

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4752991号
(P4752991)

(45) 発行日 平成23年8月17日(2011.8.17)

(24) 登録日 平成23年6月3日(2011.6.3)

(51) Int.Cl. F I
G O 2 F 1/39 (2006.01) G O 2 F 1/39

請求項の数 6 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2001-105586 (P2001-105586)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成13年4月4日(2001.4.4)		独立行政法人 日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2002-303907 (P2002-303907A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成14年10月18日(2002.10.18)	(74) 代理人	100089705
審査請求日	平成19年11月8日(2007.11.8)		弁理士 社本 一夫
		(74) 代理人	100140109
			弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行
		(74) 代理人	100092015
			弁理士 桜井 周矩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域レーザー光の増幅法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

非線形光学結晶の中で発生する光パラメトリック効果を用いて広帯域のスペクトル幅を持つレーザー光(シード光)を増幅する方法であって、

前記シード光の時間幅に比して励起光の時間幅が広いことに起因する低いレーザー増幅効率の向上を図るために、前記シード光及び前記励起光を前記非線形光学結晶を通して少なくとも2回パスさせ、各パス毎に、前記非線形結晶の中で前記励起光に重なっている前記シード光を前記励起光の時間波形内で時間的にずらし、これによって前記励起光の利用効率を高め前記シード光を効率よく増幅させることを特徴とする広帯域レーザー光の増幅方法。

【請求項2】

前記励起光を透過あるいは反射させる光学素子を備え、時間幅が狭かったために励起光強度が増加することで生じていた前記光学素子及び前記非線形光学結晶へのダメージを、前記励起光の時間幅をより広くすることによって軽減することを特徴とする請求項1の広帯域レーザー光の増幅方法。

【請求項3】

前記励起光は時間的に矩形でない強度分布を有し、1パス目と2パス目で時間的に前記励起光の強度分布の反転した時刻で前記シード光を増幅させることにより、前記励起光に起因する利得の狭帯域化を低減できることを特徴とする請求項1又は請求項2の広帯域レーザー光の増幅方法。

【請求項 4】

前記シード光及び前記励起光を前記非線形光学結晶を通して少なくとも2回パスさせることによって、前記非線形光学結晶の中で前記シード光の進行方向と前記励起光の進行方向とがずれるウォークオフ効果を補償できることを特徴とする請求項1、請求項2又は請求項3の広帯域レーザー光の増幅方法。

【請求項 5】

前記非線形光学結晶として、-BaB₂O₄、LiB₃O₅、KH₂PO₄、KD₂PO₄、又はCsLiB₆O₁₀からなるタイプI、及びII位相整合の非線形光学結晶を用いることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の広帯域レーザー光の増幅方法。

10

【請求項 6】

前記非線形光学結晶の中で重なり合う前記シード光及び前記励起光の組を、組毎に前記非線形光学結晶の空間的に違う位置で各々2回パスさせることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の広帯域レーザー光の増幅方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明に属する技術分野】

本発明は、光パラメトリック効果（非線形光学結晶中で励起光からシード光及びアイドラー光にエネルギーの移行が行われる）を用いた広帯域のスペクトル幅を持つレーザー光における高効率且つ、簡便な増幅方法（レーザー光のエネルギーを増加する方法）に関する。

20

【0002】

更に、本発明は、光パラメトリック効果に加えて、反射鏡を使用して励起光を非線形光学結晶中に多数回パスさせることによってウォークオフ効果をも補償することからなる（非線形光学結晶中において励起光の進行方向とレーザー光の進行方向とが別れるために、励起光からシード光にエネルギーが効率的に伝達されないので、結晶から出た励起光を反射鏡で折り返して結晶に再入射させることによりエネルギーを効率的に伝達する）広帯域のスペクトル幅を持つ帯域レーザー光の増幅方法である。

