

(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2011-48361  
(P2011-48361A)

(43) 公開日 平成23年3月10日(2011.3.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2B 5/18 (2006.01)</b>	GO2B 5/18	2H249
<b>GO2B 3/00 (2006.01)</b>	GO2B 3/00	A
<b>GO2B 3/06 (2006.01)</b>	GO2B 3/06	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2010-179470 (P2010-179470)	(71) 出願人	510218043 ローレンス リバモア ナショナル セキ ュリティー, エルエルシー アメリカ合衆国, カリフォルニア州, リバーモア, ファースト ストリート 2300
(22) 出願日	平成22年8月10日 (2010.8.10)	(74) 代理人	100107456 弁理士 池田 成人
(31) 優先権主張番号	12/544, 161	(74) 代理人	100148596 弁理士 山口 和弘
(32) 優先日	平成21年8月19日 (2009.8.19)	(74) 代理人	100123995 弁理士 野田 雅一
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	アンディ ジェイ. バイラミアン アメリカ合衆国, カリフォルニア州, マンテカ, メドウ ウェイ 777 最終頁に続く

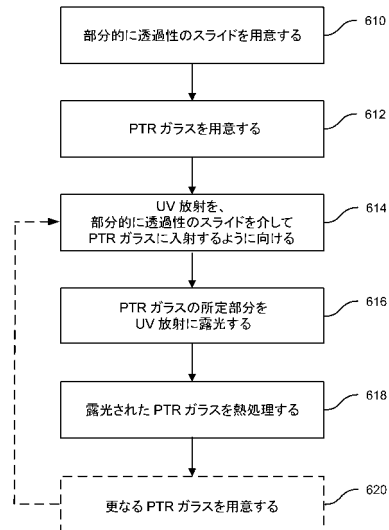
(54) 【発明の名称】 感光性物質を含む回折型レーザービームホモジナイザ、及びその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ビームホモジナイザの高出力レーザーアプリケーションにおいてレーザービームを均一化する改善された光学系、方法及びシステムを提供する。

【解決手段】 回折光学素子を製造する方法であって、部分的に透過性のスライドを用意するステップ610と、光熱屈折(PTR)ガラスを用意するステップ612と、UV放射を前記部分的に透過性のスライドを介して前記PTRガラスに入射するように向けるステップ614と、前記PTRガラスの所定部分を前記UV放射に露光するステップ616と、露光された前記PTRガラスを熱処理するステップ618と、更なるPTRガラスを用いて、前記PTRガラスを用意するステップ及び処理するステップを繰り返すステップ620と、を含む方法。

【選択図】 図6



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ビーム経路に沿って配設され、入力面、該入力面に対向する出力面、及び該入力面と該出力面の間に延在する所定の厚さを有する回折光学素子であり、光熱屈折材料を含み、前記入力面でのレーザビーム強度プロファイルが第 1 の強度プロファイルによって特徴付けられる、該回折光学素子と、

前記出力面から所定の距離で前記ビーム経路に沿って配設され、前記出力面から出射するレーザビームを受けよう機能し得るレンズであり、前記レンズの表面でのレーザビーム強度プロファイルが第 2 の強度プロファイルによって特徴付けられる、該レンズと、

前記ビーム経路に沿って前記レンズから標的位置まで延在する伝搬経路であり、前記標的位置でのレーザビーム強度プロファイルが 10 % 未満で変化する第 3 の強度プロファイルによって特徴付けられる、該伝搬経路と、  
を備える光学系。

10

## 【請求項 2】

前記回折光学素子が、屈折率の連続的な変化によって特徴付けられる、請求項 1 に記載の光学系。

## 【請求項 3】

前記光熱屈折材料が、正弦曲線状の格子構造を実質的に有していない、請求項 1 に記載の光学系。

## 【請求項 4】

前記格子構造が、周期的であるか又はチャープを有する、請求項 3 に記載の光学系。

20

## 【請求項 5】

前記回折光学素子が、結像操作を行う、請求項 1 に記載の光学系。

## 【請求項 6】

前記第 1 の強度プロファイルの変化が 10 % より大きい、請求項 1 に記載の光学系。

## 【請求項 7】

前記第 3 の強度プロファイルの変化が 5 % 未満である、請求項 1 に記載の光学系。

## 【請求項 8】

前記第 3 の強度プロファイルの変化が 2 % 未満である、請求項 1 に記載の光学系。

## 【請求項 9】

複数の回折光学素子を製造する方法であって、  
部分的に透過性のスライドを用意するステップと、  
第 1 の光熱屈折 (PTR) ガラスを用意するステップと、  
第 1 の UV 放射を、前記部分的に透過性のスライドを介して前記第 1 の PTR ガラスに入射するように向けるステップと、

