(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
2014 年 2 月 6 日(06.02.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/021370 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/37 (2006.01) *H01S 3/00* (2006.01)
H01L 21/027 (2006.01) *H01S 3/10* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/070717

(22) 国際出願日: 2013 年 7 月 31 日(31.07.2013)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2012-169643 2012 年 7 月 31 日(31.07.2012) JP
特願 2012-169644 2012 年 7 月 31 日(31.07.2012) JP

(71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 徳久 章(TOKUHISA, Akira); 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 永井 冬紀, 外(NAGAI, Fuyuki et al.); 〒1000011 東京都千代田区内幸町２丁目２番２号 富国生命ビル 永井特許事務所 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, 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, 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.

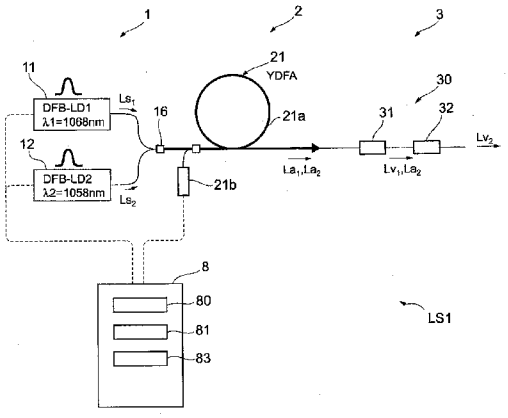
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) **Title**: LASER DEVICE, AND EXPOSURE DEVICE AND INSPECTION DEVICE EQUIPPED WITH SAID LASER DEVICE

(54) 発明の名称 : レーザ装置、該レーザ装置を備えた露光装置及び検査装置

[図１]



(57) **Abstract**: This laser device is equipped with: a laser light generation unit (1) that includes a first light source for generating laser light of a first wavelength, and a second light source for generating laser light of a second wavelength; an amplification unit that respectively amplifies the laser light of the first and second wavelengths, and outputs a first amplified light and a second amplified light; a wavelength conversion unit that converts the wavelength of the first amplified light into a first converted light and generates output light from the first converted light and the second amplified light by wavelength conversion, or respectively converts the wavelengths of the first amplified light and the second amplified light into the first converted light and a second converted light and generates the output light from the first converted light and the second converted light by wavelength conversion; and a control unit that controls the operation of the laser light generation unit. The control unit controls the relative timing of the laser light output from the first light source and the laser light output from the second light source, thereby adjusting the temporal overlap of the first converted light and the second amplified light, or the temporal overlap of the first converted light and the second converted light, at the site at which the output light is generated in the wavelength conversion unit, and controlling the output state of the output light.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/021370 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

レーザ装置は、第１波長のレーザ光を発生する第１光源と第２波長のレーザ光を発生する第２光源とを有するレーザ光発生部１と、第１波長及び第２波長のレーザ光をそれぞれ増幅して第１増幅光と第２増幅光とを出力する増幅部と、第１増幅光を第１変換光に波長変換し、第１変換光と第２増幅光とから波長変換により出力光を発生させるか、または、第１増幅光と第２増幅光とをそれぞれ第１変換光と第２変換光とに波長変換し、第１変換光と第２変換光とから波長変換により出力光を発生させる波長変換部と、レーザ光発生部の作動を制御する制御部とを備え、制御部は、第１光源からのレーザ光の出力と第２光源からのレーザ光の出力との相対的なタイミングを制御することにより、波長変換部における出力光の発生位置において、第１変換光と第２増幅光との時間的な重ね合わせ、または、第１変換光と第２変換光との時間的な重ね合わせを調節して、出力光の出力状態を制御するように構成される。

明　細　書

発明の名称 ：

レーザ装置、該レーザ装置を備えた露光装置及び検査装置

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ光を発生するレーザ光発生部と、レーザ光を増幅する増幅部と、増幅されたレーザ光を波長変換する波長変換部とを備えたレーザ装置に関する。また、このようなレーザ装置を備えた露光装置及び検査装置等のレーザシステムに関する。

背景技術

[0002] 上記のようなレーザ装置は、例えば顕微鏡や形状測定装置、露光装置、検査装置などのレーザシステムの光源として用いられている。レーザ装置の出力波長は、組み込まれるシステムの用途及び機能に応じて設定され、例えば、波長１９３ｎｍの深紫外光を出力するレーザ装置や、波長３５５ｎｍの紫外光を出録するレーザ装置などが知られている。レーザ光発生部で発生するレーザ光の波長や、増幅部に設ける増幅器の列数及び段数、波長変換部に設ける波長変換光学素子の種別及び組み合わせは、レーザシステムの用途や機能等に応じて設定される（特許文献１）。

[0003] このようなレーザ装置において、出力光を高速でオン／オフするために幾つかの手法が提案されている。例えば、第１の技術では、波長変換光学系を複数の並列光路（例えば第１系列及び第２系列）とこれらの並列光路から出射した光が重ね合わされて入射する直列光路とから構成し、各並列光路に対応して光源及び増幅器を設ける。第１系列及び第２系列には各光源から出射し各々増幅器により増幅されたパルス光を入射させておき、各光源の発光タイミングを調整する。すなわち、直列経路の最終段の波長変換光学素子における第１系列を通ったパルス光と第２系列を通ったパルス光との時間的な重ね合わせを制御し、これにより出力光をオン／オフ制御する（特許文献２）。

[0004] また、第２の技術では、波長変換光学系を複数の波長変換光学素子からなる単一の直列光路とし、一組の光源及び増幅器で構成する。そして、光源から出射するシード光をピークパワーが高い状態と低い状態とに切り換え、これにより波長変換効率を変化させて出力光をオン／オフ制御する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開２００４－８６１９３号公報

特許文献2：国際公開２００７／０５５１１０号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 第１の技術においては、レーザ装置を構成する各光源、各増幅器、及び殆どの波長変換光学素子には常に光が入射されている状態となるため、熱的に安定であり、出力光を高速且つ安定的にオン／オフ制御することができる。しかしながら、単一光源の第３高調波発生により波長３５５ｎｍの出力光を発生させるような単純な構成には、第1の技術は適用できない。適用するためには、波長変換光学系を形成する並列回路の数に応じて複数の光源及び増幅器が必要であり、レーザ装置の構成が複雑化するという課題があった。

[0007] 第２の技術においては、レーザ装置の構成は簡単にはできるものの、出力光のオン／オフに伴って波長変換光学素子に入射するレーザ光のパワーが増減するため、波長変換光学素子の熱的状態が大きく変化する。そのため、出力光を高速且つ安定的にオン／オフ制御することは難しいという課題があった。

[0008] 本発明は、上記のような課題に鑑みてなされたものであり、簡単な構成でありながら出力光を高速且つ安定的に制御可能なレーザ装置を提供することを目的とする。また、システム全体の構成が簡単な露光装置、検査装置等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

[0009] 本発明の第１の態様によると、レーザ装置は、パルス状の第１波長のレーザ光を発生する第１光源とパルス状の第２波長のレーザ光を出力する第２光源とを有するレーザ光発生部と、第１波長と第２波長とを含む波長帯域の光に利得を有する増幅器を備え、第１波長のレーザ光と第２波長のレーザ光とを増幅して、第１波長のレーザ光を増幅した第１増幅光と第２波長のレーザ光を増幅した第２増幅光とを出力する増幅部と、第１増幅光を第１変換光に波長変換し、第１変換光と第２増幅光とから波長変換により出力光を発生させるか、または、第１増幅光と第２増幅光とをそれぞれ第１変換光と第２変換光とに波長変換し、第１変換光と第２変換光とから波長変換により出力光を発生させる波長変換光学素子を有する波長変換部と、レーザ光発生部の作動を制御する制御部とを備え、制御部が、第１光源からの第１波長のレーザ光の出力と第２光源からの第２波長のレーザ光の出力との相対的なタイミングを制御することにより、波長変換部における出力光の発生位置において、第１変換光と第２増幅光との時間的な重ね合わせ、または、第１変換光と第２変換光との時間的な重ね合わせを調節して、出力光の出力状態を制御するように構成される。

本発明の第２の態様によると、第１の態様のレーザ装置において、波長変換部は、第１増幅光を第１変換光に波長変換し、かつ、第２増幅光を透過する第１波長変換光学素子と、第１波長変換光学素子を透過した第２増幅光と第１変換光とから波長変換により第２変換光を発生する第２波長変換光学素子とを有し、制御部は、第１光源からの第１波長のレーザ光の出力と第２光源からの第２波長のレーザ光の出力との相対的なタイミングを制御することにより、第２波長変換光学素子における第１変換光と第２増幅光との時間的な重ね合わせを調節して、第２変換光の出力状態を制御するように構成されることが好ましい。

本発明の第３の態様によると、第２の態様のレーザ装置において、第１波長と第２波長とは、第２波長変換光学素子において、第１変換光と第２増幅光とで和周波発生する位相整合条件を満たし、かつ、第１変換光と第１増幅

光とで和周波発生する位相整合条件は満たさないような波長にそれぞれ設定されることが好ましい。

本発明の第４の態様によると、第２および第３のいずれか一つの態様のレーザ装置において、第１波長と第２波長とは、第１波長変換光学素子において、第１増幅光の高調波が発生する位相整合条件を満たし、かつ、第２増幅光の高調波が発生する位相整合条件は満たさないような波長にそれぞれ設定されることが好ましい。

本発明の第５の態様によると、第２～５のいずれか一つの態様のレーザ装置において、制御部は、第２波長変換光学素子において、第１変換光と第２増幅光とが時間的に重複した状態と重複しない状態とに切り換えることにより、出力光としての第２変換光のオン／オフを制御することが好ましい。

本発明の第６の態様によると、第２～４のいずれか一つの態様のレーザ装置において、制御部は、第２波長変換光学素子において、第１変換光と第２増幅光との時間的な重複率を変化させることにより、出力光としての第２変換光のパワーを制御することが好ましい。

本発明の第７の態様によると、第１の態様のレーザ装置において、波長変換部は、第１増幅光を第１変換光に波長変換し、かつ、第２増幅光を透過する第１波長変換光学素子と、第１波長変換光学素子を透過した第２増幅光を第２変換光に波長変換し、かつ、第１変換光を透過する第２波長変換光学素子と、第１変換光と第２変換光とから波長変換により第３変換光を発生する第３波長変換光学素子とを有し、制御部は、第１光源からの第１波長のレーザ光の出力と第２光源からの第２波長のレーザ光の出力との相対的なタイミングを制御することにより、第３波長変換光学素子における第１変換光と第２変換光との時間的な重ね合わせを調節して、第３変換光の出力状態を制御することが好ましい。

本発明の第８の態様によると、第７の態様のレーザ装置において、第１波長と第２波長とは、第３波長変換光学素子において、第１変換光と第２変換光とによる和周波が発生する位相整合条件を満たし、前記和周波以外の和周

波及び二次高調波が発生する位相整合条件はいずれも満たさないような波長に設定されることが好ましい。

本発明の第９の態様によると、第７および第３のいずれか一つの態様のレーザ装置において、第１波長及び第２波長は、第１波長変換光学素子において、第１増幅光の高調波が発生する位相整合条件を満たし、かつ、第２増幅光の高調波が発生する位相整合条件は満たさず、第２波長変換光学素子において、第２増幅光の高調波が発生する位相整合条件を満たし、かつ、第１増幅光の高調波が発生する位相整合条件は満たさないような波長にそれぞれ設定されることが好ましい。

本発明の第１０の態様によると、第７～９のいずれか一つの態様のレーザ装置において、制御部は、第３波長変換光学素子において、第１変換光と第２変換光とが時間的に重複した状態と重複しない状態とに切り換えることにより、出力光としての第３変換光のオン／オフを制御することが好ましい。

本発明の第１１の態様によると、第７～１０のいずれか一つの態様のレーザ装置において、制御部は、第３波長変換光学素子において、第１変換光と第２変換光との時間的な重複率を変化させることにより、出力光としての第３変換光のパワーを制御することが好ましい。

本発明の第１２の態様によると、露光装置は、第１～１１のいずれか一つの態様のレーザ装置と、所定の露光パターンが形成されたフォトマスクを保持するマスク支持部と、露光対象物を保持する露光対象物支持部と、レーザ装置から出力されたレーザ光をマスク支持部に保持されたフォトマスクに照射する照明光学系と、フォトマスクを透過した光を露光対象物支持部に保持された露光対象物に投影する投影光学系とを備える。

本発明の第１３の態様によると、検査装置は、第１～１１のいずれか一つの態様のレーザ装置と、被検物を保持する被検物支持部と、レーザ装置から出力されたレーザ光を被検物支持部に保持された被検物に照射する照明光学系と、被検物からの光を検出器に投影する投影光学系とを備える。

発明の効果

[0010] 本発明に係るレーザ装置は、増幅部に第１波長と第２波長とを含む波長帯域の光に利得を有する増幅器を有し、レーザ光発生部から出力された第１波長のレーザ光と第２波長のレーザ光とが同一の増幅器により増幅される。また、制御部は、第１波長のレーザ光の出力と第２波長のレーザ光の出力とのタイミングを相対的に制御することにより、波長変換部における、第１変換光と第２増幅光との時間的な重ね合わせを調節し、それにより出力光の出力状態を制御する。本発明に係るレーザ装置は、増幅器及び波長変換光学系が直列接続された単一光路により構成されており、第１光源、第２光源、増幅器、及び波長変換光学素子が熱的に安定であるため、制御部による第１及び第２光源の動作タイミング調節により出力光を高速且つ安定的にオン／オフ制御することができる。すなわち、簡単な構成で出力光を高速且つ安定的にオン／オフ制御可能なレーザ装置を提供することができる。

[0011] 本発明に係る露光装置は、第１の態様のレーザ装置を備えている。そのため、システム全体の構成が簡単な露光装置を提供することができる。

[0012] 本発明に係る検査装置は、第１の態様のレーザ装置を備えている。そのため、システム全体の構成が簡単な検査装置等を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の適用例として示す第１の実施形態のレーザ装置の概要構成図である。

