

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-53505

(P2009-53505A)

(43) 公開日 平成21年3月12日(2009.3.12)

(51) Int.Cl.  
G02F 1/37 (2006.01)

F I  
G02F 1/37

テーマコード(参考)  
2K002

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2007-220990 (P2007-220990)  
(22) 出願日 平成19年8月28日 (2007.8.28)

(71) 出願人 505374783  
独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
茨城県那珂郡東海村村松4番地49  
(74) 代理人 100089705  
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】 高強度レーザーのコントラスト制御法

(57) 【要約】

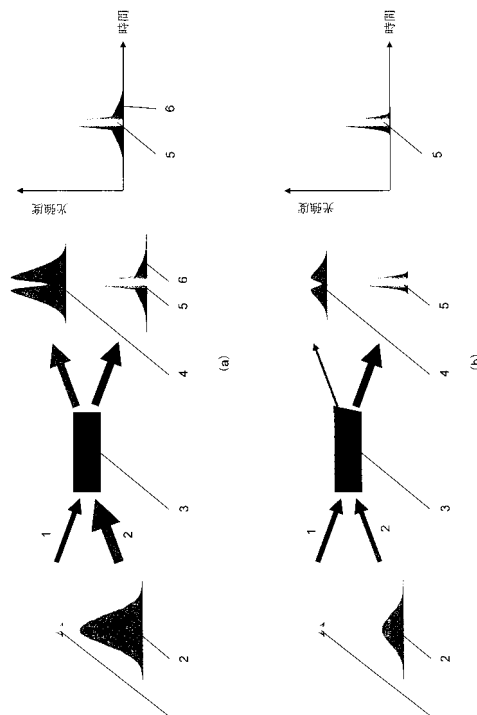
【課題】

本発明の課題は、高強度レーザーにおいてコントラストを簡便に制御できる方法を提供することにある。

【解決手段】

高強度レーザーのコントラスト制御法は、OPCPAに用いる非線形光学結晶内部におけるシグナル光とポンプ光の空間的な重なりを厳密に行うこととともに、レーザー光の通る結晶面にウエッジを付け、OPCPAのポンプ光強度を変化させることにより、コントラストを制御するものである。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

高強度レーザーの増幅器に光パラメトリックチャープパルス増幅器を用い、その光パラメトリックチャープパルス増幅器に使用される励起レーザーの光強度を変化させることにより、レーザー光の時間波形に存在する背景光であるプリパルスとメインパルスとの強度比であるコントラストを制御できることを特徴とする高強度レーザーのコントラスト制御法。

## 【請求項2】

増幅されるレーザー光がシグナル光であり、光パラメトリックチャープパルス増幅器の励起に用いられるレーザー光がポンプ光である請求項1記載の高強度レーザーのコントラスト制御法。

10

## 【請求項3】

ピコ秒 ( $10^{-12}$  s) の時間領域の制御が極めて簡便にできることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の高強度レーザーのコントラスト制御法。

## 【請求項4】

光パラメトリックチャープパルス増幅器には、1つ又は複数個の非線形光学結晶を用い、増幅されるシグナル光は時間的に周波数が増加するチャープパルス光であることを特徴とする請求項1及至請求項3のいずれかに記載の高強度レーザーのコントラスト制御法。

## 【請求項5】

プリパルスの増幅を押さえ、高いコントラストを得ることができるよう、光パラメトリックチャープパルス増幅器に用いる非線形光学結晶内部でシグナル光とポンプ光のビーム径が同じサイズになるように調整し、且つ非線形光学結晶のレーザー光の透過する面に対してウエッジを付けることを特徴とする請求項1及至請求項4のいずれかに記載の高強度レーザーのコントラスト制御法。

