** und ein Prozess, wie Drucken, wird ausgeführt.

[0003] Im Hinblick auf die Konfiguration zum Anregen eines festen Lasermediums ist ein eindirektionales Pumpsystem bekannt, bei dem Pumplicht zum Anregen eines festen Lasermediums nur durch eine Endfläche zum Pumpen eintritt und ein Laserstrahl durch die andere Endfläche emittiert wird, das heißt, ein so genanntes Endpumpen wird verwendet. Zusätzlich dazu wurde auch ein zweidirektionales Pumpsystem vorgeschlagen, bei dem die vorderen und rückseitigen Endflächen eines festen Lasermediums entsprechend bestrahlt werden mit Pumplicht. Im Hinblick auf zweidirektionales Pumpen ist eine Konfiguration, bei der Halbleiterlaser (Laserdioden; LD), die Pumplichtquellen sind, jeweils gegen die Endflächen angeordnet werden, wie auch eine Konfiguration, bei der Pumplicht aus einer einzelnen LD **928** durch eine optische Faser **932** derart geteilt wird, dass ein festes Lasermedium **921** von den zwei Endflächen gepumpt wird, und die Ausgabe aus einem Ausgabekoppler **918** kommt, wie offenbart in [Fig. 34](#),

bekannt (siehe zum Beispiel japanische Übersetzung der ungeprüften internationalen Patentveröffentlichung H11 (1999)-505376).

[0004] In dieser Technologie ist der Durchmesser des Spots des Pumplichts (Pumpstrahlgröße), bei dem die jeweiligen Endflächen des festen Lasermediums bestrahlt werden, leicht größer in der Größe als der Durchmesser in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums. In dem Fall, in dem der Durchmesser des Spots des Pumplichts klein ist, gibt es ein Risiko, dass das Pumpen in einem kleinen Bereich konzentriert wird und Pumpen nicht in tiefen Abschnitten des festen Lasermediums auftritt, und so ein thermischer Linsen- oder ein starker thermischer Linsen-Effekt erzeugt werden kann. Deshalb kann der thermische Linseneffekt reduziert werden durch Pumpen in einem breiten Bereich.

[0005] Indessen war ein weiterer Anstieg in der Ausgabe von Laserbearbeitungsvorrichtungen in den letzten Jahren gefragt, und deshalb war ein weiterer Anstieg in der Ausgabe von LDs erforderlich. Jedoch tritt ein Problem auf in dem Fall, in dem in der Ausbeute innerhalb des Kristalls des festen Lasermediums ein Anstieg versucht wird mit einer Pumpstrahlgröße, die leicht größer ist in der Größe als der Durchmesser in der oben beschriebenen TEM₀₀-Mode, derart, dass das Limit nur auf ein niedriges Niveau gesetzt werden kann. Deshalb müssen in dem Fall, in dem die Ausgabe der LD so hoch wie 10 W oder höher gesetzt wird, der Reflektionsgrad von optischen Elementen, einschließlich des Ausgabespiegels eines Ausgabekopplers **18** und dergleichen hoch gesetzt sein, und als ein Ergebnis wird es nötig, hochzuverlässige Abschnitte zum Bilden des Resonators zu verwenden, und so tritt ein Problem auf, derart, dass die Kosten hoch werden.

[0006] Außerdem tritt in dem Fall, in dem der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels hoch ist, ein Problem auf derart, dass die Energie innerhalb des Resonators steigt und die optischen Elemente anfällig dafür werden, beschädigt zu werden. Insbesondere beträgt im Falle eines Puls lasers mit einer Q-Schaltfunktion die Spitzenleistung mehrere Zehnfache eines kW, und deshalb wird die Belastung auf der Innenseite des Resonators noch höher und das Risiko einer Beschädigung wird hoch.

[0007] Die vorliegende Erfindung ist bereitgestellt, um diese herkömmlichen Probleme zu lösen. Eine Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Laserbearbeitungsvorrichtung und einen festen Laserresonator bereitzustellen, der mit dem Anstieg in der Ausgabe der Pumplichtquelle kompatibel ist und nicht den Reflektionsgrad des Ausgabespiegels vergrößert.

[0008] Die vorgenannten Probleme des Stands der

Technik und die oben angegebene Aufgabe der Erfindung werden gelöst durch erfindungsgemäße Vorrichtungen nach den unabhängigen Ansprüchen. Bevorzugte Ausführungsformen und besondere Aspekte der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0009] Um die oben beschriebene Aufgabe zu lösen, ist die Laserbearbeitungsvorrichtung gemäß einer Ausführungsform eine Laserbearbeitungsvorrichtung, versehen mit: einem Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls; einem Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der durch den Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird, zu einem Laserausgabeabschnitt, der unten beschrieben ist; und einem Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt gebildet sein kann aus: einem kristallinen festen Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch die zwei Endflächen eintritt; einem Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in zwei Wege derart, dass verschiedene Pumpkomponenten des Pumplichtes durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums entlang der entsprechenden geteilten Wege eintreten; dichroitischen Spiegeln, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie der entsprechenden Endfläche gegenüberliegen, es ermöglichen, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der Endflächen reflektieren; einem Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen auftritt, und in eine Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht orientiert ist, und das Laserschwingungslicht aus den dichroitischen Spiegeln ausgibt; und Kondensorlin sen, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüberliegen und Pumplicht kondensieren, das durch die dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Lasermediums gepumpt werden, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums, derart, dass Pumplicht durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums eintreten und das feste Lasermedium gepumpt wird. Als eine Folge kann der Durchmesser des Spots des Pumplichts kleiner gemacht werden als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums beim zweidirektionalem Pumpen, und so kann ein Anstieg im Wirkungsgrad erreicht werden.

[0010] Ferner ist die Laserbearbeitungsvorrichtung

gemäß einer weiteren Ausführungsform eine Laserbearbeitungsvorrichtung, versehen mit: einem Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls; einem Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der durch den Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird, zu einem Laserausgabeabschnitt, der unten beschrieben ist; und einem Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt gebildet sein kann aus: einem kristallinen festen Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und eine zweite Endfläche, die sich auf der entgegengesetzten Seite zu der ersten Endfläche befindet und eine Oberfläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird; einem Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Wege und einen zweiten geteilten Weg, in einer derartigen Weise, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichtes in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entlang des ersten und zweiten geteilten Weges entsprechend eintreten; einem ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endfläche chenseite reflektiert; einem zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung eines unten beschriebenen Ausgabespiegels reflektiert; einem Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen auftritt, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Licht, dass von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, ausgibt; einer ersten Kondensorlinse, die entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem ersten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und eine erste Pumpkomponente des Pumplichts, das durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche gepumpt wird, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums; und einer zweiten Kondensorlinse, die entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem zweiten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und eine zwei-

te Pumpkomponente des Pumplichts, das durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche gepumpt wird, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums, derart, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums eintreten und das feste Lasermedium gepumpt wird. Als eine Folge kann der Durchmesser des Spots des Pumplichts kleiner gemacht werden als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums beim zweidirektionalen Pumpen, und so kann ein Anstieg im Wirkungsgrad erreicht werden.

[0011] Außerdem ist der feste Laserresonator gemäß einer anderen Ausführungsform versehen mit: einer Pumplichtquelle zum Erzeugen von Pumplicht; einem kristallinen festen Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von der Pumplichtquelle durch die zwei Endflächen eintritt; einem Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in zwei Wege in einer derartigen Weise, dass verschiedene Pumpkomponenten des Pumplichts durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums entlang der entsprechenden geteilten Wege eintreten; dichroitischen Spiegeln, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den entsprechenden Endflächen gegenüberliegen, es ermöglichen, dass das Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der Endflächen reflektieren; einem Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet wird, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen auftritt, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Laserschwingungslicht aus den dichroitischen Spiegeln ausgibt; und Kondensorlinsen, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüberliegen und Pumplicht, das durch die dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensieren, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Lasermediums bestrahlt werden, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums, und derart gebildet sein können, dass Pumplicht in die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums eintritt und das feste Lasermedium gepumpt wird. Als eine Folge kann der Durchmesser des Spots des Pumplichts beim zweidirektionalen Pumpen kleiner gemacht werden als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums, sodass ein Anstieg im Wirkungsgrad erreicht werden kann.

[0012] Es wird eine Laserbearbeitungsvorrichtung bereitgestellt, die kompatibel ist mit einem Anstieg in der Ausgabe der Pumplichtquelle, ohne den Reflekti-

onsgrad des Ausgabespiegels zu vergrößern. Ein festes Lasermedium zum Erzeugen einer Laserschwingung, wenn Pumplicht aus einer Pumplichtquelle durch zwei Endflächen eintritt, ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das von der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in zwei Wege derart, dass die entsprechenden Pumpkomponenten des Pumplichts durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums entlang der entsprechenden geteilten Wege eintreten, dichroitische Spiegel, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie den entsprechenden Endflächen gegenüberliegen, es ermöglichen, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der Endflächen eintreten, reflektieren, und Kondensorlinsen, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüberliegen und Pumplicht, das durch die dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart kondensieren, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Lasermediums bestrahlt werden, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums, sind vorgesehen, und die Konfiguration ermöglicht es, dass Pumplicht durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums derart eintritt, dass das feste Lasermedium angeregt werden kann.

[0013] Die Erfindung ist auch gerichtet auf eine Vorrichtung zum Ausführen der offenbarten Verfahren und umfasst Vorrichtungsabschnitte zum Ausführen jedes beschriebenen Verfahrensschritts. Diese Verfahrensschritte können ausgeführt werden mittels Hardware-Komponenten, einem Computer, der durch eine geeignete Software programmiert ist, mittels einer beliebigen Kombination davon oder in einer anderen Weise. Außerdem ist die Erfindung auch gerichtet auf Verfahren, mit denen die beschriebenen Vorrichtungen arbeiten, und auch auf Verfahren, mit denen die Vorrichtungen hergestellt werden. Sie umfasst Verfahrensschritte zum Ausführen jeder Funktion der Vorrichtung. Es können ferner Elemente oder Teile einer beschriebenen Ausführungsform vorteilhafterweise in anderen Ausführungsformen verwendet werden ohne ausdrückliche Erläuterung.

[0014] Ausführungsformen der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

[0015] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das die Konfiguration der Laserbearbeitungsvorrichtung gemäß der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0016] [Fig. 2](#) ist eine perspektivische Ansicht, die die innere Struktur des Laserpumpabschnitts in [Fig. 1](#) zeigt;

[0017] [Fig. 3](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der

Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 1 zeigt;

[0018] [Fig. 4](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 2 zeigt;

[0019] [Fig. 5](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 3 zeigt;

[0020] [Fig. 6](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 4 zeigt;

[0021] [Fig. 7](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 5 zeigt;

[0022] [Fig. 8](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 6 zeigt;

[0023] [Fig. 9](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 7 zeigt;

[0024] [Fig. 10](#) ist eine Draufsicht, die ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente im Laserresonanzabschnitt gemäß Ausführungsform 8 zeigt;

[0025] [Fig. 11](#) ist ein schematisches Diagramm, das die Modifikationen des Anordnungsmusters für optische Elemente zeigt;

[0026] [Fig. 12](#) ist ein schematisches Diagramm, das andere Modifikationen des Anordnungsmusters für optische Elemente zeigt;

[0027] [Fig. 13](#) ist ein schematisches Diagramm, das noch andere Modifikationen des Anordnungsmusters für optische Elemente zeigt;

[0028] [Fig. 14](#) ist ein Graph, der die Änderung im Wirkungsgrad der Absorption für die Wellenlänge des Pumplichts im Nd:YVO₄-Kristall zeigt;

[0029] [Fig. 15](#) ist ein Graph zum Vergleichen der Änderung im Laserausgabestrahls für die Wellenlänge der Pumpquelle zwischen eindirektionalem Pumpen und zweidirektionalem Pumpen;

[0030] [Fig. 16](#) ist ein Graph zum Vergleichen der Änderung des Laserausgabestrahls über die Zeit zwischen eindirektionalem Pumpen und zweidirektionalem Pumpen;

[0031] [Fig. 17](#) ist ein Graph, der die Änderung des Laserausgabestrahls über die Zeit zeigt, wenn der Strom von der Pumpquelle geändert wird von 0 A auf

45 A im zweidirektionalen Pumpen;

[0032] [Fig. 18](#) ist ein Graph, bei dem der Laserausgabestrahls gemessen wird für die Leistung der Pumplichtquelle gemäß des Reflektionsgrades des Strahlteilers zum Zeitpunkt des CW-Betriebes im System des zweidirektionalen Pumpens;

[0033] [Fig. 19](#) ist ein Graph, bei dem der Laserausgabestrahls gemessen wird für die Leistung der Pumplichtquelle gemäß des Reflektionsgrades des Strahlteilers zum Zeitpunkt des Q-Schalterbetriebs im System des zweidirektionalen Pumpens;

[0034] [Fig. 20](#) ist ein schematisches Diagramm, das eine Formel zeigt zum Berechnen der Energie innerhalb eines Resonators;

[0035] [Fig. 21](#) ist ein Graph, der die Änderung in der Laserausgabe für den Reflektionsgrad des Ausgabespiegels im System des zweidirektionalen Pumpens zeigt;

[0036] [Fig. 22](#) ist ein Graph, der die Änderung in der Energie innerhalb des Resonators relativ zum Reflektionsgrad des Ausgabespiegels zeigt;

[0037] [Fig. 23](#) ist ein Graph, bei dem der Laserausgabestrahls gemessen wird für die Leistung der Pumplichtquelle zum Zeitpunkt des CW-Betriebes im System des zweidirektionalen Pumpens sowohl für den Fall, bei dem der Reflektionsgrad des Strahlteilers hoch ist, als auch wenn er gering ist;

[0038] [Fig. 24](#) ist eine perspektivische Ansicht, die die Konfiguration eines Laserausgabeabschnittes einschließlich des Laserstrahlscanningsystems einer Laserbearbeitungsvorrichtung zeigt;

[0039] [Fig. 25](#) ist eine perspektivische Ansicht, die die Konfiguration in [Fig. 24](#) zeigt, gesehen von der Rückseite;

[0040] [Fig. 26](#) ist eine Seitenansicht, die die Konfiguration der [Fig. 24](#) zeigt, gesehen von der Seite;

[0041] [Fig. 27A](#) und [Fig. 27B](#) sind Ansichten, die den Zustand veranschaulichen, bei dem die Stelle des Brennpunktes des Laserausgabestrahls der Laserbearbeitungsvorrichtung sich ändert abhängig von der Arbeitsstelle;

[0042] [Fig. 28](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Laserbearbeitungssystem zeigt;

[0043] [Fig. 29](#) ist eine Seitenansicht, die das Laserstrahlscanningsystem zeigt in dem Fall, in dem die Brennweite lang ist;

[0044] [Fig. 30](#) ist eine Seitenansicht, die das Laser-

strahlscanningsystem zeigt in dem Fall, in dem die Brennweite kurz ist;

[0045] [Fig. 31A](#) ist eine Vorderansicht, die einen Z-Achsen-Scanner zeigt, und [Fig. 31B](#) ist eine Querschnittsansicht eines Querschnitts des Z-Achsen-Scanners;

[0046] [Fig. 32](#) ist ein Blockdiagramm, das die Systemkonfiguration einer Laserbearbeitungsvorrichtung zeigt, bei der dreidimensionale Bearbeitung möglich ist;

[0047] [Fig. 33](#) ist ein Blockdiagramm, das die Konfiguration einer Laserbearbeitungsvorrichtung gemäß eines herkömmlichen Endpumpsystems zeigt; und

[0048] [Fig. 34](#) ist ein Blockdiagramm, das die Konfiguration eines Systems eines zweidirektionalen Pumpens zeigt.

[0049] Die vorliegende Erfindung wird beschrieben mit unter Bezugnahme auf die Zeichnungen. Hier veranschaulichen die unten beschriebenen Ausführungsformen eine Laserbearbeitungsvorrichtung und einen festen Laserresonator zum Implementieren der technologischen Idee der vorliegenden Erfindung, und die vorliegende Erfindung begrenzt die Laserbearbeitungsvorrichtung und den festen Laserresonator nicht auf jene, die unten angegeben sind. Ferner begrenzt die vorliegende Beschreibung in keinsten Weise die Elemente, die in den Ansprüchen beschrieben sind, auf die Elemente in den Ausführungsformen. Insbesondere ist nicht beabsichtigt, dass die Abmessungen, Materialien, die Form, die relative Anordnung und dergleichen der in den Ausführungsformen beschriebenen Komponenten jene im Umfang der vorliegenden Erfindung begrenzen, außer es ist anders angegeben, und sie sind lediglich veranschaulichend. Hier können die Abmessungen und die Positionsbeziehung der Elemente, die in den Figuren gezeigt sind, übertrieben sein, um die Veranschaulichung klarer zu machen. Außerdem bezeichnen in der folgenden Beschreibung dieselben Namen und Symbole Elemente, die dieselben oder ähnlich sind, und eine detaillierte Beschreibung für jene wird unterlassen. Außerdem kann im Hinblick auf die Komponenten der vorliegenden Erfindung eine Anzahl von Komponenten aus demselben Element derart gebildet sein, dass ein Element die Funktion der Anzahl von Komponenten in einigen Ausführungsformen besitzt, oder die Funktion eines Elementes kann ausgeführt werden durch eine Anzahl von Elementen.

[0050] In der vorliegenden Beschreibung ist die Laserbearbeitungsvorrichtung elektrisch verbunden mit dem Computer zum Ausführen von Prozessen für den Betrieb, die Steuerung, die Ausgabe/Eingabe, die Anzeige und dergleichen, der Drucker, die externe Speichervorrichtung und andere periphere Vor-

richtungen durch serielle Verbindung, zum Beispiel IEEE1394, RS-232x, RS-422, RS-423, RS-485, USB oder PS2, parallele Verbindung oder ein Netzwerk, zum Beispiel 10BASE-T, 100BASE-TX oder 1000BASE-T für die Kommunikation. Die Verbindung ist nicht begrenzt auf eine physikalische Verbindung unter Verwendung von Leitungen und kann eine drahtlose Verbindung unter Verwenden von Radiowellen, Infrarotstrahlen, optischer Kommunikation oder dergleichen durch ein drahtloses LAN sein, zum Beispiel IEEE802.1x oder ein OFDM-System, oder Bluetooth (eingetragene Marke). Außerdem können Speicherkarten, Magnet-Disks, optische Disks, magnetooptische Disks, Halbleiterspeicher und dergleichen verwendet werden als das Aufnahmemedium zum Speichern der Daten und der Einstellungen der beobachteten Bilder.

[0051] In den folgenden Ausführungsformen ist ein Lasermarker beschrieben als ein Beispiel einer Laserbearbeitungsvorrichtung, die die vorliegende Erfindung implementiert. Hier kann in der vorliegenden Beschreibung die Laserbearbeitungsvorrichtung verwendet werden für allgemeine Laser-angewandte Vorrichtungen, ungeachtet des Namens, und breit angewandt werden auf das Bearbeiten unter Verwenden von Laserbestrahlung, zum Beispiel Laserresonatoren und eine Vielfalt von Laserbearbeitungsvorrichtungen, Laserbearbeitung, zum Beispiel Drilling (Drilling), Beschriften (Marking), Schneiden (Trimming), Ritzen (Scribing) und Oberflächenbearbeitung, wie auch andere Laseranwendungsfelder unter Verwenden von Laserlichtquellen, zum Beispiel Materialbearbeitung, Spektrometrie, Wafer-Inspektion, medizinische Diagnose und Laserdrucken, und kann auch verwendet werden für derartige Anwendungen, wie mikroskopische Bearbeitung von Halbleitern, Display-Reparatur und Trimming-Systeme. Wie oben beschrieben wird die Laserbearbeitungsvorrichtung in der vorliegenden Beschreibung, einschließlich der oben beschriebenen Bearbeitung, als Laserbearbeitungsvorrichtung bezeichnet, ungeachtet des Namens. Ferner ist in der vorliegenden Beschreibung das Drucken beschrieben als ein typisches Beispiel der Bearbeitung, aber die vorliegende Erfindung ist nicht begrenzt auf Druckbearbeitung, und kann verwendet werden in verschiedenen Prozessen unter Verwenden eines Laserstrahls, zum Beispiel Schweißen (Fusing), Peeling, Oberflächenoxidation, Schneiden (Cutting), Ändern der Farbe und dergleichen.

(Ausführungsform 1)

[0052] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm, das die Konfiguration einer Laserbearbeitungsvorrichtung **100** gemäß Ausführungsform 1 zeigt. Die Laserbearbeitungsvorrichtung **100**, die in diesem Diagramm gezeigt ist, umfasst einen Lasersteuerungsabschnitt **1** und einen Laserausgabeabschnitt **2**. Der Lasersteuerungsabschnitt **1** bildet einen Controllerabschnitt

zum Steuern des Laserausgabeabschnitts **2** und ist optisch verbunden mit dem Laserausgabeabschnitt **2** durch ein Pumplichtübertragungsmedium **3**. Ferner gibt der Laserausgabeabschnitt **2** als ein Kopfabschnitt einen Ausgabelaserstrahl zum Laserbeschriften aus. Dieser Lasersteuerungsabschnitt **1** umfasst einen Laserpumpabschnitt **10**, der eine Pumplichtquelle bildet. Außerdem sind ein Eingabeabschnitt **4** zum Eingeben eines Prozessmusters, wenn nötig, und ein Anzeigeabschnitt **5** zum Anzeigen von Bildern verschiedener Einstellungen mit dem Lasersteuerungsabschnitt **1** verbunden. Indessen umfasst der Laserausgabeabschnitt **2** einen Laserresonanzabschnitt **20** zum Erzeugen einer Laserschwingung durch Eingeben des Pumplichts in das feste Lasermedium, und ein Laserstrahlscanningsystem **30** zum Scannen der Oberfläche des Objektes W, das bearbeitet werden soll (Werkstück), mit einem ausgegebenen Laserstrahl. Ein Arbeitsbereichslichtkondensierabschnitt **40**, zum Beispiel eine f θ -Linse, ist angeordnet auf der Ausgabeseite des Laserstrahlscanningsystems **30**, falls nötig.

(Eingabeabschnitt **4**, Anzeigeabschnitt **5**)

[0053] Der Eingabeabschnitt **4** ist verbunden mit dem Lasersteuerungsabschnitt **1**, und ermöglicht, dass die zum Betreiben der Laserbearbeitungsvorrichtung **100** erforderliche Einstellung eingegeben wird, und überträgt sie zum Lasersteuerungsabschnitt **1**. Die Inhalte der Einstellungen sind die Bedingungen zum Betreiben der Laserbearbeitungsvorrichtung **100**, der konkreten Inhalte der Bearbeitung und dergleichen. Der Eingabeabschnitt **4** ist eine Eingabevorrichtung, wie ein Keyboard, eine Maus oder eine Konsole. Ein zusätzlicher Anzeigeabschnitt, mit dem Eingabeinformation, die durch den Eingabeabschnitt **4** eingegeben wird, bestätigt wird, und die den Zustand des Lasersteuerungsabschnitts **1** anzeigt, kann separat vorgesehen sein. Ein Monitor, zum Beispiel ein LCD oder eine Kathodenstrahlröhre, kann als der Anzeigeabschnitt **5** verwendet werden. Ferner kann in dem Fall, in dem ein Touch-Panel-System verwendet wird, der Anzeigeabschnitt als der Eingabeabschnitt verwendet werden. So können die erforderlichen Einstellungen für die Laserbearbeitungsvorrichtung **100** bereitgestellt werden durch den Eingabeabschnitt, ohne mit einem externen Computer und dergleichen zu verbinden.

(Lasersteuerungsabschnitt **1**)

[0054] Der Lasersteuerungsabschnitt **1** umfasst einen Steuerungsabschnitt **50**, einen Speicherabschnitt **52**, einen Laserpumpabschnitt **10** und eine Stromversorgungsschaltung **54**. Die Inhalte der Einstellungen, die durch den Eingabeabschnitt **4** eingegeben werden, werden im Speicherabschnitt **52** aufgenommen. Der Steuerungsabschnitt **50** liest Inhalte der Einstellung aus dem Speicherabschnitt **52**, falls

nötig, und betreibt den Laserpumpabschnitt **10** basierend auf einem Bearbeitungssignal entsprechend der Inhalte der Bearbeitung derart, dass das feste Lasermedium **21** in dem Laserausgabeabschnitt **2** angeregt wird. Halbleiterspeicher, wie RAMs und ROMs, können als der Speicherabschnitt **52** verwendet werden. Ferner können Halbleiterspeicherkarten, zum Beispiel PC-Karten und SD-Karten (eingetragene Marke) eingebaut sein im oder eingefügt sein in den Lasersteuerungsabschnitt **1**, wie auch Speicherkarten, zum Beispiel Karten-artige Hard-Discs, können als der Speicherabschnitt **52** verwendet werden. Der Speicherabschnitt **52**, der aus einer Speicherkarte gebildet ist, kann einfach umgeschrieben werden mit einer externen Vorrichtung, wie einen Computer, derart, dass die Inhalte, die durch den Computer eingestellt werden, in die Speicherkarte geschrieben werden, die dann in den Lasersteuerungsabschnitt **1** eingesetzt wird und so kann die Einstellung initiiert werden, ohne den Eingabeabschnitt mit dem Lasersteuerungsabschnitt zu verbinden. Insbesondere stellen Halbleiterspeicher hohe Geschwindigkeiten des Einlesens und Einschreibens von Daten bereit, und keine mechanische Bearbeitungsabschnitte, und sind so widerstandsfähig gegen Schwingung und können deshalb eine unabsichtliche Datenlöschung aufgrund von Aneinanderstoßen verhindern, wie jene, die in Hard-Discs auftritt.

[0055] Außerdem scannt der Steuerungsabschnitt **50** einen Laserstrahl, der durch das feste Lasermedium **21** zum Oszillieren gebracht wird, um den eingestellten Prozess auf einem Werkstück W auszuführen, und gibt deshalb ein Scannsignal zum Bearbeiten des Laserstrahlscanningsystems **30** des Laserausgabeabschnitts **2** an das Laserstrahlscanningsystem **30** aus. Die Stromversorgungsschaltung **54** legt eine vorbestimmte Spannung an den Laserpumpabschnitt **10** als eine konstante Spannungsversorgung an. Das Bearbeitungssignal zum Steuern des Bearbeitungsbetriebs ist ein PWM-Signal, basierend auf dem HIGH/LOW, von dem ein EIN/AUS-Schalten des Laserstrahls ausgeführt wird, und von dem jeder Puls einem Puls des oszillierenden Laserstrahls entspricht. Obwohl die Laserintensität definiert wird basierend auf dem Duty-Verhältnis (Duty-Ratio), das von der Frequenz des PWM-Signals abhängt, kann das PWM-Signal derart gebildet werden, dass die Laserintensität abhängig von der Scannrate basierend auf der Frequenz variiert.

(Laserpumpabschnitt **10**)

[0056] Der Laserpumpabschnitt **10** umfasst eine Pumplichtquelle **11** und einen Pumplichtkondensierabschnitt **12**, die optisch verbunden sind. Ein Beispiel des Laserpumpabschnitts **10** ist in der perspektivischen Ansicht der [Fig. 2](#) gezeigt. Im Laserpumpabschnitt **10**, der in dieser Ansicht gezeigt ist, sind die Pumplichtquelle **11** und der Pumplichtkondensierab-

schnitt **12** in einem Pumpgehäuse **13** gesichert. Das Pumpgehäuse **13** ist gebildet aus einem Metall mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit, wie Kupfer, und gibt wirksam Wärme von der Pumplichtquelle **11** an die Außenseite ab. Die Pumplichtquelle **11** ist gebildet aus einem Halbleiterlaser (LD) oder einer Lampe. In [Fig. 2](#) wird ein LD-Feld oder ein LD-Streifen verwendet, in dem eine Mehrzahl von LD-Elementen in einer linearen Form aufgereiht sind, derart, dass die Laserschwingung von den entsprechenden Elementen in einer Linienform ausgegeben wird. Der emittierende Laser tritt durch die Eingangsfläche des Pumplichtkondensierabschnitts **12** ein und wird ausgegeben durch die Emissionsfläche als ein kondensierter Laserpumpstrahl. Der Pumplichtkondensierabschnitt **12** besitzt eine Fokussierlinse und dergleichen. Der Laserpumpstrahl von dem Pumplichtkondensierabschnitt **12** tritt in den Laserresonanzabschnitt **20** durch eine optische Faser **14** und dergleichen ein. Die Pumplichtquelle **11** und der Pumplichtkondensierabschnitt **12**, wie auch die optische Faser **14** sind optisch verbunden durch den Raum oder eine optische Faser. Ferner kann eine LD-Einheit oder ein LD-Modul, in dem derartige Elemente im Vorhinein eingebaut sind, als der Laseranregungsabschnitt **10** (Laserpumpabschnitt **10**) verwendet werden. Hier wird eine LD-Einheit mit einer Ausgabe so hoch wie 40 W bis 50 W verwendet, und das Pumplicht wird geteilt durch ein Teilungselement. Außerdem kann das Pumplicht, das von dem Laserpumpabschnitt **10** emittiert wird, nicht-polarisiertes Licht sein. So wird es unnötig, eine Änderung im Zustand der Polarisation in Betracht zu ziehen, und so ist das Design vorteilhaft. Insbesondere ist es für die LD-Einheit bevorzugt zum Bündeln von Licht, das von den entsprechenden LD-Elementen in dem LD-Feld erhalten wird, in dem mehrere Zehnfache von LD-Elementen aufgereiht sind, mittels einer optischen Faser, und Ausgeben von Licht, mit einem Mechanismus zum Umwandeln des ausgegebenen Lichts in nicht-polarisiertes Licht versehen zu sein. Alternativ kann sich das Licht in einem nicht-polarisierten Zustand (willkürliche Polarisation) während des Prozesses der Übertragung vom Laserpumpabschnitt **10** durch ein Optikkabelfaserkabel, dem Prozess zum optischen Kopieren mit einem geteilten Weg unter Verwenden eines Pumplichtkopplungselements und dergleichen in der Konfiguration befinden.

[0057] Der Laserpumpabschnitt **10** ist versehen mit einem Temperatureinstellungsmechanismus zum Einstellen der Temperatur der Pumplichtquelle **11**. Insbesondere sind Halbleiterlicht emittierende Elemente, wie LD-Elemente, temperaturabhängig derart, dass die Wellenlänge sich abhängig von der Temperatur ändert, und deshalb wird der Temperatureinstellungsmechanismus derart gesteuert, dass eine geeignete Temperatur beibehalten wird, wenn die Temperatur der LD-Elemente gemessen wird, und ein Laserpumpstrahl mit einer erwünschten Wellen-

länge kann erhalten werden. Der Temperatureinstellungsmechanismus kann ein Pelletier-Element bzw. Peltier-Element oder dergleichen verwenden.

(Laserausgabebeschnitt **2**)

[0058] Der Laserpumpstrahl, der durch den Laserpumpabschnitt **10** wie oben beschrieben erzeugt wird, wird zum Laserausgabeabschnitt **2** durch das Pumplichtübertragungsmedium **3** übertragen. Ein Optikkabelfaserkabel oder dergleichen wird verwendet als das Pumplichtübertragungsmedium **3**. Ferner kann die optische Faser **14** des Laserpumpabschnitts **10** als das Pumplichtübertragungsmedium **3**, wie es ist, verwendet werden. Der Laserausgabeabschnitt **2** ermöglicht, dass das Laserpumplicht in den Laserresonanzabschnitt **20** derart eintritt, dass der Laserausgabestrahle durch Laserschwingung erzeugt wird, und zu selben Zeit ermöglicht das Laserstrahlscanningssystem **30**, einen Arbeitsbereich mit dem Laserstrahl in einem erwünschten Bearbeitungsmuster zu Scannen.

(Laserresonanzabschnitt **20**)

[0059] Der Laserresonanzabschnitt **20** ist ein fester Laserresonator oder eine Laseroszillatoreinheit zum Erzeugen eines Laserstrahls durch die Laserschwingung. Dieser Laserresonanzabschnitt **20** umfasst ein Pumplichtkopplungselement **22** zum Einführen von Pumplicht von der Pumplichtquelle **11**, ein Teilungselement **23** zum Teilen von Pumplicht, das von dem Pumplichtkopplungselement **22** eingeführt wird, in einen ersten geteilten Weg B1 und einen zweiten geteilten Weg B2, ein festes Lasermedium **21**, in das Pumplicht eintritt durch entsprechende Endflächen von dem ersten geteilten Weg B1 und dem zweiten geteilten Weg B2 und das so angeregt wird, einen ersten dichroitischen Spiegel **24** und einen zweiten dichroitischen Spiegel **25**, die in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie einander in einem vorbestimmten Abstand gegenüberliegen entlang des optischen Weges des induzierten Emissionslichts, das durch das feste Lasermedium **21** emittiert wird, und einen Ausgabespiegel **26**, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass er nicht die geteilten Wege stört und Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel **25** reflektiert wird, ausgibt. Hier wird der erste dichroitische Spiegel **24** als ein Rückseiten-spiegel RM bezeichnet und der zweite dichroitische Spiegel **25** wird als ein Emissionsseitenspiegel FM bezeichnet. Der Rückseiten-spiegel RM ist gesichert senkrecht zu der Richtung, in der der Laserschwingungsstrahl läuft, und der Emissionsseitenspiegel FM ist gesichert diagonal bei 45° relativ zur Richtung des Eintritts derart, dass der Laserschwingungsstrahl in Richtung der Seite des Ausgabespiegels **26** reflektiert wird.

[0060] Indessen sind eine Apertur **27**, ein Q-Schal-

ter **28**, ein Laser-Verschluss und dergleichen zwischen dem Ausgabespiegel **26** und dem Emissionsseitenspiegel FM angeordnet. Ein Optikfaserkabel, das das Pumplichtübertragungsmedium **3** ist, ist mit dem Pumplichtkopplungselement **22** derart verbunden, dass Pumplicht, das von dem Laserpumpabschnitt **10** erzeugt wird, in den Laserresonanzabschnitt **20** eingeführt wird und zur gleichen Zeit durch das Teilungselement **23** derart geteilt wird, dass es in das feste Lasermedium **21** durch die entsprechenden Endflächen eintritt. Das induzierte Emissionslicht, das vom festen Lasermedium **21** emittiert wird, wird durch mehrfache Reflektionen zwischen dem Emissionsseitenspiegel FM und dem Rückseitenspiegel RM verstärkt, und die Mode wird ausgewählt durch die Apertur **27**, während dem Laserstrahl ermöglicht wird durchzulaufen und blockiert wird in kurzen Perioden durch den Betrieb des Q-Schalters **28** derart, dass der Laserstrahl durch den Ausgabespiegel **26** ausgegeben wird. Der Weg von diesem Rückseitenspiegel RM zum Ausgabespiegel **26** durch den Emissionsseitenspiegel FM bildet einen Laserresonator.

