

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年6月11日(11.06.2015)



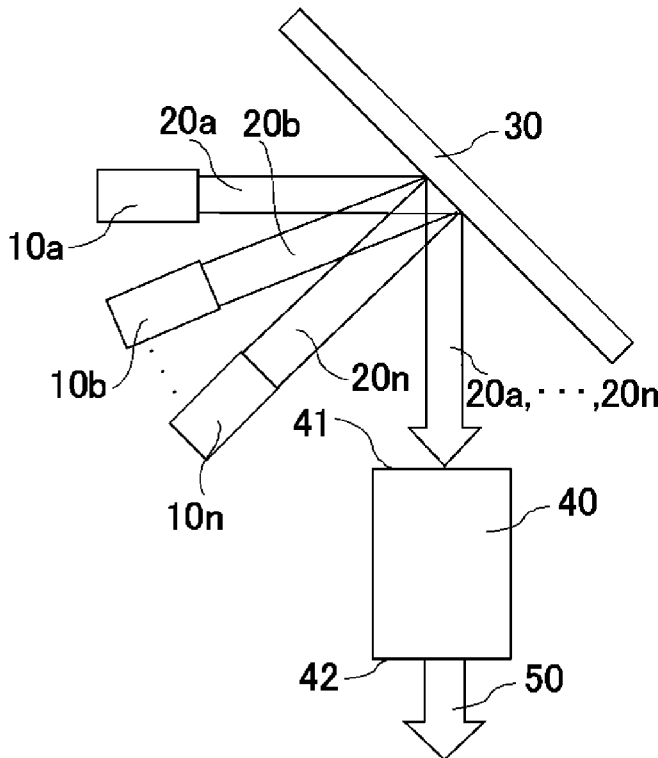
(10) 国際公開番号
WO 2015/083200 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/37 (2006.01) H01S 3/109 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/007151
- (22) 国際出願日: 2013年12月5日(05.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 正田 史生(SHODA, Fumio); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 柳澤 隆行(YANAGISAWA, Takayuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 秋野陽介(AKINO, Yosuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 高橋 省吾, 外(TAKAHASHI, Shogo et al.); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号三菱電機株式会社 知的財産センター内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: MULTI-WAVELENGTH LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 多波長レーザ装置



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a simply-configured multi-wavelength laser device capable of producing light already converted into a plurality of wavelengths and superimposed on the same axis, and relaxing restrictions on the superimposed light. The multi-wavelength laser device comprises: a laser light source (10) for emitting a plurality of laser light (20) having mutually different fundamental wavelengths; a dispersive element (30) for changing the traveling direction of the laser light (20) emitted from the laser light source (10) in accordance with the wavelength and incidence direction thereof and emitting the laser light in a coaxially superimposed state; and a wavelength conversion element (40), which has periodically formed polarity inversion region and non-polarity inversion region, for converting the wavelength of the plurality of coaxially superimposed fundamental-wave laser light emitted from the dispersive element (30) and emitting a wavelength-converted plurality of light (50) in the coaxially superimposed state.

(57) 要約: 同一軸上に重ね合わせられた複数の波長変換後の光が簡便な構成で得られ、且つ重ね合わせられる光に対する制限が緩和可能な、多波長レーザ装置を提供することを目的とする。基本波長が互いに異なる複数のレーザ光20を射出するレーザ光源10と、レーザ光源10から射出されたレーザ光20の進行方向を波長及び入射方向に応じて変更させ同一軸上に重なり合った状態で射出する分散素子30と、周期的に形成された分極反転領域及び非分極反転領域を有し、分散素子30から射出され同一軸上で重なり合った状態の複数の基本波レーザ光に対し波長変換をし、波長変換により得られた複数のレーザ光50を同一軸上に重なり合った状態で射出する波長変換素子40と、を備える。

周期的に形成された分極反転領域及び非分極反転領域を有し、分散素子30から射出され同一軸上で重なり合った状態の複数の基本波レーザ光に対し波長変換をし、波長変換により得られた複数のレーザ光50を同一軸上に重なり合った状態で射出する波長変換素子40と、を備える。

WO 2015/083200 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称：多波長レーザ装置

技術分野

[0001] 本発明は、一般的には、レーザ技術に関し、特に、波長の異なる複数のレーザ光を発生可能なレーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 例えばプロジェクタやプロジェクションテレビで代表されるカラー画像の表示装置においては、光源として例えばR（赤）、G（緑）、B（青）の3つの色の光源が必要とされる。

[0003] 近年、これらの光源として、基本波長が900nm帯、1 μ m帯、1.3 μ m帯のレーザ光を基本波（以下、基本波レーザ光と記載。）とし、非線形材料を用いてこれら基本波レーザ光に対し波長変換を行って第2高調波発生（SHG：Second Harmonic Generation）をさせることで、必要な色（波長）の光を生成する、波長変換型のレーザ装置が提案されている。

[0004] このような従来のレーザ装置の一例として、半導体レーザ、レーザ媒質、および非線形材料で構成されているものがある。（特許文献1）

[0005] 特許文献1のレーザ装置では、特許文献1中の図1に示すように、レーザ光発生に係る構成要素として、半導体レーザ、レーザ媒質および非線形光学材料を備えている。

[0006] そして、半導体レーザ素子がレーザ媒質に対する励起光を発生する。発生した励起光はレーザ媒質に吸収されて、レーザ媒質内において基本波レーザ光を増幅するための利得が生じる。

[0007] さらに、発生した利得により、レーザ媒質において基本波長でレーザ発振が起こり、基本波レーザ光が出射される。レーザ媒質から出射された基本波レーザ光は、非線形光学材料における波長変換によって、第2高調波の光に変換される。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：WO2006/103767号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] このような従来のレーザ装置において、レーザ媒質として特に固体素子を用いて基本波レーザ光を発生させる場合（いわゆる固体レーザの場合）に、基本波レーザ光の波長スペクトル幅が非常に狭くなることが多く、従って、波長変換により得られた光の波長スペクトルの幅も非常に狭くなることになる。

[0010] これは、波長変換後の光のコヒーレンシーが高いことを意味し、レーザ光として様々なメリットがある。

[0011] その反面、干渉性が強くなることを意味し、表示装置用に用いた場合にスペックルノイズが発生するという問題が知られている。

[0012] スペックルノイズを低減する方法としては、例えば、複数の波長の光を重ね合わせることで、光源のコヒーレンシーを低下させる方法が提案されている。

[0013] 図9は、従来技術を適用した場合の、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[0014] なお、図9は、説明を分かりやすくするために、上記特許文献1のような波長変換を用いた場合で、波長の異なる2つの基本派レーザ光から、第2高調波発生と和周波発生により、波長変換後のレーザ光を3種類発生する場合の例となっている。

[0015] 図において、200aおよび200bは基本波用のレーザ光源、300aおよび300bは基本波レーザ光、400、・・・、407はミラー（ハーフミラーを含む）、500a、500b、500abは波長変換素子、600a、600b、600abは波長変換により得られたレーザ光を示す。ま

た、矢印の方向は光の進行方向に対応する。

[0016] レーザ光源200aから出射された基本波レーザ光300aは、ミラー400により分岐される。分岐した基本波レーザ光300aの、一方は波長変換素子500aへ、他方はミラー401および402を介して波長変換素子500abへ入射する。

[0017] 同様に、レーザ光源200bから出射された基本波レーザ光300bは、ミラー403により分岐される。分岐した基本波レーザ光300bの、一方は波長変換素子500bへ、他方はミラー402を介して波長変換素子500abへ入射する。

[0018] 波長変換素子500aは、入射した基本波レーザ光300aを波長変換して、第2高調波のレーザ光600aを出射する。また、波長変換素子500bは、入射した基本波レーザ光300bを波長変換し、第2高調波のレーザ光600bを出射する。また波長変換素子500abは、入射した基本波レーザ光300aと300bとから、和周波のレーザ光600abを出射する。

[0019] 第2高調波のレーザ光600aおよび和周波のレーザ光600abは、ミラー404および405により重なり合わされ、さらに、ミラー406および407により第2高調波のレーザ光600bが重なり合わされる。

[0020] このように、図9の構成例では、2つの基本波レーザ光20aおよび20bを発生させ、発生した基本波レーザ光に対し波長変換素子において波長変換を行い、波長変換により得られたレーザ光600a、600b、600bが複数のミラーにより重なり合わされて出射される。

[0021] 上記図9の多波長レーザ装置では、複数枚のミラーを用いて複数個の波長変換素子に基本波レーザ光を入射させ、また、波長変換素子から出射された波長変換後のレーザ光をさらに複数枚のミラーにより同一軸上に結合しなければならない。

[0022] このため、装置の構成が複雑となるという課題があった。

[0023] 一方、光の波長の差が小さい場合、ミラーのコーティングの分光特性によ

って各々の波長の光の進行方向を規定または制限することが難しい。

[0024] このような場合に、偏光の異なる光を用いて重ね合わせる方法が考えられるが、偏光の異なる多くの光を重ねあわせることが困難であるという課題があった。

[0025] 本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであり、同一軸上に重なり合う複数の波長変換後の光が簡便な構成で得られ、且つ重ね合わせられる光に対する制限が緩和可能な、多波長レーザ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