【0003】

【従来の技術】

従来、非線形光学結晶に周波数 ω_p 、波数ベクトル k_p の励起光を入射させ、同時に周波数 ω_s 、波数ベクトル k_s のシード光を入射させると、周波数 ω_i 、波数ベクトル k_i のアイドラー光が必ず発生し、それらの間に下記の式が成立するとき、シード光及びアイドラー光は励起光によりエネルギーを得て増幅されることが知られている。即ち、これは、非線形光学結晶中で、励起光からシード光及びアイドラー光にパワー移行が生じる光パラメトリック効果である。

30

【0004】

【数1】

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i \quad ; \quad K_p = K_s + k_i$$

40

【0005】

又、従来、光パラメトリック効果を用いたシード光の増幅方法において、図1(a)に示されるような、出来るだけ時間的に矩形な強度分布を持つ励起光を用い、シード光と励起光のタイミングを取りシングルパス構成で増幅を行ってきた。その代表的な例として、図2に従来例の光パラメトリック効果を用いた広帯域レーザー光の増幅方法の構成図を示す。それは、シード光1、励起光2、シード光に対して無反射コートで且つ励起光に対しては高反射コートが施されている反射鏡3、及び非線形光学結晶4で構成される。

【0006】

一般にシード光は1 ns程度の時間幅を持ち、励起光は10 ns程度の時間幅を持つ。

50

このため、図3に示すようにシード光と励起光の時間的な重なり合いが悪いために、その重なっていない部分の励起光のエネルギーはシード光の増幅に寄与させることはできず、励起光に励起されたシード光のレーザー出力、変換効率が低いという欠点があった。

【0007】

同程度の時間幅にすると励起光強度が強くなり反射鏡又は光学結晶等の光学素子にダメージを招いたり、また、図1(b)に示されるような、時間的に矩形でない強度分布を持つ励起光(ガウシアン形状の励起光)による利得の狭帯域化が生じたりという欠点があった。

【0008】

この励起光による狭帯域化とは、時間的にガウシアン形状の励起光を用いた場合、シード光の中心にある波長成分のみが増幅され、左右(時間的に進んでいるところや遅れているところ)の成分は殆ど増幅されないことになる。即ち、シード光の中心にある波長成分のみが残り、結果的に波長成分が増幅する前よりも少なくなることである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、効率良く、利得の狭帯域化を少なく広帯域レーザー光を増幅する方法を提供することにある。

【0010】

【問題点を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明における、たくさんの波長成分を含んだ広帯域レーザー光の増幅方法では、シード光に対して励起光に時間遅延を与え、非線形光学結晶を多数回パスさせる。

【0011】

【発明の実施の形態】

まず、励起光のダブルパスの場合を例にとって説明する。シード光に対して励起光に時間遅延を与え、非線形光学結晶をダブルパスさせることによって、1パス目でシード光の増幅に寄与しなかった励起光は、2パス目で再度シード光の増幅に寄与することができる。その結果、励起光は効率良くシード光にエネルギーを伝達することができるため、効率よくシード光を増幅することができる。

【0012】

また、シード光の狭い時間幅に励起光を合わせる必要がないので、時間幅の広い励起光を用いることができるため、時間幅の狭いことに起因する高強度励起光による光学素子へのダメージを軽減することができる。さらに、従来から広く使われているガウシアン形状などの時間的に矩形でない強度分布を持つ励起光を、利得の狭帯域化の影響を受けることなく用いることができる。

【0013】

ガウシアン形状などの時間波形は中心対称であるので、図4に示すように1パス目(図中左)と2パス目(図中右)で励起光に対して時間的に中心対称な位置、つまり1パス目と2パス目で時間的に励起光強度分布の反転した時刻でシード光の増幅を行うことにより、利得の狭帯域化の影響を補償(キャンセル)することが可能である。本発明の実施例の広帯域レーザー光の増幅方法について、以下に図面を参照して説明する。

【0014】

【実施例】

(実施例1)

本発明のレーザー光の増幅方法では、図5の構成を用いる。図5の構成では従来例の図1の構成に対して、新たに、シード光に対して高反射コートで且つ励起光に対しては無反射コートが施されている反射鏡5、励起光に対して高反射コートが施されている反射鏡6、偏光子7、ファラデー・ローテーター8及び / 2板9を設けた。

