

(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
2013年11月14日(14.11.2013)



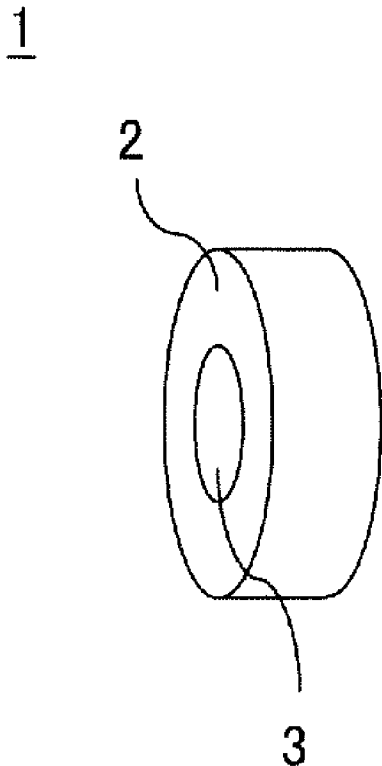
(10) 国際公開番号
WO 2013/168587 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/113 (2006.01) H01S 3/063 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/062252
- (22) 国際出願日: 2013年4月25日(25.04.2013)
- (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 2012-107393 2012年5月9日(09.05.2012) JP
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 秋野 陽介(AKINO, Yosuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 平野 嘉仁(HIRANO, Yoshihito); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 柳澤 隆行(YANAGISAWA, Takayuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 深堀 秀則(FUKAHORI, Hidenori); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 曾我 道治, 外(SOGA, Michiharu et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号 国際ビルディング 8階 曾我特許事務所 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, 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: PASSIVE Q-SWITCH ELEMENT AND PASSIVE Q-SWITCH LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 受動Qスイッチ素子および受動Qスイッチレーザ装置



(57) Abstract: Provided are a passive Q-switch element, etc., with which, in a Q-switch pulse laser, etc., which oscillates in a plurality of higher-order modes, mode selection is possible without increasing the number of components within a resonator, and application is possible even in a waveguide laser with which spatial mode control is not possible. A passive Q-switch element, passive Q-switch laser device, planar waveguide passive Q-switch element, and passive Q-switch laser device are made to combine a saturable absorber body (2) and a transparent material (3) which is transparent to a laser oscillation wavelength, etc., and to hold a mode selection function in the passive Q-switch element.

(57) 要約: 多くの高次モードで発振するQスイッチパルスレーザ等において、共振器内の部品数を増加せずに、モード選択を可能とし、空間的にモード制御できない導波路型レーザにおいても適用可能な受動Qスイッチ素子等を提供する。可飽和吸収体(2)とレーザ発振波長に対して透明な透明材料(3)を組み合わせる等して、受動Qスイッチ素子にモード選択機能を持たせた受動Qスイッチ素子、受動Qスイッチレーザ装置、および平面導波路型の受動Qスイッチ素子、受動Qスイッチレーザ装置とした。

WO 2013/168587 A1

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 (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 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

受動Qスイッチ素子および受動Qスイッチレーザ装置

技術分野

[0001] この発明は、可飽和吸収体を用いた受動Qスイッチ素子、特にモード選択機能を持たせること等に関する。

背景技術

[0002] 可飽和吸収体は、光の吸収量によって透過率が変化する材料で、レーザ共振器内に挿入するだけで、Qスイッチ装置として機能することが知られている。弱い励起状態では、レーザ発振を抑制するが、レーザ材料が強く励起され、可飽和吸収体の吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。ここで、可飽和吸収体は、強いレーザ光を吸収すると、下準位イオンの枯渇により吸収が飽和し、レーザ光に対して急峻に透明になる。この動作により、共振器のQ値が上昇し、Qスイッチ発振が発生する。

[0003] 受動Qスイッチレーザの一例として、半導体レーザと結合光学系、スラブ型のレーザ材料、全反射ミラーと出力鏡と可飽和吸収体で構成された受動Qスイッチレーザが報告されている(下記非特許文献1)

[0004] 下記非特許文献1で開示されているような通常の固体パルスレーザでは多くの高次モードで発振する。高次モードで発振したレーザ光はシングルモードのレーザ光より空間的に大きな広がりを持つため、小さな開口制限を行えば、低次モードのみの発振が起こりうる。

[0005] このため、従来のレーザ装置では、共振器内に横モード選択素子として微小穴を持つ遮蔽板によって周辺の不要なモードの発振を抑制するレーザ装置が提案されている(下記特許文献1参照)。

[0006] また、従来の固体レーザ装置の一例として、出力鏡の中心部に部分反射コーティングを、その外周部に無反射コーティングを施し、共振器内のモードを制御するレ

ーザ装置が提案されている(特許文献2参照)。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特公平6-26273号公報(第4頁、第1図)
特許文献2：特許第2980788号明細書(第24頁、第1図)

非特許文献

- [0008] 非特許文献1：W.Koechner著、” Solid-State Laser Engineering”、Sixth Revised and Updated Edition、P.528、Fig8.29、2006

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 上記特許文献1に開示された従来の固体レーザ装置の微小穴を持つ遮蔽板をQスイッチパルスレーザの共振器内に挿入した場合、遮蔽板の穴のエッジ部による回折によって、局所的に共振器内のレーザパワーが増加し、共振器内の光学部品に焼損が発生するという課題があった。また、共振器内の部品点数が増加し、遮蔽板の光軸調整が必要となり、レーザ装置の大型化、コスト高、工数の増加という課題があった。さらに、空間的にモード制御できない導波路型レーザには適用できないという課題があった。
- [0010] 上記特許文献2に開示された従来の固体レーザ装置は出力鏡内に反射率の異なるコーティングを施すため、加工費が増大するという課題があった。また、一般的に導波路厚が数～100 μ mの導波路レーザにおいて、この領域内にコーティングで反射率に分布を施すことは困難で、導波路型レーザには適用できないという課題があった。
- [0011] この発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、多くの高次モードで発振するQスイッチパルスレーザ等において、共振器内の部品数を増加せずに、モード選択を可能とし、空間的にモード制御できない導波路型レーザにおいても適用可能な受動Qスイッチ素子等を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0012] この発明は概して、可飽和吸収体とレーザ発振波長に対して透明な透明材料を組み合わせて、受動Qスイッチ素子にモード選択機能を持たせた受動Qスイッチ素子等にある。

発明の効果

[0013] この発明によれば、導波路型レーザを含む、多くの高次モードで発振する受動Qスイッチレーザ装置において、共振器内の部品数を増やさずに、モード選択させることができる受動Qスイッチ素子等を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]この発明の実施の形態1による受動Qスイッチ素子を示す構成図である。

[図2]この発明の実施の形態1による受動Qスイッチ素子を用いた受動Qスイッチレーザ装置の構成図である。

[図3]この発明の実施の形態2による平面導波路型受動Qスイッチ素子を示す構成図である。

[図4]この発明の実施の形態2による平面導波路型受動Qスイッチ素子を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置の構成図である。

[図5]この発明の実施の形態3による平面導波路型受動Qスイッチ素子を示す構成図である。

[図6]この発明の実施の形態3による平面導波路型受動Qスイッチ素子を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置の構成図である。

[図7]この発明の実施の形態3による平面導波路型受動Qスイッチ素子のBPM(ビーム伝搬法)によるシミュレーション結果を示す図である。

[図8]この発明の実施の形態4による受動Qスイッチ素子を示す構成図である。

[図9]この発明の実施の形態4による受動Qスイッチ素子を用いた受動Qスイッチレーザ装置の構成図である。

[図10]この発明の実施の形態5による平面導波路型受動Qスイッチ素子を示す

す構成図である。

[図11]この発明の実施の形態5による平面導波路型受動Qスイッチ素子を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置の構成図である。

[図12]この発明の実施の形態6による平面導波路型受動Qスイッチ素子を示す構成図である。

[図13]この発明の実施の形態6による平面導波路型受動Qスイッチ素子を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置の構成図である。

[図14]この発明の実施の形態7によるリッジ導波路型受動Qスイッチ素子を示す構成図である。

[図15]この発明の実施の形態7によるリッジ導波路型受動Qスイッチ素子を用いたリッジ導波路型受動Qスイッチレーザ装置の構成図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、この発明による受動Qスイッチ素子等を各実施の形態に従って図面を用いて説明する。

[0016] 実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1による受動Qスイッチ素子1を示す構成図である。図1において受動Qスイッチ素子1はリング形状の可飽和吸収体2と円盤形状(レーザ光の伝搬方向に垂直な断面の形状が円形の円柱形、以下同様)の透明材料3と、で構成され、透明材料3の円周上に(レーザ光の伝搬方向軸の周囲全体に亘って、以下同様)可飽和吸収体2が光学的に接合されている。透明材料3はレーザ発振波長に対して透明な材料である。

[0017] 受動Qスイッチ素子1において、可飽和吸収体2と透明材料3は、屈折率と熱膨張率がほぼ等しいまたは等しい材料を用いる。例えば、透明材料3は、可飽和吸収体2のホスト材料(母材結晶)を用いると良い。可飽和吸収体2と透明材料3の屈折率差が大きいと波面収差による損失が増加するため、小さい方が望ましい。例えば、波面収差がp-v値で $\lambda/4$ 以下(波面収差損失0.012)にするためには、波長1064nm、受動Qスイッチ素子1の厚さを1mmとすると、可飽和吸収体2と透明材料3の屈折率差は、

[0018] $\Delta \phi_{\text{RMS}} = 1 / 4 > \Delta n \times L / \lambda$

[0019] より、0.000266以下にする必要があると見積られる。

ここで、

$\Delta \phi_{\text{RMS}}$: 波面収差

Δn : 屈折率差

L : 受動Qスイッチ素子1の厚さ

λ : 波長

を示す。

[0020] 例えば、可飽和吸収体2に $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ や $\text{V}^{3+} : \text{YAG}$ を用いる場合は、透明材料3は、屈折率(約1.83)、熱膨張率(約 $7.8 \times 10^{-6} / \text{K}$)に近い無添加YAGを用いるとよい。

また、可飽和吸収体2に $\text{Co} : \text{Spinel}$ を用いた場合は、透明材料3は、屈折率(約1.70)、熱膨張率(約 $7.45 \times 10^{-6} / \text{K}$)の無添加Spinelを用いるとよい。

また、可飽和吸収体2に $\text{Co}^{2+} : \text{ZnSe}$ や $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnSe}$ を用いた場合は、透明材料3は、屈折率(約2.49)、熱膨張率(約 $7.6 \times 10^{-6} / \text{K}$)の無添加ZnSe、可飽和吸収体2に $\text{Co}^{2+} : \text{ZnS}$ や $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnS}$ を用いた場合は、透明材料3は、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約 $6.5 \times 10^{-6} / \text{K}$)の無添加ZnSを用いるとよい。