[0026] 本発明に係る多波長レーザ装置は、基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を出射するレーザ光源と、

前記レーザ光源から出射された前記複数のレーザ光の各々の進行方向を波長及び入射方向に応じて変更させ、前記複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する分散素子と、

周期的に形成された分極反転領域及び非分極反転領域を有し、前記分散素子から出射され前記同一軸上で重なり合った状態の前記複数のレーザ光に対し前記分極反転領域及び非分極反転領域において波長変換をし、前記波長変換により得られた複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する波長変換素子と、を備えるようにしている。

[0027] また、本発明に係る別の多波長レーザ装置は、レーザ媒質に利得を与えるための複数の励起光を出射する励起光源と、

前記励起光を透過し基本波長のレーザ光を反射するための端部を前記励起光源側に有し、前記励起光源から出射された前記複数の励起光を用いて光増幅をし、基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を出射するレーザ媒質と、

前記レーザ媒質から出射された前記複数のレーザ光の各々の進行方向を波長及び入射方向に応じて変更させ、前記複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する分散素子と、

周期的に形成された分極反転領域及び非分極反転領域を有し、前記分散素

子から出射され前記同一軸上で重なり合った状態の前記複数のレーザ光に対し前記分極反転領域及び非分極反転領域において波長変換をし、前記波長変換により得られた複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する、波長変換素子と、

前記レーザ媒質の前記励起光源側の前記端部とともに前記基本波長が互いに異なる複数のレーザ光に対する共振器を構成し、前記波長変換素子から出射された前記波長変換により得られた複数のレーザ光を透過するとともに、前記基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を反射するミラーと、を備えるようにしている。

発明の効果

[0028] 本発明の多波長レーザ装置によれば、同一軸上に重なり合う複数の波長変換後の光が簡便な構成で得られ、且つ重ね合わせられる光に対する制限が緩和可能な、多波長レーザ装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0029] [図1]本発明の実施の形態1における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[図2]本発明の実施の形態1における、回折格子の動作原理を示す図である。

[図3]本発明の実施の形態1における、波長変換素子の概略構成と動作の例を示す斜視図である。

[図4]本発明の実施の形態1における、波長変換素子の内部構造の例を示す図である。

[図5]本発明の実施の形態2における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[図6]本発明の実施の形態3における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[図7]本発明の実施の形態4における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[図8]本発明の実施の形態5における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

す図である。

[図9]従来技術を適用した場合の、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0030] 以下に、本発明の各実施の形態について図を用いて説明する。

[0031] なお、以下の各実施の形態の図においては、同一または同様なものについては、同一または同様の番号を付け、各実施の形態の説明においてその説明を一部省略する場合がある。

[0032] また、図の各要素は、本発明を説明するために便宜的に分割したものであり、その実装形態は図の構成、分割、名称等に限定されない。また、分割の仕方自体も図に示した分割に限定されない。

[0033] 実施の形態1.

[0034] 以下に、本発明の各実施の形態1について図1ないし図5を用いて説明する。

[0035] 図1は、本発明の実施の形態1における、多波長レーザ装置の概略構成を示す図である。

[0036] 図において、10(10a、・・・、10n)はレーザ光源、20(20a、・・・、20n)は基本波レーザ光、30は分散素子、40は波長変換素子、50は波長変換により得られたレーザ光を示す。また、矢印の方向は光の進行方向を示す。

[0037] 本実施の形態1は、いわゆる外部型の波長変換方式、すなわちレーザ発振のための共振器構造の外部に波長変換素子が配置される構成、を用いた場合の例となっている。

[0038] なお、以下の説明において、レーザ光源全体を指す場合または個々のレーザ光源を区別しない場合は符号10を用い、個々のレーザ光源を指す場合または個々のレーザ光源を区別するは符号10aないし10nを用いて説明する場合がある。基本波レーザ光20(20a、・・・、20n)についても同様にして説明する場合がある。

- [0039] また、波長変換により得られるレーザ光50は、波長変換素子で発生する複数のレーザ光の組合せに依存するため、波長変換により得られる複数のレーザ光の全体を示すものとし、波長変換により得られた個々のレーザ光を区別しない。
- [0040] レーザ光源10は、基本波長が互いに異なる複数のレーザ光、すなわち基本波レーザ光、20aないし20nを出射する。
- [0041] ここで、個々のレーザ光源10a、10b、・・・、10nは、その内部に、レーザ発振のための共振器構造を有している。また、個々のレーザ光源10a、10b、・・・、10nから出射されるレーザ光20a、20b、・・・、20nは、対応する基本波長 λ_a 、 λ_b 、・・・、 λ_n でレーザ発振しているものとする。
- [0042] また、本実施の形態では、個々のレーザ光源10a、10b、・・・、10nは、互いに異なる位置に配置される、または、異なる位置からレーザ光を出射する、場合の例となっている。
- [0043] さらに、本実施の形態では、個々のレーザ光源10a、10b、・・・、10nから出射されるレーザ光が直接分散素子30に入射する場合の例となっている。そのため、個々のレーザ光源10a、10b、・・・、10nの、レーザ光を出射する側の端部の向きは、分散素子30にレーザ光が入射するように配置されている。
- [0044] レーザ光源10としては、本実施の形態に適用可能なレーザは種類を問わず、例えば(1)半導体レーザ、(2)固体レーザ、が適用可能である。
- [0045] 例えば半導体レーザの場合には、複数の活性層を有し、複数のレーザ光をアレー状に出射可能な、マルチエミッタ発振を行なっているものを適用することができる。
- [0046] また、例えば固体レーザの場合には、(1)バルク型、(2)導波路型、のものを適用することができる。
- [0047] 分散素子30は、レーザ光源10から入射した複数のレーザ光20a、20b、・・・、20nの各々の進行方向を、波長及び入射方向に応じて変更

させる。

- [0048] また、分散素子30は、レーザ光源10から出射される複数のレーザ光20a、20b、・・・、20nが、分散素子30における入射領域が重なる位置及び向きに配置されている。
- [0049] また、分散素子30は、入射した複数のレーザ光20a、20b、・・・、20nを、同一軸上で重なり合った状態で出射するように配置される。
- [0050] 本実施の形態1では、分散素子30として、入射する光の波長に依存して光の進行する方向を変更できる回折格子を用いる場合の例となっている。
- [0051] なお、分散素子30として回折格子を用いる場合は、例えば、特定の次数と波長に対して高い回折効率を有するブレード（blazed）回折格子が望ましい。
- [0052] また、後述する回折格子の次数については、低い次数で使用するほど回折効率としては高くなるので、低い次数で使用可能なように形状及び寸法にすることが望ましい。
- [0053] なお、レーザ光源10の向きおよび配置を、基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nが分散素子30の入射領域が重なるように調整してもよい。
- [0054] 本実施の形態においては、ブレード回折格子を用いた場合を例に説明する。なお、ブレード回折格子の詳細については後述する。
- [0055] また、分散素子30は、レーザ光源10から出射されるレーザ光20a、20b、・・・、20nが、分散素子30で反射され、反射された基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nがほぼ同軸上に重ね合わされた状態で波長変換素子40に入射されるよう、形状、寸法および配置が規定されている。
- [0056] 波長変換素子40は、入射する基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nに対し、波長変換を行い、波長変換により得られたレーザ光50を出射する。
- [0057] 本実施の形態の動作説明では主に、第2高調波発生及び和周波発生 of 少な

くとも一方を用いた波長変換を行い、波長変換により得られたレーザ光50を出射する場合を例に説明する。

[0058] なお、以下の説明では、基本波レーザ光20の数(n)、及び、レーザ光50として同一軸上に重なり合った状態で出射されるレーザ光の数、に関し、数を特に限定しない汎用的な図を用いて説明をするが、特定の数の組合せ、例えば各々が2、の場合でも適用可能である。

[0059] また、波長変換素子40の端部の面41は、分散素子30で反射されて重なりあった状態のレーザ光20a、20b、・・・、20nが、入射するように配置されている。

[0060] また、波長変換素子40の端部の面41には、基本波長のレーザ光20a、20b、・・・、20nを透過するとともに、波長変換により得られたレーザ光50を反射するよう、光学膜が形成されている。

[0061] また、波長変換素子40の他方の端部の面42には、波長変換により得られたレーザ光50を透過するように、光学膜が形成されている。なお、端部の面42の光学膜は、基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nを反射する光学膜にしても良いし、透過する光学膜にしても良い。

[0062] これらの光学膜41および42は、例えば誘電体薄膜を積層することによって形成することができる。

[0063] 波長変換素子40の材料としては、従来及び新規な波長変換用材料を用いることができ、例えば、従来材料として、KTP、KN、BBO、LBO、CLBO、LiNbO₃、LiTaO₃、を用いることができる。

[0064] 波長変換素子40の詳細については後述する。

[0065] 次に、分散素子30として用いたブレード回折格子について説明する。

[0066] 図2は、ブレード回折格子の動作原理を示す図である。

[0067] なお、図1と同様な構成要素および符号については、詳細な説明を省略する。

[0068] 図において、70は回折格子が形成される面に対する法線、 α (αa 、 αb 、 αc)は、回折格子の法線70を基準とした基本波レーザ光20(20

a、20b、20c)の入射角、 β は回折格子の法線70を基準とした基本波レーザ光20(20a、20b、20c)の出射角、dは回折格子のピッチ、矢印は光の進行方向を示す。