20

## 【請求項6】

短パルスレーザー発振器、パルス拡張器、レーザー増幅器及びパルス圧縮器で構成されるレーザーシステムにおいて、短パルスレーザー発振器から出力されるシグナル光を光パラメトリックチャープパルス増幅器で増幅した後、後段の誘導放出を用いたレーザー増幅器に入力することで容易に高強度化でき、且つその出力されるレーザー光のコントラストを制御できることを特徴とする請求項1及至請求項5のいずれかに記載の高強度レーザーのコントラスト制御法。

30

## 【請求項7】

誘導放出を用いたレーザー増幅器とは、チタンサファイアレーザー増幅器やネオジウムガラスレーザー増幅器などであることを特徴とする請求項1及至請求項6のいずれかに記載の高強度レーザーのコントラスト制御法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、非線形光学結晶中でポンプ光からシグナル光及びアイドラー光にエネルギーの移行が行われる光パラメトリックチャープパルス増幅 (OPCPA: Optical Parametric Chirped Pulse Amplification) を用いた高強度レーザーのコントラスト制御法に関するものである。本発明の高強度レーザーのコントラスト制御方法は、OPCPAに用いる非線形光学結晶内部におけるシグナル光とポンプ光の空間的な重なりを厳密に行うこととともに、レーザー光の通る結晶面にウエッジを付け、OPCPAのポンプ光強度を変化させることにより、コントラストを制御するものである。

40

## 【0002】

上記ウエッジとは、図6A又はBに示されるように、非線形光学結晶自身は直方体であるが、レーザーの入出射面を平面にするのではなく、その一方又は両方を例えば数度の角度を付け、イメージ的には長方形ではなく、台形のような形状になったものである。

50

## 【背景技術】

## 【0003】

図1及び2に示されるように、BBO (Beta-Barium Borate) 結晶等の非線形光学結晶3に、周波数  $\omega_p$ 、波数ベクトル  $k_p$  のポンプ光2を入射させると同時に、周波数  $\omega_s$ 、波数ベクトル  $k_s$  のシグナル光1を入射させると、周波数  $\omega_i$ 、波数ベクトル  $k_i$  のアイドラー光が発生する。アイドラー光とは、非線形光学結晶にポンプ光を照射すると、2つの波長の光の発振が生じ、発振する2つの波長の光のうち波長の短い方はシグナル光、長い方はアイドラー光と呼ばれる。このアイドラー光は本発明の場合捨てる光であるので、図示していない。

## 【0004】

これらの間に下記の式が成立するとき、シグナル光及びアイドラー光はポンプ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。これは、非線形光学結晶中で、ポンプ光からシグナル光及びアイドラー光へエネルギー移行が生じる光パラメトリック効果と呼ばれており、シグナル光にチャープパルス光を用いる場合は、特にOPCPA (光パラメトリックチャープパルス増幅) と呼ばれる (非特許文献1)。チャープパルス光とは、回折格子等を用いたパルス拡張器により、レーザー光にスペクトル分散を与えること (長い波長に対して短い波長側の光路を短くすること) により、時間的に引き延ばしたパルス光である。

## 【0005】

## 【数1】

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i$$

$$k_p = k_s + k_i$$

## 【0006】

短パルスレーザー発振器などから出力される微弱なシグナル光をOPCPAにより増幅する場合には、一般に市販で広く使用されている10ns程度と比較的長いパルス幅を有するポンプ光がOPCPAの励起光として用いられる。通常、シグナル光の時間幅は1ns以下であるため、図1に示すようにシグナル光1とポンプ光2との時間的な重なり合いが悪い。図2に示すようにシグナル光1はポンプ光2よりエネルギーを得て増幅され、高エネルギーパルス (メインパルス5) に成長する。しかし、シグナル光とポンプ光との時間的な重なり合いが悪いために、シグナル光と重なっていない部分において、不必要な背景光 (プリパルス6) が発生または増幅される。また、OPCPA入射時には一般にシグナル光に対して空間的に十分に大きいポンプ光を用いるので、シグナル光が存在していない部分からもプリパルス6が発生したり、結晶内部での多重反射によりプリパルス6が増幅されたりする。なお、図2中の4は不変換のポンプ光を示している。このような構成により、メインパルスの数ピコ秒～数十ピコ秒前の時間領域において3～5桁程度のコントラストが得られている (プリパルスとメインパルスの強度比が3～5桁程度であることを意味する)。メインパルスに先だった数十ピコ秒前においては、6桁程度のコントラストが得られている (プリパルスとメインパルスの強度比が6桁程度であることを意味する)。