[0021] また、可飽和吸収体2と透明材料3は、光学的に接続されており、例えば、可飽和吸収体2と透明材料3はセラミクス材料により一体に焼結させる方法がある。

また、可飽和吸収体2と透明材料3は拡散接合により一体に接合させる方法がある。

また、可飽和吸収体2と透明材料3は表面活性化接合により一体に接合させる方法がある。

さらに、可飽和吸収体2と透明材料3はオプティカルコンタクトにより一体に接合させる方法がある。

さらに、可飽和吸収体 2 と透明材料 3 は光学接着剤により一体に接着させる方法がある。

[0022] 次に動作について説明する。図 2 は受動 Q スイッチ素子 1 を用いた受動 Q スイッチレーザ装置 11 の構成図である。図 2 において受動 Q スイッチレーザ装置 11 は、受動 Q スイッチ素子 1 と、半導体レーザ 12 と、励起光学系 13 と、全反射ミラー 14 と、レーザ材料 15 と、出力鏡 16 によって構成される。AX はレーザ光の伝搬方向軸を示す(以下同様)。

なお、半導体レーザ 12 はレーザ材料 15 の励起光源で、全反射ミラー 14 と出力鏡 16 が空間型の共振器を構成する。AX はレーザ光の伝搬方向軸を示す。

[0023] 半導体レーザ 12 から励起光 PL が出力され、励起光学系 13 によって、レーザ材料 15 内で平行光になるように励起光 PL は整形され、全反射ミラー 14 を通過し、レーザ材料 15 に入射する。励起光 PL によってレーザ材料 15 は励起され、自然放出光が発生し、その一部は、全反射ミラー 14 と出力鏡 16 間を往復し、レーザ材料 15 を通過する度に増幅される。

[0024] 可飽和吸収体 2 の吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。レーザ発振が発生する周回時に、共振光 CL は、受動 Q スイッチ素子 1 によって、受動 Q スイッチ素子 1 の外側にある可飽和吸収体 2 を伝搬する成分は吸収され、受動 Q スイッチ素子 1 の中心部にある透明材料 3 を伝搬する成分は損失なく透過するため、高次モード光の損失が大きくなり、低次モードのみが発振する。発振するとレーザ光を吸収して可飽和吸収体 2 は透明になるので、損失は小さくなり、低次モードの Q スイッチパルス光を効率良く発生させ、その一部の光が発振光 OL として出力鏡 16 から取り出される。

[0025] 全反射ミラー 14 と出力鏡 16 は、それぞれレーザ材料 15 の端面と受動 Q スイッチ素子 1 の端面に誘電体膜を設け、一体化することによって、装置の小型化が図れる。

[0026] 透明材料 3 は、円形(円盤形状)としたが、透明材料は四角形(立方体：レー

ザ光の伝搬方向に垂直な断面の形状が四角形、以下同様)でその周囲に可飽和吸収体 2 が接合されていてもよい。形状を立方体にすることによって、ビームの水平方向と垂直方向が分離できる場合に有効となる。

[0027] 以上のように、この発明の実施の形態 1 による受動 Q スイッチ素子 1 においては、円盤形状の透明材料 3 の円周上にリング形状の可飽和吸収体 2 を光学的に接合するようにしたので、受動 Q スイッチ素子 1 に本来の Q スイッチ機能の他にモード選択機能を持たせ、効率のよい低次モードの Q スイッチパルス光をレーザ装置の大きさを変えることなく、得られるようにすることができる。

[0028] 実施の形態 2.

図 3 は、この発明の実施の形態 2 による平面導波路型受動 Q スイッチ素子 2 1 を示す構成図である。図 3 において平面導波路型受動 Q スイッチ素子 2 1 は、平面状(レーザ光の伝搬方向に沿って平らな例えば四角形の板形状、以下同様)の第 1 の可飽和吸収体 2 2 a と、平面状の第 2 の可飽和吸収体 2 2 b と、平面状の透明材料 2 3 と、で構成される。

[0029] 第 1 の可飽和吸収体 2 2 a と第 2 の可飽和吸収体 2 2 b はそれぞれ透明材料 2 3 の対向する 2 つの面(主面、以下同様)に光学的に接合され、第 1 の可飽和吸収体 2 2 a の透明材料 2 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)と、第 2 の可飽和吸収体 2 2 b の透明材料 2 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)とで、導波路を形成する。

[0030] 平面導波路型受動 Q スイッチ素子 2 1 において、透明材料 2 3 は、接合時の応力による割れを抑制するために、第 1 の可飽和吸収体 2 2 a および第 2 の可飽和吸収体 2 2 b の熱膨張率とほぼ等しいまたは等しい熱膨張率の材料を用いる。また、透明材料 2 3 の屈折率は、第 1 の可飽和吸収体 2 2 a および第 2 の可飽和吸収体 2 2 b との界面での反射を抑制するために、第 1 の可飽和吸収体 2 2 a および第 2 の可飽和吸収体 2 2 b の屈折率より低い材料を用いる。

[0031] 例えば、第 1 の可飽和吸収体 2 2 a、第 2 の可飽和吸収体 2 2 b に Cr^{4+} :

YAGやV³⁺:YAGを用いる場合は、透明材料23は、屈折率(約1.83)、熱膨張率(約 $7.8 \times 10^{-6}/K$)に近い無添加YAGを用いるとよい。

また、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bにCo:Spinelを用いた場合は、透明材料23は、屈折率(約1.70)、熱膨張率(約 $7.45 \times 10^{-6}/K$)の無添加Spinelを用いるとよい。

また、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bにCo²⁺:ZnSeまたはCr²⁺:ZnSeを用いた場合は、透明材料23は、屈折率(約2.49)、熱膨張率(約 $7.6 \times 10^{-6}/K$)の無添加ZnSe、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bにCo²⁺:ZnSやCr²⁺:ZnSを用いた場合は、透明材料23は、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約 $6.5 \times 10^{-6}/K$)の無添加ZnSを用いるとよい。

[0032] また、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bと透明材料23は、光学的に接続されており、例えば、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bと透明材料23はセラミクス材料により一体に焼結させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bと透明材料23は拡散接合により一体に接合させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bと透明材料23は表面活性化接合により一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bと透明材料23はオプティカルコンタクトにより一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体22a、第2の可飽和吸収体22bと透明材料23は光学接着剤により一体に接着させる方法がある。

[0033] 次に動作について説明する。図4は平面導波路型受動Qスイッチ素子21を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置31の構成図である。図4において平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置31は、平面導波路型受動Qスイッチ素子21と、平面導波路型の半導体レーザ32と、励起光学系33と、全反射ミラー34と、レーザ材料35と、出力鏡36によって構成さ

れる。

なお、半導体レーザ 3 2 は、レーザ材料 3 5 の励起光源で、全反射ミラー 3 4 と出力鏡 3 6 が平面導波路型の共振器を構成する。

[0034] 半導体レーザ 3 2 から励起光 P L が出力され、励起光学系 3 3 によって、平面導波路型レーザ材料 3 5 内に導波路垂直方向に対しては損失なく、導波路水平方向に対しては平行光になるように励起光 P L は整形され、全反射ミラー 3 4 を通過し、平面導波路型レーザ材料 3 5 に入射する。励起光 P L によって平面導波路型レーザ材料 3 5 は励起され、自然放出光が発生し、その一部は、全反射ミラー 3 4 と出力鏡 3 6 間を往復し、平面導波路型レーザ材料 3 5 を通過する度に増幅される。

[0035] 第 1 の可飽和吸収体 2 2 a および第 2 の可飽和吸収体 2 2 b の吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。レーザ発振が発生する周回時に、共振光 C L は、平面導波路型受動 Q スイッチ素子 2 1 によって、平面導波路型受動 Q スイッチ素子 2 1 の導波路外側に設けられた、第 1 の可飽和吸収体 2 2 a および第 2 の可飽和吸収体 2 2 b を伝搬する成分は吸収され、受動 Q スイッチ素子 2 1 の中心部に設けられた透明材料 2 3 を伝搬する成分は損失なく透過するため、高次モード光の損失が大きくなり、低次モードのみが発振する。発振するとレーザ光を吸収して第 1 の可飽和吸収体 2 2 a および第 2 の可飽和吸収体 2 2 b は透明になるので、損失は小さくなり、低次モードの Q スイッチパルス光を効率良く発生させ、その一部の光が発振光 O L として出力鏡 3 6 から取り出される。

[0036] 全反射ミラー 3 4 と出力鏡 3 6 は、それぞれ平面導波路型レーザ材料 3 5 の端面と平面導波路型受動 Q スイッチ素子 2 1 の端面に誘電体膜を設け、一体化することによって、装置の小型化が図れる。

[0037] 以上のように、この発明の実施の形態 2 による平面導波路型受動 Q スイッチ素子 2 1 においては、透明材料 2 3 の対向する 2 つの面に第 1 の可飽和吸収体 2 2 a と第 2 の可飽和吸収体 2 2 b をそれぞれ光学的に接合させ、第 1 の可飽和吸収体 2 2 a の透明材料 2 3 に接合されている面と対向する面(外側

の主面)と、第2の可飽和吸収体22bの透明材料23に接合されている面と対向する面(外側の主面)とで、導波路を形成するようにしたので、平面導波路型受動Qスイッチ素子21に本来のQスイッチ機能の他にモード選択機能を持たせ、効率のよい低次モードのQスイッチパルス光をレーザ装置の大きさを変えることなく、得られるようにすることができる。また、空間的にモード制御できない導波路においてもモードの制御が可能になる。

[0038] 実施の形態3.