[0061] Die Apertur **27** ist eine Öffnung, die kleiner ist als der Durchmesser des festen Lasermediums **21**, und ist vorgesehen in einer Blockierplatte, deren Zentrum eingestellt ist auf jenes des optischen Weges des induzierten Emissionslichtes, und funktioniert als ein Moden-Selektor mit einer Funktion des Auswählens der Mode zum Unterdrücken der Schwingung unnötiger Moden. Durch diese Auswahl der Mode kann die Qualität der Laserbearbeitung verbessert werden.

[0062] Ferner öffnet und blockiert der Q-Schalter **28** den optischen Weg des induzierten Emissionslichtes, das sich hin- und herbewegt zwischen dem Ausgabespiegel **26** und dem Reflektionsspiegel in kurzen Perioden, erhöht die Anzahl von Werten (Q-Wert) als der Resonator und führt einen Betrieb zum Steuern des EIN/AUS des Laserstrahls bei hoher Geschwindigkeit aus. In der vorliegenden Ausführungsform ist die Frequenz des Q-Schalters variabel zwischen dem 1 kHz bis 400 kHz, und eine CW-Schwingung ist auch möglich.

[0063] Der Ausgabespiegel **26** ist ein Halbspiegel zum Ausgeben von Licht, das von dem Emissionsseitenspiegel FM reflektiert wird, und ist an einer derartigen Stelle angeordnet, dass er nicht mit den geteilten Wegen interferiert bzw. nicht die geteilten Wege stört, und empfängt Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel in eine Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungsstrahl reflektiert wird.

[0064] Indessen ist das Pumplichtkopplungselement **22** ein Element zum optischen Verbinden des Pumplichtübertragungsmediums **3** mit dem Teilungselement **23** und ist versehen mit einem Optikfaser-

kopplungsabschnitt **22a** zum Verbinden eines Optikfaserkabels und einer Kollimierlinse **22b**, die angeordnet ist zwischen dem Optikfaserkopplungsabschnitt **22a** und dem Teilungselement **23** und das Pumplicht, das von der LD-Einheit durch den Optikfaserkopplungsabschnitt **22a** eintritt, zu parallelen Licht umformt. Eine Plano-Konvex-Linse kann verwendet werden als die Kollimierlinse **22b**.

[0065] Pumplicht, das durch die Kollimierlinse **22b** parallel gemacht wird, wird zu den Endflächenenden des festen Lasermediums **21** durch den ersten geteilten Weg B1 und den zweiten geteilten Weg B2 übertragen, und danach wird Licht mit einer Kondensorlinse kondensiert, bevor es durch den Rückseitenspiegel RM und den Emissionsseitenspiegel FM eintritt. Hier sind eine erste Kondensorlinse **61** und eine zweite Kondensorlinse **62** entlang des ersten geteilten Weges B1 bzw. des zweiten geteilten Weges B2 in einer Weise angeordnet, dass sie dem Rückseitenspiegel KM bzw. dem Emissionsseitenspiegel FM gegenüberliegen. Wie unten beschrieben, kondensiert die erste Kondensorlinse **61** Pumplicht, das durch den Rückseitenspiegel RM übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche des Festen Lasermediums **21** mit einer ersten Pumpkomponente R1 bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums **21**. Ferner kondensiert die zweite Kondensorlinse **62** Pumplicht, das durch den Emissionsseitenspiegel FM übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche des festen Lasermediums **21** mit der zweiten Pumpkomponente R2 bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums **21**. Plano-Konvex-Linsen können als die erste Kondensorlinse **61** und die zweite Kondensorlinse **62** verwendet werden.

(Anordnung des Laserresonanzabschnitts **20**)

[0066] Das Teilungselement **23** teilt Pumplicht, das von der Pumplichtquelle **11** ausgegeben wird, in die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2. Die geteilte erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 sind entsprechend zugeordnet zum ersten geteilten Weg B1 und dem zweiten geteilten Weg B2 derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 des Pumplichts von dem ersten geteilten Weg B1 bzw. dem zweiten geteilten Weg B2 durch die erste Endfläche bzw. die zweite Endfläche des zweiten Lasermediums **21** eintritt. Ein Strahlteiler BS, wie ein Halbspiegel oder dergleichen, kann verwendet werden als das Teilungselement **23**.

[0067] Der erste geteilte Weg B1 und der zweite geteilte Weg B2 sind entsprechend gebildet aus optischen Elementen, zum Beispiel einem Strahlteiler BS, einem Reflektionsspiegel und dergleichen. Das

heißt, ein erster Reflektionsspiegel M1 zum Reflektieren der ersten Pumpkomponente R1 oder der zweiten Pumpkomponente R2, die durch den Strahlteiler BS geteilt werden, annähernd senkrecht, ein zweiter Reflektionsspiegel M2 zum weiteren Reflektieren von Reflektionslicht, das von dem ersten Reflektionsspiegel M1 reflektiert wird, oder der zweiten Pumpkomponente R2 oder der ersten Pumpkomponente R1, die durch den Strahlteiler BS geteilt werden, in einer annähernd senkrechten Richtung, und ein dritter Reflektionsspiegel M3 zum Reflektieren von Reflektionslicht, das vom zweiten Reflektionsspiegel M2 reflektiert wird, annähernd senkrecht, bilden einen geteilten Weg. Die geteilten Wege sind auf diese Weise in rechteckiger Form gebildet, und so können die geteilten Wege zum Anregen des festen Lasermediums **21** in zwei Richtungen kompakt gemacht werden, und außerdem kann die Anordnung der entsprechenden Reflektionsspiegel und die Einstellungsarbeit einfach gemacht werden. Insbesondere sind der Strahlteiler BS, der erste Reflektionsspiegel M1, der zweite Reflektionsspiegel M2 und der dritte Reflektionsspiegel M3 in derselben Ebene angeordnet, und so ist die Einstellungsarbeit zum Positionieren der entsprechenden Elemente einfach auszuführen. In diesem Beispiel sind alle optischen Elemente auf einem strukturellen Substrat **63** angeordnet, und so kann ein fester Laserresonator entworfen werden mit einer einfachen Konfiguration. Ferner kann das Medium zum Übertragen von Licht von der Pumplichtquelle **11** zum Strahlteiler BS ein Element sein, wenn nur eine Pumplichtquelle **11** vorgesehen ist, und dies kann zur Vereinfachung der Konfiguration beitragen. Ferner besitzt die Konfiguration, bei der Licht von einer Pumplichtquelle **11** geteilt wird, einen Vorteil derart, dass sie gebildet werden kann mit geringen Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Konfigurationen, wobei das Medium angeregt wird durch die entsprechenden Endflächen mit zwei LDs.

[0068] Außerdem kann die oben beschriebene Konfiguration die Freiheit im Hinblick auf das Layout der entsprechenden Elemente vergrößern, einschließlich dem festen Lasermedium **21** und dem Pumplichtkopplungselement **22** und dergleichen. Das heißt, das feste Lasermedium **21**, der Rückseitenspiegel RM und der Emissionsseitenspiegel FM können entlang einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet werden, und Pumplicht von der Pumplichtquelle **11** kann eintreten durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form entlang einer Linie, die sich von beliebigen der Seiten der rechteckigen Form mit den Spitzen in der Anordnung erstreckt. Auf diese Weise kann die Anordnung der Elemente geändert werden, und daher gibt es einen Vorteil derart, dass ein geeignetes Layout angepasst werden kann gemäß des Raums und der Form, die für den Laserresonanzabschnitt **20** vorgesehen sind.

[0069] [Fig. 3](#) zeigt ein konkretes Beispiel der Anord-

nung von optischen Elementen. In einem Laserresonanzabschnitt **201**, der in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium **21**, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM auf einer langen Seite des geteilten Weges in rechteckiger Form angeordnet (links in [Fig. 3](#)), und ein Strahlteiler BS1 ist angeordnet an der Spitze entlang der anderen langen Seite (rechts in [Fig. 3](#)), auf der Seite näher zum Rückseitenspiegel RM, derart, dass die Anordnung des Pumplichtkopplungselementes **22** in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS1 es ermöglicht, dass Pumplicht in eine Richtung senkrecht zu den langen Seiten eintritt. Das heißt, dass in [Fig. 3](#) der Strahlteiler BS1 an der unteren rechten Spitze der rechteckigen Form angeordnet ist, die in der Längsrichtung lang ist. Ein erster Reflektionsspiegel M11 ist angeordnet an der unteren linken Spitze, ein zweiter Reflektionsspiegel M21 ist angeordnet an der oberen rechten Spitze und ein dritter Reflektionsspiegel M31 ist angeordnet an der oberen linken Spitze. Ferner sind der erste, zweite und dritte Reflektionsspiegel M11 bis M31 in einer derartigen Weise gesichert, dass sie in einer abgeschrägten Richtung geneigt sind, das heißt, relativ zu den entsprechenden Seiten in einer derartigen Richtung, dass der Innenwinkel 135° beträgt, derart, dass eintretendes Licht in einem rechten Winkel von jedem Spiegel reflektiert wird. Indessen ist der Strahlteiler BS1 in einer derartigen Weise gesichert, dass er in einer derartigen Richtung geneigt ist, dass der Innenwinkel 45° relativ zu jeder Seite beträgt, um eintretendes Licht in Transmissionslicht, das geradeaus läuft, und Reflektionslicht, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, zu teilen. Ein Pumplichtkopplungselement **22** ist angeordnet auf der rechten Seite des Strahlteilers BS1 derart, dass Pumplicht von der LD-Einheit, das durch den Optikkfaserkopplungsabschnitt **22a** eintritt, der mit dem Optikkfaserkabel verbunden ist, umgeformt wird zu parallelem Licht durch die Kollimierlinse **22b**, und das Pumplicht tritt in Richtung des Strahlteilers BS1 (in Richtung der Linken in [Fig. 3](#)) ein. Der Strahlteiler BS1 ist in einer derartigen Position gesichert, dass er in einem Winkel von 45° relativ zum eintretenden Licht geneigt ist, um so Pumplicht in Transmissionslicht in der Richtung, in der Licht geradeaus läuft, was die erste Pumpkomponente R1 ist, und Reflektionslicht, das aufwärts reflektiert wird, was die zweite Pumpkomponente R2 ist, zu teilen. Der erste Reflektionsspiegel M11 ist gesichert an der linken Seiten des Strahlteilers BS1 in einer derartigen Weise, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht geneigt ist derart, dass die erste Pumpkomponente R1 in der Aufwärtsrichtung reflektiert wird. Dieses Reflektionslicht wird kondensiert durch die erste Kondensorlinse **61** und tritt in den Rückseitenspiegel RM ein. Wie oben beschrieben, ist der erste geteilte Weg B1 in einer L-Form gebildet.

[0070] Indessen wird die zweite Pumpkomponente R2, die vom Strahlteiler BS1 in der Aufwärtsrichtung

reflektiert wird, vom zweiten Reflektionsspiegel M21 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der horizontalen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 3](#)) geneigt ist. Reflektionslicht läuft parallel zum Transmissionslicht, das durch den Strahlteiler BS1 läuft und wird reflektiert vom dritten Reflektionsspiegel M31, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der Abwärtsrichtung geneigt ist. Dieses Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponente R2 wird kondensiert durch die zweite Kondensorlinse **62**, um so in den Emissionsseitenspiegel FM einzutreten. Wie oben beschrieben, ist der zweite geteilte Weg B2 in einer umgekehrten L-Form gebildet. Als eine Folge begegnet sich das Reflektionslicht der ersten Pumpkomponente R1, die vom ersten Reflektionsspiegel M11 reflektiert wird, und das Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponenten R2, die vom dritten Reflektionsspiegel M31 reflektiert wird, einander entlang derselben Achse. Ferner treten die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw. den Emissionsseitenspiegel FM derart ein, dass der Laser durch das feste Lasermedium **21**, das zwischen den dichroitischen Spiegel angeordnet ist, oszilliert, und induziertes Emissionslicht wird emittiert vom Emissionsseitenspiegel FM. Das heißt, Laserschwingungslicht wird reflektiert vom Emissionsseitenspiegel FM, der in einer derartigen Weise gesichert ist, um 45° in der lateralen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 3](#)) geneigt zu sein, und erreicht den Ausgabespiegel **26** durch den Q-Schalter **28** und die Apertur **27**, und so wird Laserausgabe-licht ausgegeben.

(Ausführungsform 2)

[0071] Das oben beschriebene Layout ist ein Beispiel und die Anordnung des Strahlteilers BS, des Pumplichtkopplungselements **22** und des festen Lasermediums **21** kann geändert werden. Als nächstes zeigt [Fig. 4](#) ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente des festen Laseroszillators gemäß Ausführungsform 2 als ein Beispiel eines Layouts, bei dem die Position eines Pumplichtkopplungselements **22** geändert ist. In einem Laserresonanzabschnitt **202**, der auch in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium **21**, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM entlang einer langen Seite des geteilten Weges, der in rechteckiger Form (linke Seite in [Fig. 4](#)) gebildet ist, angeordnet, und ein Strahlteiler BS2 ist angeordnet an der Spitze entlang der anderen langen Seite (rechte Seite in [Fig. 4](#)), auf der Seite nahe dem Rückseitenspiegel RM. Hier ist das Pumplichtkopplungselement **22** in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS2 derart angeordnet, dass Pumplicht in eine Richtung eintritt, die mit den langen Seiten übereinstimmt. Hier ist die Anordnung der optischen Elemente ähnlich jener in [Fig. 3](#), und der Strahlteiler BS2 ist angeordnet an der unteren

rechten Spitze der rechteckigen Form, die lang in der Längsrichtung ist, ein erster Reflektionsspiegel M12 ist angeordnet an der unteren linken Spitze, ein zweiter Reflektionsspiegel M22 ist angeordnet an der oberen rechten Spitze und ein dritter Reflektionsspiegel M32 ist angeordnet an der oberen linken Spitze. Ferner sind der erste, der zweite und der dritte Reflektionsspiegel M12 bis M32 in einer derartigen Richtung gesichert, dass sie die entsprechenden Spitzen abschrägen, das heißt, in einer derartigen Weise, dass sie in einer derartigen Richtung geneigt sind, dass der Innenwinkel 135° relativ zu jeder Seite beträgt, um das eintretende Licht in einem rechten Winkel zu reflektieren. Indessen ist der Strahlteiler BS2 gesichert in einem Winkel von 45° derart, dass die Innenwinkel der rechteckigen Form unterteilt sind in zwei gleiche Winkel, um das eintretende Licht in Transmissionslicht, das geradeaus läuft, und Reflektionslicht zu teilen, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, auf dieselbe Weise wie in [Fig. 3](#). Pumplicht tritt durch das Pumplichtkopplungselement **22**, das auf der unteren Seite des Strahlteilers BS2 (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 4](#)) angeordnet ist, ein. Der Strahlteiler BS2 ist in einer geneigten Position gesichert, die sich von derjenigen in [Fig. 3](#) um 90° unterscheidet, und teilt Pumplicht in Transmissionslicht, das geradeaus läuft und das eine zweite Pumpkomponente R2 ist, und Reflektionslicht, das in der horizontalen Richtung reflektiert wird (in Richtung der Linken in [Fig. 4](#)), und das eine erste Pumpkomponente R1 ist. Der erste Reflektionsspiegel M12 ist gesichert auf der linken Seite des Strahlteilers BS2 in einer derartigen Weise, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht geneigt ist, in derselben Weise wie in [Fig. 3](#), und reflektiert die erste Pumpkomponente R1 in die Aufwärtsrichtung. Das Reflektionslicht wird kondensiert durch eine erste Kondensorlinse **61** und tritt in einen Rückseitenspiegel RM ein. Wie oben beschrieben, ist ein erster geteilter Weg B1 in L-Form geformt.

[0072] Indessen wird die zweite Pumpkomponente R2, die durch den Strahlteiler BS2 in die Aufwärtsrichtung übertragen wird, vom zweiten Reflektionsspiegel M22 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der horizontalen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 4](#)) geneigt ist. Reflektionslicht läuft parallel zum Licht, das vom Strahlteiler BS2 reflektiert wird, und wird vom dritten Reflektionsspiegel M32 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der Abwärtsrichtung geneigt ist. Das Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponente R2 wird kondensiert durch eine zweite Kondensorlinse **62** und tritt in einen Emissionsseitenspiegel FM ein. Wie oben beschrieben, ist der zweite geteilte Weg B2 in einer umgekehrten L-Form geformt. Anschließend begegnen Reflektionslicht von der ersten Pumpkomponenten R1, die vom ersten Reflektionsspiegel M12 reflektiert

wird, und Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponente R2, die vom dritten Reflektionsspiegel M32 reflektiert wird, einander entlang derselben Achse, in derselben Weise wie in [Fig. 3](#), derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw. den Emissionsseitenspiegel FM eintreten und der Laser oszilliert.

(Ausführungsform 3)

[0073] [Fig. 5](#) zeigt ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente des festen Laseroszillators gemäß Ausführungsform 3 als ein noch anderes Beispiel des Layouts. In einem Laserresonanzabschnitt **203**, der auch in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium **21**, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM entlang einer langen Seite des geteilten Weges, der in rechteckiger Form geformt ist (linke Seite in [Fig. 5](#)), angeordnet. Hier ist ein Strahlteiler BS3 an der Spitze entlang derselben langen Seite und an der Seite nahe dem Rückseitenspiegel RM angeordnet. Ferner ist ein Pumplichtkopplungselement **22** in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS3 in einer derartigen Weise angeordnet, dass Pumplicht in eine Richtung eintritt, die mit der langen Seite übereinstimmt. Außerdem ist in der Anordnung der optischen Elemente der Strahlteiler BS3 an der unteren linken Spitze der rechteckigen Form angeordnet, die lang ist in der Längsrichtung, ein erster Reflektionsspiegel M13 ist angeordnet an der unteren rechten Spitze, ein zweiter Reflektionsspiegel M23 ist an der oberen rechten Spitze angeordnet und ein dritter Reflektionsspiegel M33 ist an der oberen linken Spitze angeordnet. Außerdem sind der erste, der zweite und der dritte Reflektionsspiegel M13 bis M33 in einer derartigen Position gesichert, dass sie in einer Richtung geneigt sind, um so jede Spitze abzuschrägen, das heißt, in einer Richtung, dass der Innenwinkel 135° relativ zu jeder Seite beträgt, um das eintretende Licht in einem rechten Winkel zu reflektieren. Indessen ist der Strahlteiler BS3 gesichert in einem Winkel von 45° derart, dass er den Innenwinkel der rechteckigen Form in zwei gleiche Winkel teilt, um das eintretende Licht in Transmissionslicht, das gerade läuft, und Reflektionslicht, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, in derselben Weise wie in [Fig. 3](#), und dergleichen zu teilen. Pumplicht tritt ein durch das Pumplichtkopplungselement **22**, das auf der unteren Seite des Strahlteilers BS3 (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 5](#)) angeordnet ist, in derselben Weise wie in [Fig. 4](#), derart, dass Pumplicht in Transmissionslicht, das gerade läuft und eine erste Pumpkomponente R1 ist, und Reflektionslicht, das in die horizontale Richtung reflektiert wird (in Richtung der Rechten in [Fig. 5](#)) und das eine zweite Pumpkomponente R2 ist, geteilt. Die erste Pumpkomponente R1, die Transmissionslicht ist, wird durch eine erste Kondensorlinse **61** kondensiert und tritt in einen Rückseitenspiegel RM ein. In die-

sem Beispiel ist ein erster geteilter Weg B1 in linearer Form geformt.

[0074] Indessen wird die zweite Pumpkomponente R2, die vom Strahlteiler BS3 in der horizontalen Richtung (in Richtung der Rechten in [Fig. 5](#)) reflektiert wird, vom ersten Reflektionsspiegel M13 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in einer senkrechten Richtung (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 5](#)) geneigt ist. Reflektionslicht läuft parallel zu Licht, das durch den Strahlteiler BS3 übertragen wird, und wird reflektiert vom zweiten Reflektionsspiegel M23, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der horizontalen Richtung (zur Rechten in [Fig. 5](#)) geneigt ist. Außerdem wird das Licht vom dritten Reflektionsspiegel M33 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der senkrechten Richtung (in der Abwärtsrichtung in [Fig. 5](#)) geneigt ist. Dieses Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponente R2 wird durch eine zweite Kondensorlinse **62** kondensiert und tritt in den Emissionsseitenspiegel FM ein. Wie oben beschrieben, ist ein zweiter geteilter Weg B2 in einer C-Form geformt. Auf diese Weise begegnen die erste Pumpkomponente R1, die durch den Strahlteiler BS3 übertragen wird, und Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponente R2, das von dem dritten Reflektionsspiegel M33 reflektiert wird, einander entlang derselben Achse derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw. den Emissionsseitenspiegel FM eintreten, und der Laser oszilliert.

(Ausführungsform 4)

[0075] [Fig. 6](#) zeigt ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente des festen Laseroszillators gemäß Ausführungsform 4 als ein noch anderes Beispiel des Layouts. In einem Laserresonanzabschnitt **204**, der auch in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium **21**, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM auf einer langen Seite des geteilten Weges, der in rechteckiger Form geformt ist (linke Seite in [Fig. 6](#)), angeordnet. Hier ist ein Strahlteiler BS4 an der Spitze entlang derselben langen Seite und an der Seite in der Nähe des Rückseitenspiegels RM angeordnet. Ferner ist ein Pumplichtkopplungselement **22** in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS4 derart angeordnet, dass Pumplicht in eine Richtung senkrecht zur langen Seite (von der linken Seite der Spitze in [Fig. 6](#)) eintritt. Außerdem ist in der Anordnung der optischen Elemente, in derselben Weise wie in [Fig. 5](#), der Strahlteiler BS4 an der unteren linken Spitze der rechteckigen Form angeordnet, die lang ist in der Längsrichtung, ein erster Reflektionsspiegel M14 ist angeordnet an der unteren rechten Spitze, ein zweiter Reflektionsspiegel M24 ist angeordnet an der

oberen rechten Spitze und ein dritter Reflektionsspiegel M34 ist angeordnet an der oberen linken Spitze. Außerdem sind der erste, der zweite und der dritte Reflektionsspiegel M14 bis M34 in einer derartigen Position gesichert, dass sie in einer derartigen Richtung geneigt sind, um so jede Spitze abzuschragen, das heißt, in einer derartigen Richtung, dass der Innenwinkel 135° relativ zu jeder Seite beträgt, derart, dass das eintretende Licht in einem rechten Winkel reflektiert wird. Indessen ist der Strahlteiler BS4 in einem Winkel von 45° derart gesichert, dass der Innenwinkel der rechteckigen Form in zwei gleiche Winkel geteilt wird, um das eintretende Licht in Transmissionslicht, das gerade läuft, und Reflektionslicht, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, zu teilen, in derselben Weise wie in [Fig. 3](#). In derselben Weise wie in [Fig. 5](#) tritt Pumplicht durch das Pumplichtkopplungselement **22** ein, das auf der linken Seite des Strahlteilers BS4 angeordnet ist, in Richtung der Rechten in [Fig. 6](#), und Pumplicht wird geteilt in Transmissionslicht, das gerade läuft, und das eine zweite Pumpkomponente R2 ist, und Reflektionslicht, das in der senkrechten Richtung (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 6](#)) reflektiert wird, und das die zweite Pumpkomponente R2 ist. Eine erste Pumpkomponente R1, die Reflektionslicht ist, wird durch eine erste Kondensorlinse **61** kondensiert und tritt in den Rückseitenspiegel RM ein. Auch in diesem Beispiel ist der erste geteilte Weg B1 in linearer Form geformt.

[0076] Indessen wird die zweite Pumpkomponente R2, die durch den Strahlteiler BS4 übertragen wird und gerade in Richtung der Rechten in [Fig. 6](#) läuft, vom ersten Reflektionsspiegel M14, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht geneigt ist, in derselben Weise wie in [Fig. 5](#), in die senkrechte Richtung (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 6](#)) reflektiert. Das Reflektionslicht läuft parallel zu dem Licht, das vom Strahlteiler BS4 reflektiert wird, und wird reflektiert vom zweiten Reflektionsspiegel M24, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der horizontalen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 6](#)) geneigt ist. Außerdem wird das Licht reflektiert vom dritten Reflektionsspiegel M34, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in einer senkrechten Richtung geneigt ist (in der Abwärtsrichtung in [Fig. 6](#)). Das Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponente R2 wird durch eine zweite Kondensorlinse **62** kondensiert und tritt in den Emissionsseitenspiegel FM ein. Wie oben beschrieben, ist ein zweiter geteilter Weg B2 in einer C-Form geformt. Auf diese Weise begegnen die erste Pumpkomponenten R1, die vom Strahlteiler BS4 reflektiert wird, und Reflektionslicht der zweiten Pumpkomponente R2, die von dem dritten Reflektionsspiegel M34 reflektiert wird, einander entlang derselben Achse derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw.

den Emissionsseitenspiegel FM eintreten, und der Laser oszilliert.

(Ausführungsform 5)

[0077] Außerdem zeigt [Fig. 7](#) ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente des festen Laseroszillators gemäß Ausführungsform 5 als ein anderes Beispiel des Layouts. In einem Laserresonanzabschnitt **205**, der auch in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium **21**, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM entlang einer langen Seite des geteilten Weges, der in rechteckiger Form geformt ist (linke Seite in [Fig. 7](#)), angeordnet. Hier ist ein Strahlteiler BS5 an der Spitze entlang derselben langen Seite angeordnet, auf der Seite nahe dem Emissionsseitenspiegels FM. Ein Pumplichtkopplungselement **22**, das in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS5 angeordnet ist, ist auf eine derartige Weise angeordnet, dass Pumplicht in die Richtung senkrecht zur langen Seite (linke Seite der Spitze in [Fig. 7](#)) eintritt. Außerdem ist in der Anordnung der optischen Elemente der Strahlteiler BS5 angeordnet an der oberen linken Spitze der rechteckigen Form, die lang ist in der Längsrichtung, ein erster Reflektionsspiegel M15 ist angeordnet an der oberen rechten Spitze, ein zweiter Reflektionsspiegel M25 ist angeordnet an der unteren rechten Spitze und ein dritter Reflektionsspiegel M35 ist angeordnet an der unteren linken Spitze. Außerdem sind der erste, der zweite und der dritte Reflektionsspiegel M15 bis M35 in einer derartigen Position gesichert, dass sie in einer derartigen Richtung geneigt sind, dass sie jede Spitze abschragen, das heißt, in einer derartigen Richtung, dass der Innenwinkel 135° relativ zu jeder Seite beträgt. Indessen ist der Strahlteiler BS5 in einem Winkel von 45° derart gesichert, dass der Innenwinkel der rechteckigen Form in zwei gleiche Winkel geteilt wird, um das eintretende Licht in Transmissionslicht, das gerade läuft, und Reflektionslicht, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, in derselben Weise wie in [Fig. 3](#) zu teilen. Hier tritt Pumplicht durch ein Pumplichtkopplungselement **22**, das angeordnet ist auf der linken Seite des Strahlteilers BS5, in Richtung der Rechten in [Fig. 7](#) ein, und Pumplicht wird geteilt in Transmissionslicht, das gerade läuft, und das eine erste Pumplichtkomponente R1 ist, und Reflektionslicht, das in einer senkrechten Richtung (in der Abwärtsrichtung in [Fig. 7](#)) reflektiert wird, und das eine zweite Pumpkomponente R2 ist. Die zweite Pumpkomponente R2, die Reflektionslicht ist, wird durch eine zweite Kondensorlinse **62** kondensiert und tritt in den Emissionsseitenspiegel FM ein. In diesem Beispiel ist ein zweiter geteilter Weg B2 in linearer Form geformt.

[0078] Indessen wird die erste Pumpkomponente R1, die durch den Strahlteiler BS5 übertragen wird und in Richtung der Rechten in [Fig. 7](#) gerade läuft, vom ersten Reflektionsspiegel M15 reflektiert, der in

einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der senkrechten Richtung (in Abwärtsrichtung in [Fig. 7](#)) geneigt ist. Das Reflektionslicht läuft parallel zu dem Licht, das vom Strahlteiler BS5 reflektiert wird, und wird reflektiert vom zweiten Reflektionsspiegel M25, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der seitlichen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 7](#)) geneigt ist. Außerdem wird das Licht reflektiert vom dritten Reflektionsspiegel M35, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der senkrechten Richtung (in der Abwärtsrichtung in [Fig. 7](#)) geneigt ist. Dieses Licht, das von einer ersten Pumpkomponente R1 reflektiert wird, wird kondensiert durch eine erste Kondensorlinse 61 und tritt in den Rückseitenspiegel RM ein. Wie oben beschrieben, ist der erste geteilte Weg B1 in einer C-Form geformt. Auf diese Weise begegnen die zweite Pumpkomponenten R2, die vom Strahlteiler BS5 reflektiert wird, und Reflektionslicht von der ersten Pumpkomponente R1, die vom dritten Reflektionsspiegel M35 reflektiert wird, einander entlang derselben Achse derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw. den Emissionsseitenspiegel FM eintreten, und der Laser oszilliert.

(Ausführungsform 6)

[0079] Außerdem zeigt [Fig. 8](#) ein Beispiel der Anordnung der optischen Elemente des festen Laseroszillators gemäß Ausführungsform 6 als ein anderes Beispiel des Layouts. In einem Laserresonanzabschnitt 206, der auch in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium 21, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM entlang einer langen Seite des geteilten Weges, der in rechteckiger Form geformt ist (zur Linken in [Fig. 8](#)), angeordnet. Hier ist der Strahlteiler BS6 an der Spitze entlang derselben langen Seite und an der Seite in der Nähe des Emissionsseitenspiegels FM angeordnet. Ferner ist ein Pumplichtkopplungselement 22 in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS6 derart angeordnet, dass Pumplicht in eine Richtung eintritt, die mit der langen Seite übereinstimmt (obere Seite der Spitze in [Fig. 8](#)). Außerdem ist in der Anordnung der optischen Elemente der Strahlteiler BS6 an der oberen linken Spitze der rechteckigen Form, die lang ist in der Längsrichtung, angeordnet, ein erster Reflektionsspiegel M16 ist angeordnet an der oberen rechten Spitze, ein zweiter Reflektionsspiegel M26 ist angeordnet an der unteren rechten Spitze und ein dritter Reflektionsspiegel M36 ist angeordnet an der unteren linken Spitze, auf dieselbe Weise wie in [Fig. 7](#). Außerdem sind der erste, der zweite und der dritte Reflektionsspiegel M16 bis M36 in einer derartigen Position gesichert, dass sie in einer derartigen Richtung geneigt sind, um so jede Spitze abzuschragen, das heißt, in einer derartigen Richtung, dass der In-

nenwinkel 135° relativ zu jeder Seite beträgt, um das eintretende Licht in einem rechten Winkel zu reflektieren. Indessen ist der Strahlteiler BS6 in einem Winkel von 45° derart gesichert, dass der Innenwinkel der rechteckigen Form geteilt ist in zwei gleiche Winkel, um das eintretende Licht in Transmissionslicht, das gerade läuft, und Reflektionslicht, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, in derselben Weise wie in [Fig. 3](#) zu teilen. Hier tritt Pumplicht durch ein Pumplichtkopplungselement 22 ein, das auf der oberen Seite des Strahlteilers BS6 in der Abwärtsrichtung in [Fig. 8](#) angeordnet ist, und Pumplicht wird geteilt in Transmissionslicht, das gerade läuft, und das eine zweite Pumpkomponente R2 ist, und Reflektionslicht, das in der horizontalen Richtung (zur Rechten in [Fig. 8](#)) reflektiert wird und das eine erste Pumpkomponente R1 ist. Die zweite Pumpkomponente R2, die Transmissionslicht ist, wird durch eine zweite Kondensorlinse 62 kondensiert und tritt in einen Emissionsseitenspiegel FM ein. Auch in diesem Beispiel ist der zweite geteilte Weg B2 in linearer Form geformt.

[0080] Indessen wird die erste Pumpkomponente R1, die vom Strahlteiler BS6 reflektiert wird und gerade in Richtung der Rechten in [Fig. 8](#) läuft, vom ersten Reflektionsspiegel M16 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht geneigt ist, in derselben Weise wie in [Fig. 7](#), in der senkrechten Richtung (in der Abwärtsrichtung in [Fig. 8](#)). Das Reflektionslicht läuft parallel zu Licht, das durch den Strahlteiler BS6 übertragen wird, und wird reflektiert vom zweiten Reflektionsspiegel M26, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der horizontalen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 8](#)) geneigt ist. Außerdem wird das Licht reflektiert vom dritten Reflektionsspiegel M36, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in einer senkrechten Richtung (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 8](#)) geneigt ist. Dieses Reflektionslicht der ersten Pumpkomponente R1 wird durch eine erste Kondensorlinse 61 kondensiert und tritt durch einen Rückseitenspiegel RM ein. Wie oben beschrieben, ist ein erster geteilter Weg B1 in einer umgekehrten C-Form geformt. Auf diese Weise begegnen die zweite Pumpkomponente R2, die durch den Strahlteiler BS6 übertragen wird, und Reflektionslicht von der ersten Pumpkomponente R1, das vom dritten Reflektionsspiegel M36 reflektiert wird, einander entlang derselben Achse derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw. den Emissionsseitenspiegel FM eintreten, und der Laser oszilliert.

