

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2008年1月17日 (17.01.2008)

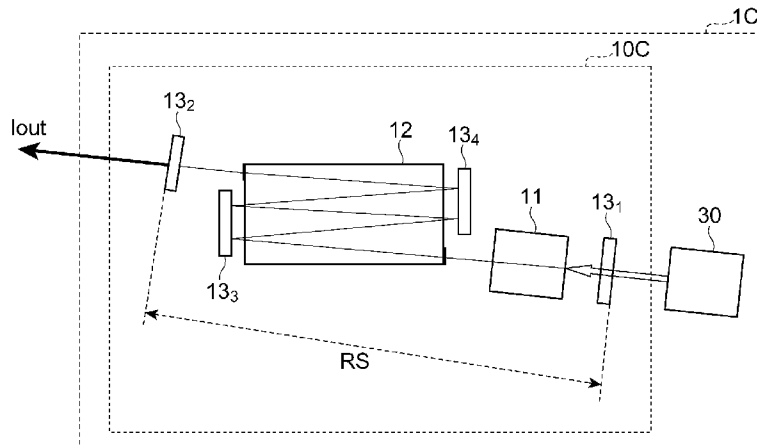
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2008/007707 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01S 3/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/063822
- (22) 国際出願日: 2007年7月11日 (11.07.2007)
- (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2006-191847 2006年7月12日 (12.07.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松  
ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS  
K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町  
1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山本 晃永  
(YAMAMOTO, Koei) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松  
市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株  
式会社内 Shizuoka (JP). 森口 俊治 (MORIGUCHI,  
Toshiharu) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市  
野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会  
社内 Shizuoka (JP). 大石 真吾 (OISHI, Shingo) [JP/JP];  
〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地  
の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 藤  
本 正俊 (FUJIMOTO, Masatoshi) [JP/JP]; 〒4358558  
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜  
松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 坂本 繁  
(SAKAMOTO, Shigeru) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜  
松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス  
株式会社内 Shizuoka (JP). 高橋 宏典 (TAKAHASHI,  
[続葉有])

(54) Title: OPTICAL AMPLIFIER

(54) 発明の名称: 光増幅装置



(57) Abstract: Provided is an optical amplifier which is easily reduced in sizes, increased in power and stabilized. An optical amplifier (1A) is provided with an optical amplifying section (10A) and an energy supplying section (30). The optical amplifying section (10A) includes an optical amplifying medium (11) and a transparent medium (12). The energy supplying section (30) supplies the optical amplifying medium (11) with excitation energy (for instance, excitation light). The optical amplifying medium (11) is supplied with the excitation light, and amplifies and outputs the light. The transparent medium (12) passes several times the amplified light from the optical amplifying medium (11). The transparent medium (12) can, for example, propagate the amplified light in a zigzag manner inside.

(57) 要約: 小型化, 高出力化および安定化が容易な光増幅装置を提供する。光増幅装置 1A は、光増幅部 10A およびエネルギー供給部 30 を備える。光増幅部 10A は、光増幅媒質 11 および透明媒質 12 を含む。エネルギー供給部 30 は、光増幅媒質 11 に励起エネルギー (例えば励起光) を供給するものであ

[続葉有]



WO 2008/007707 A1



Hironori) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 伊藤 晴康 (ITO, Haruyasu) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 河田 陽一 (KAWADA, Yoichi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 青島 紳一郎 (AOSHIMA, Shinichiro) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 10 番 6 号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, KE, KG, KM, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### 光増幅装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、光増幅装置に関するものである。

### 背景技術

[0002] ピコ秒からフェムト秒程度のパルス幅を有するパルス光を発生する高強度極短パルスレーザ光源は、サイズが大きく、通常は光学定盤に設置されて用いられる。また、レーザ光源を構成する各光学部品は、調整機能付きのマウントにより自由空間に保持されている。このことから、レーザ光源は、調整すべき箇所が多数存在し、その調整が容易でない。

[0003] その一方で、光増幅媒質として光ファイバを用いるファイバレーザ光源は、高エネルギー化されており、レーザ加工などの産業への利用が試みられている。ファイバレーザ光源は、前述のような課題をほとんど克服しており、連続出力ではファイバディスクレーザ光源のように高出力のものが実現されている。

[0004] ところが、ファイバレーザ光源では、光ファイバがビーム断面を小さく限定してしまうことから、パルス出力ではパルスエネルギーが数 $\mu$ J程度に制限され、高い出力を実現することができない。このように小型・高出力かつ安定性が優れており調整が簡便なレーザ光源が存在しないことから、高強度極短パルスレーザ光源の利用は研究用途に限られているのが実状である。

[0005] 小型化および安定化を意図した光増幅装置として、特許文献1、2に開示されたような構成のものが知られている。特許文献1に開示された光増幅装置は、簡便に共振器長を長くすることが可能で小型の光共振器を備えている。また、特許文献2に開示された光増幅装置は、光増幅媒質とは別に偏波保持光ファイバが共振光路上に設けられた光共振器を備えている。

特許文献1:特許第3540741号公報

特許文献2:特開2004-165652号公報

### 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1に開示された光増幅装置は、光共振器内において大気中に光が伝播することから、共振器長が長くなってしまい、小型化には限界がある。また、特許文献2に開示された光増幅装置は、光共振器内に光ファイバを有していることから小型化の実現が可能であるものの、パルス出力ではパルスエネルギーが数 $\mu$ J程度に制限され、高い出力を実現することができない。

[0007] 本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、小型化、高出力化および安定化が容易な光増幅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

[0008] 本発明に係る光増幅装置は、(1) 被増幅光を光増幅する光増幅媒質と、被増幅光を複数回通過させる透明媒質と、を含む光増幅部と、(2) 光増幅媒質に励起エネルギーを供給するエネルギー供給部と、を備えることを特徴とする。この光増幅装置では、光増幅媒質は、エネルギー供給部から励起エネルギーの供給を受けて光を増幅し出力する。また、透明媒質は、光増幅媒質における被増幅光を複数回通過させる。透明媒質は、例えば、その内部で被増幅光をジグザグに伝播させることができる。光増幅部が、被増幅光を外部から入力して、その増幅光を光増幅媒質に複数回通過させて光増幅するのが好適である。

[0009] 光増幅部が、被増幅光を共振させる光共振器を含み、この光共振器の共振光路上に光増幅媒質および透明媒質を有するのが好適である。この場合、光増幅装置は、光共振器内でレーザ発振が起きることによって、レーザ光を発生させることが可能なレーザ発振機能を有する。

[0010] 光増幅部が、被増幅光を共振させる光共振器を含み、(a) 共振光路上に設けられ、光共振器の外部から被増幅光を共振光路上に取り込む光取り込み手段と、(b) 共振光路上に設けられ、一定期間に亘って光共振器内において光増幅された被増幅光を光共振器の外部へ取り出す光取り出し手段と、を更に含むのが好適である。この場合、光増幅装置は、光共振器内でレーザ光を増幅させることが可能な再生増幅機能を有する。

[0011] 本発明に係る光増幅装置は、上記の本発明に係る光増幅装置(以下「第1光増幅

装置」という。)により発生する光を種光とし、上記の本発明に係る光増幅装置(以下「第2光増幅装置」という。)により種光を光増幅して出力することを特徴とする。また、第1光増幅装置および第2光増幅装置それぞれの光増幅媒質、透明媒質またはエネルギー供給部が共通であるのが好適である。

[0012] 本発明に係る光増幅装置では、被増幅光がパルス光であるのが好適である。この場合、本発明に係る光増幅装置は、光増幅媒質に入力される被増幅光のパルス幅を伸長するパルス幅伸長部を更に備えるのが好適である。透明媒質が、光増幅媒質に入力される被増幅光のパルス幅を伸長するのも好適である。また、本発明に係る光増幅装置は、光増幅媒質から光増幅されて出力される被増幅光のパルス幅を圧縮するパルス幅圧縮部を更に備えるのが好適である。この場合、光増幅媒質に入力される被増幅光のパルス幅を伸長することで、光増幅装置を構成する光学部品の損傷を避けることができ、また、光増幅媒質から光増幅されて出力される被増幅光のパルス幅を圧縮することで、光増幅装置から出力されるパルス光のピークパワーが高くなる。

[0013] 本発明に係る光増幅装置は、光を遅延させる光遅延系を更に備え、光増幅部により発生する光を種光とし、この種光を光遅延系により遅延させ、この遅延させた種光を光増幅部により光増幅して出力するのが好適である。

[0014] 光増幅媒質および透明媒質の少なくとも一方が固体であるのが好適である。また、本発明に係る光増幅装置は、光増幅媒質および透明媒質の少なくとも一方の温度を安定化する温度安定化手段を更に備えるのが好適である。

[0015] エネルギー供給部が、光増幅媒質に供給すべき励起光を出力する半導体レーザ素子を含むのが好適である。光増幅部が、被増幅光の光路を調整する光路調整手段を更に含むのが好適である。光増幅部を構成する光増幅媒質および透明媒質を含む複数の構成要素の何れか2以上のものが一体化されているのが好適である。

[0016] 光増幅媒質または透明媒質において被増幅光が入射または出射する何れかの個所に低反射コーティングが施されているのが好適である。また、光増幅媒質または透明媒質において被増幅光が反射する何れかの個所に高反射コーティングが施されているのも好適である。

[0017] 光増幅媒質または透明媒質において被増幅光が入射または出射する何れかの個所での光入出射角がブリュースタ角であるのが好適である。また、透明媒質が、内部を伝搬する被増幅光を壁面において全反射させるのが好適である。

[0018] 本発明に係る光増幅装置は、光増幅部およびエネルギー供給部を内部空間に有し該内部空間を減圧雰囲気とする真空容器を更に備えるのが好適である。

#### 発明の効果

[0019] 本発明によれば、小型化、高出力化および安定化が容易な光増幅装置を提供することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0020] [図1]図1は第1実施形態に係る光増幅装置1Aの構成図である。

[図2]図2は第2実施形態に係る光増幅装置1Bの構成図である。

[図3]図3は第3実施形態に係る光増幅装置1Cの構成図である。

[図4]図4は第4実施形態に係る光増幅装置1Dの構成図である。

[図5]図5は第4実施形態に係る光増幅装置1Dの具体的な構成図である。

[図6]図6は第4実施形態に係る光増幅装置1Dの変形例の構成図である。

[図7]図7は第5実施形態に係る光増幅装置の構成図である。

[図8]図8は第6実施形態に係る光増幅装置の構成図である。

[図9]図9は第7実施形態に係る光増幅装置1Jの構成図である。

[図10]図10は第8実施形態に係る光増幅装置1Kの構成図である。

[図11]図11は第9実施形態に係る光増幅装置1Lの構成図である。

[図12]図12はパルス幅圧縮部50の構成例を示す図である。

[図13]図13はパルス幅圧縮部50の構成例を示す図である。

[図14]図14はパルス幅圧縮部50の構成例を示す図である。

[図15]図15はパルス幅圧縮部50の構成例を示す図である。

[図16]図16は第10実施形態に係る光増幅装置の一部構成図である。

[図17]図17は第11実施形態に係る光増幅装置の一部構成図である。

[図18]図18は第12実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Mの構成図である。

[図19]図19は第13実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Nの構成図である。

[図20]図20は第13実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Naの構成図である。

[図21]図21は第14実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Pの構成図である。

[図22]図22は第15実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Qの構成図である。

[図23]図23は第15実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Qaの構成図である。

[図24]図24は第15実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Qbの構成図である。

[図25]図25は第15実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Qcの構成図である。

[図26]図26は第16実施形態に係る光増幅装置における透明媒質12の構成例を示す図である。

[図27]図27は第16実施形態に係る光増幅装置における透明媒質12の構成例を示す図である。

[図28]図28は第16実施形態に係る光増幅装置における透明媒質12の構成例を示す図である。

[図29]図29は第16実施形態に係る光増幅装置における透明媒質12の構成例を示す図である。

[図30]図30は第16実施形態に係る光増幅装置における透明媒質12の構成例を示す図である。

[図31]図31は第17実施形態に係る光増幅装置1Rの構成図である。

[図32]図32は第7実施形態に係る光増幅装置1Jにおける遅延系23の変形例の構成を示す図である。

[図33]図33は第7実施形態に係る光増幅装置1Jにおける遅延系23の他の変形例の構成を示す図である。

## 符号の説明

- [0021] 1A～1R 光増幅装置  
10A～10R 光増幅部

- 11 光増幅媒質
- 12 透明媒質
- 13 ミラー
- 14 波長板
- 15 光変調部
- 16 偏光ビームスプリッタ
- 17 ファラデーローテータ
- 21 光取り込み手段
- 22 光取り出し手段
- 23 光遅延系
- 24 光路調整手段
- 30 エネルギー供給部
- 40 パルス幅伸長部
- 50 パルス幅圧縮部
- 51 折り返しミラー
- 52 反射型回折格子
- 53 透過型回折格子
- 54 分散媒質
- 55 プリズム
- 60 温度安定化手段
- 61 ペルチェ素子
- 62 電源
- 63 放熱部
- 70 温度安定化手段
- 71 ペルチェ素子
- 72 電源
- 73 水冷放熱部
- 74 循環ポンプ

75 水槽

80 真空容器

発明を実施するための最良の形態

[0022] 以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための最良の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一または同等の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0023] 図1は、第1実施形態に係る光増幅装置1Aの構成図である。この図に示される光増幅装置1Aは、光増幅部10Aおよびエネルギー供給部30を備える。光増幅部10Aは、光増幅媒質11および透明媒質12を含む。エネルギー供給部30は、光増幅媒質11に励起エネルギー(例えば励起光)を供給するものである。光増幅媒質11は、その励起光の供給を受けて光を増幅し出力する。また、透明媒質12は、光増幅媒質11における被増幅光を複数回通過させるものである。透明媒質12は、例えば、その内部で被増幅光をジグザグに伝播させることができる。透明媒質12は、例えば剛体のガラスブロックからなる。

[0024] 透明媒質12の屈折率は空気の屈折率より高いので、透明媒質12中において被増幅光が伝播する距離を長くすることで、光路長を長くすることができる。したがって、空気中で同様の距離を被増幅光が伝播する構成をとる場合と比べて、本実施形態に係る光増幅装置1Aは、透明媒質12中を被増幅光が伝播することで、小型化を実現することができる。光増幅装置1Aからは増幅された出力光 $I_{OUT}$ が出射される。

[0025] 図2は、第2実施形態に係る光増幅装置1Bの構成図である。この図に示される光増幅装置1Bは、光増幅部10Bおよびエネルギー供給部30を備える。光増幅部10Bは、光増幅媒質11、透明媒質12およびミラー13を含む。エネルギー供給部30は、光増幅媒質11に励起エネルギー(例えば励起光)を供給するものである。光増幅媒質11は、その励起光の供給を受けて、外部の種光生成器SGからの種光を増幅し出力する。透明媒質12は、光増幅媒質11における被増幅光を複数回通過させるものである。また、ミラー13は、エネルギー供給部30から出力される励起光を通過させて光増幅媒質11に入射させ、また、種光(被増幅光)を反射させる。

[0026] この第2実施形態に係る光増幅装置1Bは、光増幅部10Bの光増幅媒質11内で被

増幅光が少なくとも2回通過するマルチパス構造を有している。種光発生器SGから透明媒質12に入射した光は、透明媒質12内において、同一の光路を通ることなく、透明媒質12から出射している。このように、光増幅部10Bにおいて、光路は透明媒質12内のみならず、光増幅媒質11内で複数回往復する構成であってもよい。この場合、光増幅装置1Bはマルチパス増幅機能を有する構成となる。光増幅装置1Bの透明媒質12からは、光増幅部10B内を往復することで増幅された種光なる出力光 $I_{OUT}$ が出射される。

[0027] 図3は、第3実施形態に係る光増幅装置1Cの構成図である。この図に示される光増幅装置1Cは、光増幅部10Cおよびエネルギー供給部30を備える。光増幅部10Cは、光増幅媒質11、透明媒質12およびミラー $13_1 \sim 13_4$ を含む。第1実施形態のものと比較すると、この第3実施形態に係る光増幅装置1Cは、光増幅部10Cがミラー $13_1 \sim 13_4$ を更に含む点で相違する。ミラー $13_1$ は、エネルギー供給部30から出力される励起光を通過させて光増幅媒質11に入射させ、また、被増幅光を反射させる。ミラー $13_2$ は、被増幅光の一部を通過させ、残部を反射させる。ミラー $13_1$ およびミラー $13_2$ は、ファブリペロ型の光共振器RSを構成するミラーであり、両者間の共振光路上に光増幅媒質11、透明媒質12およびミラー $13_3, 13_4$ が配置されている。ミラー $13_3, 13_4$ は、被増幅光を反射させるものであり、透明媒質12を互いに挟んで対向して配置されており、透明媒質12内で被増幅光をジグザグに伝播させる。

[0028] このように、第3実施形態では、光共振器をもつ構造にすることによって、光を蓄積することができる。この場合、光増幅装置1Cは、光共振器RS内でレーザ発振が起きることによって、レーザ光を発生させることが可能なレーザ発振機能を有する構成となる。例えば、光増幅媒質11として、He-Neなどの気体、色素などを溶解した液体、Nd:YAG等の固体を用い、透明媒質12を含む光増幅部10Cに光共振器を付加することで、小型のレーザ発振装置を実現することができる。

[0029] 増幅された光は、ミラー $13_2$ を介して、外部に光出力 $I_{OUT}$ として出射される。被増幅光は、例えば、光出力 $I_{OUT}$ の出射方向とは逆向きにミラー $13_2$ に入射させればよい。被増幅光は、透明媒質12内を通り、光増幅媒質11内に至り、ミラー $13_1$ で反射されて、再び光増幅媒質11内を逆方向に通過し、しかる後、透明媒質12内に再び入射

する。この入射光は、もとの光路を逆方向に伝播し、ミラー13<sub>3</sub>、13<sub>4</sub>で反射された後、ミラー13<sub>2</sub>に至る。ミラー13<sub>2</sub>では、再び、この光を反射する。この共振経路内を往復するうちに、被増幅光は増幅され、その一部がミラー13<sub>2</sub>を介して外部に出力される。

[0030] 図4は、第4実施形態に係る光増幅装置1Dの構成図である。この図に示される光増幅装置1Dは、光増幅部10Dおよびエネルギー供給部30を備える。光増幅部10Dは、光増幅媒質11、透明媒質12、ミラー13<sub>1</sub>、ミラー13<sub>2</sub>、光取り込み手段21および光取り出し手段22を含む。第1実施形態のものと比較すると、この第4実施形態に係る光増幅装置1Dは、光増幅部10Dがミラー13<sub>1</sub>、ミラー13<sub>2</sub>、光取り込み手段21および光取り出し手段22を更に含む点で相違する。

[0031] ミラー13<sub>1</sub>は、エネルギー供給部30から出力される励起光を通過させて光増幅媒質11に入射させ、また、種光発生器SGから光取り込み手段21を介して光増幅部10Dの内部に取り込まれた被増幅光を反射させる。ミラー13<sub>2</sub>は、被増幅光を反射させる。ミラー13<sub>1</sub>およびミラー13<sub>2</sub>は、ファブリペロ型の光共振器RSを構成するミラーであり、両者間の共振光路上に光増幅媒質11、透明媒質12、光取り込み手段21および光取り出し手段22が配置されている。

[0032] この第4実施形態において、光取り込み手段21は、光共振器の外部の種光生成器SGから被増幅光を共振光路上に取り込む。また、光取り出し手段22は、一定期間に亘って光共振器内において光増幅された被増幅光を光出力I<sub>OUT</sub>として光共振器RSの外部へ取り出す。このように、光増幅部10Dに光共振器RSを付加し、さらに光共振器外から被増幅光の元となる種光を光取り込み手段21によって光共振器内に取り込んで、一定時間これを光共振器内に閉じ込めた後、光取り出し手段22によって光共振器外へ取り出す。この場合、光増幅装置1Dは、種光と同等な質であって且つエネルギーの大きな増幅光を生成することが可能であり、光を増幅するための再生増幅機能を有する構成となっている。種光生成器SGとしては、例えばファイバレーザ光源を用いることができる。