図5は、この発明の実施の形態3による平面導波路型受動Qスイッチ素子41を示す構成図である。図5において平面導波路型受動Qスイッチ素子41は、平面状の第1の可飽和吸収体42aと、平面状の第2の可飽和吸収体42bと、平面状の透明材料43と、第1のクラッド膜44aと、第2のクラッド膜44bと、で構成される。

[0039] 第1の可飽和吸収体42aと第2の可飽和吸収体42bはそれぞれ透明材料43の対向する2つの面に光学的に接合され、第1の可飽和吸収体42aの透明材料43に接合されている面と対向する面には第1のクラッド膜44aが、第2の可飽和吸収体42bの透明材料43に接合されている面と対向する面には第2のクラッド膜44bが、設けられており、第1の可飽和吸収体42aの透明材料43に接合されている面と対向する面(外側の主面)と、第2の可飽和吸収体42bの透明材料43に接合されている面と対向する面(外側の主面)とで、導波路を形成する。

[0040] 平面導波路型受動Qスイッチ素子41において、透明材料43は、接合時の応力による割れを抑制するために、第1の可飽和吸収体42aおよび第2の可飽和吸収体42bの熱膨張率とほぼ等しいまたは等しい熱膨張率の材料を用いる。また、透明材料43の屈折率は、第1の可飽和吸収体42aや第2の可飽和吸収体42bとの界面での反射を抑制するために、第1の可飽和吸収体42aおよび第2の可飽和吸収体42bの屈折率より低い材料を用い、第1のクラッド膜44aおよび第2のクラッド膜44bは、それぞれ第1の可飽和吸収体42aおよび第2の可飽和吸収体42bの屈折率と比べて屈

折率が低い材料を用いる。

[0041] 例えば、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bにCr⁴⁺:YAGやV³⁺:YAGを用いる場合は、透明材料43は、屈折率(約1.83)、熱膨張率(約7.8×10⁻⁶/K)に近い無添加YAGを、第1のクラッド膜44a、第2のクラッド膜44bはSiO₂(屈折率約1.45)やAl₂O₃(屈折率約1.61)やM₂(屈折率約1.62)やM₃(屈折率約1.74)やY₂O₃(屈折率約1.81)を用いるとよい。

また、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bにCo:Spinelを用いた場合は、透明材料43は、屈折率(約1.70)、熱膨張率(約7.45×10⁻⁶/K)の無添加Spinelを、第1のクラッド膜44a、第2のクラッド膜44bはSiO₂(屈折率約1.45)やAl₂O₃(屈折率約1.61)やM₂(屈折率約1.62)を用いるとよい。

また、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bにCo²⁺:ZnSeやCr²⁺:ZnSeを用いた場合は、透明材料43は、屈折率(約2.49)、熱膨張率(約7.6×10⁻⁶/K)の無添加ZnSe、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bにCo²⁺:ZnSやCr²⁺:ZnSを用いた場合は、透明材料43は、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約6.5×10⁻⁶/K)の無添加ZnSを、第1のクラッド膜44a、第2のクラッド膜44bはSiO₂(屈折率約1.45)やAl₂O₃(屈折率約1.61)やM₂(屈折率約1.62)やM₃(屈折率約1.74)やY₂O₃(屈折率約1.81)やHfO₃(屈折率約1.90)やTa₂O₅(屈折率約2.09)を用いるとよい。

[0042] また、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bと透明材料43は、光学的に接続されており、例えば、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bと透明材料43はセラミクス材料により一体に焼結させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bと透明材料43は拡散接合により一体に接合させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bと透明材料43は表面活性化接合により一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bと透明材料43はオプティカルコンタクトにより一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体42a、第2の可飽和吸収体42bと透明材料43は光学接着剤により一体に接着させる方法がある。

[0043] 次に動作について説明する。図6は平面導波路型受動Qスイッチ素子41を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置51の構成図である。図6において平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置51は、平面導波路型受動Qスイッチ素子41と、半導体レーザ52と、励起光学系53と、全反射ミラー54と、平面導波路型レーザ材料55と、出力鏡56によって構成される。

なお、半導体レーザ52はレーザ材料55の励起光源で、全反射ミラー54と出力鏡56が平面導波路型の共振器を構成する。

[0044] 半導体レーザ52から励起光PLが出力され、励起光学系53によって、平面導波路型レーザ材料55内に導波路垂直方向に対しては損失なく、導波路水平方向に対しては平行光になるように励起光PLは整形され、全反射ミラー54を通過し、平面導波路型レーザ材料55に入射する。励起光PLによって平面導波路型レーザ材料55は励起され、自然放出光が発生し、その一部は、全反射ミラー54と出力鏡56間を往復し、平面導波路型レーザ材料55を通過する度に増幅される。

[0045] 第1の可飽和吸収体42aおよび第2の可飽和吸収体42bの吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。レーザ発振が発生する周回時に、共振光CLは、平面導波路型受動Qスイッチ素子41によって、平面導波路型受動Qスイッチ素子41の導波路の外側にある第1の可飽和吸収体42aおよび第2の可飽和吸収体42bを伝搬する成分は吸収され、受動Qスイッチ素子41の中心部にある透明材料43を伝搬する成分は損失なく透過するため、高次モード光の損失が大きい。

くなり、低次モードのみが発振する。発振するとレーザ光を吸収して第1の可飽和吸収体42aおよび第2の可飽和吸収体42bは透明になるので、損失は小さくなり、低次モードのQスイッチパルス光を効率良く発生させ、その一部の光が発振光OLとして出力鏡56から取り出される。

[0046] 全反射ミラー54と出力鏡56は、それぞれ平面導波路型レーザ材料55の端面と平面導波路型受動Qスイッチ素子41の端面に誘電体膜を設け、一体化することによって、装置の小型化が図れる。

[0047] 次にシミュレーション例を示す。図7に、BPM(ビーム伝搬法)によるシミュレーション結果を示す。

(a)は、

第1の可飽和吸収体42aと第2の可飽和吸収体42bは、厚さ50 μm ($=\mu\text{m}$)の $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ (屈折率1.813、減衰係数 4.2×10^{-5} (吸収係数 5 cm^{-1} 相当))、

透明材料43は、厚さ100 μm の無添加 YAG (屈折率1.813)、

第1のクラッド膜44aと第2のクラッド膜44bは、厚さ0.4 μm の Al_2O_3 (屈折率1.613)で

構成した導波路に高次モード光を想定するためにビーム径200 μm のトップハット形状のビームを入射した時の透過前後の強度分布を示す。

(b)は、前記の導波路に低次モード光を想定して、ビーム径200 μm ($1/e^2$)のガウシアンビームを入射した時の透過前後の強度分布を示す。

[0048] その結果、入射ビームがトップハット形状の場合((a)の場合)、透過率は0.33と見積もられるのに対して、入射ビームがガウシアン形状の場合((b)の場合)は、透過率は0.69と見積もられ、高次モード光の方が損失は大きくなることがわかった。

[0049] 共振光CLの垂直方向は導波路伝搬し、水平方向は放射モード伝搬する。垂直方向に対して、可飽和吸収体(42a, 42b)を設けることで、低次モード化ができることを述べたが、図14に示すリッジ導波路型Qスイッチ素子121のように可飽和吸収体122およびクラッド膜124a~124d

を透明材料に相当するレーザ材料 1 2 3 のレーザ光の伝搬方向軸の周囲全体に亘って設けることによって、水平方向も低次モード化が可能である。

平面導波路型受動 Q スイッチレーザ装置の場合でも、平面導波路型受動 Q スイッチ素子の透明材料またはレーザ材料の垂直方向のみならず水平方向にも(レーザ光の伝搬方向軸の周囲全体に亘って)可飽和吸収体、あるいはさらにクラッド膜を設けるようにする。可飽和吸収体およびクラッド膜の形状は、平面状のものを組み合わせたもの、リング形状のもの等、どのようなものでもよい。

[0050] 以上のように、この発明の実施の形態 3 による平面導波路型受動 Q スイッチ素子 4 1 においては、透明材料 4 3 の対向する 2 つの面に第 1 の可飽和吸収体 4 2 a と第 2 の可飽和吸収体 4 2 b をそれぞれ光学的に接合させ、第 1 の可飽和吸収体 4 2 a の透明材料 4 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)と、第 2 の可飽和吸収体 4 2 b の透明材料 4 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)とで、導波路を形成するようにしたので、受動 Q スイッチ素子 4 1 に本来の Q スイッチ機能の他にモード選択機能を持たせ、効率のよい低次モードの Q スイッチパルス光をレーザ装置の大きさを変えることなく、得られるようにすることができる。また、空間的にモード制御できない導波路においてもモードの制御が可能になる。

[0051] 実施の形態 4.

図 8 は、この発明の実施の形態 4 による受動 Q スイッチ素子 6 1 を示す構成図である。図 8 において受動 Q スイッチ素子 6 1 はリング形状の可飽和吸収体 6 2 と円盤形状のレーザ材料 6 3 と、で構成され、レーザ材料 6 3 の円周上に可飽和吸収体 6 2 が光学的に接合されている。

[0052] 受動 Q スイッチ素子 6 1 において、可飽和吸収体 6 2 とレーザ材料 6 3 の屈折率と熱膨張率はほぼ等しいまたは等しい材料を用いる。可飽和吸収体 6 2 とレーザ材料 6 3 の屈折率差が大きいと波面収差による損失が増加するため、小さい方が望ましい。波面収差が $p-v$ 値で $\lambda/4$ 以下(波面収差損失 0.012)にするためには、波長 1064 nm、受動 Q スイッチ素子 6 1 の厚

さを 1 mm とすると、可飽和吸収体 62 とレーザ材料 63 の屈折率差は、

$$[0053] \quad \Delta \phi_{\text{RMS}} = 1 / 4 > \Delta n \times L / \lambda$$

[0054] より、0.000266 以下にする必要があると見積られる。

ここで、

$\Delta \phi_{\text{RMS}}$: 波面収差

Δn : 屈折率差

L : 受動 Q スイッチ素子 61 の厚さ

λ : 波長

を示す。

[0055] 例えば、レーザ材料 63 に Nd : YAG や Yb : YAG を用いた場合、可飽和吸収体 62 には、0.9 ~ 1.3 μm 帯の受動 Q スイッチ材料として用いられる、屈折率(約 1.83)、熱膨張率(約 $7.8 \times 10^{-6} / \text{K}$)が近い Cr⁴⁺ : YAG や V³⁺ : YAG を用いるとよい。

[0056] また、可飽和吸収体 62 とレーザ材料 63 は、光学的に接続されており、例えば、可飽和吸収体 62 とレーザ材料 63 はセラミクス材料により一体に焼結させる方法がある。

また、可飽和吸収体 62 とレーザ材料 63 は拡散接合により一体に接合させる方法がある。

また、可飽和吸収体 62 とレーザ材料 63 は表面活性化接合により一体に接合させる方法がある。

さらに、可飽和吸収体 62 とレーザ材料 63 はオプティカルコンタクトにより一体に接合させる方法がある。

さらに、可飽和吸収体 62 とレーザ材料 63 は光学接着剤により一体に接着させる方法がある。

[0057] 次に動作について説明する。図 9 は受動 Q スイッチ素子 61 を用いた受動 Q スイッチレーザ装置 71 の構成図である。図 9 において受動 Q スイッチレーザ装置 71 は、受動 Q スイッチ素子 61 と、半導体レーザ 72 と、励起光学系 73 と、全反射ミラー 74 と、出力鏡 75 によって構成される。

なお、半導体レーザ72は受動Qスイッチ素子61内のレーザ材料63の励起光源で、全反射ミラー74と出力鏡75が空間型の共振器を構成する。

[0058] 半導体レーザ72から励起光PLが出力され、励起光学系73によって、受動Qスイッチ素子61内のレーザ材料63内で平行光になるように励起光PLは整形され、全反射ミラー74を通過し、受動Qスイッチ素子61内のレーザ材料63に入射する。励起光PLによって受動Qスイッチ素子61内のレーザ材料63は励起され、自然放出光が発生し、その一部は、全反射ミラー74と出力鏡75間を往復し、受動Qスイッチ素子61内のレーザ材料63を通過する度に増幅される。

[0059] 受動Qスイッチ素子61内の可飽和吸収体62の吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。レーザ発振が発生する周回時に、共振光CLは、受動Qスイッチ素子61によって、受動Qスイッチ素子61の外側にある可飽和吸収体62を伝搬する成分は吸収され、受動Qスイッチ素子61内のレーザ材料63を伝搬する成分は損失なく透過するため、高次モード光の損失が大きくなり、低次モードのみが発振する。発振するとレーザ光を吸収して可飽和吸収体62は透明になるので、損失は小さくなり、低次モードのQスイッチパルス光を効率良く発生させ、その一部の光が発振光OLとして出力鏡75から取り出される。

[0060] 全反射ミラー74と出力鏡75は、それぞれ受動Qスイッチ素子61の端面に誘電体膜を設け、一体化することによって、装置の小型化が図れる。

[0061] レーザ材料63は、円形(円盤形状)としたが、レーザ材料は四角形(立方体：レーザ光の伝搬方向に垂直な断面の形状が四角形、以下同様)でその周囲に可飽和吸収体が接合されていてもよい。形状を立方体にするによって、ビームの水平方向と垂直方向が分離できる場合に有効となる。

[0062] 以上のように、この発明の実施の形態4による受動Qスイッチ素子61においては、円盤形状のレーザ材料63の円周上にリング形状の可飽和吸収体62を光学的に接合するようにしたので、受動Qスイッチ素子61に本来の

Qスイッチ機能の他にモード選択機能を持たせ、効率のよい低次モードのQスイッチパルス光をレーザ装置の大きさを変えることなく、得られるようにすることができる。。また、レーザ材料としても機能するために、レーザ装置の小型化が図れる。

[0063] 実施の形態5.