(Ausführungsform 7)

[0081] Außerdem zeigt [Fig. 9](#) ein Beispiel der Anordnung von optischen Elementen des festen Lase-

roszillators gemäß Ausführungsform 7 als ein anderes Beispiel des Layouts. In einem Laserresonanzabschnitt **207**, der auch in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium **21**, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM entlang einer langen Seite des geteilten Weges, der in rechteckiger Form geformt ist (linke Seite in [Fig. 9](#)), angeordnet. Hier ist ein Strahlteiler BS7 an der Spitze entlang der anderen langen Seite (rechte Seite in [Fig. 9](#)) auf der Seite nahe dem Emissionsseitenspiegel FM angeordnet. Ferner ist ein Pumplichtkopplungselement **22** in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS7 derart angeordnet, dass Pumplicht in eine Richtung eintritt, die mit dieser langen Seite übereinstimmt (obere Seite der Spitze in [Fig. 9](#)). Außerdem ist in der Anordnung der optischen Elemente der Strahlteiler BS7 an der oberen rechten Spitze der rechteckigen Form angeordnet, die längs ist in der Längsrichtung, ein erster Reflektionsspiegel M17 ist angeordnet an der unteren rechten Spitze, ein zweiter Reflektionsspiegel M27 ist angeordnet an der unteren linken Spitze und ein dritter Reflektionsspiegel M37 ist angeordnet an der oberen linken Spitze. Außerdem sind der erste, der zweite und der dritte Reflektionsspiegel M17 bis M37 in einer derartigen Position gesichert, dass sie in einer derartigen Richtung geneigt sind, um so jede Spitze abzuschrägen, das heißt, in einer derartigen Richtung, dass der Innenwinkel 135° relativ zu jeder Seite beträgt, um das eintretende Licht in einem rechten Winkel zu reflektieren. Indessen ist der Strahlteiler BS7 in einem Winkel von 45° derart gesichert, dass der Innenwinkel der rechteckigen Form geteilt wird in zwei gleiche Winkel, um das eintretende Licht in Transmissionslicht, das gerade läuft, und Reflektionslicht, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, auf dieselbe Weise wie in [Fig. 3](#) geteilt wird, und dergleichen. Hier tritt Pumplicht durch ein Pumplichtkopplungselement **22**, das auf der oberen Seite des Strahlteilers BS7 in der Abwärtsrichtung in [Fig. 9](#) angeordnet ist, ein, und das Pumplicht wird geteilt in Transmissionslicht, das gerade läuft und das eine erste Pumpkomponente R1 ist, und Reflektionslicht, das in der horizontalen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 9](#)) reflektiert wird und das eine zweite Pumpkomponente R2 ist. Der dritte Reflektionsspiegel M37 ist auf der linken Seite des Strahlteilers BS7 in einer derartigen Weise gesichert, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht geneigt ist, und reflektiert eine zweite Pumpkomponente R2 in der Abwärtsrichtung. Dieses Reflektionslicht wird kondensiert durch eine zweite Kondensorlinse **62** und tritt in den Emissionsseitenspiegel FM ein. Wie oben beschrieben, ist der zweite geteilte Weg B2 in einer umgekehrten L-Form geformt.

[0082] Indessen wird die erste Pumpkomponente R1, die durch den Strahlteiler BS7 übertragen wird und in die Abwärtsrichtung in [Fig. 9](#) gerade läuft, vom ersten Reflektionsspiegel M17 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° rela-

tiv zum eintretenden Licht in der horizontalen Richtung (in Richtung der Linken in [Fig. 9](#)) geneigt ist. Das Reflektionslicht läuft parallel zu Licht, das vom Strahlteiler BS7 reflektiert wird, und wird reflektiert vom zweiten Reflektionsspiegel M27, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der senkrechten Richtung (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 9](#)) geneigt ist. Dieses Reflektionslicht der ersten Pumpkomponente R1 wird kondensiert durch eine erste Kondensorlinse **61** und tritt in den Rückseitenspiegel RM ein. Wie oben beschrieben, ist der erste geteilte Weg B1 in einer U-Form geformt. Auf diese Weise begegnen die zweite Pumpkomponente R2, die vom dritten Reflektionsspiegel M37 reflektiert wird, und Reflektionslicht von der ersten Pumpkomponente R1, die vom zweiten Reflektionsspiegel M27 reflektiert wird, einander auf derselben Achse derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw. den Emissionsseitenspiegel FM eintreten, und der Laser oszilliert.

(Ausführungsform 8)

[0083] Außerdem zeigt [Fig. 10](#) ein Beispiel der Anordnung von optischen Elementen des festen Laserresonators gemäß Ausführungsform 8 als ein Beispiel eines anderen Layouts. In einem Laserresonanzabschnitt **208**, der auch in dieser Figur gezeigt ist, sind ein festes Lasermedium **21**, ein Rückseitenspiegel RM und ein Emissionsseitenspiegel FM entlang einer langen Seite des geteilten Weges, der in rechteckiger Form geformt ist, angeordnet (auf der linken Seite in [Fig. 10](#)). Hier ist ein Strahlteiler BS8 an der Spitze entlang der anderen langen Seite (auf der rechten Seite in [Fig. 10](#)) angeordnet, und auf der Seite nahe dem Emissionsseitenspiegel FM. Ferner ist ein Pumplichtkopplungselement **22** in naher Nachbarschaft zum Strahlteiler BS8 derart angeordnet, dass Pumplicht in die Richtung senkrecht zur langen Seite (auf der rechten Seite der Spitze in [Fig. 10](#)) eintritt. Außerdem ist in der Anordnung der optischen Elemente der Strahlteiler BS8 an der oberen rechten Spitze der rechteckigen Form angeordnet, die lang ist in der Längsrichtung, ein erster Reflektionsspiegel M18 ist an der unteren rechten Spitze angeordnet, ein zweiter Reflektionsspiegel M28 ist an der unteren linken Spitze angeordnet und ein dritter Reflektionsspiegel M38 ist an der oberen linken Spitze angeordnet, in derselben Weise wie in [Fig. 9](#). Außerdem sind der erste, der zweite und der dritte Reflektionsspiegel M18 bis M38 in einer derartigen Position gesichert, dass sie in einer derartigen Richtung geneigt sind, um so jede Spitze abzuschrägen, das heißt, in einer derartigen Richtung, dass der Innenwinkel 135° relativ zu jeder Seite beträgt, um das eintretende Licht in einem rechten Winkel zu reflektieren. Indessen ist der Strahlteiler BS8 in einem rechten Winkel von 45° derart gesichert, dass der Innenwinkel der rechtecki-

gen Form in zwei gleiche Winkel geteilt wird, um das eintretende Licht in Transmissionslicht, das gerade läuft, und Reflektionslicht, das in einem rechten Winkel reflektiert wird, zu teilen, auf dieselbe Weise wie in [Fig. 3](#). Hier tritt Pumplicht durch das Pumplichtkopplungselement **22** ein, das auf der rechten Seite des Strahlteilers BS8 angeordnet ist, in Richtung der Linken in [Fig. 10](#), und das Pumplicht wird geteilt in Transmissionslicht, das gerade läuft, und das eine zweite Pumpkomponente R2 ist, und Reflektionslicht, das in der senkrechten Richtung (in der Abwärtsrichtung in [Fig. 10](#)) reflektiert wird und das eine erste Pumpkomponente R1 ist, geteilt. Der dritte Reflektionsspiegel M38 ist gesichert auf der linken Seite des Strahlteilers BS8 in einer derartigen Weise, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht geneigt ist, und reflektiert die zweite Pumpkomponente R2, die durch das Medium transmittiert wird, in die Abwärtsrichtung. Dieses Reflektionslicht wird kondensiert durch eine zweite Kondensorlinse **62** und tritt in den Emissionsseitenspiegel FM ein. Wie oben beschrieben, ist der zweite geteilte Weg B2 in einer umgekehrten L-Form geformt.

[0084] Indessen wird die erste Pumpkomponente R1, die vom Strahlteiler BS8 reflektiert wird und abwärts in [Fig. 10](#) läuft, vom ersten Reflektionsspiegel M18 reflektiert, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der horizontalen Richtung geneigt ist (in Richtung der Linken in [Fig. 10](#)). Das Reflektionslicht läuft parallel zu Licht, das durch den Strahlteiler BS8 übertragen wird, und wird reflektiert von dem zweiten Reflektionsspiegel M28, der in einer derartigen Position gesichert ist, dass er um 45° relativ zum eintretenden Licht in der senkrechten Richtung (in der Aufwärtsrichtung in [Fig. 10](#)) geneigt ist. Dieses Reflektionslicht einer ersten Pumpkomponente R1 wird kondensiert durch eine erste Kondensorlinse **61** und tritt in einen Rückseitenspiegel RM ein. Wie oben beschrieben, ist der erste geteilte Weg B1 in einer U-Form geformt. Auf diese Weise begegnen die zweite Pumpkomponente R2, die vom dritten Reflektionsspiegel M38 reflektiert wird, und das Reflektionslicht der ersten Pumpkomponente R1, das von dem zweiten Reflektionsspiegel M28 reflektiert wird, einander entlang derselben Achse derart, dass die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 in den Rückseitenspiegel RM bzw. den Emissionsseitenspiegel FM eintreten, und der Laser oszilliert.

[0085] Wie oben beschrieben, ist der geteilte Weg des Pumplichts in einer rechteckigen Form geformt, und daher kann die Anordnung des festen Lasermediums **21** und einer Pumplichtquelle **11**, um zu ermöglichen, dass Pumplicht in das feste Lasermedium eintritt, vereinfacht werden. Modifikationen dieses Anordnungsmusters sind kollektiv gezeigt im schematischen Diagramm der [Fig. 11](#). In dieser Figur entsprechen die Nummern in Klammern den Nummern,

die in den Ausführungsformen verwendet wurden. Daher ist der geteilte Weg B, der eine Kombination des ersten geteilten Weges und des zweiten geteilten Weges ist, in einer rechteckigen Form in einer derartigen Weise geformt, dass ein festes Lasermedium **21** entlang der Achse einer Seite der rechteckigen Form (hier, der langen Seite) angeordnet ist, und außerdem tritt Pumplicht in eine der Spitzen der rechteckigen Form entlang einer der Seiten ein. Deshalb kann die Position der Pumplichtquelle **11** in der Anordnung leicht geändert werden, wenn der geteilte Weg B in einer rechteckigen Form beibehalten wird. Auf diese Weise kann der Entwurf im Hinblick auf das Layout leicht geändert werden, und zweidirektionales Pumpen kann erreicht werden in einer extrem einfachen und kompakten Konfiguration.

[0086] Es ist erwünscht, dass das feste Lasermedium **21** entlang einer der langen Seiten der rechteckigen Form angeordnet ist, wie in [Fig. 11](#) gezeigt. Die Seite, entlang derer das feste Lasermedium **21** angeordnet ist, benötigt eine bestimmte Länge, entlang der der Rückseitenspiegel RM, der Emissionsseitenspiegel FM und dergleichen angeordnet werden muss, zusätzlich zu einem festen Lasermedium **32**, aber es ist nicht notwendig, diese an den kurzen Seiten anzuordnen, und deshalb kann dieser Abschnitt kurz ausgebildet werden derart, dass die rechteckige Form des geteilten Weges kompakt gemacht und eine Miniaturisierung des Laserresonators erreicht werden kann. Hier ermöglichen einige Layouts für den Laserresonator eine Anordnung auf der kurzen Seite, wie in [Fig. 12](#) gezeigt ist. Ferner ist der geteilte Weg nicht begrenzt drauf, eine rechteckige Form zu haben, und kann in einer quadratischen Form geformt sein, wie in [Fig. 13](#) gezeigt ist. Als eine Folge kann das feste Lasermedium **21** entlang beliebiger Seiten angeordnet werden, und deshalb kann die Freiheit im Hinblick auf das Layout weiter vergrößert werden. Das heißt, eine geeignete Anordnung kann bereitgestellt werden für die jeweiligen optischen Elemente gemäß den Erfordernissen im Hinblick auf den physikalischen Raum und das Layout und so kann eine effiziente Anordnung eingestellt werden.

[0087] Hier, wie unten beschrieben und unter Berücksichtigung, dass eine große Menge einer geteilten Komponente des Pumplichts in die rückseitige Flächenseite des festen Lasermediums **21** eintreten kann, kann gesagt werden, dass die Ausführungsform 3, die Ausführungsform 4 und die Ausführungsformen 1 und 2, bei denen die Anzahlen einer Reaktion zwischen Reflektionsspiegeln klein ist mit geringem Verlust, bevorzugt sind. Insbesondere kann man der ersten geteilten Komponente, die in die rückseitige Flächenseite eintritt, ermöglichen, durch die erste Endfläche einzutreten, ohne reflektiert zu werden in der Ausführungsform 3, was daher vom Gesichtspunkt einer Reduktion im Verlust vorzuziehen ist. Hier können dieselben Effekte natürlich in den anderen

Ausführungsformen erreicht werden durch Einstellen des Teilungsverhältnisses unter Verwenden des Strahlteilers. Das System kann entworfen werden unter Berücksichtigung eines Verlustes durch die Reflektionsspiegel durch Einstellen des Strahlteilers, und daher wird eine freie Anordnung möglich ohne jegliche Beschränkungen im Hinblick auf das Layout.

(Festes Lasermedium **21**)

[0088] Das feste Lasermedium **21** ist ein Kristall, der sich einer Richtung erstreckt und zwei Endflächen in der Längsrichtung besitzt. Hier sind die Endflächen eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und eine zweite Endfläche, die sich auf der Seite entgegengesetzt zur ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und Pumplicht emittiert wird. Im Beispiel der [Fig. 3](#) ist die zweite Endfläche als Emissionsfläche bezeichnet und die erste Endfläche ist als rückseitige Fläche (Eintrittsfläche) bezeichnet. Ferner liegt die Emissionsfläche und die rückseitige Fläche dem Emissionsseitenspiegel FM bzw. dem Rückseitenspiegel RM gegenüber. Außerdem wird Pumplicht in eine erste Pumpkomponente R1 und eine zweite Pumpkomponente R2 durch den Strahlteiler BS geteilt, und die erste Pumpkomponente R1 und die zweite Pumpkomponente R2 treten in die Seite der rückseitigen Fläche bzw. die Seite der Emissionsfläche ein.

[0089] Im oben beschriebenen Beispiel wird ein Nd:YVO₄-Kristall in Stabform als das feste Lasermedium **21** verwendet. Ferner ist die Wellenlänge des Halbleiterlasers zum Anregen des festen Lasermediums **21** in der Nähe von 808 nm eingestellt, welche die zentrale Wellenlänge des Absorptionsspektrums des Nd:YVO₄ ist. Hier sind YAG, LiSrF, LiCaF, YLF, NAB, KNP, LNP, NYAB, NPP, GGG und dergleichen, die zum Beispiel mit einem Seltenerdelement dotiert sind, Beispiele der festen Lasermedien **21**, die in anderen Beispielen verwendet werden können. Außerdem kann ein Wellenlängenumwandlungselement kombiniert werden mit dem festen Lasermedium **21** derart, dass die Wellenlänge des ausgegebenen Laserstrahls in eine beliebige Wellenlänge umgewandelt werden kann. Als das Wellenlängenumwandlungselement können KTP(KTiPO₄), organische nichtlineare optische Materialien und andere anorganische nichtlineare optische Materialien, wie KN(KNbO₃), KAP(KAsPO₄), BBO, LBO und Polarisationsumkehr Elemente des Volumentyps (LiNbO₃ (Periodically Polled Lithium Niobate: PPLN), LiTaO₃) verwendet werden. Ein Halbleiterlaser für eine Pumplichtquelle für einen Laser, der aufgrund einer Aufwärtsumwandlung Fluoridfasern dotiert mit einem Seltenerdelement verwendet, wie Ho, Er, Tm, Sm oder Nd, kann auch verwendet werden. Wie oben beschrieben, können geeignete Laser erzeugende Quellen verschiedener Typen in den vorliegenden

Ausführungsformen verwendet werden.

(Nd-Konzentration)

[0090] Der Kristall des festen Lasermediums **21** in Stabform kann entweder in Säulenform oder in Prismenform zur Verwendung vorliegen. Hier wird ein Nd:YVO₄-Kristall in rechteckiger Parallelepipedform mit Endflächen von 3 mm (H) × 3 mm (W) und einer Länge (L) von 15 mm als der Kristall des festen Lasermediums **21** in Prismenform verwendet. Außerdem ist es bevorzugt, dass die Konzentration des Nd 1% oder weniger beträgt.

[0091] Im Allgemeinen wird, je höher die Konzentration von Nd ist, desto besser der Laserstrahl absorbiert. Jedoch wird in dem Fall, in dem die Konzentration zu hoch ist, Pumplicht nicht in tiefe Abschnitte des Kristalls vordringen, und nur ein kleiner Bereich nahe der Oberfläche neigt dazu angeregt zu werden. Insbesondere besitzt ein Nd:YVO₄-Kristall einen geringen Koeffizienten der thermischen Leitfähigkeit, und deshalb gibt es ein Risiko, dass eine thermische Linse erzeugt werden kann und der Kristall brechen kann in dem Fall, in dem die LD-Einheit eine hohe Ausgabe besitzt. Ferner ist ein YVO₄-Kristall ein uniaxialer Kristall mit derartigen Eigenschaften, dass eine ausgezeichnete Spaltungsneigung gegeben ist und deshalb ist er einfach entlang der C-Achse zu brechen. Daher wird, wenn ein Kristall mit einer hohen Konzentration verwendet wird, eine starke thermische Linse einfach erzeugt und der Betrieb des Resonators wird instabil, und so verringert sich die Qualität des Strahles, und zur selben Zeit gibt es ein Risiko, dass der Kristall brechen kann, wenn Pumplicht plötzlich eintritt. Insbesondere ist ein YVO₄-Kristall ein uniaxialer Kristall mit derartigen Eigenschaften, dass eine ausgezeichnete Spaltungsneigung gegeben ist, und deshalb ist er leicht entlang der C-Achse zu brechen. Um dies zu verhindern, ist es effektiv, die Konzentration des Nd zu verringern.

[0092] Obwohl die gesamte Menge der Absorption im Kristall ansteigt, wenn die Konzentration von Nd verringert wird, verringert sich die Übereinstimmung zwischen der Laserstrahlmode und dem absorbierenden Abschnitt, und deshalb kann der Zustand es nicht ermöglichen, dass Pumplicht effektiv verwendet wird, und daher wird der Wirkungsgrad der Absorption verringert. Ferner taucht in dem Fall, in dem ein Kristall mit einer geringen Konzentration verwendet wird, ein Problem derart auf, dass der Kristall empfindlich wird für die Wellenlänge des LD, welche die Pumplichtquelle **11** ist, und daher kann eine stabile Wellenlänge erhalten werden. Demgemäß ist es notwendig, die Konzentration des Nd auf eine geeignete Konzentration einzustellen, unter Berücksichtigung des obigen.

[0093] [Fig. 14](#) ist ein Graph, der die Änderung in

dem Wirkungsgrad der Absorption für die Wellenlänge des Pumplichts im Nd:YVO₄-Kristall zeigt. Hier wurde das Verhältnis der Lichtabsorption für das gesamte Pumplicht für eine Anzahl von Kristallen verglichen, wobei die Länge des Kristalls und die Konzentration von Nd in Nd:YVO₄-Kristall in Parallelepipedform mit Endflächen von 3 mm × 3 mm variierte. Konkret wurde die Messung ausgeführt für die entsprechenden Beispiele, wobei die Konzentration von Nd in dem Fall, in dem die Länge des Kristalls 15 mm betrug, 0,10%, 0,20%, 0,27%, 0,30% und 0,40% betrug, und die Länge des Kristalls wurde geändert wurde auf 10 mm in dem Fall, in dem die Konzentration von Nd 0,27% betrug. Wie in dieser Figur gezeigt ist, war im Allgemeinen je höher die Konzentration von Nd war, umso höher der Wirkungsgrad der Absorption des Laserstrahls. Ferner trat die Spitze im Wirkungsgrad der Absorption in der Nähe der Wellenlänge des Pumplichts von 808 nm bis 809 nm in allen Fällen auf. Hier wurde, wenn die Konzentration des Nd zu hoch war, der Kristall instabil und brach aufgrund von Wärme. Deshalb beträgt im festen Lasermedium **21** die Konzentration des Nd 1% oder weniger, bevorzugt in einem Bereich von 0,1% bis 0,4%. Hier gab es eine Inkonsistenz von annähernd $\pm 0,03\%$ bis 0,05% in der Konzentration des Nd im aktuellen hergestellten Kristall des festen Lasermediums **21**, und deshalb ist die Konzentration des Nd auf annähernd 0,22% bis 0,32% eingestellt, unter Berücksichtigung dieser Betrachtung. Der Wirkungsgrad der Absorption kann aufrechterhalten werden mit einer guten Ausgewogenheit, wenn die Konzentration des Nd sich in der Nähe von 0,27% befindet, was am meisten bevorzugt ist. Außerdem wurde eine Tendenz des Wirkungsgrads der Absorption beobachtet, sich zu verringern, wenn die Länge des Kristalls (L) kurz war, und deshalb sollte die Länge des Kristalls eingestellt sein auf annähernd 10 mm bis 20 mm, bevorzugt 13 mm bis 17 mm und bevorzugter wird ein Kristall mit einer Länge in der Nähe von 15 mm verwendet.

[0094] Hier reicht es, dass der Querschnitt des Kristalls des festen Lasermediums **21** größer ist als der Durchmesser des Spots des Pumplichts, und die Form des Kristalls ist nicht begrenzt auf eine rechteckige Parallelepipedform, und eine Säulenform und andere geeignete Formen können verwendet werden. In dem Fall, in dem der Durchmesser des Pumplichts ϕ beispielsweise 1 mm beträgt, kann eine Säulenform derselben Größe verwendet werden. Hier tritt in dem Fall, in dem der Kristall des festen Lasermediums **21** schmal ist, ein Problem derart auf, dass der Kristall leicht bricht, und zusätzlich ist es vorteilhaft, dass die Fläche der Endflächen des Kristalls und die Form des Kristalls konstant sind, unter Berücksichtigung der Einfachheit der Handhabung des Kristalls zum Zeitpunkt des Einbaus, und deshalb sind die Endflächen des Kristalls 3 mm × 3 mm, wobei der Kristall in rechteckiger Parallelepipedform vorliegt.

[0095] Ferner können die Effekte der thermischen Linse verringert werden durch Beschichten der Seiten des Nd:YVO₄-Kristalls mit Gold, falls nötig, derart, dass die Schwingungs-Mode des festen Lasermediums **21** gestärkt wird.

(Zweidirektionales Pumpsystem)

[0096] In der Laserbearbeitungsvorrichtung, in der das feste Lasermedium **21** angeregt wird, werden 30% bis 40% des Pumpens zu Wärme und gehen verloren aufgrund der Beschränkungen der Quanteneffizienz. Deshalb ist es nötig, verschiedene Probleme mit Wärme zu lösen, wie beispielsweise thermische Doppelbrechung, thermische Linse und thermische komplexe Linse, welche Oberfläche aufgrund von intensiven Pumpen, und eine Zerstörung aufgrund von Wärme, um eine begrenzende Leistungsfähigkeit zu erhalten. Insbesondere induziert beim LD-Pumpen der Bearbeitungsvorrichtung mit einem Festkörperlaser die Wärme, die als eine Folge dessen, dass das Pumplicht durch das feste Lasermedium **21** absorbiert wird, emittiert wird, einen Linseneffekt im Kristall selber, um so eine thermische Linse zu erzeugen. Die thermische Linse verhindert stark die Stabilität des Laserresonators und wird zu einem großen Hindernis für das Design des Resonators. Ein zweidirektionales Pumpsystem wird in der vorliegenden Ausführungsform angepasst, um diese Probleme zu lösen, und eine Pumplichtquelle **11** wird als der Laserpumpabschnitt **10** derart verwendet, dass Licht in einer derartigen Weise geteilt wird, dass Licht durch die entsprechenden Endflächen in der Konfiguration eintritt und daher kann erfolgreich verhindert werden, dass eine thermische Linse erzeugt wird. Zusätzlich dazu werden Effekte derart erhalten, dass die Stabilität im Hinblick auf die Wellenlänge des Pumplichts und der Anstieg von Eigenschaften verbessert wird.

(Stabilität in der Änderung der Wellenlänge)

[0097] [Fig. 15](#) ist ein Graph, der einen Vergleich der Änderung im Laserausgabestrahls für die Wellenlänge der LD-Einheit zwischen eindirektionalem Pumpen und zweidirektionalem Pumpen zeigt. Hier lag der verwendete Nd:YVO₄-Kristall wieder in rechteckiger Parallelepipedform vor mit Endflächen von 3 mm × 3 mm, und die Nd-Konzentration betrug 0,27% und die Länge des Kristalls betrug 10 mm für eindirektionales Pumpen, während die Nd-Konzentration 0,27% betrug und die Länge des Kristalls 15 mm betrug für zweidirektionales Pumpen. Wie in dieser Figur gezeigt ist, ändert sich beim eindirektionalen Pumpen, wenn die Wellenlänge des Pumplichts sich mit 808 nm am Zentrum verschiebt, der Laserausgabestrahls stark. Deshalb ändert sich die Laserausgabe aufgrund einer Inkonsistenz in der Spitzenwellenlänge der LD-Einheit und es wird schwierig, eine einheitliche Laserbearbeitungsvorrichtung zu erhalten. Ins-

besondere gibt es im Allgemeinen einen Unterschied in individuellen Halbleiterlicht emittierenden Elementen, und es gibt eine Neigung, dass eine Inkonsistenz leicht in der Wellenlänge verursacht wird, und deshalb ist es üblicherweise nötig einen Fehler von annähernd ± 2 nm bis 3 nm in Betracht zu ziehen. Außerdem ist die Wellenlänge des Pumplichts temperaturabhängig, und deshalb wird eine Temperaturregulation im LD-Element nötig, wobei ein Peltier-Element (Peltier-Element) oder dergleichen verwendet wird. Aus den oben angegebenen Gründen werden herkömmliche Laserbearbeitungsvorrichtungen entworfen für die niedrigste Laserausgabe, wobei eine Inkonsistenz in der Wellenlänge in Betracht gezogen wird, und deshalb wird die inhärente Ausgabe nicht effizient verwendet.

[0098] Im Gegensatz dazu ist der Laserausgabestrahle beim zweiseitigen Pumpen stabil, sogar wenn das Pumplicht sich von 808 nm verschiebt. Als eine Folge kann bestätigt werden, dass die Abhängigkeit des Pumplichts von der Wellenlänge begrenzt ist durch zweiseitiges Pumpen, und daher kann ein Laserausgabestrahle erhalten werden, der stabil ist, ungeachtet einer Änderung in der Wellenlänge der LD-Einheit.

(Anstiegs-Eigenschaften)

[0099] Außerdem ist [Fig. 16](#) ein Graph, der einen Vergleich der Änderung im Laserausgabestrahle über die Zeit zeigt zwischen einseitigem Pumpen und zweiseitigem Pumpen. Auch in dieser Figur wurde die Änderung im Laserausgabestrahle über die Zeit gemessen, wenn ein Nd:YVO₄-Kristall in rechteckiger Parallelepipedform mit Endflächen von 3 mm \times 3 mm verwendet wurde, wobei die Nd-Konzentration 0,27% betrug, die Wellenlänge der LD-Einheit 806 nm, 808 nm und 810 nm betrug, und der Strom in der LD-Einheit geändert wurde von 0 A auf 35 A für einseitiges Pumpen bzw. zweiseitiges Pumpen. Hier betrug die Länge des Kristalls 10 mm (einseitiges Pumpen) und 15 mm (zweiseitiges Pumpen) aus Gründen der Einfachheit im Test zum Vergleich. Wie in dieser Figur gezeigt ist, ist ein sanfter Anstieg für einseitiges Pumpen gezeigt, wenn die Pumpwellenlänge 808 nm und 810 nm beträgt, während ein Überschießen erzeugt wurde für 806 nm, wobei annähernd 1,4 Sekunden erforderlich war, bevor die Ausgabe stabil wurde. Indessen sind beim zweiseitigen Pumpen ein steiler Anstieg und eine schnelle Stabilisierung für alle Wellenlängen gezeigt, und daher wurde bestätigt, dass die Anstiegs-eigenschaften des Lasers ausgezeichnet waren. Ferner wurde ein Überschießen bei 806 nm auf einem extrem geringen Niveau gehalten.

[0100] Außerdem zeigt, um dies zu bestätigen, [Fig. 17](#) eine Wellenform der Änderung im Laserausgabestrahle über die Zeit, wie gemessen unter Ver-

wenden einer Photodiode, wenn der Strom in der LD-Einheit von 0 A auf 45 A für zweiseitiges Pumpen geändert wurde, unter Verwenden eines Nd:YVO₄-Kristalls in rechteckiger Parallelepipedform für 3 mm \times 3 mm \times 15 mm, mit einer Nd-Konzentration von 0,27%, welche dieselbe ist, wie in [Fig. 16](#). Wie aus dieser Figur klar ist, erreichte der Laserausgabestrahle ein erwünschtes Niveau in einer extrem kurzen Zeitperiode von annähernd 20 ms, und so kann bestätigt werden, dass eine stabile Ausgabe erhalten wurde, ohne ein Überschießen zu verursachen. So kann gemäß der Bedingungen der vorliegenden Erfindung die Zeit, die dafür notwendig ist, die Ausgabe zu stabilisieren, wenn der Laserausgabestrahle gesteigert wird, auf 1/10 oder weniger des Stands der Technik reduziert werden, als eine Folge einer Steigerung in der Geschwindigkeit. Ferner kann als eine Folge ein Hochgeschwindigkeitsprozess, bei dem die Reaktion und das Tracking (Nachführung) höher sind und die Stillstandzeit verkürzt wird, während eine Genauigkeit in der Bearbeitung beibehalten wird, implementiert werden. In herkömmlichen Laserprozessen kann die Laserausgabe nicht geändert werden für jeden Block im Laserbearbeitungsmuster aufgrund von Problemen mit der Reaktion der Laserausgabe, und eine Stillstandzeit, damit die Ausgabe stabilisiert wird, (zum Beispiel 300 ms) ist erforderlich, wenn die Laserausgabe geändert wird. Im Gegensatz dazu macht die oben beschriebene Konfiguration die Stabilität zum Zeitpunkt der Steigerung ausgezeichnet, und macht auch Tracking mit hoher Geschwindigkeit möglich, und daher wird es möglich, die Laserausgabe für jeden Block im Laserbearbeitungsmuster zu ändern, was im Stand der Technik schwierig ist.

[0101] Wie oben beschrieben, ist die Änderung in der Laserausgabe für die Wellenlänge der LD-Einheit beschränkt, wenn die oben beschriebene Konfiguration eingestellt wird, und außerdem werden ausgezeichnete Vorteile erzielt derart, dass das Tracking des ausgegebenen Laserstrahls schnell in der Reaktion auf eine Änderung im Laserausgabewert ist. Gemäß der durch die vorliegenden Erfinder ausgeführten Tests betrug das Tracking des tatsächlich ausgegebenen Laserausgabestrahls 300 ms, wenn die Einstellung des Laserausgabestrahls auf 0% bis 100% im Stand der Technik geändert wurde, während 20 ms in der vorliegenden Erfindung erreicht wurden.

(Einstellung des Teilungsverhältnisses durch Teilungselement **23**)

[0102] Ein Laserpumplicht, das in zwei Richtungen von der einzelnen Pumplichtquelle **11** geteilt wird, pumpt das feste Lasermedium **21** durch die entsprechenden Endflächen in der longitudinalen Richtung. Zu diesem Zeitpunkt ist die Intensität des Pumplichts, das durch die Seite des Rückseitenspiegels RM eintritt, höher als die Intensität des Pumplichts, das

durch die Seite des Emissionsseitenspiegels FM eintritt. Als ein Ergebnis einer sorgfältigen Forschung, die für thermische Linsen durch die vorliegenden Erfinder ausgeführt worden ist, wurde herausgefunden, dass die Innenseite des Resonators weniger durch die thermische Linse beeinflusst ist, die auf der Rückseite des festen Lasermediums erzeugt wurde, als durch jene, die auf der Emissionsseite erzeugt wurde. In der Konfiguration der [Fig. 3](#) wird der Reflektionsgrad des Strahlteilers BS verwendet, um das Teilungsverhältnis zwischen dem Rückseitenspiegel RM und dem Emissionsseitenspiegel FM einzustellen. Das heißt, je höher der Reflektionsgrad ist, desto höher wird die Intensität des Lichtes, mit dem die Emissionsfläche bestrahlt wird, und je geringer der Reflektionsgrad ist, desto höher wird die Intensität des Pumplichts, mit dem die rückseitige Fläche bestrahlt wird. Hier ist es bevorzugt, dass das Teilungsverhältnis von Licht, das durch die Kristallfläche auf der Seite der rückseitigen Fläche eintritt, im Strahlteiler BS 50% oder mehr der gesamten Leistung in der Konfiguration beträgt.

[0103] Ferner zeigen die [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) die Ergebnisse einer Messung der Leistung des Laserausgabestrahls relativ zur Leistung der LD, die die Pumplichtquelle ist, durch Ändern des Reflektionsgrades des Strahlteilers im zweidirektionalen Pumpsystem, um den Reflektionsgrad zu optimieren. In diesen Figuren werden die typischen Ausgabeigenschaften gemessen, wenn der Reflektionsgrad des Strahlteilers 20%, 33% und 40% betrug, und die [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) zeigen die Ausgabe zum Zeitpunkt des CW-Betriebs bzw. zum Zeitpunkt des Q-Schalter-Betriebs. Wie aus diesen Figuren klar ist, steigt, je höher die LD-Leistung der Pumplichtquelle ist, umso mehr die Laserausgabe, und eine Sättigung und Reduktion der Ausgabe, die Eigenschaften der thermischen Linse sind, beginnen sichtbar zu werden in der Nähe von 45 W zum Zeitpunkt des CW und in der Nähe von 40 W zum Zeitpunkt des Q-Schalter-Betriebs. In diesem Zustand wurde auch eine Verschlechterung der Strahlenmode beobachtet. Es wurde aus dem obigen bestätigt, dass die Verringerung in der Laserausgabe signifikant wird, wenn der Reflektionsgrad zu gering ist. Es ist bevorzugt, dass der Reflektionsgrad im Bereich von 30% bis 50% in der Praxis liegt. Ferner ist der Reflektionsgrad am meisten bevorzugt in der Nähe von 33% gesetzt, das heißt, das Teilungsverhältnis des eintretenden Lichts durch den Strahlteiler zwischen der rückseitigen Fläche und der Emissionsfläche ist auf annähernd 2:1 gesetzt. Die höchste Laserausgabe wurde erzielt in der Nähe dieses Werts, und es wurde bestätigt, dass ein hocheffizienter Betrieb erzielt wurde, mit einer minimalen Reduktion in der Laserausgabe. Die Überlegenheit des oben beschriebenen Zahlenbereichs wurde bestätigt sowohl zum Zeitpunkt des CW-Betriebs als auch zum Zeitpunkt des Q-Schalter-Betriebs. Hier ist die Laserausgabe als ein Ganzes ge-

ringer zum Zeitpunkt des Q-Schalter-Betriebs als zum Zeitpunkt des CW-Betriebs, und zusätzlich beginnt eine Reduktion zu einem Zeitpunkt, bei dem das Niveau des Pumplichts gering ist, und so wurde bestätigt, dass das System leicht beeinflusst wird durch die thermische Linse.