[0069] なお、図においては、回折格子30は、その断面を示しており、図の上側の面に格子が形成されている。

[0070] また、図においては、わかりやすくするために、基本波レーザ光20の数が3の場合を例として示している。ただし、他の数でもよく、図1と同様に基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nがあるものとして考えてよい。

[0071] また、角度をわかりやすくするために、図1と異なり、矢印は細い矢印で示している。

[0072] 分散素子30から出射される光の出射角度は、分散素子30への光の入射角度、分散素子30の回折格子のピッチ、入射する光の波長、に依存し、ブレード回折格子の場合は以下のグレーティング (g r a t i n g) 方程式により表される。

[0073] $\sin \alpha + \sin \beta = Nm\lambda \quad \cdot \cdot \cdot (1)$

ここで、 α は光の入射角度、 β は光の出射角度、 λ は光の波長、mは次数、Nは1mmあたりの格子のスリット数(溝本数)を表す。ここで、スリット数(溝本数)Nは、開口の間隔(回折格子周期)dの逆数として規定される。

[0074] なお、角度 α および β の値は、回折格子が形成される面に対する法線を基準とし、図において反時計回りを正とする。

[0075] 式(1)に基づいて、基本波レーザ光20a、20b、20cの出射角度 β が等しくなるように、回折格子30に入射する3つの基本波レーザ光20a、20b、20cの入射角度 α_a 、 α_b 、 α_c を決定し、複数のレーザ光源10および回折格子30を配置させる。

[0076] このようにして、レーザ光源10から出射された、波長の異なる複数の基本波レーザ光20a、20b、20cは、同じ出射角度 β で出射するように

することができる。

[0077] そして、基本波レーザ光 20 a、20 b、20 c の入射領域が重なるように配置することで、基本波レーザ光 20 a、20 b、20 c が同一軸上に重なり合った状態で回折格子 30 から出射するようにできる。

[0078] 次に、波長変換素子 40 の詳細および動作原理について説明する。

[0079] 波長変換素子 40 には、同一軸上に重なり合った状態の複数の基本波長のレーザ光が、分散素子 30 から入射する。波長変換素子 40 は、入射したレーザ光を波長変換して、波長変換により得られた複数のレーザ光 50 を端部の面 42 から出力する。

[0080] 本実施の形態では、波長変換素子 40 として QPM (Quasi-Phase Matching: 擬似位相整合) 波長変換素子を用いる場合の例を説明する。

[0081] 図 3 は、QPM 波長変換素子 40 の概略構成と動作の例を示す斜視図である。

[0082] 図において、43 は分極反転層、44、45 は光学膜を示す。

[0083] なお、図 1 および図 2 と同様な構成要素については、詳細な説明を省略する。

[0084] 図に示すように、波長変換素子 40 は、複数の分極反転層 43 を有している。

[0085] 分極反転層 43 は、一定方向に分極した誘電体材料の、分極の方向が反転したものである。

[0086] 波長変換素子 40 内では、分極反転層 43 として、非分極反転領域と分極反転領域が交互に配置されており、分極反転層 43 全体として 1 つの結晶となっている。

[0087] これにより、波長変換素子 40 内には、周期的に分極反転層 43 が形成される。

[0088] 波長変換素子 40 には、基本波長が互いに異なる複数の基本波レーザ光 20 a、20 b、・・・、20 n が、同一軸上で重なり合った状態で端部の面

41から入射する。

[0089] なお、この場合、重なり合った状態の基本波レーザ光20a、20b、
・・・、20nの軸線と、波長変換素子40の光学的な軸または結晶軸とが必ずしも一致している必要はなく、例えば、(1)レーザ光20a、20b、
・・・、20nの波長の組合せ、(2)素子の構造、(3)波長変換方式、
に依存して異なってもよい。

[0090] 波長変換素子40に入射した基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nは、交互に配置された非分極反転領域および分極反転領域の中を順番に伝播し、他の端部の面42まで伝播する。

[0091] 図4は、図3に示したQPM波長変換格子の内部構造の例を示す図である。

[0092] なお、上記各図と同様な構成要素については、詳細な説明を省略する。

[0093] 図においては、図3に示した波長変換素子40を側面からみた場合の、分極反転のパターンを示している。

[0094] なお、図4は、基本波長 λ_a 、・・・、 λ_n の光のすべての光に対応する波長変換が可能な、汎用的な場合を示している。

[0095] 図において、46(46aa、・・・、46nn)は第2高調波発生領域、47(47ab、・・・、47na)は和周波発生領域、 Λ (Λaa 、
・・・、 Λnn 、 Λab 、・・・、 Λna)は各発生領域46(46aa、
・・・、46nn、47ab、・・・、47na)の周期、プラス(+)印およびマイナス(-)印は分極の向きを示す。

[0096] また、各領域を示す符号中の添字a、b、・・・、nは、基本波レーザ光20の符号20a、20b、・・・、20nの添字a、b、・・・、nに対応している。したがって、第2高調波発生領域46の場合は同じ添字が、和周波発生領域47の場合は異なる添字が符号中に用いられる。

[0097] また、図において、プラス(+)で示した分極層(非分極反転領域)とマイナス(-)で示した分極層(分極反転領域)からなる1組の分極層が、光軸方向に沿って複数組配設された構成となっている。

- [0098] 上記の非分極反転領域と分極反転領域の周期 Λ (Λ_{aa} 、 \dots 、 Λ_{nn} 、 Λ_{ab} 、 \dots 、 Λ_{na})は、入射する基本波レーザ光20の波長、および、波長変換により得られるレーザ光50の波長、に応じて波長変換素子40を形成する際に決められる。
- [0099] 第2高調波発生領域46aaは、基本波長 λ_a の光が波長 $\lambda_a/2$ を有する第2高調波に変換されるよう、結晶軸の角度、動作温度、周期などのパラメータが、波長変換素子40を形成する際に決められる。
- [0100] 同様に、他の第2高調波発生領域46bb (\dots 、46nn)を形成することで、基本波長 λ_b (\dots 、 λ_n)の光が、波長 $\lambda_b/2$ (\dots 、 $\lambda_n/2$)を有する第2高調波に変換されるようにすることができる。
- [0101] さらに、和周発生領域47abは、基本波長 λ_a 及び λ_b の光が波長 λ_{ab} ($= (\lambda_a \cdot \lambda_b) / (\lambda_a + \lambda_b)$)を有する和周波光に変換されるよう、結晶軸の角度、動作温度、周期などのパラメータが素子を形成する際に決められる。
- [0102] 他の和周発生領域についても上記同様であるので、その説明を省略する。
- [0103] このように、基本波長 λ_a の光に対して第2高調波を発生させたい場合には、波長 λ_a に対応する周期 Λ_{aa} の領域、波長 λ_b の光に対して第2高調波を発生させたい場合には、波長 λ_b に対応する周期 Λ_{bb} の領域、 \dots 、波長 λ_n の第2高調波を発生させたい場合には、波長 λ_n に対応する周期 Λ_{nn} の領域が形成される。
- [0104] 同様に、波長 λ_a と波長 λ_b の和周波を発生させる場合には、波長 λ_a と波長 λ_b とに対応する周期 Λ_{ab} の領域、波長 λ_b と波長 λ_c の和周波を発生させる場合には、波長 λ_b と波長 λ_c に対応する周期 Λ_{bc} の領域、 \dots 、波長 λ_n と波長 λ_a の和周波を発生させる場合には、波長 λ_n と波長 λ_a に対応する周期 Λ_{na} の領域が形成される。
- [0105] 以上のように構成された波長変換素子(QPM波長変換素子)40に、例えば例えば波長 λ_a の基本波レーザ光20aと波長 λ_b の基本波レーザ光2

0 bが入射する場合を考える。波長 λa の基本波レーザ光2 0 aが入射すると、波長 λa 用の第2高調波発生領域4 6 a aにおいて、非線形光学効果によって、波長 λa の基本波レーザ光2 0 aの一部が、波長 $\lambda a/2$ を有する第2高調波のレーザ光に波長変換される。

[0106] 同様に、波長 λb の基本波レーザ光2 0 bが入射すると、その波長に対応する第2高調波発生領域4 6 b bにおいて、波長 λb の基本波レーザ光2 0 bの一部が第2高調波のレーザ光2 0 bに波長変換される。

[0107] そして、周期 $\Lambda a a$ の領域4 6 a aおよび周期 $\Lambda b b$ の領域4 6 b bにおいて第2高調波のレーザ光に変換されなかった基本波レーザ光2 0 aおよび2 0 b、の一部が、これら両波長に対する和周波発生領域4 7 a bにおいて、非線形光学効果によって、波長 $\lambda a b (= \lambda a \cdot \lambda b / (\lambda a + \lambda b))$ を有する和周波のレーザ光に変換される。

[0108] 他の波長の基本波レーザ光が入射する場合についても同様に、対応する第2高調波発生領域を設けておくことで、同様に第2高調波のレーザ光に変換される。また、基本波レーザ光の他の組合せに対して、和周波に変換される領域（周期 $\Lambda b c$ 、・・・周期 $\Lambda n a$ の領域）4 7を設けておくことで、各々の領域において、対応する波長の基本波レーザ光の一部が和周波のレーザ光に変換される。