図10は、この発明の実施の形態5による平面導波路型受動Qスイッチ素子81を示す構成図である。図10において平面導波路型受動Qスイッチ素子81は、平面状の第1の可飽和吸収体82aと、平面状の第2の可飽和吸収体82bと、平面状のレーザ材料83と、で構成される。

[0064] 第1の可飽和吸収体82aと第2の可飽和吸収体82bはそれぞれレーザ材料83の対向する2つの面に光学的に接合され、第1の可飽和吸収体82aのレーザ材料83に接合されている面と対向する面(外側の主面)と、第2の可飽和吸収体82bのレーザ材料83に接合されている面と対向する面(外側の主面)とで、導波路を形成する。

[0065] 平面導波路型受動Qスイッチ素子81において、レーザ材料83は、接合時の応力による割れを抑制するために、第1の可飽和吸収体82aおよび第2の可飽和吸収体82bの熱膨張率がほぼ等しいまたは等しい材料を用いる。また、レーザ材料83の屈折率は、第1の可飽和吸収体82aや第2の可飽和吸収体82bとの界面での反射を抑制するために、第1の可飽和吸収体82aおよび第2の可飽和吸収体82bの屈折率より低い材料を用いる。

[0066] 例えば、レーザ材料83にNd:YAGやYb:YAGを用いた場合、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bには、0.9~1.3 μ m帯の受動Qスイッチ材料として用いられ屈折率(約1.83)、熱膨張率(約 $7.8 \times 10^{-6}/K$)が近い、Cr⁴⁺:YAGやV³⁺:YAGを用いるとよい。

例えば、レーザ材料83にEr:glass(屈折率1.53)を用いた場合、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bには、アイセーフ帯の受動Qスイッチ材料として用いられる、屈折率(約1.70)、熱膨張

率(約 $7.45 \times 10^{-6}/K$)の $Co:Spinel$ や、屈折率(約2.49)、熱膨張率(約 $7.6 \times 10^{-6}/K$)の $Co^{2+}:ZnSe$ や $Cr^{2+}:ZnSe$ や、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約 $6.5 \times 10^{-6}/K$)の $Co^{2+}:ZnS$ や $Cr^{2+}:ZnS$ を用いるとよい。

また、レーザ材料83に $Er:YAG$ (屈折率1.813)を用いた場合、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bには、アイセーフ帯の受動Qスイッチ材料として用いられる、屈折率(約2.49)、熱膨張率(約 $7.6 \times 10^{-6}/K$)の $Co^{2+}:ZnSe$ や $Cr^{2+}:ZnSe$ や、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約 $6.5 \times 10^{-6}/K$)の $Co^{2+}:ZnS$ や $Cr^{2+}:ZnS$ を用いるとよい。

レーザ材料83に $Er:YVO_4$ (常屈折率約1.98、異常屈折率約2.18)を用いた場合、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bには、アイセーフ帯の受動Qスイッチ材料として用いられる、屈折率(約2.49)、熱膨張率(約 $7.6 \times 10^{-6}/K$)の $Co^{2+}:ZnSe$ や $Cr^{2+}:ZnSe$ や、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約 $6.5 \times 10^{-6}/K$)の $Co^{2+}:ZnS$ や $Cr^{2+}:ZnS$ を用いるとよい。

[0067] また、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bとレーザ材料83は、光学的に接続されており、例えば、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bとレーザ材料83はセラミクス材料により一体に焼結させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bとレーザ材料83は拡散接合により一体に接合させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bとレーザ材料83は表面活性化接合により一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bとレーザ材料83はオプティカルコンタクトにより一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体82a、第2の可飽和吸収体82bとレーザ材料83は光学接着剤により一体に接着させる方法がある。

[0068] 次に動作について説明する。図11は平面導波路型受動Qスイッチ素子81を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置91の構成図である。図11において平面導波路型受動Qスイッチレーザ装置91は、平面導波路型受動Qスイッチ素子81と、平面導波路型の半導体レーザ92と、励起光学系93と、全反射ミラー94と、出力鏡95によって構成される。

なお、半導体レーザ92は受動Qスイッチ素子81内のレーザ材料83の励起光源で、全反射ミラー94と出力鏡95が平面導波路型の共振器を構成する。

[0069] 半導体レーザ92から励起光PLが出力され、励起光学系93によって、平面導波路型受動Qスイッチ素子81内に導波路垂直方向に対しては損失なく、導波路水平方向に対しては平行光になるように励起光PLは整形され、全反射ミラー94を通過し、平面導波路型受動Qスイッチ素子81に入射する。励起光PLによって平面導波路型受動Qスイッチ素子81内のレーザ材料83は励起され、自然放出光が発生し、その一部は、全反射ミラー94と出力鏡95間を往復し、平面導波路型受動Qスイッチ素子81内のレーザ材料83を通過する度に増幅される。

[0070] 第1の可飽和吸収体82aおよび第2の可飽和吸収体82bの吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。レーザ発振が発生する周回時に、共振光CLは、平面導波路型受動Qスイッチ素子81によって、平面導波路型受動Qスイッチ素子81の導波路の外側にある第1の可飽和吸収体82a、および第2の可飽和吸収体82bを伝搬する成分は吸収され、受動Qスイッチ素子81の中心部にあるレーザ材料83を伝搬する成分は損失なく透過するため、高次モード光の損失が大きくなり、低次モードのみが発振する。発振するとレーザ光を吸収して第1の可飽和吸収体82a、および第2の可飽和吸収体82bは透明になるので、損失は小さくなり、低次モードのQスイッチパルス光を効率良く発生させ、その一部の光が発振光OLとして出力鏡95から取り出される。

[0071] 全反射ミラー94と出力鏡95は、それぞれ平面導波路型受動Qスイッチ

素子 8 1 の両端面に誘電体膜を設け、一体化することによって、装置の小型化が図れる。

[0072] 以上のように、この発明の実施の形態 5 による平面導波路型受動 Q スイッチ素子 8 1 においては、レーザ材料 8 3 の対向する 2 つの面に第 1 の可飽和吸収体 8 2 a と第 2 の可飽和吸収体 8 2 b をそれぞれ光学的に接合させ、第 1 の可飽和吸収体 8 2 a のレーザ材料 8 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)と、第 2 の可飽和吸収体 8 2 b のレーザ材料 8 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)で導波路を形成するので、平面導波路型受動 Q スイッチ素子 8 1 に本来の Q スイッチ機能の他にモード選択機能を持たせたので、効率がよい低次モードの Q スイッチパルス光を得られるようにすることができる。また、レーザ材料としても機能するために、レーザ装置の小型化や、通常、導波路型レーザ材料と導波路型 Q スイッチ素子間で発生する結合損失が抑制できる。さらに、空間的にモード制御できない導波路においてもモードの制御が可能になる。

[0073] 実施の形態 6.

図 1 2 は、この発明の実施の形態 6 による平面導波路型受動 Q スイッチ素子 1 0 1 を示す構成図である。図 1 2 において平面導波路型受動 Q スイッチ素子 1 0 1 は、平面状の第 1 の可飽和吸収体 1 0 2 a と、平面状の第 2 の可飽和吸収体 1 0 2 b と、平面状のレーザ材料 1 0 3 と、第 1 のクラッド膜 1 0 4 a と、第 2 のクラッド膜 1 0 4 b と、で構成される。

[0074] 第 1 の可飽和吸収体 1 0 2 a と第 2 の可飽和吸収体 1 0 2 b はそれぞれレーザ材料 1 0 3 の対向する 2 つの面に光学的に接合され、第 1 の可飽和吸収体 1 0 2 a のレーザ材料 1 0 3 に接合されている面と対向する面には第 1 のクラッド膜 1 0 4 a が、第 2 の可飽和吸収体 1 0 2 b のレーザ材料 1 0 3 に接合されている面と対向する面には第 2 のクラッド膜 1 0 4 b が、設けられており、第 1 の可飽和吸収体 1 0 2 a のレーザ材料 1 0 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)と、第 2 の可飽和吸収体 1 0 2 b のレーザ材料 1 0 3 に接合されている面と対向する面(外側の主面)とで、導波路を形成す

る。

[0075] 平面導波路型受動Qスイッチ素子101において、レーザ材料103は、
接合時の応力による割れを抑制するために、第1の可飽和吸収体102aお
よび第2の可飽和吸収体102bの熱膨張率とほぼ等しいまたは等しい熱膨
張率の材料を用いる。また、レーザ材料103の屈折率は、第1の可飽和吸
収体102aや第2の可飽和吸収体102bとの界面での反射を抑制するた
めに、第1の可飽和吸収体102aおよび第2の可飽和吸収体102bの屈
折率より低い材料を用いる。第1のクラッド膜104aおよび第2のクラ
ッド膜104bは、それぞれ第1の可飽和吸収体102aおよび第2の可飽和
吸収体102bの屈折率と比べて屈折率が低い材料を用いる。

[0076] 例えば、レーザ材料103にNd:YAGやYb:YAGを用いた場合、
第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bには、0.9~
1.3 μ m帯の受動Qスイッチ材料として用いられ、屈折率(約1.83)、
熱膨張率(約 $7.8 \times 10^{-6}/K$)に近いCr⁴⁺:YAGやV³⁺:YAGを、第1
のクラッド膜104a、第2のクラッド膜104bがSiO₂(屈折率約1.4
5)やAl₂O₃(屈折率約1.61)やM₂(屈折率約1.62)やM₃(屈折率約1
.74)やY₂O₃(屈折率約1.81)を用いるとよい。