[0104] Hier ist in dem Fall, in dem das Teilungsverhältnis auf der Rückseite zu hoch ist, das Pumplicht breiter verteilt auf der Rückseite, und das Risiko, dass eine thermische Linse auf dieser Fläche erzeugt wird, wird hoch, und deshalb besitzt das Teilungsverhältnis von eintretendem Licht zwischen der rückseitigen Fläche und der Emissionsfläche eine obere Grenze in der Nähe von 4:1.

(Reflektionsgrad des Ausgabespiegels)

[0105] Indessen bestimmt der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels die Menge an Energie, die aus dem Resonator entnommen werden kann. Deshalb ist es nötig, einen optimalen Reflektionsgrad einzustellen. Im Allgemeinen wird, wenn der Reflektionsgrad des Resonators hoch ist, die Energie, die innerhalb des Resonators enthalten ist, hoch, und deshalb wird das Risiko einer Beschädigung der optischen Elemente, die die Innenseite des Resonators bilden, hoch. Deshalb ist es erwünscht, dass der Entwurf derart ist, dass der Reflektionsgrad im Ausgabespiegel auf einen geringen Wert gesetzt ist, um die Belastung der optischen Elemente zu verringern. Jedoch ist es nötig, die Dichte des Pumpens innerhalb des Kristalls zu steigern, um dies zu erreichen, und es gibt eine Grenze im Hinblick darauf, wie viel die Dichte des Pumpens gesteigert werden kann für herkömmliches eindirektionales Pumpen, aufgrund der thermischen Linse und einer Beschädigung im Kristall.

[0106] Hier zeigt [Fig. 20](#) die Formel zum Berechnen der Energie innerhalb des Resonators. Wie in dieser Figur gezeigt ist, kann die Energie E_{rsn} , die innerhalb des Resonators enthalten ist, ausgedrückt werden als $E_{rsn} = \{(1 + R) X\} / (1 - R)$, wobei X die Ausgabe ist, die aus dem Ausgabespiegel emittiert wird, und R der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels ist. Hier akkumuliert in dem Fall, in dem eine Laserbearbeitungsvorrichtung zum Erzielen eines Laserausgabestrahls von 10 W entworfen ist, eine Energie von 190 W innerhalb des Resonators, wenn der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels 90% beträgt. Eine derartig hohe Energie verursacht, dass Wärme in den optischen Elementen erzeugt wird, die den Resonator bilden, und verursacht in einigen Fällen, dass die Qualität des Laserstrahls verschlechtert wird, aufgrund einer optischen thermischen Verformung, die in den Spiegeln und dergleichen erzeugt wird. Insbesondere wird eine Spitzenleistung von mehreren Zehnfachen eines kW im Puls laser erzeugt, wenn ein Q-Schalter montiert ist, und als eine Folge werden die optischen Elemente, die den Resonator bilden,

beschädigt.

[0107] Deshalb kann der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels verringert werden von 90% auf 70%, und so kann die Energie, die innerhalb des Resonators gespeichert wird, auf annähernd ein Drittel reduziert werden. Außerdem kann, wenn der Reflektionsgrad auf 50% reduziert wird, die Energie auf annähernd die Hälfte reduziert werden. So ist es erwünscht, dass das Design derart ist, dass der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels gering ist. Bevorzugt kann die Leistung effizient entnommen werden, wenn der Reflektionsgrad 70% oder weniger beträgt. Ferner kann der Reflektionsgrad auf annähernd 50% gesetzt werden, um eine Stabilität aufrechtzuerhalten, und so wird ein Vorteil erzielt derart, dass die Zuverlässigkeit höher ist, obwohl die Leistung leicht niedriger ist.

(Einstellen der unteren Grenze für den Reflektionsgrad des Ausgabespiegels)

[0108] Indessen gibt es ein Risiko, dass ein Problem in dem Fall auftreten kann, in dem der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels zu gering ist. [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) zeigen die Änderung in der Laserausgabe relativ zum Reflektionsgrad des Ausgabespiegels im zweidirektionalen Pumpsystem bzw. die Änderung in der Energie innerhalb des Resonators relativ zum Reflektionsgrad des Ausgabespiegels.

[0109] Wie aus [Fig. 21](#) ersichtlich ist, kann eine maximale Ausgabe bereitgestellt werden, wenn der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels annähernd 70% bis 80% beträgt. Ferner kann eine Ausgabe von fast 90% im oben beschriebenen Bereich aufrechterhalten werden, wenn der Reflektionsgrad 50% bis 60% beträgt, und die Energie, die innerhalb des Resonators enthalten ist, kann niedrig gehalten werden, wie in [Fig. 22](#). Nach dem Obigen beurteilt, ist es bevorzugt, dass der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels auf 50% bis 60% gesetzt wird, um die Energie innerhalb des Resonators zu reduzieren.

[0110] Indessen kann, sogar wenn der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels noch niedriger eingestellt wird, 30% bis 50%, 80% oder mehr der Ausgabe gemäß [Fig. 21](#) erwartet werden, und zusätzlich erscheint es aus [Fig. 22](#) möglich, die Energie weiter zu reduzieren, die innerhalb des Resonators enthalten ist, und deshalb würde dies eine bevorzugte Konfiguration bei erster Betrachtung sein, um eine Zuverlässigkeit sicherzustellen, sogar falls die Ausgabe leicht geopfert wird. Jedoch kann in dem Fall, in dem der Reflektionsgrad auf 30% oder weniger gesetzt wird, die innerhalb des Resonators enthaltene Energie nicht reduziert werden um die Menge, um die die Ausgabe verringert wird.

[0111] Insbesondere tritt in dem Fall, in dem der

ausgewählte Reflektionsgrad so gering ist wie jener oben, ein Problem auf in dem Fall, in dem die Pumpleistung geändert wird Schritt für Schritt, wie auch in dem Fall, in dem die Ausgabe geändert wird mit einer geringen Ausgabe, sogar in dem Fall, in dem eine bestimmte Ausgabe sichergestellt werden kann mit einer maximalen Pumpleistung. Im Allgemeinen wird der Entwurf im Hinblick auf den Reflektionsgrad des Ausgabespiegels bestimmt basierend auf Daten, die erzielt werden unter der Annahme, dass eine maximale Pumpleistung erzielt wird, wenn eine maximale Ausgabe erzeugt wird. Jedoch werden aktuelle Laserbearbeitungsvorrichtungen nicht notwendigerweise immer bei maximaler Ausgabe verwendet, aber in verschiedenen Pumpbereichen unterhalb des Maximums. In diesem Fall tritt ein Problem auf derart, dass der Schwellenwert der Laserschwingung ansteigt, wenn der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels extrem gering ist. [Fig. 23](#) zeigt einen Graph, bei dem die Leistung des Laserausgabestrahls gemessen wird relativ zur Leistung der LD, welche die Pumplichtquelle ist, in dem Fall, in dem der Reflektionsgrad des Strahlteilers hoch ist (50%) und in dem Fall, in dem er gering ist (3%), im Vergleich zu [Fig. 18](#). Wie in dieser Figur gezeigt ist, steigt, wenn der Reflektionsgrad gering ist, der Schwellenwert der Laserschwingung, die aus dem Pumplicht erhalten wird, das durch den Laserausgabestrahler erzielt wird, von annähernd 13 W auf 20 W. Dies beruht darauf, dass die Ausbeute innerhalb des festen Lasermediums geringer ist, das heißt, die Pumpdichte ist geringer, wenn die Leistung der LD-Einheit gering ist, und als eine Folge wird der optimale Reflektionsgrad des Ausgabespiegels relativ hoch im Vergleich zu Fällen, bei denen die Leistung der LD-Einheit hoch ist. Deshalb wird in dem Fall, in dem die Leistung der LD-Einheit gering ist, eine Schwingung mit geringem Wirkungsgrad erzwungen mit einem Entwurf, der verschieden ist von jenem für optimalen Reflektionsgrad. In dem Fall eines derartigen Schwingungswirkungsgrades, tritt ein Problem derart auf, dass die Ausgabe instabil wird und eine Änderung im Laserausgabestrahler groß wird, aufgrund unangemessener Temperatur und Verschlechterung der Spiegelbeschichtung über die Zeit. Deshalb können keine Erfolge erzielt werden, wenn der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels extrem gering ist im Ganzen. Unter Berücksichtigung hiervon ist es bevorzugt, dass der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels in einem Bereich von 30% bis 70% liegt. Es ist bevorzugter, dass er 40% bis 50% beträgt.

(Vorteile im Verringern des Reflektionsgrades des Ausgabespiegels)

[0112] Hier wird die Formel zum Berechnen der Laserausgabe P untersucht. Die Transmission des Ausgabespiegels wird mit T bezeichnet, der Verlust innerhalb des Resonators ist der Verlust, die Querschnittsfläche des festen Lasermediums (effektive

Pumpquerschnittsfläche) wird mit A bezeichnet, die Länge des Kristalls des festen Lasermediums (effektive Pumplänge) wird mit L bezeichnet, die Kleinsignalverstärkung, die innerhalb des festen Lasermediums erzielt wird, wird mit g_0 bezeichnet, und die Sättigungskonstante wird mit I_s ($= h\nu/\delta\tau_f$) bezeichnet. Zu diesem Zeitpunkt kann die Laserausgabe P durch die folgende Formel 1 dargestellt werden.

[Formel 1]

$$P = T \cdot (T + \text{Verlust}) \cdot A \cdot I_s \cdot g_0 \cdot L - T \cdot A \cdot I_s / 2$$

[0113] In dem Fall, in dem die oben beschriebene Formel 1 als eine Gleichung für T betrachtet wird, wird die Leistung, die aus dem Ausgabespiegel entnommen werden kann, maximal, wenn T für T_{opt} steht, welches den maximalen Wert bereitstellt. Demgemäß wird, um T_{opt} zu berechnen, die folgende Formel 2 verwendet.

[Formel 2]

$$T_{\text{opt}} = ((\sqrt{2 \cdot g_0 \cdot L / \text{Verlust}}) - 1) \cdot \text{Verlust}$$

[0114] Es ist aus Formel 2 ersichtlich, dass die optimale Transmission T_{opt} des Ausgabespiegels groß wird und daher wird der Reflektionsgrad R des Ausgabespiegels klein, wenn die Kleinsignalverstärkung g_0 groß ist. Wie oben beschrieben, kann der Reflektionsgrad R des Ausgabespiegels, der die Energie am effizientesten entnehmen kann, klein gemacht werden, wenn der Entwurf es ermöglicht, dass die Kleinsignalverstärkung g_0 groß ist. Indessen kann die Leistung, die innerhalb des Resonators enthalten ist, durch die folgende Formel 3 ausgedrückt werden, wie in [Fig. 20](#) gezeigt ist, wenn R der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels ist und X die Ausgabe ist, die aus dem Ausgabespiegel entnommen werden kann.

[Formel 3]

$$(1 + R) \cdot X / (1 - R)$$

[0115] Es ist aus dem obigen ersichtlich, dass, je kleiner der Reflektionsgrad R des Ausgabespiegels ist, desto kleiner ist die Energie, die innerhalb des Resonators enthalten ist, und das Risiko einer Beschädigung der Beschichtung auf dem Ausgabespiegel, dem Rückseitenspiegel und der Endflächen des festen Lasermediums wird gering.

[0116] Indessen kann die oben beschriebene Kleinsignalverstärkung g_0 ausgedrückt werden durch die folgende Formel 4.

[Formel 4]

$$g_0 = \sigma \cdot N_0 \cdot W_p \cdot \tau_f$$

[0117] In der obigen Formel ist σ die Induktionsauslösungsquerschnittsfläche, und τ_f ist die Lebensdauer der Fluoreszenz; beides sind Eigenschaftswerte, die vom Typ des festen Lasermediums bestimmt werden (ob es Nd:YVO₄ oder Nd:YLF ist). Indessen sind N_0 und W_p entsprechende Pumpraten für die Pumpquelle (Anzahl von Atomen), die pro Volumeneinheit existieren und das Produkt von diesen $N_0 \cdot W_p$ ist die Anzahl von Atomen, die pro Zeiteinheit und Volumeneinheit angeregt werden. Demgemäß wird, um eine Laserbearbeitungsvorrichtung mit einer großen g_0 zu entwerfen, Pumplicht auf ein kleines Volumen kondensiert, das daher derart angeregt wird, dass die Anzahl von Atomen, die pro Volumeneinheit angeregt werden, steigt, und daher führt eine Steigerung in der Pumpdichte zu einer Steigerung in g_0 . Als eine Folge wird g_0 groß in dem Fall, in dem der Entwurf es ermöglicht, dass das Pumpvolumen klein ist und die Pumpdichte hoch ist zum Zeitpunkt des Pumpens, und als eine Folge kann ein Laser effizient entnommen werden aus dem Ausgabespiegel, sogar wenn der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels gering ist. Als eine Folge kann das Risiko, dass die Beschichtung, die auf den optischen Elementen verwendet wird, die den Resonator bilden, beschädigt wird, verringert werden.

[0118] Aus dem oben beschriebenen Gesichtspunkt ist der Entwurf zur Steigerung der Pumpdichte bevorzugt. Jedoch kann die Ausgabe, die unter Verwendung der oben beschriebenen Formel berechnet wird, nicht tatsächlich erzielt werden, aufgrund der thermischen Linse, die innerhalb des festen Lasermediums erzeugt wird. Die thermische Linse, die innerhalb des festen Lasermediums erzeugt wird, verursacht, dass die Mode sich verschlechtert, und in einigen Fällen verhindert sie den stabilen Betrieb des Resonators, und daher kann es einige Fälle geben, in denen der Laser nicht oszilliert. Demgemäß kann gesagt werden, dass es bevorzugt ist, die Pumpdichte basierend auf der oben beschriebenen Theorie zu steigern, unter der Annahme, dass das Ausmaß der erzeugten thermischen Linse dasselbe ist. Insbesondere kann das gesamte Ausmaß der erzeugten thermischen Linse verringert werden im Vergleich zum herkömmlichen eindirektionalen Pumpen durch Dispergieren von Pumplicht beim zweidirektionalen Pumpen. Als eine Folge wird es möglich beim zweidirektionalen Pumpen, einen Zustand zu implementieren, bei dem eine thermische Linse auf dem selben Niveau wie beim herkömmlichen eindirektionalen Pumpen erzeugt wird, sogar wenn die Pumpdichte gesteigert wird, und es wird auch möglich, den Reflektionsgrad des Ausgabespiegels um dasselbe Ausmaß zu verringern. Wie oben beschrieben, wird es möglich, Wärme zu dispergieren unter Verwenden von zweidimensionalem Pumpen, wie auch ein Pumpen mit einer Dichte, die um dasselbe Ausmaß höher ist, zu verursachen, und als eine Folge kann der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels verringert werden.

derart, dass die Energie innerhalb des Resonators verringert werden kann.

(Moden-Übereinstimmung)

[0119] Außerdem ist der Durchmesser des Spots des Pumplichts beim zweidirektionalen Pumpen kleiner als in der TEM_{00} -Strahlmode des festen Lasermediums, und daher kann ein weiterer Anstieg im Wirkungsgrad erreicht werden. Beim herkömmlichen zweidirektionalen Pumpen ist der Durchmesser des Spots des Pumplichts zum Bestrahlen der jeweiligen Endflächen des festen Lasermediums leicht größer in der Größe gemacht, als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums, und daher wird das Pumpen in einem kleinen Bereich konzentriert derart, dass ein Problem einer thermischen Linse und die Effekte, dass eine starke thermische Linse erzeugt wird, vermieden werden können. Gemäß dieses Verfahrens ist es jedoch schwierig, einen Anstieg in der Ausbeute innerhalb des Kristalls des festen Lasermediums in dem Fall zu erreichen, in dem eine LD-Einheit mit einer hohen Ausgabe verwendet wird, wodurch mit Fällen, bei denen die Ausgabe der LD-Einheit gering ist, umgegangen werden kann. Deshalb wird der Kristall mit einer hohen Dichte angeregt innerhalb eines Durchmessers des Spots zum Pumpen, der kleiner ist, als in der TEM_{00} -Mode, die innerhalb des Resonators erzeugt wird, und daher steigt die Ausbeute, die innerhalb des festen Laserkristalls erzeugt wird.

[0120] Im weiteren Detail ist die TEM_{00} -Strahl-Mode eine Mode, in der es möglich ist, dass eine einzelne Wellenlänge oszilliert (Single Mode), und wenn ein Laser in dieser Mode oszilliert, wird die Phase des Laserausgabebereichs einheitlich und ausgegebenes Licht hoher Qualität ohne Störung erhalten werden. Um die TEM_{00} -Mode zu erzielen, wird nur der Bereich für die TEM_{00} -Mode der Endflächen des festen Lasermediums angeregt unter Verwenden einer Apertur oder dergleichen. Herkömmlicherweise wurde gedacht, dass eine thermische Linse leicht erzeugt werden kann, wenn sie in einem kleinen Bereich angeregt wird. Ferner verbreitet sich, sobald eine thermische Linse erzeugt wird, das Ausgabebereich aufgrund des thermischen Linseneffektes, sogar wenn Licht unter Verwenden einer Apertur oder dergleichen kondensiert wird, und so kann die TEM_{00} -Mode erzielt werden. Als eine Folge wird eine thermische Linse vermieden durch Pumpen, das etwas stärker ist als in der TEM_{00} -Mode. Hier werden, wenn ein breites Gebiet angeregt wird, einzelne und mehrfache Moden gemischt. Indessen wird, wenn der Durchmesser des Spots klein ist zum Pumpen, eine thermische Linse erzeugt, wie oben beschrieben, und daher wird die einzelne Mode nicht erzielt. Im Fall einer Laserbearbeitungsvorrichtung mit einer geringen Ausgabe von beispielsweise annähernd 2 W bis 3 W, kann die einzelne Mode erzielt werden, sogar zum Zeitpunkt von begrenztem Pumpen. Je-

doch kann die einzelne Mode nicht erzielt werden für eine Ausgabe in der 10 W-Klasse durch begrenztes Pumpen, aufgrund der Effekte der Wärme. Deswegen wird die Konzentration der Wärme verringert durch Einstellen des oben beschriebenen zweidirektionalen Pumpsystems, und als eine Folge kann Pumpen im Single Mode erzielt werden, sogar wenn ein Spot eines kleinen Durchmessers angeregt wird. Wie oben beschrieben, werden zweidirektionales Pumpen und die Einstellung des Durchmessers des Spots zusammen verwendet derart, dass nur ein notwendiges Gebiet intensiv angeregt werden kann, und daher kann ein Laserausgabebereich hoher Qualität mit hohem Wirkungsgrad erzielt werden. Zum Beispiel kann eine Resonatorausgabe von 9 W erzielt werden durch Eingeben einer LD-Einheit von 30 W in herkömmlichen Systemen, während gemäß der vorliegenden Ausführungsform der Wirkungsgrad verbessert wird durch Kombination von zweidirektionalem Pumpen und Moden-Abgleich derart, dass eine Resonatorausgabe, von der die durchschnittliche Ausgabe 10 W oder höher ist und die Spitzenleistung 30 kW oder höher ist, erzielt werden durch Eingeben einer LD-Einheit von 40 W. Außerdem kann die durchschnittliche Ausgabe 15 W betragen, und die Spitzenleistung kann 100 kW betragen.

[0121] Außerdem wird eine Ausgabe im Single Mode möglich gemacht durch Einstellen des Durchmessers des Spots in der TEM_{00} -Mode auf 1,3 oder weniger, und zusätzlich kann der Durchmesser des Spots in der TEM_{00} -Mode verringert werden auf 1,3 oder weniger, wenn der Laserausgabebereich sich in einem Ausgabebereich von 0,5 W bis 15 W befindet.

[0122] Der Durchmesser des Spots wird eingestellt unter Verwenden einer Kondensorlinse. Die Kondensorlinse kondensiert paralleles Licht, das von dem Reflektionsspiegel reflektiert wird oder von dem Teilungselement **23** reflektiert oder dadurch übertragen wird, auf einen Spot eines vorbestimmten Durchmessers, und so tritt Licht durch die Endflächen des festen Lasermediums ein.

(Laserstrahlscanningsystem **30**)

[0123] Ein Arbeitsbereich auf einem Werkstück **W** wird gescannt mit dem Laserausgabebereich, der durch den Laserresonanzabschnitt, wie oben beschrieben, erzeugt wird, in einem erwünschten Bearbeitungsmuster unter Verwenden eines Laserstrahlscanningsystems **30** derart, dass das Werkstück bearbeitet wird. Der Laserresonanzabschnitt **20** und das Laserstrahlscanningsystem **30** sind optisch verbunden und winkeln den Laserausgabebereich, der vom Ausgabespiegel **26** emittiert wird, zum Beispiel wie in [Fig. 3](#), derart ab, dass der Laserausgabebereich zum Laserstrahlscanningsystem **30**, das darunter angeordnet ist, übertragen wird.

[0124] Das Laserstrahlscanningsystem **30** ist mit Scannern versehen, die den Laserstrahl reflektieren und ihn in eine erwünschte Richtung derart ausgeben, dass die Oberfläche des Werkstücks **W** mit dem Laserausgabestrahls zur Bearbeitung gescannt wird. Jeder Scanner ist versehen mit einem Galvanospiegel, der ein Totalreflektionsspiegel ist, als eine Reflektionsfläche zum Reflektieren von Licht, einem Galvanomotor zum Rotieren des Galvanospiegels, der an der Rotationsachse gesichert ist, und einem positionsdetektierenden Abschnitt zum Detektieren der Rotationsposition der Rotationsachse, und gibt das Ergebnis als ein Positionssignal aus. Ferner sind die Scanner verbunden mit einem Scannerantriebsabschnitt **35**, zum Betreiben der Scanner. Der Scannerantriebsabschnitt **35** ist verbunden mit einem Steuerungsabschnitt **50** und empfängt ein Steuerungssignal zum Steuern der Scanner vom Steuerungsabschnitt **50**, und betreibt so die Scanner hierauf basierend. Zum Beispiel stellt der Scannerantriebsabschnitt **35** den Antriebsstrom zum Betreiben der Scanner basierend auf dem Steuerungssignal ein. Außerdem ist der Scannerantriebsabschnitt **35** versehen mit einem Einstellungsmechanismus zum Einstellen, wie der Rotationswinkel von jedem Scanner über die Zeit als Reaktion auf das Steuerungssignal geändert wird. Der Einstellungsmechanismus ist gebildet aus Wegen aus Halbleitern, zum Beispiel einem variablen Resistor, zum Einstellen der entsprechenden Parameter des Scannerantriebsabschnitts **35**.

[0125] Das Laserstrahlscanningsystem **30**, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist, ist mit einem X-Achsen-Scanner **31** und einem Y-Achsen-Scanner **32**, die ein Paar bilden, und Galvanomotoren **33** bzw. **34**, um diese zu rotieren, versehen. Die Galvanomotoren **33** und **34** werden durch den Scannerantriebsabschnitt **35** betrieben. Der Scannerantriebsabschnitt **35** betreibt die Galvanomotoren **33** und **34** basierend auf einem Scansignal, das von dem Steuerungsabschnitt **50** bereitgestellt wird, und rotiert so die Totalreflektionsspiegel des X-Achsen-Scanners **31** und des Y-Achsen-Scanners **32**, die um die Ausgabeachsen der Galvanomotoren **33** und **34** vorgesehen sind, derart, dass der Laserausgabestrahls, der durch das feste Lasermedium **21** zum Oszillieren gebracht wird, abgelenkt und verwendet wird zum Scannen. Die Oberfläche des Werkstücks **W** wird bestrahlt und gescannt mit dem abgelenkten Laserausgabestrahls und wird so über einen Arbeitsbereichslichtkondensierabschnitt **40**, der annähernd in der Richtung der Ablenkung vorgesehen ist, beschriftet. Der Arbeitsbereichslichtkondensierabschnitt **40** ist derart vorgesehen, dass der abgelenkte Laserausgabestrahls am Zentrum als paralleles Licht in einem derartigen Zustand eintritt, dass die Scanner sich in einer neutralen Position befinden.

[0126] Eine Arbeitsbereichslichtkondensierlinse,

wie eine f θ -Linse, wird für den Arbeitsbereichslichtkondensierabschnitt **40** verwendet. Der Laserstrahl wird vom Galvanospiegel reflektiert, und danach kondensiert durch die Arbeitsbereichslichtkondensierlinse derart, dass die bestrahlte Oberfläche bestrahlt wird. Ein Strahlaufweiter **36** ist vor dem Galvanospiegel angeordnet, wie in [Fig. 1](#) gezeigt ist, um effektiv Licht auf einen kleinen Spot zu kondensieren, und so wird der Strahldurchmesser des Laserstrahls, der von dem Laserschwingungsabschnitt **50** ausgegeben wird, aufgeweitet. Der Strahl, der von dem Strahlaufweiter **36** emittiert wird, wird von einem optischen Element reflektiert, zum Beispiel einem Spiegel, um so zum Galvanospiegel des Laserstrahlscanningsystems **30** geführt zu werden. Hier kann der Arbeitsbereichslichtkondensierabschnitt, zum Beispiel die f θ -Linse weggelassen werden, wenn der Z-Achsen-Scanner als der Arbeitsbereichslichtkondensierabschnitt fungiert, wie unten beschrieben.

[0127] [Fig. 24](#), [Fig. 25](#) und [Fig. 26](#) zeigen ein Beispiel des Laserstrahlscanningsystems **30**. In diesen Figuren ist [Fig. 24](#) eine perspektivische Ansicht, die die Konfiguration des Laserstrahlscanningsystems **30** in der Laserbearbeitungsvorrichtung zeigt, [Fig. 25](#) ist eine perspektivische Ansicht, die die Konfiguration der [Fig. 24](#) wie gesehen in der entgegengesetzten Richtung zeigt, und [Fig. 26](#) ist eine Seitenansicht. Die in diesen Figuren gezeigte Laserbearbeitungsvorrichtung ist versehen mit einem Strahlaufweiter **36**, in dem ein Z-Achsen-Scanner eingebaut ist, dessen Lichtweg mit jenem im Laserresonanzabschnitt **20** zum Erzeugen des Laserausgabestrahls übereinstimmt, einem X-Achsen-Scanner **31** und einem Y-Achsen-Scanner **32**, der in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass der den X-Achsen-Scanner **31** senkrecht kreuzt. Dieses Laserstrahlscanningsystem **30** kann es ermöglichen, dass der Arbeitsbereich **WS** zweidimensional mit dem Laserausgabestrahls gescannt wird, der von dem Laserresonanzabschnitt **20** emittiert wird, unter Verwenden des X-Achsen-Scanners **31** und des Y-Achsen-Scanners **32**, und kann außerdem den Arbeitsabstand einstellen, das heißt, die Brennweite, in der Richtung der Höhe, unter Verwenden des Z-Achsen-Scanners **37**, derart, dass dreidimensionales Bearbeiten möglich wird. Hier funktionieren der X-Achsen-Scanner, der Y-Achsen-Scanner und der Z-Achsen-Scanner natürlich in derselben Weise, sogar wenn sie geschaltet werden. Zum Beispiel kann der Laserausgabestrahls, der von dem Z-Achsen-Scanner emittiert wird, vom Y-Achsen-Scanner in der Konfiguration empfangen werden, oder der X-Achsen-Scanner kann die Y-Achse steuern und der Y-Achsen-Scanner steuert die Z-Achse in der Anordnung. Hier ist die f θ -Linse, die die Arbeitsbereichslichtkondensierlinse ist, nicht in den Figuren gezeigt.

[0128] In gewöhnlichen Laserbearbeitungsvorrichtungen ist eine Arbeitsbereichslichtkondensierlinse,

wie eine $f\theta$ -Linse zwischen dem Y-Achsen-Scanner und dem Arbeitsbereich angeordnet, um den Laserausgabestrahls, der vom Y-Achsen-Scanner reflektiert wird, zu kondensieren derart, dass der Arbeitsbereich bestrahlt wird. Die $f\theta$ -Linse führt eine Korrektur in der Z-Achsen-Richtung aus. Konkret und wie in [Fig. 27A](#) gezeigt ist, ist die Brennweite länger, wenn der Brennpunkt sich näher am Endabschnitt des Arbeitsbereichs WS befindet, derart, dass der Brennpunkt auf der Oberfläche des Objektes, das aus dem Arbeitsstück W bearbeitet werden soll, positioniert ist. Der Brennpunkt des Laserausgabestrahls bildet eine Spur in Bogenform, und deshalb wird in dem Fall, in dem die Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes flach ist, der Abstand zwischen dem Brennpunkt und der Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes größer (Laserausgabestrahls LB'), und der Strahl gerät außerhalb des Fokus, was die Genauigkeit beim Bearbeiten verringert, wenn der Abstand zwischen dem Brennpunkt und dem Zentrum der Ebene WM der Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes größer wird, das heißt, der Brennpunkt kommt näher zur Peripherie des Arbeitsbereichs WS, wenn der Brennpunkt gesetzt und eingestellt ist am Zentrum in [Fig. 27A](#), was die Stelle direkt unterhalb der Quelle des Laserausgabestrahls ist. Deshalb wird, wie in [Fig. 27B](#) gezeigt ist, der Strahl mit einer $f\theta$ -Linse korrigiert derart, dass die Brennweite des Laserausgabestrahls LB größer wird, wenn der Brennpunkt näher kommt an den Endabschnitt des Arbeitsbereichs WS. Die Ebene WM, die die Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes ist, wird virtuell umgewandelt zur korrigierten Oberfläche einer gekrümmten Oberfläche in hervorstehender Form, gezeigt durch WM', und daher kann der Brennpunkt des Laserausgabestrahls LB auf der Ebene WM positioniert werden.

[0129] In der Laserbearbeitungsvorrichtung ist es bevorzugt, eine $f\theta$ -Linse in dem Fall anzuordnen, in dem ein Strahl, dessen Spotdurchmesser kleiner ist als beispielsweise annähernd $50\text{ }\mu\text{m}$, zu bilden erwünscht ist. Indessen wird in dem Fall, in dem ein Strahl, dessen Spotdurchmesser größer ist als der Durchmesser des oben beschriebenen kleinen Spots und auf annähernd $100\text{ }\mu\text{m}$ (Durchmesser eines üblicherweise verwendeten Spots) eingestellt wird, die Z-Achsen-Lichtkondensierlinse, die im Strahlaufweiter auf der Z-Achsen-Scanner-Seite vorgesehen ist, in die Z-Achsen-Richtung bewegt, und daher kann eine Korrektur des Strahls in der Z-Achsen-Richtung ausgeführt werden durch die $f\theta$ -Linse als Korrektursteuerung. Als eine Folge wird es auch möglich, die $f\theta$ -Linse in dem Fall wegzulassen, in dem der Durchmesser des Spots groß ist. Im oben beschriebenen Beispiel der [Fig. 27A](#) wird die Korrektur des Strahls in der Z-Achsen-Richtung, wie sie mit der $f\theta$ -Linse ausgeführt wird, durch eine Korrektursteuerung des Z-Achsen-Scanners ausgeführt. Indessen wird in dem Fall, in dem der Durchmesser des Spots klein

ist, eine Einstellung der Position des Brennpunktes unzureichend durch Korrektur durch den Z-Achsen-Scanner, und deshalb wird eine $f\theta$ -Linse verwendet, wie oben beschrieben. In der vorliegenden Ausführungsform sind drei Typen von Durchmessern, kleiner Spot, Standard- und weiter Spot für den Spot des Laserausgabestrahls vorbereitet und die Distorsion im Endabschnitt des Arbeitsbereichs WS wird korrigiert unter Verwenden der $f\theta$ -Linse, wenn ein Typ des kleinen Spots ausgewählt wird aus den obigen, während eine Korrektur ausgeführt wird unter Verwenden des Z-Achsen-Scanners für den Standard- und den weiten Spot, ohne Verwenden einer $f\theta$ -Linse.

[0130] In dem Fall, in dem eine Korrektursteuerung in der Richtung der Z-Achse ausgeführt wird unter Verwenden einer Z-Achsen-Lichtkondensierlinse, die mit dem Strahlaufweiter des Z-Achsen-Scanners vorgesehen ist, wird eine Korrektur ähnlich zur oben beschriebenen Korrektur unter Verwenden einer $f\theta$ -Linse ausgeführt. Die Höhe der Korrekturoberfläche WM', die in [Fig. 27B](#) gezeigt ist, das heißt, die Z-Koordinate, ist singular definiert durch die XY-Koordinaten. Deshalb ist die Z-Koordinate nach der Korrektur zu jeder XY-Koordinate in Bezug gesetzt, und daher wird es möglich, immer am Brennpunkt in dem Fall zu arbeiten, in dem der Z-Achsen-Scanner zur in Bezug stehenden Z-Koordinate bewegt wird, wenn der XY-Achsen-Scanner bewegt wird. Die in Bezug stehenden Daten sind im Speicherabschnitt **72** der Laserprozessdateneinstellungsvorrichtung, die in [Fig. 28](#) gezeigt ist, gespeichert. Alternativ können die Daten im Speicherabschnitt **52** gespeichert sein, der im Lasersteuerungsabschnitt **1** der Laserbearbeitungsvorrichtung vorgesehen ist, und übertragen werden. Als eine Folge wird die Z-Koordinate nach der Korrektur der Bewegung der XY-Koordinaten innerhalb des Arbeitsbereichs folgend bestimmt, und deshalb kann der Arbeitsbereich bestrahlt werden mit einem Laserausgabestrahls, dessen Brennpunkte annähernd einheitlich eingestellt sind.