[図2]第１の実施形態のレーザ装置において、出力光がオンのときの波長変換部におけるパルスの状態を示す説明図である。

[図3]第１の実施形態のレーザ装置において、出力光がオンのときの第２波長変換光学素子における第１変換光と第２増幅光のパルスの状態を示す説明図である。

[図4]第１の実施形態のレーザ装置において、出力光がオフのときの波長変換部におけるパルスの状態を示す説明図である。

[図5]第１の実施形態のレーザ装置において、出力光がオフのときの第２波長変換光学素子における第１変換光と第２増幅光のパルスの状態を示す説明図

である。

[図6]第１の実施形態のレーザ装置において、第２波長変換光学素子における第１変換光のパルス列と第２増幅光のパルス列との重複率を変化させた様子を示す説明図である。

[図7]本発明の適用例として示す第２の実施形態のレーザ装置の概要構成図である。

[図8]第２の実施形態のレーザ装置において、出力光がオンのときの波長変換部におけるパルスの状態を示す説明図である。

[図9]第２の実施形態のレーザ装置において、出力光がオンのときの第２波長変換光学素子における第１変換光と第２変換光のパルスの状態を示す説明図である。

[図10]第２の実施形態のレーザ装置において、出力光がオフのときの波長変換部におけるパルスの状態を示す説明図である。

[図11]第２の実施形態のレーザ装置において、出力光がオフのときの第３波長変換光学素子における第１変換光と第２変換光のパルスの状態を示す説明図である。

[図12]第２の実施形態のレーザ装置において、第３波長変換光学素子における第１変換光のパルス列と第２変換光のパルス列との重複率を変化させた様子を示す説明図である。

[図13]本発明に係るレーザ装置を備えたシステムの第１の適用例として示す露光装置の概要構成図である。

[図14]本発明に係るレーザ装置を備えたシステムの第２の適用例として示す検査装置の概要構成図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明を実施するための形態について図面を参照しながら説明する。図１に、本発明の第１の実施形態として例示するレーザ装置ＬＳ１の概要構成図を示す。レーザ装置ＬＳ１は、パルス状のレーザ光（シード光）を発生するレーザ光発生部１と、レーザ光発生部１により発生されたシード光を

増幅する増幅部２と、増幅部２から出力された増幅光を波長変換する波長変換部３と、これら各部の作動を制御する制御部８とを備えて構成される。

[0015] レーザ光発生部１や増幅部２、波長変換部３の具体的な構成は多数の構成形態がある。第１の実施形態においては、レーザ光発生部１において発生するシード光の波長を１．０６μｍ前後の赤外光、波長変換部３から出力する出力光の波長を３５５ｎｍの紫外光とした場合を例として説明する。

[0016] レーザ光発生部１は、発振波長がわずかに異なる二つの光源を有して構成される。すなわち、レーザ光発生部１には、第１波長λ_1のシード光を発生する第１光源１１と、第２波長λ_2のシード光を発生する第２光源１２とが設けられる。第１波長λ_1と第２波長λ_2との波長差$\Delta\lambda$を１０ｎｍとし、第１波長λ_1＝１０６８ｎｍ、第２波長λ_2＝１０５８ｎｍとする。

[0017] 第１光源１１及び第２光源１２は、ともにＤＦＢ（Distributed Feedback）半導体レーザを用いる。ＤＦＢ半導体レーザは、動作温度を温度調整器により制御することによって、発振波長を所定の範囲で任意に設定することが可能である。ＤＦＢ半導体レーザは、駆動電流を波形制御することによりＣＷ発振及びパルス発振させることができる。第１の実施形態のレーザ装置ＬＳ１においては、第１光源１１及び第２光源１２を１～１０MHz程度の周波数範囲から選択した所定周波数で繰り返しパルス発振させる。第１光源１１及び第２光源１２の作動は制御部８により制御される。レーザ光発生部１から出力されたパルス状の第１波長λ_1のシード光Ls_1及び第２波長λ_2のシード光Ls_2は、カプラ１６により合波され増幅部２に入射する。

[0018] 増幅部２は、レーザ光発生部１から出力されたシード光を増幅するファイバ増幅器２１を備えて構成される。ファイバ増幅器２１は、第１波長λ_1と第２波長λ_2とを含む波長域の光に利得を有するファイバ増幅器である。このようなファイバ増幅器として、イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器（ＹＤＦＡ）を好適に用いることができる。

[0019] イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器（ＹＤＦＡ）２１は、コアにイッテルビウム（Ｙｂ）がドープされた増幅用ファイバ２１ａと増幅用ファイ

バに励起光を供給する励起光源２１ｂとを主体として構成される。ファイバ増幅器２１のゲインは、増幅用ファイバ２１ａを励起する励起光のパワーを調節すること、具体的には、制御部８により励起光源２１ｂの駆動電力を調節することで制御される。

[0020] ＹＤＦＡ２１は、波長が１０００～１１００ｎｍの帯域に利得を有するため、第１波長λ_1＝１０６８ｎｍのシード光Ｌs_1と第２波長λ_2＝１０５８ｎｍのシード光Ｌs_2とをともに増幅する。カプラ１６により合波されてファイバ増幅器２１に入射する第１波長λ_1のシード光Ｌs_1と第２波長λ_2のシード光Ｌs_2とは、波長差Δλが１０ｎｍ程度あるため各々独立して増幅され、第１波長のシード光Ｌs_1が増幅された第１増幅光Ｌa_1と第２波長のシード光Ｌs_2が増幅された第２増幅光Ｌa_2とがファイバ増幅器２１（増幅部２）から出力される。増幅部２から出力された第１増幅光Ｌa_1と第２増幅光Ｌa_2とは波長変換部３に入射する。

[0021] 上記説明は簡単のするためファイバ増幅器２１を単段として示したが、例えばシングルクラッドのファイバ増幅器を複数直列に接続することや、あるいは、シングルクラッドのファイバ増幅器とダブルクラッドのファイバ増幅器を直列に接続する等、複数のファイバ増幅器を直列に接続して増幅部２を構成することもできる。

[0022] 波長変換部３には、増幅部２から出力された第１増幅光Ｌa_1及び第２増幅光Ｌa_2が伝播する波長変換光学系３０が設けられている。波長変換光学系３０は、第１波長変換光学素子３１と第２波長変換光学素子３２とを主体とし、図示省略するレンズや波長板等を有して構成される。波長変換部３に入射した第１増幅光Ｌa_1及び第２増幅光Ｌa_2は、レンズを介して第１波長変換光学素子３１に集光入射する。

[0023] 第１波長変換光学素子３１は非線形光学結晶からなり、第２高調波発生（ＳＨＧ：Second Harmonic Generation）により、第１増幅光Ｌa_1の波長λ_1の１／２の波長を有する第２高調波（第１変換光Ｌv_1）を発生する。一方、波長λ_2の第２増幅光Ｌa_2については波長変換することなく透過させる。つまり、

第1の実施形態のレーザ装置においては、第１増幅光Ｌa_1と第２増幅光Ｌa_2との波長差Δλにより、第１波長変換光学素子３１において、第１増幅光Ｌa_1のみが第２高調波を発生させる位相整合条件を満たし、第２増幅光Ｌa_2については位相整合条件を満たさない。

[0024] 第１増幅光Ｌa_1の第２高調波を発生させる第１波長変換光学素子３１としては、ＬＢＯ（ＬｉB_3O_5）結晶を非臨界位相整合（ＮＣＰＭ：Non Critical Phase Matching）の状態で用いる。位相整合状態が非臨界位相整合の場合には、第１増幅光Ｌa_1の第２高調波として発生する波長５３４ｎｍの第１変換光Ｌv_1にはウォークオフが生じない。そのため、第１波長変換光学素子３１において十分な相互作用長を確保して効率的に波長変換を行うことができる。また、出力される第１変換光のビーム断面は楕円化されないため、第１波長変換光学素子３１と第２波長変換光学素子３２との間にシリンドリカルレンズ等の整形光学素子を設ける必要がなく、第２波長変換光学素子３２に入射する光量の損失がない。

[0025] 第１波長変換光学素子３１としてＬＢＯ結晶を用いる場合について具体的に説明する。例えば、光軸方向の長さが２０ｍｍ程度のＬＢＯ結晶を用いる場合、所定温度において第１波長λ_1程度の波長の光に対して高調波発生の位相整合条件を満たす波長の許容幅は数ｎｍ程度である。そのため、波長が１０６８ｎｍの第１増幅光Ｌa_1について位相整合条件を満たすように第１波長変換光学素子３１の結晶温度を設定すれば、第１増幅光Ｌa_1についてのみ第２高調波発生の位相整合条件が満たされ、第１増幅光Ｌa_1とは波長が１０ｎｍ異なる第２増幅光Ｌa_2について位相整合条件は満たされない。従って、第１波長変換光学素子３１において第１増幅光Ｌa_1のみが波長変換されて第２高調波である第１変換光Ｌv_1が発生し、第２増幅光Ｌa_2は波長変換されることなく第１波長変換光学素子３１をそのまま透過する。

[0026] 以上、第１波長変換光学素子３１としてＬＢＯ結晶を非臨界位相整合（ＮＣＰＭ）で用いた構成例について説明したが、ＬＢＯ結晶やＢＢＯ（β-BaB_2O_4）結晶等の非線形光学結晶を臨界位相整合（ＣＰＭ：Critical Phase M

atching）で用いる構成についても、波長差Δλにより同様の作用を発生させることができる。すなわち、第１増幅光La_1について第２高調波発生の位相整合条件を満たすように第１波長変換光学素子３１の角度位置を設定することによって、第１増幅光La_1のみを波長変換して第１変換光Lv_1を発生させ、第２増幅光La_2は波長変換することなく透過させることができる。ＰＰＬＮ（Periodically Poled $LiNbO_3$）結晶や、ＰＰＬＴ（Periodically Poled $LiTaO_3$）結晶等の疑似位相整合（ＱＰＭ：Quasi Phase Matching）結晶を用いる構成についても同様である。

[0027] 第１波長変換光学素子３１に入射した第１増幅光La_1と第２増幅光La_2とは、波長１０６８ｎｍの第１増幅光La_1のみが波長変換されて波長５３４ｎｍの第１変換光Lv_1が発生し、波長１０５８ｎｍの第２増幅光La_2は波長変換されずにそのまま透過する。第１波長変換光学素子３１で第１増幅光La_1の第２高調波として発生した波長５３４ｎｍの第１変換光Lv_1と第１波長変換光学素子３１を透過した波長１０５８ｎｍの第２増幅光La_2とは、２波長波長板により、いずれか一方（例えば第２増幅光）の偏光面を９０度回転させ、第２波長変換光学素子３２に集光入射させる（ここでは、ファイバ増幅器２１からの射出時には、第１増幅光La_1と第２増幅光La_2の偏光方向は同一であると仮定して説明している）。

[0028] 第２波長変換光学素子３２は非線形光学結晶からなり、和周波発生（ＳＦＧ：Sum Frequency Generation）により、第１変換光Lv_1と第２増幅光La_2との和周波を発生する。第２波長変換光学素子３２に入射する光には、第１波長変換光学素子３１によって波長変換されずに透過した第１増幅光La_1の成分も含まれる。しかし、第２波長変換光学素子３２は、波長５３４ｎｍの第１変換光Lv_1と波長１０５８ｎｍの第２増幅光La_2とで和周波発生するための位相整合条件は満たすが、第２増幅光La_2より波長が１０ｎｍ長い第１増幅光La_1と波長５３４ｎｍの第１変換光Lv_1とが和周波を発生するための位相整合条件は満たさない。従って、第１増幅光La_1と波長５３４ｎｍの第１変換光Lv_1との和周波が発生することはない。

[0029] 第１変換光Ｌv_1と第２増幅光Ｌa_2との和周波を発生させる第２波長変換光学素子３２としては、ＬＢＯ結晶をタイプＩの臨界位相整合（ＣＰＭ）の状態で用いる構成が例示される。第２波長変換光学素子３２は、波長５３４ｎｍの第１変換光Ｌv_1と波長１０５８ｎｍの第２増幅光Ｌa_2との和周波発生によって波長３５５ｎｍの第２変換光Ｌv_2を発生させる位相整合条件となるように結晶が切り出される。具体的には、第２波長変換光学素子３２として、光軸方向の長さが２０ｍｍ程度のＬＢＯ結晶を用い、結晶に対する入射光の角度位置を調整して切り出される。それにより、第１変換光Ｌv_1と第２増幅光Ｌa_2とは和周波発生の位相整合条件を満たして波長３５５ｎｍの第２変換光Ｌv_2が発生するが、第１変換光Ｌv_1と第１増幅光Ｌa_1とは和周波発生の位相整合条件を満たさないので和周波は発生しない。

[0030] なお、第２変換光発生用の第２波長変換光学素子３２として、ＢＢＯ（β-BaB_2O_4）結晶やＣＬＢＯ（$CsLiB_6O_{10}$）結晶を用いても良い。第２波長変換光学素子３２で発生した波長３５５ｎｍの第２変換光Ｌv_2は波長変換部３から出射され、レーザ装置ＬＳ１から出力される。

[0031] レーザ装置ＬＳ１においては、制御部８がレーザ光発生部１の作動を制御することにより、出力光である第２変換光Ｌv_2を高速且つ安定的に制御可能である。既述したように、レーザ光発生部１には、第１波長λ_1のシード光Ｌs_1を発生する第１光源１１と、第２波長λ_2のシード光Ｌs_2を発生する第２光源１２とが設けられている。第１の実施形態においては、制御部８が第１光源、及び第２光源の作動を制御することにより、出力光を高速且つ安定的に制御する。

[0032] 制御部８は、各部の作動を制御する際に基準となる周波数１００MHz程度のクロック信号を発生するクロック発生器８０、光源ドライバ８１、及び光源コントローラ８３などを備えて構成される。光源ドライバ８１は、クロック発生器８０により発生されたクロック信号を基準として、第１光源１１を駆動する第１駆動信号と第２光源１２を駆動する第２駆動信号とを生成する。光源コントローラ８３は、レーザ装置ＬＳ１が搭載されたシステムの加工プ