例えば、レーザ材料103にEr:glass(屈折率1.53)を用いた
場合、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bには、ア
イセーフ帯の受動Qスイッチ材料として用いられる、屈折率(約1.70)、
熱膨張率(約 $7.45 \times 10^{-6}/K$)のCo:Spinelや、屈折率(約2.
49)、熱膨張率(約 $7.6 \times 10^{-6}/K$)のCo²⁺:ZnSeやCr²⁺:
ZnSeや、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約 $6.5 \times 10^{-6}/K$)のCo²⁺
+:ZnSやCr²⁺:ZnSを用いると良く、第1の可飽和吸収体102
a、第2の可飽和吸収体102bにCo:Spinelを用いた時の、第1
のクラッド膜104a、第2のクラッド膜104bはSiO₂(屈折率約1.4
5)やAl₂O₃(屈折率約1.61)やM₂(屈折率約1.62)を用いるとよい。
また、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bにCo²

+ : ZnSe や Cr²⁺ : ZnSe や Co²⁺ : ZnS や Cr²⁺ : ZnS を用いる場合は、第1のクラッド膜104a、第2のクラッド膜104bは SiO₂(屈折率約1.45)や Al₂O₃(屈折率約1.61)や M₂(屈折率約1.62)や M₃(屈折率約1.74)や Y₂O₃(屈折率約1.81)や HfO₃(屈折率約1.90)や Ta₂O₅(屈折率約2.09)を用いるとよい。

[0077] また、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bとレーザー材料103は、光学的に接続されており、例えば、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bとレーザー材料103はセラミクス材料により一体に焼結させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bとレーザー材料103は拡散接合により一体に接合させる方法がある。

また、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bとレーザー材料103は表面活性化接合により一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bとレーザー材料103はオプティカルコンタクトにより一体に接合させる方法がある。

さらに、第1の可飽和吸収体102a、第2の可飽和吸収体102bとレーザー材料103は光学接着剤により一体に接着させる方法がある。

[0078] 次に動作について説明する。図13は平面導波路型受動Qスイッチ素子101を用いた平面導波路型受動Qスイッチレーザー装置111の構成図である。図13において平面導波路型受動Qスイッチレーザー装置111は平面導波路型受動Qスイッチ素子101と、半導体レーザー112と、励起光学系113と、全反射ミラー114と、出力鏡115によって構成される。

なお、半導体レーザー112は受動Qスイッチ素子101内のレーザー材料103の励起光源で、全反射ミラー114と出力鏡115が平面導波路型の共振器を構成する。

[0079] 半導体レーザー112から励起光PLが出力され、励起光学系113によって、平面導波路型受動Qスイッチ素子101内に導波路垂直方向に対しては

損失なく、導波路水平方向に対しては平行光になるように励起光 PL は整形され、全反射ミラー 114 を通過し、平面導波路型受動 Q スイッチ素子 101 に入射する。励起光 PL によって平面導波路型受動 Q スイッチ素子 101 内のレーザ材料 103 は励起され、自然放出光が発生し、その一部は、全反射ミラー 114 と出力鏡 115 間を往復し、平面導波路型受動 Q スイッチ素子 101 内のレーザ材料 103 を通過する度に増幅される。

[0080] 第 1 の可飽和吸収体 102 a および第 2 の可飽和吸収体 102 b の吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。レーザ発振が発生する周回時に、共振光 CL は、平面導波路型受動 Q スイッチ素子 101 によって、平面導波路型受動 Q スイッチ素子 101 の導波路の外側にある第 1 の可飽和吸収体 102 a および第 2 の可飽和吸収体 102 b を伝搬する成分は吸収され、受動 Q スイッチ素子 101 の中心部にあるレーザ材料 103 を伝搬する成分は損失なく透過するため、高次モード光の損失が大きくなり、低次モードのみが発振する。発振するとレーザ光を吸収して第 1 の可飽和吸収体 102 a および第 2 の可飽和吸収体 102 b は透明になるので、損失は小さくなり、低次モードの Q スイッチパルス光を効率良く発生させその一部の光が発振光 OL として出力鏡 115 から取り出される。

[0081] 全反射ミラー 114 と出力鏡 115 は、それぞれ平面導波路型受動 Q スイッチ素子 101 の両端面に誘電体膜を設け、一体化することによって、装置の小型化が図れる。

[0082] 実施の形態 7.

図 14 は、この発明の実施の形態 7 によるリッジ導波路型受動 Q スイッチ素子 121 を示す構成図である。図 14 においてリッジ導波路型受動 Q スイッチ素子 121 は、中央が空洞になっている立方体形状の可飽和吸収体 122 と、立方体のレーザ材料または透明材料 123 と、第 1 のクラッド膜 124 a と、第 2 のクラッド膜 124 b と、第 3 のクラッド膜 124 c と、第 4 のクラッド膜 124 d によって構成される。

- [0083] 可飽和吸収体122は、レーザ材料123の光軸に対して平行なすべての面に光学的に接合され、可飽和吸収体122のレーザ材料123に接合されている面と対向する面には、第1～第4のクラッド膜124a～124dが設けられおり、可飽和吸収体122とレーザ材料123に接合されている面と対向する面(外側の主面)とで、導波路を形成する。
- [0084] リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121において、レーザ材料123は、接合時の応力による割れを抑制するために、可飽和吸収体122の熱膨張率とほぼ等しいまたは等しい熱膨張率の材料を用いる。また、レーザ材料123の屈折率は、可飽和吸収体122との界面での反射を抑制するために、可飽和吸収体122の屈折率より低い材料を用いる。第1～第4のクラッド膜124a～124dは、それぞれ可飽和吸収体122の屈折率と比べて屈折率が低い材料を用いる。
- [0085] 例えば、レーザ材料123にNd:YAGやYb:YAGを用いた場合、可飽和吸収体122には、0.9～1.3 μ m帯の受動Qスイッチ材料として用いられ、屈折率(約1.83)、熱膨張率(約 $7.8 \times 10^{-6}/K$)に近いCr⁴⁺:YAGやV³⁺:YAGを用い、第1～第4のクラッド膜124a～124dには、SiO₂(屈折率約1.45)やAl₂O₃(屈折率約1.61)やM₂(屈折率約1.62)やM₃(屈折率約1.74)やY₂O₃(屈折率約1.81)を用いるとよい。
- 例えば、レーザ材料123にEr:glass(屈折率1.53)を用いた場合、可飽和吸収体122には、アイセーフ帯の受動Qスイッチ材料として用いられる、屈折率(約1.70)、熱膨張率(約 $7.45 \times 10^{-6}/K$)のCo:Spinelや、屈折率(約2.49)、熱膨張率(約 $7.6 \times 10^{-6}/K$)のCo²⁺:ZnSeやCr²⁺:ZnSeや、屈折率(約2.29)、熱膨張率(約 $6.5 \times 10^{-6}/K$)のCo²⁺:ZnSやCr²⁺:ZnSを用いると良く、可飽和吸収体122にCo:Spinelを用いた時の、第1～第4のクラッド膜124a～124dは、SiO₂(屈折率約1.45)やAl₂O₃(屈折率約1.61)やM₂(屈折率約1.62)を用いるとよい。また、可飽和吸

収体122に $\text{Co}^{2+}:\text{ZnSe}$ や $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ や $\text{Co}^{2+}:\text{ZnS}$ や $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnS}$ を用いる場合は、第1～第4のクラッド膜124a～124dには、 SiO_2 (屈折率約1.45)や Al_2O_3 (屈折率約1.61)や M_2 (屈折率約1.62)や M_3 (屈折率約1.74)や Y_2O_3 (屈折率約1.81)や HfO_3 (屈折率約1.90)や Ta_2O_5 (屈折率約2.09)を用いるとよい。

[0086] また、可飽和吸収体122とレーザ材料123は、光学的に接続されており、例えば、可飽和吸収体122とレーザ材料123はセラミクス材料により一体に焼結させる方法がある。

また、可飽和吸収体122とレーザ材料123は拡散接合により一体に接合させる方法がある。

また、可飽和吸収体122とレーザ材料123は表面活性化接合により一体に接合させる方法がある。

さらに、可飽和吸収体122とレーザ材料123はオプティカルコンタクトにより一体に接合させる方法がある。

さらに、可飽和吸収体122とレーザ材料123は光学接着剤により一体に接着させる方法がある。

[0087] 次に動作について説明する。図15はリッジ導波路型受動Qスイッチ素子121を用いたリッジ導波路型受動Qスイッチレーザ装置131の構成図である。図15においては、リッジ導波路型Qスイッチレーザ装置131は、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121と、半導体レーザ132と、全反射膜134と、部分反射膜135によって構成され、全反射膜134と、部分反射膜135がリッジ導波路型の共振器を構成する。

[0088] 半導体レーザ132から出力した励起光PLは、全反射膜134を通過し、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121に入射する。半導体レーザ132から出力した励起光PLは、垂直方向および水平方向に広がりを持ち、励起光PLの垂直方向成分は、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121の第1のクラッド膜124aと第2のクラッド膜124bによって閉じ込められ、導波路内を伝搬する。また、励起光PLの水平方向成分は、リッジ導波

路型受動Qスイッチ素子121の第3のクラッド膜124cと第4のクラッド膜124dによって閉じ込められ、導波路内を伝搬する。

[0089] 励起光PLによってリッジ導波路型受動Qスイッチ素子121内のレーザ材料123は励起され、自然放出光が発生し、その一部は、全反射膜134と部分反射膜135間を往復し、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121内のレーザ材料123を通過する度に増幅される。

[0090] 可飽和吸収体122の吸収による損失を含む共振器内損失より利得が高くなると、共振器内でレーザ発振が開始する。レーザ発振が発生する周回時に、共振光CLは、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121によって、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121の導波路の外周にある可飽和吸収体122を伝搬する成分は吸収され、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121の中心部にあるレーザ材料123を伝搬する成分は損失なく透過するため、高次モード光の損失が大きくなり、低次モードのみが発振する。発振するとレーザ光を吸収して可飽和吸収体122は透明になるので、損失は小さくなり、低次モードのQスイッチパルス光を効率良く発生させその一部の光が発振光であり出力光OLとして部分反射膜135から取り出される。

[0091] リッジ導波路型レーザにおいては、垂直方向および水平方向ともに光を閉じ込めるため、励起光出力を増加させた場合に発振光以外の光路で発振する寄生発振が懸念されるが、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121は、可飽和吸収体122が、第1のクラッド膜124aと第2のクラッド膜124bと第3のクラッド膜124cと第4のクラッド膜124dの内側にあるため、出力光OL以外の光路で発振する光は、可飽和吸収体121によって吸収され、寄生発振を抑制できる。