## 【0007】

又、本発明者等は、レーザー発振器又は増幅器等から出力されるシグナル光を、シグナル光と同程度の短いパルス幅のポンプ光で励起されるOPCPAで増幅することにより、極めて高いコントラストの高強度のレーザー光を得ることからなる高強度レーザーの高コントラスト化法の発明を完成し、既に特許出願をしている (特許文献1)。

【特許文献1】特願2007-146492

【非特許文献1】I. N. Ross, P. Matousek, M. Towrie, A. J. Langley, J. L. Collie r, "The prospect for ultrashort pulse duration and ultrahigh intensity using optical parametric chirped pulse amplifiers", Optics Communications, vol. 144, p. 125-133 (1997)

## 【発明の開示】

10

20

30

40

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

近年の高強度レーザー発生技術の進展により、レーザー光の集光強度が $10^{18}\text{W}/\text{cm}^2$ を越える領域におけるレーザー光と物質との相互作用の研究が精力的に展開されつつある。このような高い集光強度において、パルスの時間構造が極めて重要となってくる。例えばターゲットに固体物質を用いた場合、メインパルスに先立って存在するプリパルスの強度を $10^{10}\text{W}/\text{cm}^2$ 以下に抑えるように制御しなければ( $10^{18}\text{W}/\text{cm}^2$ 集光強度の場合、8桁以上のコントラストがなければ)、高強度を有するメインパルスがターゲットと相互作用する前にターゲットが破損したり、予備プラズマが形成されメインパルスとターゲットとの相互作用が妨げられる。また、特にピコ秒といった時間領域のコントラストを段階的に変化させることができないため、プリパルスレベルがどのように物質との相互作用に影響を及ぼすかなどを詳細に調べることができないなどの欠点があった。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本発明の課題は、高強度レーザーにおいてコントラストを簡便に制御できる方法を提供することにある。

上記課題を解決するために、本発明の高強度レーザーのコントラスト制御法は、高強度レーザーの増幅において、増幅器にOPCPAを用いそのポンプ光強度を変化させることで、コントラストを制御できることを特徴としている。コントラストの高いパルスを得ることができれば、コントラストを低くすることは容易である。このため、コントラストの制御性を大きく取るようにするため、プリパルスの増幅を抑制し高いコントラストを得ることができるよう、OPCPAの非線形光学結晶内部においてシグナル光とポンプ光の空間的な重なりを厳密に一致させるようにするとともに、非線形光学結晶のレーザー光の透過する面に対してウエッジを付けることを特徴としている。

20

## 【0010】

本発明においては、図3に示されるように、短パルスレーザー発振器、パルス拡張器、光パラメトリックチャープパルス増幅器(OPCPA)、誘導放出を用いたレーザー増幅器及びパルス圧縮器からなる高強度レーザーのコントラスト制御装置が用いられる。短パルスレーザー発振器から出力されたシグナル光が、回折格子等を用いたパルス拡張器によりスペクトル分散された後に、ポンプ光で励起された光パラメトリックチャープパルス増幅器(OPCPA)に導入され、その後、誘導放出を用いたレーザー増幅器で更に増幅され、パルス圧縮器でパルス圧縮され、高強度化されたレーザー光が取り出される。このときにOPCPAのポンプレーザーの光強度を変化させることにより、コントラストが制御可能な高強度レーザー光を得ることができる。