ログラムや操作盤から入力される出力指令に基づいて、光源ドライバ８１に指令信号を出力する。

[0033] 第１の実施形態のレーザ装置ＬＳ１において、第１光源１１を駆動する第１駆動信号、及び第２光源１２を駆動する第２駆動信号は、ともにオン時間が１～数ｎsecのパルスが、繰り返し周波数１～１０MHz程度のパルス列である。ここでは、第１駆動信号及び第２駆動信号を、ともにオン時間が１ｎsec、繰り返し周波数が１MHzのパルス列とする。

[0034] 操作盤等から制御部８に入力される出力指令が、波長３５５ｎｍの第２変換光（以下、「出力光」という）Lv_2を出力するオン指令の場合、光源コントローラ８３は、出力オン指令信号を光源ドライバ８１に出力する。このとき、光源ドライバ８１は、図２及び図３に示すように、第２波長変換光学素子３２において第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列とが時間的に重なるように、第１光源１１から出射する第１波長のシード光Ls_1と第２光源１２から出射する第２波長のシード光Ls_2との相対的な出力タイミングを制御する。

[0035] 具体的には、光源ドライバ８１は第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列とが第２波長変換光学素子３２において時間的に重なるようなタイミング（両者の光路長が同一の場合には同一タイミング）で、第１駆動信号と第２駆動信号とを生成して、第１光源１１と第２光源１２とを駆動する。

[0036] 第１光源１１から出射した第１波長のシード光Ls_1、及び第２光源１２から出射した第２波長のシード光Ls_2は、各々ファイバ増幅器２１により増幅されて第１増幅光La_1及び第２増幅光La_2となり、第１波長変換光学素子３１に集光入射する。第１波長変換光学素子３１においては、第１増幅光La_1のみが波長変換されて第１変換光Lv_1が発生し、第１波長λ_1に対して波長差$\Delta\lambda$を有する第２増幅光La_2は波長変換されずにそのまま透過する。第１波長変換光学素子３１で発生した第１変換光Lv_1、第１波長変換光学素子３１をそのまま透過した第２増幅光La_2、及び第１波長変換光学素子３１で波長変換されずに透

過した第１増幅光Ｌa_1の成分は、ともに第２波長変換光学素子３２に集光入射する。

[0037] 第２波長変換光学素子３２においては、入射した第１変換光Ｌv_1と第２増幅光Ｌa_2とは、両者のパルス列が時間的に重なるように設定されている。また、第２波長変換光学素子３２は、第１変換光Ｌv_1と第２増幅光Ｌa_2との和周波を発生する位相整合条件のみを満たし、第１変換光Ｌv_1と第１増幅光Ｌa_1との和周波を発生する位相整合条件は満たさないように設定されている。そのため、第２波長変換光学素子３２において第１変換光Ｌv_1と第２増幅光Ｌa_2との和周波発生により波長３５５ｎｍの出力光（第２変換光）Ｌv_2が発生して、レーザ装置ＬＳ１から出力される。

[0038] 一方、操作盤等から制御部８に入力される出力指令が、出力光Ｌv_2を停止するオフ指令の場合、光源コントローラ８３は、出力オフ指令信号を光源ドライバ８１に出力する。このとき、光源ドライバ８１は、図４及び図５に示すように、第２波長変換光学素子３２において第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２増幅光Ｌa_2のパルス列とが時間的に重ならないように、第１光源１１から出射する第１波長のシード光Ｌs_1と第２光源１２から出射する第２波長のシード光Ｌs_2との相対的な出力タイミングを制御する。

[0039] 具体的には、光源ドライバ８１は第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２増幅光Ｌa_2のパルス列とが第２波長変換光学素子３２において時間的に重ならないようなタイミング（いずれか一方がオン状態のとき他方がオフ状態になるタイミング）で、第１駆動信号と第２駆動信号とを生成して、第１光源１１と第２光源１２とを駆動する。

[0040] 第１光源１１から出射した第１波長のシード光Ｌs_1、及び第２光源１２から出射した第２波長のシード光Ｌs_2は、各々ファイバ増幅器２１により増幅されて第１増幅光Ｌa_1及び第２増幅光Ｌa_2となり、第１波長変換光学素子３１に集光入射する。第１波長変換光学素子３１においては、第１増幅光Ｌa_1のみが波長変換されて第１変換光Ｌv_1が発生し、第１波長λ_1に対して波長差$\Delta\lambda$を有する第２増幅光Ｌa_2は波長変換されずにそのまま透過する。第１波長変換光学

素子３１で発生した第１変換光Lv_1、第１波長変換光学素子３１をそのまま透過した第２増幅光La_2、及び第１波長変換光学素子３１で波長変換されずに透過した第１増幅光La_1の成分は、ともに第２波長変換光学素子３２に集光入射する。

[0041] 第２波長変換光学素子３２においては、入射した第１変換光Lv_1と第２増幅光La_2とは、両者のパルス列が時間的に重ならないように設定されている。第２波長変換光学素子３２は、第１変換光Lv_1と第２増幅光La_2との和周波を発生する位相整合条件のみを満たし、第１変換光Lv_1と第１増幅光La_1との和周波を発生する位相整合条件は満たさないように設定されている。しかし、上記の通り、第２波長変換光学素子３２においては、入射した第１変換光Lv_1と第２増幅光La_2とは、両者のパルス列が時間的に重ならないので、第２波長変換光学素子３２において和周波は発生せず、従って、波長３５５ｎｍの出力光（第２変換光）Lv_2は発生しない。その結果、波長３５５ｎｍの出力光はレーザ装置ＬＳ１から出力されない。

[0042] このようにして、第１光源１１を駆動する第１駆動信号のパルス列と、第２光源１２を駆動する第２駆動信号のパルス列との相対的なタイミングを変化させることによって、波長３５５ｎｍの出力光Lv_2のオン／オフ制御をすることができる。

[0043] 波長変換部３の出力端部に、例えば波長が４００ｎｍ程度よりも短い光を反射し、これより長い波長の光を透過するダイクロイックミラー等を設け、出力光Lv_2を、第２波長変換光学素子３２を透過した第１増幅光、第２増幅光、及び第１変換光等から分離することができる。その結果、出力光以外の波長の光がレーザ装置ＬＳ１から出力されることを防止できる。

[0044] 以上、レーザ装置ＬＳ１から出力する出力光Lv_2をオン／オフ制御する形態について説明した。すなわち、出力光Lv_2のオン／オフ制御は、第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列とが第２波長変換光学素子３２において時間的に重なり合う状態と、時間的に重なり合わない状態とに切り換えることにより実現される（図２～図５を参照）。第１の実施形態のレーザ装

置ＬＳ１は、出力光Lv_2のパワーを制御することもできる。そのための制御は、第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列とが、第２波長変換光学素子３２において時間的に重なる重複率を制御することによって実現される。出力光のパワー制御も、第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列とが第２波長変換光学素子３２において時間的に重なる程度が調節されるような相対的なタイミングで、第１光源１１を駆動する第１駆動信号と、第２光源１２を駆動する第２駆動信号とを生成して、第１光源１１と第２光源１２とを駆動することにより行われる。

[0045] 図６（ａ）～（ｃ）は、第１駆動信号と第２駆動信号とを生成する相対的なタイミングを変化させることにより、第２波長変換光学素子３２における第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列との重複率を変化させる様子を示す説明図である。この図６（ａ）は、第２波長変換光学素子３２における第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列との重複率を２０％に設定した場合、図６（ｂ）は、両者の重複率を約５０％に設定した場合、図６（ｃ）は、両者の重複率を８０％に設定した場合を示す。

[0046] 図６（ａ）に示す重複率２０％の場合、第２波長変換光学素子３２で発生する出力光Lv_2のパワーは、重複率が１００％のときのパワーの２０％になる。同様に図６（ｂ）に示す重複率５０％の場合には出力光Lv_2のパワーは重複率１００％のときのパワーの５０％、図６（ｃ）に示す重複率８０％の場合には出力光Lv_2のパワーは重複率１００％のときのパワーの８０％になる。

[0047] すなわち、第１光源１１を駆動する第１駆動信号の生成と第２光源１２を駆動する第２駆動信号の生成との相対的なタイミングを変化させて、第２波長変換光学素子３２における第１変換光Lv_1のパルス列と第２増幅光La_2のパルス列との重複率を変化させることにより、０～１００％の範囲で出力光Lv_2のパワーを任意かつ高速に制御することができる。

[0048] 第１の実施形態のレーザ装置ＬＳ１においては、レーザ光発生部１において、出力光Lv_2をオン／オフするために第１光源１１及び第２光源１２の少なくともいずれかを動作状態と非動作状態とに切り替える必要がない。また、

出力光Lv_2のパワーを制御するために第１光源１１を駆動する第１駆動信号及び第２光源１２を駆動する第２駆動信号の少なくともいずれかの信号波形を変化させる必要もない。このため、第１光源１１及び第２光源１２の両者をともに定常状態で動作させることができるので、第１光源１１及び第２光源１２を安定的に動作させ、発振波長及びパルス波形が安定した第１波長のシード光Ls_1及び第２波長のシード光Ls_2を発生させることができる。

[0049] また、増幅部２おいては、第１波長のシード光Ls_1と第２波長のシード光Ls_2とが常時ファイバ増幅器２１に入射し、ファイバ増幅器２１において各々増幅されて第１増幅光La_1及び第２増幅光La_2が定常的に出力される。このため、出力光Lv_2のオン／オフや、出力光Lv_2のパワー制御のために、ファイバ増幅器２１のゲインを変化させる必要がなく、ファイバ増幅器２１を定常状態で安定的に動作させて第１増幅光La_1及び第２増幅光La_2を安定的に出力させることができる。

[0050] さらに、波長変換部３においては、第１波長変換光学素子３１に第１増幅光La_1と第２増幅光La_2とが常時入射して第１変換光Lv_1が定常的に発生し、第２波長変換光学素子３２には第１波長変換光学素子３１で発生した第１変換光Lv_1と第１波長変換光学素子３１を透過した第２増幅光La_2とが常時入射する。そのため、第２波長変換光学素子３２における出力光のパワーに応じた発熱量の変化分以外は、第１波長変換光学素子３１及び第２波長変換光学素子３２は熱的に安定であり、特に、第１光源及び第２光源から第１波長変換光学素子３１までの光路における熱的な状態は極めて安定している。

[0051] 従って、レーザ装置ＬＳ１によれば、増幅部２のファイバ増幅器２１、波長変換部３の第１波長変換光学素子３１、及び第２波長変換光学素子３２を直列に接続し、レーザ光発生部１の第１光源１１を駆動する第１駆動信号の生成と第２光源１２を駆動する第２駆動信号の生成との相対的なタイミングを変化させる簡単な構成で、出力光Lv_2を高速且つ安定的に制御することができる。

[0052] 次に、本発明の第２の実施形態のレーザ装置について図７を参照しながら

説明する。図７に、本発明の第２の実施形態として例示するレーザ装置ＬＳ２の概要構成図を示す。レーザ装置ＬＳ２は、第１の実施形態のレーザ装置ＬＳ１と同様に、パルス状のレーザ光（シード光）を発生するレーザ光発生部１０１と、レーザ光発生部１０１により発生されたシード光を増幅する増幅部１０２と、増幅部１０２から出力された増幅光を波長変換する波長変換部１０３と、これら各部の作動を制御する制御部１０８とを備えて構成される。

[0053] 第２の実施形態のレーザ装置ＬＳ２においては、レーザ光発生部１０１において発生するシード光の波長を１．０６μｍ前後の赤外光、波長変換部１０３から出力する出力光の波長を２６６ｎｍの紫外光としている。

[0054] レーザ光発生部１０１は、発振波長がわずかに異なる二つの光源を有して構成される。すなわち、レーザ光発生部１０１には、第１波長λ_1のシード光を発生する第１光源１１１と、第２波長λ_2のシード光を発生する第２光源１１２とが設けられる。第１波長λ_1と第２波長λ_2との波長差Δλを８ｎｍとし、第１波長λ_1＝１０６０ｎｍ、第２波長λ_2＝１０６８ｎｍとする。

[0055] 第１光源１１１及び第２光源１１２は、ともにＤＦＢ（Distributed Feedback）半導体レーザを用いる。第２の実施形態のレーザ装置ＬＳ２においては、第１光源１１１及び第２光源１１２を１～１０MHz程度の周波数範囲から選択された所定周波数で繰り返しパルス発振させる。第１光源１１１及び第２光源１１２の作動は制御部１０８により制御される。レーザ光発生部１から出力されたパルス状の第１波長λ_1のシード光Ls_1及び第２波長λ_2のシード光Ls_2は、カプラ１１６により合波され増幅部１０２に入射する。

[0056] 増幅部１０２は、レーザ光発生部１０１から出力されたシード光を増幅するファイバ増幅器１２１を備えて構成される。ファイバ増幅器１２１は、第１波長λ_1と第２波長λ_2とを含む波長域の光に利得を有するファイバ増幅器である。このようなファイバ増幅器として、イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器（ＹＤＦＡ）を好適に用いることができる。

[0057] イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器（ＹＤＦＡ）１２１は、コアに

イッテルビウム（Ｙｂ）がドープされた増幅用ファイバ１２１ａと、増幅用ファイバに励起光を供給する励起光源１２１ｂとを主体として構成される。ファイバ増幅器１２１のゲインは、増幅用ファイバ１２１ａを励起する励起光のパワーを調節すること、具体的には、制御部１０８により励起光源１２１ｂの駆動電力を調節することで制御される。