【0015】

シード光1(例えば、チャープさせることによりスペクトル幅を広げたNd:ガラスレ

10

20

30

40

50

ーザー光)は、偏光子7、ファラデー・ローター8、 $\lambda/2$ 板9、及びシード光に対して無反射コートで且つ励起光に対しては高反射コートが施されている反射鏡3を透過して非線形光学結晶4(例えば、BBO:Beta-Barium Borate結晶)に入射される。同時に励起光2(例えば、Nd:YAGレーザーの第二高調波光)を反射鏡3で反射させて結晶4に入射させる。

【0016】

このときシード光1を励起光2の時間波形の中心より時間的に遅れた時刻で増幅を行う。その後、シード光は反射鏡5で折り返され再度結晶4に入射される。励起光2は反射鏡5を透過し反射鏡6で折り返され同様に再度結晶4に入射される。

【0017】

反射鏡5と反射鏡6とで決まる励起光2の時間遅延を、1パス目で増幅の行われた位置が時間的に強度の反転した時刻となるように設定する。つまり、励起光2の時間波形の中心より時間的に進んだ時刻でシード光1の増幅を行う。増幅された出力シード光1は、偏光子7、ファラデー・ローター8及び $\lambda/2$ 板9を用いて偏光の回転を利用して取り出される。

【0018】

今、非線形光学結晶にBBO結晶、励起光に1064-nm Nd:YAGレーザーの第二高調波光、シード光に1064-nmを中心に帯域を持つYb:ガラスレーザーを用いた場合の増幅特性(入射励起光に対する増幅利得特性)を考える。この場合、励起光とシード光は平行に結晶に入射し、結晶は縮重点で動作するタイプI位相整合のものとした

。利得Gは次式で与えられる。

【0019】

【数2】

$$G = 1 + (\gamma L)^2 \left(\frac{\sinh B}{B} \right)^2 \quad (1)$$

$$B = \sqrt{(\gamma L)^2 - (\Delta k L / 2)^2} \quad (2)$$

$$\gamma = 4\pi d_{\text{eff}} \sqrt{I_p / 2\epsilon_0 n_p n_s n_i c \lambda_s \lambda_i} \quad (3)$$

$$\Delta k L = (\bar{k}_p - \bar{k}_s - \bar{k}_i) L \quad (4)$$

【0020】

ここで、Lは結晶長、 d_{eff} は実効的な非線形光学定数、 I_p は励起光強度、 ϵ_0 は真空の透磁率、 n_p 、 n_s 、 n_i はそれぞれ励起光、シード光、アイドラー光の屈折率、cは光速、 λ_s 、 λ_i はそれぞれシード光、アイドラー光の波長、 k_p 、 k_s 、 k_i はそれぞれ励起光、シード光、アイドラー光の波数ベクトルである。

【0021】

図6に入射励起光に対するシード光利得の計算結果を示す。実線が従来例であるシングルパスの場合の計算結果、点線が本発明の実施例であるダブルパスの場合の計算結果を示す。図6より、従来例の場合は300 MW/cm²の励起光強度に対して利得10⁴が得られることが分かる。それに対して本発明の実施例では同じ300 MW/cm²の励起光強度に対して4桁高い利得10⁸が得られることが明らかとなった。実施例の増幅方法を用いることにより、増幅利得が向上し、この増幅方法が有用であることが分かった。

【0022】

(実施例2)

実施例1のダブルパスの他の例として、4パス構成についての応用例について図7に示

10

20

30

40

50

す。4パス構成については、ダブルパスを基本構成として、非線形光学結晶の中で重なり合うシード光及び励起光の組を、組毎に非線形光学結晶の空間的に違う位置で各々2回パスさせることにより、本発明の増幅方法を4パス構成へ応用することが可能である。同様にさらに空間的に違う位置をパスさせることによって多重パス構成へ応用することが可能である。