[0033] 図5は、第4実施形態に係る光増幅装置1Dの具体的な構成図である。この図に示されるように、光取り込み手段21は、波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>を含む。また、光取り出し手段22は、波長板14<sub>2</sub>、光変調部15<sub>2</sub>および偏

光ビームスプリッタ16<sub>2</sub>を含む。光変調部15<sub>1</sub>および光変調部15<sub>2</sub>それぞれは、光の偏向状態又は偏光状態を制御するものであって、例えば、音響光学効果や電気光学効果を有する光学結晶などを用いることができる。

[0034] 所定の交流電圧からなる駆動信号を音響光学効果素子からなる光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>に印加すると、素子内部に形成される回折格子の回折作用により、入射した光の出射方向が偏向し、所定の電圧からなる駆動信号を電気光学効果素子からなる光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>に印加し、電気光学結晶内部の電界を加えることで偏光方位を変更し、電気光学結晶を通過する光の偏光方位を制御することで、光の伝播経路内に配置されたビームスプリッタ16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>における透過／反射を制御することができる。すなわち、これらの光変調部は、光の伝播方向を制御する光スイッチとして機能させることができる。

[0035] 例えば、駆動信号を音響光学素子としての光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>に与えない場合、これらから出射する光の進行方向が、共振時に共振器内を往復する光の経路の向きに一致しているとする。すなわち、例えば、光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>への駆動信号の印加時には、種光の共振器内への取り込み及び出力光I<sub>OUT</sub>の取り出しは行われない。光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>への駆動信号の非印加時には、種光の共振器内への取り込み及び出力光I<sub>OUT</sub>の取り出しが行われる。音響光学素子を用いる場合には、後段のビームスプリッタ16<sub>2</sub>はハーフミラーとすることができ、この場合、ハーフミラーを共振経路上から外しておき、特定のタイミングでハーフミラーに光を照射するように、光を偏向すればよい。

[0036] また、駆動信号を電気光学素子としての光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>に与えない場合に、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>を光が透過するものとする、駆動信号の光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>への非印加時には偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>を光が透過して、共振器内部に光が取り込まれ、駆動信号の光変調部15<sub>1</sub>への印加時には、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>で光が反射され、共振器内に光が取り込まれない。一方、共振器内部に光が取り込まれた状態で、光変調部15<sub>2</sub>へ駆動信号を与えると、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>に入射する光の偏光方位が回転し、光が外部に取り出される。偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>が同一構造の場合、後段の波長板14<sub>2</sub>の与える位相差を調整し、駆動信号の光

変調部15<sub>2</sub>への印加時に偏光ビームスプリッタ16<sub>2</sub>において光が反射されるようにすればよい。

[0037] なお、共振器は、ミラー13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>間の要素群で構成されている。このように偏向方向を制御するか、偏光方位を制御すれば、共振器内を往復する光のON/OFF、光取り出し手段22を介して共振器から出射される光出力I<sub>OUT</sub>のON/OFFを制御することができる。

[0038] 光取り込み手段21は、光変調部15<sub>1</sub>により光の偏光状態又は偏向状態を制御することで、或るタイミングで種光生成器SGからの種光を光共振器内に取り込み、その後は、その種光(被増幅光)を光共振器内で往復させる。この光共振器は、ミラー13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>間の光路で構成される。そして、光取り出し手段22は、光変調部15<sub>2</sub>により光の偏光状態又は偏向状態を制御することで、光を取り込んでから一定時間経過した後の或るタイミングで、その被増幅光を光出力I<sub>OUT</sub>として光共振器の外部へ取り出す。なお、種光がパルス光である場合には、光学部品の損傷を避けるために、適当な分散素子を通してパルス幅を伸長してから取り込んでもよい。

[0039] 図6は、第4実施形態に係る光増幅装置1Dの変形例の構成図である。この図に示されるように、光取り込み手段21と光取り出し手段22とは共通のものであってもよい。すなわち、図5における光取り出し手段22(波長板14<sub>2</sub>、光変調部15<sub>2</sub>、偏光ビームスプリッタ16<sub>2</sub>)を、光取り込み手段21(波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>)で代用する。この場合の各手段の機能は上述のものと同じである。光変調部15<sub>1</sub>をOFFし駆動電圧を与えないことで、種光生成器SGから偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>に入射したS偏光の光は、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>で反射され、光変調部15<sub>1</sub>を透過して、波長板14<sub>1</sub>に入射し、 $\lambda/4$ の位相差を与え、ミラー13<sub>2</sub>に入射する。ミラー13<sub>2</sub>は、この光を反射し、反射された光は、波長板14<sub>1</sub>で更に $\lambda/4$ の位相差を与えられ、光変調部15<sub>1</sub>を透過して、偏光方位が最終的に90度回転してP偏光として、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>を通過する。透明媒質12に入射後の光の経路は上述の通りである。この間に光変調部15<sub>1</sub>をONし駆動電圧を与えることで、透明媒質12から戻ってきた光は、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>に再度入射し、光変調部15<sub>1</sub>で $\lambda/4$ 、波長板14<sub>1</sub>で $\lambda/4$ 、ミラー13<sub>2</sub>に至って、ミラー13<sub>2</sub>で反射され、波長板14<sub>1</sub>で $\lambda/4$ 、光変調部15<sub>1</sub>

で $\lambda/4$ の位相差を与えられるため、最終的に180度回転してP偏光のまま共振器内で閉じ込められる。光が十分に増幅した適当な時間で光変調部15<sub>1</sub>をOFFすることによって、波長板14<sub>1</sub>で $\lambda/4$ の位相差を2回与えられることで偏光が90度回転して、S偏光として、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>で反射され、光出力I<sub>OUT</sub>として外部に出射される。

[0040] すなわち、駆動信号を光変調部15<sub>1</sub>に与えて、光変調部15<sub>1</sub> OFFで光を取り込み、ONで共振器内に閉じ込め、再度OFFで取り出す。

[0041] 波長板14<sub>1</sub>は1/4波長板であって、2度の通過により偏光方向が90度回転するものとすることができる。なお、光変調部15<sub>1</sub>はONのとき1/4波長板と同様の作用をし、OFFのときは光に対して作用しない。

[0042] 図7は、第5実施形態に係る光増幅装置の構成図である。この図に示される光増幅装置は、種光を発生する光増幅装置1Eと、この種光を光増幅して出力する光増幅装置1Fと、を備える。種光発生器としての光増幅装置1Eは、種光発生器SGを構成しており、第3実施形態に係る光増幅装置1C(図3)と同一の構成を有している。また、光増幅装置1Fは、第4実施形態に係る光増幅装置1Dの変形例(図6)と略同様の構成を有しており、第4実施形態に係る光増幅装置1Dのミラー13<sub>2</sub>をミラー13<sub>5</sub>に置換し、種光発生器SGと偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>との間に、ミラー13<sub>8</sub>、偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub>、ファラデーローテータ17、波長板14<sub>3</sub>を順次配置してなる光増幅部10Fを有している。光増幅装置1Fでは、光取り込み手段21と光取り出し手段22とが共通のものとなっている。

[0043] 光取り込み手段21(光取り出し手段22)は、波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>に加えて、ミラー13<sub>8</sub>、波長板14<sub>3</sub>、ファラデーローテータ17および偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub>を含む。波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>は、光増幅部10Fの光共振器の共振光路上に設けられている。この光共振器は、ミラー13<sub>5</sub>とミラー13<sub>1</sub>との間の光路で構成されている。波長板14<sub>3</sub>、ファラデーローテータ17および偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub>は、ミラー13<sub>8</sub>と偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>との間に設けられている。光取り込み手段21(光取り出し手段22)は、光変調部15<sub>1</sub>およびファラデーローテータ17により光の偏光状態の制御することで、或るタイミングで光増幅装置1Eからの種光を光増幅装置1Fの光共振器内に取り込み、その後は、そ

の種光(被増幅光)を光増幅装置1Fの光共振器内で往復させ、また、光を取り込んでから一定時間経過した後の或るタイミングで、その被増幅光を光出力 $I_{OUT}$ として光共振器の外部へ取り出す。

[0044] 図3に示した光増幅装置1Cは、図7においては、種光発生器1E(SG)として機能している。

[0045] 種光発生器1E(SG)の光はP偏光であり、偏光ビームスプリッタ $16_3$ を透過した後、ファラデーローテータ17の偏波面の回転角は進行方向からみて45度であり、波長板 $14_3$ の与える位相差は、45度である。よって、偏光が90度回転した種光は偏光ビームスプリッタ $16_1$ で反射されて、共振器内に取り込まれる。なお、光の取り出し時には、ファラデーローテータ17は波長板 $14_3$ の与える位相差を打ち消す方向に-45度の回転角を与える。これにより、偏光ビームスプリッタ $16_3$ にミラー $13_8$ から入射したP偏光の光が、増幅後に偏光ビームスプリッタ $16_3$ でS偏光として反射され、光出力 $I_{OUT}$ として外部に出力される。

[0046] なお、光増幅装置1Fとしては、第4実施形態に係る光増幅装置1D(図4～図6)と同様の構成を有していてもよいし、第2実施形態に係る光増幅装置1B(図2)と同様の構成を有していてもよいし、また、両者を共に有していてもよい。

[0047] 光取り込み手段21および光取り出し手段22それぞれは、光を制御する光変調部などで実現され、光変調部は、音響光学効果や電気光学効果を用いた光学結晶と、波長板などの光学素子との組合せによって構成することができる。種光生成器で発生した種光がパルス光である場合には、光学部品の損傷を避けるために、種光のパルス幅を伸長してから取り込んでもよい。また、光取り込み手段21および光取り出し手段22は、同一のものを共有してもよい。

[0048] 図8は、第6実施形態に係る光増幅装置の構成図である。この図に示される光増幅装置は、種光を発生する光増幅装置1Gと、この種光を光増幅して出力する光増幅装置1Hと、を備える。種光生成器としての光増幅装置1Gは、第3実施形態に係る光増幅装置1C(図3)と略同様の構成を有している。また、光増幅装置1Hは、第4実施形態に係る光増幅装置1Dの変形例(図6)と略同様の構成を有している。光増幅装置1Hでは、光取り込み手段21と光取り出し手段22とが共通のものとなっている。光

増幅装置1Gおよび光増幅装置1Hは、1つの光増幅媒質11を共有し、1つの透明媒質12を共有し、また、1つのエネルギー供給部30を共有している。

- [0049] 光増幅装置1Gの光増幅部10Gでは、ミラー13<sub>1</sub> およびミラー13<sub>2</sub> が光共振器を構成していて、両者間の共振光路上に光増幅媒質11、透明媒質12およびミラー13<sub>3</sub>、13<sub>4</sub> が配置されている。ミラー13<sub>3</sub>、13<sub>4</sub> は、被増幅光を反射させるものであり、透明媒質12を互いに挟んで対向して配置されており、透明媒質12内で被増幅光をジグザグに伝播させる。
- [0050] 光増幅装置1Hの光増幅部10Hでは、ミラー13<sub>1</sub> およびミラー13<sub>5</sub> が光共振器を構成していて、両者間の共振光路上に光増幅媒質11、透明媒質12およびミラー13<sub>6</sub>、13<sub>7</sub> が配置されている。ミラー13<sub>6</sub>、13<sub>7</sub> は、被増幅光を反射させるものであり、透明媒質12を互いに挟んで対向して配置されており、透明媒質12内で被増幅光をジグザグに伝播させる。
- [0051] 光取り込み手段21(光取り出し手段22)は、波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub> および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> に加えて、波長板14<sub>3</sub>、ファラデーローテータ17、偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub> およびミラー13<sub>8</sub> を含む。波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub> および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> は、光増幅部10Hの光共振器の共振光路上に設けられている。波長板14<sub>3</sub> およびファラデーローテータ17は、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> と偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub> との間に設けられている。
- [0052] 光取り込み手段21(光取り出し手段22)は、光変調部15<sub>1</sub> およびファラデーローテータ17により光の偏光状態の制御することで、或るタイミングで光増幅装置1Gからの種光を光増幅装置1Hの光共振器内に取り込み、その後は、その種光(被増幅光)を光増幅装置1Hの光共振器内で往復させ、また、光を取り込んでから一定時間経過した後の或るタイミングで、その被増幅光を光共振器の外部へ取り出す。
- [0053] このように、第6実施形態では、光増幅装置1Gおよび光増幅装置1Hの間で光増幅媒質11、透明媒質12またはエネルギー供給部30を共有することにより、部品点数を減らすことができ、小型化することができる。
- [0054] 上記第1～第6の実施形態において、被増幅光は連続レーザ光であってもパルスレーザ光であってもよい。

[0055] 図9は、第7実施形態に係る光増幅装置1Jの構成図である。この図に示される光増幅装置1Jは、光遅延系23を備えることにより、種光を生成するとともに、その種光を光増幅することができるものである。光遅延系23は、ミラー13<sub>5</sub>、13<sub>7</sub>、波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>、およびファラデーローテータ17を含む。光変調部15<sub>2</sub>は、光増幅媒質11と透明媒質12との間の共振光路上に設けられている。光変調部15<sub>1</sub>は、透明媒質12とミラー13<sub>2</sub>との間の共振光路I2上に設けられている。偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>は、透明媒質12と光変調部15<sub>1</sub>との間の共振光路I2上に設けられている。偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>、ミラー13<sub>5</sub>、ミラー13<sub>6</sub>、ミラー13<sub>7</sub>、偏光ビームスプリッタ16<sub>2</sub>、ファラデーローテータ17および波長板14<sub>1</sub>は、この順にリング状に配置されている光路を構成している。

[0056] この光増幅装置1Jでは、光変調部15<sub>1</sub>により光の偏光状態の制御することで、或るタイミングで、光増幅部10Jのファブリペロ型光共振器からの種光を、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>で反射させて、光遅延系23のリング型光路に取り込んで伝播させる。種光は、その後、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>で再び反射されて、光増幅部10Jのファブリペロ型光共振器に戻される。光増幅部10Jのファブリペロ型光共振器に戻された種光は、光増幅媒質11と透明媒質12との間の共振光路II上に配置された光変調部15<sub>2</sub>により光の偏光状態を制御することで、共振器内に閉じ込められ、光増幅される。更に、その後の或るタイミングで、光変調部15<sub>2</sub>により出射される光I1の光の偏光状態を制御することで、光増幅部10Jのファブリペロ型光共振器で光増幅された被増幅光を、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>で反射させ、波長板14<sub>1</sub>およびファラデーローテータ17で偏光方向を90度回転した後、偏光ビームスプリッタ16<sub>2</sub>を通過させて外部へ出力する。このように、第7実施形態では、光増幅装置1Jは、光遅延系23を備えることにより、種光を生成するとともに、その種光を光増幅することができる。

[0057] 図32は、前記遅延系23の内部に透明媒質12Aを付加した実施例である。遅延系23の光路I2上に空気よりも屈折率の高い透明媒質12Aを用いることで、光路長を長くすることができ、遅延時間を長くすることが可能となる。ここで、遅延系23を伝播する光は強度の小さい種光であるため、透明媒質12Aは偏波面保持ファイバのような光ファイバであってもよい。点線で示される循環光路を通った後、光出力I<sub>OUT</sub>は偏光

ビームスプリッタ16<sub>2</sub> から出力される。

[0058] 図33は、前記遅延系23の構成が、波長板14<sub>1</sub> およびファラデーローテータ17の代わりに光変調部15<sub>3</sub> を付加し、また、偏光ビームスプリッタ16<sub>2</sub> の代わりにミラー13<sub>8</sub> を付加し、更に偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub> を付加した実施例である。共振器からの種光は光路I2を通り、偏光状態を制御されて遅延系23に取り込まれる。その後、光変調部15<sub>3</sub> によって偏光状態を90度回転させることにより、種光は偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> で反射されることなくリング状の遅延系23内を繰返し伝播する。その後の或るタイミングで、光変調部15<sub>3</sub> により光の偏光状態を制御することで、種光は偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> で反射され、共振器内に取り込まれる。光増幅部10Jのファブリペロ型光共振器に戻された種光は、光変調部15<sub>2</sub> により光の偏光状態を制御することで、共振器内に閉じ込められ、光増幅される。更に、その後の或るタイミングで、光変調部15<sub>2</sub> により光の偏光状態を制御することで、光増幅部10Jのファブリペロ型光共振器で光増幅された共振光路IL内の被増幅光を、偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub> で反射させ、外部へ出力する。このように、種光を遅延系23内部で繰返し伝播させることにより、遅延時間を長くとることが可能となる。このとき、種光が遅延系23を伝播している間に、種光生成時と光増幅時のエネルギー供給部の出力を最適になるように制御してもよい。

[0059] 図10は、第8実施形態に係る光増幅装置1Kの構成図である。この図に示される光増幅装置1Kは、光増幅部10K、エネルギー供給部30およびパルス幅伸長部40を備える。光増幅部10Kは、光増幅媒質11、透明媒質12、ミラー13<sub>1</sub> ~13<sub>4</sub> および光取り込み手段21(光取り出し手段22を兼ねる)を含む。光取り込み手段21(光取り出し手段22)は、波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub> および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> に加えて、波長板14<sub>3</sub>、ファラデーローテータ17および偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub> を含む。

[0060] 波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub> および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> は、光増幅部10Kの光共振器の共振光路上に設けられている。波長板14<sub>3</sub> およびファラデーローテータ17は、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub> と偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub> との間に設けられている。光取り込み手段21(光取り出し手段22)は、光変調部15<sub>1</sub> およびファラデーローテータ17により光の偏光状態の制御することで、或るタイミングでパルス幅伸長部40からの種光を光増幅装置1Kの光共振器内に取り込み、その後は、その種光(被増幅光)を光増

幅装置1Kの光共振器内で往復させ、また、光を取り込んでから一定時間経過した後の或るタイミングで、その被増幅光を光共振器の外部へ取り出す。

[0061] パルス幅伸長部40は、種光生成器からの種光(パルス光)のパルス幅を伸長して、その伸長後の種光を光増幅部10Kの光共振器に入力させる。高強度パルス光による光学部品の損傷を抑えるため、パルス幅伸張部40により時間的に引き伸ばされた種光が光増幅部10K内に取り込まれる。例えば、パルス幅伸張部40として、光ファイバなどの分散媒質が用いられ、また、回折格子やプリズムなどの波長分散素子も利用される。ここで、透明媒質12として分散媒質であるものを用いれば、この透明媒質12は、パルス幅伸張部と同様の機能を有するので、パルス幅伸張部40を別途設ける必要はない。

[0062] 図11は、第9実施形態に係る光増幅装置1Lの構成図である。この図に示される第9実施形態に係る光増幅装置1Lは、第8実施形態の構成(図10)と比較すると、パルス幅圧縮部50を更に備える点で相違する。パルス幅圧縮部50は、光増幅部10Lから光増幅されて出力される被増幅光(パルス光)IPのパルス幅を圧縮して、その圧縮後のパルス光を出力するものである。

[0063] この光増幅装置1Lでは、種光生成器SGからの種光(パルス光)は、パルス幅伸長部40によりパルス幅が伸長された後に、光取り込み手段21により光増幅部10Lの光共振器に入力される。そして、光増幅部10Lの光共振器により光増幅されたパルス光IPは、光取り出し手段22により取り出された後に、パルス幅圧縮部50によりパルス幅が圧縮されて出力される。この光増幅装置1Lから出力されるパルス光は、ピークパワーが高いものとなる。図12～図15それぞれは、パルス幅圧縮部50の構成例を示す図である。

[0064] 図12に示されるパルス幅圧縮部50aは、折り返しミラー51および反射型回折格子52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>を含む。折り返しミラー51は、各々の反射面が互いに90度となるように2枚の平面ミラーが組み合わされたもので、入射した光IPを一方の平面ミラーで反射させた後に他方の平面ミラーで反射させて出射することができる。この折り返しミラー51への入射光および出射光それぞれの光路は、互いに平行であるが、互いに異なる。このパルス幅圧縮部50aに入力された光IPは、反射型回折格子52<sub>1</sub>により分光され、