30

前記第 1 の PTR ガラスの所定部分を前記第 1 の UV 放射に露光するステップと、

露光された前記第 1 の PTR ガラスを熱処理するステップと、

第 2 の PTR ガラスを用意するステップと、

第 2 の UV 放射を、熱処理された前記第 1 の PTR ガラスを介して前記第 2 の PTR ガラスに入射するように向けるステップと、

40

前記第 2 の PTR ガラスの所定部分を前記第 2 の UV 放射に露光するステップと、

露光された前記第 2 の PTR ガラスを熱処理するステップと、

更なる PTR ガラスを用いて、前記第 2 の PTR ガラスを用意するステップ及び処理するステップを繰り返すステップと、  
を含む方法。

## 【請求項 10】

前記第 2 の PTR ガラスが、位置の関数としての屈折率の連続的な変化によって特徴付けられる、請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記第 1 の PTR ガラスが、直方体を構成する、請求項 9 に記載の方法。

50

## 【請求項 12】

前記 PTR ガラスが、直方体を構成し、前記第 1 の UV 放射が、前記直方体の最小面に垂直な面で前記直方体に入射する、請求項 11 に記載の方法。

## 【請求項 13】

前記第 2 の PTR ガラスが、直方体を構成する、請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 14】

前記部分的に透過性のスライドが、写真イメージを含む、請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 15】

複数の回折光学素子を製造する方法であって、  
位置の関数としての所定の位相プロファイルによって特徴付けられるマスタープレート  
を用意するステップと、

複数の PTR ガラスを用意するステップと、

a) UV 放射を、前記マスタープレートを介して前記複数の PTR ガラスのうちの第 1  
の PTR ガラスに入射するように向けるステップと、

b) 前記複数の PTR ガラスのうちの前記第 1 の PTR ガラスの所定部分を前記 UV 放射に露光するステップと、

c) 前記複数の PTR ガラスのうちの露光された前記第 1 の PTR ガラスを熱処理して  
第 1 の回折光学素子を形成するステップと、

前記複数の PTR ガラスのうちの前記第 1 の PTR ガラスに代えて前記複数の PTR ガ  
ラスのうちの他の PTR ガラスを順次使用してステップ a) からステップ c) を繰り返して、他の回折光学素子を形成するステップと、  
を含む方法。

## 【請求項 16】

前記マスタープレートが、PTR ガラスを含む、請求項 15 に記載の方法。

## 【請求項 17】

前記 PTR ガラスが、直方体である、請求項 16 に記載の方法。

## 【請求項 18】

前記マスタープレートが、多層のエッチングされた回折板を備える、請求項 15 に記載  
の方法。

## 【請求項 19】

前記複数の回折光学素子が、位置の関数としての屈折率の連続的变化によって特徴付け  
られる、請求項 15 に記載の方法。

## 【請求項 20】

前記複数の回折光学素子が、回折型ホモジナイザを構成する、請求項 15 に記載の方法  
。

## 【発明の詳細な説明】

## 【関連出願の相互参照】

## 【0001】

[0001] 以下の 2 つの正規の米国特許出願（本出願を含む）、すなわち、

2009 年 8 月 19 日に出願した、名称「Method and System fo  
r Homogenizing Diode Laser Pump Arrays」（  
代理人整理番号 027512-001300US）の米国特許出願第 12/544,14  
7 号、及び

2009 年 8 月 19 日に出願した、名称「Diffractive Laser Be  
am Homogenizer including a Photo-Active  
Material and Method of Fabricating the S  
ame」（代理人整理番号 027512-001400US）の米国特許出願第 12/5  
44,161 号

は、同時に出願したものであり、他方の出願の開示全体を、あらゆる目的のために参照す  
ることによって本出願に援用する。

10

20

30

40

50

## 【連邦政府支援研究開発の下で行われた発明の権利に関する陳述】

## 【0002】

[0002]米国政府は、米国エネルギー省とLawrence Livermore National Security, LLCの間の契約番号DE-AC52-07NA27344に従って、本発明の権利を有する。