[0058] ＹＤＦＡ１２１は、第１波長λ_1＝１０６０ｎｍのシード光Ｌs_1と第２波長λ_2＝１０６８ｎｍのシード光Ｌs_2とをともに増幅する。カプラ１１６により合波されてファイバ増幅器１２１に入射する第１波長λ_1のシード光Ｌs_1と第２波長λ_2のシード光Ｌs_2とは、波長差Δλが８ｎｍ程度あるため各々独立して増幅され、第１波長のシード光Ｌs_1が増幅された第１増幅光Ｌa_1と第２波長のシード光Ｌs_2が増幅された第２増幅光Ｌa_2とがファイバ増幅器１２１（増幅部２）から出力される。増幅部１０２から出力された第１増幅光Ｌa_1及び第２増幅光Ｌa_2は、波長変換部１０３に入射する。なお、複数の増幅器を直列に接続して構成することもできることは、第１の実施形態についての説明と同様である。

[0059] 波長変換部１０３には、増幅部１０２から出力された第１増幅光Ｌa_1及び第２増幅光Ｌa_2が伝播する波長変換光学系１３０が設けられている。波長変換光学系１３０は、第１波長変換光学素子１３１、第２波長変換素子１３２、第３波長変換光学素子１３３の３つの波長変換光学素子を主体とし、図示省略するレンズや波長板等を有して構成される。波長変換部１０３に入射した第１増幅光Ｌa_1及び第２増幅光Ｌa_2は、レンズを介して第１波長変換光学素子１３１に集光入射する。

[0060] 第１波長変換光学素子１３１は非線形光学結晶からなり、第２高調波発生により、第１増幅光Ｌa_1の波長λ_1の１／２の波長を有する第２高調波（第１変換光Ｌv_1）を発生する。一方、波長λ_2の第２増幅光Ｌa_2については波長変換することなく透過させる。第１波長変換光学素子１３１としては、ＬＢＯ（LiB_3O_5）結晶を、第１増幅光Ｌa_1の第２高調波発生が発生する位相整合条件を満たす所定温度（第１位相整合温度という）に調節して、非臨界位相整

合（ＮＣＰＭ：Non Critical Phase Matching）の状態で用いる。

[0061] 第１増幅光La_1の第２高調波として第１波長変換光学素子１３１で発生した波長５３０ｎｍの第１変換光Lv_1と、第１波長変換光学素子１３１を透過した波長１０６８ｎｍの第２増幅光La_2と、第１波長変換光学素子１３１を波長変換されずに透過した第１増幅光La_1の成分とは、ともに第２波長変換光学素子１３２に入射する。

[0062] 第２波長変換光学素子１３２は非線形光学結晶からなり、第２高調波発生により、第２増幅光La_2の波長λ_2の１／２の波長を有する第２高調波（第２変換光Lv_2）を発生する。一方、波長λ_1の第１増幅光La_1と波長λ_1／２の第１変換光Lv_1については波長変換することなく透過させる。つまり、本発明に係るレーザ装置においては、第１増幅光La_1と第２増幅光La_2との波長差$\Delta\lambda$により、第１波長変換光学素子１３１及び第２波長変換素子１３２において、いずれか一方の増幅光のみが第２高調波を発生させる位相整合条件を満たし、他方の増幅光は第２高調波を発生させる位相整合条件を満たさない。第２波長変換光学素子１３２としては、ＬＢＯ結晶を、第２増幅光La_2の第２高調波が発生する位相整合条件を満たす第２位相整合温度に調節して、非臨界位相整合（ＮＣＰＭ）の状態で用いる。

[0063] 位相整合が非臨界位相整合の場合には、発生する変換光（第１変換光Lv_1及び第２変換光Lv_2）にウォークオフが生じない。そのため、第１波長変換光学素子１３１及び第２波長変換素子１３２において、それぞれ十分な相互作用長を確保して効率的に波長変換を行うことができる。また、出力される第１変換光Lv_1及び第２変換光Lv_2のビーム断面は楕円化されないため、ビーム断面を円形に整形するシリンドリカルレンズ等の整形光学素子を設ける必要がなく、第３波長変換光学素子１３３に入射する光量の損失がない。

[0064] 第１波長変換光学素子１３１は、第１増幅光Ｌa1を波長変換して第２高調波（第１変換光Ｌv1）を発生するが、第２増幅光Ｌa2を波長変換することはなく透過させる。第２波長変換光学素子１３２は、第２増幅光Ｌa2を波長変換して第２高調波（第２変換光Ｌv2）を発生するが、第１増幅光Ｌa1を波長

変換することはなく透過させる。つまり、第１増幅光Ｌa1と第２増幅光Ｌa2との波長差Δλにより、第１波長変換光学素子１３１及び第２波長変換素子１３２において、いずれか一方の増幅光についてのみ第２高調波発生の位相整合条件を満たし、他方の増幅光は第２高調波発生の位相整合条件を満たさない。

[0065] 第１波長変換光学素子１３１及び第２波長変換光学素子１３２としてＬＢＯ結晶を用いた場合について具体的に説明すると、例えば、光軸方向の長さが２０ｍｍ程度のＬＢＯ結晶を用いる場合、所定温度において第１波長λ_1程度の波長の光に対して高調波発生の位相整合条件を満たす波長の許容幅は数ｎｍ程度である。そのため、第１波長変換光学素子１３１において、第１増幅光Ｌa_1の第２高調波が発生する位相整合条件を満たすように結晶温度を設定すれば、波長が８ｎｍ異なる第２増幅光Ｌa_2については第２高調波が発生する位相整合条件は満たされない。第２波長変換光学素子１３２についても同様の説明が成り立つ。

[0066] その結果、第１波長変換光学素子１３１においては、第１増幅光Ｌa_1の第２高調波である波長５３０ｎｍの第１変換光Ｌv_1は発生するが、第２増幅光Ｌa_2の第２高調波は発生することなく第１波長変換光学素子１３１を透過する。また、第２波長変換光学素子１３２においては、第２増幅光Ｌa_2の第２高調波である波長５３４ｎｍの第２変換光Ｌv_2は発生するが、第１増幅光Ｌa_1及び第１変換光Ｌv_1の第２高調波は発生することなく第２波長変換光学素子１３２を透過する。

[0067] 以上、第１波長変換光学素子１３１及び第２波長変換素子１３２としてＬＢＯ結晶を非臨界位相整合で用いた構成例について説明したが、ＬＢＯ結晶やＢＢＯ（β-BaB_2O_4）結晶等の非線形光学結晶を臨界位相整合（ＣＰＭ：Critical Phase Matching）で用いる構成についても、波長差Δλを利用して同様の作用を発生させることができる。例えば、第１増幅光Ｌa_1につい第２高調波発生の位相整合条件を満たすように第１波長変換光学素子１３１の角度位置を設定することによって、第１増幅光Ｌa_1のみを波長変換して第１変換光

Lv_1を発生させ、第２増幅光La_2は波長変換することなく透過させることができる。ＰＰＬＮ（Periodically Poled $LiNbO_3$）結晶や、ＰＰＬＴ（Periodically Poled $LiTaO_3$）結晶等の疑似位相整合（ＱＰＭ：Quasi Phase Matching）結晶を用いる構成についても、波長差Δλを利用して同様に適用することができる。

[0068] 第１波長変換光学素子３１で発生し第２波長変換光学素子１３２を透過した波長５３０ｎｍの第１変換光Lv_1と、第２波長変換光学素子１３２で発生した波長５３４ｎｍの第２変換光Lv_2は、第３波長変換光学素子１３３に集光入射する。

[0069] 第３波長変換光学素子１３３は非線形光学結晶からなり、和周波発生により第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2との和周波を発生する。第３波長変換光学素子１３３に入射する光は、第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2とが時間的に重複する場合と、第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2とが重複しない場合がある。いずれの場合であっても、第３波長変換光学素子１３３においては、第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2とは和周波発生の位相整合条件を満すものの、第１変換光Lv_1と第１増幅光La_1、第１変換光Lv_1と第２増幅光La_2、第２変換光Lv_2と第１増幅光La_1、第２変換光Lv_2と第２増幅光La_2、及び、第１増幅光La_1と第２増幅光La_2による和周波を発生する位相整合条件を満たさない。同時に、これらのそれぞれの光による第２高調波が発生する位相整合条件も満たさないように設定されている。

[0070] 第３波長変換光学素子１３３として、ＣＬＢＯ（$CsLiB_6O_{10}$）結晶を用い、第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2との和周波が発生する位相整合条件を満たす所定の角度位置（位相整合角）に調節し、タイプＩの臨界位相整合（ＣＰＭ）の状態で動作させる構成とすることができる。ＣＬＢＯ結晶を加工して、第３波長変換光学素子１３３においては、波長５３０ｎｍの第１変換光Lv_1と波長５３４ｎｍの第２変換光Lv_2との和周波発生によって波長２６６ｎｍの第３変換光Lv_3が発生する位相整合条件となるようにする。

[0071] 第３波長変換光学素子１３３として、光軸方向の長さが１０ｍｍ程度のＣ

ＬＢＯ結晶を用いた場合、和周波発生の位相整合条件を満たす波長の許容幅は０．２ｎｍ程度である。そのため、第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2とは和周波発生の位相整合条件を満たして波長２６６ｎｍの和周波である第３変換光Lv_3が発生するが、これ以外の和周波が発生するような位相整合条件は満たされない。第３波長変換光学素子１３３で発生した波長２６６ｎｍの第３変換光Lv_3は波長変換部３から出射され、出力光としてレーザ装置ＬＳから出力される。

[0072] レーザ装置ＬＳ２においては、制御部１０８がレーザ光発生部１０１の作動を制御することにより、出力光である第３変換光Lv_3を高速且つ安定的に制御可能である。既述したように、レーザ光発生部１０１には、第１波長λ_1のシード光Ls_1を発生する第１光源１１１と、第２波長λ_2のシード光Ls_2を発生する第２光源１１２とが設けられている。第２の実施形態においては、制御部１０８が第１光源、及び第２光源の作動を制御することにより、出力光を高速且つ安定的に制御する。

[0073] 制御部１０８は、第１の実施形態における制御部８と基本的には同様の機能を有する。すなわち、各部の作動を制御する際に基準となる周波数１００ＭＨz程度のクロック信号を発生するクロック発生器１８０、光源ドライバ１８１、及び光源コントローラ１８３などを備えて構成される。光源ドライバ１８１は、クロック発生器１８０により発生されたクロック信号を基準として、第１光源１１１を駆動する第１駆動信号と第２光源１１２を駆動する第２駆動信号とを生成する。光源コントローラ１８３は、レーザ装置ＬＳ２が搭載されたシステムの加工プログラムや操作盤から入力される出力指令に基づいて、光源ドライバ１８１に指令信号を出力する。

[0074] 第２の態様のレーザ装置ＬＳ２において、第１光源１１１を駆動する第１駆動信号、及び第２光源１１２を駆動する第２駆動信号は、ともにオン時間が１～数ｎsecのパルスが、繰り返し周波数１～１０ＭＨz程度のパルス列である。ここでは、第１駆動信号及び第２駆動信号を、ともにオン時間が１ｎsec、繰り返し周波数が１ＭＨzのパルス列とする。

[0075] 操作盤等から制御部１０８に入力される出力指令が、波長２６６ｎｍの第３変換光（以下、「出力光」という）Lv_3を出力するオン指令の場合、光源コントローラ１８３は、出力オン指令信号を光源ドライバ１８１に出力する。このとき、光源ドライバ１８１は、図８及び図９に示すように、第３波長変換光学素子１３３において第１変換光Lv_1のパルス列と第２変換光Lv_2のパルス列とが時間的に重なるように、第１光源１１１から出射する第１波長のシード光Ls_1と第２光源１１２から出射する第２波長のシード光Ls_2との相対的な出力タイミングを制御する。

[0076] 具体的には、光源ドライバ１８１は第１変換光Lv_1のパルス列と第２変換光Lv_2のパルス列とが第３波長変換光学素子１３３において時間的に重なり合うようなタイミング（両者の光路長が同一の場合には同一タイミング）で、第１駆動信号と第２駆動信号とを生成して、第１光源１１１と第２光源１１２とを駆動する。

[0077] 第１光源１１１から出射した第１波長のシード光Ls_1、及び第２光源１１２から出射した第２波長のシード光Ls_2は、各々ファイバ増幅器１２１により増幅されて第１増幅光La_1及び第２増幅光La_2となり、第１波長変換光学素子１３１に集光入射する。第１波長変換光学素子１３１においては、第１増幅光La_1のみが波長変換されて第１変換光Lv_1が発生し、第１波長λ_1に対して波長差$\Delta\lambda$を有する第２増幅光La_2は波長変換されずにそのまま透過する。第１波長変換光学素子１３１で発生した第１変換光Lv_1、及び第１波長変換光学素子１３１をそのまま透過した第２増幅光La_2の成分は、ともに第２波長変換素子１３２に入射する。

[0078] 第２波長変換光学素子１３２においては、第２増幅光La_2のみが波長変換されて第２変換光Lv_2が発生する。第２波長変換光学素子１３２で発生した第２変換光Lv_2と、波長変換光学素子３２を透過した第１変換光Lv_1は第３波長変換光学素子１３３に集光入射する。

[0079] 第３波長変換光学素子１３３においては、入射した第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2とは、両者のパルス列が時間的に重なるように設定されている。また

、第３波長変換光学素子１３３は、第１変換光Ｌv_1と第２変換光Ｌv_2との和周波を発生する位相整合条件のみを満たすが、それ以外の和周波や第２高調波が発生する位相整合条件は満たさないように設定されている。そのため、第３波長変換光学素子１３３において第１変換光Ｌv_1と第２変換光Ｌv_2との和周波発生により波長２６６ｎｍの出力光（第３変換光）Ｌv_3が発生して、出力光としてレーザ装置ＬＳ２から出力される。

[0080] 一方、操作盤等から制御部１０８に入力される出力指令が、出力光Ｌv_3を停止するオフ指令の場合、光源コントローラ１８３は、出力オフ指令信号を光源ドライバ１８１に出力する。このとき、光源ドライバ１８１は、図１０及び図１１に示すように、第３波長変換光学素子１３３において第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列とが時間的に重ならないように、第１光源１１１から出射する第１波長のシード光Ｌs_1と第２光源１１２から出射する第２波長のシード光Ｌs_2との相対的な出力タイミングを制御する。