反射型回折格子52<sub>2</sub>により各波長成分が互いに平行にされ、折り返しミラー51により光路を折り返され、反射型回折格子52<sub>2</sub>により各波長成分が反射型回折格子52<sub>1</sub>に集光され、反射型回折格子52<sub>1</sub>により合波されて出力される。このような構成のパルス幅圧縮部50aを用いれば、パルス光に対して実効的に負の群速度分散を与えることができる。

[0065] 図13に示されるパルス幅圧縮部50bは、折り返しミラー51および透過型回折格子53<sub>1</sub>、53<sub>2</sub>を含む。このパルス幅圧縮部50bに入力された光IPは、透過型回折格子53<sub>1</sub>により分光され、透過型回折格子53<sub>2</sub>により各波長成分が互いに平行にされ、折り返しミラー51により光路を折り返され、透過型回折格子53<sub>2</sub>により各波長成分が透過型回折格子53<sub>1</sub>に集光され、透過型回折格子53<sub>1</sub>により合波されて出力される。このような構成のパルス幅圧縮部50bを用いれば、パルス光に対して実効的に負の群速度分散を与えることができる。また、パルス幅圧縮部50bでは、透過型回折格子を用いるので、反射型回折格子のように表面に金などの高反射コーティングを施す必要がない。

[0066] 図14に示されるパルス幅圧縮部50cは、折り返しミラー51、透過型回折格子53<sub>1</sub>、53<sub>2</sub>および分散媒質54を含む。このパルス幅圧縮部50cは、上記のパルス幅圧縮部50bに対し、透過型回折格子53<sub>1</sub>と透過型回折格子53<sub>2</sub>との間に分散媒質54が設けられた構造となっており、他の構造は同一である。これにより、パルス幅圧縮部50cは小型化ができる。

[0067] 図15に示されるパルス幅圧縮部50dは、折り返しミラー51およびプリズム55<sub>1</sub>、55<sub>2</sub>を含む。このパルス幅圧縮部50dに入力された光IPは、プリズム55<sub>1</sub>により分光され、プリズム55<sub>2</sub>により各波長成分が互いに平行にされ、折り返しミラー51により光路を折り返され、プリズム55<sub>2</sub>により各波長成分がプリズム55<sub>1</sub>に集光され、プリズム55<sub>1</sub>により合波されて出力される。このような構成のパルス幅圧縮部50dを用いれば、パルス光に対して実効的に負の群速度分散を与えることができる。

[0068] 上記第9実施形態において、折り返しミラー51の代わりに、光変調機能を有する光学素子を用いてもよい。例えば、液晶空間光変調器やデフォーマブルミラーなどを用いてもよい。このとき、出力パルス光の時間特性や波面の制御をすることもできる。ま

た、折り返しミラーを用いずに、回折格子やプリズムを4つ用いた構造にしてもよい。その他にも、パルス幅圧縮部には、プリズムとグレーティングとを組み合わせた分散素子であるグリズムを用いてもよい。

[0069] 上記第1～第9の実施形態の構成において、光増幅部の光増幅媒質として、固体レーザー媒質を用いることができる。例えば、チタンサファイア、Nd:YAG、Yb:KGW、Yb:KYWなどが用いられる。また、透明媒質12として、例えば合成石英などの固体媒質を用いることができる。合成石英は、紫外域から赤外域にかけての広い波長域で透明性が高く、さらに、熱膨張係数が小さいので熱的安定性にも優れている。その他、透明媒質12は、ホウケイ酸ガラスやソーダ石灰ガラスなどの他のガラス材質や、アクリルやポリプロピレンなどのプラスチック材質や、サファイア、ダイヤモンドなどの単結晶材質や、POF (Plastic Optical Fiber)などの大口径光ファイバであってもよい。

[0070] 図16は、第10実施形態に係る光増幅装置の一部構成図である。この図は、光増幅部に含まれる光増幅媒質11、および、この光増幅媒質11の温度を安定化する温度安定化手段60を示す。光路IL上に光増幅媒質11が配置されている。他の部分の構成は、第1～第9の実施形態の構成と同様である。温度安定化手段60は、光増幅媒質11に接して設けられたペルチェ素子61と、このペルチェ素子61に電力を供給する電源62と、ペルチェ素子61に接して設けられた放熱部63と、を含む。光増幅媒質11の温度を一定の温度に保持する温度安定化手段60を備えることにより、光増幅媒質11内部で発生する熱の放出などに対して有効となり、動作の安定化を図ることができる。温度安定化手段60は、その他、水冷放熱装置や、熱を一様に加える加熱装置や、超音波を使って動作を安定化させる超音波装置であってもよい。

[0071] 図17は、第11実施形態に係る光増幅装置の一部構成図である。この図は、光増幅部に含まれる透明媒質12、および、この透明媒質12の温度を安定化する温度安定化手段70を示す。光路IL上にミラー<sub>3</sub>、<sub>4</sub>及び光増幅媒質12が配置されている。他の部分の構成は、第1～第10の実施形態の構成と同様である。温度安定化手段70は、透明媒質12に接して設けられたペルチェ素子71と、このペルチェ素子71に電力を供給する電源72と、ペルチェ素子71に接して設けられた水冷放熱部73と

、この水冷放熱部73に水路Pを介して冷却水を供給するための循環ポンプ74、および水冷放熱部73から排出される冷却水が水路Pを介して帰還する水槽75とを含む。

[0072] 透明媒質12の温度を一定の温度に保持する温度安定化手段70を備えることにより、より安定に動作をさせることができる。例えば、透明媒質12が合成石英である場合、その熱膨張係数はおよそ $5.5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ であるので、透明媒質12の温度変化を $1^\circ\text{C}$ 以内にすれば、波長オーダーレベルで透明媒質12の膨張を抑えることができる。温度安定化手段70は、その他、熱を一様に加える加熱装置や、超音波を使って動作を安定化させる超音波装置であってもよい。

[0073] 第1～第11の実施形態の構成において、エネルギー供給部30として半導体レーザー光源を用いることができる。ここで、光増幅媒質11の吸収スペクトルと一致した発振波長をもつ半導体レーザー光源をエネルギー供給部30として用いれば、光増幅媒質11の励起効率を向上させることができる。光増幅媒質11が固体レーザー媒質である場合、例えばYb系のレーザー媒質の吸収波長は、市販されている半導体レーザー光源の発振波長との整合性が良い。このときは、レーザー光で光増幅媒質11に励起エネルギーが供給されるので、半導体レーザー光源の光を透過させる一方で被増幅光を反射させるダイクロイックミラーをミラー13<sub>1</sub>として用いることが好適である。

[0074] 図18は、第12実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Mの構成図である。なお、この図では、エネルギー供給部の図示が省略されているが、上述の実施形態と同様に適当な位置、例えばミラー13<sub>1</sub>の背面から励起光を光路IL内に導入する。この図に示される光増幅部10Mは、光増幅媒質11、透明媒質12およびミラー13<sub>1</sub>～13<sub>4</sub>を備える他、光路調整手段24をも備える。光路調整手段24は、ミラー13<sub>1</sub>とミラー13<sub>2</sub>との間の光共振器における被増幅光の光路ILの長さを調整し補正するものである。光路調整手段24は、例えば、光変調素子、ピエゾ素子、自動ミラー駆動機構などを用いて実現することができる。光路調整手段24は、光変調素子を利用する場合、例えば電気光学効果を有するKTN結晶などを用いることが有効である。KTN結晶の結晶軸を直交させて配置することにより、独立して光を2軸方向に調整することができる。

[0075] 図19は、第13実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Nの構成図である。なお

、この図でも、エネルギー供給部の図示が省略されているが、適当な位置から励起光を光増幅媒質11内に導入する。ミラー13<sub>1</sub>を介して、共振光路内に配置された光増幅媒質11内に、励起光としての半導体レーザー光SLが入射される。ミラー13<sub>1</sub>はハーフミラーである。この図に示される光増幅部10Nは、光増幅媒質11、透明媒質12、光共振器を構成するミラー13<sub>1</sub>～13<sub>6</sub>および光取り込み手段21(光取り出し手段22を兼ねる)の一部が光学的に接合され一体化されている。

[0076] 光取り込み手段21(光取り出し手段22)は、波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>、偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub>、波長板14<sub>3</sub>およびファラデーローテータ17を含む。波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>は、光増幅部10Nの光共振器の共振光路上に設けられている。偏光ビームスプリッタ16<sub>3</sub>、波長板14<sub>3</sub>およびファラデーローテータ17は、種光生成器SGと偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>との間に設けられている。

[0077] ミラー13<sub>2</sub>、波長板14<sub>1</sub>、光変調部15<sub>1</sub>および偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>は、透明媒質12の溝部内に設けられている。そのうち、ミラー13<sub>2</sub>、波長板14<sub>1</sub>および光変調部15<sub>1</sub>は透明媒質12の溝部の一方の側壁に固定され、偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>は透明媒質12の溝部の他方の側壁に固定されている。また、ミラー13<sub>3</sub>～13<sub>6</sub>は透明媒質12の壁面に固定されている。

[0078] ミラー13<sub>3</sub>は、光増幅媒質11とミラー13<sub>4</sub>との間で光を反射させる。ミラー13<sub>4</sub>は、ミラー13<sub>3</sub>とミラー13<sub>5</sub>との間で光を反射させる。ミラー13<sub>5</sub>は、ミラー13<sub>4</sub>とミラー13<sub>6</sub>との間で光を反射させる。また、ミラー13<sub>6</sub>は、ミラー13<sub>5</sub>と偏光ビームスプリッタ16<sub>1</sub>との間で光を反射させる。これらミラー13<sub>3</sub>～13<sub>6</sub>は、このように透明媒質12内において被増幅光の光路が設定されるように透明媒質12の壁面に固定されている。すなわち、透明媒質12の壁面のうちミラー13<sub>3</sub>～13<sub>6</sub>が固定される部分は、必要に応じて傾斜している。

[0079] 各部品を一体化するには、光学接着剤を用いたり、或いはオプティカルコンタクト技術を用いたりすればよい。オプティカルコンタクト技術は、各部品を光学的に研磨して互いに貼り合わせることで、接着剤がなくても十分な接合ができる技術である。各部品が一体化されることにより、装置の小型化および安定化が実現され得る。

[0080] 図20は、第13実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Naの構成図である。なお、この図でも、エネルギー供給部の図示が省略されているが、適当な位置から励起光を光増幅媒質11内に導入する。ミラー13<sub>1</sub>を介して、共振光路内に配置された光増幅媒質11内に、励起光としての半導体レーザ光SLが入射される。この図に示される光増幅部10Naは、図19に示された構成と比較すると、光増幅媒質11、透明媒質12、光共振器を構成するミラー13<sub>1</sub>～13<sub>6</sub>および光取り込み手段21(光取り出し手段22を兼ねる)の一部に加えて、パルス幅圧縮部50も光学的に接合され一体化されている点で相違する。この図に示されたパルス幅圧縮部50は、図14に示されたパルス幅圧縮部50cと同様の構成のものである。パルス幅圧縮部50をも一体化させることにより、さらなる小型化を図ることができる。

[0081] ここで、各部品を光学的に接合する代わりに、フェムト秒レーザ光などを用いた光加工技術によって、透明媒質12内に各機能を有する光学素子を形成して一体化してもよい。

[0082] 図21は、第14実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Pの構成図である。なお、この図でも、エネルギー供給部の図示が省略されているが、適当な位置から励起光を光増幅媒質11内に導入する。この図に示される光増幅部10Pでは、光増幅媒質11において光が入出射する個所に低反射コーティングAR<sub>11</sub>、AR<sub>12</sub>が施され、透明媒質12において光が入出射する個所に低反射コーティングAR<sub>21</sub>、AR<sub>22</sub>が施され、また、透明媒質12において光が反射する個所に高反射コーティングHR<sub>21</sub>～HR<sub>24</sub>が施されている。

[0083] 低反射コーティングが施されない場合と比較して、低反射コーティングが施されることにより、反射率が低くなり、光増幅媒質11または透明媒質12における光入出射の際の損失が低減される。高反射コーティングが施されない場合と比較して、高反射コーティングが施されることにより反射率が高くなる。透明媒質12における高反射コーティングHR<sub>21</sub>～HR<sub>24</sub>は、透明媒質12と一体化されたミラーとして作用する。

[0084] 低反射コーティングおよび高反射コーティングは、誘電体多層膜で実現することができる。また、高反射コーティングは、金属膜でも実現することができる。低反射コーティングまたは高反射コーティングが光増幅媒質11または透明媒質12に直接に形

成されているので、調整の必要がなく、安定に動作させることができる。

[0085] その他、透明媒質12の壁面にグレーティング膜を形成してもよく、ミラーとしてだけではなく、パルス光を時間的に引き伸ばす機能も付加することができる。この場合、パルス幅伸張部と同様の機能を有するので、パルス幅伸張部を小型化することができ、パルス幅伸張部を別に設ける必要がない。

[0086] 図22は、第15実施形態に係る光増幅装置の光増幅部10Qの構成図である。なお、この図でも、エネルギー供給部の図示が省略されているが、適当な位置から励起光を光増幅媒質11内に導入する。ミラー13<sub>1</sub>を介して、共振光路内に配置された光増幅媒質11内に、励起光としての半導体レーザ光SLが入射される。この図に示される光増幅部10Qでは、透明媒質12において光が反射する個所に高反射コーティングHR<sub>21</sub>～HR<sub>24</sub>が施されている。また、光増幅媒質11および透明媒質12それぞれにおいて光が入出射する個所での光入出射角がブリュースタ角となっており、また、そのようになるように光増幅媒質11および透明媒質12それぞれの形状や配置が設定されている。

[0087] この図に示されるように、透明媒質12と同じ材質からなる三角ブロック121、122を透明媒質12の光入出射個所に貼り付けることにより、光入出射角をブリュースタ角として、光入出射時の損失を低減することができる。三角ブロック121、122の貼り付けに際しては、光学接着剤を用いたり、或いはオプティカルコンタクト技術を用いたりすればよい。ブリュースタ角を有する部分を光の偏光方向に対する入出力結合器として用いれば、偏光ビームスプリッタと同様の動作をさせることができる。

[0088] 図23は、第15実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Qaの構成図である。図22に示された構成では透明媒質12に三角ブロック121、122を貼り付けたのに対して、この図23に示される構成では、透明媒質12の光入出射個所の形状を修正することにより、光入出射角をブリュースタ角としている。この場合も、ブリュースタ角を有する部分を光の偏光方向に対する入出力結合器として用いれば、偏光ビームスプリッタと同様の動作をさせることができる。

[0089] 図24は、第15実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Qbの構成図である。図22に示された構成では透明媒質12において光が反射する個所に施された

高反射コーティングHR<sub>21</sub>～HR<sub>24</sub>が互いに平行であったのに対して、この図24に示される構成では、高反射コーティングHR<sub>21</sub>、HR<sub>24</sub>が傾斜している。また、高反射コーティングHR<sub>21</sub>、HR<sub>24</sub>が傾斜するように、透明媒質12と同じ材質からなる三角ブロック123、124を透明媒質12の反射個所に貼り付け、これら三角ブロック123、124に高反射コーティングHR<sub>21</sub>、HR<sub>24</sub>が施されている。三角ブロック123、124の角度を適当な角度で設計することにより、光が任意の角度で透明媒質12内部へ折り返すように光路をとることができる。

[0090] 図25は、第15実施形態に係る光増幅装置の変形例の光増幅部10Qcの構成図である。図23に示された構成では透明媒質12において光が反射する個所に施された高反射コーティングHR<sub>21</sub>～HR<sub>24</sub>が互いに平行であったのに対して、この図25に示される構成では、高反射コーティングHR<sub>21</sub>、HR<sub>24</sub>が傾斜している。また、図24に示された構成では高反射コーティングHR<sub>21</sub>、HR<sub>24</sub>を傾斜させるために三角ブロックを透明媒質12に貼り付けたのに対して、この図25に示される構成では、透明媒質12の反射個所の形状を修正することにより高反射コーティングHR<sub>21</sub>、HR<sub>24</sub>を傾斜させている。このように、三角ブロックを貼り付ける代わりに、透明媒質12を適当な角度になるような形状にして高反射コーティングを施すことによっても同様なことが可能である。

[0091] これまでに説明してきた透明媒質12は、概略的には直方体形状のものであって、一方の端面に光が入射し、これに対向する端面から光が出射し、両端面の間で光が往復するものであった。しかし、透明媒質12の形状や、透明媒質12の内部における光の光路には、種々の変形例があり得る。図26～図30それぞれは、第16実施形態に係る光増幅装置における透明媒質12の種々の構成例を示す図である。

[0092] 図26に示される透明媒質12aは、概略的には直方体形状のものであって、矩形断面の或るコーナー部が面取りされて低反射コーティングAR<sub>21</sub>が施され、他の或るコーナー部が面取りされて低反射コーティングAR<sub>22</sub>が施されていて、その面取りされて低反射コーティングAR<sub>21</sub>、AR<sub>22</sub>が施された個所が光入出射個所となっている。この透明媒質12aでは、内部を伝播する光が壁面で反射される際に、その壁面への入射角が臨界角以上となる。例えば、透明媒質12aが合成石英で構成されている場合、

その屈折率は凡そ1.45であることから、空気に対する臨界角は凡そ43.6度である。したがって、合成石英からなる透明媒質12a中を伝播する光が壁面に対して45度の角度で進行すれば、その光は壁面(合成石英と空気との界面)で全反射される。よって、この場合には、反射個所に高反射コーティングを施す必要がない。入射した光I1は透明媒質12aの側面の内面において、内部を伝播する光の光路が直交するように複数回反射され、透明媒質12aから光I2として出射される。

[0093] 図27に示される透明媒質12bは、概略的には直方体形状のものであって、矩形断面の或る2つのコーナー部が面取りされていて、その面取りされた個所においてブリュースタ角で光が入出射するようになっており、また、内部を伝播する光が透明媒質12bの壁面に対して45度の角度で進行するようになっている。

[0094] これら透明媒質12a, 12bでは、光入出射個所に低反射コーティングが施されていたり、或いは、入出射角がブリュースタ角となっていたりして、入出力時の損失を抑えることができる。また、例えば、透明媒質12a, 12bが約50mm角の矩形断面を有する場合、透明媒質12a, 12b内を伝播する光が壁面に対して7mmの間隔で反射を繰り返すようにすると、光は透明媒質12a, 12b内を7周することが可能であり、光路は約1mとなる。このとき、例えば透明媒質12a, 12bの屈折率が1.5であれば、約1.5mの光路長が得られる。

[0095] 図28に示される透明媒質12cは、六角柱形状を有する。一般に透明媒質は五角形以上の多角柱であってもよい。例えば、透明媒質が合成石英で構成されている場合、この透明媒質を五角形以上の多角柱とすることで、透明媒質の内部を進行する光は、透明媒質の壁面に対して45度以上の入射角で入射して全反射されることになり、高反射コーティングを必要としない。また、五角形以上の多角柱であれば、直方体と比べて反射角が大きくなるので、全反射条件を満たすことが容易となる。透明媒質12cに入射した光I1は、透明媒質12cの内部を多角柱の軸回りを回転しながら進行し、光I2として出射される。透明媒質12cの内部を伝播する光の光路は、透明媒質12cの多角形側面の成す角度と同じ略角度で交差している。

[0096] この図に示されるように、多角柱の形状を正多角柱の一部を延ばした形状にすれば、透明媒質内を伝播する光が同一の光路を通ることなく、透明媒質内を回るように

進行する配置とすることもできる。また、多角柱のそれぞれの角が同じ角度となるので、透明媒質の壁面への入射角を一定にすることもできる。光の入出射個所に低反射コーティング $AR_{21}$ 、 $AR_{22}$ が施されることにより、光入出射の際の損失を抑えることができる。ここで、多角柱が特に六角柱である場合には、光の入出力面が光軸に対して90度をなす構成とすることができる。入出力部には低反射コーティング $AR_{21}$ 、 $AR_{22}$ を施すことで、損失をさらに減らすことができる。さらに、この場合においても、入出力部はブリュースタ角の形状であってもよい。

