

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-35331

(P2011-35331A)

(43) 公開日 平成23年2月17日(2011.2.17)

(51) Int.Cl.
H01S 3/06 (2006.01)

F I
H01S 3/06

テーマコード (参考)
5F172

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2009-182822 (P2009-182822)
(22) 出願日 平成21年8月5日(2009.8.5)

(出願人による申告)平成20年度、文部科学省、科学技術試験研究委託事業「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 504151365
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
茨城県つくば市大穂1番地1
(74) 代理人 100098589
弁理士 西山 善章
(74) 代理人 100097559
弁理士 水野 浩司
(74) 代理人 100123674
弁理士 松下 亮
(72) 発明者 本田 洋介
茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

最終頁に続く

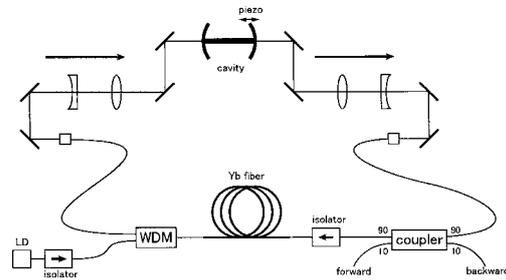
(54) 【発明の名称】 レーザーコンプトン散乱を利用した光源用レーザー

(57) 【要約】

【課題】光共振器のフィネスを高くしても、共振を安定させることができると共に、光共振器内にレーザー光を蓄積させることにより従来装置と比較してより強いレーザー光を発生可能なレーザー発振装置を提供する。

【解決手段】励起用のレーザー光を発生する励起用レーザー光源と、励起用レーザー光源で生成されたレーザー光が供給されたとき、所望波長のレーザー光を生成する希土類ファイバと、対向配置された2枚の凹面鏡、または複数枚の平面鏡を含む面鏡群によって構成され、希土類ファイバで生成されたレーザー光を蓄積する光共振器と、光共振器と希土類ファイバとの間に介挿され、希土類ファイバからのレーザー光を光共振器の一方に導き、逆方向のレーザー光を遮断する光アイソレータと、光共振器の他方から出射されるレーザー光を取り込み、希土類ファイバ、光アイソレータを介し、光共振器に戻し、共振を促進させる周回光路と、を備える。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光共振器を使用して、希土類ファイバで生成されたレーザー光を共振させることによりレーザー光を生成するレーザー発振装置であって、

励起用のレーザー光を発生する励起用レーザー光源と、

前記励起用レーザー光源で生成されたレーザー光が供給されたとき、所望波長のレーザー光を生成する希土類ファイバと、

対向配置された 2 枚の凹面鏡、または複数枚の平面鏡を含む面鏡群によって構成され、前記希土類ファイバで生成されたレーザー光を蓄積する光共振器と、

前記光共振器と前記希土類ファイバとの間に介挿され、前記希土類ファイバからのレーザー光を前記光共振器の一方に導き、逆方向のレーザー光を遮断する光アイソレータと、

前記光共振器の他方から出射されるレーザー光を取り込み、前記希土類ファイバ、前記光アイソレータを介し、前記光共振器に戻し、共振を促進させる周回光路と、

を備えたことを特徴とするレーザー発振装置。

10

【請求項 2】

光共振器を使用して、希土類ファイバで生成されたレーザー光を共振させることにより強いレーザー光を生成するレーザー発振装置であって、

励起用のレーザー光を発生する励起用レーザー光源と、

前記励起用レーザー光源で生成されたレーザー光が供給されたとき、所望波長のレーザー光を生成する希土類ファイバと、

対向配置された 2 枚の凹面鏡、または複数枚の平面鏡を含む面鏡群によって構成され、前記希土類ファイバで生成されたレーザー光を蓄積する光共振器と、

前記光共振器から出射され、前記希土類ファイバを介して供給された、一方のレーザー光を反射させ、前記希土類ファイバを介して、前記光共振器に戻し、共振を促進させる反射器と、

を備え、前記光共振器から出射された、他方のレーザー光を外部に出射することを特徴とするレーザー発振装置。

20

【請求項 3】

前記希土類ファイバは、Yb がドープされたコアを持つ、ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のレーザー発振装置。

30

【請求項 4】

前記光共振器の他方から出射されるレーザー光を取り込み、当該取り込んだレーザー光の一部を外部に出射するとともに、前記レーザー光の大半を前記希土類ファイバ、前記光アイソレータを介し、前記光共振器に戻すことにより共振を促進させることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかの項に記載のレーザー発振装置。

【請求項 5】

前記光共振器は、2 枚の凹面鏡及び 1 枚の平面鏡によって構成されるフォックス・スミス干渉計タイプであることを特徴とする請求項 2 又は 4 に記載のレーザー発振装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

40

【0001】

本発明は、強いレーザー光を発生させるレーザー装置に関し、特に、光共振器のフィネスを高めた時でも、安定して発振させ得るようにしたレーザーコンプトン錯乱を利用した光源用レーザーに関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、レーザーコンプトン散乱を利用した小型光源装置の開発が行われている。このような光源装置の光源としての強度は、実現可能なレーザー標的の強度に依存する。パルス運転する線形加速器をベースにする場合、レーザー光も高強度のパルスレーザーを用いるか、一時的にバースト増幅して用いる手法がとられる。