[0081] 具体的には、光源ドライバ１８１は第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列とが第３波長変換光学素子１３３において時間的に重ならないようなタイミング（いずれか一方がオン状態のとき他方がオフ状態になるタイミング）で第１駆動信号と第２駆動信号とを生成し、第１光源１１１と第２光源１１２とを駆動する。

[0082] 第１光源１１１から出射した第１波長のシード光Ｌs_1、及び第２光源１１２から出射した第２波長のシード光Ｌs_2は、各々ファイバ増幅器１２１により増幅されて第１増幅光Ｌa_1及び第２増幅光Ｌa_2となり、第１波長変換光学素子１３１に集光入射する。第１波長変換光学素子１３１においては、第１増幅光Ｌa_1のみが波長変換されて第１変換光Ｌv_1が発生し、第１波長λ_1に対して波長差$\Delta\lambda$を有する第２増幅光Ｌa_2は波長変換されずにそのまま透過する。第１波長変換光学素子１３１で発生した第１変換光Ｌv_1、及び第１波長変換光学素子１３１をそのまま透過した第２増幅光Ｌa_2の成分は、ともに第２波長変換素子１３２に入射する。

[0083] 第２波長変換光学素子１３２においては、第２増幅光Ｌa_2のみが波長変換さ

れて第２変換光Ｌv_2が発生する。第２波長変換光学素子３２で発生した第２変換光Ｌv_2と波長変換光学素子１３２を透過した第１変換光Ｌv_1とは第３波長変換光学素子１３３に集光入射する。

[0084] 第３波長変換光学素子１３３においては、入射した第１変換光Ｌv_1と第２変換光Ｌv_2とは、両者のパルス列が時間的に重ならないように設定されている。第３波長変換光学素子１３３は、第１変換光Ｌv_1と第２変換光Ｌv_2とは和周波発生の位相整合条件を満たすが、それ以外の和周波及び第２高調波が発生する位相整合条件は満たさない。そのため、第３波長変換光学素子１３３において波長２６６ｎｍの出力光Ｌv_3は発生せず、レーザ装置ＬＳ２から出力されない。

[0085] 以上説明したように、第１光源１１１を駆動する第１駆動信号のパルス列と、第２光源１１２を駆動する第２駆動信号のパルス列との相対的なタイミングを変化させることによって、波長２６６ｎｍの出力光Ｌv_3のオン／オフ制御をすることができる。

[0086] 波長変換部１０３の出力端部に、例えば波長が３００ｎｍ程度よりも短い光を反射し、これより長い波長の光を透過するダイクロイックミラー等を設け、出力光Ｌv_3を、第３波長変換光学素子１３３を透過した第１増幅光、第２増幅光、第１変換光、及び第２変換光等から分離することができる。その結果、出力光以外の波長の光がレーザ装置ＬＳ２から出力されることを防止できる。

[0087] 以上、レーザ装置ＬＳ２から出力する出力光Ｌv_3をオン／オフ制御する形態について説明した。すなわち、出力光Ｌv_3のオン／オフ制御は、第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列とが第３波長変換光学素子１３３において時間的に重なり合う状態と、時間的に重なり合わない状態とに切り換えることにより実現される（図８～図１１を参照）。第２の実施形態のレーザ装置ＬＳ２は、出力光Ｌv_3のパワーを制御することもできる。そのための制御は、第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列とが、第３波長変換光学素子１３３において時間的に重なる重複率を制御するこ

とによって実現される。出力光のパワー制御も、第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列とが第３波長変換光学素子１３３において時間的に重なる程度が調節されるような相対的なタイミングで、第１光源１１１を駆動する第１駆動信号と、第２光源１１２を駆動する第２駆動信号とを生成して、第１光源１１１と第２光源１１２とを駆動することにより行われる。

[0088] 図１２（ａ）～（ｃ）は、第１駆動信号と第２駆動信号とを生成する相対的なタイミングを変化させることにより、第３波長変換光学素子１３３における第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列との重複率を変化させる様子を示す説明図である。この図１２（ａ）は、第３波長変換光学素子１３３における第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列との重複率を２０％に設定した場合、図１２（ｂ）は、両者の重複率を約５０％に設定した場合、図１２（ｃ）は、両者の重複率を８０％に設定した場合を示す。

[0089] 図１２（ａ）に示す重複率２０％の場合、第３波長変換光学素子１３３で発生する出力光Ｌv_3のパワーは、重複率が１００％のときのパワーの２０％になる。同様に図１２（ｂ）に示す重複率５０％の場合には出力光Ｌv_3のパワーは重複率１００％のときのパワーの５０％、図１２（ｃ）に示す重複率８０％の場合には出力光Ｌv_3のパワーは重複率１００％のときのパワーの８０％になる。

[0090] すなわち、第１光源１１１を駆動する第１駆動信号の生成と第２光源１１２を駆動する第２駆動信号の生成との相対的なタイミングを変化させて、第３波長変換光学素子１３３における第１変換光Ｌv_1のパルス列と第２変換光Ｌv_2のパルス列との重複率を変化させることにより、０～１００％の範囲で出力光Ｌv_2のパワーを任意かつ高速に制御することができる。

[0091] 第２の実施形態のレーザ装置ＬＳ２においては、レーザ光発生部１０１において、出力光Ｌv_3をオン／オフするために第１光源１１１及び第２光源１１２の少なくともいずれかを動作状態と非動作状態とに切り替える必要がない。また、出力光Ｌv_2のパワーを制御するために第１光源１１１を駆動する第

１駆動信号及び第２光源１１２を駆動する第２駆動信号の少なくともいずれかの信号波形を変化させる必要もない。このため、第１光源１１１及び第２光源１１２の両者をともに定常状態で動作させることができるので、第１光源１１１及び第２光源１１２を安定的に動作させ、発振波長及びパルス波形が安定した第１波長のシード光Ls_1及び第２波長のシード光Ls_2を発生させることができる。

[0092] また、増幅部１０２においては、第１波長のシード光Ls_1と第２波長のシード光Ls_2とが常時ファイバ増幅器１２１に入射し、ファイバ増幅器１２１において各々増幅されて第１増幅光La_1及び第２増幅光La_2が定常的に出力される。このため、出力光Lv_3のオン／オフや、出力光Lv_3のパワー制御のために、ファイバ増幅器１２１のゲインを変化させる必要がなく、ファイバ増幅器１２１を定常状態で安定的に動作させて第１増幅光La_1及び第２増幅光La_2を安定的に出力させることができる。

[0093] さらに、波長変換部１０３においては、第１波長変換光学素子１３１には第１増幅光La_1と第２増幅光La_2とが常時入射して第１変換光Lv_1が定常的に発生し、第２波長変換光学素子１３２には第１変換光Lv_1と第２増幅光La_2とが常時入射して第２変換光Lv_2が定常的に発生する。また第３波長変換素子には第１変換光Lv_1と第２変換光Lv_2とが常時入射する。第１～第３波長変換素子１３１～１３３は熱的に安定であり、特に第２波長変換素子に至る光路の熱的な状態は極めて安定している。

[0094] 従って、レーザ装置ＬＳ２によれば、増幅部１０２のファイバ増幅器１２１、波長変換部１０３の第１～第３波長変換光学素子１３１～１３３を直列に接続し、レーザ光発生部１０１の第１光源１１１を駆動する第１駆動信号の生成と第２光源１１２を駆動する第２駆動信号の生成との相対的なタイミングを変化させる簡単な構成で、出力光Lv_3を高速且つ安定的に制御することができる。

[0095] 以上、第１光源と第２光源とをパルス発振させ、その駆動信号を生成する相対的なタイミングを変化させることによって出力光（ＬＳ１では第２変換

光、ＬＳ２では第３変換光）の出力状態を制御する構成を例示した。しかし、本発明は上記構成形態に限らず、レーザ光発生部から出力される第１波長のシード光Ls_1と第２波長のシード光Ls_2の出力タイミングを高速に制御可能な構成であればよい。

[0096] 例えば、第１光源及び第２光源の少なくともいずれかの出射端部に電気光学変調器（ＥＯＭ）等の外部変調器を設け、この外部変調器により、ＣＷ発振またはパルス発振させたレーザ光の一部を所定のタイミングで切り出して、第１波長のシード光Ls_1及び／または第２波長のシード光Ls_2をレーザ光発生部から出力するように構成しても良い。このような形態のレーザ装置においては、パルス波形の立ち上がり及び立ち下がりが、より急峻な出力光を出力することができる。

[0097] なお、第１及び第２の実施形態では、第１波長λ_1と第２波長λ_2との波長差$\Delta\lambda$をそれぞれ１０ｎｍ及び８ｎｍとした構成を例示したが、波長差$\Delta\lambda$は増幅部２や波長変換部の構成に応じて、適当な値に設定することができる。なお、上記実施形態の構成とは別に、例えば、第１波長変換光学素子において第１増幅光La_1のみが二次高調波を発生させるような位相整合条件を満たす構成として、第１増幅光La_1と第２増幅光La_2の偏光面の角度を直交させた状態で第１波長変換光学素子に入射させる配置を採用することができる。この配置においては、第２波長変換光学素子をタイプIの位相整合条件で用いる場合には、第１波長変換光学素子と第２波長変換光学素子の間に２波長波長板を設ける必要は無い。

[0098] また、上記の第１及び第２の実施形態では、レーザ光発生部１から波長１．０６μｍ前後の二波長のシード光を出力し、波長変換部の複数波長変換光学素子を伝播させることで波長３５５ｎｍまたは波長２６６ｎｍの出力光に波長変換して出力する構成を例示した。しかし、シード光の波長帯域や波長変換光学素子の個数及び配置、出力光の波長等は適宜設定すればよい。

[0099] 以上説明したような本発明に係るレーザ装置は、小型軽量であるとともに取り扱いが容易であり、露光装置や光造形装置等の光加工装置、フォトマス

クやウェハ等の検査装置、顕微鏡や望遠鏡等の観察装置、測長器や形状測定器等の測定装置、光治療装置などのシステムに好適に適用することができる。

[0100] 本発明に係るレーザ装置を備えたシステムの第１の適用例として、半導体製造や液晶パネル製造のフォトリソグラフィ工程で用いられる露光装置について、図１３に示した概要構成を参照して説明する。露光装置５００は、石英ガラス製のフォトマスク５１３に精密に描かれたデバイスパターンを、フォトレジストを塗布した半導体ウェハやガラス基板などの露光対象物５１５に光学的に投影して転写する。

[0101] 露光装置５００は、上述した本発明に係るレーザ装置ＬＳと、照明光学系５０２と、フォトマスク５１３を保持するマスク支持台５０３と、投影光学系５０４と、露光対象物５１５を保持する露光対象物支持テーブル５０５と、露光対象物支持テーブル５０５を水平面内で移動させる駆動機構５０６とを備えて構成される。照明光学系５０２は複数のレンズ群からなり、レーザ装置ＬＳから出力されたレーザ光を、マスク支持台５０３に保持されたフォトマスク５１３に照射する。投影光学系５０４も複数のレンズ群により構成され、フォトマスク５１３を透過した光を露光対象物支持テーブル上の露光対象物５１５に投影する。

[0102] このような構成の露光装置５００においては、レーザ装置ＬＳから出力されたレーザ光が照明光学系５０２に入射され、所定光束に調整されたレーザ光がマスク支持台５０３に保持されたフォトマスク５１３に照射される。フォトマスク５１３にはデバイスパターンが形成されており、フォトマスク５１３を通過した光は投影光学系５０４を介して露光対象物支持テーブル５０５に保持された露光対象物５１５の所定位置に照射される。これにより、フォトマスク５１３のデバイスパターンの像が、半導体ウェハや液晶パネル等の露光対象物５１５の上に所定倍率で結像し、デバイスパターンの像に応じて露光対象物５１５が露光される。

[0103] 次に、本発明に係るレーザ装置を備えたシステムの第２の適用例として、

フォトマスクや液晶パネル、ウェハ等（被検物）の検査工程で使用される検査装置について、図１４に示した概要構成を参照して説明する。図８に例示する検査装置６００は、フォトマスク等の、光透過性を有する被検物６１３に描かれた微細なデバイスパターンの検査に好適に使用される。

[0104] 検査装置６００は、レーザ装置ＬＳと、照明光学系６０２と、被検物６１３を保持する被検物支持台６０３と、投影光学系６０４と、被検物６１３からの光を検出するＴＤＩ(Time Delay Integration)センサ６１５と、被検物支持台６０３を水平面内で移動させる駆動機構６０６とを備えて構成される。照明光学系６０２は複数のレンズ群からなり、レーザ装置ＬＳから出力されたレーザ光を、所定光束に調整して被検物支持台６０３に保持された被検物６１３に照射する。投影光学系６０４も複数のレンズ群により構成され、被検物６１３を透過した光をＴＤＩセンサ６１５に投影する。

[0105] このような構成の検査装置６００においては、レーザ装置ＬＳから出力されたレーザ光が照明光学系６０２に入射され、所定光束に調整されたレーザ光が被検物支持台６０３に保持されたフォトマスク等の被検物６１３に照射される。フォトマスク等の被検物６１３にはデバイスパターン等の像が形成されており、被検物６１３からの光（本構成例においては透過光）は、投影光学系６０４を介してＴＤＩセンサ６１５に投影され結像する。その際、駆動機構６０６による被検物支持台６０３の水平移動と、ＴＤＩセンサ６１５からの出力信号の転送クロックとは同期して制御される。

[0106] このような構成により、被検物６１３のデバイスパターンの像はＴＤＩセンサ６１５により検出され、検出された被検物６１３のデバイスパターンと、参照画像とを比較することにより、被検物に形成されたデバイスパターンの欠陥が抽出される。なお、被検物６１３がウェハ等のように光透過性を有さない場合には、被検物からの反射光を投影光学系６０４に入射してＴＤＩセンサ６１５に導くような構成とすることにより、同様の機能を持たせることができる。