[0097] 図29に示される透明媒質12dは、光入射個所に低反射コーティング $AR_{21}$ 、 $AR_{22}$ が施されており、内部を伝播する光が壁面(光入射個所以外)に対して入射角45度で入射して反射するように、当該反射個所の壁面が傾斜している。同図(a)は平面図を示し、同図(b)は断面図を示す。例えば透明媒質12dが合成石英で構成される場合、内部を伝播する光は、反射部分で臨界角以上の入射角で入射して、垂直方向に全反射されるので、壁面に高反射コーティングを施す必要がない。また、壁面の形状は水平方向に45度の角度で全反射する形状であってもよい。透明媒質12dに入射した光I1は、厚み方向の高さを変えながら、内部で複数回反射され、光I2として外部に出力される。

[0098] 図30に示される透明媒質12eは、概略的には直方体形状のものであって、同じ材質からなる三角ブロック121、122が光入出射個所に貼り付けていて、また、それらの三角ブロック121、122の光入出射面に低反射コーティング $AR_{21}$ 、 $AR_{22}$ が施されている。また、この透明媒質12eは、三角ブロック121の低反射コーティング $AR_{21}$ に入力された光I1を各壁面で繰返し全反射させて螺旋状に進行させ、その後に三角ブロック122の低反射コーティング $AR_{22}$ から外部へ光I2を出力する。例えば、透明媒質12eが合成石英で構成される場合、透明媒質12e内部を伝播する光は、壁面に対して45度の角度で進行すれば、各壁面で全反射されるので、壁面に低反射コーティングを施す必要がない。

[0099] さらに、透明媒質12e内部における光路を垂直方向にもわずかに傾けるような構成とすることによって、光は透明媒質12中を螺旋状に伝播し、長い光路長を得ることが可能となる。ここで、透明媒質の形状は、五角形以上の多角柱の形状であってもよい

。また、入出力部は光軸に対して適当な角度をもつ形状として無反射コーティングを施したり、或いは、ブリュースタ角の形状としたりすることによって、入出力時の損失を抑えることができる。

[0100] なお、上記透明部材12a～12eにおいて、その一部または全部が光増幅媒質11を兼ねていてもよい。

[0101] 図31は、第17実施形態に係る光増幅装置1Rの構成図である。この図に示される光増幅装置1Rは、光増幅媒質11および透明媒質12を含む光増幅部10Rと、エネルギー供給部30とを備え、これら光増幅部10Rおよびエネルギー供給部30が真空容器80内に入れられている。真空容器80は、その内部空間を減圧雰囲気とすることができる。この場合、真空中で光を伝播させることによって、安定化を図ることができる。例えば、種光生成器やエネルギー供給部は、それ自身が安定である場合や、ファイバレーザ光源のように大気中を伝播しない場合には、真空容器80外に設置されていてもよい。

#### 産業上の利用可能性

[0102] 本発明は、光増幅装置に利用することができる。

## 請求の範囲

- [1] 被増幅光を光増幅する光増幅媒質と、  
前記被増幅光を複数回通過させる透明媒質と、  
を含む光増幅部と、  
前記光増幅媒質に励起エネルギーを供給するエネルギー供給部と、  
を備えることを特徴とする光増幅装置。
- [2] 前記光増幅部が、前記被増幅光を外部から入力して、その増幅光を前記光増幅媒質に複数回通過させて光増幅する、ことを特徴とする請求項1記載の光増幅装置。
- [3] 前記光増幅部が、前記被増幅光を共振させる光共振器を含み、この光共振器の共振光路上に前記光増幅媒質および前記透明媒質を有する、ことを特徴とする請求項1記載の光増幅装置。
- [4] 前記光増幅部が、  
前記共振光路上に設けられ、前記光共振器の外部から前記被増幅光を前記共振光路上に取り込む光取り込み手段と、  
前記共振光路上に設けられ、一定期間に亘って前記光共振器内において光増幅された前記被増幅光を前記光共振器の外部へ取り出す光取り出し手段と、  
を更に含むことを特徴とする請求項3記載の光増幅装置。
- [5] 請求項3記載の光増幅装置を第1光増幅装置とし、  
この第1光増幅装置により発生する光を種光とし、  
請求項2または4に記載の光増幅装置を第2光増幅装置とし、  
この第2光増幅装置により前記種光を光増幅して出力する、  
ことを特徴とする光増幅装置。
- [6] 前記第1光増幅装置および前記第2光増幅装置それぞれの前記光増幅媒質、前記透明媒質または前記エネルギー供給部が共通である、  
ことを特徴とする請求項5記載の光増幅装置。
- [7] 前記被増幅光がパルス光であることを特徴とする請求項1～6の何れか1項に記載の光増幅装置。
- [8] 光を遅延させる光遅延系を更に備え、

前記光増幅部により発生する光を種光とし、この種光を前記光遅延系により遅延させ、この遅延させた種光を前記光増幅部により光増幅して出力する、ことを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。

- [9] 前記光増幅媒質に入力される前記被増幅光のパルス幅を伸長するパルス幅伸長部を更に備えることを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。
- [10] 前記透明媒質が、前記光増幅媒質に入力される前記被増幅光のパルス幅を伸長する、ことを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。
- [11] 前記光増幅媒質から光増幅されて出力される前記被増幅光のパルス幅を圧縮するパルス幅圧縮部を更に備えることを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。
- [12] 前記光増幅媒質および前記透明媒質の少なくとも一方が固体であることを特徴とする請求項1～11の何れか1項に記載の光増幅装置。
- [13] 前記光増幅媒質および前記透明媒質の少なくとも一方の温度を安定化する温度安定化手段を更に備えることを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。
- [14] 前記エネルギー供給部が、前記エネルギー供給部として前記光増幅媒質に供給すべき励起光を出力する半導体レーザ素子を含む、ことを特徴とする請求項1～13の何れか1項に記載の光増幅装置。
- [15] 前記光増幅部が、前記被増幅光の光路を調整する光路調整手段を更に含む、ことを特徴とする請求項1～14の何れか1項に記載の光増幅装置。
- [16] 前記光増幅部を構成する前記光増幅媒質および前記透明媒質を含む複数の構成要素の何れか2以上のものが一体化されている、ことを特徴とする請求項1～15の何れか1項に記載の光増幅装置。
- [17] 前記光増幅媒質または前記透明媒質において前記被増幅光が入射または出射する何れかの箇所に低反射コーティングが施されている、ことを特徴とする請求項1～16の何れか1項に記載の光増幅装置。
- [18] 前記光増幅媒質または前記透明媒質において前記被増幅光が反射する何れかの箇所に高反射コーティングが施されている、ことを特徴とする請求項1～17の何れか1項に記載の光増幅装置。
- [19] 前記光増幅媒質または前記透明媒質において前記被増幅光が入射または出射す

る何れかの箇所での光入射角がブリュースタ角である、

ことを特徴とする請求項1～18の何れか1項に記載の光増幅装置。

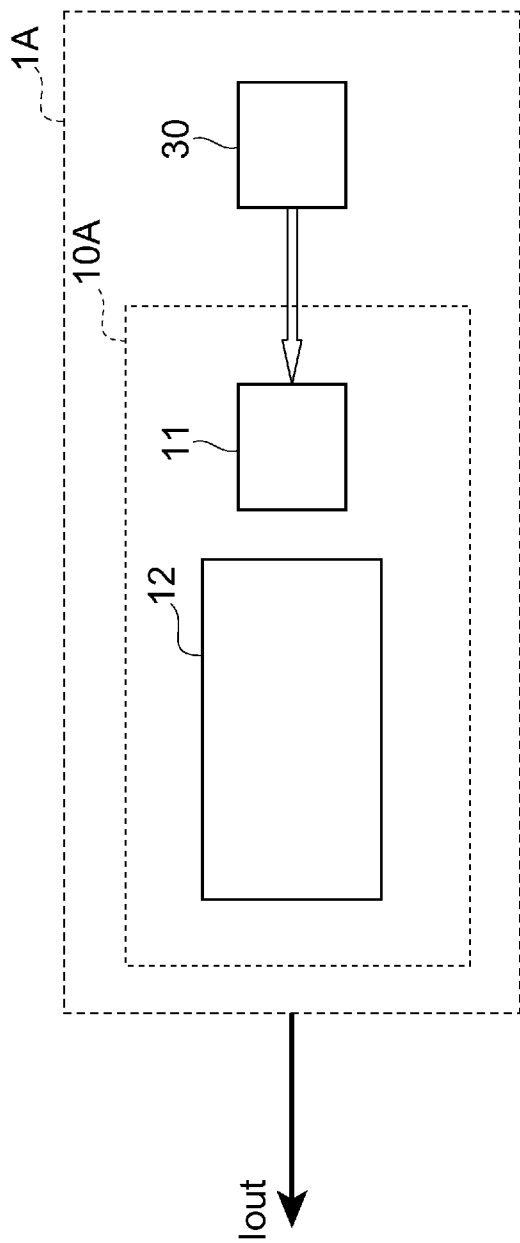
[20] 前記透明媒質が、内部を伝搬する前記被増幅光を壁面において内部全反射させる、

ことを特徴とする請求項1～19の何れか1項に記載の光増幅装置。

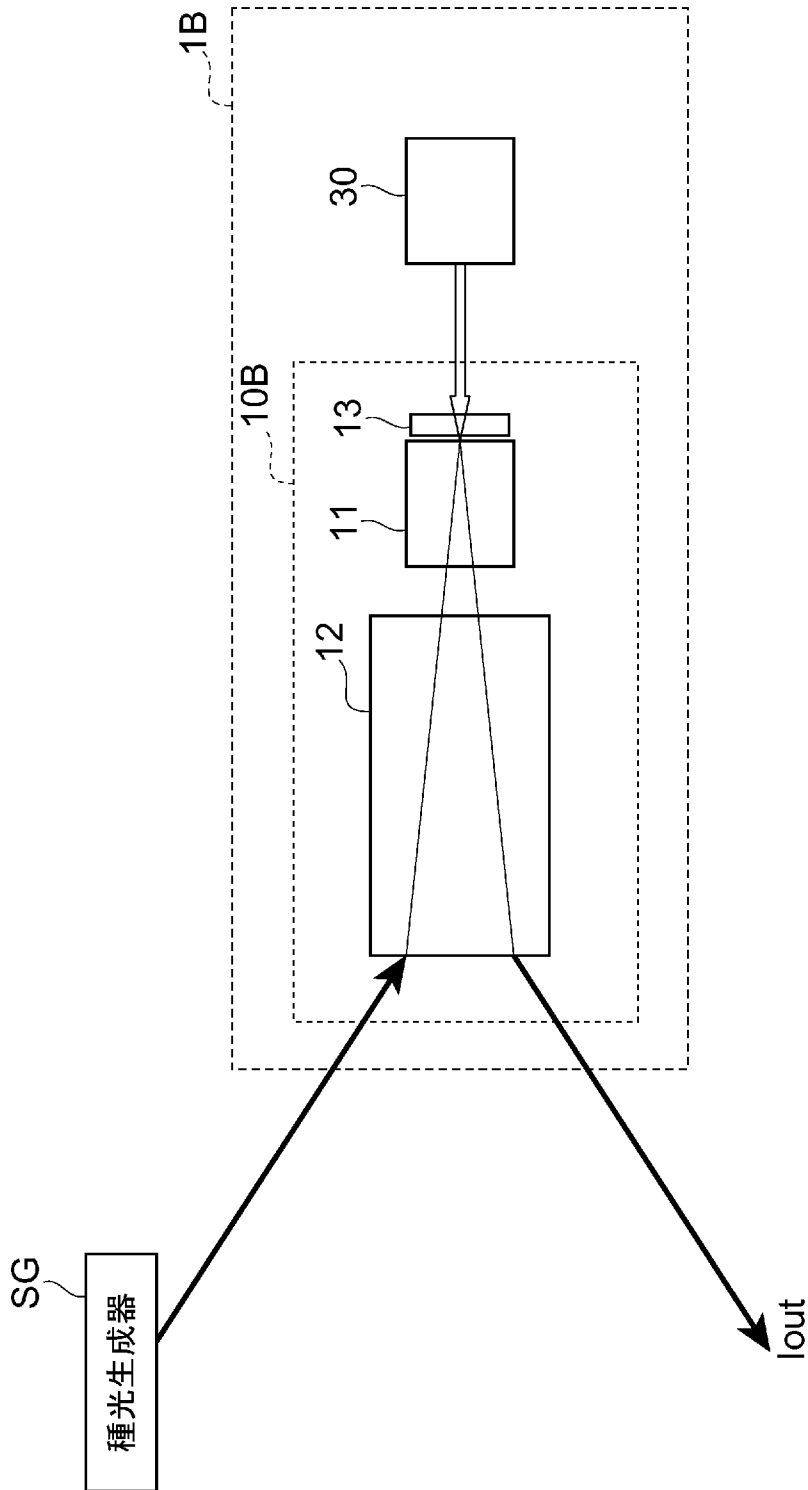
[21] 前記光増幅部および前記エネルギー供給部を内部空間に有し該内部空間を減圧雰囲気とする真空容器を更に備える、

ことを特徴とする請求項1～20の何れか1項に記載の光増幅装置。

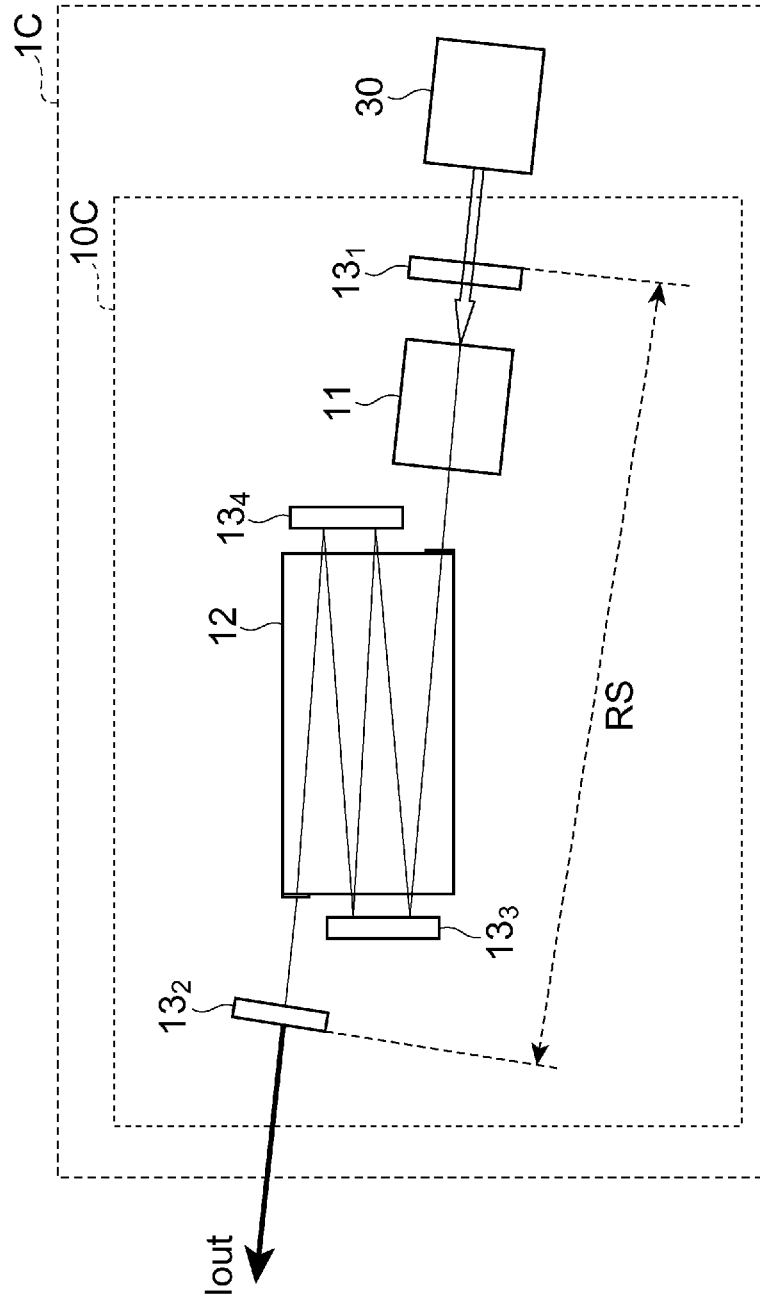
[図1]



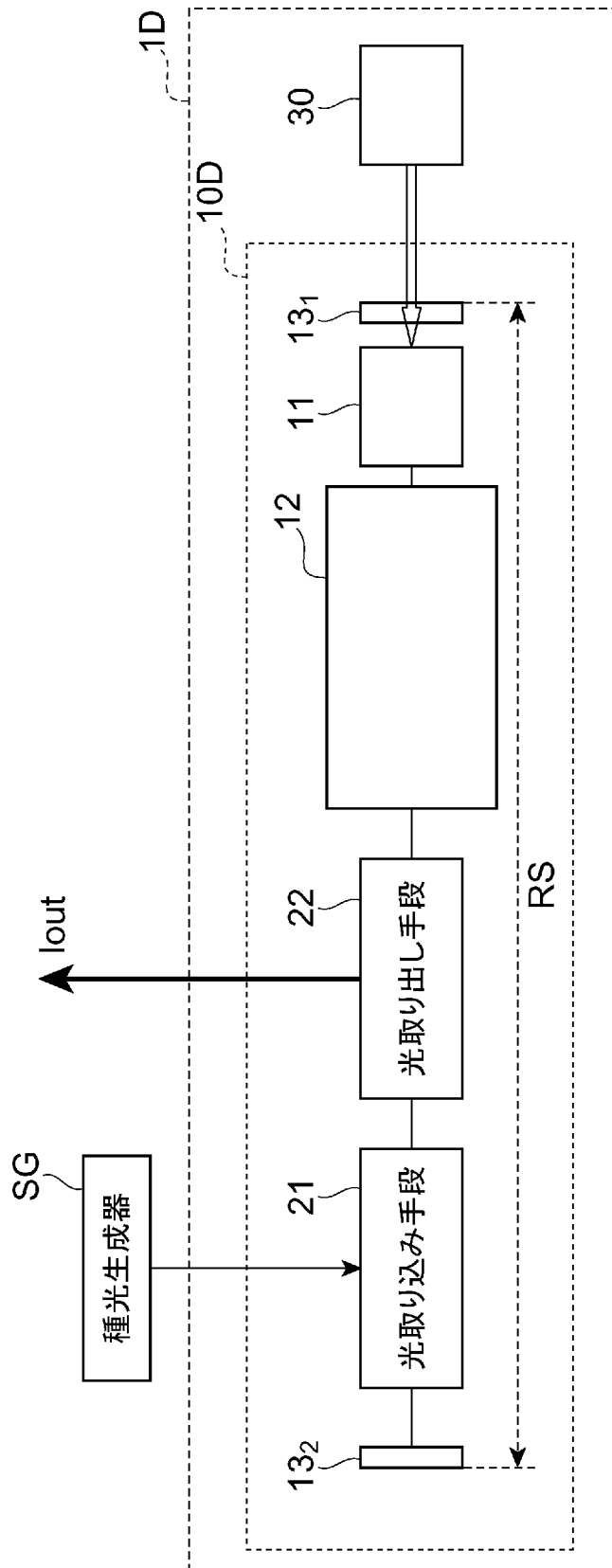
[図2]