50

【0003】

一方、図7に示すようなコンプトン錯乱を利用した蓄積リング型装置や超伝導加速器をベースにした連続運転のシステムによってレーザーの平均強度を高めようとする、連続的に高強度のレーザー標的が必要となる。

【0004】

このため、レーザー光と電子を衝突させたときのレーザー逆コンプトン散乱でX線を発生させる従来のX線発生装置(例えば、特許文献1を参照)では、公知の大強度モードロック発振器、例えば500W、10ps/puls、波長“1064nm”、繰り返し周波数“150MHz”の性能を持つ大強度モードロック発振器と、光蓄積共振器を持つレーザー発生装置を使用し、強いレーザー光を発生させている。

10

【0005】

ここで、光蓄積共振器とは、複数の鏡で光路を閉じた空間にレーザー光を閉じ込める共振器で、比較的低出力のレーザー光源からの光を実効的に強度増大し、連続的に高強度レーザー光を実現できる有望な技術である。

【0006】

図8は、従来型のレーザー蓄積装置の構成例を示す。レーザー発振器からの出力は独立に用意された外部共振器に蓄積される。共振器に光が蓄積されるには、共振器内に定在波が起こる、即ち鏡間隔が半波長の整数倍に合致する条件が満たされなければならない。その共鳴幅は共振器鏡の反射率で決まり、高増大率を得ようと高反射率の鏡を使用する程、狭くなっていく。増大率1000の共振器では、共鳴幅は共振器鏡の位置精度にしてサブナノメートルになり、振動などの環境の擾乱で簡単に共鳴状態が失われてしまう。共鳴条件を機械的に制御し、レーザー蓄積状態を維持させるため、共振器鏡をピエゾ駆動にし、高度なフィードバック制御を行うことが必要とされる。現状では、安定に共鳴を維持できる技術的限界は増大率1000程度となっている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2009-16488号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0008】

しかしながら、このような従来のレーザー発振装置で使われる大強度モードロック発振器は、非常に高価であることから、レーザー発振装置自体も、高価になってしまうという問題があった。また、従来のレーザー発振装置においては、光共振器の共鳴状態を高精度で制御する高度な技術を必要とするのが難点であり、このことが増大率の技術的な限界を決めることとなる。

【0009】

さらに、従来のレーザー発振装置では、大強度モードロック発振器で生成されたレーザーパルスが光蓄積共振器に導いて、蓄積させる際、フィードバック制御の精度をかなり高くしないと、安定的に蓄積させることができないという問題があった。また、従来のレーザー発振装置では、1000倍程度の蓄積増幅しかできず、光蓄積共振器内のレーザーパルスエネルギーも100μJ/puls程度にしかならないという問題があった。

40

【0010】

このため、本発明は、光共振器のフィネス(蓄積増幅度)を高くしても、共振を安定させることができると共に、光共振器内にレーザー光を蓄積させることにより従来と比較してより強いレーザー光を発生可能なレーザー発振装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記の目的を達成するために、本発明は、その第1の形態として、光共振器を使用して、希土類ファイバで生成されたレーザー光を共振させることによりレーザー光を生成する

50

レーザー発振装置であって、励起用のレーザー光を発生する励起用レーザー光源と、前記励起用レーザー光源で生成されたレーザー光が供給されたとき、所望波長のレーザー光を生成する希土類ファイバと、対向配置された２枚の凹面鏡、または複数枚の平面鏡を含む面鏡群によって構成され、前記希土類ファイバで生成されたレーザー光を蓄積する光共振器と、前記光共振器と前記希土類ファイバとの間に介挿され、前記希土類ファイバからのレーザー光を前記光共振器の一方に導き、逆方向のレーザー光を遮断する光アイソレータと、前記光共振器の他方から出射されるレーザー光を取り込み、前記希土類ファイバ、前記光アイソレータを介し、前記光共振器に戻し、共振を促進させる周回光路と、を備えたことを特徴とするレーザー発振装置を提供するものである。

【 0 0 1 2 】

さらに、本発明は、その第２の形態として、光共振器を使用して、希土類ファイバで生成されたレーザー光を共振させることにより強いレーザー光を生成するレーザー発振装置であって、励起用のレーザー光を発生する励起用レーザー光源と、前記励起用レーザー光源で生成されたレーザー光が供給されたとき、所望波長のレーザー光を生成する希土類ファイバと、対向配置された２枚の凹面鏡、または複数枚の平面鏡を含む面鏡群によって構成され、前記希土類ファイバで生成されたレーザー光を蓄積する光共振器と、前記光共振器から出射され、前記希土類ファイバを介して供給された、一方のレーザー光を反射させ、前記希土類ファイバを介して、前記光共振器に戻し、共振を促進させる反射器と、を備え、前記光共振器から出射された、他方のレーザー光を外部に出射することを特徴とするレーザー発振装置を提供するものである。