## 【背景技術】

## 【0003】

[0003]高平均出力ダイオード励起固体レーザは、近接場内でビーム変調又は非一様な空間プロファイルをもつことが多く、ガウス状の又は複数ピークをもつ遠視野を有し得る。他のレーザの励起、加工、レーザ衝撃発生(laser shock generation)、及びレーザ切断などのいくつかの重要なレーザアプリケーションは、近接場又は遠視野内で平坦な空間プロファイルを必要とする。

10

## 【0004】

[0004]ビデオプロジェクトは、スクリーン位置の関数として一様な強度を有する画像を形成するために、ビームホモジナイザを利用している。典型的には、これらのビームホモジナイザは、レンズベースのホモジナイザである。図1は、従来のマイクロレンズアレイビームホモジナイザの略図である。図1に示すように、第1の2次元正方マイクロレンズアレイ $LA_1$ は、第2の2次元正方マイクロレンズアレイ $LA_2$ から所定の距離 $d$ の位置に配置されている。このマイクロレンズアレイは、放物面レンズプロファイルを有する平凸状をなしている。距離 $d$ は、第2の2次元正方マイクロレンズアレイの焦点距離 $f_{LA_2}$ に等しい。第1の2次元正方マイクロレンズアレイ $LA_1$ は、 $f_{LA_1}$ に等しい距離で入射平行光を集束させる。したがって、第1のアレイ内の各マイクロレンズからの光は、第2のアレイ内の対応する隣接位置に存在するいくつかのマイクロレンズに広がる。第2の2次元正方マイクロレンズアレイ $LA_2$ の出力は、平行且つ一様なビームであり、レンズ $L$ によって集束され、レンズ $L$ の焦点距離 $f_L$ である遠視野においてトップハットプロファイルになり得る。

20

## 【0005】

[0005]図1に示す屈折マイクロレンズアレイは、光の波長と比較して大きい形体(すなわち、マイクロレンズ)を含む。その結果、これら形体に関連した構造が、準均一化されたビーム中に存在する。本発明のいくつかの実施形態は、光の波長程度の回折構造を利用するので、そうしたより大きい構造の非一様性は、本発明の各実施形態を用いて生成される均一化された出力ビームにおいて回避され、より優れたビームの一様性、及び強度変化の低減をもたらされる。

30

## 【0006】

[0006]図2は、従来の交差シリンドリカルレンズビームホモジナイザの略斜視図である。図2に示すホモジナイザは、2つの集光レンズ $C_1$ 及び $C_2$ を利用する。各集光レンズ、例えば、集光レンズ $C_1$ は、放物面レンズプロファイルを有する屈折平凸シリンドリカルレンズアレイ210及び212を含む。シリンドリカルレンズ群210及び212は、中央のガラス板214の両側に取り付けられている。光線220によって示すように、光は、第1のシリンドリカルレンズリニアアレイ210によって距離 $f_1$ で集光される。光線222によって示すように、光は、焦点距離 $f_2$ を有する第2のシリンドリカルレンズリニアアレイ212によって直交する面内で集束される。マッチングしたセットのシリンドリカルレンズアレイを用いた第2の集光レンズ $C_2$ は、第1の集光レンズから焦点距離で配置されている。

40

## 【0007】

[0007]マイクロレンズアレイ及び交差シリンドリカルレンズビームホモジナイザの有用性(availability)にも関わらず、当技術分野では高出力レーザアプリケーションにおいてレーザビームを均一化する改善された方法及びシステムの必要性が存在している。

## 【発明の概要】

50

## 【 0 0 0 8 】

[0008]本発明は、広く、レーザシステムに関するものである。より詳細には、本発明は、高出力レーザビームを均一化する方法及びシステムに関する。この方法及び装置は、単なる例として、回折光熱屈折ガラス部材に適用されており、レーザビームに対し位相変化を与えて出力に略一様な強度プロファイルを与える。さらに、大きな回折光学素子を製造する方法が、本発明の各実施形態によって提供される。本発明は、より広範な適用可能性を有し、他のレーザシステムに適用することができることが理解されよう。