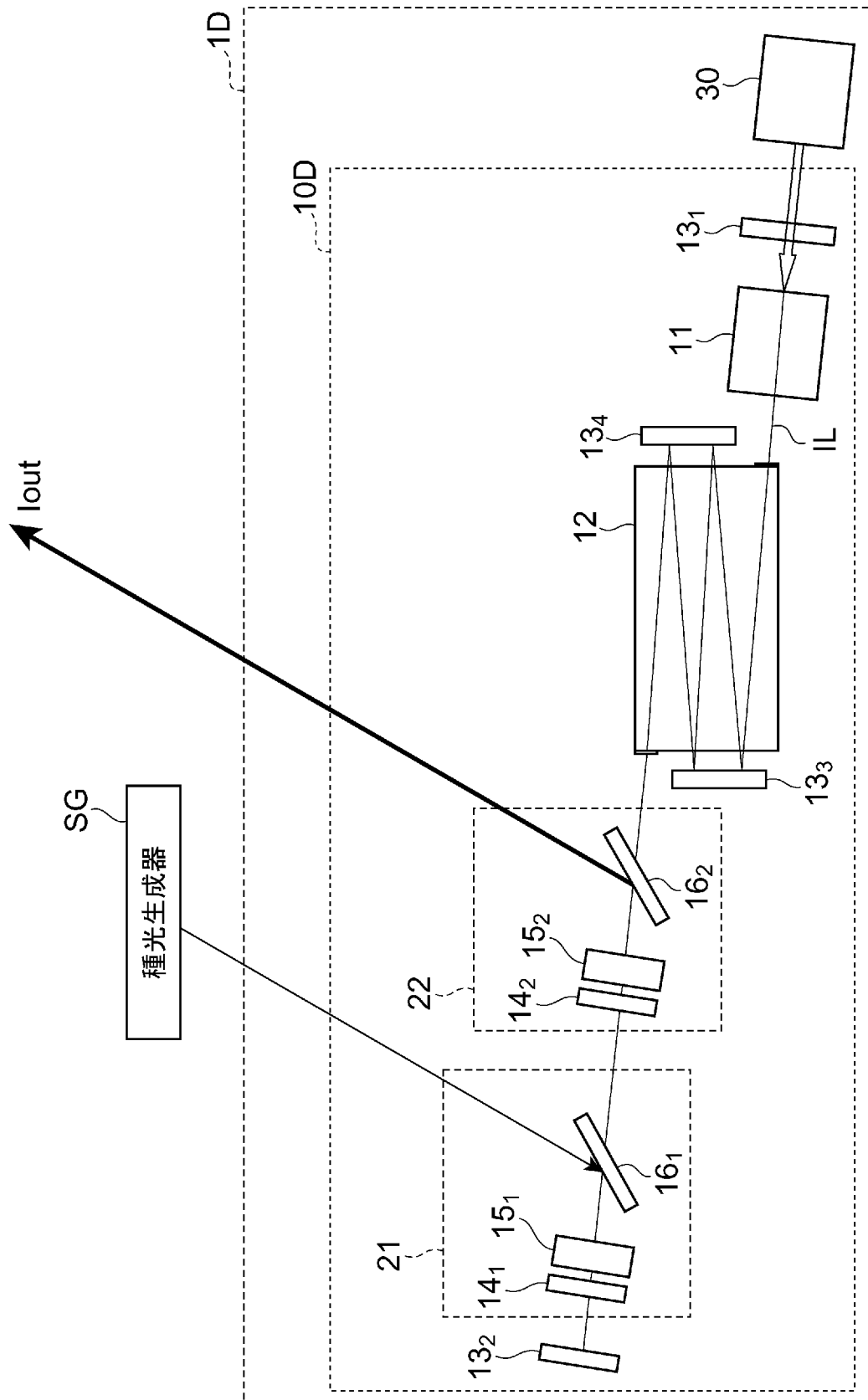
[図3]



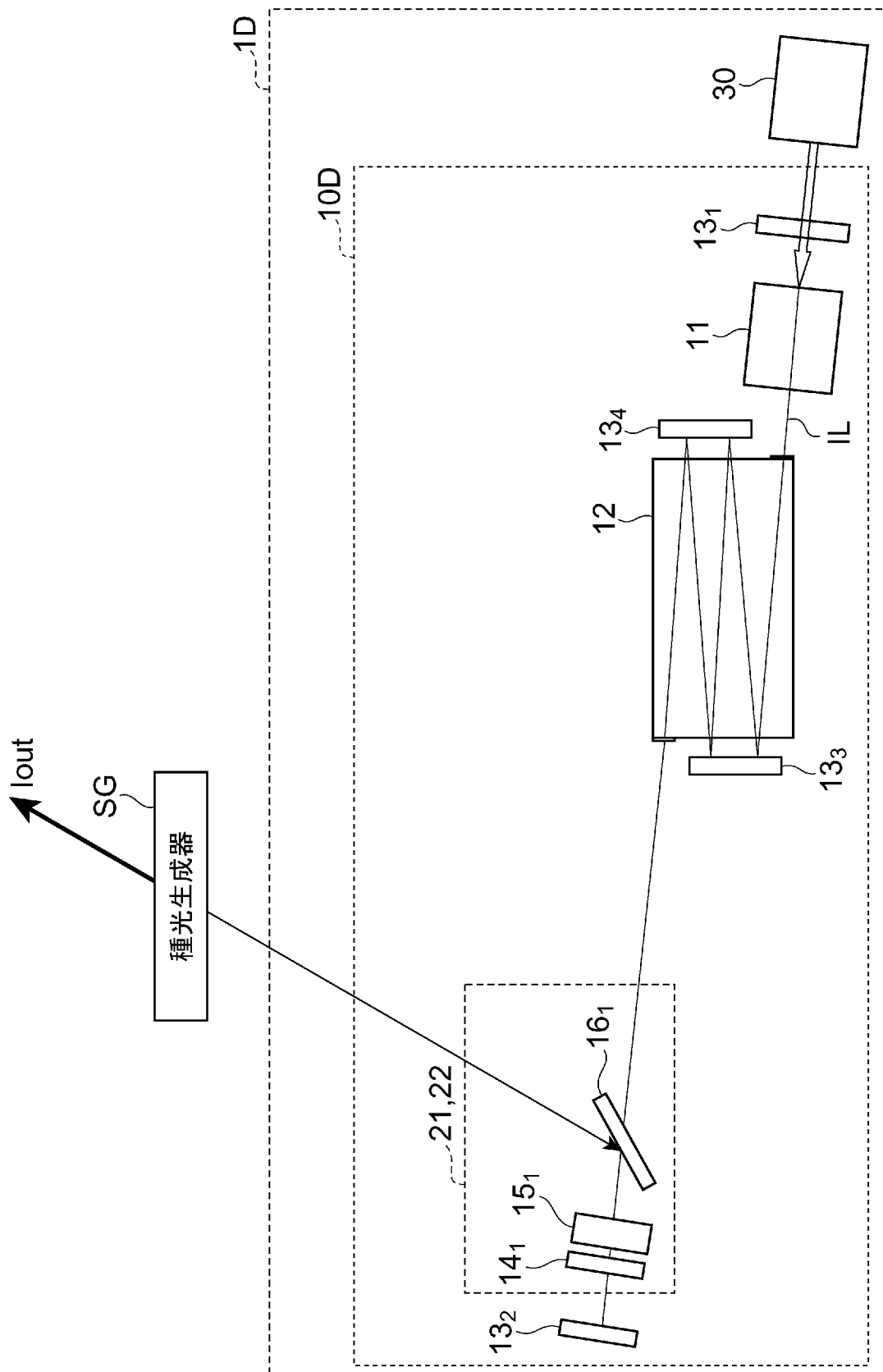
[図4]



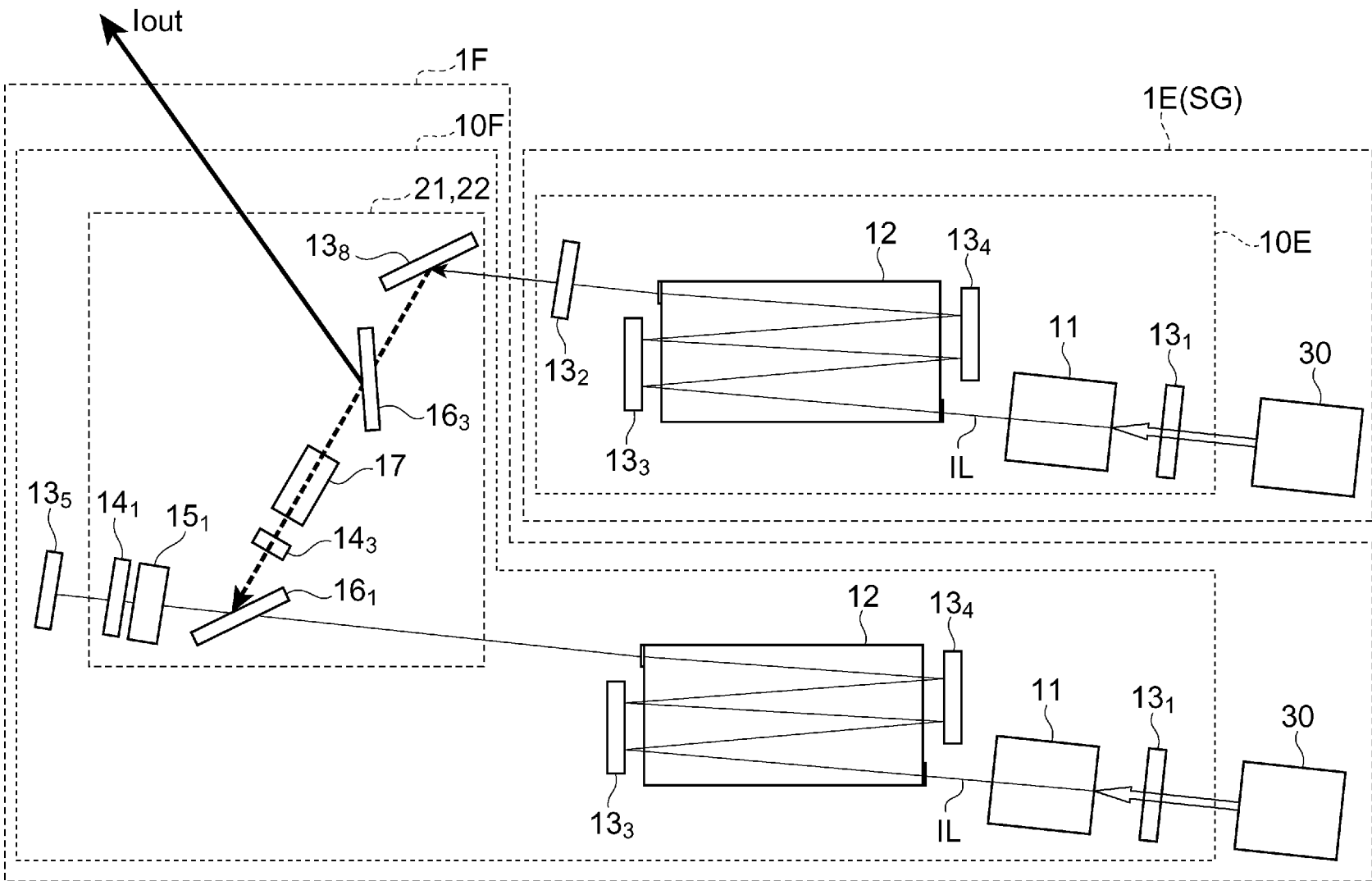
[図5]



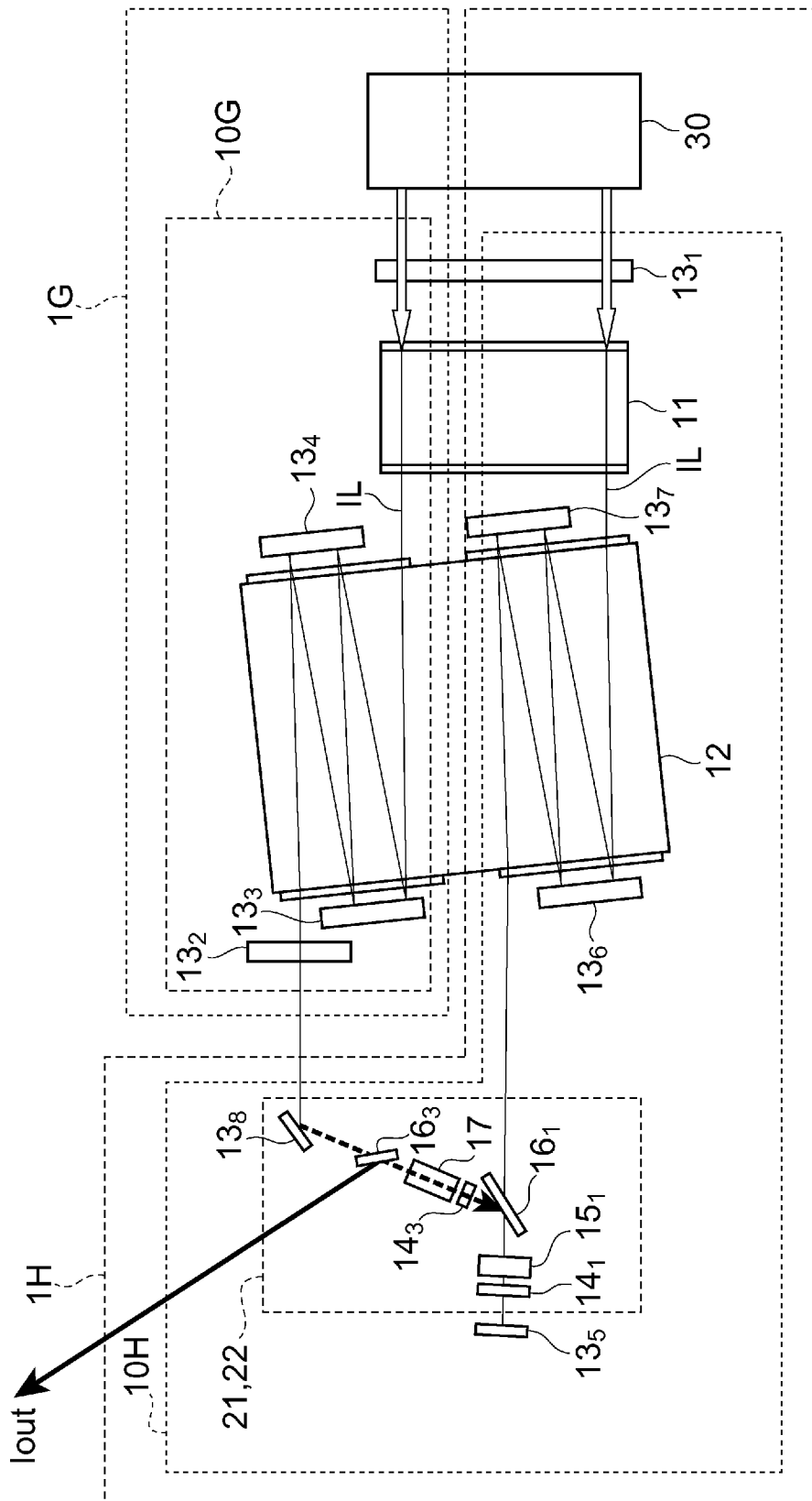
[図6]



[図7]

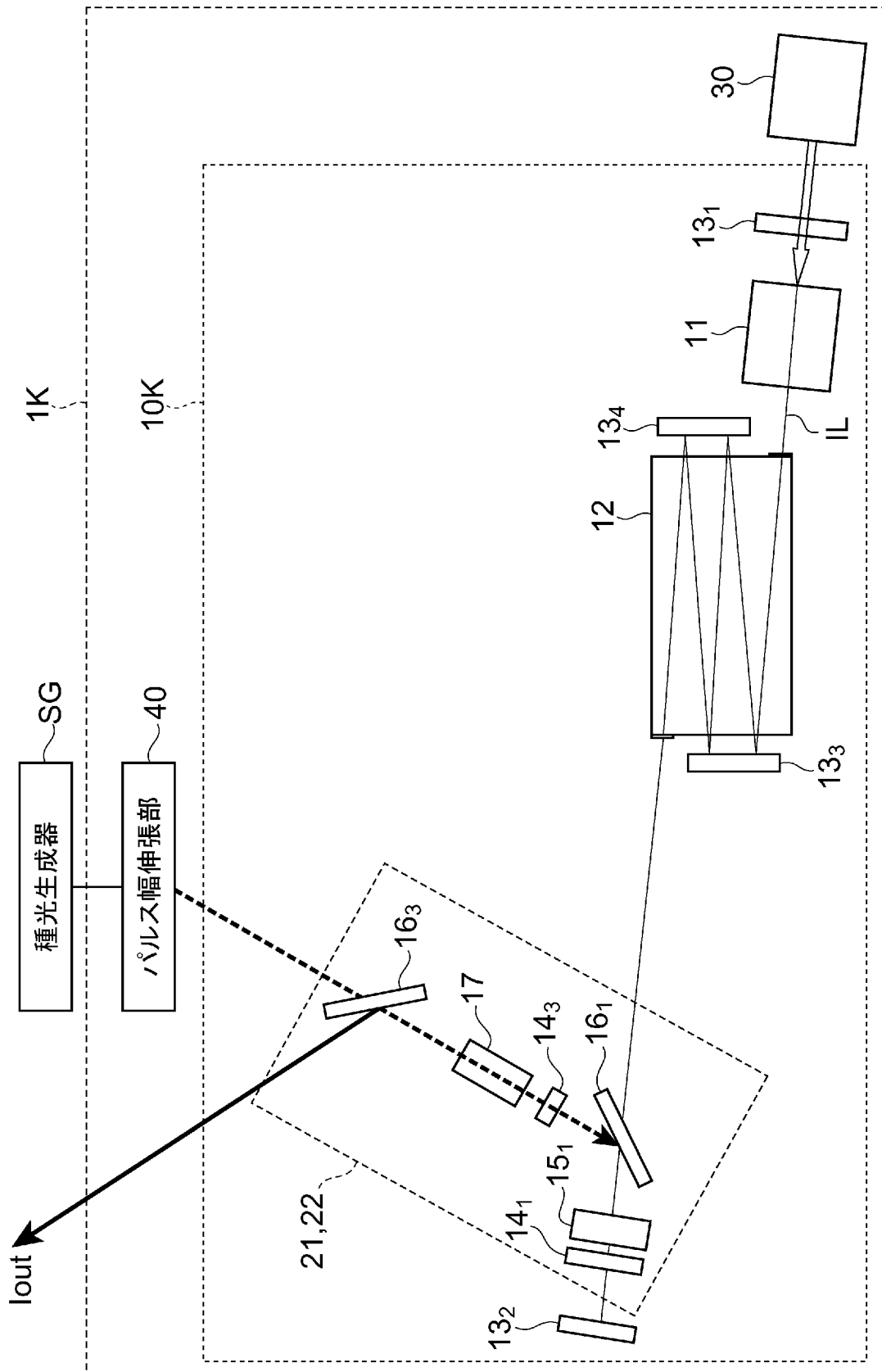


[図8]