【 0 0 1 3 】

ここで、前記希土類ファイバは、Ｙｂがドープされたコアを持つ、ことを特徴とする。また、前記光共振器の他方から出射されるレーザー光を取り込み、当該取り込んだレーザー光の一部を外部に出射するとともに、前記レーザー光の大半を前記希土類ファイバ、前記光アイソレータを介し、前記光共振器に戻すことにより共振を促進させるようにしている。

【 0 0 1 4 】

さらに、前記光共振器は、２枚の凹面鏡及び１枚の平面鏡によって構成されるフォックス・スミス干渉計タイプであることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

これにより、本発明に係るレーザー発振装置は、光共振器のフィネスを高くしても、共振を安定させることができると共に、光共振機内にレーザー光を蓄積させて、強いレーザー光を発生させることを可能としたのである。

【 0 0 1 6 】

さらに、本装置は、反射率が“ 99 . 99 % ”の凹面鏡、または平面鏡群を使用した高フィネスの光共振器を使用した場合でも、安定的な共振を可能とし、光共振機内にレーザー光を蓄積させて、強いレーザー光を発生させることを可能としたのである。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図１】周回発振型光蓄積装置の概念を示す図である。

【図２】本発明の第１の実施形態による周回発振型光蓄積によるレーザー発振装置の構成を示す。

【図３】本発明の第２の実施形態による折り返し発振型光蓄積によるレーザー発振装置の構成を示す。

【図４】本装置における励起ＬＤの電流と発振強度を示す。

【図５】本装置における光強度の変動を示す。

【図６】本発明の電子銃駆動用レーザーへの応用を示す。

【図７】コンプトン光源の概念を説明するための図である。

【図８】従来のレーザー蓄積装置の構成を説明する図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0018】

1. 本発明の第1の実施形態の説明

図2は、周回発振型光蓄積装置の概念を説明する図であり、図3は、本発明の第1の実施例である周回発振型光蓄積によるレーザー発振装置の構成を示す。

【0019】

図2及び図3に示すように、本発明の第1の実施例であるレーザー発振装置外部共振器において、共鳴、通過したレーザー光を種光としてレーザー増幅部に再入力し誘導放出により増幅した後、共振器に再入射する。

【0020】

増幅部でのゲインが共振器部を含め周回のロスを上回れば、系は発振状態になり、自動的にレーザー光が光路を周回し続けることになる。発振は増幅器の自然放出光ノイズから始まる。ノイズ光のうちたまたま共振器の共鳴幅に受け入れられたスペクトル成分が共振器を通過し、以降の種光となって周回の中で増幅されていき、最終的には増幅器を励起する全エネルギーは全てこの成分に集約され、増幅部が飽和するところで系は定常状態になる。

【0021】

共振器部と増幅部が全体で一体となってレーザー発振器を構成する点が従来方式と異なる。従来方式では振動等によって共鳴条件が外れるのを高速高精度フィードバック技術によって無理矢理に維持していたのに対し、新方式では発振回路そのものが自動的に共鳴条件を追従することになるので、制御をせずとも共鳴状態が続く点が利点である。

【0022】

共振器を透過した複雑な光路のロスを補う為には高ゲインの増幅部が必要であり、単一パスで高ゲインの得られるファイバ増幅器がこのシステム開発の要になる。そこで、本発明においては、光蓄積共振器と、高効率ファイバレーザー増幅法との基礎研究によって、自己発振を生じさせた閉光学系（周回発振）の着想に至った。本発明の高フィネス（fine sse）タイプの光共振器においては、共振するレーザー光のみを蓄積するので、光共振器を透過したレーザー光を高効率ファイバレーザー増幅器に戻すことにより、安定なレーザー光増幅と共に、レーザー光蓄積とを実現したのである。

【0023】

そして、高効率ファイバレーザー増幅器によって、光共振器に共鳴したレーザー光を増幅させることができるとともに、安定した増幅で得られたレーザー光を光共振器に蓄積させることができることを確認した。

【0024】

この際、光共振器に入射するレーザー光のエネルギーの1万倍以上のエネルギーを持つレーザー光が光共振器内に存在しているのを確認した。

【0025】

そして、電子ビームを加速させる加速器の出射路内に、光共振器を配置させ、加速器で十分に加速された電子ビームを出射路に導いて、光共振器内のレーザー光に直接、衝突させ、軟X線からガンマ線ビームまで生成させることができることを確認した。

【0026】

図2に示す本発明の第1の実施例に係るレーザー発振装置は、レーザーダイオードと、光アイソレータと、分波/合波器（WDM）と、Ybファイバと、光アイソレータと、第1光学系と、光共振器と、第2光学系と、出力カプラとを備えており、Ybファイバを励起させ得られたレーザー光を周回させながら、光共振器に蓄積させて、共振させることにより、光共振器内に強いレーザー光を発生させる。

【0027】

レーザーダイオードは、Ybファイバを励起させるのに必要な波長のレーザー光を発生する半導体レーザー素子などによって構成されており、駆動電圧が印加されているとき、レーザー光を発生し、レーザーダイオード 光ファイバ 光アイソレータの端子なる経路