## 【 0 0 0 9 】

[0009]本発明の一実施形態によれば、光学系が提供される。この光学系は、ビーム経路に沿って配設され、入力面、この入力面に対向する出力面、及び入力面と出力面の間に延在する所定の厚さを有する回折光学素子を含む。回折光学素子は、光熱屈折材料を含み、入力面でのレーザビーム強度プロファイルが、第1の強度プロファイルによって特徴付けられる。この光学系は、出力面から所定の距離でビーム経路に沿って配設され、出力面から出るレーザビームを受けよう機能し得るレンズも含む。レンズの表面でのレーザビーム強度プロファイルは、第2の強度プロファイルによって特徴付けられる。この光学系は、ビーム経路に沿ってレンズから標的位置まで延在する伝搬経路も含む。標的位置でのレーザビーム強度プロファイルは、10%未満で変化する第3の強度プロファイルによって特徴付けられる。

10

## 【 0 0 1 0 】

[0010]本発明の別の実施形態によれば、複数の回折光学素子を製造する方法が提供される。この方法は、部分的に透過性のスライドを用意するステップと、第1のPTRガラスを用意するステップと、第1のUV放射を、部分的に透過性のスライドを介して第1のPTRガラスに入射するように向けるステップと、を含む。この方法は、第1のPTRガラスの所定部分を第1のUV放射に露光するステップと、露光された第1のPTRガラスを熱処理するステップとをも含む。この方法は、第2のPTRガラスを用意するステップと、第2のUV放射を、熱処理された第1のPTRガラスを介して第2のPTRガラスに入射するように向けるステップとを更に含む。この方法は、第2のPTRガラスの所定部分を第2のUV放射に露光するステップと、露光された第2のPTRガラスを熱処理するステップとを更に含む。また、この方法は、更なるPTRガラスを用いて、第2のPTRガラスを用意するステップ及び処理するステップを繰り返すステップを含む。

20

30

## 【 0 0 1 1 】

[0011]本発明の更に別の実施形態によれば、複数の回折光学素子を製造する方法が、提供される。この方法は、位置の関数としての所定の位相プロファイルによって特徴付けられるマスタープレートを用意するステップと、複数のPTRガラスを用意するステップとを含む。この方法は、a) UV放射を、マスタープレートを介して複数のPTRガラスのうちの第1のPTRガラスに入射するように向けるステップと、b) 複数のPTRガラスのうちの第1のPTRガラスの所定部分をUV放射に露光するステップと、c) 複数のPTRガラスのうちの露光された第1のPTRガラスを熱処理して第1の回折光学素子を形成するステップとをも含む。この方法は、複数のPTRガラスのうちの第1のPTRガラスの代わりに複数のPTRガラスのうちの他のPTRガラスを順次使用してステップa) からステップc) を繰り返して、他の回折光学素子を形成するステップを更に含む。

40

## 【 0 0 1 2 】

[0012]従来技法を上回る多くの利益が、本発明によって実現される。例えば、本技法は、レーザ照射を均一化するために用いることができる回折板を提供し、これによりレーザ利得材料からの抽出効率をより高くし、レーザ励起レーザからのビームの質をより高める。さらに、本明細書に記載された回折板は、高平均出力ダイオード励起固体レーザを用いて、標的加工アプリケーション用の改善されたレーザ光束の一様性をもたらす(レーザ光束は圧力及び温度に変わる)。また、他の各実施形態は、エッチング型又はブレード型光学部品(optic)と比べて滑らかで連続的な屈折率の変化が与えられることにより本質的により高い回折効率を提供する。回折効果は、材料のバルクに存在しているので、

50

本明細書に記載した光学部品の表面は、完全に平坦であり得る。平坦面は、表面及び当該表面に施される任意の誘電体コーティングに対して高い損傷閾値をもたらす。平坦面は、真空環境及び汚れた環境中で汚染物質の「ゲッタ (getter)」として働く従来の回折光学部品と比較して清浄を保つことも可能である。本発明のこれら及び他の実施形態を、利点及び特徴の多くと共に、以下の文章及び添付図面と併せてより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】従来のマイクロレンズアレイビームホモジナイザ略図である。