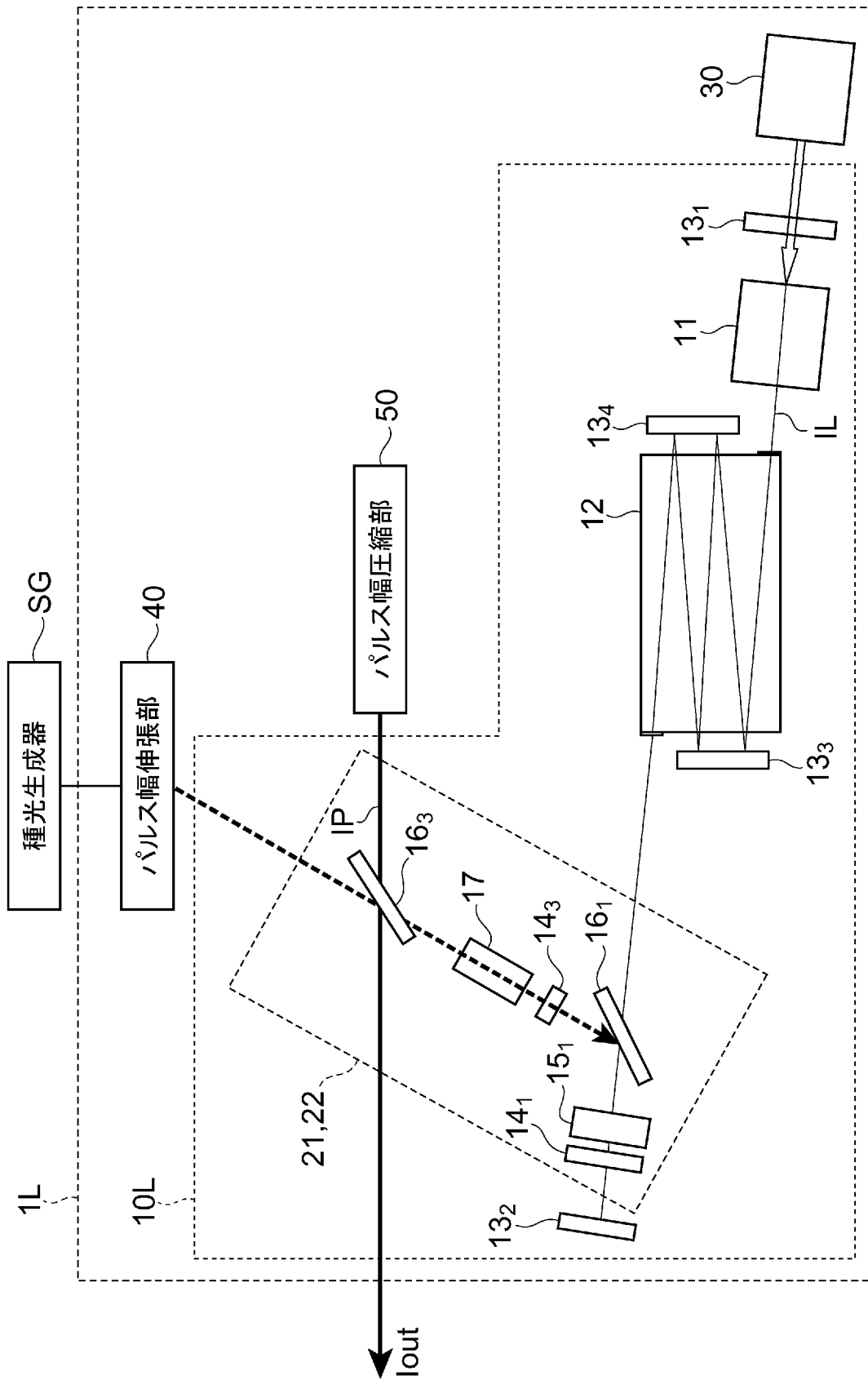




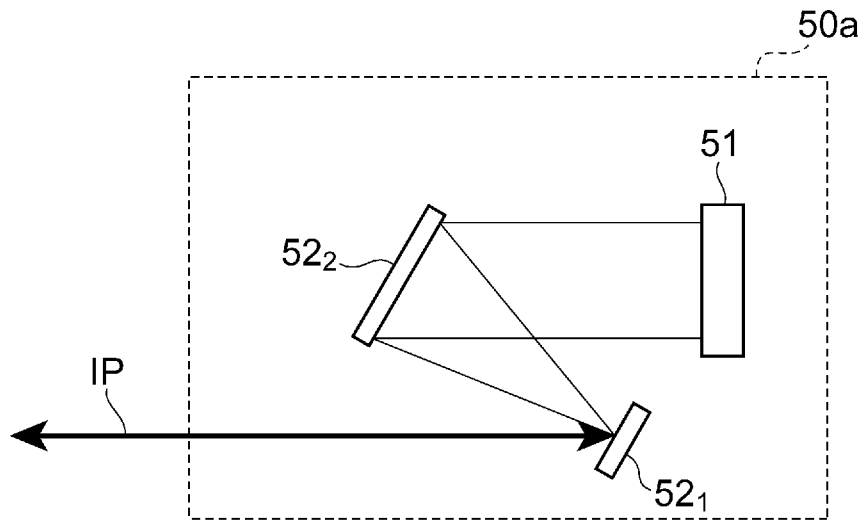
[図10]



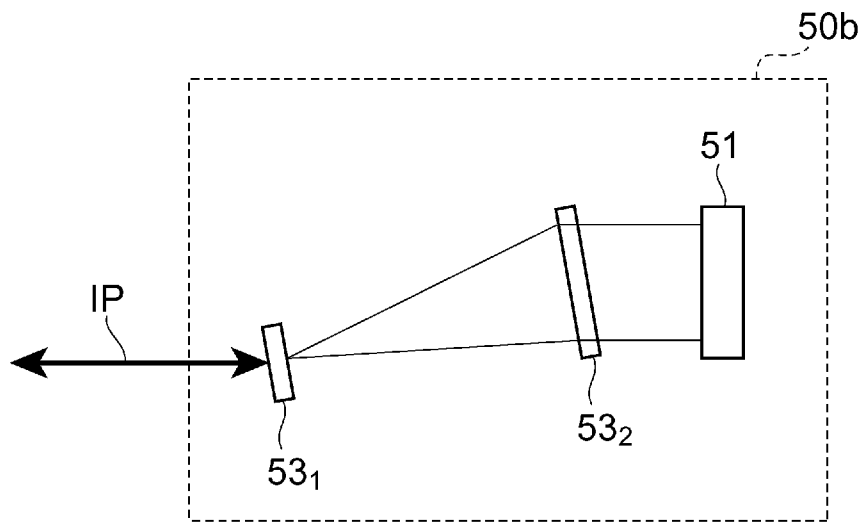
[図11]



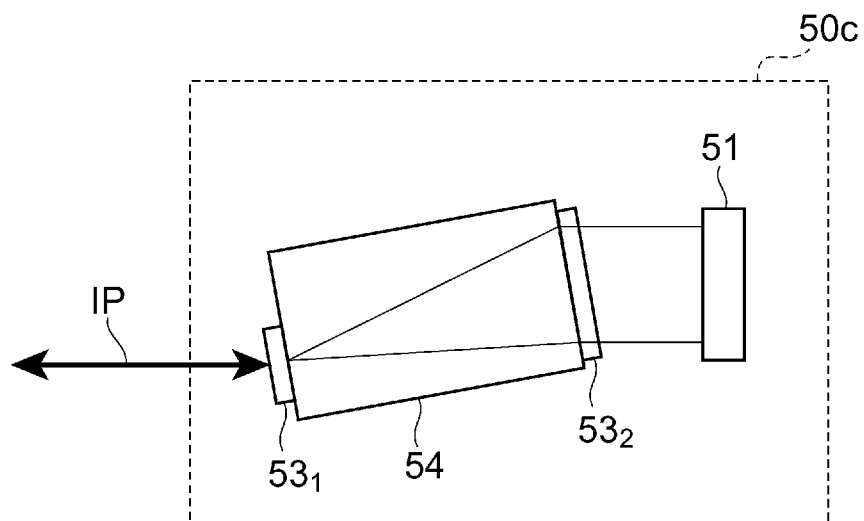
[図12]



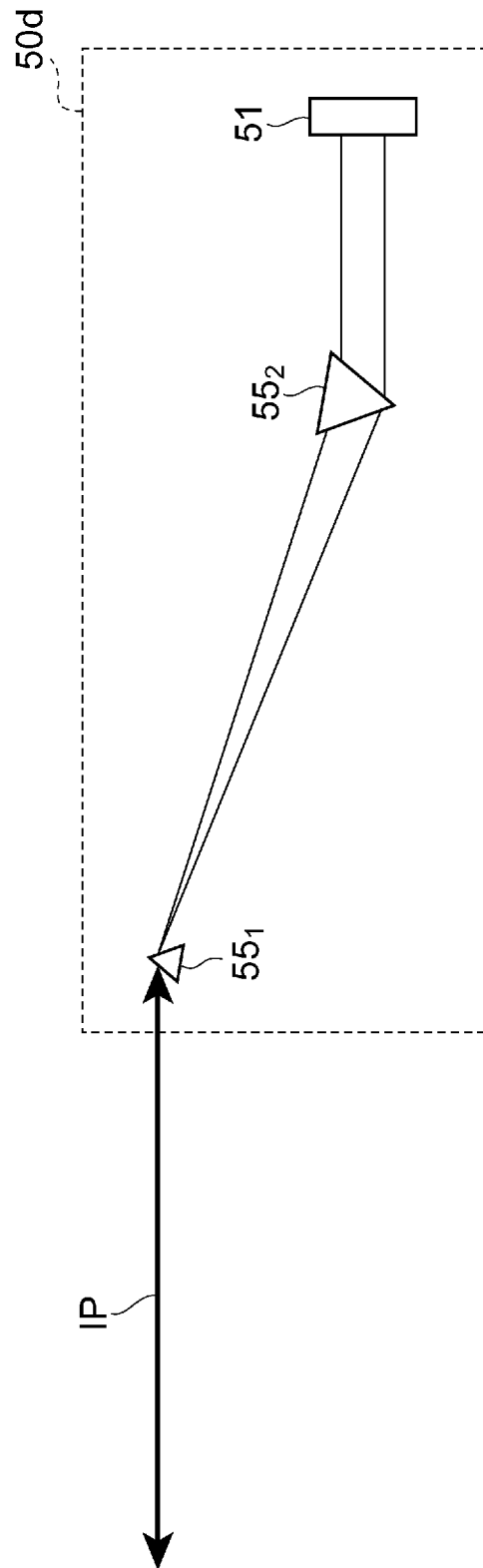
[図13]



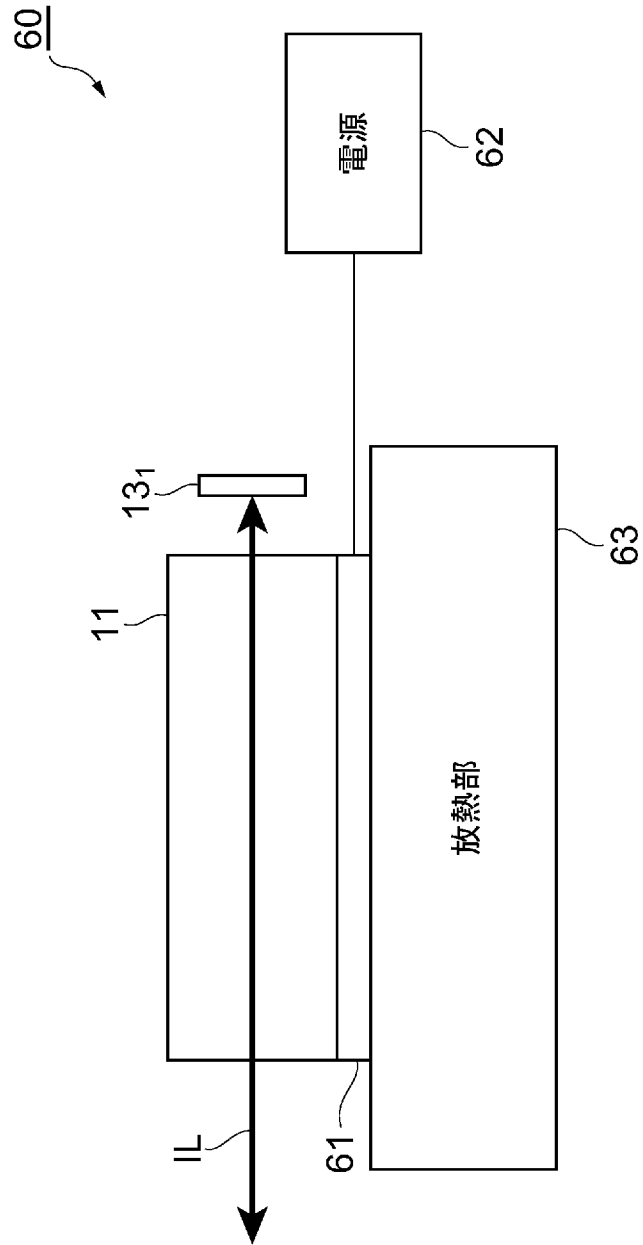
[図14]



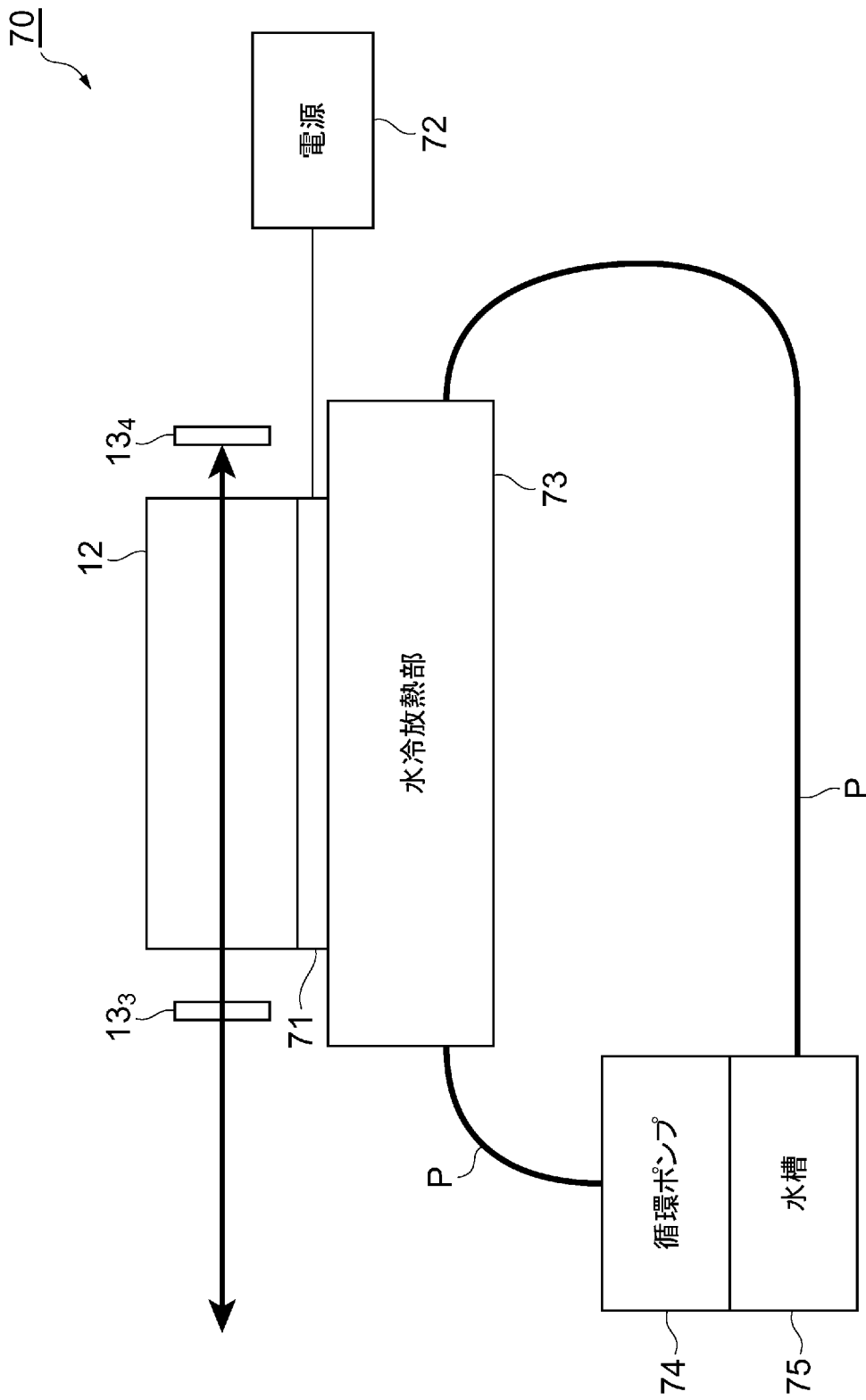
[図15]



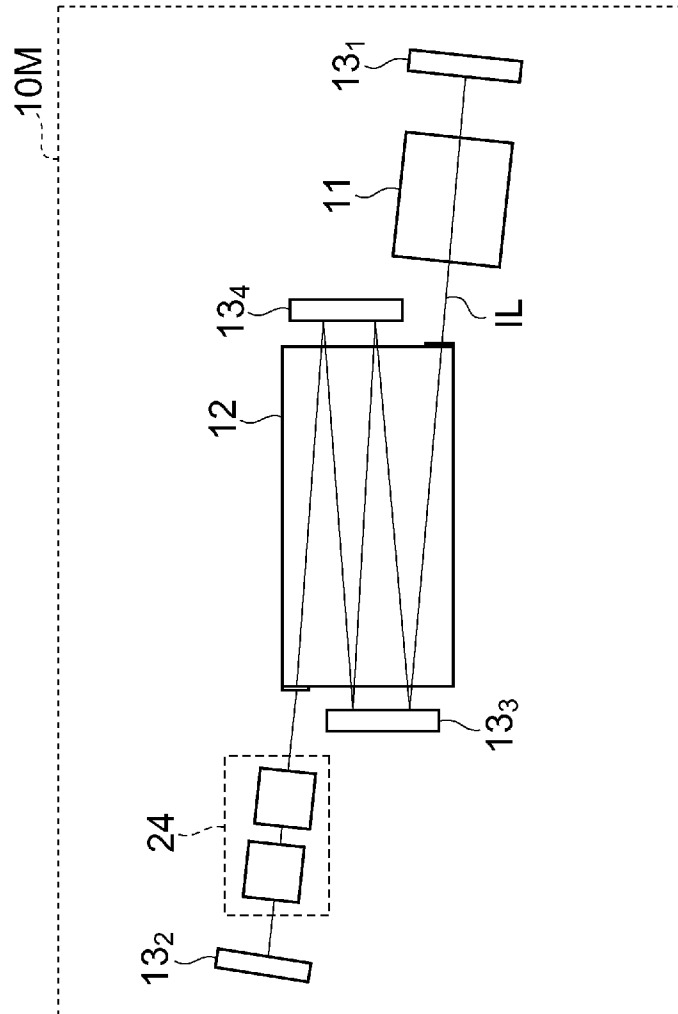
[図16]



[図17]



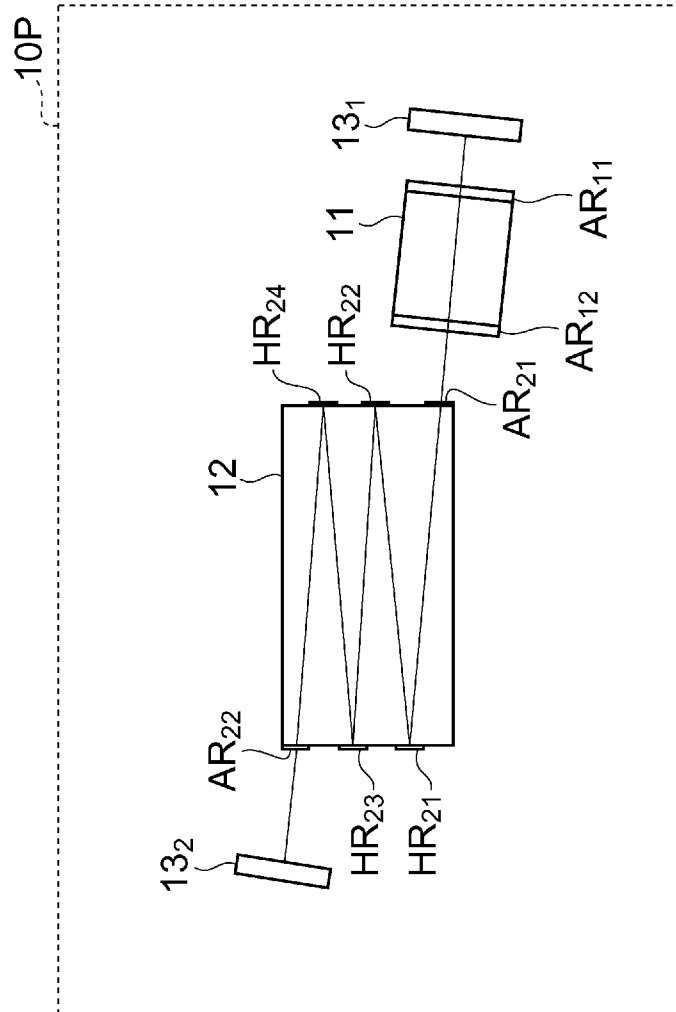
[図18]