[0109] 端面4 2が基本波レーザ光を反射する光学膜が形成されている場合、波長変換素子4 0に入射したが波長変換されなかった基本波レーザ光2 0は、端面4 2で全反射され、再度、波長変換素子4 0内を伝播し、その一部が第2高調波および和周波のレーザ光に変換される。

[0110] 一方、波長変換により得られた第2高調波および和周波のレーザ光は、端面4 2から波長変換素子4 0の外部に直接出射されるか、端面4 1で全反射してから端面4 2から素子の外部に出射される。

[0111] 波長変換により得られたレーザ光は、複数のレーザ光が同一軸上に重ね合わされた状態のレーザ光5 0となる。

[0112] 以上のように、本実施の形態の多波長レーザ装置によれば、同一軸上に重

なり合う複数の波長変換後のレーザ光が簡便な構成で得られ、且つ重ね合わせられる光に対する制限が緩和可能な、多波長レーザ装置を提供することができる。

[0113] また、1つの波長変換素子内において複数の波長変換領域を設けているので、各変換領域における、基本波長のレーザ光20に対する損失を少なくすることができ、波長変換効率の良好な多波長レーザ装置を提供することができる。

[0114] なお、本発明の実施の形態においては、多波長レーザ装置の構成が図1に示した構成の場合の例を用いて説明したが、図1に示した構成以外の構成であってもよい。

[0115] また、本発明の実施の形態の説明において、同一軸上で重なり合った状態としては、各レーザ光の断面および進行方向が全て一致することが望ましいが、完全に一致する必要はなく、本発明の効果を奏する程度、または、例えば本発明のレーザ装置を利用する表示装置において表示装置に必要な性能を満足する程度、に重なっていればよい。

[0116] また、本実施の形態では、分散素子30として、反射型の回折格子を用いて説明したが、分散素子30の形態はこれに限定されるものではない。例えば、後述する分散プリズムを用いてもよい。この場合も、複数のレーザ光源10から入射されたレーザ光に対して、これらの複数の基本波レーザ光がほぼ同軸上に重なり合った状態で波長変換素子40に入射させるように、分散素子30およびレーザ光源10が配置されていれば、本実施の形態と同様の機能が得られる。

[0117] また、波長変換素子40の材料として、光損傷に強いMgO添加LiNbO₃、MgO添加LiTaO₃、定比LiNbO₃、定比LiTaO₃を用いるようにしてもよい。

[0118] この場合、波長変換素子40に入射する基本波レーザ光20のパワー密度を上げることができるので、より高効率な波長変換が可能となる。

[0119] さらに、波長変換素子40の材料として、周期反転分極構造を持つMgO

添加LiNbO₃、MgO添加LiTaO₃、定比LiNbO₃、定比LiTaO₃、KTPを用いるようにしてもよい。この場合、非線形定数が大きいので、MgO添加LiNbO₃などよりも高効率な波長変換が可能となる。

[0120] 実施の形態2.

[0121] 以下に、本発明の各実施の形態2について図5を用いて説明する。

[0122] なお、上記実施の形態1の図2の構成と同一または同様な要素については、その説明を省略する場合がある。

[0123] 図5は、本発明の実施の形態2における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[0124] 図において、60はレンズを示す。

[0125] 上記実施の形態1と異なる点は、実施の形態1の図1に示すレーザ装置において、レーザ光源10と分散素子30との間に、レンズ60が追加され、レーザ光源10のレーザ光出射側をレンズ60に向けて配置している点である。

[0126] レンズ60は、レーザ光源10から入射した、基本波長が互いに異なる複数のレーザ光20a、20b、・・・、20nを、分散素子30の同一領域に向けて出射する。

[0127] レーザ光源10a、10b、・・・、10n、レンズ60および分散素子30の配置は、上記実施の形態1と同様に、分散素子30に入射するレーザ光20a、20b、・・・、20nの出射角度 β が等しくなるように、上記式(1)を満足するよう配置される。

[0128] なお、レーザ光源10a、10b、・・・、10nのレーザ光出射位置と、レンズ60と、の間の距離は、レンズ60の焦点距離に相当する距離にすることが望ましい。

[0129] 以上のような構成により、レーザ光20a、20b、・・・、20nは、レンズ60に入射する位置がそれぞれ異なるので、レンズ20の偏心によって、分散素子30にそれぞれ入射する角度が異なる。

[0130] 分散素子30には、レンズ60により集光されたレーザ光20a、20b、・・・、20nが、分散素子30の同一領域で重なり合うように入射する。

[0131] 分散素子30からは、集光されたレーザ光20a、20b、・・・、20nが、同一軸上に重なり合った状態で、波長変換素子40に向かって出射される。

[0132] 以上のように、本実施の形態の多波長レーザ装置によれば、実施の形態1と同様な効果を奏する。

[0133] なお、本発明の実施の形態の説明において、同一領域で重なり合う状態として、分散素子30の同一領域で重なり合う領域が全て一致することが望ましいが、完全に一致する必要はなく、本発明の効果を奏する程度、または、例えば本発明のレーザ装置を利用する表示装置において表示装置に必要な性能を満足する程度、に重なっていればよい。

[0134] また、本実施の形態では、1つのレンズ60を用いているが、図の構成に限定されず、例えば(1)個々のレーザ光源10a、10b、・・・、10nまたはレーザ光20a、20b、・・・、20nに対しレンズを配置する、(2)一部のレーザ光源またはレーザ光に対して個別のレンズを用いるようにしてもよい。

[0135] 実施の形態3.

以下に、本発明の各実施の形態3について図6を用いて説明する。

[0136] なお、上記各実施の形態の図の構成と同一または同様な要素については、その説明を省略する場合がある。

[0137] 図6は、本発明の実施の形態3における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[0138] 図において、31は角度調整機構、70はミラー、80(80a、80b、・・・、80n)は半導体レーザ、90(90a、90b、・・・、90n)は励起光、100(100a、100b、・・・、100n)はレーザ媒質を示す。

- [0139] なお、以下の説明において、実施の形態1と同様に、半導体レーザ全体を指す場合または個々のレーザ光源を区別しない場合は符号80を用い、個々のレーザ光源を指す場合または個々のレーザ光源を区別するは符号80aないし80nを用い説明する場合がある。励起光90についても同様にして説明する場合がある。
- [0140] 上記実施の形態1との図1と大きく異なる点は、図1のレーザ光源10を、半導体レーザ80およびレーザ媒質100に置き換えて配置している点と、波長変換素子40のレーザ光50出力側に、ミラー70が追加されている点である。
- [0141] これにより、実施の形態1および実施の形態2に示す外部型の波長変換方式、すなわち共振器外部に波長変換素子を設置する構成、ではなく、内部型の波長変換方式、すなわち共振器内部に波長変換素子を設置する構成の場合の例となっている。
- [0142] 半導体レーザ80は、レーザ媒質100を励起するための複数の励起光90を出射する励起光源である。
- [0143] すなわち、半導体レーザ80は、レーザ媒質100が光増幅のための利得を生じさせるのに必要な、励起光90を出射する。各励起光90a、90b、・・・、90nの波長は、各レーザ媒質100a、100b、・・・、100n、レーザ媒質から出射されるレーザ光20a、20b、・・・、20nの波長および出力等に応じて予め決定される。
- [0144] また、半導体レーザ80は、励起光90を出射する側の端部が、レーザ媒質100の端部の面101と対向するように設けられる。
- [0145] 半導体レーザ80は、例えば、化合物半導体材料によって構成されたレーザを用いることができる。
- [0146] レーザ媒質100には、励起光源80から出射された励起光90が入射する。また、レーザ媒質100は、基本波長が互いに異なる複数のレーザ光20a、20b、・・・、20nを出射する。
- [0147] また、レーザ媒質100aは、励起光90aを透過し基本波レーザ光20

aを反射するための端部の面101を励起光源側に有する。端部の面101は、基本波長のレーザ光20aを発振するための共振器構造の一部を構成する。

[0148] 同様に、他のレーザ媒質100b、・・・、100nも、励起光を透過し基本波レーザ光を透過する面101を有する。

[0149] レーザ媒質100の材料としては、従来及び新規なレーザ媒質を用いることができ、例えば、Nd:YAG、Nd:YLF、Nd:Glass、Nd:YVO4、Nd:GdVO4、Yb:YAG、Yb:YLF、Yb:KGW、Er:Glass、Er:YAG、Tm:YAG、Tm:YLF、Ho:YAG、Ho:YLF、Ti:Sapphire、Cr:LiSAFを用いることができる。

[0150] 波長変換素子40は、端部の面42が、基本波長の光も透過する特性を有する。

[0151] ミラー70は、基本波レーザ光20を反射し、波長変換により得られたレーザ光50を透過する特性を有する。

[0152] また、ミラー70は、レーザ媒質の端部の面101とともに、基本波長のレーザ光20を発振するための共振器の一部を構成する。

[0153] 次に、レーザ装置の動作について説明する。

[0154] 以下では、説明を分かりやすくするため、異なる2つの基本波長 λa および λb の基本波レーザ光を用いて波長変換をし、各々の基本波レーザ光の第2高調波、及び両基本波レーザ光の和周波のレーザ光、を発生する場合を例として説明する。但し、レーザ光の数は他の数であってもよく、限定されない。