10

20

30

40

50

で、光アイソレータに供給する。

【0028】

光アイソレータは、端子に供給されたレーザー光を通過させて端子から出射させ、また端子に供給されたレーザー光を遮断して、端子から出射しないように構成されており、レーザーダイオードからレーザー光が供給されたとき、端子に接続された光ファイバを介して、これを取り込み、通過させて、端子から出射し、端子 光ファイバ 分波/合波器の端子なる経路で、分波/合波器に供給する。また、分波/合波器からレーザー光が出射され、これが光ファイバを介して、端子に供給されたとき、これを遮断させて、レーザーダイオードを保護する。

【0029】

分波/合波器は、一方の各端子から第1の波長のレーザー光、第2の波長のレーザー光が入射されたとき、これを合波して、他方の端子から出射し、またこの端子から合波されたレーザー光が入射したとき、これを分波して、当該分波したレーザー光を端子から出射し、これを端子から出射するように構成されており、光アイソレータからレーザー光が出力され、これが光ファイバに接続された端子に供給されたとき、このレーザー光を取り込み、端子に接続されたYbファイバに供給する。また、Ybファイバからレーザー光が出射され、これが端子に供給されたとき、このレーザー光を分波して、分派した波長のレーザー光を端子から出射し、分波/合波器の端子 光ファイバ 光アイソレータの端子なる経路で、光アイソレータに供給する。

【0030】

Ybファイバは、コアにYbがドープされたダブルクラッドタイプのファイバであり、分波/合波器から所定の波長のレーザー光(励起用のレーザー光)が供給されて励起されたとき、これとは異なる波長のレーザー光を発生し、これを分波/合波器の端子に供給するとともに、出力カブラの端子に供給する。

【0031】

また、光アイソレータは、端子に供給されたレーザー光を取り込み、通過させて端子から出射させ、また端子に供給されたレーザー光を遮断して、端子から出射しないように構成されており、分波/合波器の端子 光ファイバ 端子なる経路で、分波/合波器から出射されたレーザー光が供給されたとき、これを通過させ、端子 光ファイバ 第1光学系なる経路で、第1光学系に供給する。また、第1光学系 光ファイバ 端子なる経路で、第1光学系からレーザー光が供給されたとき、これを遮断して、レーザー光が分波/合波器に戻らないようにする。

【0032】

第1光学系は、光ファイバを介して、光アイソレータに接続される端子と、レーザー光を反射する4枚のミラーと、レーザー光の径などを調整する凹レンズ、凸レンズとを備えており、端子に供給されたレーザー光を取り込み、反射させながら、径、偏向方向などを調整し、電子ビームを加速させる加速器の出射路内に配置された光共振器に入射させる。

【0033】

光共振器は、電子ビームを加速させる加速器の出射路内に配置される共振器構造体(図示は省略する)と、反射率90%以上にされ、曲率半径が250mmにされ、共振器構造体に取り付けられる凹面鏡と、反射率90%以上にされ、曲率半径が250mmにされ、レーザー光の波長と対応する距離だけ、凹面鏡と離間され、かつ凹面側が対向するように、共振器構造体に取り付けられる凹面鏡と、凹面鏡の裏面と共振器構造体との間に配置され、印加された電圧に応じて、変形し、凹面鏡の位置、取り付け角度などを調整するピエゾ素子とを備えており、第1光学系、第2光学系から各凹面鏡の裏面にレーザー光が供給されたとき、各凹面鏡を透過させて、各凹面鏡の間に、これを閉じ込め、蓄積しながら、位相を調整する。また、この動作と並行し、各凹面鏡の間に蓄積している強いレーザー光の一部を各凹面鏡から出射させ、第1光学系、第2光学系に供給する。

【0034】

第2光学系は、レーザー光を反射する4枚のミラーと、レーザー光の径を調整する凹レ

10

20

30

40

50

レンズ、凸レンズと、光ファイバを介して、光アイソレータに接続される端子とを備えており、端子に供給されたレーザー光を取り込み、反射させながら、径、偏向方向などを調整し、光共振器に入射させる。また、光共振器から出射されるレーザー光を取り込み、反射させながら、径、偏向方向などを調整し、端子から出射し、光ファイバを介して、出力カブラの端子に供給する。

【0035】

出力カブラは、一方の各端子にレーザー光が供給されたとき、これを取り込み、“9：1”に分配して、他方の各端子から出射し、他方の各端子にレーザー光が供給されたとき、これを取り込み、“9：1”に分配して、一方の各端子から出射するように構成されており、Ybファイバから出射されたレーザー光が端子に供給されたとき、これを取り込み、“9：1”に分配して、端子から“90%”分を出射し、端子 光ファイバ 第2光学系の端子なる経路で、第2光学系に供給すると共に、端子から他方の“10%”分を出射し、外部にある発振監視用の測定器などに供給する。また、第2光学系の端子から波長のレーザー光が出射され、第2光学系の端子 光ファイバ 端子なる経路で供給されたとき、これを取り込み、“9：1”に分配して、端子から“90%”分を出射し、端子 Ybファイバ 分波/合波器 光アイソレータ 第1光学系 光共振器なる周回経路で、光共振器に戻し、発振を維持させるとともに、端子から“10%”分を出射し、外部にある発振監視用の測定器などに供給する。