【図2】従来の交差シリンドリカルレンズビームホモジナイザの略示斜視図である。

【図3】代表的なレーザビームの位置の関数としてのレーザ強度を略示したグラフである

10

【図4】本発明の一実施形態によるレーザビーム均一化システムの略示斜視図である。

【図5A】本発明の一実施形態による回折光学素子の入力での位置の関数としてのレーザビーム強度の略示した画像である。

【図5B】本発明の一実施形態による回折光学素子の入力での位置の関数としてのレーザビーム強度の略示したグラフである。

【図5C】本発明の一実施形態による回折光学素子の出力での位置の関数としてのレーザビーム強度の略示した画像である。

【図5D】本発明の一実施形態による回折光学素子の出力での位置の関数としてのレーザビーム強度の略示したグラフである。

20

【図6】本発明の一実施形態による回折光学素子を製造する方法の略示フロー図である。

【図7】本発明の別の実施形態による回折光学素子を製造する方法の略示フロー図である。

【図8】本発明の一実施形態によるマスタープレートを用いた回折光学素子を製造する方法の略示フロー図である。

【特定の実施形態の詳細な説明】

【0014】

[0024]本発明の各実施形態は、幅広い種類のレーザアプリケーションに有益である。例えば、2008年9月30日に出願された「Control of a Laser Inertial Confinement Fusion-Fission Power Plant」と題する国際出願PCT/US2008/011335に記載されたレーザ慣性閉じ込め核融合核分裂エンジン(LIFE: Laser Inertial Confinement Fusion-Fission Engine)プロジェクトであり、その開示は、あらゆる目的のために参照することによりその全体が本明細書に援用される。LIFEプロジェクトは、遠視野内におけるフラットトップ強度プロファイルによって特徴付けられるレーザを利用する。さらに、Ti:サファイアベースの短パルスレーザシステムが、Ti:サファイア出力ビームのシステム効率及びビーム品質を改善するために、ポンプレーザのビームの均一化から恩恵を得ることができる。レーザ加工、マーキング、穴あけ、及び溶接などの他のダイオード励起固体レーザアプリケーションも、標的の位置でのレーザビームの一様性の改善に基づいて本発明の各実施形態から恩恵を得ることができる。

30

40

【0015】

[0025]ダイオード励起固体レーザは、高効率及び高平均出力を可能にするが、近接場及び遠視野のビーム品質は、他のレーザの励起、加工、レーザ衝撃発生、及びレーザ切断などのいくつかの重要なレーザアプリケーションにとっては、未だに満足のないこともある。そのような高出力レーザのビーム品質を改善するために、いくつかの方法が用いられてきた。

【0016】

[0026]一例として、いくつかの高出力レーザシステムは、ビーム中の位相の不均一性を補うために、位相補正器又は補償光学部品を用いており、それによって回折限界の集光を

50

可能としている。アレイ構成で配設された複数の制御可能なタイルを備える補償ミラー (adaptive mirror) は、補償光学技術の一例である。補償光学技術は、レーザのスポットの大きさを減少させることにおけるいくつかの成功を示してきたが、これら技術は、焦点で平坦な強度プロファイルをもたらさない。さらに、典型的には、これら技術は、近接場内で空間の不均一性を低下させない。

【0017】

[0027]別の手法は、図1及び図2にそれぞれ示すマイクロレンズ及びシリンドリカルレンズを置き換えるために、回折素子を用いることである。この手法の欠点は、これら素子が、所望の性能に必要な表面構造を実現するために、多重露光フォトリソグラフィ及びエッチングプロセスを利用し、或いは、磁性流体研磨機を使用することである。多重露光フォトリソグラフィを用いる場合には、正確なマスク位置合わせ及びエッチングプロセスが、高伝送効率を実現するために必要であるが、製造プロセスに時間がかかり、構成要素が高価になる。本発明者らは、回折光学部品が、製造困難であると共に製造費用がかかることに加えて、この手法を大口徑に拡張することは、費用がかかると判断している。

10

【0018】

[0028]図3は、代表的なレーザビームの位置の関数としてのレーザ強度を略示したグラフである。図3に示すように、近接場におけるビームの強度は、非周期的な形で位置の関数として変化する。図3に示すレーザビームの近接場の様でない空間強度プロファイル特性は、回折限界スポットに集束しないレーザビームの遠視野をもたらす。典型的には、遠視野は、複数ピークとなる。他のレーザの励起、加工、レーザ衝撃発生、及びレーザアブレーションなどのいくつかの重要なレーザアプリケーションは、近接場又は遠視野内のレーザビームの空間プロファイルが、平坦な空間プロファイルであるときに、恩恵を得る。本明細書を通じて更に十分に説明するように、本発明の各実施形態は、ビームの非一様性を低減し、これらアプリケーションに適した略一様な(すなわち、平らな)空間プロファイルを与える。