[0155] なお、レーザ媒質100aは、増幅利得がピークとなる波長が λa あり、レーザ媒質100bは増幅利得がピークとなる波長が λb にあり、それぞれその波長でレーザ発振するとして説明する。

[0156] まず、半導体レーザ80aからレーザ媒質100aを励起するための励起光90aが出射される。

- [0157] レーザ媒質100aに励起光90aが入射することにより、レーザ媒質100a内では電子の反転分布状態が形成され、自然放出光が共振するモードに入り、自然放出光が誘導放出により増幅される。
- [0158] この光は、レーザ媒質100aの端部の面101とミラー70とで構成される共振器の中を往復する。
- [0159] その際、共振器を1周する際の増幅利得が、共振器を1周する際に受ける損失を上回ると、波長 λa の光がレーザ発振し、レーザ媒質100aから基本波レーザ光20aが出射される。
- [0160] 同様に、半導体レーザ80b、レーザ媒質100b、ミラー70によって、波長 λb の光がレーザ発振し、レーザ媒質100bから基本波レーザ光20bが出射される。
- [0161] レーザ媒質100aから出射される基本波レーザ光20aおよびレーザ媒質100bから出射される基本波レーザ光20bは、波長 λa および λb に関し式(1)を満足する入射角度 αa 、 αb (図2参照)で分散素子30に入射する。
- [0162] 分散素子30から出射される基本波レーザ光20aおよび20bは、出射角度 β が等しくなり、同一軸上に重なり合った状態で出射される。
- [0163] 波長変換素子40は、波長 λa 及び波長 λb の基本波長の光に対して、波長 λa の第2高調波(波長 $=\lambda a/2$)、波長 λb の第2高調波(波長 $=\lambda b/2$)、波長 λa と波長 λb との和周波(波長 $\lambda ab=(\lambda a \cdot \lambda b)/(\lambda a + \lambda b)$)が発生するように、周期的な分極反転層が予め形成される(図4参照)。
- [0164] 波長変換素子40に波長 λa の基本波レーザ光20aが入射すると、波長 λa 用の第2高調波発生領域(周期 Λaa の領域)46aaにおいて、波長 λa の基本波レーザ光20aの一部が、波長 $\lambda a/2$ を有する第2高調波光に波長変換される。
- [0165] 同様に、波長 λb の基本波レーザ光20bに対して、波長 λb の光が第2高調波に変換される領域(周期 Λbb 領域)46bbにおいて、波長 $\lambda b/$

2のレーザ光に変換される。

- [0166] また、和周波発生領域（周期 Λ a bの領域）4 7 a bにおいて、波長 λ aと波長 λ bの基本波レーザ光が、波長 λ a b（ $=\lambda$ a · λ b / (λ a + λ b)）を有する和周波光に変換される。
- [0167] 波長変換素子4 0で発生した上記第2高調波および和周波のレーザ光は、波長変換素子4 0の端部の面4 2およびミラー7 0を介して、外部に出射される。
- [0168] このとき、波長変換により得られたレーザ光は、複数のレーザ光が同一軸上に重なりあった状態のレーザ光5 0となって、波長変換素子4 0から出射される。
- [0169] このように、同一軸上に重ね合わされた状態で波長 λ a及び波長 λ bの基本波レーザ光（2 0 a、2 0 b）が波長変換素子4 0に入射し、入射したレーザ光が非分極反転領域内と分極反転領域内とを順番に伝搬することで波長変換され、波長 λ a / 2、 λ b / 2、 λ a bの3つのレーザ光が発生する。
- [0170] これらの3つのレーザ光は、波長変換素子4 0の端面4 2を介して、ミラー7 0から外部に出射される。
- [0171] 分散素子3 0から入射したが波長変換素子4 0内で第2高調波および和周波の光に変換されなかった基本波レーザ光2 0 a、2 0 bは、端面4 2を介してミラー7 0で反射され、再度波長変換素子4 0内に入射し、上記同様に、非分極反転領域および分極反転領域を通過する際に、その一部が第2高調波および和周波の光に変換される。
- [0172] この際に発生した第2高調波および和周波の光は、波長変換素子4 0の端面4 1で反射され、端面4 2を介してミラー7 0から外部に出射される。
- [0173] 一方、ミラー7 0で反射され再度波長変換素子4 0に入射したが波長変換されなかった基本波レーザ光2 0 a、2 0 bは、各々の波長に対応するレーザ媒質1 0 0 a、1 0 0 bの端部の面1 0 1、すなわち共振器の一部、まで伝播し、そこで反射され、上記同様に基本波レーザ光のレーザ発振動作に寄与する。

- [0174] 以上のように、本実施の形態の多波長レーザ装置によれば、実施の形態1と同様な効果を奏する。
- [0175] また、内部型の波長変換方式にすることにより、実施の形態1および実施の形態2で示した基本波の波長変換を共振器外部で行う場合よりも、効率良く波長変換することができる。
- [0176] なお、本実施の形態においては、レーザ媒質100の利得のピーク波長において基本波長でレーザ発振し、且つ、利得のピーク波長において分散素子30で反射される光の出射角度 β が同一になるように、レーザ媒質100および分散素子30が構成される場合について説明した。
- [0177] 上記式(1)を参照すると、本実施の形態におけるレーザ媒質100の利得帯域が広い場合には、分散素子30の角度を変えることで式(1)を満足する波長が変化することから、レーザ発振する基本波長を変えることができることがわかる。
- [0178] そこで、分散素子30に複数のレーザ媒質12から入射されるレーザ光の入射角度を変えて配置する、または、分散素子30に入射するレーザ光20の入射角度を調整できるように角度調整機構31(図6参照。但し、詳細な構成は図示していない。)を備えるようにしてもよい。
- [0179] 角度調整機構31を備える場合、分散素子30への入射角度 α が変化するので基本波レーザ光20a、20bの波長は、レーザ媒質100a、100bの利得のピーク波長である λ_a 、波長 λ_b から波長 $\lambda_a + \Delta\lambda_a$ 、波長 $\lambda_b + \Delta\lambda_b$ へ変化する。ここで、 $\Delta\lambda_a$ 、 $\Delta\lambda_b$ は波長変化量を示す。
- [0180] 波長変換素子40において、波長 $\lambda_a + \Delta\lambda_a$ 、波長 $\lambda_b + \Delta\lambda_b$ の基本波長の光も波長変換されるように、予め結晶軸角度、温度、反転分極の周期などのパラメータを決定し分極構造を設けておくことで、波長変換により得られるレーザ光の波長を変化させ、同軸上に重なり合った状態で出射するようである。
- [0181] 実施の形態4.
- [0182] 以下に、本発明の各実施の形態4について図7を用いて説明する。

- [0183] なお、上記各実施の形態構成と同一または同様な要素については、その説明を省略する場合がある。
- [0184] 図7は、本発明の実施の形態4における、多波長レーザ装置の概略構成の例を示す図である。
- [0185] 上記実施の形態3の図6と異なる点は、レーザ媒質100と分散素子30との間に、レンズ60が追加され、レーザ媒質100の基本波レーザ光を出射する側が、レンズ60に向けて配置されている点である。
- [0186] レンズ60は、レーザ媒質100から出射された基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nの進行方向を変化させ、分散素子30の同一領域に向けて出射する。
- [0187] 各レーザ媒質100a、100b、・・・、100n、レンズ60および分散素子30の配置は、上記実施の形態2と同様に、分散素子30に入射する基本波レーザ光20a、20b、・・・、20nの出射角度 β が揃うよう、上記式(1)を満足するように配置される。
- [0188] なお、レーザ光源100a、100b、・・・、100nの基本波レーザ光の出射位置と、レンズ60と、の間の距離は、レンズ60の焦点距離に相当する距離にすることが望ましい。
- [0189] 以上のように、本実施の形態の多波長レーザ装置によれば、実施の形態1と同様の効果を奏する。
- [0190] また、実施の形態3と同様に、基本波に対する波長変換を共振器内部で行うことにより、実施の形態1および実施の形態2で示した基本波の波長変換を共振器外部で行う場合よりも、効率良く波長変換することができる。
- [0191] また、角度調整機構31を備えるので、実施の形態3において角度調整機構31を備える場合と同様に、波長変換後の波長を変化させ、同軸上に重なった状態で出射することができる。
- [0192] 実施の形態5.
- [0193] 以下に、本発明の各実施の形態5について図8を用いて説明する。
- [0194] なお、上記実施の形態1の図2の構成と同一または同様な要素については

、その説明を省略する場合がある。

[0195] 図8は、本発明の実施の形態5における、多波長発生レーザ装置の概略構成の例を示す図である。

[0196] 図において、110は分散プリズムを示す。

[0197] 上記各実施の形態と異なる点は、分散素子30として、回折格子ではなく、分散プリズム110を用いている点である。

[0198] 上記実施の形態1の回折格子30の場合は、入射したレーザ光20が反射する際に、進行方向が変化させるが、分散プリズム110の場合は、透過する際に進行方向が変化させる。