10

【0036】

このように、この本発明の第1形態では、Ybファイバで生成させたレーザー光をYbファイバ 分波/合波器 光アイソレータ 第1光学系 光共振器なる経路と、Ybファイバ 出力カブラ 第2光学系 光共振器なる経路とを使用して、光共振器に導き、蓄積、共振させるとともに、光共振器を構成する一方の凹面鏡を透過したレーザー光を光共振器 第2光学系 出力カブラ Ybファイバ 分波/合波器 光アイソレータ 第1光学系 光共振器なる周回経路で、光共振器に戻し、発振を維持させるようにしているので、光共振器内に強いレーザー光を蓄積させることができる。

20

【0037】

これにより、加速器で十分に加速された電子ビームを出射路に導いて、光共振器内のレーザー光に直接、衝突させることにより、軟X線からガンマ線ビームまで生成させることができる。

30

【0038】

この際、光共振器内のレーザーエネルギーは、光共振器から出射されたレーザー光が光共振器 第2光学系 光ファイバ 出力カブラ Ybファイバ 分波/合波器の端子 光ファイバ 光アイソレータ 第1光学系 光共振器なる経路で、光共振器に戻るときの周回光路利得と、光共振器のフィネスで決まることから、光共振器を構成する2枚の凹面鏡として、“99.99%”の反射率を持つものを使用した高フィネスタイプのものにするだけで、強いレーザー光を蓄積させることができる。

【0039】

また、光共振器の使い方として、光共振器内にYbファイバなど、種々の部材、機器などが無いことから、光共振器のフィネスを高くしても、安定して共振を維持させ、強いレーザー光を出射させることができる。

40

【0040】

また、自己発振により、レーザー光を安定的に蓄積させることができるとともに、光共振器の外部に、偏光選択装置、強度変換器などを設置させることにより、必要な特定を持ったレーザー光を選択させて、光共振器内に蓄積させることができる。

【0041】

さらに、電子ビームを加速させる加速器の出射路内に、光共振器を配置させ、加速器で十分に加速された電子ビームを出射路に導いて、光共振器内のレーザー光に直接、衝突させることにより、軟X線からガンマ線ビームまで生成させることができる。

【0042】

50

この際、光共振器内のレーザー光のレーザーエネルギーを上げることにより、小型の加速器であっても、軟X線からガンマ線ビームまで、高輝度化を達成させることができ、これによって生体分子から応用上、重要な材料の特性を詳細に調べることが可能になる。

【0043】

3. 本発明の第2の実施形態の説明

図3は、本発明の第2の実施例に係る折り返し発振型光蓄積によるレーザー発振装置の構成を示す。

図3に示すように、レーザーダイオードと、光アイソレータと、分波/合波器(WDM)と、Ybファイバと、反射器と、光学系と、光共振器とを備えており、Ybファイバを励起させ得られたレーザー光を光共振器に蓄積させながら、共振させることにより、強いレーザー光を発生させる。

【0044】

レーザーダイオードは、Ybファイバを励起させるのに必要な波長のレーザー光を発生する半導体レーザー素子などによって構成されており、駆動電圧が印加されているとき、レーザー光を発生し、レーザーダイオード 光ファイバ 光アイソレータの端子なる経路で、光アイソレータに供給する。

【0045】

光アイソレータは、端子に供給されたレーザー光を通過させて端子から出射させ、また端子に供給されたレーザー光を遮断して、端子から出射しないように構成されており、端子に接続された光ファイバを介して、レーザーダイオードからレーザー光が供給されたとき、これを通過させて、端子から出射し、端子 光ファイバ 分波/合波器の端子なる経路で、分波/合波器に供給する。また、分波/合波器からレーザー光が出射され、これが光ファイバを介して、端子に供給されたとき、これを遮断させて、レーザーダイオードを保護する。

【0046】

分波/合波器は、一方の各端子から第1の波長のレーザー光、第2の波長のレーザー光が入射されたとき、これを合波して、他方の端子から出射し、またこの端子から合波されたレーザー光が入射したとき、これを分波して、分派したレーザー光を端子から出射して端子から出射するように構成されており、端子に接続された光ファイバを介して、光アイソレータから所定の波長のレーザー光が供給されたとき、これを取り込み、端子に接続されたYbファイバに供給する。また、端子に接続されたYbファイバからレーザー光が供給されたとき、これを分波して、分波した波長のレーザー光を端子から出射して反射器に供給する。

【0047】

反射器においては、分波/合波器の端子などを端面加工されて構成された反射器であり、分波/合波器の端子からレーザー光が出射されたとき、これを反射させて、分波/合波器の端子に戻す。