[0092] 以上のように、この発明の実施の形態7によるリッジ導波路型受動Qスイッチ素子121においては、可飽和吸収体122が、レーザ材料123の光軸に対して平行なすべての面に光学的に接合され、可飽和吸収体のレーザ材料123に接合されている面と対向する面には、第1～第4のクラッド膜124a～124dを設けたので、リッジ導波路型受動Qスイッチ素子121

は本来のQスイッチ機能の他にモード選択機能を併せ持つので、効率がよい低次モードのQスイッチパルス光を得られるようにすることができる。また、レーザ材料としても機能するために、レーザ装置の小型化や、通常、導波路型レーザ材料と導波路型Qスイッチ素子間で発生する結合損失が抑制できる。さらに、空間的にモード制御できない導波路においてもモードの制御が可能になる。また、水平方向および垂直方向にもクラッドを設けたので、励起光学系が不要で、レーザ装置の小型化がはかれる。さらに、励起光出力を増加させた場合に懸念される寄生発振は、クラッドの内部にある可飽和吸収体によって抑制することができる。

[0093] なおこの発明は、上記各実施の形態に限定されるものではなく、これらの実施の形態の可能な組み合わせを全て含むことは云うまでもない。

産業上の利用の可能性

[0094] この発明は種々の分野の受動Qスイッチ素子および受動Qスイッチレーザ装置等に適用することができ、同様な効果を奏する。

符号の説明

[0095] 1, 61 受動Qスイッチ素子、2, 62 可飽和吸収体、3, 23, 43 透明材料、11, 71 受動Qスイッチレーザ装置、12, 32, 52, 72, 92, 112, 132 半導体レーザ、13, 33, 53, 73, 93, 113 励起光学系、14, 34, 54, 74, 94, 114 全反射ミラー、134 全反射膜、15, 35, 55, 63, 83, 103, 123 レーザ材料、16, 36, 56, 75, 95, 115 出力鏡、135 部分反射膜、21, 41, 61, 81, 101 平面導波路型Qスイッチ素子、121 リッジ導波路型Qスイッチ素子、22a, 42a, 82a, 102a 第1の可飽和吸収体、22b, 42b, 82b, 102b 第2の可飽和吸収体、122 可飽和吸収体、23, 43 透明材料、31, 51, 71, 91, 111 平面導波路型Qスイッチレーザ装置、131 リッジ導波路型Qスイッチレーザ装置、44a, 104a, 124a 第1のクラッド膜、44b, 104b, 124b 第2のクラッド膜、124c

第3のクラッド膜、124d 第4のクラッド膜、PL 励起光、CL
共振光、OL 出力光、AX 伝搬方向軸。

請求の範囲

- [請求項1] 円盤状または立方体の透明材料と、
前記透明材料とほぼ等しい屈折率を持つ可飽和吸収体と、
を備え、
前記透明材料に隣接して前記可飽和吸収体が光学的に接合されていることを特徴とする受動Qスイッチ素子。
- [請求項2] 前記透明材料は前記可飽和吸収体のホスト材料であることを特徴とする請求項1に記載の受動Qスイッチ素子。
- [請求項3] 前記透明材料と、前記可飽和吸収体は、セラミクス材料により一体に焼結されたもの、拡散接合により一体に接合されたもの、表面活性化接合により一体に接合されたもの、のいずれかからなることを特徴とする請求項1または2に記載の受動Qスイッチ素子。
- [請求項4] 円盤状または立方体のレーザ材料と、
前記レーザ材料とほぼ等しい屈折率を持つ可飽和吸収体と、
を備え
前記レーザ材料に隣接して前記可飽和吸収体が光学的に接合されていることを特徴とする受動Qスイッチ素子。
- [請求項5] 前記レーザ材料と、前記可飽和吸収体は、セラミクス材料により一体に焼結されたもの、拡散接合により一体に接合されたもの、表面活性化接合により一体に接合されたもの、のいずれか1つからなることを特徴とする請求項4に記載の受動Qスイッチ素子。
- [請求項6] 前記レーザ材料は、Nd:YAGまたはYb:YAGからなり、
前記可飽和吸収体は、Cr⁴⁺:YAGまたはV³⁺:YAGからなることを特徴とする請求項4または5に記載の受動Qスイッチ素子。
- [請求項7] 前記レーザ材料は、Er:glassまたはEr:YAGまたはEr:YVO₄からなり、
前記可飽和吸収体は、Co:SPINELまたはCo²⁺:ZnSeまたはCo²⁺:ZnSまたはCr²⁺:ZnSeまたはCr²⁺

: ZnS からなることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の受動 Q スイッチ素子。

[請求項 8]

平面状の透明材料と、
前記透明材料より大きい屈折率を持つ平面状の 2 枚の可飽和吸収体と、
を備え、
前記透明材料の 2 つの面に前記 2 枚の可飽和吸収体の面がそれぞれ光学的に接合されていることを特徴とする平面導波路型受動 Q スイッチ素子。

[請求項 9]

平面状の透明材料と、
前記透明材料より大きい屈折率を持つ平面状の 2 枚の可飽和吸収体と、
前記 2 枚の可飽和吸収体より小さい屈折率を持つ 2 枚のクラッド膜と、
を備え、
前記透明材料の 2 つの面に前記 2 枚の可飽和吸収体の面がそれぞれ光学的に接合され、
前記 2 枚の可飽和吸収体の前記透明材料と接合された面に対向する面に前記 2 枚のクラッド膜がそれぞれ光学的に接合されていることを特徴とする平面導波路型受動 Q スイッチ素子。

[請求項 10]

前記透明材料は前記可飽和吸収体のホスト材料であることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の平面導波路型受動 Q スイッチ素子。

[請求項 11]

前記透明材料と、前記可飽和吸収体は、セラミクス材料により一体に焼結されたもの、拡散接合により一体に接合されたもの、表面活性化接合により一体に接合されたもの、のいずれか 1 つからなることを特徴とする請求項 8 から 10 までのいずれか 1 項に記載の平面導波路型受動 Q スイッチ素子。

[請求項 12]

立方体形状の透明材料と、

前記透明材料より大きい屈折率を持つ可飽和吸収体と、
前記可飽和吸収体より小さい屈折率を持つクラッド膜と、
を備え、

前記透明材料の外周上に前記可飽和吸収体が光学的に接合され、前記可飽和吸収体の前記透明材料と接合された面と対向する面に前記クラッド膜が光学的に接合されていることを特徴とするリッジ導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項13] 前記透明材料は前記可飽和吸収体のホスト材料であることを特徴とする請求項12に記載のリッジ導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項14] 前記透明材料と、前記可飽和吸収体は、セラミクス材料により一体に焼結されたもの、拡散接合により一体に接合されたもの、表面活性化接合により一体に接合されたもの、のいずれか1つからなることを特徴とする請求項12または13に記載のリッジ導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項15] 平面状のレーザ材料と、
前記レーザ材料より大きい屈折率を持つ平面状の2枚の可飽和吸収体と、
を備え、
前記レーザ材料の2つの面に前記2枚の可飽和吸収体の面がそれぞれ光学的に接合されていることを特徴とする平面導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項16] 平面状のレーザ材料と、
前記レーザ材料より大きな屈折率を持つ平面状の2枚の可飽和吸収体と、
前記2枚の可飽和吸収体より小さい屈折率を持つ2枚のクラッド膜と、
を備え、
前記レーザ材料の2つの面に前記2枚の可飽和吸収体の面がそれぞれ

れ光学的に接合され、

前記2枚の可飽和吸収体の前記レーザ材料と接合された面に対向する面に前記2枚のクラッド膜がそれぞれ光学的に接合されていることを特徴とする平面導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項17]

前記レーザ材料と、前記可飽和吸収体は、セラミクス材料により一体に焼結されたもの、拡散接合により一体に接合されたもの、表面活性化接合により一体に接合されたもの、のいずれ1つからなることを特徴とする請求項15または16に記載の平面導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項18]

前記レーザ材料は、Nd:YAGまたはYb:YAGからなり、
前記可飽和吸収体は、Cr⁴⁺:YAGまたはV³⁺:YAGからなることを特徴とする請求項15から17までのいずれか1項に記載の平面導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項19]

前記レーザ材料は、Er:glassまたはEr:YAGまたはEr:YVO₄からなり、
前記可飽和吸収体は、Co:SPINELまたはCo²⁺:ZnSeまたはCo²⁺:ZnSまたはCr²⁺:ZnSeまたはCr²⁺:ZnSからなることを特徴とする請求項15から17までのいずれか1項に記載の平面導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項20]

立方体形状のレーザ材料と、
前記レーザ材料より大きい屈折率を持つ可飽和吸収体と、
前記可飽和吸収体より小さい屈折率を持つクラッド膜と、
を備え、
前記透明材料の外周上に前記可飽和吸収体が光学的に接合され、前記可飽和吸収体の前記透明材料と接合された面と対向する面に前記クラッド膜が光学的に接合されていることを特徴とするリッジ導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項21]

前記レーザ材料と、前記可飽和吸収体は、セラミクス材料により一

体に焼結されたもの、拡散接合により一体に接合されたもの、表面活性化接合により一体に接合されたもの、のいずれか1つからなることを特徴とする請求項20に記載のリッジ導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項22] 前記レーザ材料は、Nd:YAGまたはYb:YAGからなり、前記可飽和吸収体は、Cr⁴⁺:YAGまたはV³⁺:YAGからなることを特徴とする請求項20または21に記載のリッジ導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項23] 前記レーザ材料は、Er:glassまたはEr:YAGまたはEr:YVO₄からなり、前記可飽和吸収体は、Co:SPINELまたはCo²⁺:ZnSeまたはCo²⁺:ZnSまたはCr²⁺:ZnSeまたはCr²⁺:ZnSからなることを特徴とする請求項20または21に記載のリッジ導波路型受動Qスイッチ素子。

[請求項24] レーザ光の伝搬方向軸に沿って設けられた、請求項1から3までのいずれか1項に記載の受動Qスイッチ素子と、
レーザ材料と、
空間型の共振器と、
前記レーザ材料を光励起する励起光を出力する励起光源と、
を備えたことを特徴とする受動Qスイッチレーザ装置。

[請求項25] レーザ光の伝搬方向軸に沿って設けられた、請求項4から7までのいずれか1項に記載の受動Qスイッチ素子と、
空間型の共振器と、
前記レーザ材料を光励起する励起光を出力する励起光源と、
を備えたことを特徴とする受動Qスイッチレーザ装置。

[請求項26] レーザ光の伝搬方向軸に沿って設けられた、

請求項 8 から 11 までのいずれか 1 項に記載の平面導波路型受動 Q スイッチ素子と、
平面導波路型のレーザ材料と、
平面導波路型の共振器と、
前記平面導波路型のレーザ材料を光励起する励起光を出力する励起光源と、
を備えたことを特徴とする平面導波路型受動 Q スイッチレーザ装置。
。