(Z-Achsen-Scanner **37**)

[0131] Ein Z-Achsen-Scanner **37** stellt den Durchmesser des Spots des Laserausgabestrahls ein, und bildet daher einen Strahlaufweiter **36** zum Einstellen der Brennweite. Das heißt, der Strahlaufweiter **36** kann den relativen Abstand zwischen den Linsen, durch die Licht eintritt, und den Linsen, aus denen Licht emittiert wird, ändern, und daher kann der Durchmesser des Laserausgabestrahls größer/kleiner gemacht werden, und die Position des Brennpunktes kann auch geändert werden. Der Strahlaufweiter **36** kondensiert effektiv Licht auf einen kleinen Spot, und ist deshalb auf der vorderen Stufe des Galvanospiegels angeordnet, wie in [Fig. 24](#) gezeigt ist, derart, dass der Durchmesser des Laserausgabestrahls, der aus dem Laserresonanzabschnitt **20** ausgegeben wird, eingestellt wird, und die Position des

Brennpunkts des Laserausgabestrahls ist einstellbar. Ein Verfahren, gemäß dem der Z-Achsen-Scanner **37** den Arbeitsabstand einstellt, wird in Bezug auf **Fig. 29** bis **Fig. 31** beschrieben. Die **Fig. 29** und **Fig. 30** sind Seitenansichten eines Laserstrahlscanningsystems **30**; **Fig. 29** und **Fig. 30** zeigen einen Fall, bei dem der Abstand des Brennpunkts des Laserausgabestrahls lang gemacht wird, beziehungsweise einen Fall, bei dem der Abstand des Brennpunkts des Laserausgabestrahls kurz gemacht wird. Ferner ist **31A** eine Vorderansicht, die den Z-Achsen-Scanner **37** zeigt, und **Fig. 31B** ist eine Querschnittsansicht des Z-Achsen-Scanners **37**. Wie in diesen Figuren gezeigt ist, umfasst der Z-Achsen-Scanner **37** eine Linse **38**, durch die Licht eintritt und die der Seite des Laserresonanzabschnitts **20** gegenüberliegt, und eine Linse **39**, durch die Licht emittiert wird und die der Laseremissionsseite gegenüberliegt derart, dass der relative Abstand zwischen diesen Linsen geändert werden kann. Im Beispiel der **Fig. 29** bis **Fig. 31** ist die Linse **39**, durch die Licht emittiert wird, gesichert und die Linse **38**, durch die Licht eintritt, ist beweglich unter Verwenden eines Antriebsmotors oder dergleichen in der Richtung der optischen Achse. In **Fig. 31A** und **31B** ist die Linse **39**, durch die Licht emittiert wird, nicht gezeigt und der Antriebsmechanismus der Linse **38**, durch die Licht eintritt, ist gezeigt. In diesem Beispiel ist ein bewegbares Element beweglich in der axialen Richtung mittels einer Spule und eines Magneten, und die Linse **38**, durch die Licht eintritt, ist an dem bewegbaren Element gesichert. Hier ist es auch möglich, die Linse der Seite zu sichern, durch die Licht eintritt derart, dass die Linse der Seite, durch die Licht emittiert wird, bewegbar ist, wie auch sowohl auch die Linse, durch die Licht eintritt, als auch die Linse, durch die Licht emittiert wird, bewegbar zu machen.

[0132] Wie in **Fig. 29** gezeigt ist, wird, wenn der Abstand zwischen der Linse **38**, durch die Licht eintritt, und der Linse **39**, durch die Licht emittiert wird, klein ist, die Stelle des Brennpunktes weit weg, und die Brennweite (Arbeitsabstand) wird größer. Indessen wird, wenn der Abstand zwischen der Linse **38**, durch die Licht eintritt, und der Linse **39**, durch die Licht emittiert wird, groß wird, wie in **Fig. 30** gezeigt ist, die Position des Brennpunktes näher derart, dass die Brennweite klein wird.

[0133] Hier ist es in einer Laserbearbeitungsvorrichtung möglich, bei der dreidimensionales Bearbeiten möglich ist, das heißt, Bearbeiten auf einem Werkstück ist möglich in der Richtung der Höhe, andere System zu verwenden, zum Beispiel, die Arbeitsbereichslichtkondensierlinse physikalisch zu bewegen, um den Laserausgabeabschnitt oder den Beschriftungskopf bewegbar zu machen, oder die Plattform, auf der ein Arbeitsstück montiert ist, zu bewegen, zusätzlich zu dem System, bei dem der Z-Achsen-Scanner eingestellt wird, wie in **Fig. 30**.

(Abstandsanzeiger)

[0134] Ein Führungsmuster, das die Stelle zur Bestrahlung anzeigt, wenn der Arbeitsbereich WS mit dem Laserausgabestrahls gescannt wird, kann angezeigt werden, um die Brennstelle auf das Zentrum des Arbeitsbereichs in einer Laserverarbeitungsvorrichtung einzustellen, was die dreidimensionale Bearbeitung möglich macht. Das Laserstrahlscanningsystem **30** in der Laserbearbeitungsvorrichtung, die in **Fig. 24** und **Fig. 25** gezeigt ist, ist versehen mit einer Führungslichtquelle **64** und einem Halbspiegel **65**, was jeweils eine Form eines optischen Führungslightsystems ist zum in Übereinstimmung bringen des Führungslichts GL von der Führungslichtquelle **64** mit der optischen Achse des Laserstrahlscanningsystems **30**, und die den Abstandsanzeiger bilden, und ist zur selben Zeit versehen mit einer Lichtquelle **66** für einen Anzeiger, der ein Anzeigerlicht PL emittiert, einen Scannerspiegel **68** für einen Anzeiger, der auf der rückseitigen Fläche eines Y-Achsen-Scanners **32** gebildet wird, und einem befestigten Spiegel **67** zum weiteren Reflektieren des Anzeigerlichts PL von der Lichtquelle **66** für einen Anzeiger, der reflektiert wird von dem Scannerspiegel **68** für einen Anzeiger, derart, dass das Licht in Richtung der Stelle des Brennpunktes emittiert wird, und die das Anzeigerlichteinstellungssystem bilden. Dieser Abstandsanzeiger ermöglicht, dass das Anzeigerlicht PL, das die Stelle des Brennpunktes des Laserausgabestrahls anzeigt, aus der Lichtquelle **66** für einen Anzeiger emittiert wird, und stellt das Anzeigerlicht derart ein, dass das ungefähre Zentrum des Führungsmusters, das mit dem Führungslicht GL gezeigt wird, bestrahlt wird mit dem Anzeigerlicht PL, und so wird die Stelle des Brennpunktes des Laserausgabestrahls angezeigt.

[0135] Hier ist im oben beschriebenen Beispiel ein Mechanismus zum Einstellen der Brennweite des Laserausgabestrahls im Laserstrahlscanningsystem **30** vorgesehen, und daher ist ein dreidimensionaler Pumpprozess möglich. Hier kann die Stelle der Plattform, auf der ein Werkstück montiert ist, in der Aufwärts- und Abwärtsrichtung eingestellt werden, und so wird die Höhe der Plattform unter Steuerung eingestellt derart, dass der Brennpunkt des Laserausgabestrahls auf der Arbeitsfläche des Werkstücks positioniert ist und ein dreidimensionaler Prozess kann in derselben Weise ausgeführt werden. Ferner kann der entsprechende Scanner im Laserstrahlscanningsystem weggelassen werden, wenn die Plattform in der X-Achsen- und Y-Achsen-Richtung bewegbar ist. Diese Konfigurationen sind geeignet zur Verwendung in einer Form, bei der ein Arbeitsstück auf einer Plattform zum Bearbeiten montiert ist, an Stelle einer Form, bei der ein Arbeitsstück entlang eines Bearbeitungsbandes befördert wird.

[0136] Die oben beschriebenen Konfigurationen er-

möglichen, dass der Arbeitsbereich dreidimensional mit einem Laserausgabestrahl gescannt wird, der durch den Laserresonator im Laserstrahlscanningssystem **30** erzielt wird. Ferner wird das Ausmaß der Bewegung des Z-Achsen-Scanner, dessen Reaktionseigenschaften im Allgemeinen schlechter sind als jene der XY-Achsen-Scanner, klein gehalten, und daher wird ein dreidimensionales Bearbeiten möglich bei höherer Geschwindigkeit, mit hoher Steuerbarkeit. Außerdem wird eine Korrektur durch den Z-Achsen-Scanner derart ausgeführt, dass die Brennweite an jeder Stelle im Arbeitsbereich konstant gehalten werden kann, und diese Korrektur wird beendet während der Zeit, wenn die Emission des Laserausgabestrahls abgeschaltet wird, derart, dass das Ausmaß der Bewegung des Z-Achsen-Scanners, dessen Reaktionseigenschaften im Allgemeinen schlechter sind gegenüber jenen der XY-Achsen-Scanner, klein gehalten wird, und dreidimensionales Bearbeiten wird möglich bei höherer Geschwindigkeit mit hoher Steuerbarkeit. Außerdem stellt der Z-Achsen-Scanner den Laserausgabestrahl derart ein, dass die Brennweite annähernd einheitlich wird innerhalb des Arbeitsbereichs, und es kann verhindert werden, dass die Genauigkeit beim Bearbeiten geringer wird in der Nähe der Enden des Arbeitsbereiches, ohne separat eine Arbeitsbereichslichtkondensierlinse und dergleichen vorzubereiten. Ferner wird der Z-Achsen-Scanner auf die Z-Koordinaten an der Stelle bewegt, bei der der nächste Prozess erwartungsgemäß beginnen wird, und so kann der nächste Prozess nahtlos gestartet werden. Alternativ kann der Betrieb des Trackings des Z-Achsen-Scanners angehalten werden, um so an einer konstanten Stelle gehalten zu werden, und so können die XY-Achsen-Scanner zur nächsten Stelle zum Bearbeiten bei hoher Geschwindigkeit bewegt werden, ohne durch die Reaktionszeit des Z-Achsen-Scanners beeinflusst zu werden, und als ein Ganzes ist die Scanninggeschwindigkeit höher.

[0137] Jedoch ändert sich der Winkel, unter dem sich das Emissionslicht ausbreitet, aufgrund der Eigenschaften der thermischen Linsen des festen Lasermediums, und deshalb tritt ein Problem derart auf, dass die Stelle des Brennpunktes sich verschieben kann, abhängig von der Einstellung der Leistung für den zu bearbeitenden Punkt. Das Ausmaß dieser Verschiebung kann in dem Betrieb berechnet werden derart, dass die Verschiebung durch den Z-Achsen-Scanner korrigiert wird, und die Genauigkeit des Prozesses kann beibehalten werden, sogar wenn eine thermische Linse erzeugt wird.

(Systemkonfiguration der Laserbearbeitungsvorrichtung)

[0138] Als nächstes zeigt [Fig. 32](#) die Systemkonfiguration einer Laserverarbeitungsvorrichtung, die eine dreidimensionale Bearbeitung ausführen kann.

Das in dieser Figur gezeigte Laserbearbeitungssystem umfasst einen Beschriftungskopf **2A**, der einen Laserausgabeabschnitt bildet, einen Controller **1A**, der ein Lasersteuerungsabschnitt **1** ist, der mit dem Beschriftungskopf **2A** verbunden ist, um ihn zu steuern, und eine Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung **70**, die mit dem Controller **1A** in einer derartigen Weise verbunden ist, dass eine Datenkommunikation möglich ist, und ein Bearbeitungsmuster für den Controller **1A** als dreidimensionale Laserbearbeitungsdaten. Der Beschriftungskopf **2A** und der Controller **1A** bilden eine Laserbearbeitungsvorrichtung **100**. Ferner installiert die Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung **70** ein Laserbearbeitungsdateneinstellungsprogramm im Computer im Beispiel der [Fig. 32](#) derart, dass eine Laserbearbeitungsdateneinstellungsfunktion implementiert ist. Ein programmierbarer Logikcontroller (PLC) mit dem ein Touch-Panel verbunden ist, wie auch andere zugehörige Hardware, zusätzlich zu einem Computer, können als die Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung verwendet werden. Außerdem kann die Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung als eine Steuerungsvorrichtung zum Steuern des Betriebes der Laserbearbeitungsvorrichtung fungieren. Zum Beispiel kann ein Computer eine kombinierte Funktion besitzen, sowohl als eine Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung, als auch als ein Controller für den Laserausgabeabschnitt, der mit einem Laserausgabeabschnitt versehen ist. Außerdem kann die Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung aus anderen Elementen gebildet sein als die Laserbearbeitungsvorrichtung, oder mit der Laserbearbeitungsvorrichtung kombiniert sein, und zum Beispiel ein Laserbearbeitungsdateneinstellungsschaltkreis oder dergleichen kann in der Laserbearbeitungsvorrichtung eingebaut sein.

[0139] Außerdem können verschiedene Typen externer Vorrichtungen **80** mit dem Controller **1A** verbunden sein, falls notwendig. Eine Bilderkennungsvorrichtung, wie ein Bildsensor zum Detektieren des Typs, der Stelle und dergleichen eines Werkstücks, das entlang des Bearbeitungsbandes befördert wird, eine Abstandsmessvorrichtung, wie ein Auslenkungsmessgerät, zum Aufnehmen von Information über den Abstand zwischen dem Werkstück und dem Beschriftungskopf **2A**, einen PLC zum Steuern einer Vorrichtung gemäß einer vorbestimmten Sequenz und ein Sensor, von irgendeinem Typ, zum Beispiel ein PD-Sensor zum Detektieren, ob oder ob nicht das Werkstück vorbeigelaufen ist, können zum Beispiel installiert sein, und der Controller **1A** kann mit diesem verbunden sein derart, dass eine Datenkommunikation möglich ist.

(Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung)

[0140] Die Laserbearbeitungsdaten, die eine Information darstellen, die eingestellt werden muss, um

Prozessbearbeitungsdaten in ebener Form dreidimensional zu verarbeiten, werden durch eine Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung **70** eingestellt. [Fig. 28](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel der Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung **70** zeigt. Die Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung **70**, die in dieser Figur gezeigt ist, umfasst einen Eingabeabschnitt **4** zum Eingeben verschiedener Typen von Einstellungen, einen Betriebsabschnitt **71**, der einen Bearbeitungsdatenerzeugungsabschnitt bildet zum Erzeugen von Laserbearbeitungsdaten, basierend auf einer Information, die durch den Eingabeabschnitt **4** eingegeben wird, einen Anzeigeabschnitt **5** zum Anzeigen der Einstellungsinhalte und Laserbearbeitungsdaten nach dem Betrieb, und einen Speicherabschnitt **72** zum Speichern einer Vielfalt von Einstellungsdaten. Der Anzeigeabschnitt **5** umfasst einen Bearbeitungsbildanzeigabschnitt, der ein dreidimensionales Bild der Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes anzeigen kann, und einen Kopfbildanzeigabschnitt, der ein Bild des Beschriftungskopfes **2A** anzeigt, wenn ein dreidimensionales Bild der Oberfläche des oberflächlich zu bearbeitenden Objektes auf dem Bearbeitungsbildanzeigabschnitt angezeigt wird. Der Eingabeabschnitt **4** arbeitet als ein Bearbeitungsbedingungeinstellungsabschnitt zum Eingeben von Bearbeitungsbedingungen zum Bearbeiten in einem erwünschten Bearbeitungsmuster, und fungiert als ein Eingabeabschnitt des Profils der bearbeiteten Oberfläche zum Eingeben von Profilinformation, die die dreidimensionale Form der bearbeiteten Oberfläche eines Werkstücks zeigt, einen Bearbeitungsmustereingabeabschnitt zum Eingeben einer Bearbeitungsmusterinformation, ein Bearbeitungsblockeinstellungsabschnitt zum Einstellen einer Anzahl von Bearbeitungsblocks innerhalb des Arbeitsbereichs, der ein Bearbeitungsmuster für jeden Bearbeitungsblock einstellen kann, ein Gruppeneinstellungsabschnitt zum Einstellen einer Bearbeitungsgruppe, wobei eine Anzahl von Bearbeitungsblocks, die durch den Blockeinstellungsabschnitt eingestellt werden, gesammelt werden, und ein Stellenanpassungsabschnitt, der die Stelle eines Bearbeitungsmusters, das auf der Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes angeordnet ist, anpassen kann. Der Eingabeabschnitt für das Profil einer bearbeiteten Oberfläche fungiert ferner als ein Basisfigurbestimmungsabschnitt zum Bestimmen einer Basisfigur, die die Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes repräsentiert, und als ein Eingabeabschnitt für dreidimensionale Formdaten zum Eingeben dreidimensionaler Formdaten, die die Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes von der Außenseite repräsentieren. Der Speicherabschnitt **72** entspricht dem Speicherabschnitt **52** in [Fig. 1](#) und ist ein Element zum Speichern einer derartigen Information als eine Profilinformation, die im Eingabeabschnitt **4** eingestellt wird, und einer Bearbeitungsmusterinformation, und ein Speichermedium, wie eine feste Speichervorrichtung

oder ein Halbleiterspeicher, kann für den Speicherabschnitt verwendet werden. Eine zugehörige Anzeige kann als der Anzeigeabschnitt **5** vorgesehen sein, oder der Monitor eines Computers, der mit dem System verbunden ist, kann verwendet werden. Für die Bedingungen, die durch diese Laserbearbeitungsdateneinstellungsvorrichtung **70** eingestellt werden, werden die Bearbeitungsleistung (Laserausgabe) und Scannengeschwindigkeit, zusätzlich zum Arbeitsabstand, das Ausmaß der Defokussierung, der Durchmesser des Spots und der Typ des Werkstücks (schwarzer Färbungsprozess auf Eisen, schwarzer Färbungsprozess auf Edelstahl, Material für das Werkstück, zum Beispiel ein ABS-Harz, ein Polycarbonatharz oder ein Phenolharz, und der Zweck des Bearbeitens, wie auch das Schmelzen des Harzes oder die Aufräuhung der Oberfläche) eingestellt, falls nötig. Weiter kann eine Anzahl von Bearbeitungsblocks eingestellt werden, und eine Bearbeitungsmusterinformation kann in Bearbeitungsblockeinheiten eingestellt werden. Insbesondere kann die Leistung des Laserausgabestrahls und der Durchmesser des Strahls frei geändert werden in den Einstellungen, wie das Material für das Werkstück, das das zu bearbeitende Objekt ist, für jeden Bearbeitungsblock, das Bearbeitungsmuster, der fertige Zustand oder die Zeit für das Bearbeiten in Laserbearbeitungsvorrichtungen, die einen Laserausgabestrahls mit ausgezeichneten Anstiegseigenschaften erreichen kann. Außerdem werden die Bearbeitungsparameter für die Bearbeitungsbedingungen, die einmal eingestellt sind, als Einstellungsdaten gespeichert und können abgerufen werden, wenn nötig.

[0141] Die Reaktionseigenschaften des Scanners, das heißt, die Reaktionszeit, die erforderlich ist, um den aktuellen Betrieb nach einer Betriebsanleitung zu vervollständigen, wird an den Scanner geliefert, und hängen vom Scanner ab in allgemeinen Laserstrahlscanningsystemen. In Laserbearbeitungsvorrichtungen mit X-, Y- und Z-Achsen-Scannern, die zum Beispiel dreidimensionales Bearbeiten ausführen können, neigen die Reaktionseigenschaften des Z-Achsen-Scanners allgemein dazu, schlecht zu sein gegenüber jenen der X- und Y-Achsen-Scanner. Wie in [Fig. 24](#) als Beispiel gezeigt ist, führen die X- und Y-Achsen-Scanner ein Scannen unter Verwenden eines Spiegels aus, der mittels eines Galvanoscanners rotiert, während der Z-Achsen-Scanner einen Mechanismus besitzt, mit dem die Linse selbst in die Richtung der optischen Achse versetzt wird. Deshalb sind die Reaktionseigenschaften des Z-Achsen-Scanners nachteilig im Vergleich zu den X- und Y-Achsen-Scanner, aufgrund des Betriebsmechanismus, bei dem die Rotationsbewegung unter Verwenden eines Motors in eine Translation umgewandelt wird. Ferner wird, obwohl der Z-Achsen-Scanner betrieben werden kann von einem Zylinder, einem Kolben oder dergleichen ohne Verwenden eines Motors, sogar in diesem Fall der Z-Achsen-Scanner nachtei-

lig im Vergleich zu den X- und Y-Achsen-Scannern im Hinblick auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Als eine Folge gibt es eine Stillstandzeit in der Steuerung der Scanner, durch das Ausmaß, durch das die Reaktionszeit des Motors zum Betreiben des Z-Achsen-Scanners verzögert wird von den X- und Y-Achsen-Scannern, bzw. von jener der X- und Y-Achsen-Scanner. Deshalb wählt der Steuerungsabschnitt **50** den optimalen Bewegungsweg gemäß den Bearbeitungsmustern derart aus, dass ein geeigneter Bewegungsweg gemäß der Reaktionseigenschaften der verwendeten Scanner und der Form des Werkstückes ausgewählt werden kann. Bevorzugt wird ein Weg, der soweit wie möglich die Verwendung eines Scanners mit schlechter Reaktionsleistungsfähigkeit verhindert, ausgewählt und daher kann eine Hochgeschwindigkeitsbewegung implementiert werden.

[0142] Außerdem können die optischen Eigenschaften korrigiert werden unter Verwenden des Z-Achsen-Scanners, wie in **Fig. 27** gezeigt ist. Das heißt, in dem Fall, in dem der Z-Achsen-Scanner es ermöglicht, dass die Position des Brennpunktes korrigiert wird durch eine f θ -Linse, kann die Tracking-Funktion des Z-Achsen-Scanners derart verwendet werden, dass die Z-Koordinate involviert wird. Auch in diesem Fall wird die Tracking-Funktion abgeschaltet, wenn die Emission des Laserausgabestrahls abgeschaltet wird, und daher wird eine übermäßige Stillstandzeit verhindert, die Reaktionseigenschaften werden verbessert, und die Zeit, die zum Bearbeiten benötigt wird, kann verkürzt werden. Wie oben beschrieben, wird das Tracking der Z-Achse geändert gemäß dem EIN/AUS-Schalten der Emission des Laserausgabestrahls, und insbesondere kann eine übermäßige Bewegung in der Z-Richtung verhindert werden, wenn die Emission ausgeschaltet wird, und daher kann der Scanner effizient betrieben werden.

[0143] Die Laserbearbeitungsvorrichtung und der feste Laserresonator gemäß der vorliegenden Erfindung sind breit anwendbar in Prozessen unter Verwenden einer Bestrahlung mit einem Laser, zum Beispiel Beschriften, Drillen, Trimming (Fräsen), Ritzen, Oberflächenbearbeitung, Materialbearbeitung, Spektrometrie, Waferinspektion, medizinische Diagnose und Laserdruck, und kann verwendet werden für derartige Anwendungen, wie mikroskopische Bearbeitung für Halbleiter, Displayreparatur, Trimming-Systeme und dergleichen.

[0144] Eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung umfasst: einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls; ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der durch den Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und

einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt umfasst:

ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch das Pumplichtübertragungsmedium durch die zwei Endflächen eintritt; ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in zwei Wege derart, dass verschiedene Pumpkomponenten des Pumplichtes durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums entlang der entsprechenden geteilten Wege eintreten; dichroitische Spiegel, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie der entsprechenden Endfläche gegenüberliegen, es ermöglichen, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der Endflächen reflektieren;

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und in eine Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht orientiert ist, und das Laserschwingungslicht aus den dichroitischen Spiegeln ausgibt; und

Kondensorlinsen, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüberliegen und Pumplicht kondensieren, das durch die dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Lasermediums gepumpt werden, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums, und derart gebildet ist, dass Pumplicht durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums eintreten und das feste Lasermedium gepumpt wird.

[0145] Eine andere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung umfasst:

einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls;

ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der durch den Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und

einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt umfasst:

ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch das Pumplichtübertragungsmedium durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind

eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und

eine zweite Endfläche, die sich auf der entgegengesetzten Seite zu der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;

ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Wege und einen zweiten geteilten Weg, derart, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichtes in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten;

einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächen­seite reflektiert;

einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt;

eine erste Kondensorlinse, die entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem ersten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und eine erste Pumpkomponente des Pumplichts, das durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche gepumpt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums; und

eine zweite Kondensorlinse, die entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem zweiten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts, das durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche gepumpt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums, und derart gebildet wird, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums eintreten und das feste Lasermedium gepumpt wird.

[0146] In einer Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen teilt das Teilungselement das Pumplicht in einer derartigen Weise, dass mehr von der ersten Pumpkomponente vorhanden ist als von

der zweiten Pumpkomponente.

[0147] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Verhältnis, bei dem die Teilungselemente eintretendes Licht in die erste Pumpkomponente und die zweite Pumpkomponente teilen, auf annähernd 2:1 gesetzt ist.

[0148] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels 30% bis 70% beträgt.

[0149] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der der Laserpumpabschnitt einen Halbleiterlaser umfasst und Pumplicht, das aus dem Halbleiterlaser emittiert wird, nicht polarisiert ist.

[0150] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der ein Q-Schalter vorgesehen ist zwischen dem Ausgabespiegel und dem zweiten dichroitischen Spiegel.

[0151] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst:

einen ersten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, annähernd senkrecht;

einen zweiten reflektierenden Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichtes, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wurde, oder der zweiten oder ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung; und

einen dritten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, annähernd senkrecht, wobei die geteilten Wege, einschließlich des ersten und zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, zweite und dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung es ermöglicht, dass Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

[0152] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, weiter umfassend:

ein Pumplichtkopplungselement zum optischen Kopeln des Pumplichtübertragungsmediums an das Teil-

lungselement; und
eine Apertur, die angeordnet ist zwischen dem zweiten dichroitischen Spiegel und dem Ausgabespiegel und das Laserschwingungslicht umformt.

[0153] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Laserstrahlscanningsystem in dem Laserausgabeabschnitt umfasst:

einen Z-Achsen-Scanner, der eine Linse, durch die Licht eintritt, und eine Linse besitzt, durch die Licht emittiert wird, und die Brennweite des Laserstrahls einstellen kann durch Ändern des relativen Abstandes zwischen der Linse, durch die Licht eintritt, und der Linse, durch die Licht emittiert wird, entlang der optischen Achsen des Laserlichtes, das von dem Laserpumpabschnitt emittiert wird, und der Linsen, durch die Licht eintritt und emittiert wird, in einem derartigen Zustand, dass diese optischen Achsen übereinstimmen;

einen X-Achsen-Scanner oder einen Y-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch den Z-Achsen-Scanner in der Richtung der X- oder der Y-Achse übertragen wird; und

einen Y-Achsen-Scanner oder einen X-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit dem Laserstrahl, mit dem der X-Achsen-Scanner oder Y-Achsen-Scanner das Scannen in der Richtung der Y- oder X-Achse ausführt.

[0154] Eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen festen Laserresonators umfasst:

eine Pumplichtquelle zum Erzeugen von Pumplicht;
ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von der Pumplichtquelle durch die zwei Endflächen eintritt;
ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in zwei Wege in einer derartigen Weise, dass verschiedene Pumpkomponenten des Pumplichts durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums entlang der entsprechenden geteilten Wege eintreten;

dichroitische Spiegel, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den entsprechenden Endflächen gegenüberliegen, es ermöglichen, dass das Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der Endflächen reflektieren;

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Laserschwingungslicht aus den dichroitischen Spiegeln ausgibt; und

Kondensorlinsen, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüberliegen und

Pumplicht, das durch die dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensieren, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Lasermediums bestrahlt werden, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums, und derart gebildet sind, dass Pumplicht in die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums eintritt und das feste Lasermedium gepumpt wird.

[0155] Eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung umfasst:

einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls;

ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der in dem Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und

einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt umfasst:

ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch das Pumplichtübertragungsmedium durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind

eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die das Pumplicht eintritt, und

eine zweite Endfläche, die sich auf der entgegengesetzten Seite zu der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;

ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg, in einer derartigen Weise, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten, und wobei die erste Pumpkomponente größer ist als die zweite Pumpkomponente;

einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächenseite reflektiert;

einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annä-

hernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt, und so gebildet ist, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichts in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium gepumpt wird.

[0156] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Verhältnis, mit dem der Teilungselement eintretendes Licht in die erste Pumpkomponente und die zweite Pumpkomponente teilt, auf annähernd 2:1 gesetzt ist.

[0157] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der ein Q-Schalter zwischen dem Ausgabespiegel und dem zweiten dichroitischen Spiegel vorgesehen ist.

[0158] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, umfassend:

eine erste Kondensorlinse, die entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem ersten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht kondensiert, das durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche mit der ersten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums; und

eine zweite Kondensorlinse, die entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem zweiten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht kondensiert, das durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche mit der zweiten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums.

[0159] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst:

einen ersten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultieren, annähernd senkrecht;

einen zweiten reflektierenden Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichts, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, oder der zweiten oder ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung; und

einen dritten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, annähernd senkrecht; wobei

die geteilten Wege, einschließlich des ersten und zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, zweite und dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung ermöglicht, dass Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

[0160] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, weiter umfassend:

ein Pumplichtkopplungselement zum optischen Kopeln des Pumplichtübertragungsmediums mit dem Teilungselement; und

eine Apertur, die angeordnet ist zwischen dem zweiten dichroitischen Spiegel und dem Ausgabespiegel und das Laserschwingungslicht umformt.

[0161] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der

das Laserstrahlscanningsystem in dem Laserausgabeabschnitt umfasst:

einen Z-Achsen-Scanner, der eine Linse, durch die Licht eintritt, und eine Linse besitzt, durch die Licht emittiert wird, und die Brennweite des Laserstrahls einstellen kann durch Ändern des relativen Abstandes zwischen der Linse, durch die Licht eintritt, und der Linse, durch die Licht emittiert wird, entlang der optischen Achsen des Laserlichtes, das von dem Laserpumpabschnitt emittiert wird, und der Linsen, durch die Licht eintritt und emittiert wird, in einem derartigen Zustand, dass diese optischen Achsen übereinstimmen;

einen X-Achsen-Scanner oder einen Y-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch den Z-Achsen-Scanner in der Richtung der X- oder der Y-Achse übertragen wird; und

einen Y-Achsen-Scanner oder einen X-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit dem Laserstrahl, mit dem der X-Achsen-Scanner oder Y-Achsen-Scanner das Scannen in der Richtung der Y- oder X-Achse ausführt.

[0162] Eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen festen Laserresonators umfasst:

eine Pumplichtquelle zum Erzeugen von Pumplicht; ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von der Pumplichtquelle durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind:

eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und
eine zweite Endfläche, die sich auf der Seite gegen-

über der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird; ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg, derart, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten, und mehr von der ersten Pumpkomponente vorhanden ist als von der zweiten Pumpkomponente;

einen ersten dichroitischen Spiegel, der angeordnet ist entlang des ersten geteilten Wegs in einer derartigen Weise, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächen­seite reflektiert;

einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt, und derart gebildet ist, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichts in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium gepumpt wird.

[0163] Eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung umfasst:

einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls;

ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der in dem Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und

einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt umfasst:

ein kristallines festes Lasermedium, das sich in eine Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind

eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und

eine zweite Endfläche, die sich auf der Seite gegenüber der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;

ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in

einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg, derart, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und die zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintritt;

einen ersten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, annähernd senkrecht;

einen zweiten reflektierenden Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichtes, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wurde, oder der zweiten oder ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung;

einen dritten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wurde, annähernd senkrecht;

einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Wegs in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und ein Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächen­seite reflektiert;

einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt, und derart gebildet ist, dass das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel einen Laserpumpabschnitt bilden, und die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichtes in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium gepumpt wird, und

die geteilten Wege, einschließlich des ersten und dem zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, zweite und dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung es ermöglicht, dass Pumplicht aus dem Laserpumpabschnitt durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

[0164] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laser-

pumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt,

der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die gerade von dem Teilungselement läuft, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der zweite reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass die zweite Pumpkomponente in eine Richtung annähernd parallel zu der geraden Richtung läuft, in der die erste Pumpkomponente läuft,

der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und

das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0165] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der

das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die zweite Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt,

der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente reflektiert, die von dem Teilungselement reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel, derart, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt,

der zweite reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die gerade von dem Teilungselement läuft, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und

das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem

ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0166] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der

das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt,

der erste reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert,

der zweite reflektierende Spiegel Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert,

der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und

das übertragene Licht der ersten Pumpkomponente, die durch das Teilungselement geteilt ist, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0167] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der

das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt,

der erste reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die von dem Teilungselement reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd

rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und die erste Pumpkomponente, die durch das Teilungselement geteilt ist, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, das von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0168] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die zweite Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und die zweite Pumpkomponente, die geteilt ist durch das Teilungselement, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0169] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die zweite Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die zweite Pumpkomponente durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des

festen Lasermediums eintritt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und die zweite Pumpkomponente, die durch das Teilungselement geteilt ist, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0170] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der dritte reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass die zweite Pumpkomponente durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0171] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen be-

reitgestellt, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in der Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die zweite Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der dritte reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass die zweite Pumpkomponente durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

[0172] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Teilungselement, der erste reflektierende Spiegel, der zweite reflektierende Spiegel und der dritte reflektierende Spiegel in derselben Ebene angeordnet sind.

[0173] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der der geteilte Weg, einschließlich des ersten und dem zweiten geteilten Weges, in rechteckiger Form gebildet ist, und das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel angeordnet sind entlang einer langen Seite des geteilten Weges in rechteckiger Form.

[0174] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst: eine erste Kondensorlinse, die entlang des ersten geteilten Wegs in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem ersten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht, das durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart kondensiert,

dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche mit der ersten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums; und eine zweite Kondensorlinse, die entlang des zweiten geteilten Wegs in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem zweiten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht, das durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche mit der zweiten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums.

[0175] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst: ein Pumplichtkopplungselement zum optischen Kopplein des Pumplichtübertragungsmediums an das Teilungselement; und eine Apertur, die zwischen dem zweiten dichroitischen Spiegel und dem Ausgabespiegel angeordnet ist und das Laserschwingungslicht umformt.