【0048】

Ybファイバは、コアにYbがドープされたダブルクラッドタイプのファイバであり、分波/合波器から所定の波長のレーザー光(励起用のレーザー光)が供給されて励起されたとき、励起されたレーザー光を発生し、これを分波/合波器の端子に供給するとともに、光学系の端子に供給する。

【0049】

光学系は、Ybファイバに接続される端子と、レーザー光を反射する4枚のミラーと、“+150mの”焦点距離を持ち、レーザー光をコリメートし、径を調整する2枚の凸レンズとを備えており、端子に供給されたレーザー光を反射させながら、径、偏向方向などを調整し、光共振器に入射させる。

【0050】

光共振器は、反射率90%以上にされ、光学系から供給されるレーザー光の光軸に対し、45度、傾けられて配置される平面鏡と、反射率90%以上にされ、平面鏡を透過した

10

20

30

40

50

レーザー光（または、反射したレーザー光）の光軸と直交するように配置され、入射されたレーザー光を反射するとともに、一部を外部に出射させる平面鏡と、100%の反射率にされ、平面鏡で反射され、平面鏡で再度、反射されたレーザー光を反射し、平面鏡に戻す平面鏡と、一方の平面鏡、例えば平面鏡の裏面に配置され、印加された電圧に応じて、変形し、平面鏡の位置、取り付け角度などを調整するピエゾ素子とを備えており、光学系から平面鏡の裏面にレーザー光が供給されたとき、平面鏡を透過させて、各平面鏡の間に、これを閉じ込め、蓄積しながら、位相を調整する。

【0051】

また、上記動作と並行し、これら各平面鏡間に蓄積している強いレーザー光の一部を平面鏡から出射させ、外部にあるレーザー光利用装置、例えば電子と、レーザー光とを衝突させたときの逆コンプトン効果を利用して、強いX線を発生させるX線発生装置などに供給する。

10

【0052】

このように、本発明においては、コンプトン光源用のレーザー標的としての応用を考える場合、発振をモードロックパルス化できれば、同じ平均パワーでも、より高いピーク強度が得られ、魅力的である。現状は共振器の複数の共鳴条件が同時に発振するマルチ縦モード発振であると考えられ、周回路の一部に可飽和吸収鏡を挿入したうえで、系全体の光路長を共振器部の光路長の整数倍に調整すれば、多数の縦モードの位相を揃えることができ、ハーモニックモードロック化が可能となり得る。

【0053】

また、モードロックパルス化したうえで、共振器部にSHG結晶を設置すれば高効率高繰り返しの2倍波レーザーを構成することができる可能性がある。共振器の損失が主に波長変換で決まるならば、励起光パワーは全て2倍波に移るので、効率が高い。共振器部の光路長を加速器繰り返しに合わせ、全周長をその整数倍に調整すれば、光陰極電子銃のドライブレザーとしての応用可能性も考えられる。

20

【0054】

3. 本発明の原理の実証実験の説明

次に、本発明の原理実証試験の結果を説明する。

本発明に係る装置の原理実証を目的として、低パワーのシステムで検証実験を行った。コア励起のYb添加シングルモードファイバを増幅器として用い、波長976nmのレーザーダイオードによる最大500mWの励起光をWDMカブラより導入した。この増幅器のゲインは38である（波長1064nmレーザーでの測定）。増幅ファイバ以外の導波路もシングルモードファイバで構成されている。ファイバから空間に出射した後、マッチングのためのレンズ系と位置角度調整の鏡ペアを経由して共振器へ入射される。共振器からの出射後、同様にマッチング系を経由して、再びファイバに入力される。確立した手順で調整を行った後には、ファイバ入出力の効率は60%以上であり、大きな損失にはならない。ファイバ光路の途中に9:1のカブラを設置し、周回光の一部をモニターした。ファイバ光路の途中に設置されたアイソレータによって光の周回方向を限定している。

30

【0055】

図4は、本発明の装置において、モニターポートからのパワーを測定しながら励起LDの出力を変えていった結果を示すものである。

40

【0056】

上記測定で用いた共振器は、99.99%の反射率をもつ共振器鏡で構成したフィネス30000（増大率20000）のものである。LD電流350mAを超えた時点で発振が始まり、励起パワーに比例して周回光が増加していく様子が示されている。モニターポートで測定された光強度から、共振器内部に実現している光強度は440Wと推測された。IRビューアで共振器を観測すると、図6に示すように、確かに高強度の光が蓄積されていることが分かる。僅か500mW程度の低出力励起レーザーで、440Wのレーザー光が全く制御無しに実現できることを示すことが出来た。

【0057】

50

図5は、本発明の装置において、フォトダイオードで出力光を観測して短い時間スケールでの発振の安定性を調べた結果を示すものである。

図5において、共振器鏡として反射率90%（増大率20）のものを使用した場合と反射率99.99%（増大率20000）のものを使用した場合についての様子を示している。高フィネスの共振器の場合、発振光強度に細かい振動がみられる。これは、共鳴幅が狭くなるにつれ、環境の振動などによる共鳴条件の感度が高くなった結果、系が常に過渡的な状態にある為と思われる。振動によって共鳴状態が変動しながらも、自発発振によって共鳴を回復しようとしている状態である。共振器の構造体の剛性を高めることによって、この変動はある程度改善が出来ると期待できる。