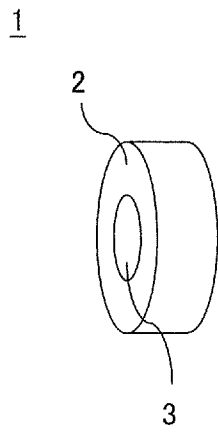
[請求項 27] レーザ光の伝搬方向軸に沿って設けられた、
請求項 12 から 14 までのいずれか 1 項に記載のリッジ導波路型受動 Q スイッチ素子と、
平面導波路型のレーザ材料と、
平面導波路型の共振器と、
前記平面導波路型のレーザ材料を光励起する励起光を出力する励起光源と、
を備えたことを特徴とするリッジ導波路型受動 Q スイッチレーザ装置。
。

[請求項 28] レーザ光の伝搬方向軸に沿って設けられた、
請求項 15 から 19 までのいずれか 1 項に記載の平面導波路型受動 Q スイッチ素子と、
平面導波路型の共振器と、
前記平面導波路型のレーザ材料を光励起する励起光を出力する励起光源と、
を備えたことを特徴とする平面導波路型受動 Q スイッチレーザ装置。
。

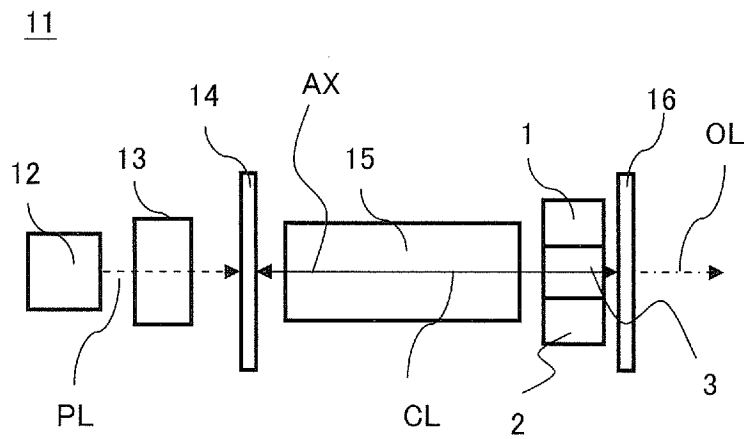
[請求項 29] レーザ光の伝搬方向軸に沿って設けられた、
請求項 20 から 23 までのいずれか 1 項に記載のリッジ導波路型受動 Q スイッチ素子と、

リッジ導波路型の共振器と、
前記リッジ導波路型のレーザ材料を光励起する励起光を出力する励起光源と、
を備えたことを特徴とするリッジ導波路型受動Qスイッチレーザ装置。

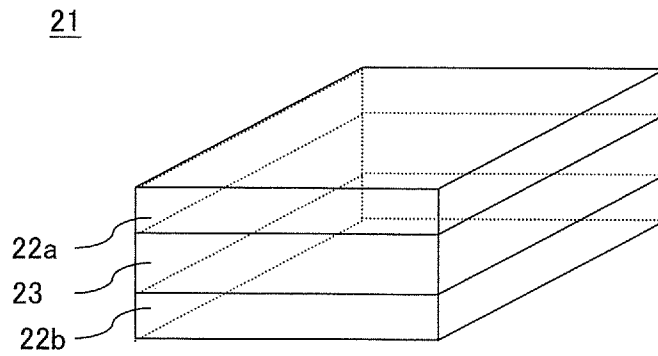
[図1]



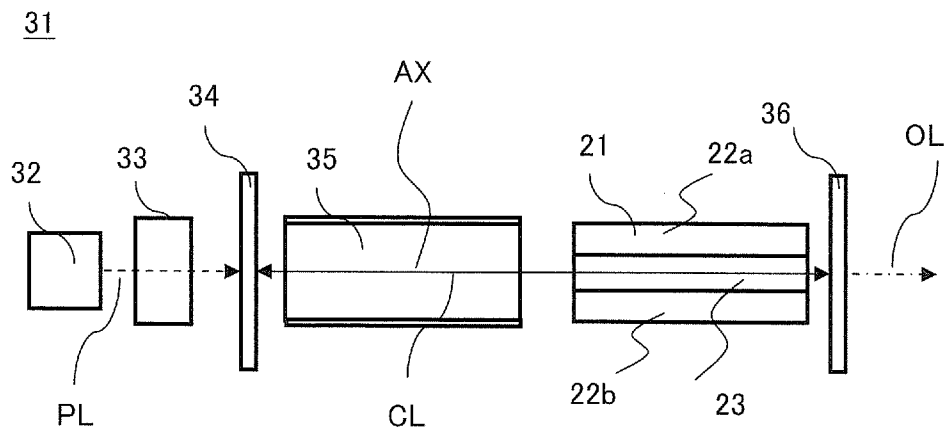
[図2]



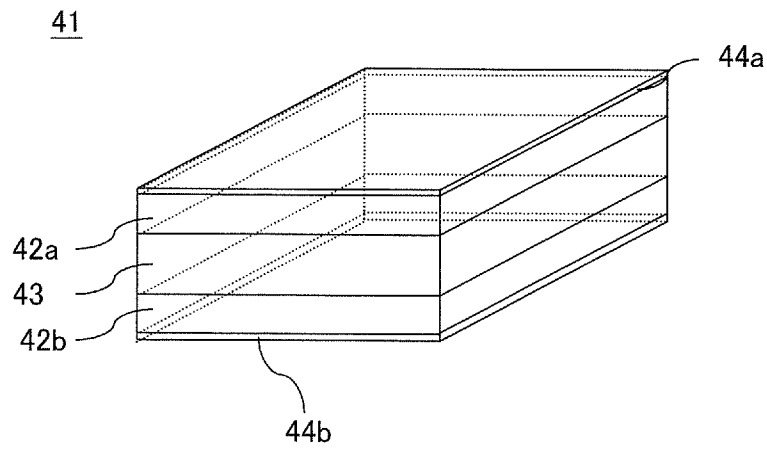
[図3]



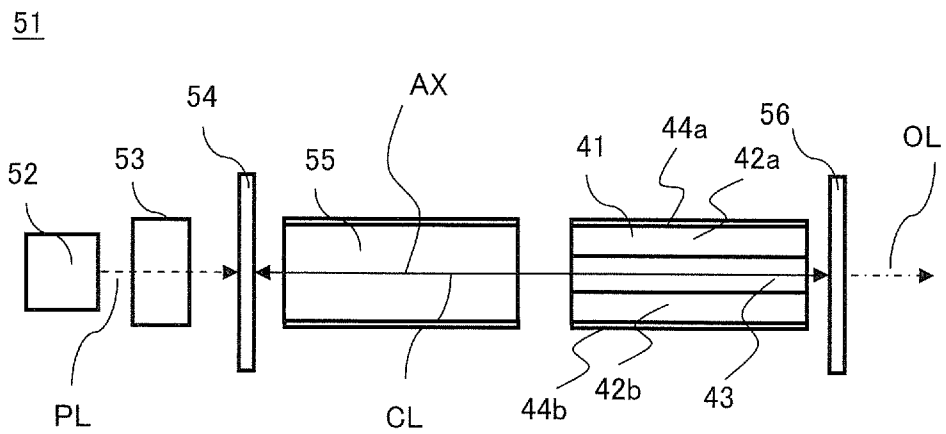
[図4]



[圖5]

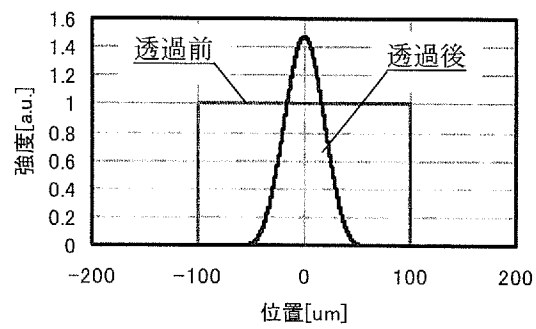


[圖6]

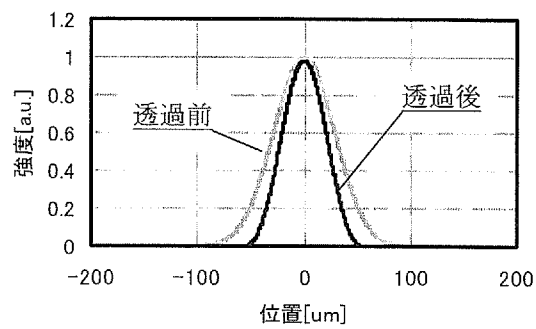


[圖7]

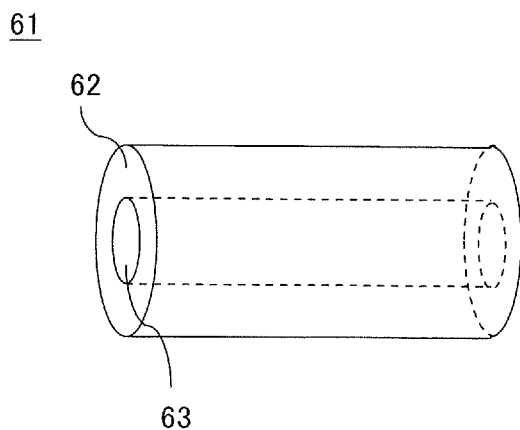
(a)



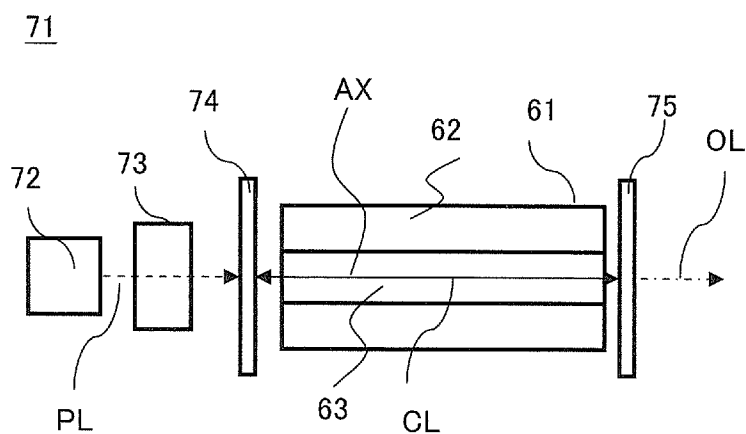
(b)



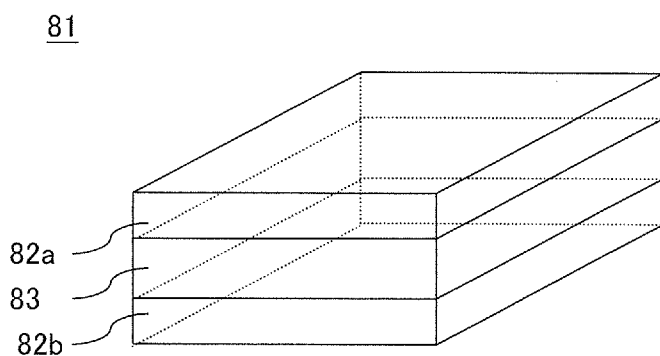
[図8]