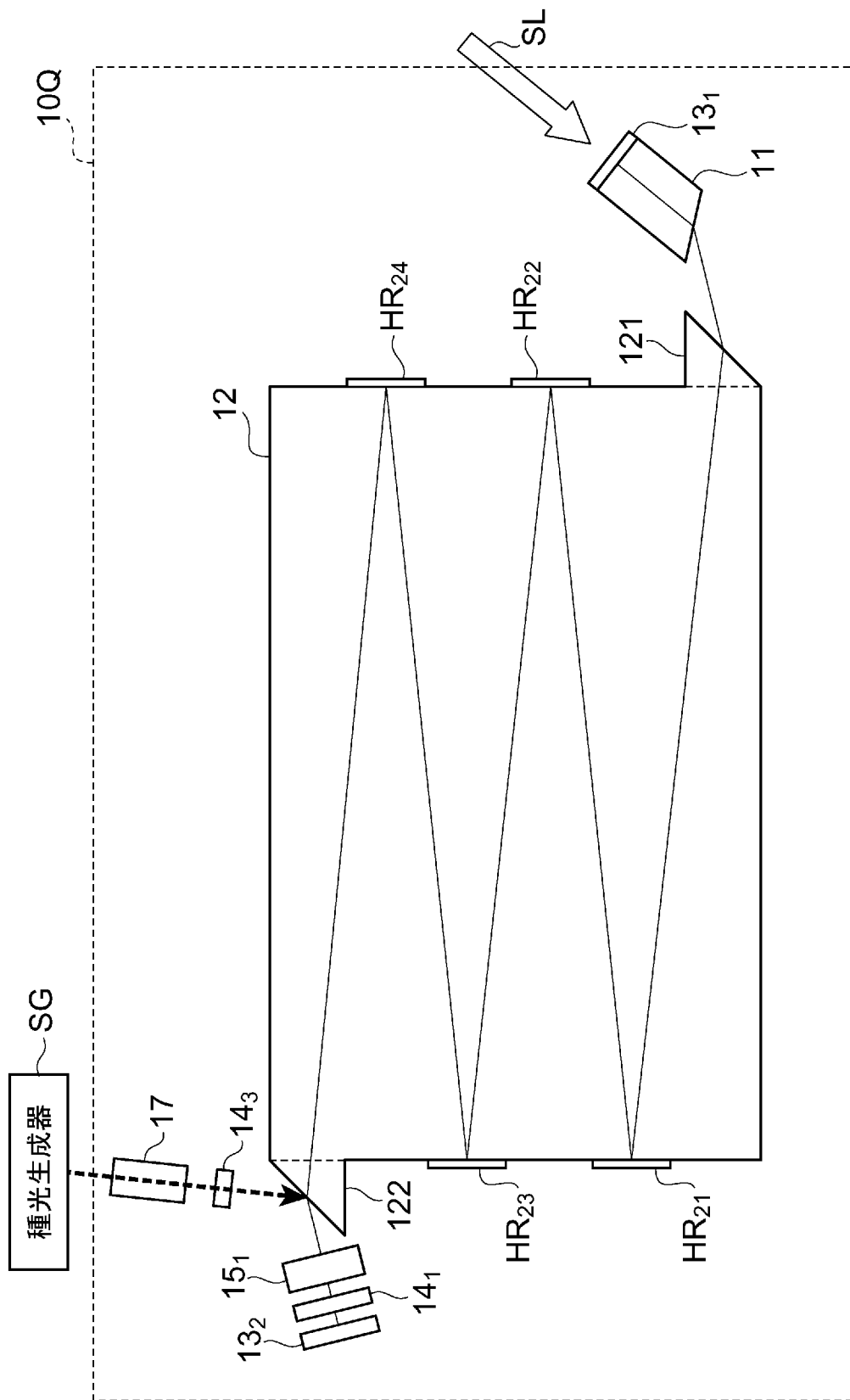




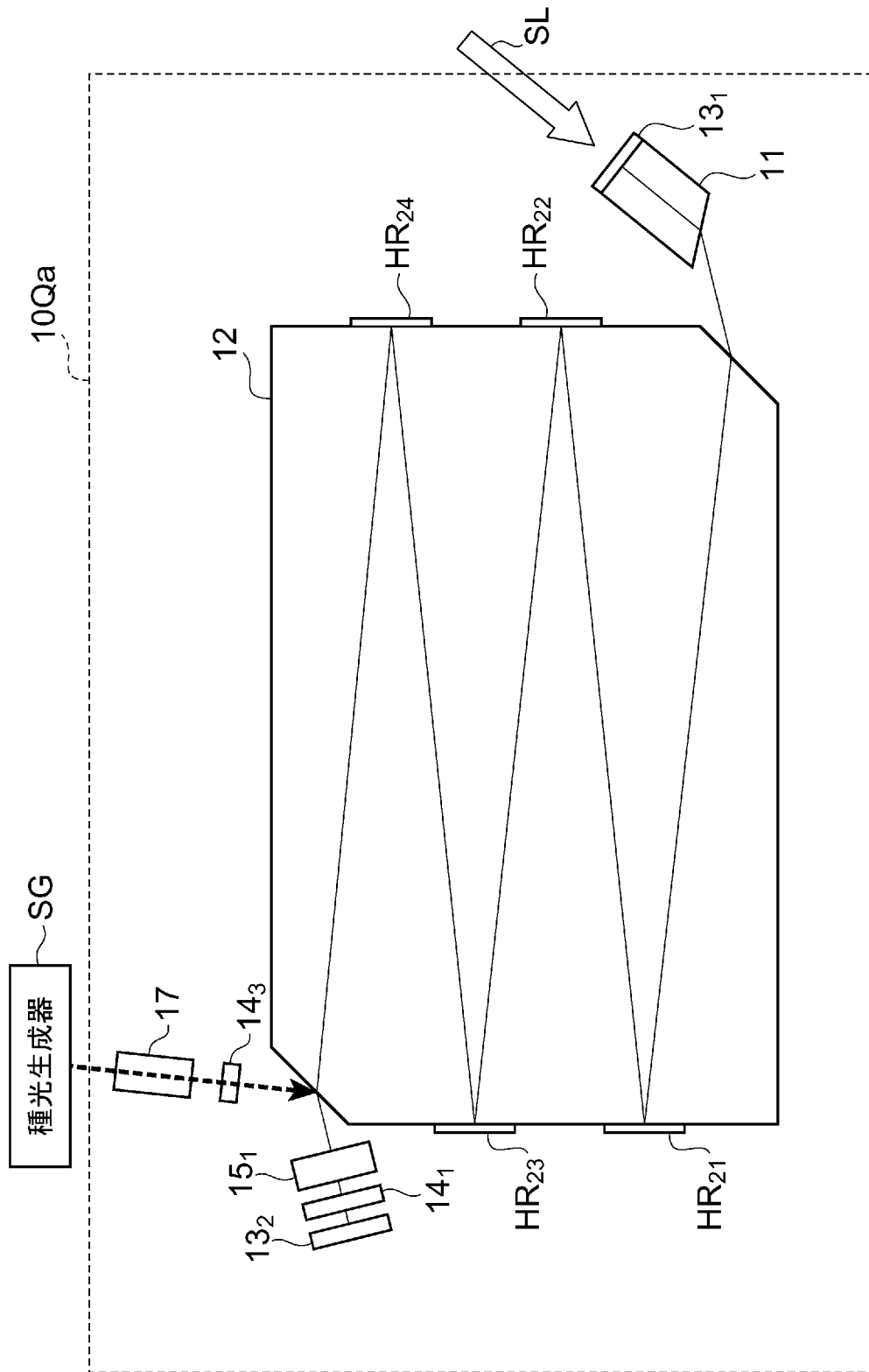
[図21]



[図22]

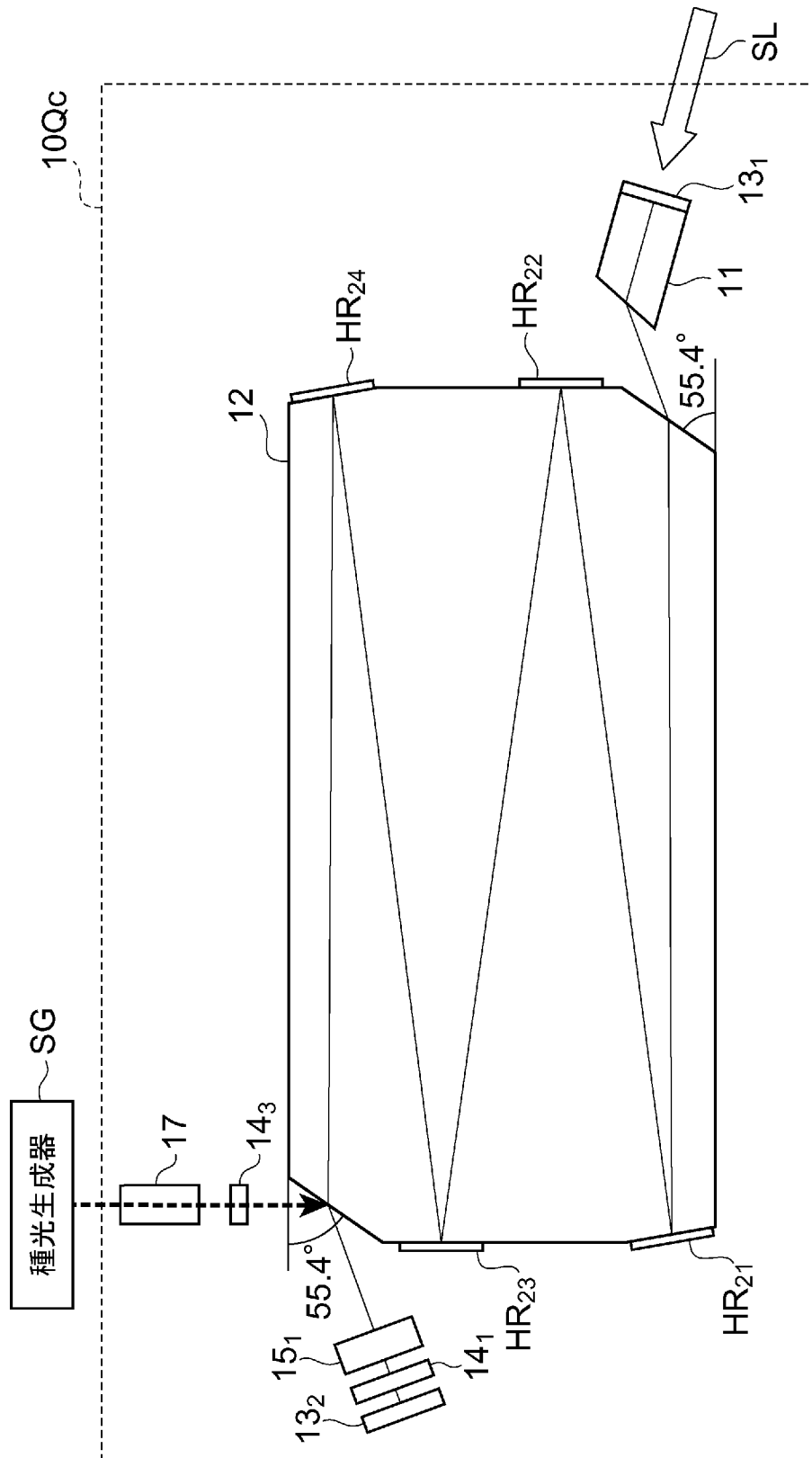


[図23]

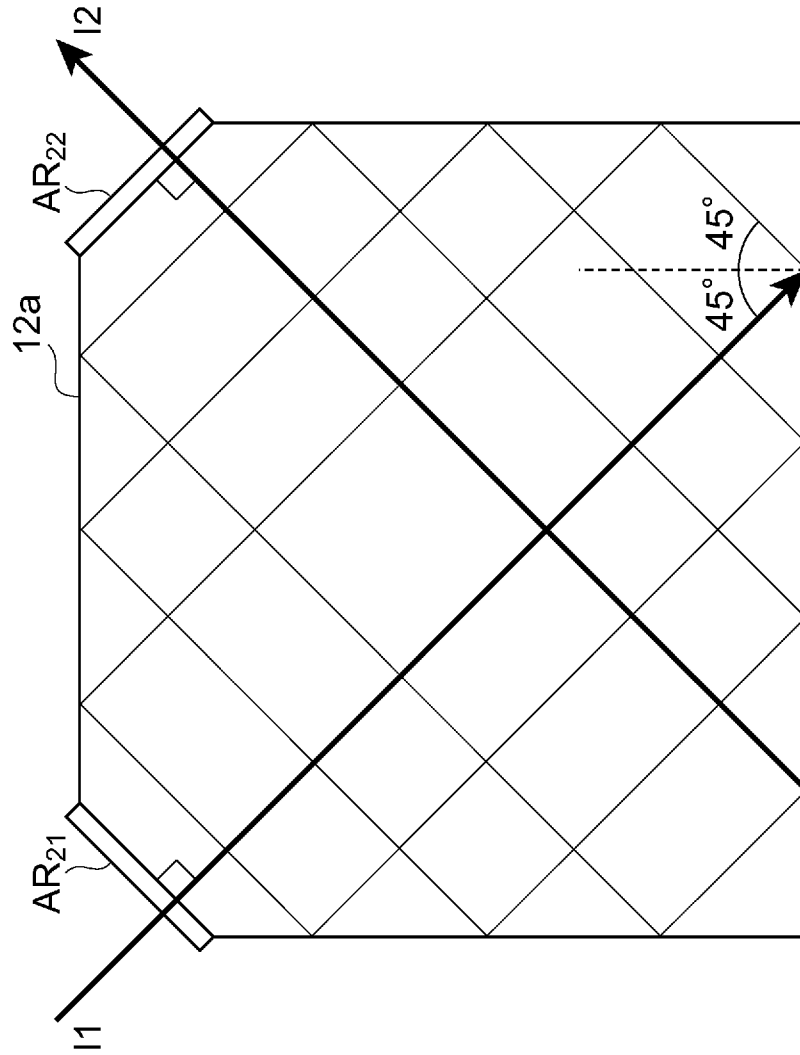




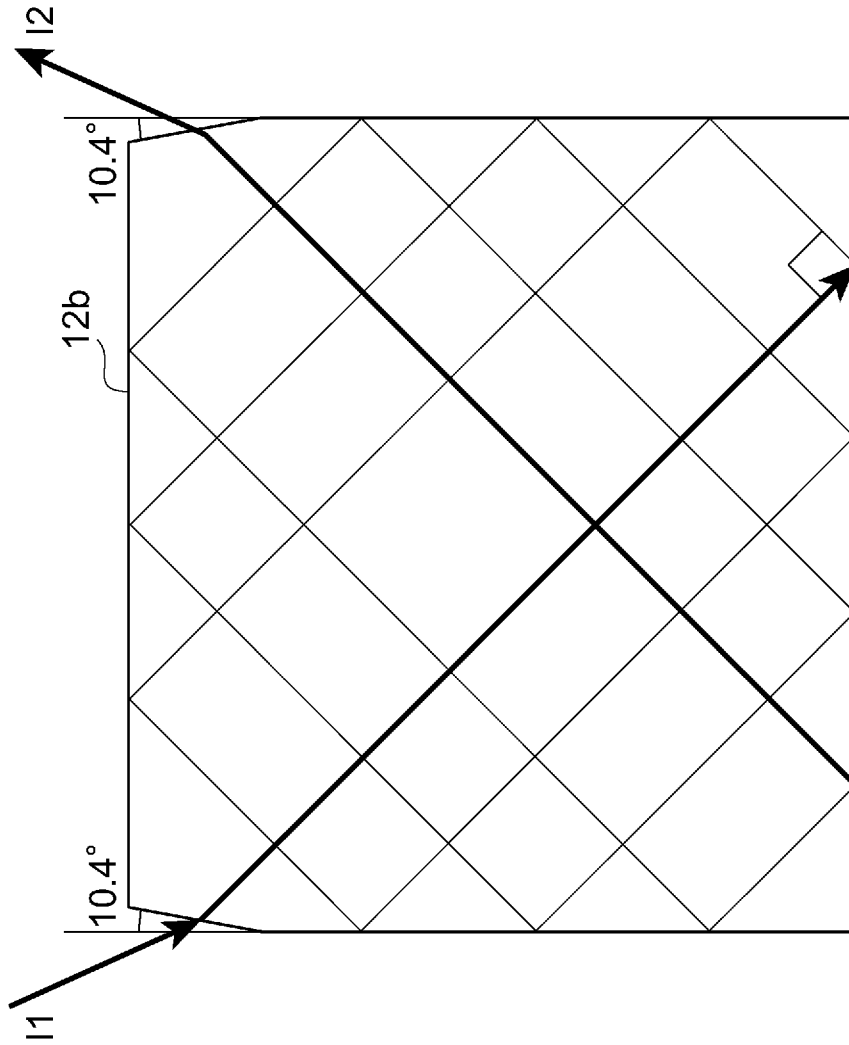
[図25]



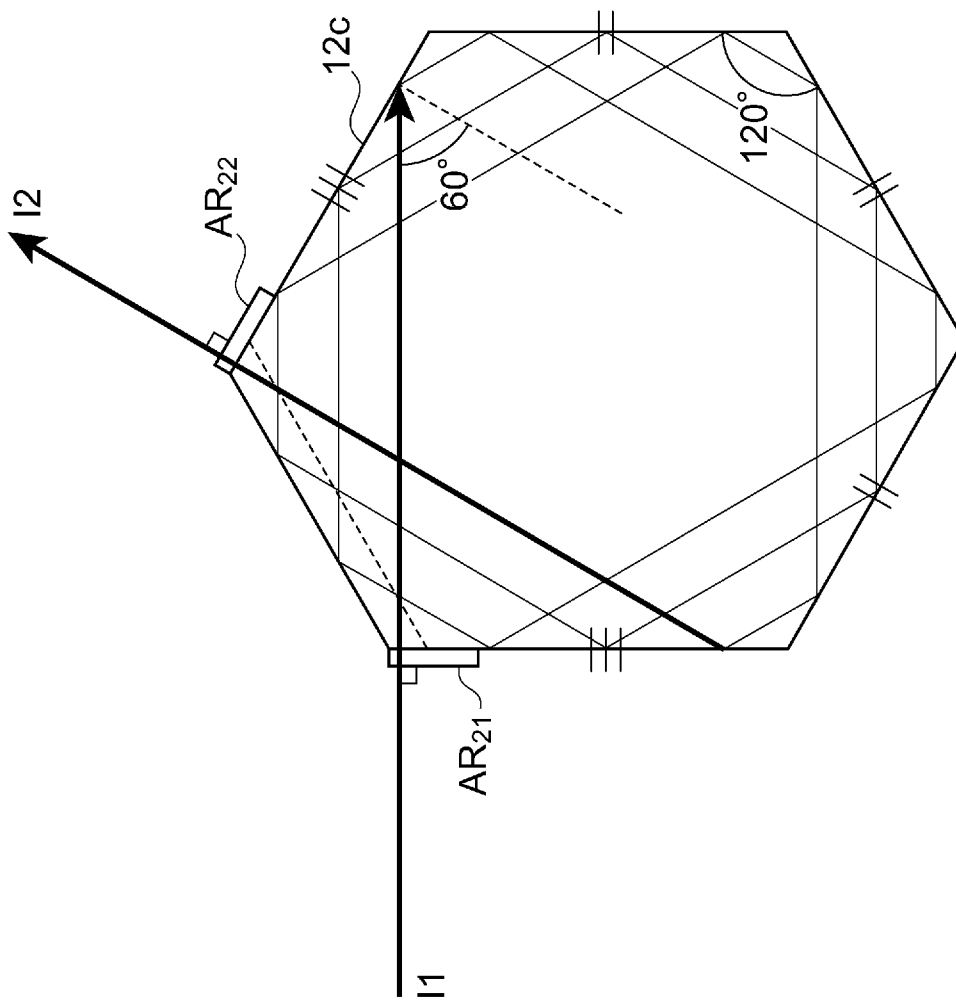
[図26]