[0107] 以上の説明はあくまで一例であり、上記の実施形態の構成に何ら限定され

るものではない。

[0108] 次の優先権基礎出願の開示内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国特許出願２０１２年第１６９６４３号（２０１２年７月３１日出願）

日本国特許出願２０１２年第１６９６４４号（２０１２年７月３１日出願）

符号の説明

[0109] ＬＳ　レーザ装置

１、１０１　レーザ光発生部

２、１０２　増幅部

３、１０３　波長変換部

８、１０８　制御部

１１、１１１　第１光源

１２、１１２　第２光源

２１、１２１　ファイバ増幅器（増幅器）

３０、１３０　波長変換光学系

３１、１３１　第１波長変換光学素子

３２、１３２　第２波長変換光学素子

５００　露光装置

５０２　照明光学系

５０３　マスク支持台

５０４　投影光学系

５０５　露光対象物支持テーブル

５１３　フォトマスク

５１５　露光対象物

６００　検査装置

６０２　照明光学系

６０３　被検物支持台

６０４　投影光学系

６１３　被検物

６１５　ＴＤＩセンサ

請求の範囲

［請求項1］ パルス状の第１波長のレーザ光を発生する第１光源とパルス状の第２波長のレーザ光を出力する第２光源とを有するレーザ光発生部と、

前記第１波長と前記第２波長とを含む波長帯域の光に利得を有する増幅器を備え、前記第１波長のレーザ光と前記第２波長のレーザ光とを増幅して、前記第１波長のレーザ光を増幅した第１増幅光と前記第２波長のレーザ光を増幅した第２増幅光とを出力する増幅部と、

前記第１増幅光を第１変換光に波長変換し、前記第１変換光と前記第２増幅光とから波長変換により出力光を発生させるか、または、前記第１増幅光と前記第２増幅光とをそれぞれ第１変換光と第２変換光とに波長変換し、前記第１変換光と前記第２変換光とから波長変換により出力光を発生させる波長変換光学素子を有する波長変換部と、

前記レーザ光発生部の作動を制御する制御部とを備え、

前記制御部が、前記第１光源からの前記第１波長のレーザ光の出力と前記第２光源からの前記第２波長のレーザ光の出力との相対的なタイミングを制御することにより、前記波長変換部における前記出力光の発生位置において、前記第１変換光と前記第２増幅光との時間的な重ね合わせ、または、前記第１変換光と前記第２変換光との時間的な重ね合わせを調節して、前記出力光の出力状態を制御するように構成したレーザ装置。

［請求項2］ 請求項１に記載のレーザ装置において、

前記波長変換部は、前記第１増幅光を第１変換光に波長変換し、かつ、前記第２増幅光を透過する第１波長変換光学素子と、前記第１波長変換光学素子を透過した前記第２増幅光と前記第１変換光とから波長変換により第２変換光を発生する第２波長変換光学素子とを有し、

前記制御部は、前記第１光源からの前記第１波長のレーザ光の出力と前記第２光源からの前記第２波長のレーザ光の出力との相対的なタイミングを制御することにより、前記第２波長変換光学素子におけ

る前記第１変換光と前記第２増幅光との時間的な重ね合わせを調節して、前記第２変換光の出力状態を制御するように構成したレーザ装置。

[請求項3] 請求項２に記載のレーザ装置において、

前記第１波長と前記第２波長とは、前記第２波長変換光学素子において、前記第１変換光と前記第２増幅光とで和周波発生する位相整合条件を満たし、かつ、前記第１変換光と前記第１増幅光とで和周波発生する位相整合条件は満たさないような波長にそれぞれ設定されているレーザ装置。

[請求項4] 請求項２および３のいずれか一項に記載のレーザ装置において、

前記第１波長と前記第２波長とは、前記第１波長変換光学素子において、前記第１増幅光の高調波が発生する位相整合条件を満たし、かつ、前記第２増幅光の高調波が発生する位相整合条件は満たさないような波長にそれぞれ設定されているレーザ装置。

[請求項5] 請求項２～４のいずれか一項に記載のレーザ装置において、

前記制御部は、前記第２波長変換光学素子において、前記第１変換光と前記第２増幅光とが時間的に重複した状態と重複しない状態とに切り換えることにより、前記出力光としての前記第２変換光のオン／オフを制御するレーザ装置。

[請求項6] 請求項２～５のいずれか一項に記載のレーザ装置において、

前記制御部は、前記第２波長変換光学素子において、前記第１変換光と前記第２増幅光との時間的な重複率を変化させることにより、前記出力光としての前記第２変換光のパワーを制御するレーザ装置。

[請求項7] 請求項１に記載のレーザ装置において、

前記波長変換部は、前記第１増幅光を第１変換光に波長変換し、かつ、前記第２増幅光を透過する第１波長変換光学素子と、前記第１波長変換光学素子を透過した前記第２増幅光を第２変換光に波長変換し、かつ、前記第１変換光を透過する第２波長変換光学素子と、前記第

１変換光と前記第２変換光とから波長変換により第３変換光を発生する第３波長変換光学素子とを有し、

前記制御部は、前記第１光源からの前記第１波長のレーザ光の出力と前記第２光源からの前記第２波長のレーザ光の出力との相対的なタイミングを制御することにより、前記第３波長変換光学素子における前記第１変換光と前記第２変換光との時間的な重ね合わせを調節して、前記第３変換光の出力状態を制御するように構成したレーザ装置。

[請求項8] 請求項７に記載のレーザ装置において、

前記第１波長と前記第２波長とは、

前記第３波長変換光学素子において、前記第１変換光と前記第２変換光とによる和周波が発生する位相整合条件を満たし、前記和周波以外の和周波及び二次高調波が発生する位相整合条件はいずれも満たさないような波長に設定されているレーザ装置。

[請求項9] 請求項７および８のいずれか一項に記載のレーザ装置において、

前記第１波長及び前記第２波長は、

前記第１波長変換光学素子において、前記第１増幅光の高調波が発生する位相整合条件を満たし、かつ、前記第２増幅光の高調波が発生する位相整合条件は満たさず、

前記第２波長変換光学素子において、前記第２増幅光の高調波が発生する位相整合条件を満たし、かつ、前記第１増幅光の高調波が発生する位相整合条件は満たさないような波長にそれぞれ設定されているレーザ装置。

[請求項10] 請求項７～９のいずれか一項に記載のレーザ装置において、

前記制御部は、前記第３波長変換光学素子において、前記第１変換光と前記第２変換光とが時間的に重複した状態と重複しない状態とに切り換えることにより、前記出力光としての前記第３変換光のオン／オフを制御するレーザ装置。

[請求項11] 請求項７～１０のいずれか一項に記載のレーザ装置において、

前記制御部は、前記第３波長変換光学素子において、前記第１変換光と前記第２変換光との時間的な重複率を変化させることにより、前記出力光としての前記第３変換光のパワーを制御するレーザ装置。

[請求項12] 請求項１～１１のいずれか一項に記載のレーザ装置と、

所定の露光パターンが形成されたフォトマスクを保持するマスク支持部と、

露光対象物を保持する露光対象物支持部と、

前記レーザ装置から出力されたレーザ光を前記マスク支持部に保持されたフォトマスクに照射する照明光学系と、

前記フォトマスクを透過した光を露光対象物支持部に保持された露光対象物に投影する投影光学系と

を備えた露光装置。

[請求項13] 請求項１～１１のいずれか一項に記載のレーザ装置と、

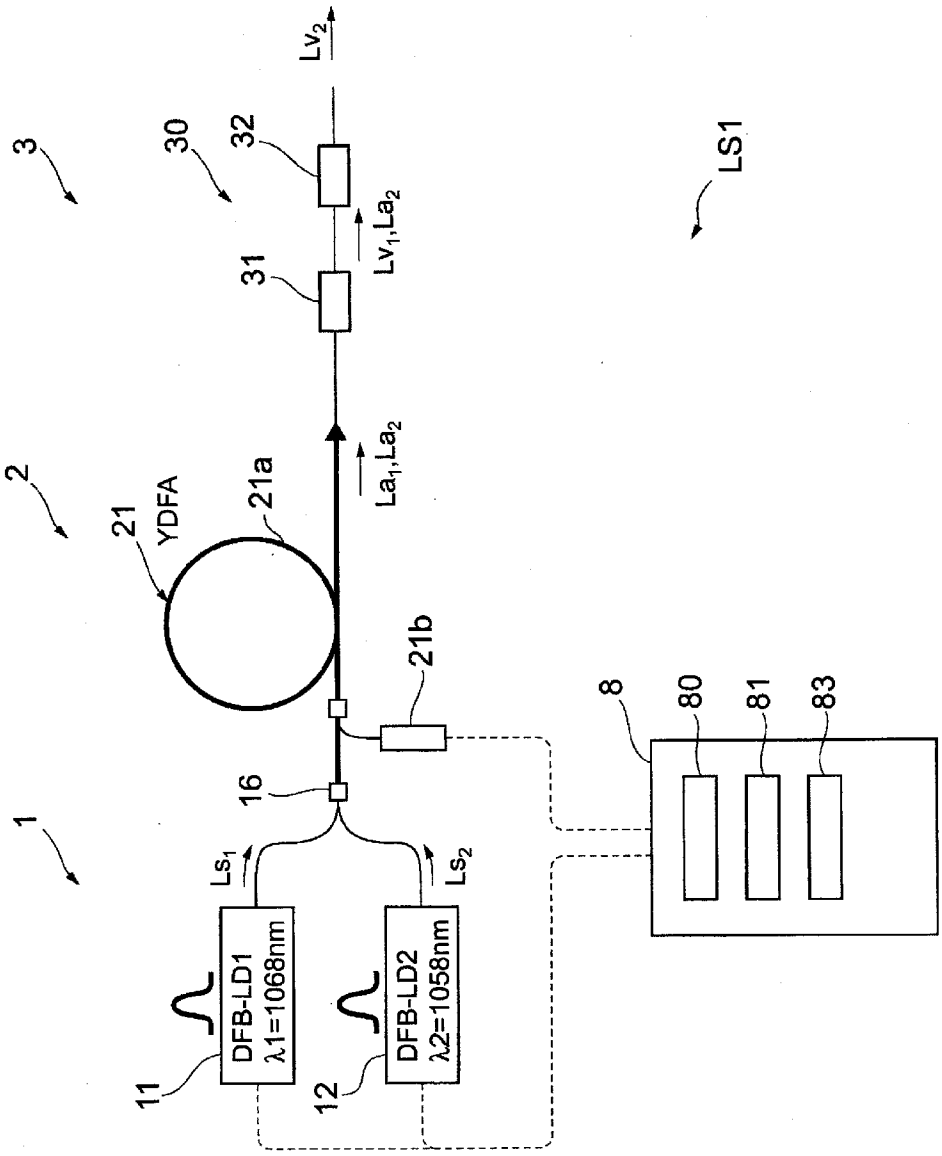
被検物を保持する被検物支持部と、

前記レーザ装置から出力されたレーザ光を前記被検物支持部に保持された被検物に照射する照明光学系と、

前記被検物からの光を検出器に投影する投影光学系と

を備えた検査装置。

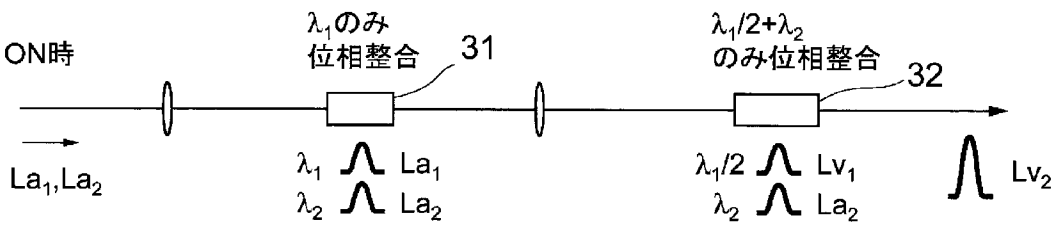
[図1]


Lv2
3
30
32
LS1
Lv1,La2
31
La1,La2
2
21
YDFA
21a
21b
8
80
81
83
16
1
Ls1
Ls2
DFB-LD1
λ1=1068nm
DFB-LD2
λ2=1058nm
11
12

【図１】

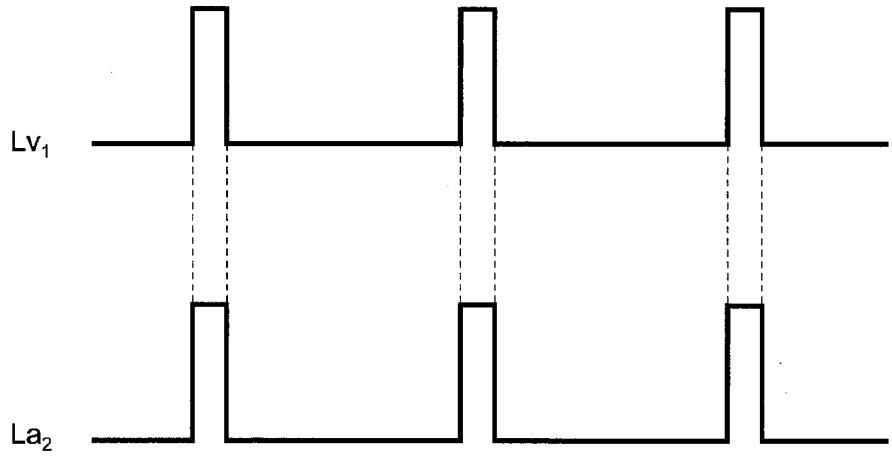
[図2]