【0058】

コンプトン光源用のレーザー標的としての応用を考える場合、発振をモードロックパルス化できれば、同じ平均パワーでも、より高いピーク強度が得られ、魅力的である。現状は共振器の複数の共鳴条件が同時に発振するマルチ縦モード発振であると考えられ、周回路の一部に可飽和吸収鏡を挿入したうえで、系全体の光路長を共振器部の光路長の整数倍に調整すれば、多数の縦モードの位相を揃えることができ、ハーモニックモードロック化が可能ではないかと判断される。

【0059】

図6は、本発明の電子銃駆動用レーザーへの応用例を示すものである。図6において、モードロックパルス化したうえで、共振器部にSHG結晶を設置すれば高効率高繰り返しの2倍波レーザーを構成することができる可能性が示される。共振器の損失が主に波長変換で決まるならば、励起光パワーは全て2倍波に移るので、効率が高い。共振器部の光路長を加速器繰り返しに合わせ、全周長をその整数倍に調整すれば、光陰極電子銃のドライブレザーとしても応用が可能ではないかと考えている。

【0060】

4.まとめ

高効率に連続高強度のレーザー光を実現する手法として、レーザー蓄積装置の技術がある。これを高ゲイン増幅器と組み合わせることで系を自己発振状態にすることができ、共振器制御の技術的困難を解決することができる。この手法はレーザーコンプトン光源にとって有効であるだけでなく、パルス化やSHGとの組み合わせにより様々な応用の可能性が期待できる。

【産業上の利用可能性】

【0061】

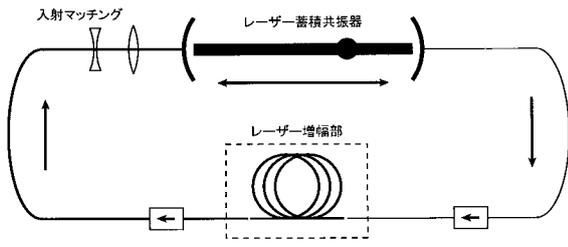
本発明は、強いレーザー光を発生させるレーザー装置に関し、特に、光共振器のフィネスを高めた時でも、安定して発振させ得るようにしたレーザーコンプトン錯乱を利用した光源用レーザーに関するものであり、産業上の利用可能性を有する。