20

【0019】

[0029]図4は、本発明の一実施形態によるレーザビーム均一化システムの略示斜視図である。システム400は、レーザビーム405の光路に配設された回折光学素子410を備えている。回折光学素子410は、回折型ホモジナイザとも呼ばれる。図4に示すレーザビームは、レーザ出力の近接場、又は一以上の光学部品を通じて伝搬した後のものであり得る。レーザビーム405は、図4に示す実施形態では円形の断面形状を有するが、このことは、本発明に必須ではない。この回折光学素子は、入力ビームに面する第1の表面412と、第1の表面に対向する第2の表面414と、厚さtとを有する。第1の表面412におけるビームプロファイルは、所定の位相プロファイルによって特徴付けられる。第1の表面412における所定の位相プロファイルに関連した追加の解説については、図5A及び図5Bに関連して提供する。

30

【0020】

[0030]回折光学素子410の表面412及び414は、略平坦であり、反射防止(AR)膜の蒸着又は他の表面処理に適している。例示の実施形態では、回折光学素子は直方体の形態で製作されている。本明細書を通じて更に十分に説明するように、回折光学素子410は、UVベースの露光及び熱処理プロセスを用いて製造される。PTRガラス、又は位置の関数として変化する屈折率を与えることができる他の適した透明材の使用により、屈折率の連続的変化を位置の関数として有する回折光学素子の製造及び使用が可能になる。基本的には、回折型ホモジナイザは、ダイオード照射の非一様性に比べて小さい空間スケールで位相を変化させる。このことは、表面特徴の不連続性によって不連続に変わる屈折率をもたらす従来のエッチング型の回折型ホモジナイザと対照的である。

40

【0021】

[0031]回折光学素子に必要とされる位相変化は、コンピュータで正確に計算することができ、それによって意図した光学部品の空間位相マップを発生することができる。この計算から、所要の位相変化を実現するのに必要である所要の屈折率の変化は、 $n = \dots / t$

50

である。ここで、 $n$ は屈折率の変化であり、 $\phi$ は所要の位相であり、 $t$ はPTRガラスの厚さである。典型的には、PTRに生じる屈折率の変化は、露光時の入射光強度に比例する。

#### 【0022】

[0032] PTRガラスは、波長分割多重システムに用いるポリウムブラッグ格子を製造するために使用されてきた。これらポリウムブラッグ格子は、特定のアプリケーションに応じて周期的であるか又はチャープを有するものであり、格子構造で典型的なように、レーザを用いて露光することによって製造される。本発明の各実施形態は、PTRに形成されるこれら従来の格子構造と対照的である。その理由は、パターンが周期的又はチャープを有するものではなく、回折光学素子の入射面で存在する特定の強度プロファイル及び光学利得媒体での所望の強度プロファイルに基づいて定められるからである。図4を参照すると、したがって、回折光学素子の屈折率プロファイルは、表面412での強度プロファイル、及び表面432での所望の様な強度プロファイルによって定められる。周期的な格子構造、更にチャープを有する格子構造とは対照的に、本発明の各実施形態は、非正弦曲線状の屈折率プロファイルを利用して所望の回折効果を実現する。

10

#### 【0023】

[0033] エッチング型の回折構造は、いくつかの欠点を有しており、この欠点は、高出力レーザアプリケーションで用いるための課題を提示するものである。レーザビームが回折光学素子を通過するとき、エッチングされた表面の形状により、回折効果をもたらされる。表面特徴を制御するために、エッチングマスクの一方のレベルをエッチングマスクの他方のレベルに位置合わせする処理全体にわたって、高水準の制御が必要とされる。エッチングマスクの位置合わせが不良であると、表面形状が誤って画成されることになり、それによって透過ビームの品質が低下する。また、エッチング深さの制御は、最終的な表面形状に対する極めて重要な入力である。回折構造の全高が約 $1\mu\text{m}$ である8レベルのエッチングプロセスについては、最終ステップの高さは $250\text{nm}$ であり、これは高水準の再現性をもってエッチングすることを困難とする。