[0199] 多波長レーザ装置としての動作は、上記以外は同様である。

[0200] 以上のように、実施の形態1と同様な効果を奏する。

[0201] なお、上記実施の形態2および4のように、集光のためのレンズ60をさらに用いるようにしてもよい。

[0202] また、実施の形態3および4のように、内部共振器型の構成に適用してもよく、本実施の形態に限定されない。

[0203] なお、上記各実施の形態においては、波長変換素子40として、図4に示すような順番で分極反転領域が形成されている場合について説明したが、図4に示した波長変換領域を全て設ける必要はなく、例えば、同一軸上に重ねあわされた状態で出射させたい波長に対応する波長変換領域のみを形成しておいてもよい。レーザ光源10、または、半導体レーザ90およびレーザ媒質100、についても同様であり、全て設ける必要はない。

[0204] また、レーザ装置の実装として、(1)上記各図に示した構成及び構造を全て有するようにする、(2)波長変換素子40として図4に示した波長変換領域を全て有するが、レーザ光源10、または、半導体レーザ90およびレーザ媒質100の全ては備えない、など各種実装形態が可能である。

[0205] また、上記各実施の形態においては、波長変換素子40の第2高調波発生領域46において、分極反転周期が $\Lambda a a$ の領域、 $\Lambda b b$ の領域、 \dots 、 $\Lambda n n$ の領域を図に示す順番に配置する構造の場合を説明したが、これに限

定されない。

[0206] 例えば、端部41から端部42に向かって分極反転周期が漸増または漸減する、いわゆるチャープ状に変化する構造、を有するようにしてもよい。

[0207] さらに、各領域内において、チャープ状に変化する構造を有するようにしてもよい。

[0208] このように、分極反転の周期構造をチャープ状に変化させることにより、分極反転周期が一様な場合と比べて、位相整合条件の許容度である位相整合帯域幅を広くできる。

[0209] 和周波発生領域47についても同様に、分極反転の周期構造をチャープ状に変化させた構造にしてもよく、同様の効果が得られる。

[0210] また、上記各実施の形態においては、波長変換素子40が第2高調波および和周波を発生する場合の例を説明したが、これに限定されない。

[0211] 例えば、波長変換素子40内にとりして差周波発生用の領域やパラメトリック発振用の領域を設けてもよく、本発明の効果を奏する。

[0212] また、上記各実施の形態においては、分散素子30から出射された基本波レーザ光20が、同一軸上に重なり合った状態で波長変換素子40に入力し、波長変換により得られた複数のレーザ光が同一軸上に重なり合った状態で波長変換素子40から出射されている。

[0213] しかし、波長変換素子40への入射と波長変換素子40からの出射における上記両「同一軸」は必ずしも一致する必要はなく、例えばレーザ装置を実装する際の各種パラメータ、例えば波長変換素子40に用いるQPM波長変換阻止の擬似位相整合の条件、によっては異なる軸上で重なり合ってもよい。

[0214] また、上記各実施の形態で示した多波長レーザ装置の図は、わかりやすく説明するため、詳細な構造を省略した図となっているが、他の機能要素または構成要素、例えば電源手段、制御手段を含んでもよい。

[0215] また、上記各実施の形態における多波長レーザ装置の構成のしかたは一例であり、装置の実装においては、図に示す構成に限定されない。また、等価

な機能を実現できればよく各本実施の形態に限定されず、本発明の課題及び効果の範囲で各種変形が可能である。

符号の説明

[0216] 10 (10 a、10 b、・・・、10 n) レーザ光源、20 (20 a、20 b、・・・、20 n) 基本波レーザー光、30 分散素子 (回折格子または分散プリズム)、31 角度調節機構、40 波長変換素子、41 波長変換素子の端部 (または端部の面)、42 波長変換素子の端部 (または端部の面)、43 分極反転領域、44、45 光学膜 (誘電体薄膜)、46 (46 a a、・・・、46 n n) 第2高調波発生領域、47 (47 a b、・・・、47 n a) 和周波発生領域、50 波長変換後の波長のレーザー光、60 レンズ、70 ミラー、80 (80 a、80 b、・・・、80 n) 半導体レーザー、90 (90 a、90 b、・・・、90 n) 励起光、100 (100 a、100 b、・・・、100 n) レーザ媒質、110 分散プリズム (分散素子)、 α 入射角度、 β 出射角度、d 回折格子のピッチ

請求の範囲

[請求項1]

基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を出射するレーザ光源と、
前記レーザ光源から出射された前記複数のレーザ光の各々の進行方向を波長及び入射方向に応じて変更させ、前記複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する分散素子と、

周期的に形成された分極反転領域及び非分極反転領域を有し、前記分散素子から出射され前記同一軸上で重なり合った状態の前記複数のレーザ光に対し前記分極反転領域及び非分極反転領域において波長変換をし、前記波長変換により得られた複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する波長変換素子と、

を備える多波長レーザ装置。

[請求項2]

レーザ媒質に利得を与えるための複数の励起光を出射する励起光源と、

前記励起光を透過し基本波長のレーザ光を反射するための端部を前記励起光源側に有し、前記励起光源から出射された前記複数の励起光を用いて光増幅をし、基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を出射するレーザ媒質と、

前記レーザ媒質から出射された前記複数のレーザ光の各々の進行方向を波長及び入射方向に応じて変更させ、前記複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する分散素子と、

周期的に形成された分極反転領域及び非分極反転領域を有し、前記分散素子から出射され前記同一軸上で重なり合った状態の前記複数のレーザ光に対し前記分極反転領域及び非分極反転領域において波長変換をし、前記波長変換により得られた複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する、波長変換素子と、

前記レーザ媒質の前記励起光源側の前記端部とともに前記基本波長が互いに異なる複数のレーザ光に対する共振器を構成し、前記波長変換素子から出射された前記波長変換により得られた複数のレーザ光を

透過するとともに、前記基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を反射するミラーと、

を備える多波長レーザ装置。

[請求項3]

前記波長変換素子は、

前記非分極反転領域及び分極反転領域を複数有し、

前記複数の前記非分極反転領域及び分極反転領域における2倍高調波発生及び和周波発生の少なくとも一方を用いた波長変換により、前記分散素子から出射された前記同一軸上で重なり合った状態の複数のレーザ光に対し前記波長変換をし、前記波長変換により得られた複数のレーザ光を同一軸上に重なり合った状態で出射する、

請求項1または請求項2に記載の多波長レーザ装置。

[請求項4]

前記レーザ光源と前記分散素子との間に配置され、前記レーザ光源から出射され前記基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を、前記分散素子の同一領域に向けて出射する光学レンズ

をさらに備える、請求項1に記載の多波長レーザ装置。

[請求項5]

前記レーザ媒質と前記分散素子との間に配置され、前記レーザ媒質から出射され前記基本波長が互いに異なる複数のレーザ光を、前記分散素子の同一領域に向けて出射する光学レンズ

をさらに備える、請求項2に記載の多波長レーザ装置。

[請求項6]

前記波長変換素子は、

前記複数の前記非分極反転領域及び分極反転領域の分極反転周期が、前記基本波長のレーザ光が入射する側の端部から前記波長変換により得られたレーザ光を出射する側の端部に向かって、漸増または漸減する構造を有する、

請求項3ないし請求項5のいずれかに記載の多波長レーザ装置。

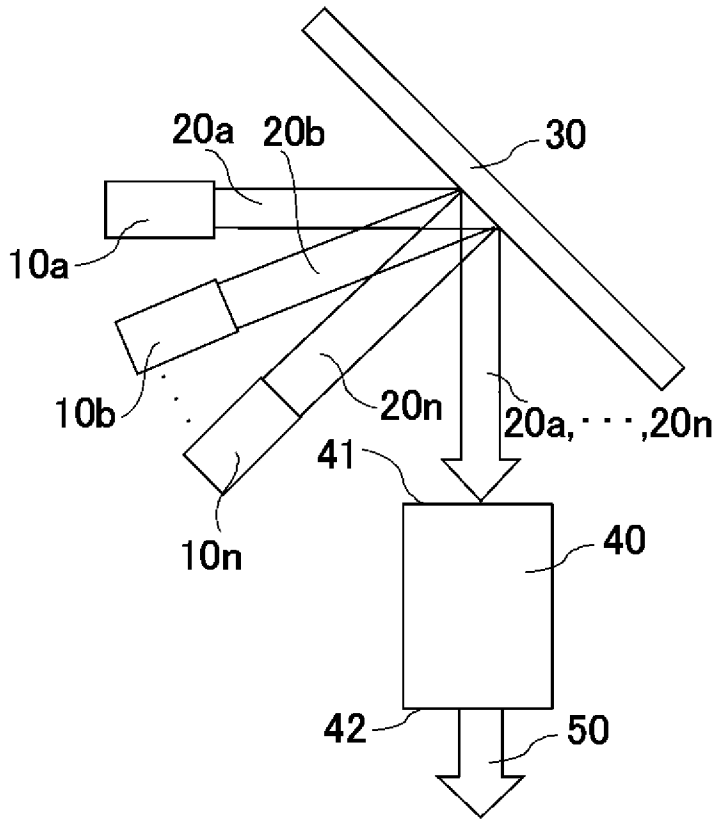
[請求項7]