30

## 【0011】

本発明の装置においては、短パルスレーザー発振器からの出力光は非常に広いスペクトル幅(沢山の波長)を有しており、これをパルス拡張器に入射することで、スペクトルを分散すること(長波長側に対して短波長側の光路差を長くとること)により、時間的に引き延ばされた光であるチャープパルス光が作り出される。広いスペクトル幅を有しているレーザー発振器からの出力光は、逆に非常に短い時間幅を有しているので、レーザーのピーク強度がエネルギー/時間で決まるために、この光を直接レーザー増幅器で増幅すると強度が高くなりすぎて、増幅の途中で増幅器の光学素子が破損される。そこで、パルス拡張器でチャープパルス光を作り出し、時間的に長くパルス幅を引き延ばすことにより、ピーク強度を落とし、光学素子に損傷なく高いエネルギー状態まで増幅することができる。増幅後、パルス圧縮器でパルス拡張器と逆の分散を与えてやることにより、もとの非常に短いパルス幅まで戻される。パルス圧縮後は短いパルス幅で且つ高エネルギーであるので、極めて高いピーク強度のパルスが生成される。

40

## 【発明の効果】

## 【0012】

本手法を用いることにより、コントラストを簡便に制御できる。この制御されたシグナ

50

ル光を多段の誘導放出を用いたレーザー増幅器に入力してさらに増幅することにより、より高強度のレーザー光を実現できる。

【0013】

なお、本発明と上記先願発明（特願2007-146492）との相違点は、本発明では、「図4（b）に示されるように、ポンプ光の強度を飽和領域以下で動作させ（低いポンプ光強度で動作させ）、且つシグナル光とポンプ光の重なりも空間的に厳密に一致させ、結晶自身にウエッジを付けることにより、プリパルスの増幅を最小化できるので、コントラストを高くとる点にある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本発明の高強度レーザーのコントラスト制御法について、図面を参照して説明する。図4は従来方式で得られるコントラストと本発明で得られる例えば高いコントラストを得るように制御した場合のコントラストとの比較を示す図である。

【0015】

図4（a）に示されるに従来法では、十分にポンプ光強度の高いいわゆる飽和領域で動作させ、且つシグナル光とポンプ光の重なりも空間的に厳密に一致しておらず、結晶自身にウエッジも付いていないことから、多くのプリパルスが増幅される。一方、図4（b）に示されるように、ポンプ光の強度を飽和領域以下で動作させ（低いポンプ光強度で動作させ）、且つシグナル光とポンプ光の重なりも空間的に厳密に一致させ、結晶自身にウエッジを付けることにより、プリパルスの増幅を最小化できるので、コントラストを高くとることができる。

【0016】

図4に示されるように、従来方式で得られるコントラスト（a）と本発明で得られるコントラスト（b）とは、従来のコントラスト（a）において多くのプリパルス6が発生している点で相違している。

【実施例】

【0017】

以下に実際の実験例を掲げて本発明を具体的に説明する。図3に示した構成で実験を行った。短パルスレーザー発振器には、全固体モード同期チタンサファイアレーザー発振器を用いた。中心波長800nmでパルス幅10fs以下の光パルスが発生する発振器からの出力光をパルス拡張器において、パルス幅を約10万倍の1nsに拡張した。パルス拡張されたシグナル光は、光パラメトリックチャープパルス増幅器、続いて誘導放出を用いたレーザー増幅器として2段のチタンサファイアレーザー増幅器にて増幅され、最後にパルス圧縮器において再圧縮される。OPCPA用の非線形光学結晶3にはBBO（Beta-Barium Borate）結晶、ポンプ光には最大出力エネルギー290mJ、パルス幅5.5ns、繰り返し10Hzで動作するNd:YAGレーザーの第二高調波光を用いた。後段の2段のチタンサファイアレーザー増幅器は、それぞれ出力エネルギー800mJ、6.5J、パルス幅約9ns、繰り返し10Hzで動作するNd:YAGレーザーの第二高調波光により励起される。再圧縮後のパルス幅は19fs、パルス当たりのエネルギーは1.5Jであり、ピークパワーは80TWに相当する。