[0176] Es ist eine weitere Modifikation der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen bereitgestellt, bei der das Laserlichtscanningsystem in dem Laserausgabeabschnitt ferner umfasst: einen Z-Achsen-Scanner, der eine Linse, durch die Licht eintritt, und eine Linse besitzt, durch die Licht emittiert wird, und die Brennweite des Laserstrahls einstellen kann durch Ändern des relativen Abstandes zwischen der Linse, durch die Licht eintritt, und der Linse, durch die Licht emittiert wird, entlang der optischen Achsen des Laserlichtes, das von dem Laserpumpabschnitt emittiert wird, und der Linsen, durch die Licht eintritt und emittiert wird, in einem derartigen Zustand, dass diese optischen Achsen übereinstimmen; einen X-Achsen-Scanner oder einen Y-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch den Z-Achsen-Scanner in der Richtung der X- oder der Y-Achse übertragen wird; und einen Y-Achsen-Scanner oder einen X-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit dem Laserstrahl, mit dem der X-Achsen-Scanner oder Y-Achsen-Scanner das Scannen in der Richtung der Y- oder X-Achse ausführt.

[0177] Eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen festen Laserresonators umfasst: eine Pumplichtquelle zum Erzeugen von Pumplicht; ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von der Pumplichtquelle durch die zwei Endflächen eintritt; wobei die Endflächen sind: eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die

Pumplicht eintritt, und eine zweite Endfläche, die sich auf der Seite entgegengesetzt zu der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;

ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg derart, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und die zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und den zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten;

einen ersten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, annähernd senkrecht;

einen zweiten reflektierenden Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichtes, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, oder der zweiten oder der ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung;

einen dritten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, annähernd senkrecht;

einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächen-seite reflektiert;

einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Licht eingibt und ausgibt, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, und derart gebildet ist, dass

die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichtes in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium angeregt wird, und

die geteilten Wege, einschließlich des ersten und des zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, der zweite und der dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung es ermöglicht, dass Pumplicht von der Pumplichtquelle durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

[0178] Die letztgenannte Ausführungsform kann weiter modifiziert werden durch eines oder mehrere Merkmale der vorstehenden Ausführungsformen und Modifikationen.

Bezugszeichenliste

Fig. 1

	Eingabeabschnitt
	Anzeigeabschnitt
1	Lasersteuerungsabschnitt
	Steuerungsabschnitt
	Speicherabschnitt
	Stromversorgungsschaltung
10	Laserpumpabschnitt
35	Scannerantriebsabschnitt
30	Laserstrahlscanningsystem
2	Laserausgabeabschnitt

Fig. 14

Wirkungsgrad der Absorption [%]
Pumpwellenlänge [nm]

Fig. 15

Laserausgabe (W)
LD-Wellenlänge (nm)
0,27%, Kristall von 3 × 3 × 15 mm (zweidirektionales Pumpen)
0,27%, Kristall von 3 × 3 × 10 mm (eindirektionales Pumpen)

Fig. 16

Anstieg in der Laserausgabe (A. U.)
Zeit (sec)
eindirektionales Pumpen (LD = 810 nm)
eindirektionales Pumpen (LD = 808 nm)
eindirektionales Pumpen (LD = 806 nm)
zweidirektionales Pumpen (LD = 810 nm)
zweidirektionales Pumpen (LD = 808 nm)
zweidirektionales Pumpen (LD = 806 nm)

Fig. 18

Ausgabeeigenschaften zum Zeitpunkt des CW-Betriebs
Laserausgabe (W)
LD-Leistung (W)
Reflektionsgrad des Strahlteilers: 33%
Reflektionsgrad des Strahlteilers 45%
Reflektionsgrad des Strahlteilers: 20%

Fig. 19

Ausgabeeigenschaften zum Zeitpunkt des
Q-Schalter-Betriebs (Betrieb bei 20 kHz)
Laserausgabe (W)
LD-Leistung (W)
Reflektionsgrad des Strahlteilers: 33%
Reflektionsgrad des Strahlteilers: 45%
Reflektionsgrad des Strahlteilers: 20%

Abschnitt zum Einstellen der Anfangsstelle
Abschnitt zum Detektieren eines fehlerhaft bear-
beiteten Bereichs
Abschnitt zum Einstellen der Bedingungen zum
Bearbeiten
Abschnitt zum Bearbeiten einer Hervorhebung
Abschnitt für Warnungseinstellung
Controller
Beschriftungskopf

Fig. 20

rückseitiger Spiegel
Ausgabespiegel
Reflektionsgrad R
Leistung innerhalb Resonator

Fig. 32

Controller
Bilderkennungsvorrichtung
Abstandsmessvorrichtung

Fig. 21

zweidirektionales Pumpen
Laserausgabe (W)
eindirektionales Pumpen
Reflektionsgrad des Ausgabespiegels

Fig. 33

Eingabeabschnitt
Anzeigeabschnitt
Steuerungsabschnitt
901 Lasersteuerungsabschnitt
Speicherabschnitt
Stromversorgungsschaltung
910 Laserpumpabschnitt
902 Laserausgabeabschnitt
Laserstrahlscanningabschnitt
920 Laserresonanzabschnitt

Fig. 22

Energie innerhalb Resonator (W)
Reflektionsgrad des Ausgabespiegels

Fig. 23

Laserausgabe (W)
LD-Leistung (W)
Reflektionsgrad des Ausgabespiegels: 50%
Reflektionsgrad des Ausgabespiegels: 3%

Fig. 28

Eingabeabschnitt
Abschnitt zum Einstellen der Gruppe
Abschnitt zum Einstellen des Blocks zum Bear-
beiten
Abschnitt zum Eingeben des Profils der Oberflä-
che zum Bearbeiten
Abschnitt zum Eingeben von Muster zum Bear-
beiten
Abschnitt zum Anpassen der Stelle
Anzeigeabschnitt
Speicherabschnitt
Betriebsabschnitt
Abschnitt zum Erzeugen von Daten zum Bear-
beiten

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 11-505376 [\[0003\]](#)

Patentansprüche

1. Laserbearbeitungsvorrichtung, umfassend:
 einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls;
 ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der durch den Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und
 einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt umfasst:
 ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch das Pumplichtübertragungsmedium durch die zwei Endflächen eintritt;
 ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in zwei Wege derart, dass verschiedene Pumpkomponenten des Pumplichtes durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums entlang der entsprechenden geteilten Wege eintreten;
 dichroitische Spiegel, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie der entsprechenden Endfläche gegenüberliegen, es ermöglichen, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der Endflächen reflektieren;
 einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und in eine Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht orientiert ist, und das Laserschwingungslicht aus den dichroitischen Spiegeln ausgibt; und
 Kondensorlinsen, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüberliegen und Pumplicht kondensieren, das durch die dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Lasermediums gepumpt werden, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums, und derart gebildet ist, dass Pumplicht durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums eintreten und das feste Lasermedium gepumpt wird.

2. Laserbearbeitungsvorrichtung, umfassend:
 einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls;
 ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der durch den Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und
 einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei

der Laserausgabeabschnitt umfasst:
 ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch das Pumplichtübertragungsmedium durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind
 eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und
 eine zweite Endfläche, die sich auf der entgegengesetzten Seite zu der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;
 ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Wege und einen zweiten geteilten Weg, derart, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichtes in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten;
 einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächen­seite reflektiert;
 einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und
 einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt;
 eine erste Kondensorlinse, die entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem ersten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und eine erste Pumpkomponente des Pumplichts, das durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche gepumpt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums; und
 eine zweite Kondensorlinse, die entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem zweiten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts, das durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche gepumpt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums, und derart gebildet wird, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und zweite Endfläche des festen Lasermedi-

ums eintreten und das feste Lasermedium gepumpt wird.

3. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Teilungselement das Pumplicht in einer derartigen Weise teilt, dass mehr von der ersten Pumpkomponente vorhanden ist als von der zweiten Pumpkomponente.

4. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 3, bei der das Verhältnis, bei dem die Teilungselemente eintretendes Licht in die erste Pumpkomponente und die zweite Pumpkomponente teilen, auf annähernd 2:1 gesetzt ist.

5. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Reflektionsgrad des Ausgabespiegels 30% bis 70% beträgt.

6. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Laserpumpabschnitt einen Halbleiterlaser umfasst und Pumplicht, das aus dem Halbleiterlaser emittiert wird, nicht polarisiert ist.

7. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der ein Q-Schalter vorgesehen ist zwischen dem Ausgabespiegel und dem zweiten dichroitischen Spiegel.

8. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst: einen ersten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, annähernd senkrecht; einen zweiten reflektierenden Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichtes, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wurde, oder der zweiten oder ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung; und einen dritten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, annähernd senkrecht, wobei die geteilten Wege, einschließlich des ersten und zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, zweite und dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung es ermöglicht, dass Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

9. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend: ein Pumplichtkopplungselement zum optischen Kopeln des Pumplichtübertragungsmediums an das Teilungselement; und

eine Apertur, die angeordnet ist zwischen dem zweiten dichroitischen Spiegel und dem Ausgabespiegel und das Laserschwingungslicht umformt.

10. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Laserstrahlscanningsystem in dem Laserausgabeabschnitt umfasst:

einen Z-Achsen-Scanner, der eine Linse, durch die Licht eintritt, und eine Linse besitzt, durch die Licht emittiert wird, und die Brennweite des Laserstrahls einstellen kann durch Ändern des relativen Abstandes zwischen der Linse, durch die Licht eintritt, und der Linse, durch die Licht emittiert wird, entlang der optischen Achsen des Laserlichtes, das von dem Laserpumpabschnitt emittiert wird, und der Linsen, durch die Licht eintritt und emittiert wird, in einem derartigen Zustand, dass diese optischen Achsen übereinstimmen;

einen X-Achsen-Scanner oder einen Y-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch den Z-Achsen-Scanner in der Richtung der X- oder der Y-Achse übertragen wird; und

einen Y-Achsen-Scanner oder einen X-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit dem Laserstrahl, mit dem der X-Achsen-Scanner oder Y-Achsen-Scanner das Scannen in der Richtung der Y- oder X-Achse ausführt.

11. Fester Laserresonator, umfassend:

eine Pumplichtquelle zum Erzeugen von Pumplicht; ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von der Pumplichtquelle durch die zwei Endflächen eintritt; ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in zwei Wege in einer derartigen Weise, dass verschiedene Pumpkomponenten des Pumplichts durch die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums entlang der entsprechenden geteilten Wege eintreten;

dichroitische Spiegel, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den entsprechenden Endflächen gegenüberliegen, es ermöglichen, dass das Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der Endflächen reflektieren;

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Laserschwingungslicht aus den dichroitischen Spiegeln ausgibt; und

Kondensorlinsen, die entlang der geteilten Wege in einer derartigen Weise angeordnet sind, dass sie den dichroitischen Spiegeln gegenüberliegen und Pumplicht, das durch die dichroitischen Spiegel übertragen wird, in einer derartigen Weise kondensieren,

dass der Durchmesser des Spots, bei dem die Endflächen des festen Lasermediums bestrahlt werden, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums, und derart gebildet sind, dass Pumplicht in die entsprechenden Endflächen des festen Lasermediums eintritt und das feste Lasermedium gepumpt wird.

12. Laserbearbeitungsvorrichtung, umfassend:
 einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls;
 ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der in dem Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und
 einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt umfasst:
 ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch das Pumplichtübertragungsmedium durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind
 eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die das Pumplicht eintritt, und
 eine zweite Endfläche, die sich auf der entgegengesetzten Seite zu der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;
 ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg, in einer derartigen Weise, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten, und wobei die erste Pumpkomponente größer ist als die zweite Pumpkomponente;
 einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächenenseite reflektiert;
 einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und
 einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt, und so gebildet ist, dass die erste und zweite Pumpkomponente des

Pumplichts in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium gepumpt wird.

13. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 12, bei der das Verhältnis, mit dem der Teilungselement eintretendes Licht in die erste Pumpkomponente und die zweite Pumpkomponente teilt, auf annähernd 2:1 gesetzt ist.

14. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der ein Q-Schalter zwischen dem Ausgabespiegel und dem zweiten dichroitischen Spiegel vorgesehen ist.

15. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, umfassend:
 eine erste Kondensorlinse, die entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem ersten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht kondensiert, das durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche mit der ersten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums; und
 eine zweite Kondensorlinse, die entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem zweiten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht kondensiert, das durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche mit der zweiten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM₀₀-Mode des festen Lasermediums.

16. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst:
 einen ersten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultieren, annähernd senkrecht;
 einen zweiten reflektierenden Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichts, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, oder der zweiten oder ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung; und
 einen dritten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, annähernd senkrecht; wobei die geteilten Wege, einschließlich des ersten und zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, zweite und dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung ermöglicht, dass Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt

durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

17. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend:

ein Pumplichtkopplungselement zum optischen Kopplern des Pumplichtübertragungsmediums mit dem Teilungselement; und

eine Apertur, die angeordnet ist zwischen dem zweiten dichroitischen Spiegel und dem Ausgabespiegel und das Laserschwingungslicht umformt.

18. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Laserstrahlscanningsystem in dem Laserausgabeabschnitt umfasst:

einen Z-Achsen-Scanner, der eine Linse, durch die Licht eintritt, und eine Linse besitzt, durch die Licht emittiert wird, und die Brennweite des Laserstrahls einstellen kann durch Ändern des relativen Abstandes zwischen der Linse, durch die Licht eintritt, und der Linse, durch die Licht emittiert wird, entlang der optischen Achsen des Laserlichtes, das von dem Laserpumpabschnitt emittiert wird, und der Linsen, durch die Licht eintritt und emittiert wird, in einem derartigen Zustand, dass diese optischen Achsen übereinstimmen;

einen X-Achsen-Scanner oder einen Y-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch den Z-Achsen-Scanner in der Richtung der X- oder der Y-Achse übertragen wird; und

einen Y-Achsen-Scanner oder einen X-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit dem Laserstrahl, mit dem der X-Achsen-Scanner oder Y-Achsen-Scanner das Scannen in der Richtung der Y- oder X-Achse ausführt.

19. Fester Laserresonator, umfassend:

eine Pumplichtquelle zum Erzeugen von Pumplicht; ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von der Pumplichtquelle durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind:

eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und

eine zweite Endfläche, die sich auf der Seite gegenüber der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;

ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg, derart, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten, und mehr von der ersten Pumpkomponente vorhanden ist als von der zweiten Pumpkomponente;

einen ersten dichroitischen Spiegel, der angeordnet ist entlang des ersten geteilten Wegs in einer derartigen Weise, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächenfläche reflektiert;

einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt, und derart gebildet ist, dass die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichts in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium gepumpt wird.

20. Laserbearbeitungsvorrichtung, umfassend:

einen Lasersteuerungsabschnitt, umfassend einen Laserpumpabschnitt zum Erzeugen eines Laserstrahls;

ein Pumplichtübertragungsmedium zum Übertragen eines Laserstrahls, der in dem Lasersteuerungsabschnitt erzeugt wird; und

einen Laserausgabeabschnitt, umfassend ein Laserstrahlscanningsystem zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch das Pumplichtübertragungsmedium übertragen wird, wobei der Laserausgabeabschnitt umfasst:

ein kristallines festes Lasermedium, das sich in eine Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und eine Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt durch die zwei Endflächen eintritt, wobei die Endflächen sind

eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und

eine zweite Endfläche, die sich auf der Seite gegenüber der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;

ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus dem Laserpumpabschnitt ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg, derart, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und die zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und zweiten geteilten Weg entsprechend eintritt;

einen ersten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, annähernd senkrecht;

einen zweiten reflektierenden Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichtes, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wurde, oder der zweiten oder ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung

durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung;
 einen dritten reflektierenden Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wurde, annähernd senkrecht;
 einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Wegs in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und ein Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächen­seite reflektiert;
 einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und
 einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, Licht, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, eingibt und ausgibt, und derart gebildet ist, dass das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel einen Laserpumpabschnitt bilden, und die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichtes in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium gepumpt wird, und
 die geteilten Wege, einschließlich des ersten und dem zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, zweite und dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung es ermöglicht, dass Pumplicht aus dem Laserpumpabschnitt durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

21. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der
 das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt,
 der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die gerade von dem Teilungselement läuft, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt,
 der zweite reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass die zweite Pumpkomponente in

eine Richtung annähernd parallel zu der geraden Richtung läuft, in der die erste Pumpkomponente läuft,
 der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und
 das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

22. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der
 das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die zweite Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt,
 der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente reflektiert, die von dem Teilungselement reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel, derart, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt,
 der zweite reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die gerade von dem Teilungselement läuft, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert,
 der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und
 das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

23. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der
 das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel über-

tragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der erste reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und das übertragene Licht der ersten Pumpkomponente, die durch das Teilungselement geteilt ist, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie beegnen.

24. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die erste Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der erste reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die von dem Teilungselement reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und die erste Pumpkomponente, die durch das Teilungselement geteilt ist, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, das von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie beegnen.

25. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laser-

pumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die zweite Pumpkomponente durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und die zweite Pumpkomponente, die geteilt ist durch das Teilungselement, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie beegnen.

26. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in die Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die zweite Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, derart teilt, dass die zweite Pumpkomponente durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der dritte reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und die zweite Pumpkomponente, die durch das Teilungselement geteilt ist, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind,

dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

27. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine erste Pumpkomponente, die in der Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine zweite Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die erste Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der dritte reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass die zweite Pumpkomponente durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

28. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der das Teilungselement Pumplicht von dem Laserpumpabschnitt in eine zweite Pumpkomponente, die in der Richtung, in der das Pumplicht läuft, übertragen wird, und eine erste Pumpkomponente, die in einem annähernd rechten Winkel relativ zu der geraden Richtung, in der die zweite Pumpkomponente läuft, reflektiert wird, teilt, der erste reflektierende Spiegel die erste Pumpkomponente, die von dem Teilungselement in einem annähernd rechten Winkel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel reflektiert, der zweite reflektierende Spiegel das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, in einem annähernd rechten Winkel derart reflektiert, dass das reflektierte Licht durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die erste Endfläche des festen Lasermediums eintritt, der dritte reflektierende Spiegel die zweite Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einem annähernd rechten Win-

kel derart reflektiert, dass die zweite Pumpkomponente durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird und durch die zweite Endfläche des festen Lasermediums eintritt, und das Licht der ersten Pumpkomponente, die von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, und das Licht der zweiten Pumpkomponente, die von dem dritten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, derart eingestellt sind, dass sie einander entlang derselben axialen Linie begegnen.

29. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der das Teilungselement, der erste reflektierende Spiegel, der zweite reflektierende Spiegel und der dritte reflektierende Spiegel in derselben Ebene angeordnet sind.

30. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der der geteilte Weg, einschließlich des ersten und dem zweiten geteilten Weges, in rechteckiger Form gebildet ist, und das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel angeordnet sind entlang einer langen Seite des geteilten Weges in rechteckiger Form.

31. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst: eine erste Kondensorlinse, die entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem ersten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht, das durch den ersten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die erste Endfläche mit der ersten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums; und eine zweite Kondensorlinse, die entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass sie dem zweiten dichroitischen Spiegel gegenüberliegt und Pumplicht, das durch den zweiten dichroitischen Spiegel übertragen wird, derart kondensiert, dass der Durchmesser des Spots, bei dem die zweite Endfläche mit der zweiten Pumpkomponente bestrahlt wird, kleiner wird als in der TEM_{00} -Mode des festen Lasermediums.

32. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 20, bei der der Laserausgabeabschnitt weiter umfasst: ein Pumplichtkopplungselement zum optischen Kopeln des Pumplichtübertragungsmediums an das Teilungselement; und eine Apertur, die zwischen dem zweiten dichroitischen Spiegel und dem Ausgabespiegel angeordnet ist und das Laserschwingungslicht umformt.

33. Laserbearbeitungsvorrichtung nach An-

spruch 20, bei der das Laserlichtscanningsystem in dem Laserausgabeabschnitt ferner umfasst:

einen Z-Achsen-Scanner, der eine Linse, durch die Licht eintritt, und eine Linse besitzt, durch die Licht emittiert wird, und die Brennweite des Laserstrahls einstellen kann durch Ändern des relativen Abstandes zwischen der Linse, durch die Licht eintritt, und der Linse, durch die Licht emittiert wird, entlang der optischen Achsen des Laserlichtes, das von dem Laserpumpabschnitt emittiert wird, und der Linsen, durch die Licht eintritt und emittiert wird, in einem derartigen Zustand, dass diese optischen Achsen übereinstimmen;

einen X-Achsen-Scanner oder einen Y-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit einem Laserstrahl, der durch den Z-Achsen-Scanner in der Richtung der X- oder der Y-Achse übertragen wird; und

einen Y-Achsen-Scanner oder einen X-Achsen-Scanner zum Ausführen eines Scannens mit dem Laserstrahl, mit dem der X-Achsen-Scanner oder Y-Achsen-Scanner das Scannen in der Richtung der Y- oder X-Achse ausführt.

34. Fester Laserresonator, umfassend:

eine Pumplichtquelle zum Erzeugen von Pumplicht; ein kristallines festes Lasermedium, das sich in einer Richtung erstreckt, zwei Endflächen besitzt und Laserschwingung erzeugt, wenn Pumplicht von der Pumplichtquelle durch die zwei Endflächen eintritt; wobei die Endflächen sind:

eine erste Endfläche, die eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt, und

eine zweite Endfläche, die sich auf der Seite entgegengesetzt zu der ersten Endfläche befindet und eine Fläche bildet, durch die Pumplicht eintritt und emittiert wird;

ein Teilungselement zum Teilen von Pumplicht, das aus der Pumplichtquelle ausgegeben wird, in einen ersten geteilten Weg und einen zweiten geteilten Weg derart, dass eine erste und eine zweite Pumpkomponente des Pumplichts durch die erste und die zweite Endfläche des festen Lasermediums durch den ersten und den zweiten geteilten Weg entsprechend eintreten;

ein erster reflektierender Spiegel zum Reflektieren der ersten oder zweiten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, annähernd senkrecht;

ein zweiter reflektierender Spiegel zum weiteren Reflektieren des Lichtes, das von dem ersten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, oder der zweiten oder der ersten Pumpkomponente, die aus der Teilung durch das Teilungselement resultiert, in einer annähernd senkrechten Richtung;

ein dritter reflektierender Spiegel zum Reflektieren des Lichtes, das von dem zweiten reflektierenden Spiegel reflektiert wird, annähernd senkrecht;

einen ersten dichroitischen Spiegel, der entlang des ersten geteilten Weges in einer derartigen Weise an-

geordnet ist, dass er der ersten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht in Richtung der ersten Endflächenseite reflektiert;

einen zweiten dichroitischen Spiegel, der entlang des zweiten geteilten Weges in einer derartigen Weise angeordnet ist, dass er der zweiten Endfläche gegenüberliegt, es ermöglicht, dass Pumplicht übertragen wird, und Laserschwingungslicht reflektiert; und

einen Ausgabespiegel, der an einer derartigen Stelle angeordnet ist, dass keine Interferenz mit den geteilten Wegen, und orientiert ist in einer Richtung annähernd senkrecht zum Laserschwingungslicht, und Licht eingibt und ausgibt, das von dem zweiten dichroitischen Spiegel reflektiert wird, und derart gebildet ist, dass

die erste und zweite Pumpkomponente des Pumplichtes in die erste und zweite Endfläche des festen Lasermediums entsprechend eintreten, und das feste Lasermedium angeregt wird, und

die geteilten Wege, einschließlich des ersten und des zweiten geteilten Weges, das Teilungselement und der erste, der zweite und der dritte reflektierende Spiegel in einer rechteckigen Form gebildet sind, das feste Lasermedium und der erste und der zweite dichroitische Spiegel auf einer beliebigen Seite der rechteckigen Form angeordnet sind, und die Anordnung es ermöglicht, dass Pumplicht von der Pumplichtquelle durch eine beliebige Spitze der rechteckigen Form und eine Linie, die sich von einer Seite der rechteckigen Form erstreckt, die die Spitze umfasst, eintritt.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