20

#### 【0024】

[0034] エッチングマスクの位置合わせ及びエッチング深さについて適切な制御が実行されると仮定すると、エッチング側の回折構造の鋭利な特徴 (*sharp feature*) により、入射光が散乱することになり、回折光学素子の伝達効率に悪影響が及ぼされる。エッチング型の回折構造を利用した本発明者らによって行われた研究は、アナモルフィック望遠鏡 (*anamorphic telescope*)、エッチング型の回折型ホモジナイザ、集束レンズ、及びミラーの通過後に、伝達効率 (出て行く光が入ってくる光で割ったもの) が約60%であることを示している。典型的には、光学素子からの散乱損失は、薄膜の反射防止 (AR) 膜の使用によって低減される。しかし、エッチング型の回折構造の高度に構造化された表面は、薄膜コーティングの有用性及び品質に悪影響を及ぼす。したがって、いくつかのエッチング型の回折光学素子では、界面でのフレネル反射損が、出力伝達効率の低下に大きく影響し得る。

30

#### 【0025】

[0035] 本発明の各実施形態は、エッチング型の回折型ホモジナイザの欠点を低減又は排除する。PTRガラスを用いて作製された回折光学素子の平坦面は、高出力レーザアプリケーションによく適している。光学部品の表面が、平坦であるので、エッチングされた表面に共通する汚れや塵の集積が低減される。加えて、この平面は、界面でのフレネル反射損を低減するAR膜の蒸着に適した基板を与える。本明細書に記載した回折光学素子によって提供される平面及び「内部」屈折率の変化により、エッチング型の回折構造の伝達効率よりも非常に高い伝達効率を得られる。本発明者らによって試験された、約80%の伝達効率によって特徴付けられた16レベルのバイナリプレート (*binary plate*) とは対照的に、本発明の各実施形態は、 $>90\%$ 、 $>92\%$ 、 $>94\%$ 、 $>96\%$ 、又は $>98\%$ の伝達効率をもたらす。

40

#### 【0026】

50



[0036]さらに、PTRガラスに製造された回折光学素子の散乱損失は、従来のエッチング型の回折要素と比べて低減される。本明細書に記載した製造方法に由来する屈折率の連続的变化により、エッチング型の構造に存在している不連続が排除され、それによりPTRガラスに製造された回折光学素子の伝達効率が増大する。

【0027】

[0037]上述したように、従来のエッチング型の回折光学部品は、当該回折光学部品を製作するためのエッチングプロセスの結果として伝達効率に限界がある。本発明の各実施形態を利用すると、半導体リソグラフィ用に開発された技術などの技術を利用してグレイスケールのマスタスライドを生成し、屈折率が連続的に変化する回折光学素子をPTRガラスに製造することが可能である。イメージリレー、ステップ、繰り返し等といったリソグラフィ用に相当なコストで開発された印刷技術及びイメージング技術を活用することができる。したがって、これら回折光学素子での滑らかな位相プロファイルは、従来の板よりも非常に効率的になる。

10

【0028】

[0038]本発明の各実施形態は、多数の高出力レーザ及び増幅器アプリケーションに適用可能である。一例として、Lawrence Livermore National Laboratoryで開発されたLIFEプログラムは、高出力レーザビームを利用し、単色光を増幅器に送る能力から恩恵を得ることになる。増幅器の均一な照射により、高ビーム品質及び高効率が可能になる。さらに、国防上のアプリケーションに役立つ大口径レーザは、均一な励起からやはり恩恵を得てビーム品質を向上させ、それにより戦術的戦闘の標的上のレーザ強度も増大させることができる。レーザ加工、マーキング、穴あけ、及び溶接などの他の固体レーザアプリケーションも、改善された出力エネルギー及びビーム品質によって本発明の各実施形態から恩恵を得ることができる。