【0018】

図5（a）及び図5（b）に、それぞれ従来例（A. Cotel, A. Jullien, N. Forget, O. Albert, G. Cheriaux, C. L. Blanc, "Nonlinear temporal pulse cleaning of a 1- $\mu$ m optical parametric chirped-pulse amplification system", Applied Physics B, vol. 83, p. 7-10 (2006)）、高コントラストが得られるように制御した場合の実験例におけるピコ秒領域のコントラストの測定結果を示す。図より従来例の数十ピコ秒領域におけるコントラストは3~5桁程度であるのに対し、本発明の方式を用いることにより8桁以上と、大幅にコントラストが向上し、本手法の有用性が示される結果が得られた。また、本手法により、例えば6桁のコントラストといったプリパルスの強度を変化させることが可能である。更には数百ピコ秒の時間領域におけるコントラストの変化も可能である。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

【 図 1 】 従来例のOPCPAを用いたシグナル光とポンプ光の時間的な位置関係を示す図である。

【 図 2 】 従来例のOPCPAを用いたシグナル光とポンプ光のエネルギー移行を示す図である。

【 図 3 】 本発明の装置構成を示す図である。

【 図 4 】 従来方式で得られるコントラスト ( a ) と本発明で得られるコントラスト ( b ) を示す図である。

【 図 5 】 従来方式で得られるコントラスト ( a ) と本発明で得られるコントラスト ( b ) の測定結果を示す図である。

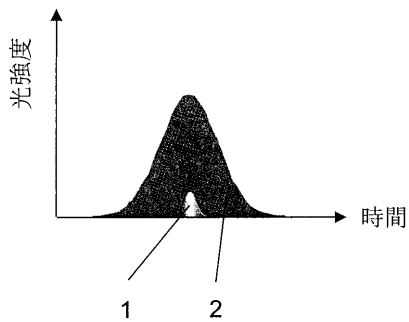
【 図 6 】 結晶面にウエッジを付けたものを示す図である。

【 符号の説明 】

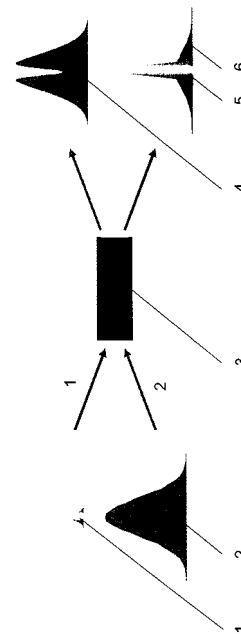