100



Fig. 2

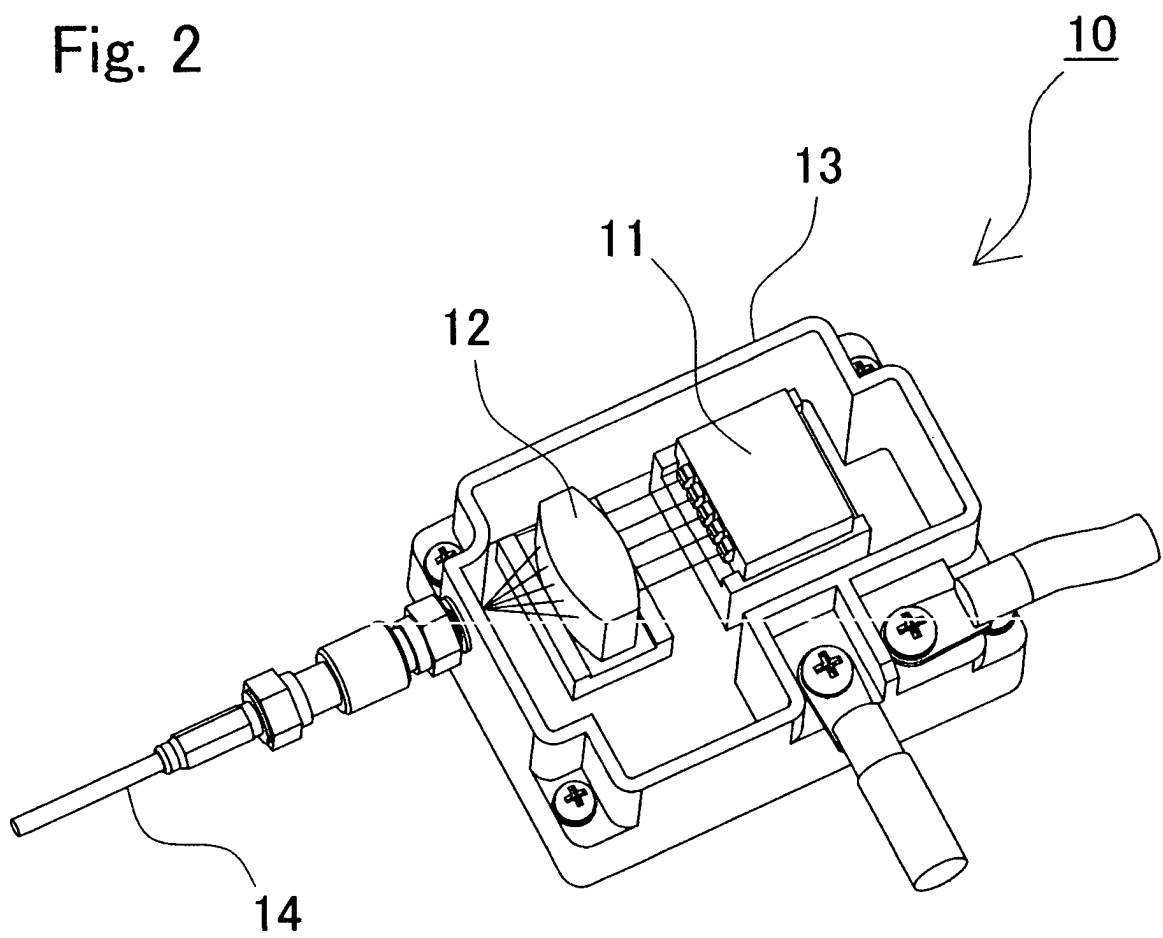


Fig. 3

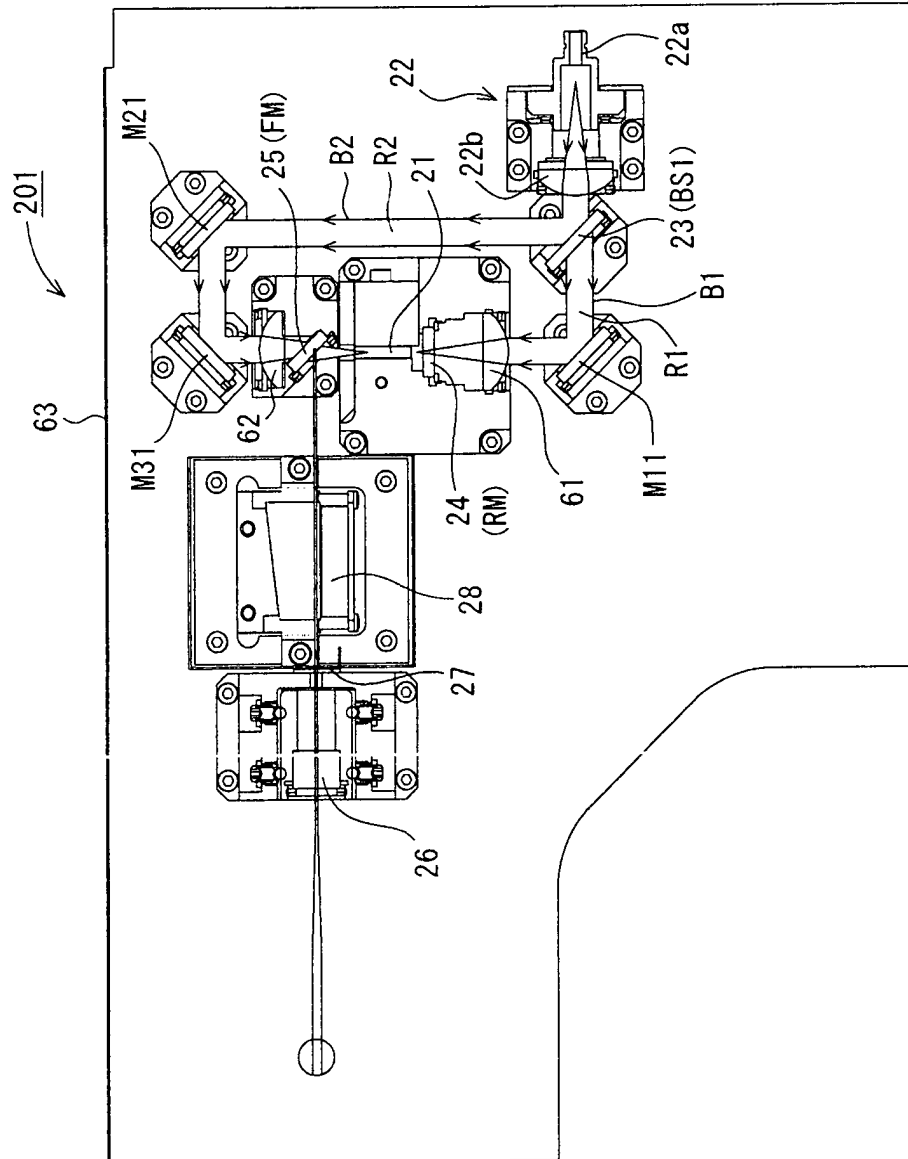


Fig. 4

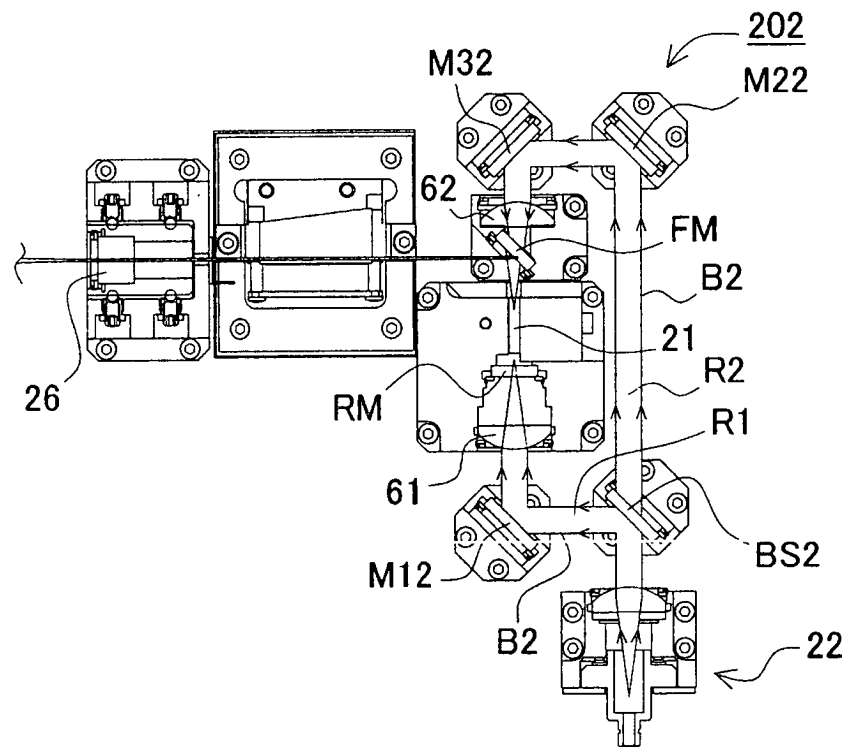


Fig. 5

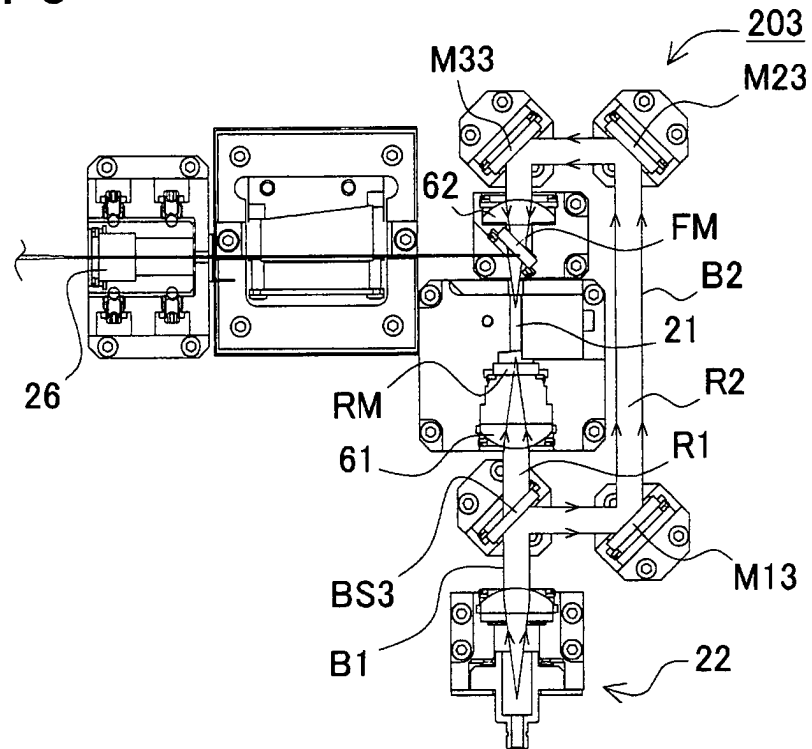


Fig. 6

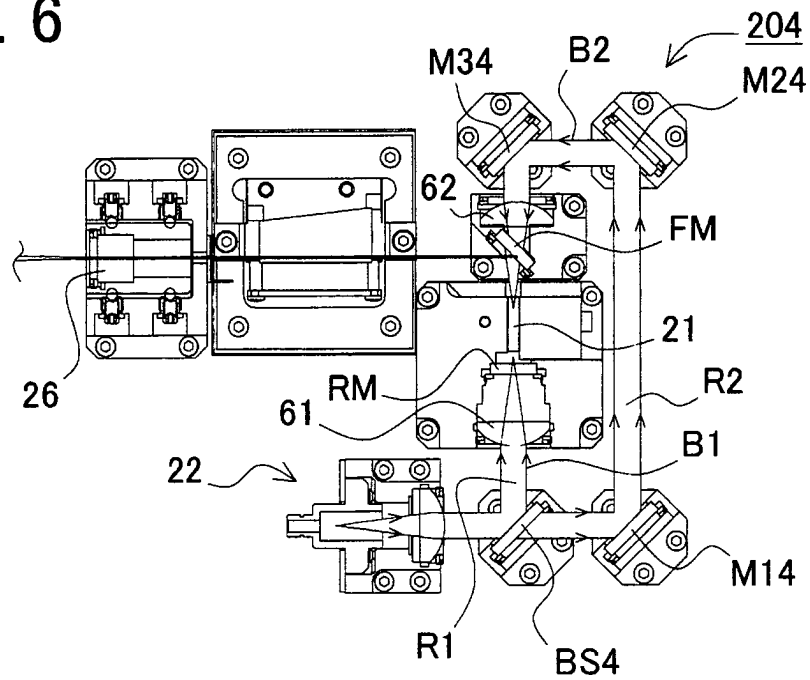


Fig. 7

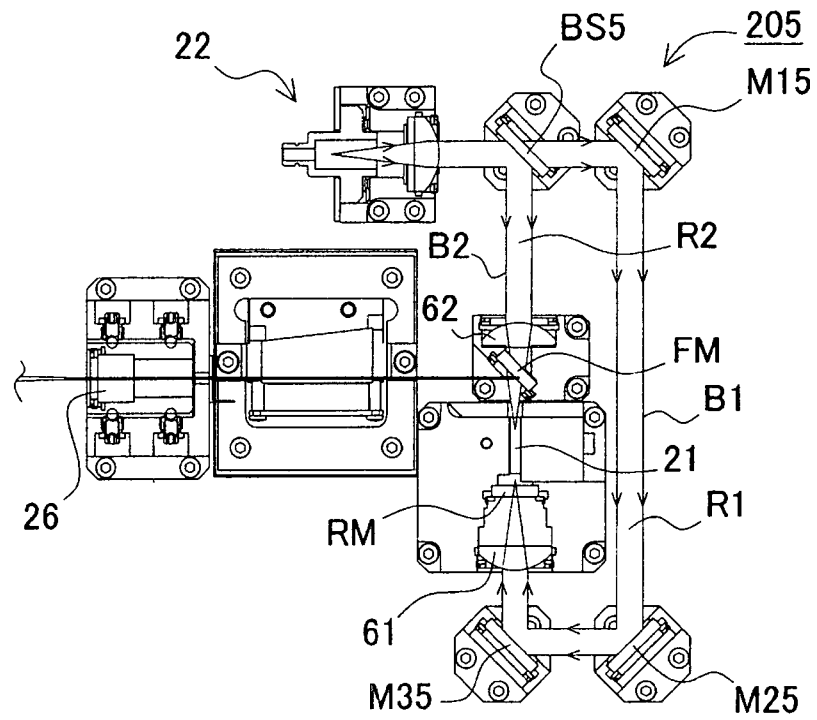


Fig. 8

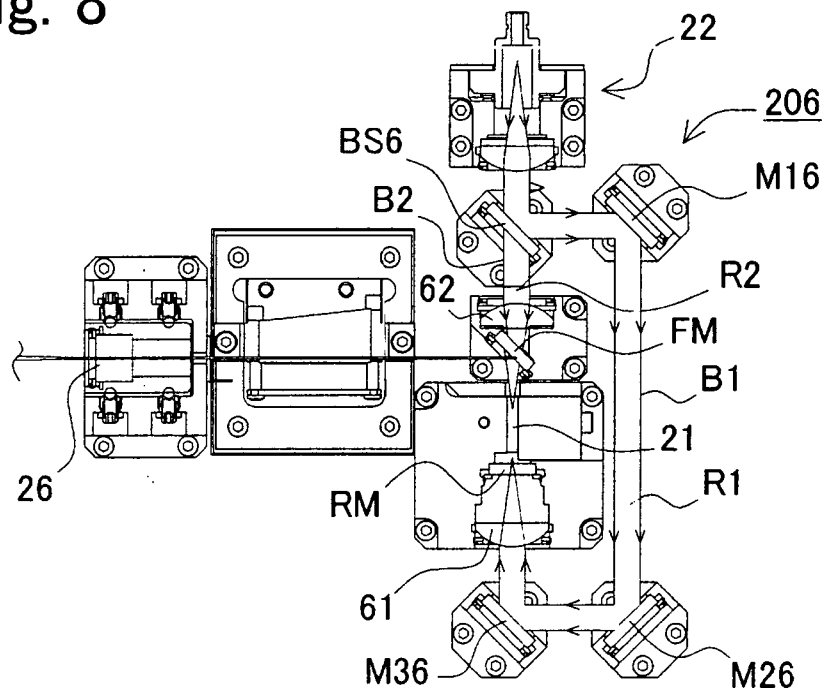


Fig. 9

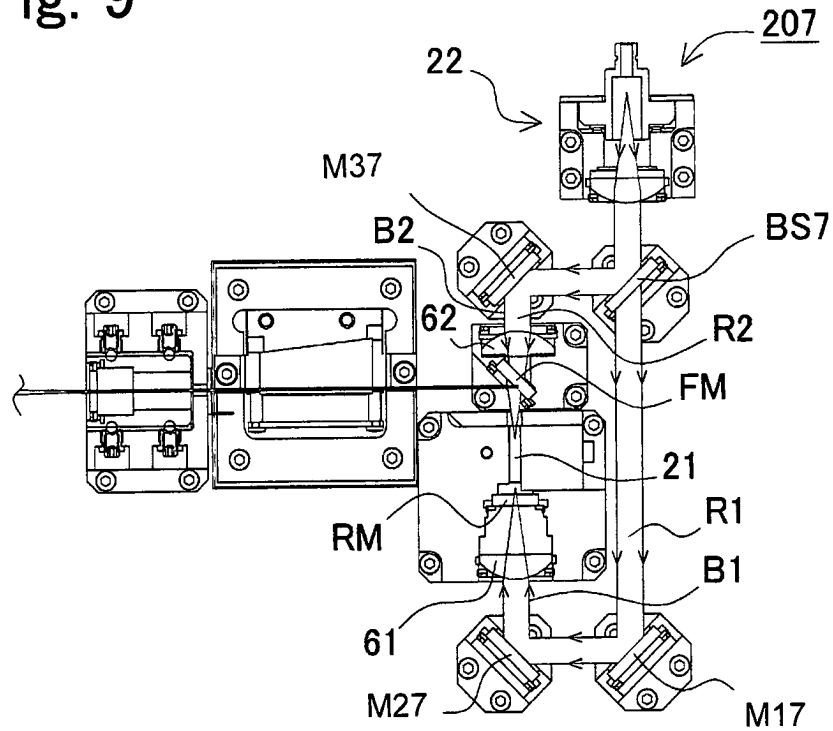


Fig. 10

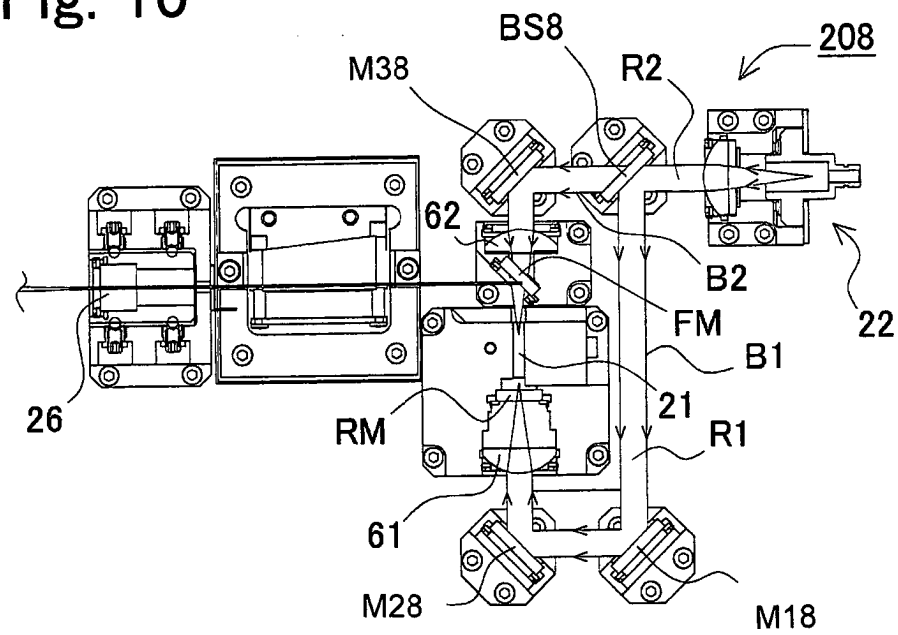


Fig. 11

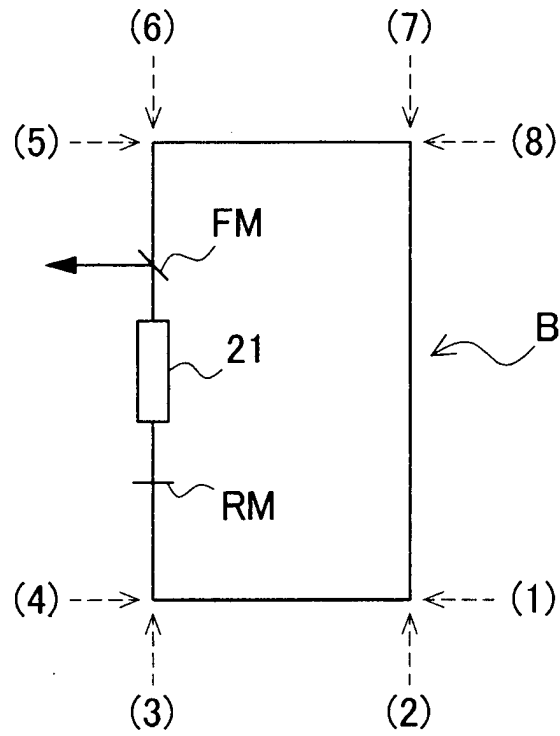


Fig. 12

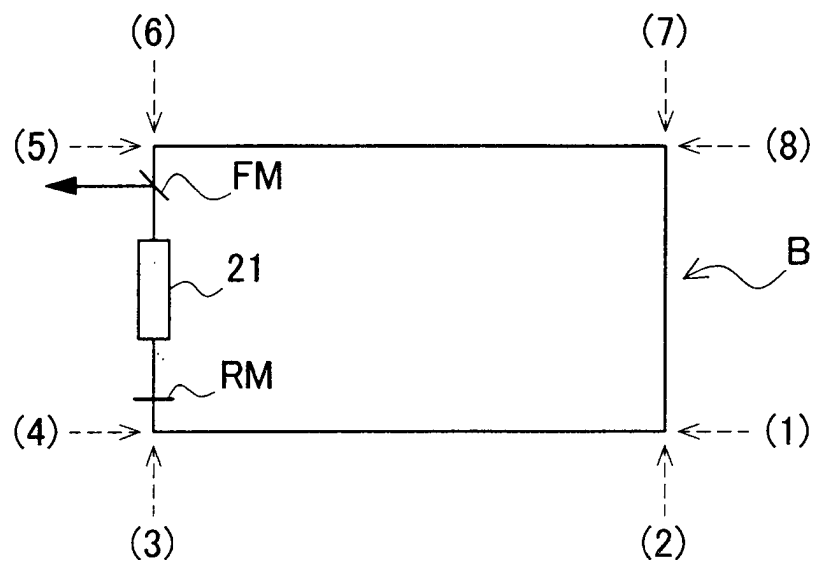


Fig. 13

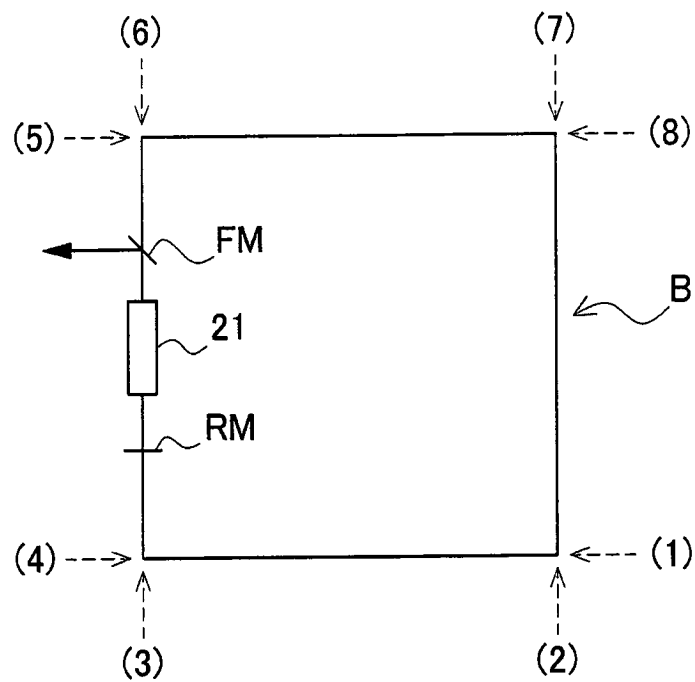


Fig. 14

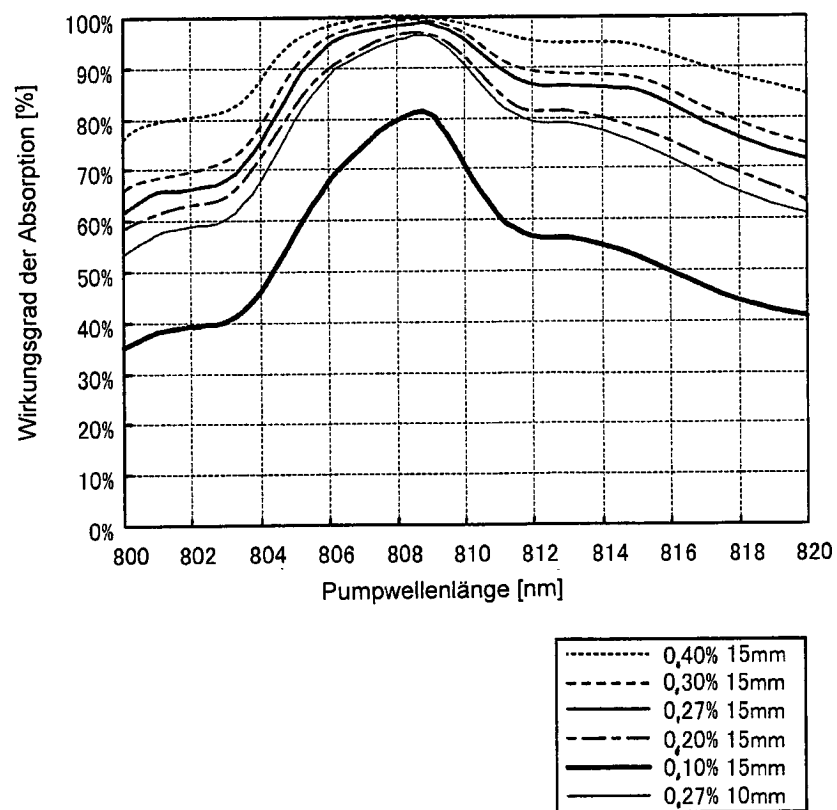


Fig. 15

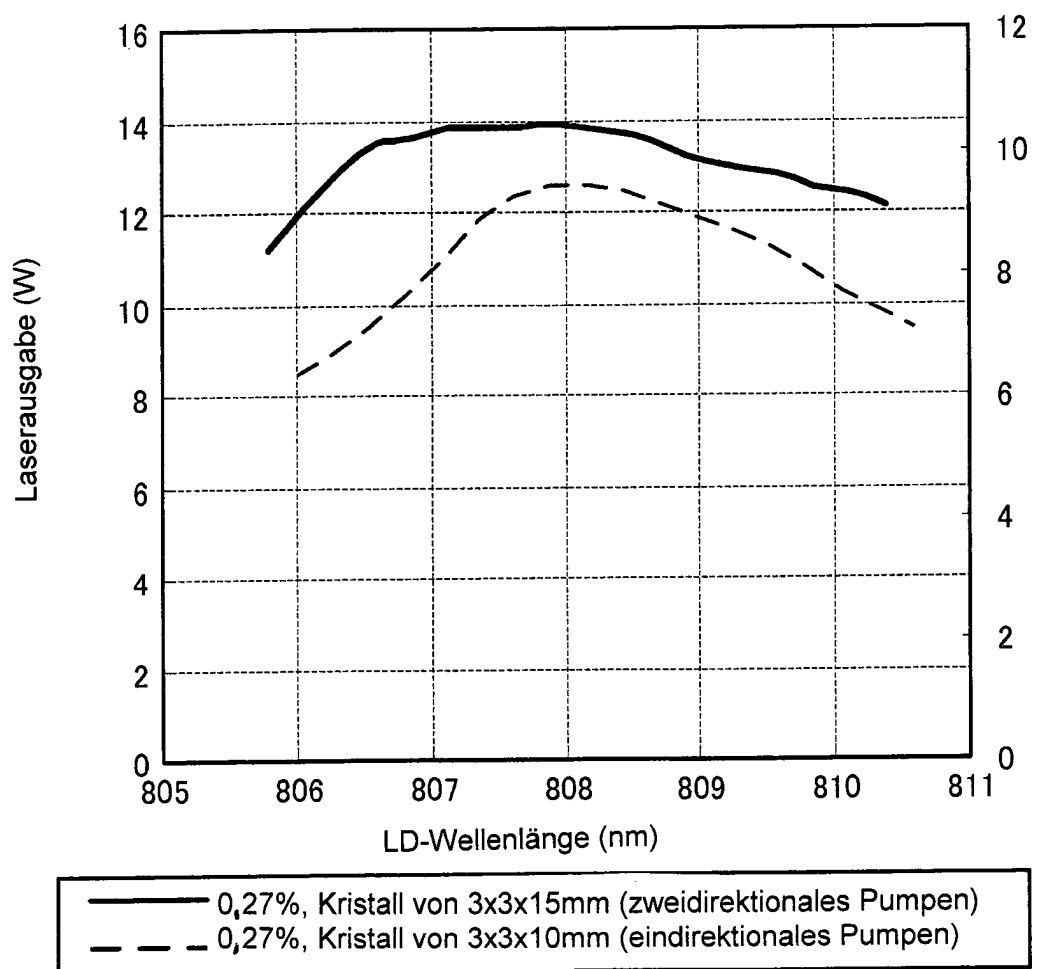


Fig. 16

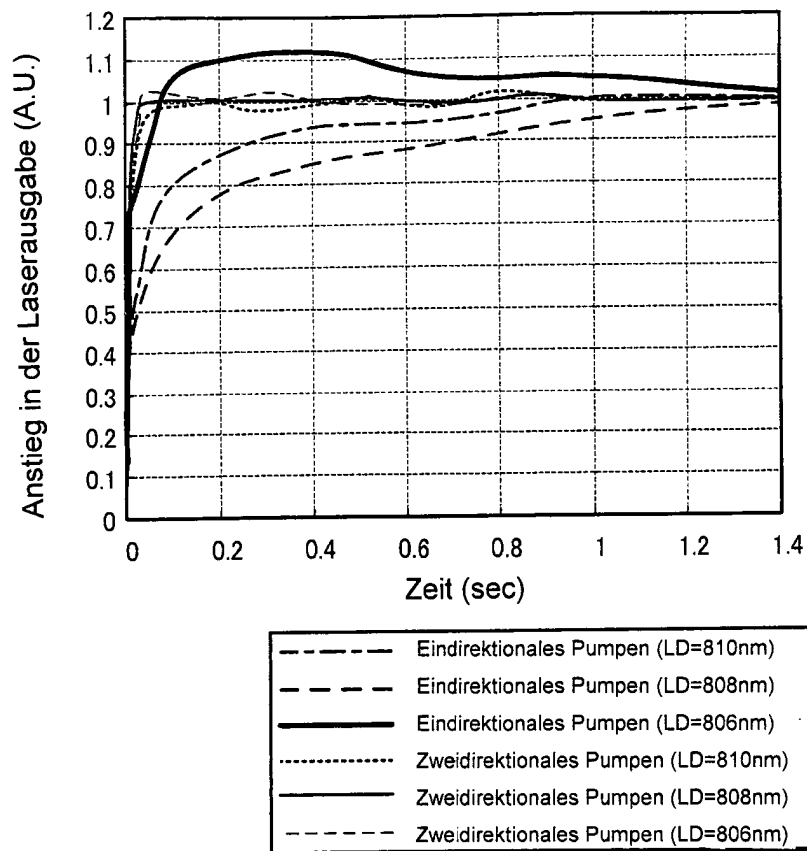


Fig. 17

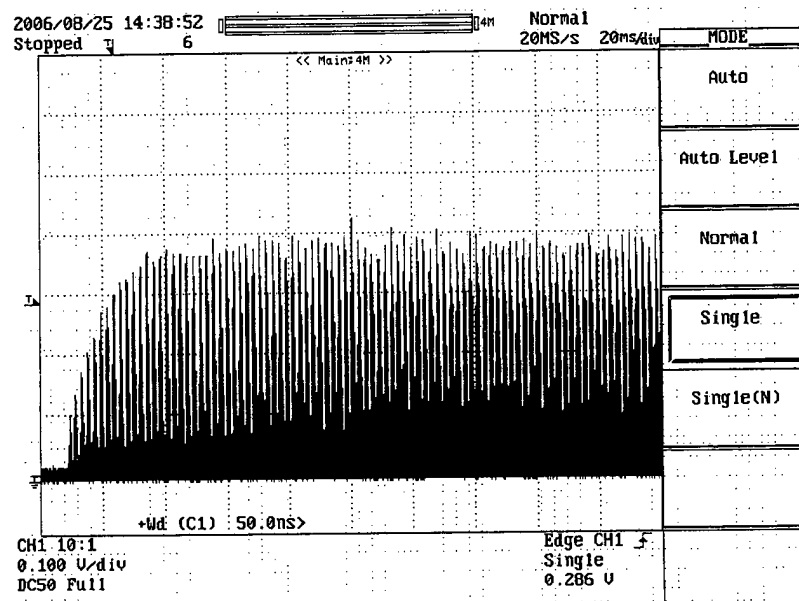


Fig. 18

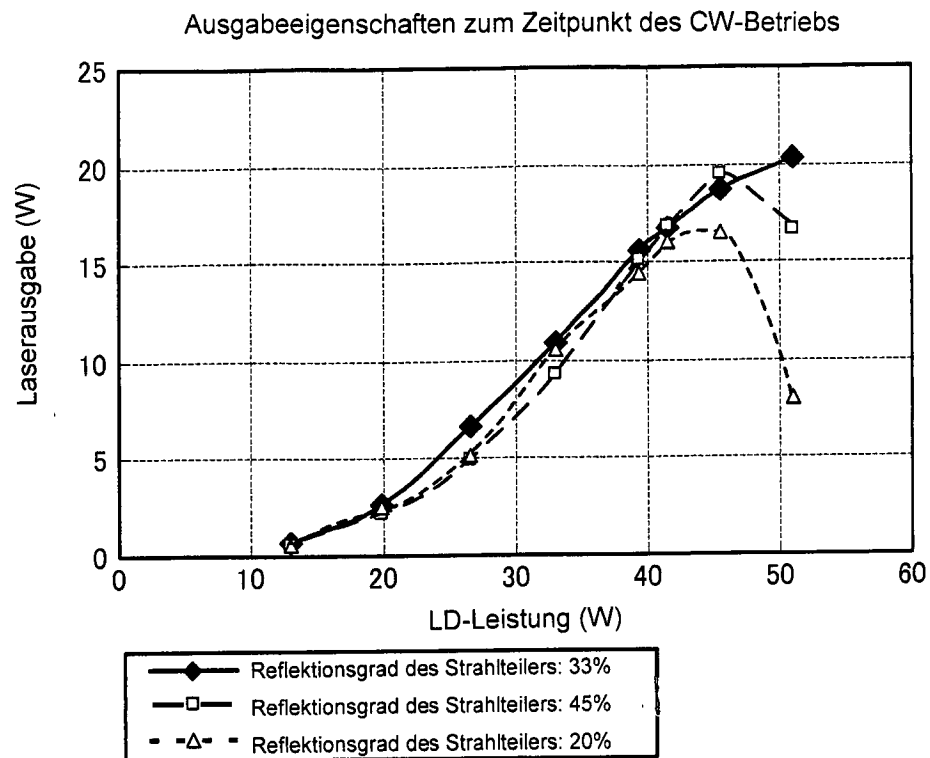