【図２】


ON時
λ1のみ
位相整合
31
λ1/2+λ2
のみ位相整合
32
La1,La2
λ1 La1
λ2 La2
λ1/2 Lv1
λ2 La2
Lv2

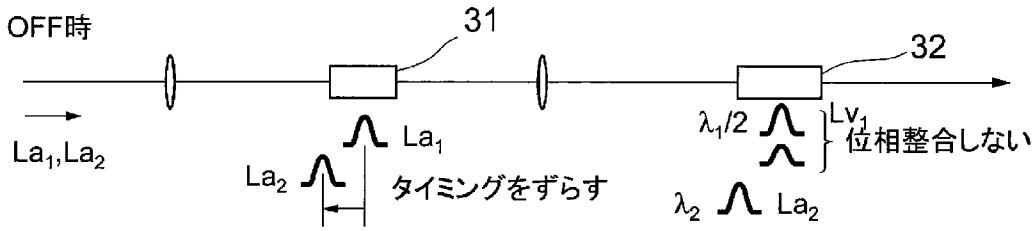
[図3]

【図３】



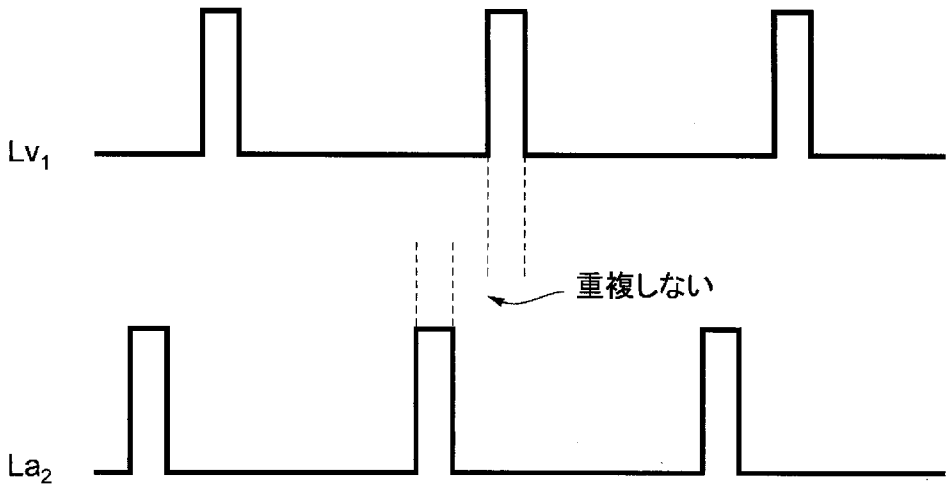
[図4]

【図４】



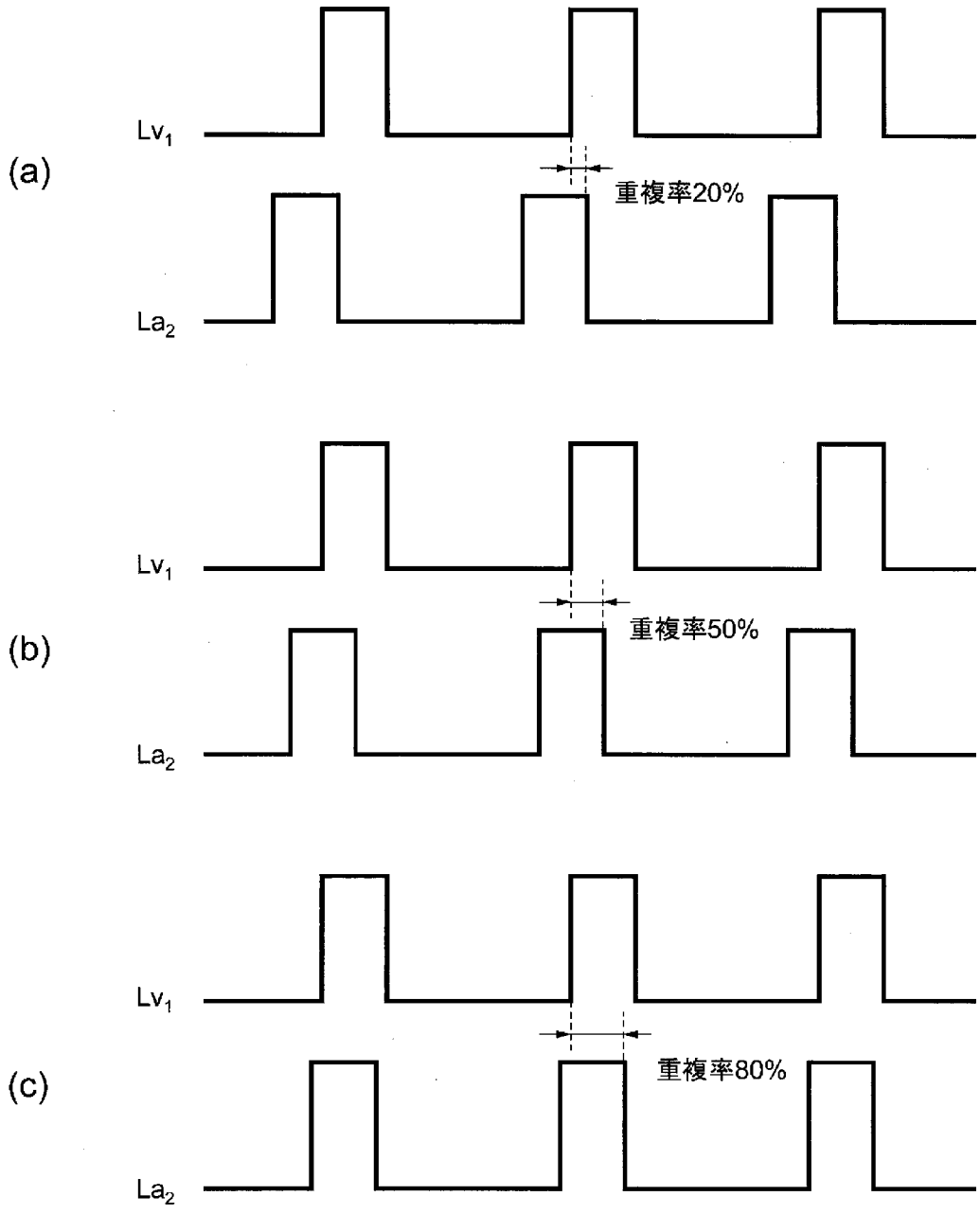
[図5]

【図５】

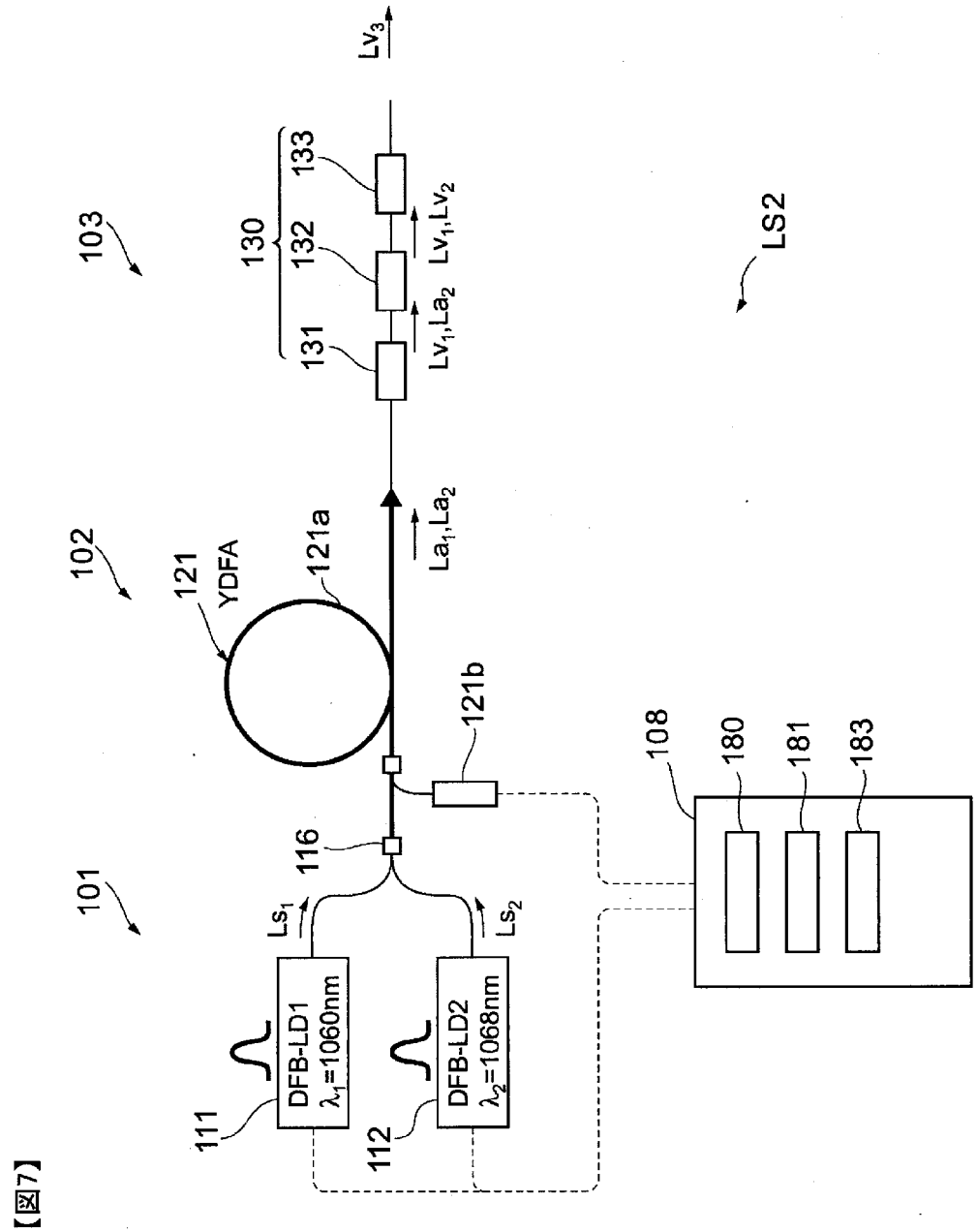


[図6]

【図６】



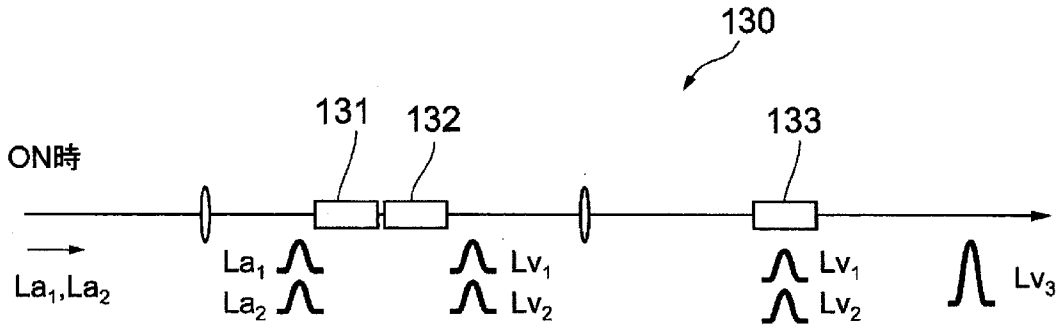
[図7]


103
130
133
132
131
Lv_3
Lv_1,Lv_2
Lv_1,La_2
LS2
102
121
YDFA
121a
La_1,La_2
121b
108
180
181
183
101
116
Ls_1
Ls_2
DFB-LD1
λ_1=1060nm
DFB-LD2
λ_2=1068nm
111
112

【図7】

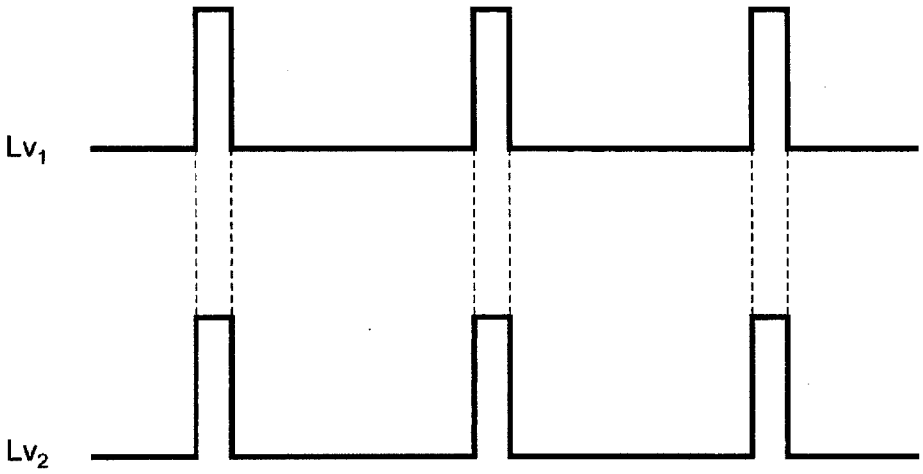
[図8]

【図8】



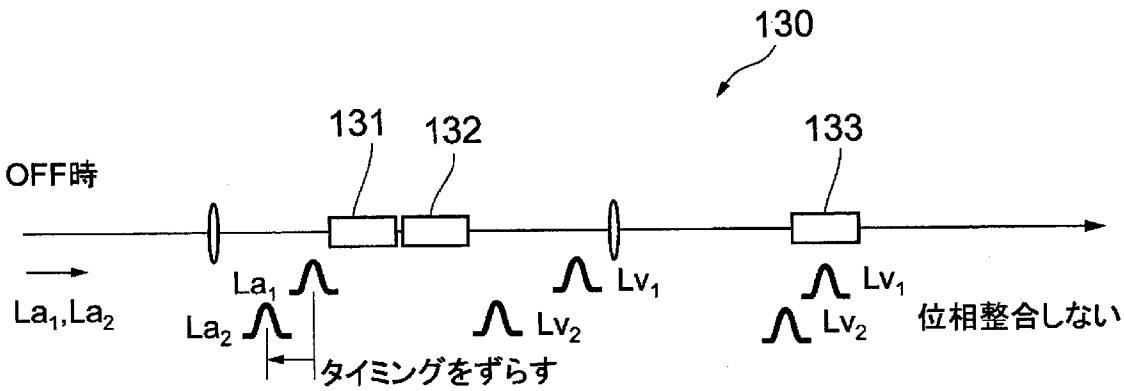
[図9]