【 0 0 2 0 】

- 1 : シグナル光
- 2 : ポンプ光
- 3 : OPCPA
- 4 : 不変換シグナル光
- 5 : メインパルス
- 6 : プリパルス

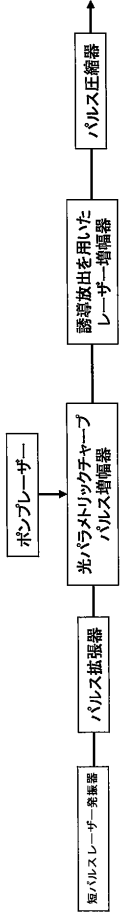
【 図 1 】



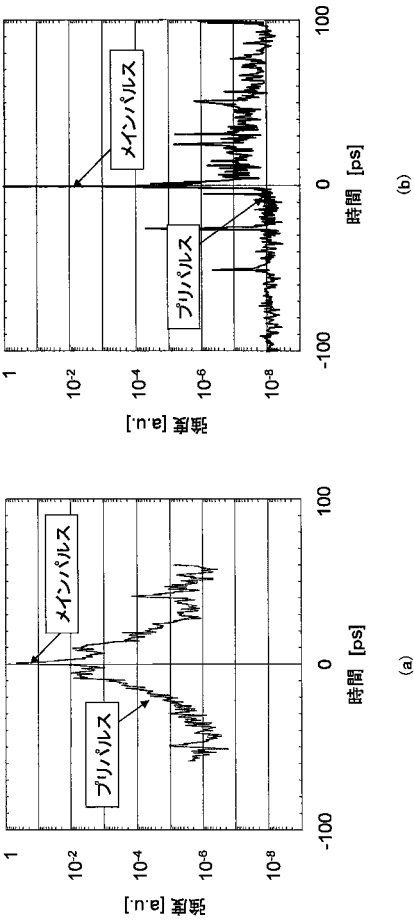
【 図 2 】



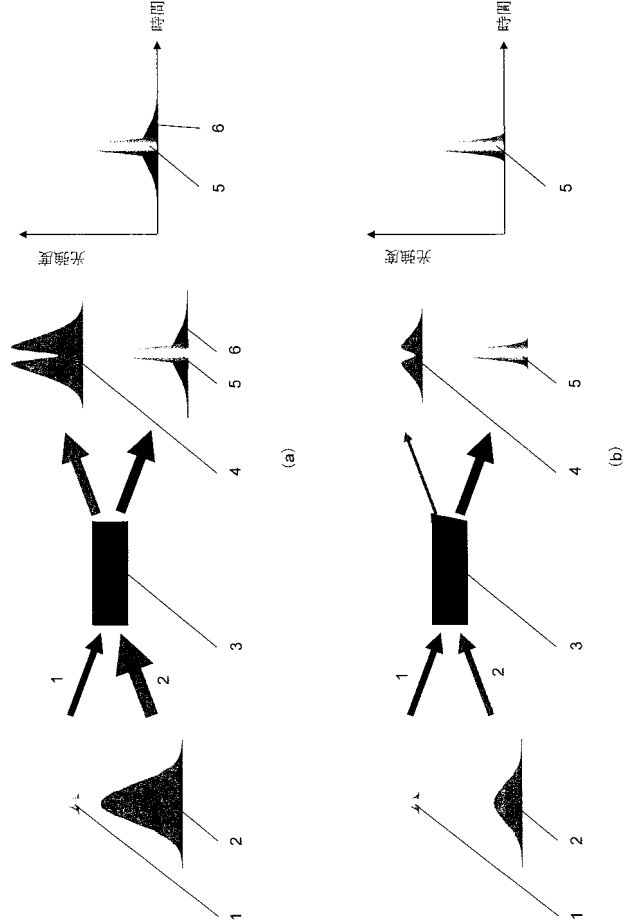
【図3】



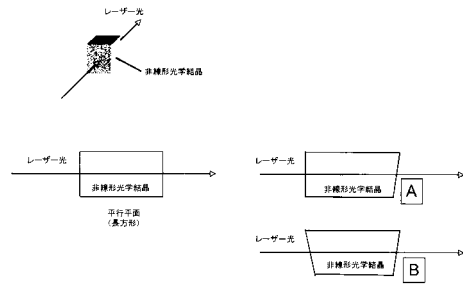
【図5】



【図4】



【図6】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 桐山 博光  
京都府相楽郡木津川市梅見台 8 丁目 1 番 独立行政法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究  
所内
- (72)発明者 森 道昭  
京都府相楽郡木津川市梅見台 8 丁目 1 番 独立行政法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究  
所内
- (72)発明者 大道 博行  
京都府相楽郡木津川市梅見台 8 丁目 1 番 独立行政法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究  
所内
- (72)発明者 金沢 修平  
京都府相楽郡木津川市梅見台 8 丁目 1 番 独立行政法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究  
所内
- (72)発明者 近藤 修司  
京都府相楽郡木津川市梅見台 8 丁目 1 番 独立行政法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究  
所内

F ターム(参考) 2K002 AB12 BA04 HA21