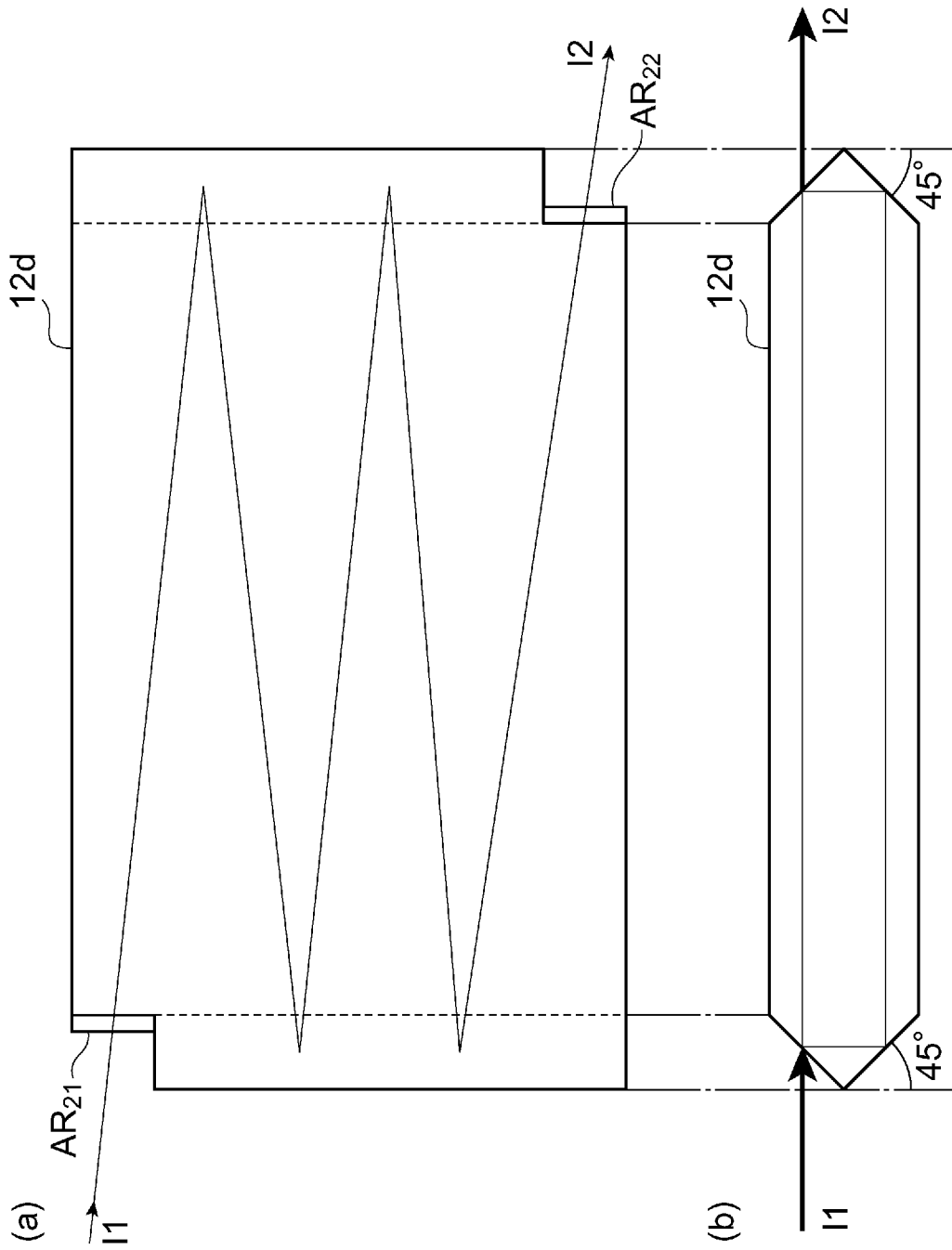
[図27]



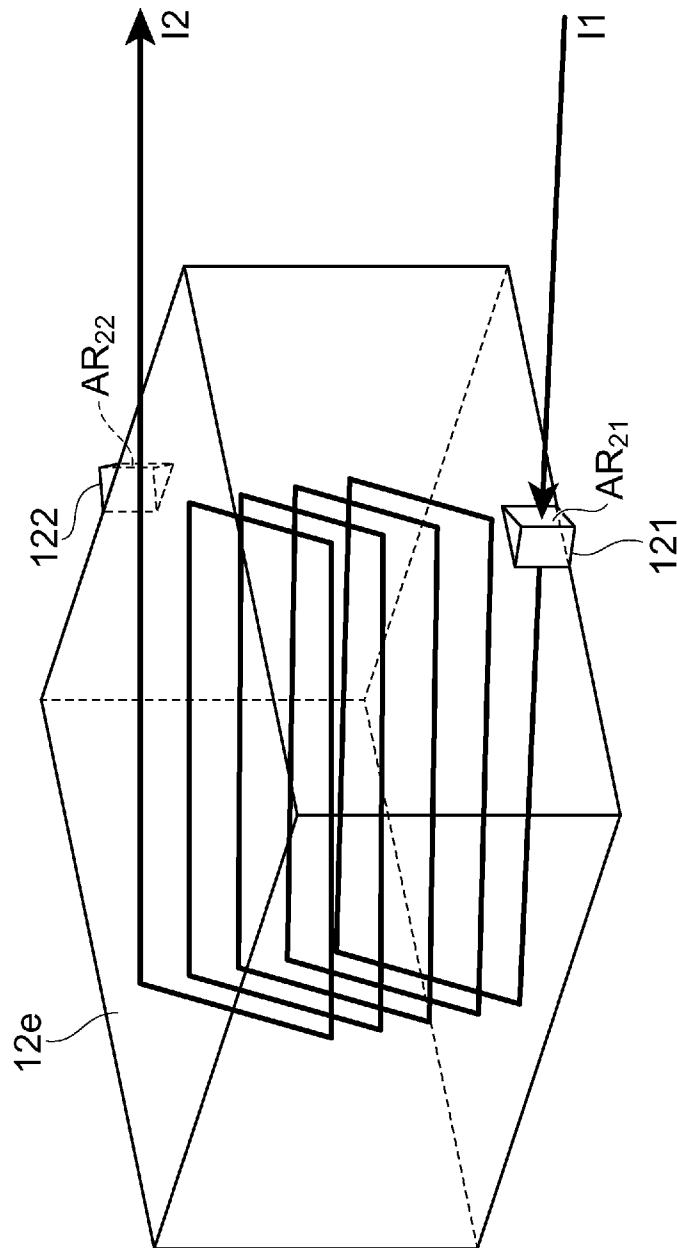
[図28]



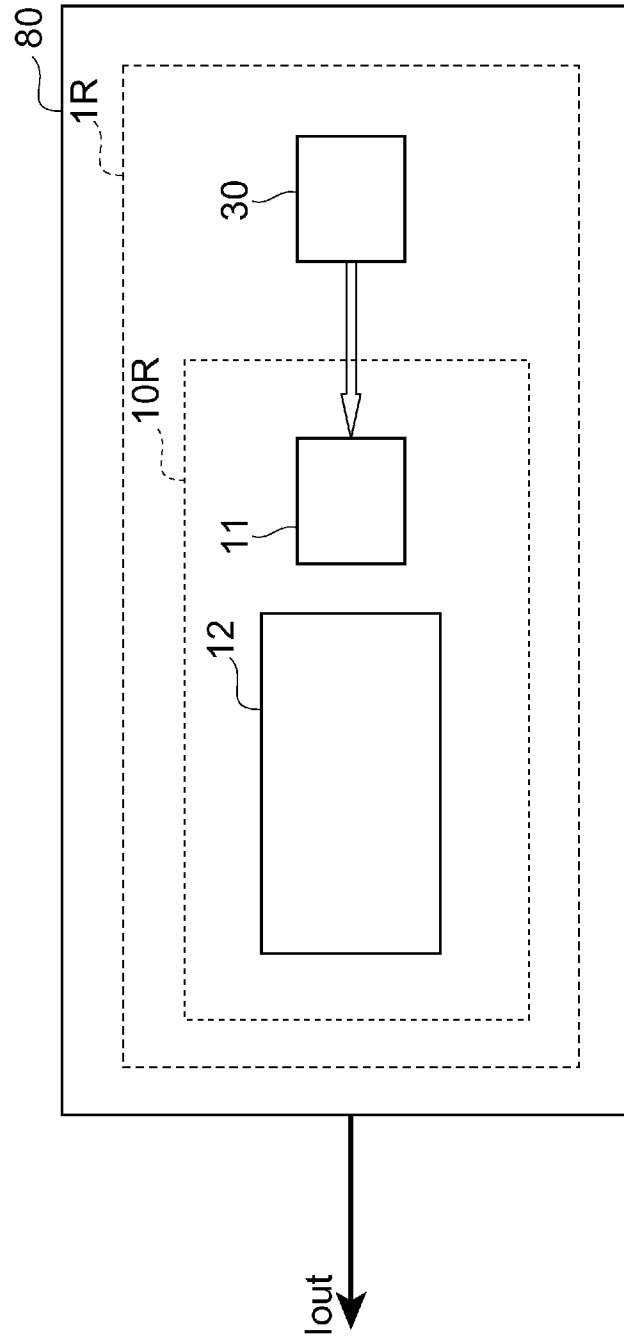
[図29]



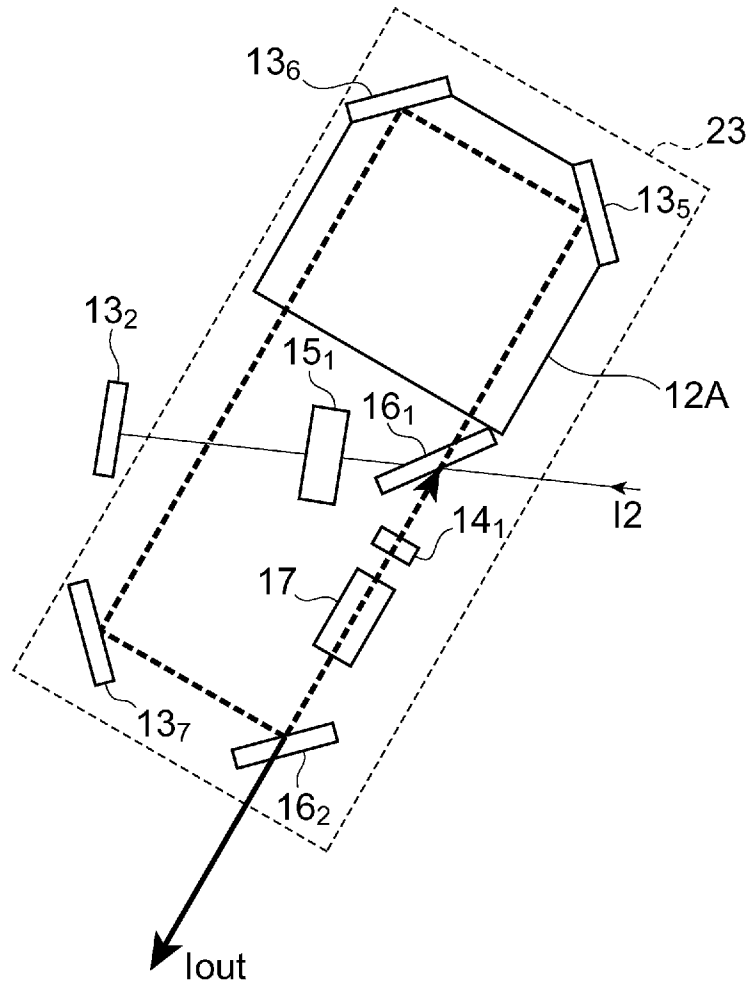
[図30]



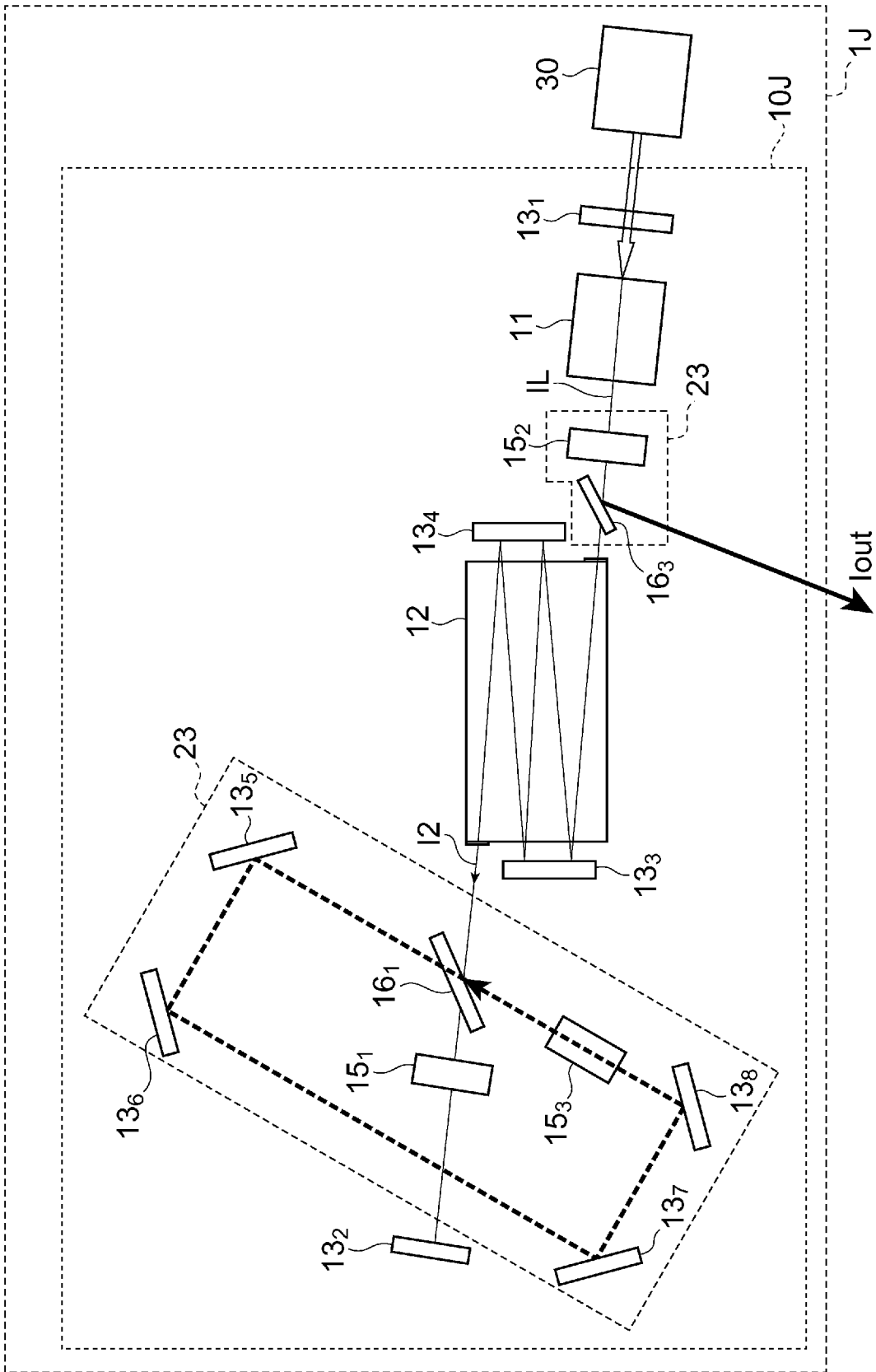
[図31]



[図32]



[図33]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2007/063822

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01S3/10(2006.01) i</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>														
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01S3/10</p> <p>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      1996-2007                  Kokai Jitsuyo Shinan Koho              1971-2007      Toroku Jitsuyo Shinan Koho      1994-2007</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>														
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X Y</td> <td>JP 11-214780 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 August, 1999 (06.08.99), Par. Nos. [0032] to [0034]; Fig. 4 (Family: none)</td> <td>1-3, 7, 12 4-6, 8, 9, 11, 13-15, 17, 18, 21</td> </tr> <tr> <td>X Y</td> <td>JP 2001-251002 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 14 September, 2001 (14.09.01), Par. Nos. [0002] to [0012]; Fig. 3 (Family: none)</td> <td>1, 3, 7, 12, 19 5, 6, 8-11, 13-15, 17, 18, 21</td> </tr> <tr> <td>X Y</td> <td>JP 2005-513791 A (Agilent Technologies Inc.), 12 May, 2005 (12.05.05), Par. Nos. [0025] to [0035]; Fig. 5 &amp; US 2004/246583 A1                      &amp; WO 2003/052883 A2</td> <td>1, 3, 12, 16, 20 13-15, 17, 18</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X Y	JP 11-214780 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 August, 1999 (06.08.99), Par. Nos. [0032] to [0034]; Fig. 4 (Family: none)	1-3, 7, 12 4-6, 8, 9, 11, 13-15, 17, 18, 21	X Y	JP 2001-251002 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 14 September, 2001 (14.09.01), Par. Nos. [0002] to [0012]; Fig. 3 (Family: none)	1, 3, 7, 12, 19 5, 6, 8-11, 13-15, 17, 18, 21	X Y	JP 2005-513791 A (Agilent Technologies Inc.), 12 May, 2005 (12.05.05), Par. Nos. [0025] to [0035]; Fig. 5 & US 2004/246583 A1                      & WO 2003/052883 A2	1, 3, 12, 16, 20 13-15, 17, 18
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X Y	JP 11-214780 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 August, 1999 (06.08.99), Par. Nos. [0032] to [0034]; Fig. 4 (Family: none)	1-3, 7, 12 4-6, 8, 9, 11, 13-15, 17, 18, 21												
X Y	JP 2001-251002 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 14 September, 2001 (14.09.01), Par. Nos. [0002] to [0012]; Fig. 3 (Family: none)	1, 3, 7, 12, 19 5, 6, 8-11, 13-15, 17, 18, 21												
X Y	JP 2005-513791 A (Agilent Technologies Inc.), 12 May, 2005 (12.05.05), Par. Nos. [0025] to [0035]; Fig. 5 & US 2004/246583 A1                      & WO 2003/052883 A2	1, 3, 12, 16, 20 13-15, 17, 18												
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.                      <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>														
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>										
<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>													
<p>Date of the actual completion of the international search 21 August, 2007 (21.08.07)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 11 September, 2007 (11.09.07)</p>												
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</p>		<p>Authorized officer</p>												
<p>Facsimile No.</p>		<p>Telephone No.</p>												

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/063822

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 11-274664 A (Laser Noshuku Gijutsu Kenkyu Kumiai, Toshiba Corp.), 08 October, 1999 (08.10.99), Par. No. [0021]; Fig. 1 (Family: none)	6
Y	JP 10-268369 A (Imra America, Inc.), 09 October, 1998 (09.10.98), Par. Nos. [0044] to [0047]; Fig. 5 & US 6181463 B1 & DE 19812203 A1	8-11
Y	JP 6-277227 A (Toshiba Medical Engineering Kabushiki Kaisha), 04 October, 1994 (04.10.94), Claims & US 5738681 A & US 5928223 A & US 5554156 A	21

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. 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. H01S3/10		
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 1971-2007年 日本国実用新案登録公報 1996-2007年 日本国登録実用新案公報 1994-2007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 請求の範囲の番号
X  Y	JP 11-214780 A (三菱電機株式会社) 1999.08.06, 段落【0032】 - 【0034】, 図4 (ファミリーなし)	1-3, 7, 12  4-6, 8, 9, 11, 13-15, 17, 18, 21
<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 21.08.2007	国際調査報告の発送日 11.09.2007	
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) 傍島 正朗 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	2K 3719

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 請求の範囲の番号
X	JP 2001-251002 A (日本電信電話株式会社) 2001. 09. 14, 段落【0002】 －【0012】， 図 3 (ファミリーなし)	1, 3, 7, 12, 19
Y		5, 6, 8-11, 13-15, 17, 18, 21
X	JP 2005-513791 A (アジレント・テクノロジー・インク) 2005. 05. 12, 段落【0025】－【0035】， 図 5 & US 2004/246583 A1 & WO 2003/052883 A2	1, 3, 12, 16, 20
Y		13-15, 17, 18
Y	JP 11-274664 A (レーザー濃縮技術研究組合、株式会社東芝) 1999. 10. 08, 段落【0021】， 図 1 (ファミリーなし)	6
Y	JP 10-268369 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 1998. 10. 09, 段落【0044】－【0047】， 図 5 & US 6181463 B1 & DE 19812203 A1	8-11
Y	JP 6-277227 A (東芝メディカルエンジニアリング株式会社) 1994. 10. 04, 特許請求の範囲 & US 5738681 A & US 5928223 A & US 5554156 A	21