10

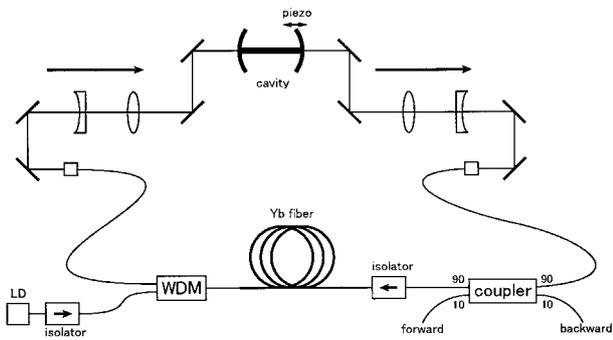
20

30

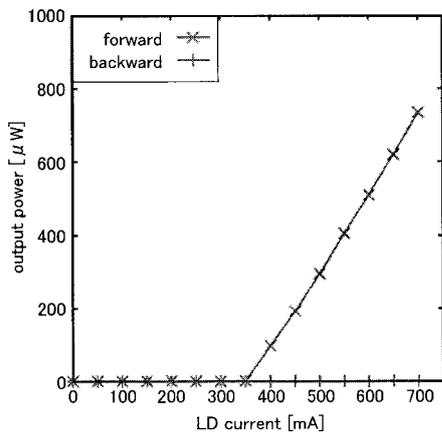
【 図 1 】



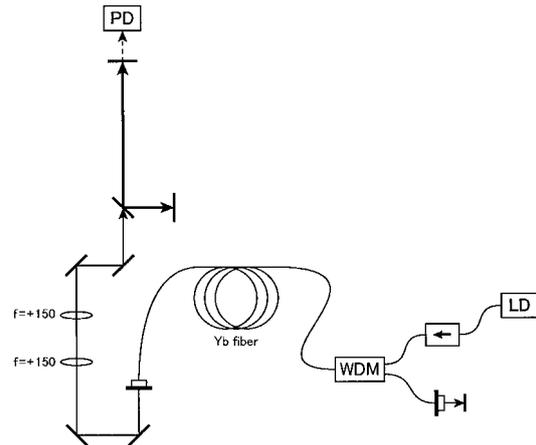
【 図 2 】



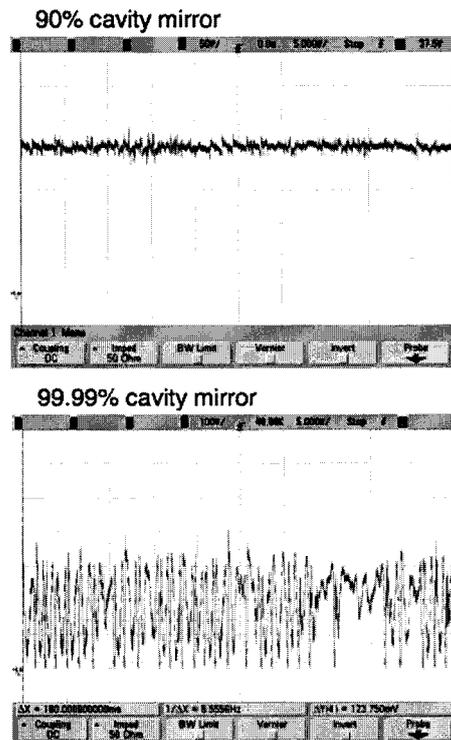
【 図 4 】



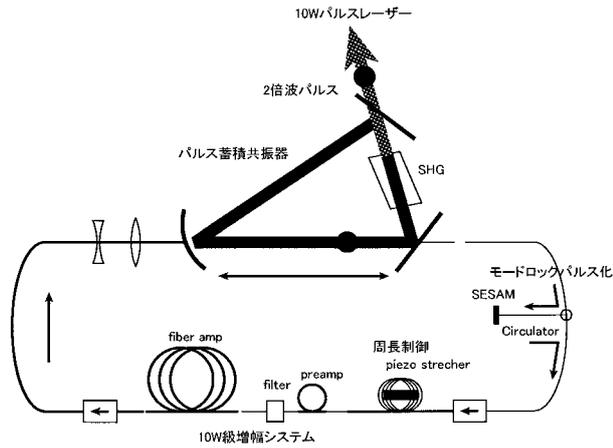
【 図 3 】



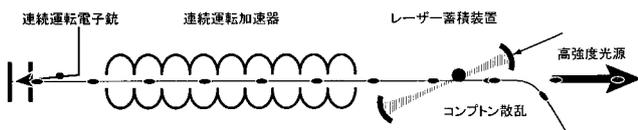
【 図 5 】



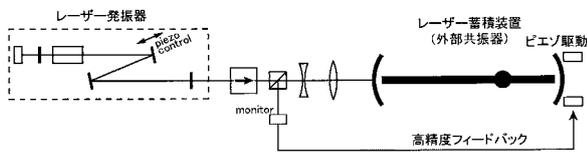
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 手続補正書 】

【 提出日 】平成22年7月29日 (2010.7.29)

【 手続補正 2 】

【 補正対象書類名 】明細書

【 補正対象項目名 】0 0 0 1

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 0 0 0 1 】

本発明は、強いレーザー光を発生させるレーザー装置に関し、特に、光共振器のフィネスを高めた時でも、安定して発振させ得るようにしたレーザーコンプトン散乱を利用した光源用レーザーに関する。

【 手続補正 3 】

【 補正対象書類名 】明細書

【 補正対象項目名 】0 0 0 3

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 0 0 0 3 】

一方、図7に示すようなコンプトン散乱を利用した蓄積リング型装置や超伝導加速器をベースにした連続運転のシステムによってレーザーの平均強度を高めようとする、連続的に高強度のレーザー標的が必要となる。

【 手続補正 4 】

【 補正対象書類名 】明細書

【 補正対象項目名 】0 0 1 8

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 0 0 1 8 】

1 . 本発明の第 1 の実施形態の説明

図 1 は、周回発振型光蓄積装置の概念を説明する図であり、図 2 は、本発明の第 1 の実施例である周回発振型光蓄積によるレーザー発振装置の構成を示す。

【 手続補正 5 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 0 1 9

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 0 1 9 】

図 1 及び図 2 に示すように、本発明の第 1 の実施例であるレーザー発振装置外部共振器において、共鳴、通過したレーザー光を種光としてレーザー増幅部に再入力し誘導放出により増幅した後、共振器に再入射する。

【 手続補正 6 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 0 4 3

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 0 4 3 】

2 . 本発明の第 2 の実施形態の説明

図 3 は、本発明の第 2 の実施例に係る折り返し発振型光蓄積によるレーザー発振装置の構成を示す。

図 3 に示すように、レーザーダイオードと、光アイソレータと、分波 / 合波器 (W D M) と、 Y b ファイバと、反射器と、光学系と、光共振器とを備えており、 Y b ファイバを励起させ得られたレーザー光を光共振器に蓄積させながら、共振させることにより、強いレーザー光を発生させる。

【 手続補正 7 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 0 6 1

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 0 6 1 】

本発明は、強いレーザー光を発生させるレーザー装置に関し、特に、光共振器のフィネスを高めた時でも、安定して発振させ得るようにしたレーザーコンプトン散乱を利用した光源用レーザーに関するものであり、産業上の利用可能性を有する。

フロントページの続き

(72)発明者 浦川 順治

茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

(72)発明者 坂上 和之

東京都新宿区新大久保3-4-1 早稲田大学総合研究所理工学研究所内

Fターム(参考) 5F172 AF06 AM04 AM08 CC01 CC04 CC10 EE13 NN14 NN23 NQ33
NQ50 NQ53 NQ62