【図9】



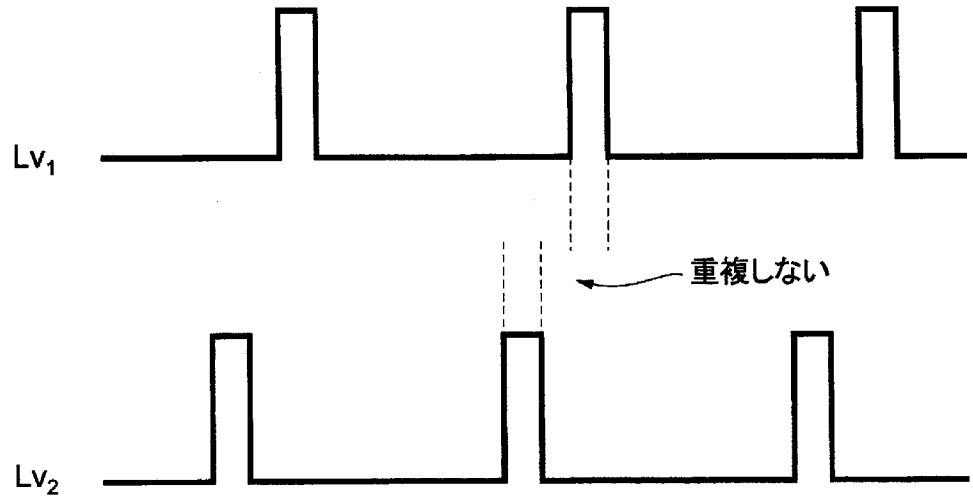
[図10]

【図10】


130
131
132
133
OFF時
La1,La2
La1
La2
タイミングをずらす
Lv1
Lv2
Lv1
Lv2
位相整合しない

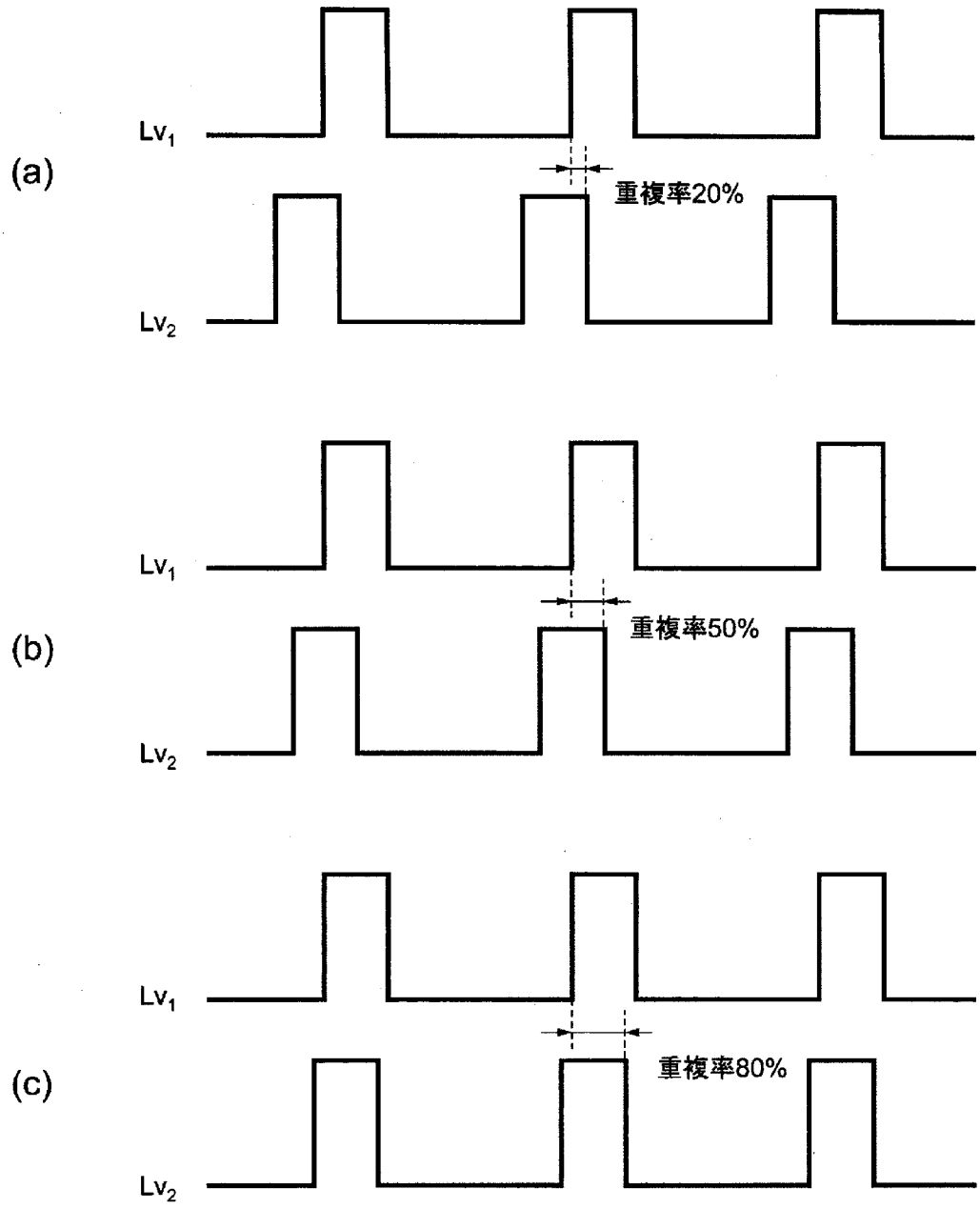
[図11]

【図１１】



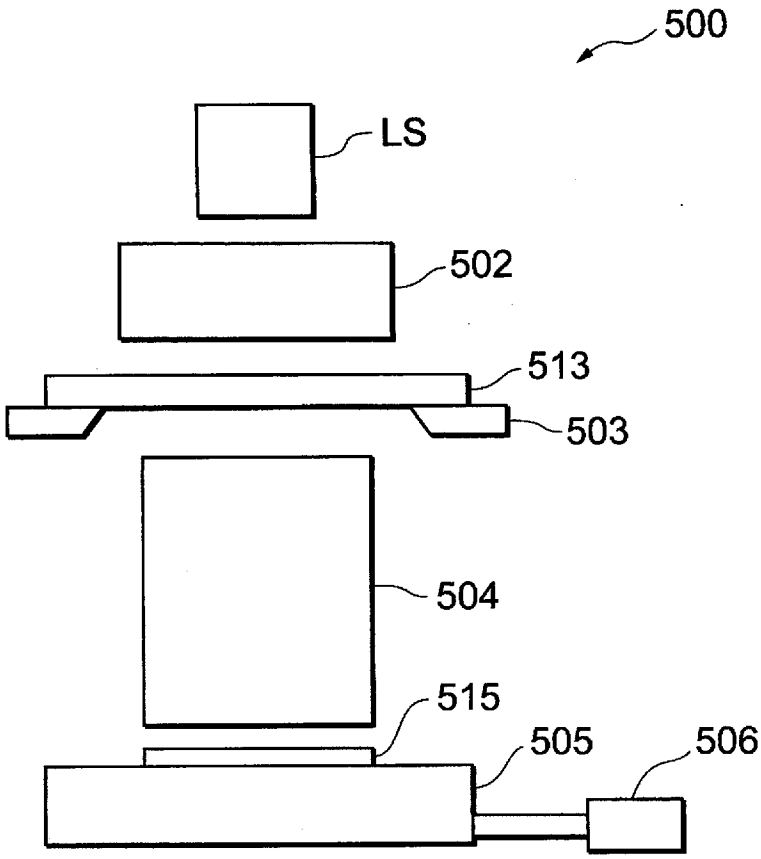
[図12]

【図12】



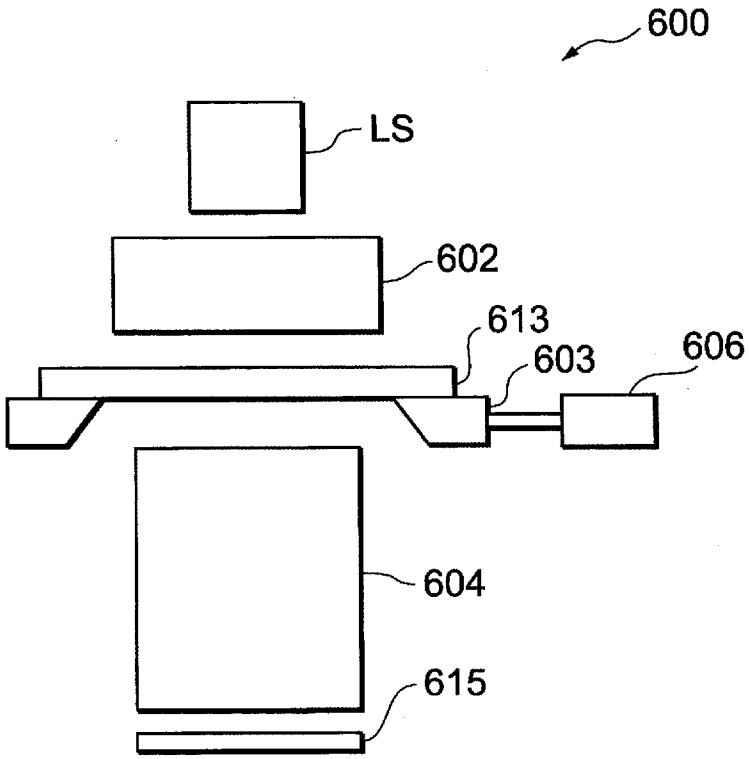
[図13]

【図13】



[図14]

【図14】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/070717

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/37(2006.01)i, *H01L21/027*(2006.01)i, *H01S3/00*(2006.01)i, *H01S3/10*(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, H01S3/00-3/30

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-158749 A (Nikon Corp.), 18 August 2011 (18.08.2011), paragraphs [0002] to [0004]; fig. 4 to 5 (Family: none)	1-13
Y	JP 2007-206452 A (Lasertec Corp.), 16 August 2007 (16.08.2007), paragraphs [0050] to [0056]; fig. 1(c) to (d) (Family: none)	1-6,12-13
Y	JP 11-52443 A (Sony Corp.), 26 February 1999 (26.02.1999), paragraphs [0026] to [0027]; fig. 1B (Family: none)	1,7-13

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"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
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 25 October, 2013 (25.10.13)	Date of mailing of the international search report 05 November, 2013 (05.11.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/070717

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-171843 A (Ushio Research Institute of Technology, Inc.), 23 June 2000 (23.06.2000), paragraph [0014]; fig. 2 (Family: none)	2-13
Y	WO 2007/055110 A1 (Nikon Corp.), 18 May 2007 (18.05.2007), paragraphs [0020] to [0022], [0038] to [0039]; fig. 1 to 2 & JP 5194795 B & US 2009/0110012 A1 & US 2011/0268142 A1 & EP 1947506 A1 & CN 101268416 A & IL 190455 A & HK 1115199 A & KR 10-2008-0066912 A	6,11-13
Y	WO 2004/086121 A1 (Nikon Corp.), 07 October 2004 (07.10.2004), page 15, line 18 to page 17, line 16; fig. 10 to 11 & JP 4862398 B & US 2006/0078012 A1 & EP 1615067 A1 & KR 10-2006-0014359 A & CN 1761907 A	12-13
A	WO 2010/101690 A1 (IMRA AMERICA, INC.), 10 September 2010 (10.09.2010), page 19, lines 12 to 18; fig. 4 & JP 2012-519879 A & US 2010/0225897 A1 & US 2012/0081694 A1 & US 2012/0145902 A1 & US 2013/0148128 A1 & DE 112010000981 T & CN 102349205 A	1-13
A	JP 2012-2965 A (Nikon Corp.), 05 January 2012 (05.01.2012), paragraphs [0028] to [0054]; fig. 8 (Family: none)	1-13

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０７０７１７

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, H01L21/027(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/10(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, H01S3/00 - 3/30

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）

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 2011-158749 A (株式会社ニコン) 2011.08.18, 段落【0002】-【0004】, 図 4-図 5 (ファミリーなし)	1-13
Y	JP 2007-206452 A (レーザーテック株式会社) 2007.08.16, 段落【0050】-【0056】, 図 1(c)-(d) (ファミリーなし)	1-6,12-13
Y	JP 11-52443 A (ソニー株式会社) 1999.02.26, 段落【0026】-【0027】, 図 1B (ファミリーなし)	1,7-13

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　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の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	国際調査報告の発送日
２５．１０．２０１３	０５．１１．２０１３

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｘ　５２６３
古田　敦浩
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９４

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 2000-171843 A (株式会社ウシオ総合技術研究所) 2000.06.23, 段落【0014】, 図２（ファミリーなし）	2-13
Y	WO 2007/055110 A1 (株式会社ニコン) 2007.05.18, 段落[0020]-[0022], [0038]-[0039], 図 1-図 2 & JP 5194795 B & US 2009/0110012 A1 & US 2011/0268142 A1 & EP 1947506 A1 & CN 101268416 A & IL 190455 A & HK 1115199 A & KR 10-2008-0066912 A	6,11-13
Y	WO 2004/086121 A1 (株式会社ニコン) 2004.10.07, 第 15 頁第 18 行-第 17 頁第 16 行, 図 10-図 11 & JP 4862398 B & US 2006/0078012 A1 & EP 1615067 A1 & KR 10-2006-0014359 A & CN 1761907 A	12-13
A	WO 2010/101690 A1 (IMRA AMERICA, INC.) 2010.09.10, 第 19 頁第 12-18 行, 第４図 & JP 2012-519879 A & US 2010/0225897 A1 & US 2012/0081694 A1 & US 2012/0145902 A1 & US 2013/0148128 A1 & DE 112010000981 T & CN 102349205 A	1-13
A	JP 2012-2965 A (株式会社ニコン) 2012.01.05, 段落【0028】-【0054】, 図８（ファミリーなし）	1-13