【0023】

実施例2のレーザー光の増幅方法では、図7の構成を用いる。図7の構成では実施例2の構成に対して、更に励起光に対しては高反射コートが施されているルーフ型反射鏡10（光を空間的に違うところに折り返す反射鏡）、シード光に対して高反射コートが施されているルーフ型反射鏡11及びシード光に対して高反射コートが施されている反射鏡12

10

【0024】

シード光1（例えば、チャープさせることによりスペクトル幅を広げたNd：ガラスレーザー光）は、偏光子7、ファラデーローター8、 $\lambda/2$ 板9、及びシード光に対して無反射コートで且つ励起光に対しては高反射コートが施されている反射鏡3を透過して非線形光学結晶4（例えば、BBO：Beta-Barium Borate結晶）に入射される。同時に励起光2（例えば、Nd：YAGレーザーの第二高調波光）を反射鏡3で反射させて結晶4に入射させる。

【0025】

このときシード光1を励起光2の時間波形の中心より時間的に遅れた時刻で増幅を行う。その後、シード光は、シード光に対して高反射コートが施されている反射鏡5及びシード光に対して高反射コート施されているルーフ型反射鏡12で反射され、再度結晶4に入射し、その透過光が反射鏡3を透過し、シード光に対して高反射コートが施されている反射鏡12で反射され、再々度結晶4に入射する。

20

【0026】

励起光2は反射鏡5を透過し、ルーフ型反射鏡10で折り返され同様に再度結晶4に入射され、その透過光が反射鏡3で反射された後、反射鏡6で反射されて再々度結晶に入射する。

【0027】

【発明の効果】

本発明の増幅方法を用いることにより、励起光を効率よく利用することが可能となり、高出力のシード光を得ることができる。また、励起光強度による光学素子のダメージの緩和や利得の狭帯域化を低減できる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 時間的に矩形な強度分布を持つ励起光（a）と時間的に矩形でない強度分布を持つ励起光（b）を示す図である。