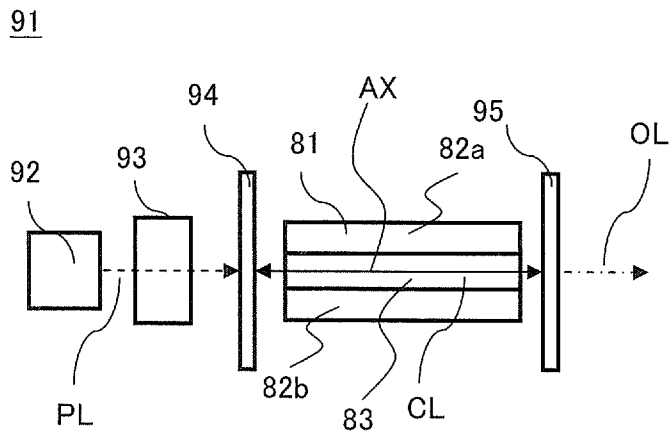
[図9]



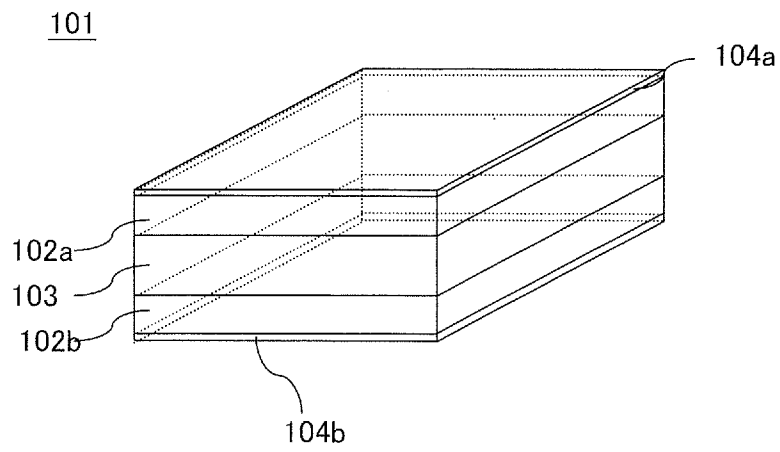
[図10]



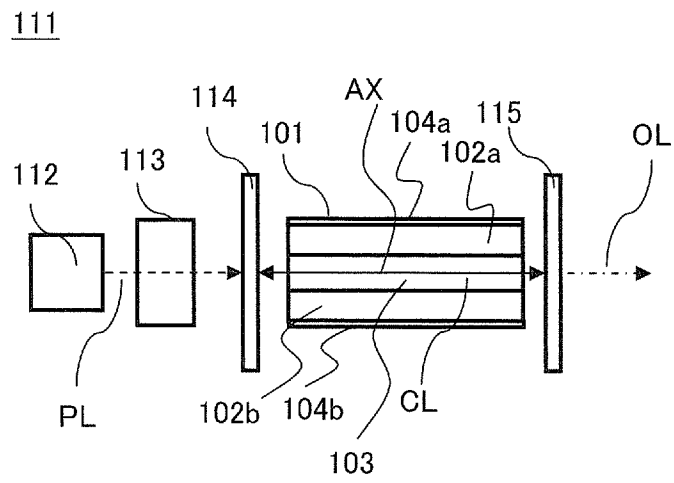
[図11]



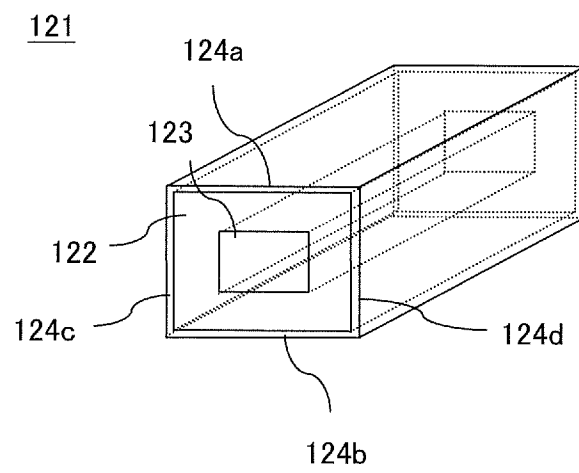
[図12]



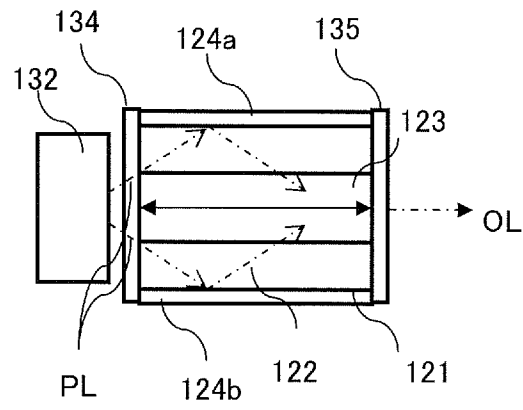
[図13]



[図14]



[図15]

131

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/062252

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/113(2006.01) i, H01S3/063(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)
 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)
 Science Direct, IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	EP 1978611 A1 (TOPCON CORP.), 08 October 2008 (08.10.2008), paragraphs [0009] to [0010], [0036] to [0038], [0043], [0046]; fig. 2, 4 & JP 2008-258627 A & US 2008/0247425 A1 & CN 101320880 A	1-6, 24-25 7 12-14, 20-23, 27, 29
X Y A	ZAYHOWSKI John J. et al., IEEE Journal of Quantum Electronics, 2003.12, Vol.39 No.12, p.1588-1593	1-2, 4, 6, 24, 25 3, 5, 7 12-14, 20-23, 27, 29

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

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

Date of the actual completion of the international search
 13 June, 2013 (13.06.13)

Date of mailing of the international search report
 25 June, 2013 (25.06.13)

Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/062252

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 95/22186 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY), 17 August 1995 (17.08.1995), page 8, lines 10 to 13; fig. 2 & JP 9-508755 A & US 5394413 A & US 5483546 A & EP 744089 A & DE 69504475 T2 & CA 2182368 C	4-6, 25 3, 7 1-2, 12-14, 20-24, 27, 29
X Y A	JP 2005-327997 A (Akio IKESUE), 24 November 2005 (24.11.2005), paragraph [0129]; fig. 11(a) & US 2008/0298407 A1 & WO 2005/112208 A1	4-6, 25 3, 7 1-2, 12-14, 20-24, 27, 29
A	JP 10-84157 A (Commissariat A L'energie Atomique), 31 March 1998 (31.03.1998), paragraphs [0041] to [0042]; fig. 7 to 8 & US 5963578 A & EP 821452 A1 & FR 2751795 A1	1-7, 12-14, 20-25, 27, 29
A	JP 2009-10066 A (Covalent Materials Corp.), 15 January 2009 (15.01.2009), paragraphs [0015] to [0045]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-7, 12-14, 20-25, 27, 29
A	DONG Jun et al., Optics Letters, 2007.11.15, Vol.32 No.22, p.3266-3268	1-7, 12-14, 20-25, 27, 29
A	JP 7-183607 A (Commissariat A L'energie Atomique), 21 July 1995 (21.07.1995), paragraphs [0047] to [0050]; fig. 6 & US 5502737 A & EP 657976 A2 & DE 69428333 T2 & FR 2712743 A1	8-11, 15-19, 26, 28
A	Yosuke AKINO et al., "LAV-10-24 Passive Q-switched planar waveguide laser using a saturation absorber", The Institute of Electrical Engineers of Japan Kenkyukai Shiryo Hikari Oyo Shikaku Kenkyukai, 27 December 2010 (27.12.2010), pages 1 to 5	8-11, 15-19, 26, 28
A	MACKENZIE J. I. et al., Optics Letters, 2002.12.15, Vol.27 No.24, p.2161-2163	8-11, 15-19, 26, 28

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01S3/113(2006.01)i, H01S3/063(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. H01S3/00-3/30

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)
 Science Direct, IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus(JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	EP 1978611 A1 (TOPCON CORPORATION) 2008.10.08, [0009]-[0010], [0036]-[0038], [0043], [0046], Fig. 2, 4 & JP 2008-258627 A & US 2008/0247425 A1 & CN 101320880 A	1-6, 24-25 7 12-14, 20-23, 27, 29

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。

<p>* 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</p>	<p>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</p>
---	---

国際調査を完了した日 13.06.2013	国際調査報告の発送日 25.06.2013
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) 日夏 貴史 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
X Y A	ZAYHOWSKI John J. et al., IEEE Journal of Quantum Electronics, 2003. 12, Vol. 39 No. 12, p. 1588-1593	1-2, 4, 6, 24, 25 3, 5, 7 12-14, 20-23, 27, 29
X Y A	WO 95/22186 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 1995. 08. 17, 8 頁 10-13 行, FIG. 2 & JP 9-508755 A & US 5394413 A & US 5483546 A & EP 744089 A & DE 69504475 T2 & CA 2182368 C	4-6, 25 3, 7 1-2, 12-14, 20-24, 27, 29
X Y A	JP 2005-327997 A (池末明生) 2005. 11. 24, 【0129】, 図 11(a) & US 2008/0298407 A1 & WO 2005/112208 A1	4-6, 25 3, 7 1-2, 12-14, 20-24, 27, 29
A	JP 10-84157 A (コミツサリア タ レネルギー アトミック) 1998. 03. 31, 【0041】 - 【0042】, 図 7-8 & US 5963578 A & EP 821452 A1 & FR 2751795 A1	1-7, 12-14, 20-25, 27, 29
A	JP 2009-10066 A (コバレントマテリアル株式会社) 2009. 01. 15, 【0015】 - 【0045】, 図 1-3 (ファミリーなし)	1-7, 12-14, 20-25, 27, 29
A	DONG Jun et al., Optics Letters, 2007. 11. 15, Vol. 32 No. 22, p. 3266-3268	1-7, 12-14, 20-25, 27, 29
A	JP 7-183607 A (コミツサリア タ レネルギー アトミック) 1995. 07. 21, 【0047】 - 【0050】, 図 6 & US 5502737 A & EP 657976 A2 & DE 69428333 T2 & FR 2712743 A1	8-11, 15-19, 26, 28
A	秋野陽介 et al., LAV-10-24 受動Qスイッチを用いた平面導波路 型Qスイッチパルスレーザー, 電気学会研究会資料 光応用・視覚 研究会, 2010. 12. 27, p. 1-5	8-11, 15-19, 26, 28
A	MACKENZIE J. I. et al., Optics Letters, 2002. 12. 15, Vol. 27 No. 24, p. 2161-2163	8-11, 15-19, 26, 28