前記分散素子は、

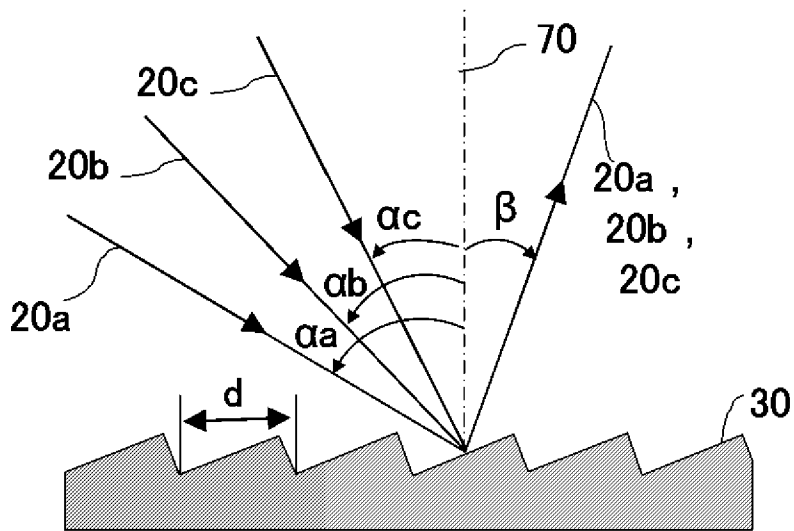
前記基本波長が互いに異なる複数のレーザ光の入射方向を調整できる角度調整機構を有する、

請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに記載の多波長レーザ装置。

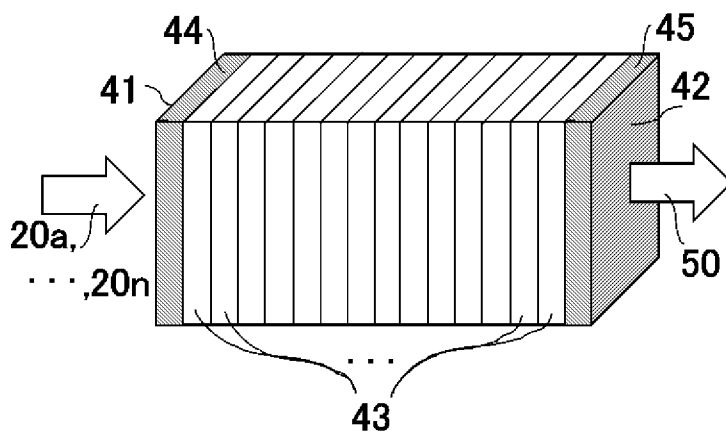
[図1]



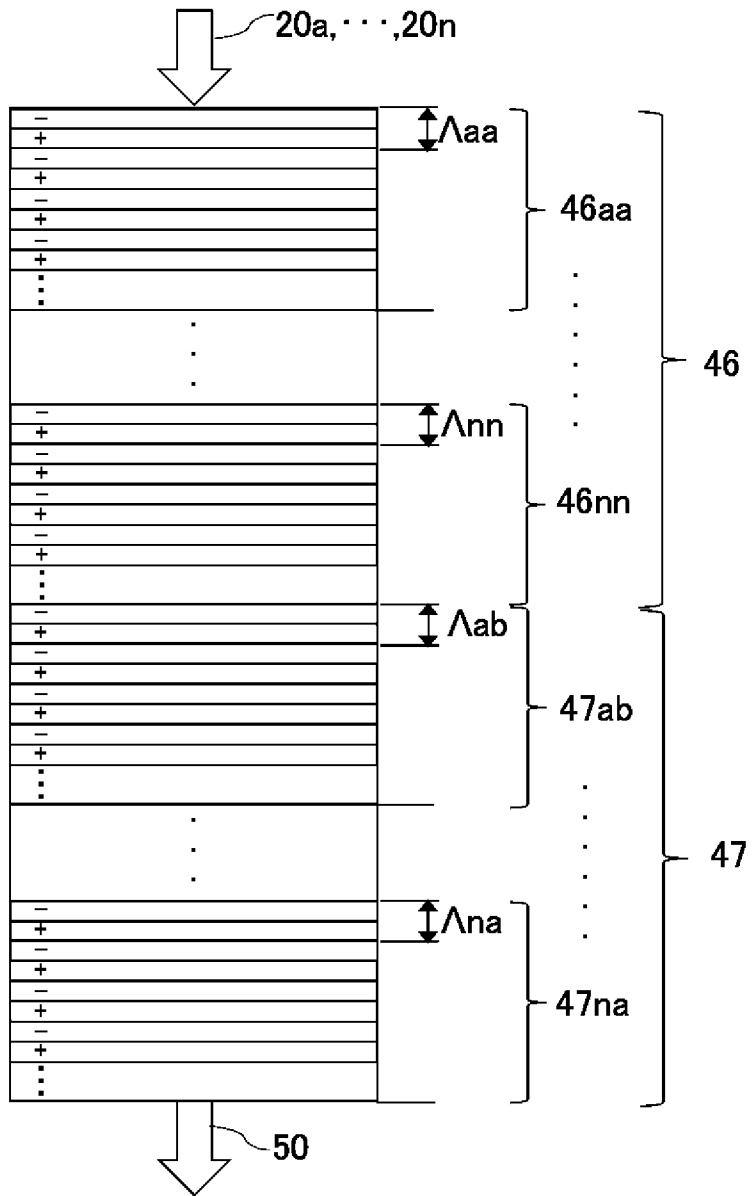
[図2]



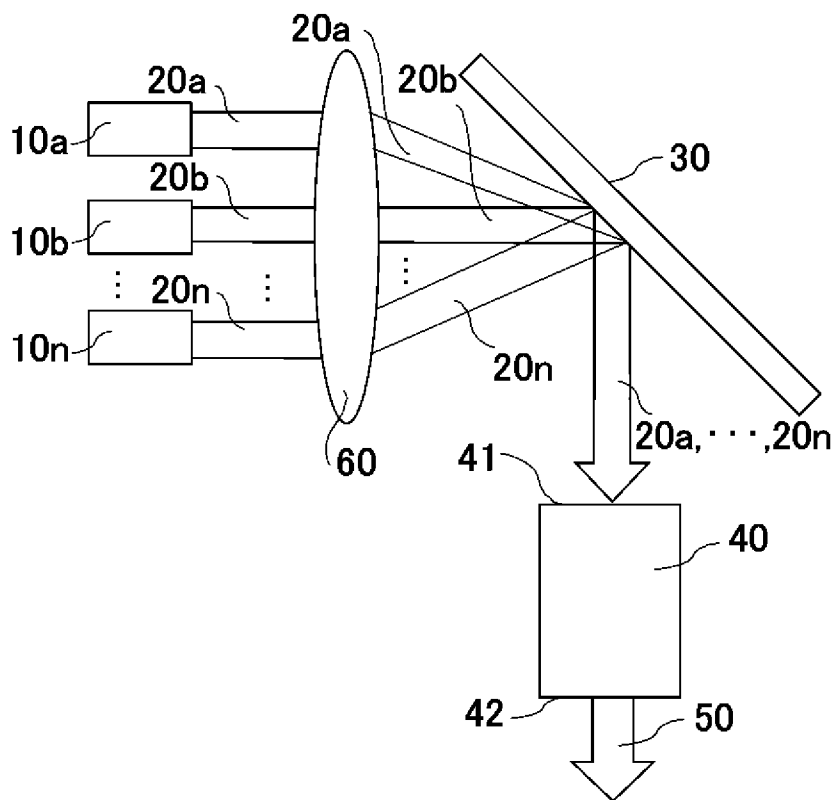
[図3]



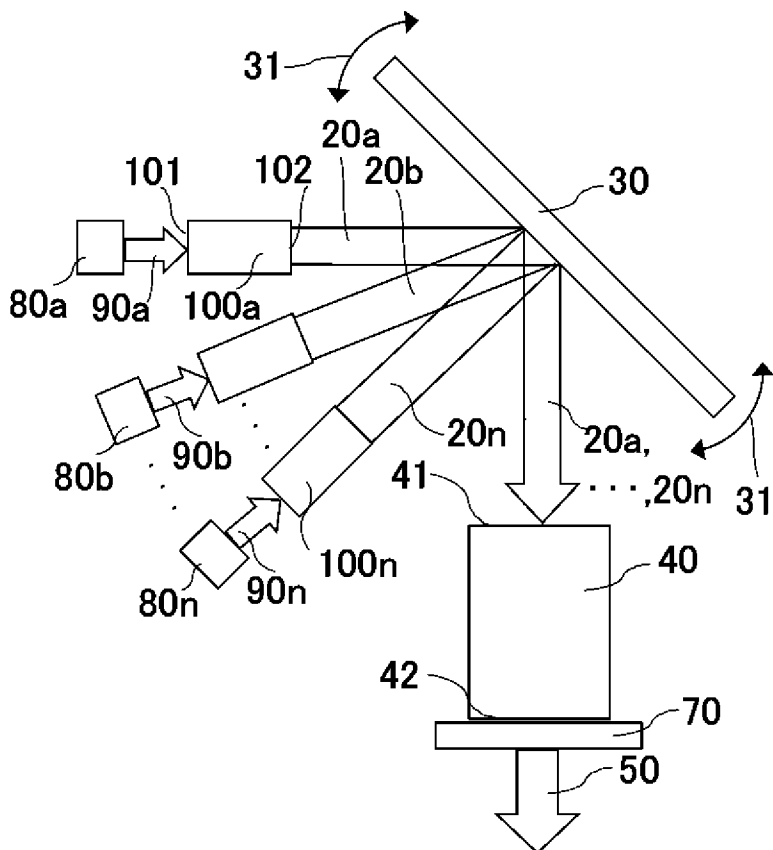
[図4]