【図2】 従来例の光パラメトリック効果を用いた広帯域レーザー光の増幅方法の構成図を示す図である。

【図3】 従来例の光パラメトリック効果を用いた広帯域レーザー光の増幅方法におけるシード光と励起光の時間的な位置関係を示す図である。

40

【図4】 本発明の実施例の光パラメトリック効果を用いた広帯域レーザー光の増幅方法におけるシード光と励起光の時間的な位置関係を示す図である。

【図5】 本発明の実施例の光パラメトリック効果を用いた広帯域レーザー光の増幅方法の構成図を示す図である。

【図6】 入射励起光に対するシード光利得の計算結果を示す図である。

【図7】 本発明の実施例2の4パス構成を示す図である。

【符号の説明】

1：シード光

2：励起光

3：シード光に対して無反射コートで且つ励起光に対しては高反射コートが施されてい

50

る反射鏡

4 : 非線形光学結晶

5 : シード光に対して高反射コートで且つ励起光に対しては無反射コートが施されている反射鏡

る反射鏡

6 : 励起光に対して高反射コートが施されている反射鏡

7 : 偏光子

8 : ファラデー・ローテーター

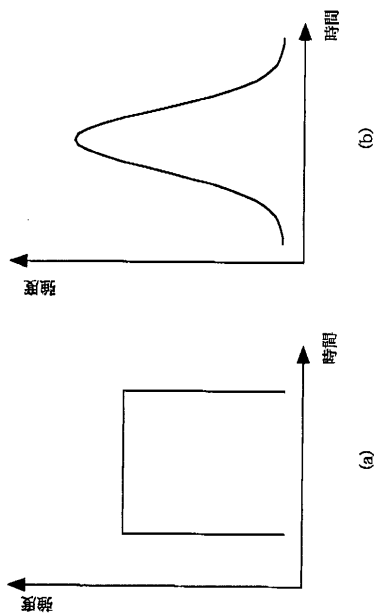
9 : $\lambda/2$ 板

10 : 励起光に対して高反射コートが施されているルーフ型反射鏡（光を空間的に違うところに折り返す反射鏡）

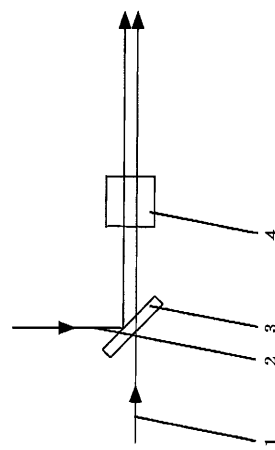
11 : シード光に対して高反射コートが施されているルーフ型反射鏡

12 : シード光に対して高反射コートが施されている反射鏡

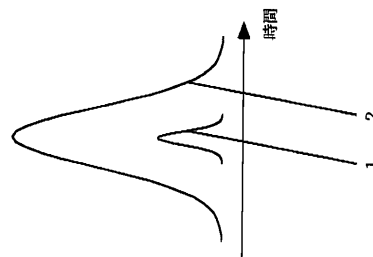
【図1】



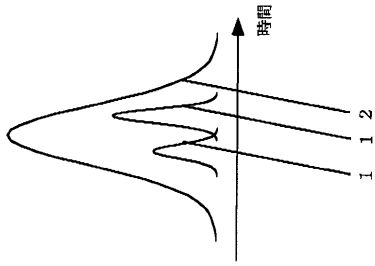
【図2】



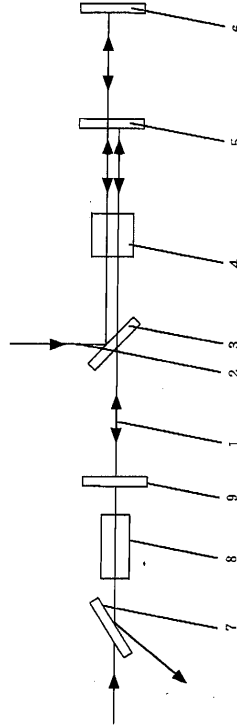
【図3】



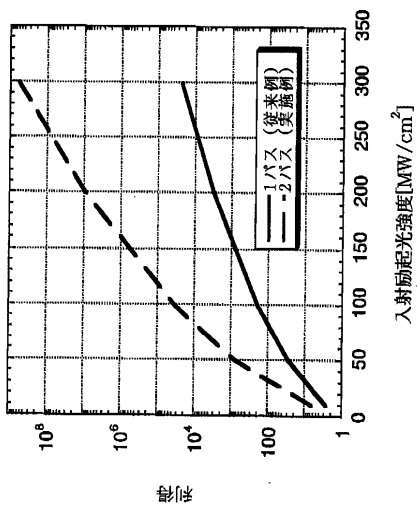
【図4】



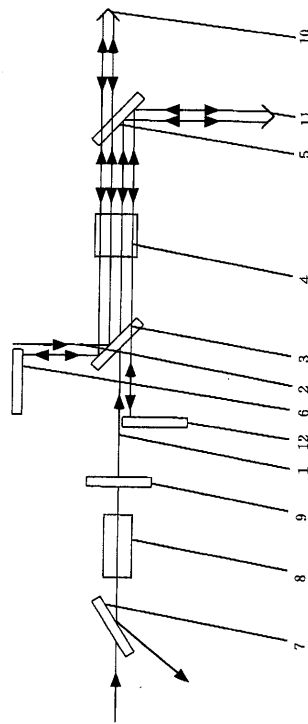
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

- (74)代理人 100093713
弁理士 神田 藤博
- (74)代理人 100091063
弁理士 田中 英夫
- (74)代理人 100102727
弁理士 細川 伸哉
- (74)代理人 100117813
弁理士 深澤 憲広
- (74)代理人 100123548
弁理士 平山 晃二
- (72)発明者 桐山 博光
京都府相楽郡木津町梅美台8丁目1番地 日本原子力研究所関西研究所内
- (72)発明者 山川 孝一
京都府相楽郡木津町梅美台8丁目1番地 日本原子力研究所関西研究所内

審査官 日夏 貴史

- (56)参考文献 特開平10-170967(JP,A)
特開平07-199249(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | | | |
|------|------|---|-------|
| G02F | 1/35 | - | 1/39 |
| H01S | 3/10 | - | 3/109 |