Fig. 19

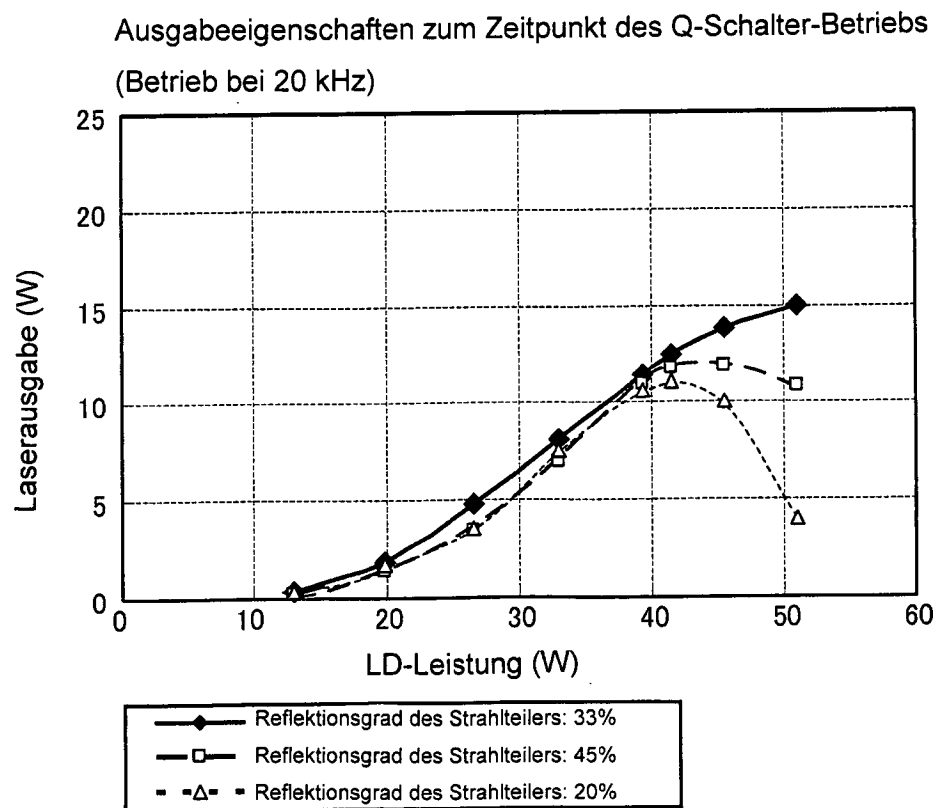


Fig. 20

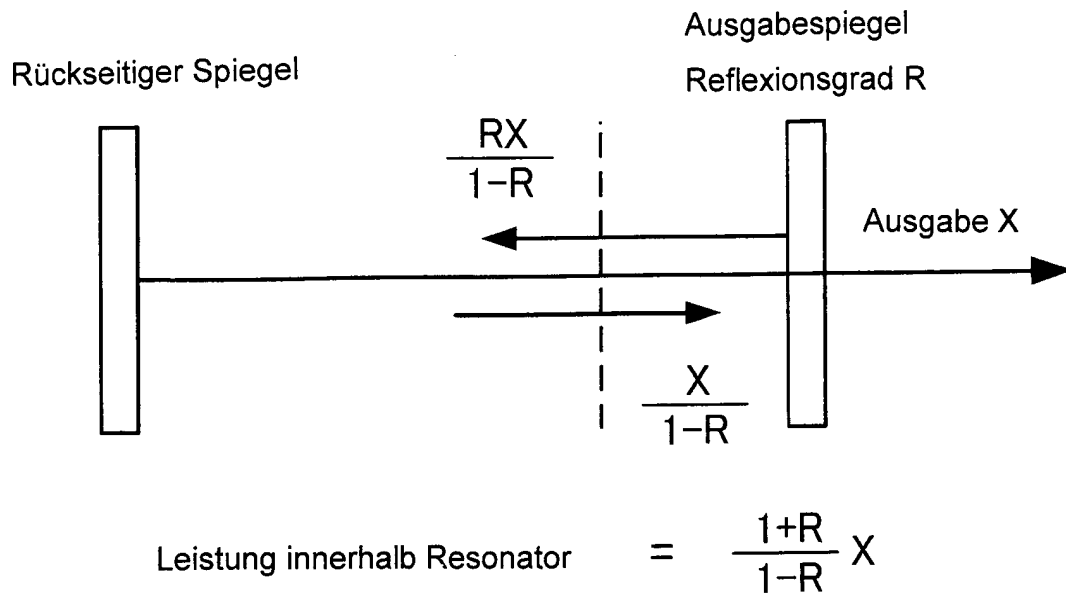


Fig. 21

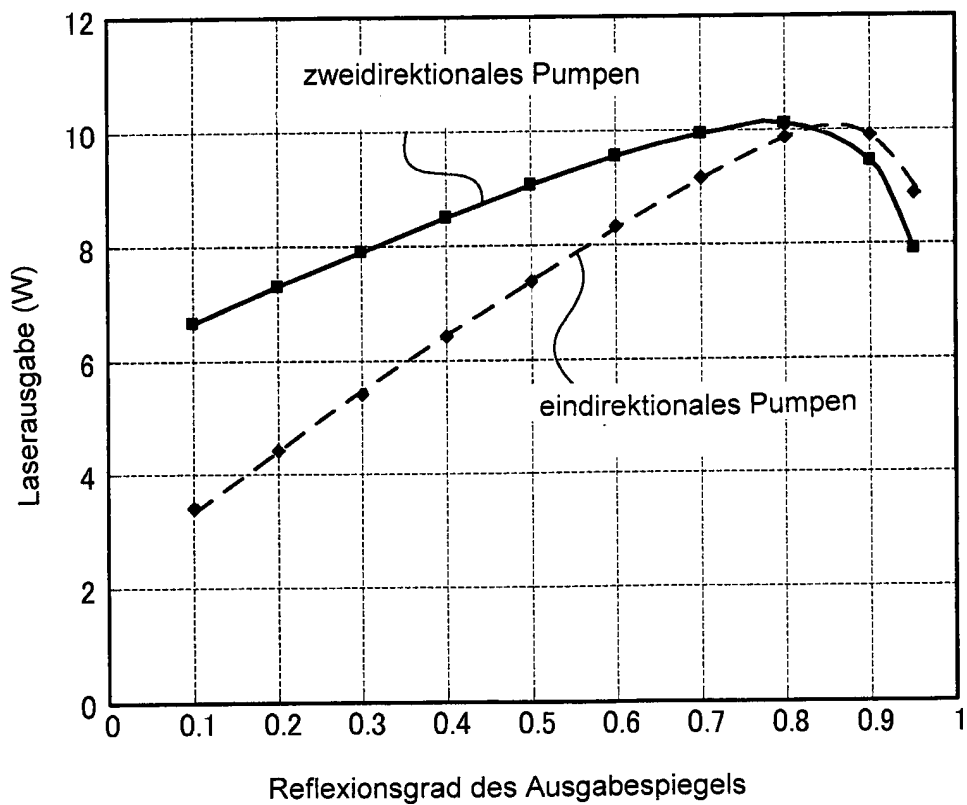


Fig. 22

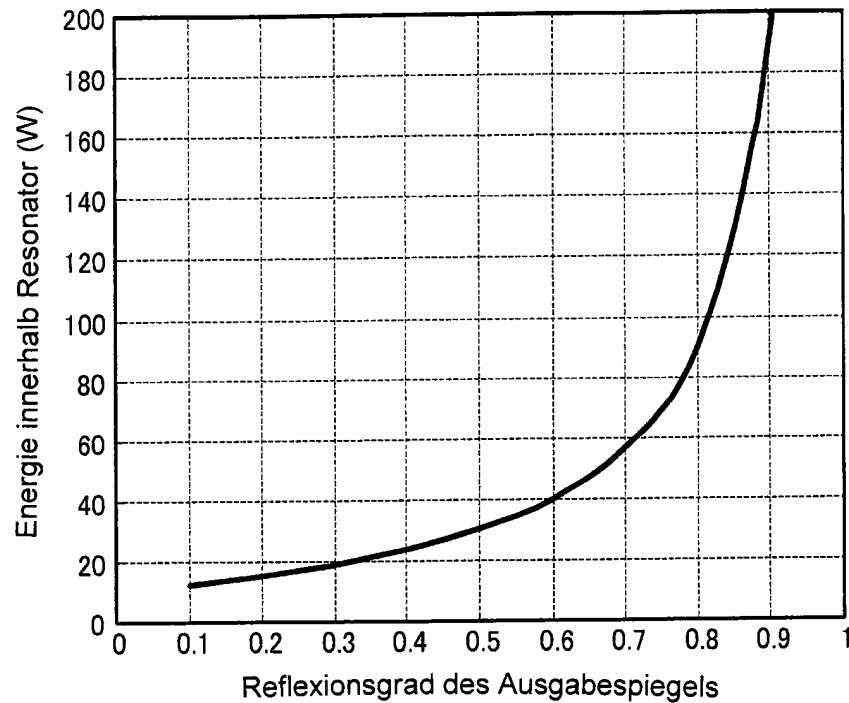


Fig. 23

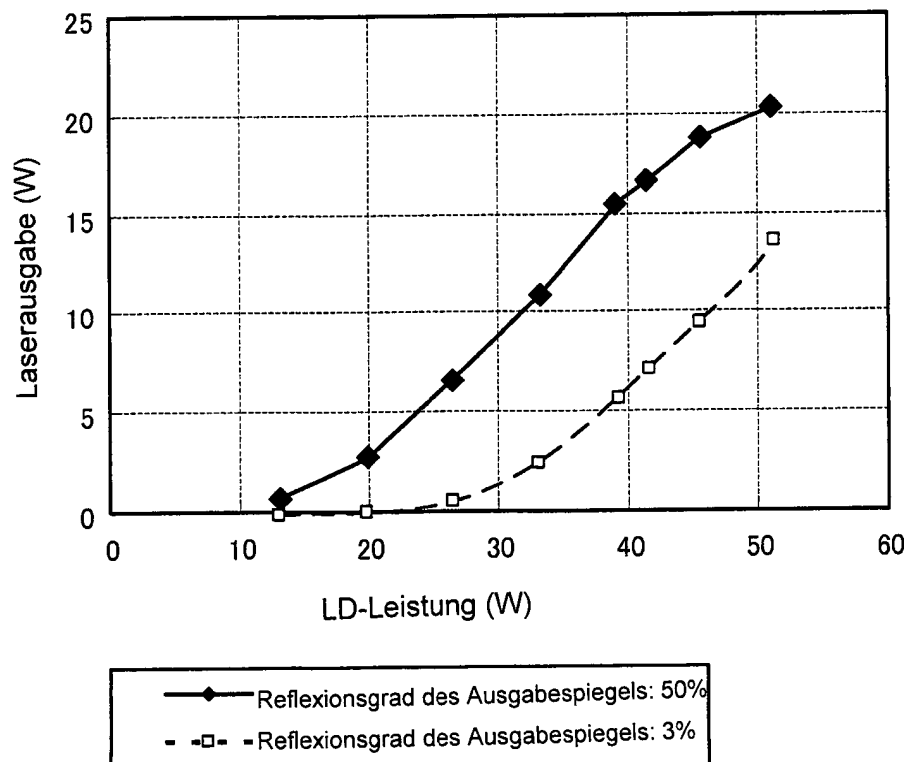


Fig. 24

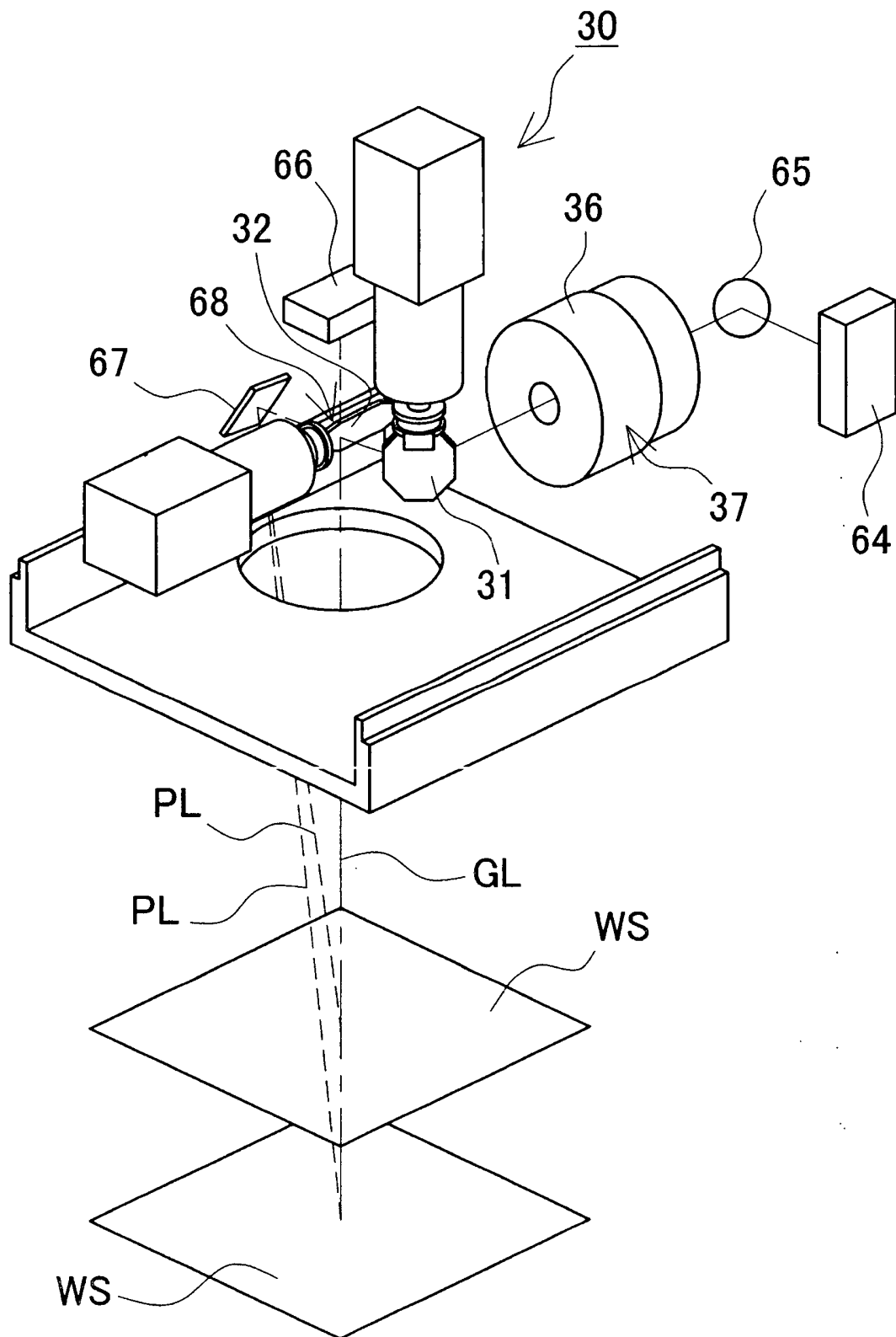


Fig. 25

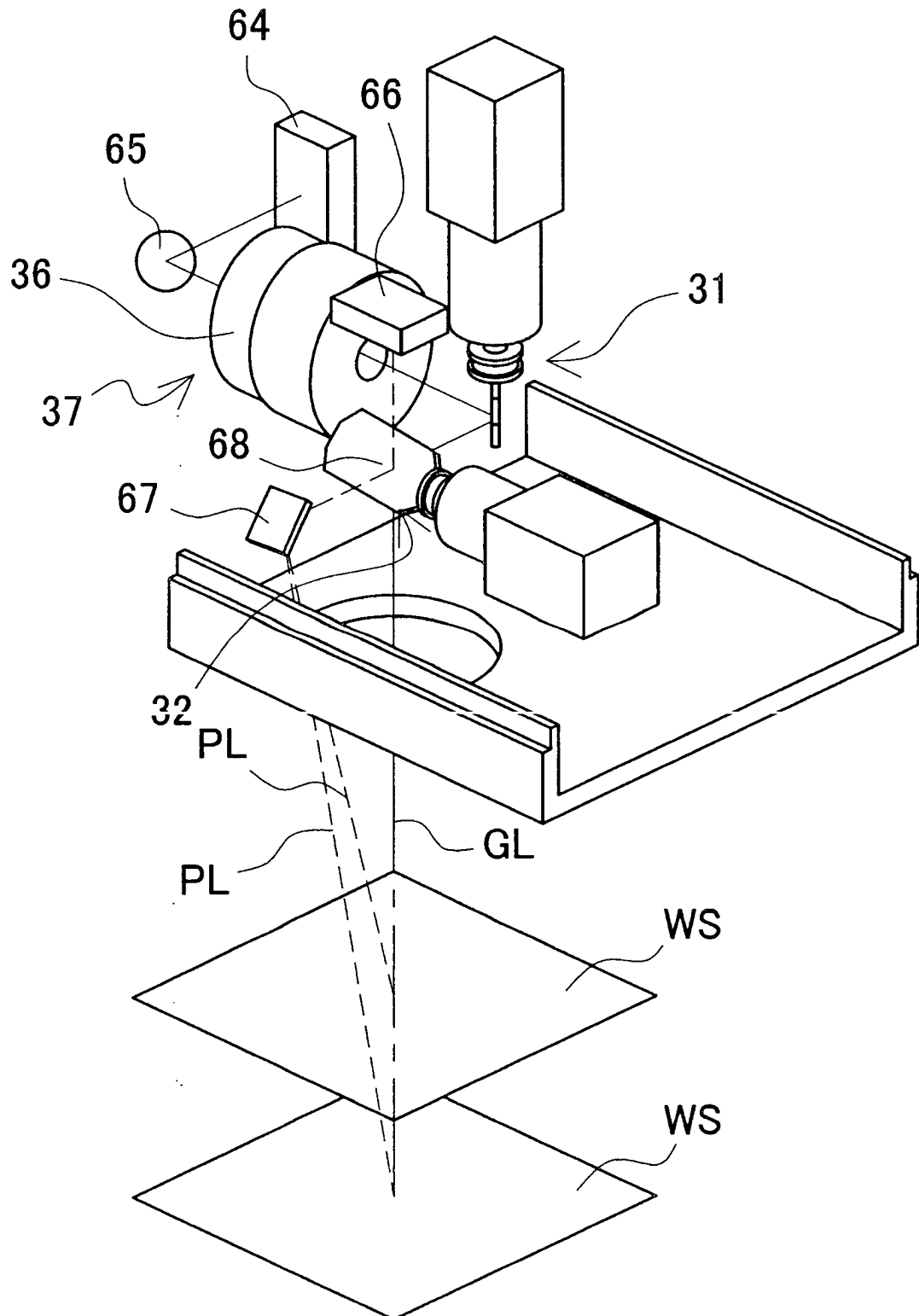


Fig. 26

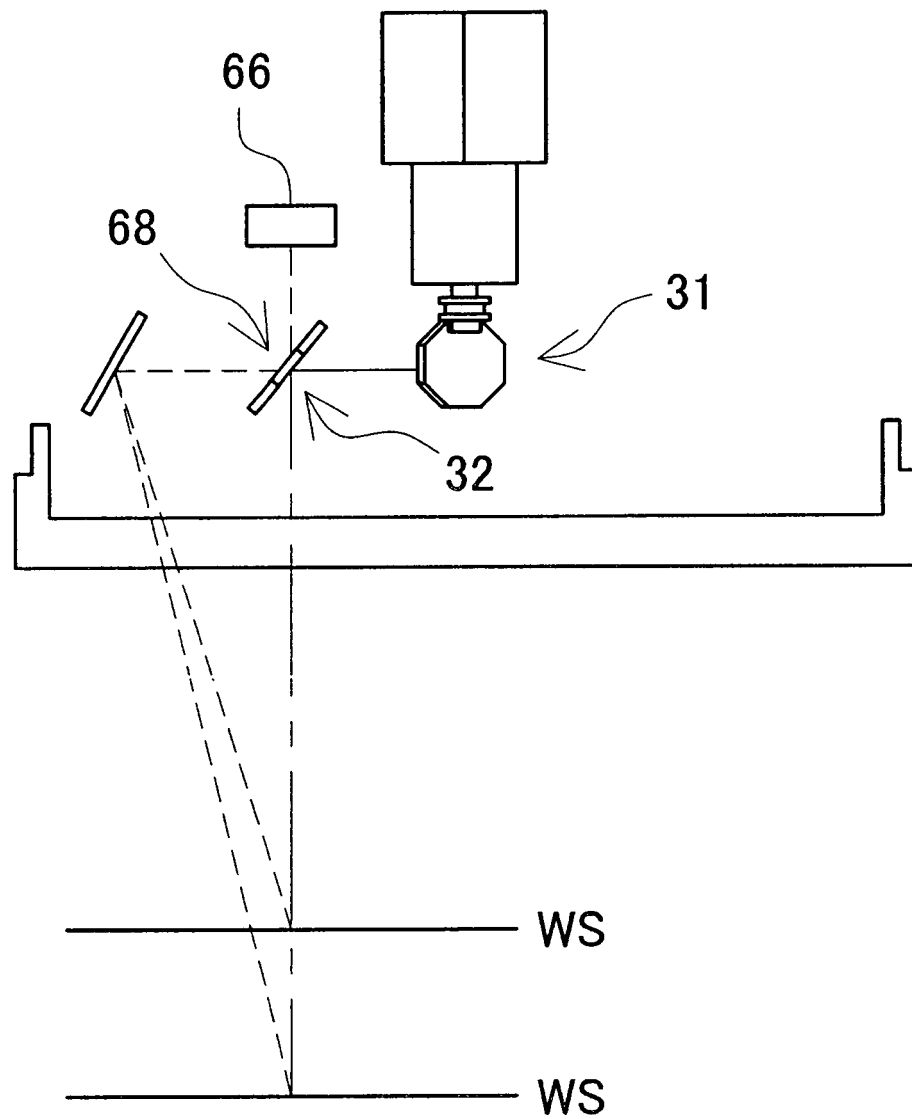


Fig. 27A

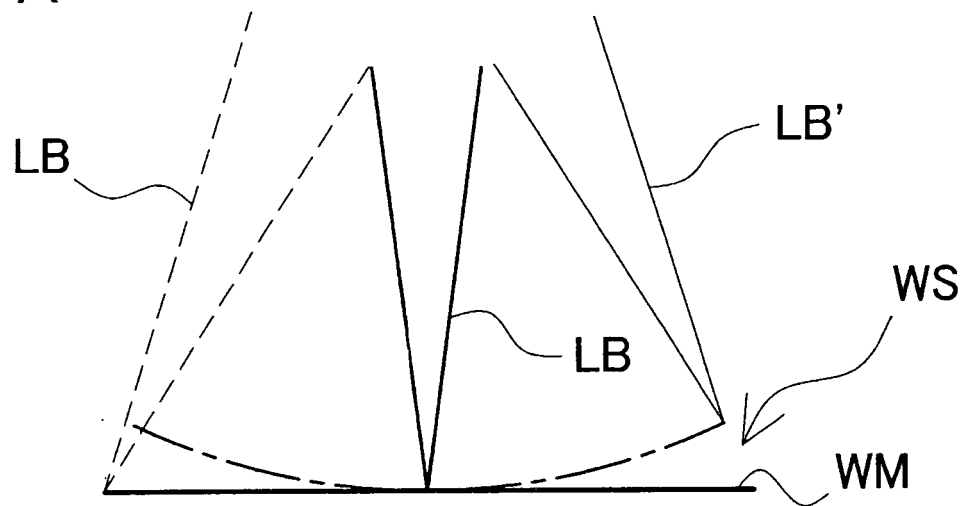


Fig. 27B

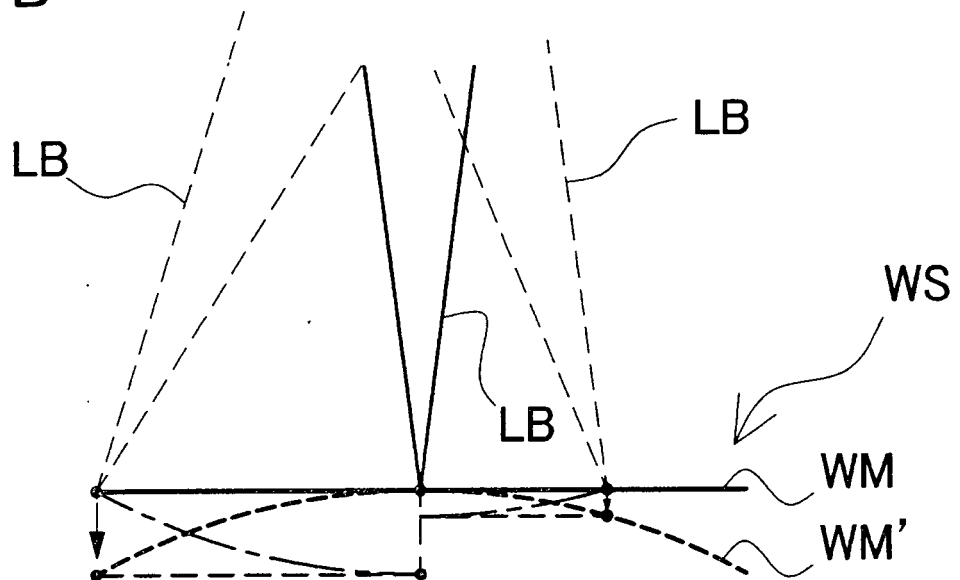


Fig. 28

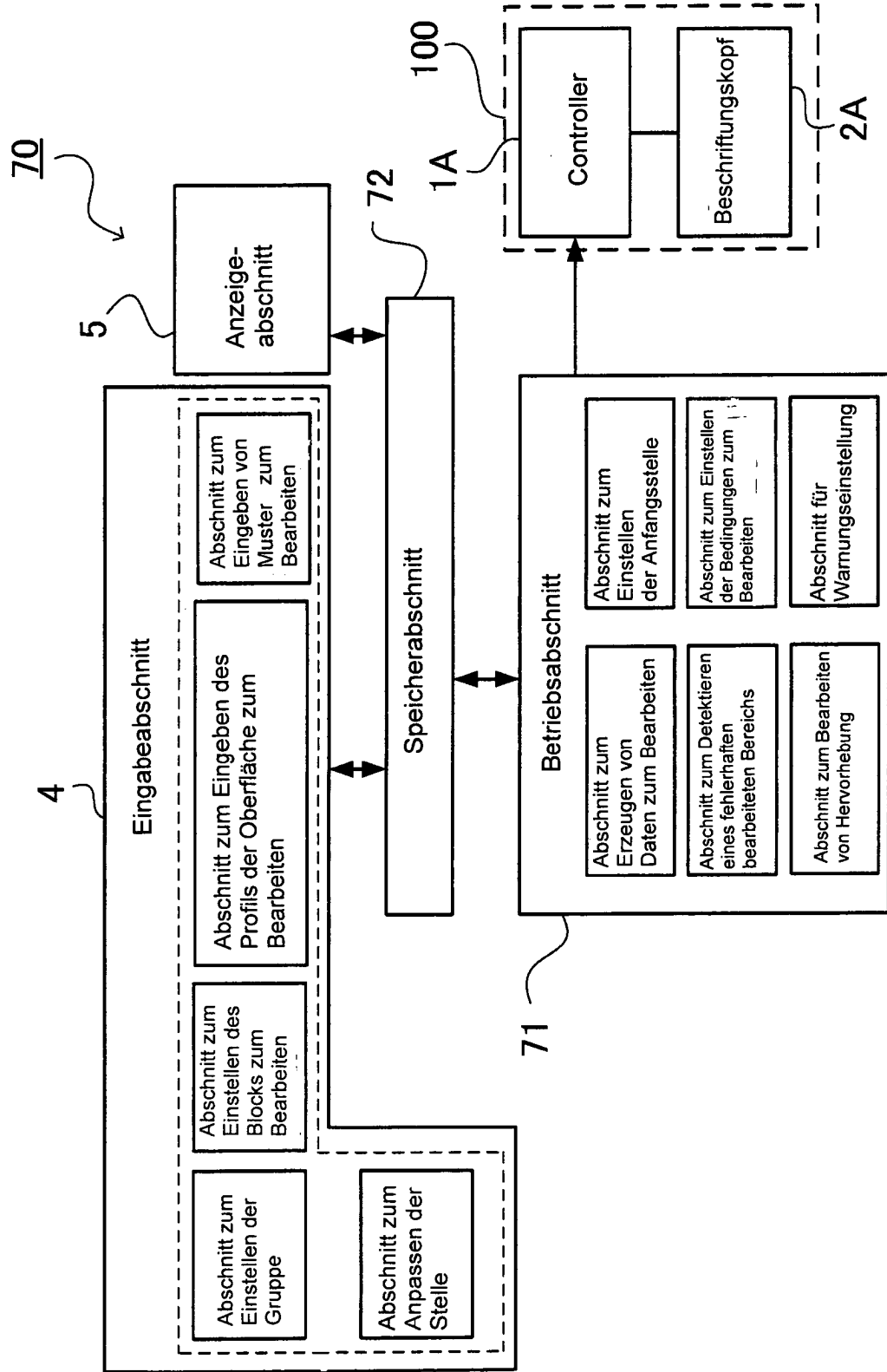


Fig. 29

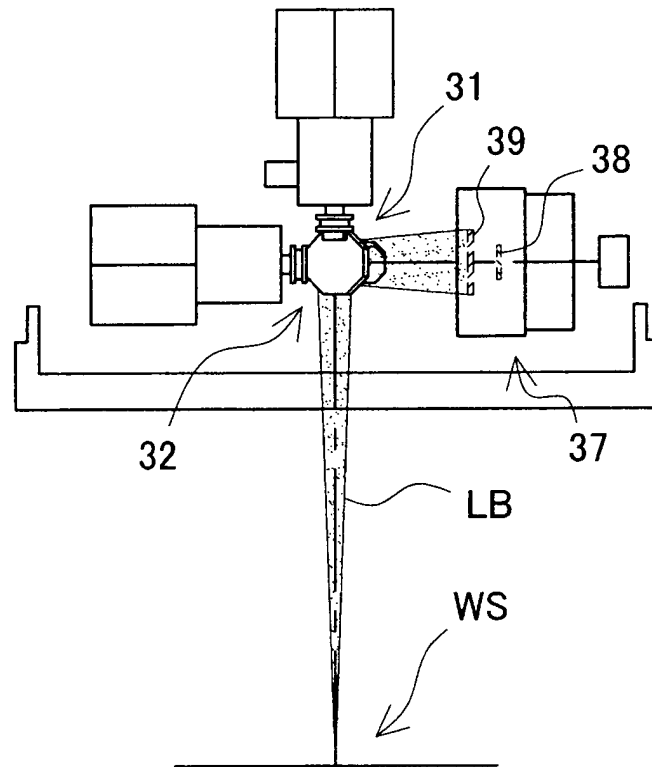


Fig. 30

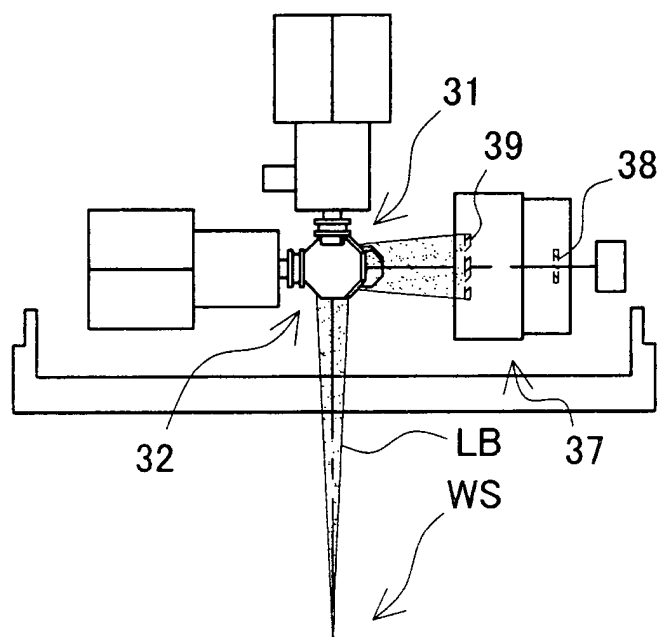


Fig. 31

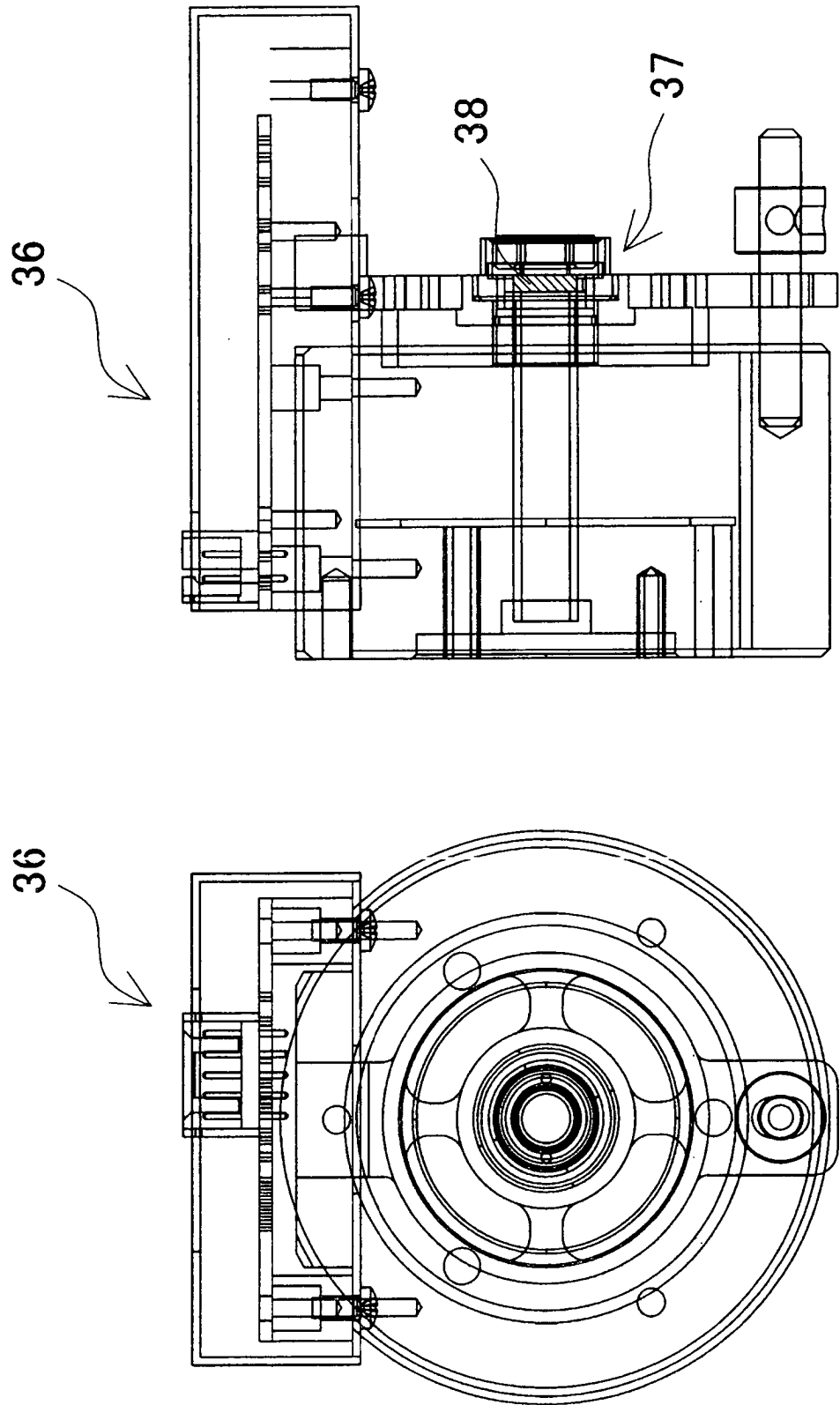


Fig. 32

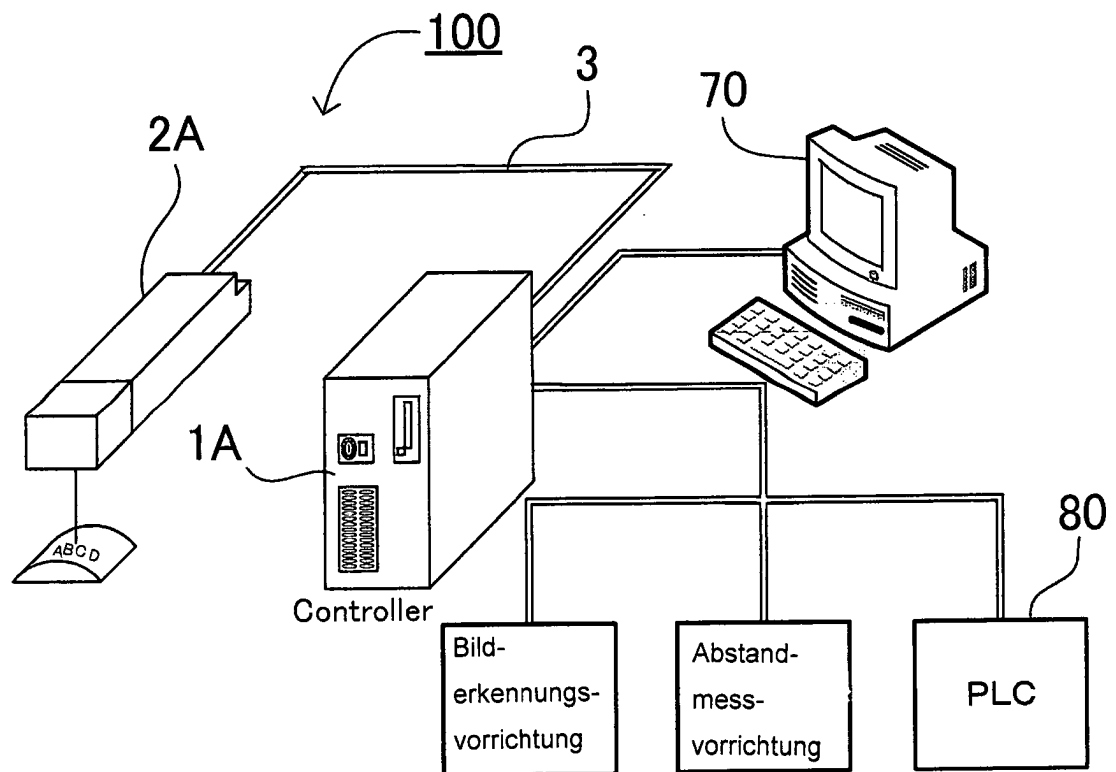


Fig. 33

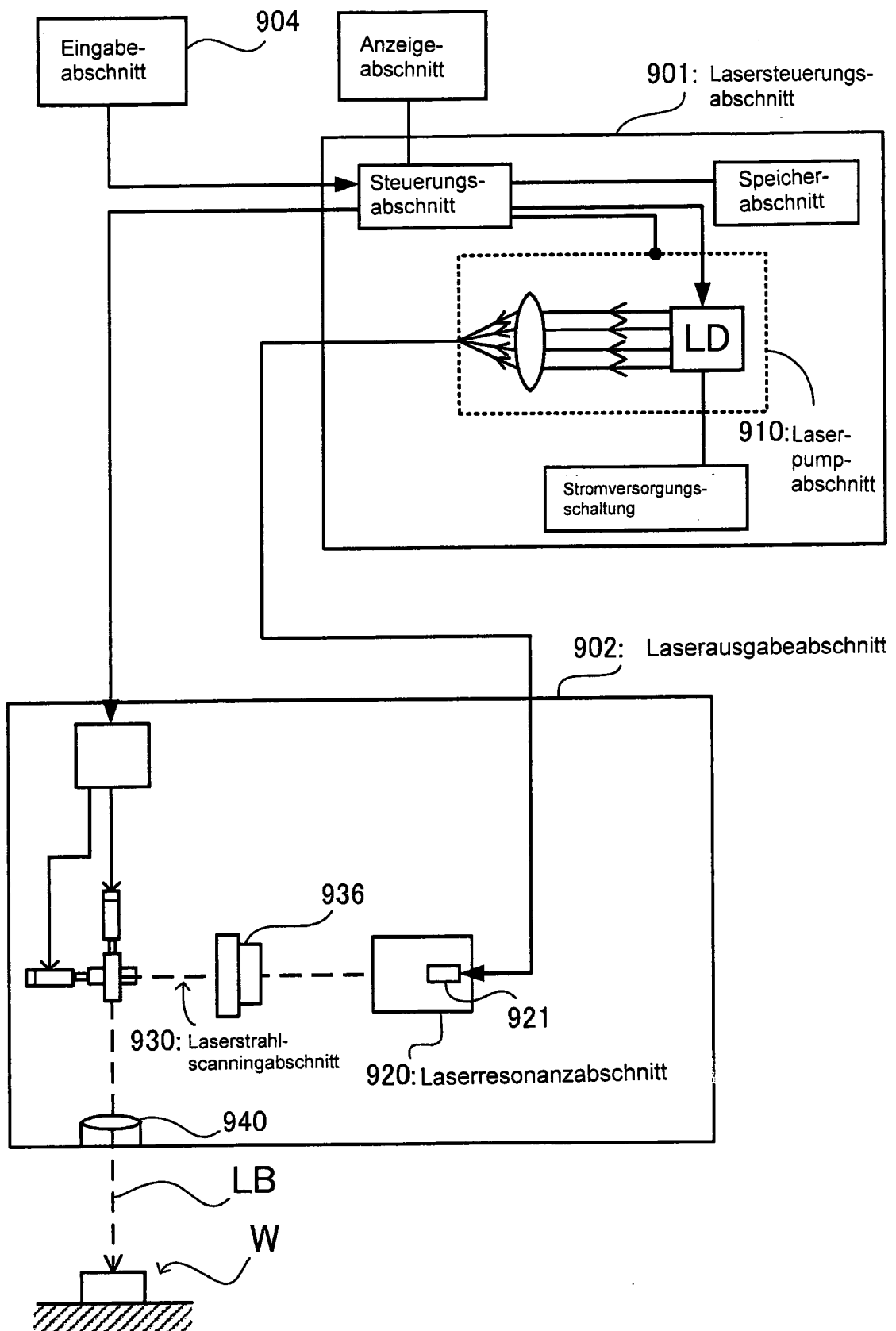


Fig. 34