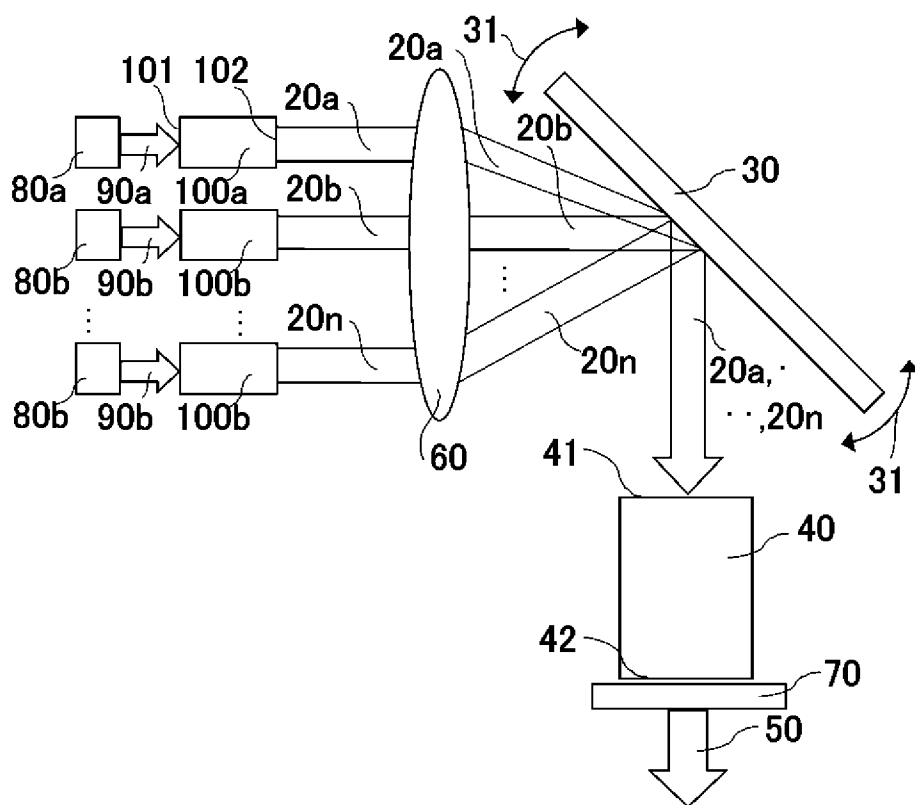
[図5]



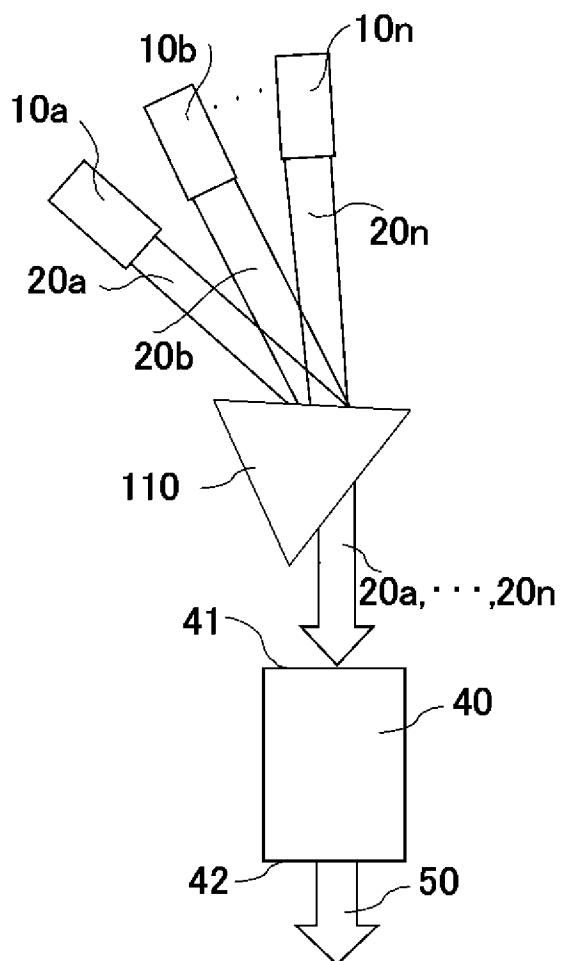
[図6]



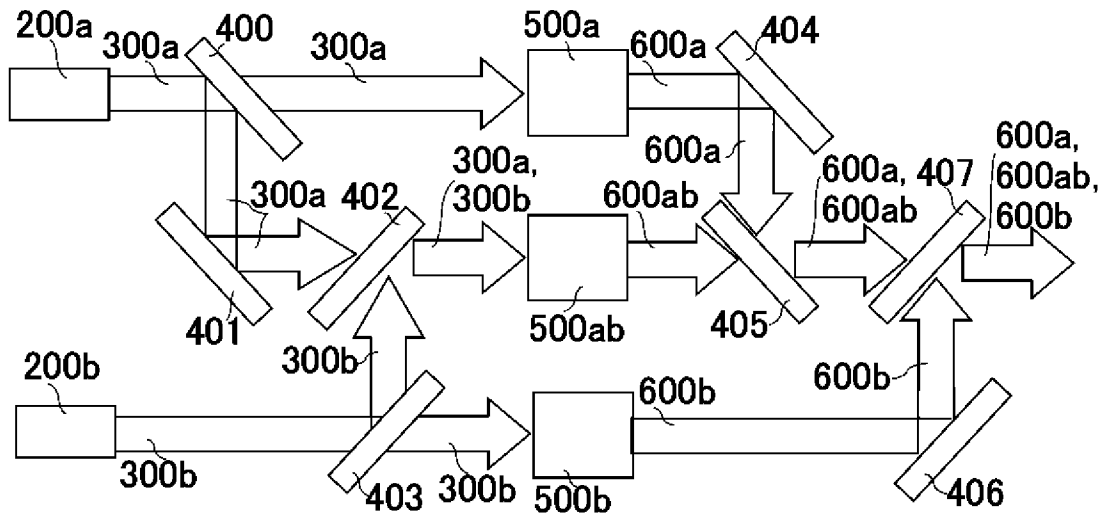
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/007151

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/37(2006.01)i, H01S3/109(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G02F1/35-1/39, H01S3/10, H01S3/109

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2013-62484 A (Gigaphoton Inc.), 04 April 2013 (04.04.2013), paragraphs [0070] to [0079], [0121] to [0123]; fig. 23, 48 & US 2013/0215916 A1	1, 3, 4, 6, 7 2, 5
Y A	JP 2013-44764 A (Nikon Corp.), 04 March 2013 (04.03.2013), paragraph [0071]; fig. 1 (Family: none)	1, 3, 4, 6, 7 2, 5
Y A	JP 2002-270933 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 20 September 2002 (20.09.2002), paragraphs [0153], [0154]; fig. 11 & JP 7-152055 A & EP 625811 A1 & EP 738031 A2	6 2, 5

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 19 December, 2013 (19.12.13)	Date of mailing of the international search report 07 January, 2014 (07.01.14)
-------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/007151

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2003-324227 A (Fujitsu Ltd.), 14 November 2003 (14.11.2003), paragraph [0015]; fig. 1, 5 & US 2003/0206336 A1 & EP 1359686 A2	7 2, 5
A	JP 2000-47276 A (Ricoh Co., Ltd.), 18 February 2000 (18.02.2000), entire text; all drawings (Family: none)	2, 5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02F1/37(2006.01)i, H01S3/109(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02F1/35-1/39, H01S3/10, H01S3/109		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JST7580(JDreamIII)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2013-62484 A (ギガフォトン株式会社) 2013.04.04, 段落【0070】 - 【0079】, 【0121】 - 【0123】, 図 23, 48	1, 3, 4, 6, 7
A	& US 2013/0215916 A1	2, 5
Y	JP 2013-44764 A (株式会社ニコン) 2013.03.04, 段落【0071】, 図 1 (ファミリーなし)	1, 3, 4, 6, 7
A		2, 5
<input checked="" type="checkbox"/> C 欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 19.12.2013	国際調査報告の発送日 07.01.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 林 祥恵 電話番号 03-3581-1101 内線 3294	2 X 4 0 8 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2002-270933 A (松下電器産業株式会社) 2002. 09. 20, 段落【0153】 , 【0154】 , 図 11	6
A	& JP 7-152055 A & EP 625811 A1 & EP 738031 A2	2, 5
Y	JP 2003-324227 A (富士通株式会社) 2003. 11. 14, 段落【0015】 , 図 1, 5	7
A	& US 2003/0206336 A1 & EP 1359686 A2	2, 5
A	JP 2000-47276 A (株式会社リコー) 2000. 02. 18, (全文全図) (ファミリーなし)	2, 5