20

【0029】

[0039]光は、回折光学素子410を通過し、次いでレンズ420で集束される。このレンズは、正レンズを表すよう断面図で示されている。均一化されたビームは、通常はレンズの遠視野が位置している光増幅器430の平面432に結像される。回折光学素子の位相変化の空間スケールは、遠視野又は近接場のフラットトップの強度プロファイルが発生しているか否かを決定することを留意されたい。レーザビームの伝搬の方向と垂直な方向に回折光学素子の位相プロファイルが緩やかに変化している場合には、自由空間を通じて回折した後、遠視野のフラットトップの強度プロファイルが、生成されることになる。このことは、レーザビームの遠視野に関連した同期プロファイルと対比し得る。一方、回折光学素子の位相プロファイルが、レーザビームの伝搬と垂直な方向に急速に変化している場合には、自由空間を通じて回折した後、近接場のフラットトップの強度プロファイルが、生成されることになる。発明者らは、本発明の各実施形態及びPTRガラスを用いて製造することができる急速に変化する位相プロファイルは、磁性流体研磨を用いて製造することができないと判断している。これは、磁性流体研磨を用いて利用できる形体の大きさが、位相プロファイルの変化よりも大きいからである。したがって、本発明は、従来の方法を用いて利用できない製造技法を提供する。

30

【0030】

[0040]光増幅器430は、高出力増幅器用の増幅器スラブ又はレーザの能動部品であり得る。回折光学素子410の設計は、回折光学素子の入力で入力レーザビーム405を特徴付ける強度プロファイルに合わせることになる。回折光学素子を通じて伝搬し、レンズ420を用いて結像した後、入力ビームを特徴付ける空間依存の照射は、ランダム化され、増幅器スラブ430又は他の適した利得媒体の励起のための均一化されたビームを作り出す。(断面で測定される)ビームの形状は、回折光学素子410を用いて変化され得る。一例として、前置増幅器段からの正方形又は長方形のビームの断面は、増幅器スラブ430で維持することができ、又は増幅器スラブ430で円形ビームに変換され得る。

40

【0031】

[0041]回折光学素子は、均一化に加えて、ビームの結像を実行することも可能である。

50

したがって、レンズ420に加えて又はレンズ420に代えて、追加のレンズ効果が、回折光学素子によってもたらされ得る。単レンズ420を図4に示しているが、本発明の各実施形態は、単レンズに限定されず、追加の光学素子が、結像効果をもたらすために使用されてもよい。当業者は、追加の多くの変更形態、修正形態、及び代替形態を認識するであろう。

#### 【0032】

[0042]本発明の各実施形態は、レーザ加工、マーキング、穴あけ、溶接などを含む固体レーザアプリケーションにおいて標的の位置でのビームの一様性を改善するのに有益である。本明細書に記載した回折光学素子を使用してレーザ照射を均一化することができ、これによりレーザ利得媒体からの抽出効率がより高くなり、レーザ励起レーザのビーム品質がより好適なものとなる。加えて、各実施形態は、高平均出力ダイオード励起固体レーザを用いて、標的加工アプリケーションにおける改善されたレーザ光束の一様性をもたらす（レーザ光束は、圧力及び温度に変わる）。加えて、短パルスレーザ及び他のレーザ励起レーザは、レーザビーム質及びレーザの利得抽出の効率の改善に関して、本明細書に記載した各実施形態によってもたらされる近接場の均一化から恩恵を得ることができる。

10

#### 【0033】

[0043]図5Aは、本発明の一実施形態による回折光学素子の入力での位置の関数としてのレーザビーム強度を略示した画像である。図5Aに示すように、レーザの強度は、位置の関数として大きく変化する。強度プロファイルは、位置の関数として変化する出力によって特徴付けられ、ビームのいくつかの領域が他の領域よりも相当に明るくなっている。実際には、レーザビームのいくつかの部分は、ほとんど黒に見え、ビームのこれら部分では少量の出力が示される。

20

#### 【0034】

[0044]この例では、レーザからの光が、所与の距離だけ伝搬しており、回折及び伝搬によって、例示した一様でない強度プロファイルがもたらされている。この強度プロファイルが、増幅器スラブへ結像される場合には、増幅器スラブの利得は、高利得の範囲及び低利得の範囲によって特徴付けられることになり、この増幅器の利得媒体での励起は非効率なものとなる。また、ビーム強度の変化は増幅器において予測できない利得プロファイルをもたらす、システム性能に悪影響を及ぼす。

#### 【0035】

[0045]図5Bは、本発明の一実施形態による回折光学素子の入力での位置の関数としてのレーザ強度を略示したグラフを含む。水平方向に沿って得られた強度プロファイルが、入力ビームの幅を表す破線522によって示されており、垂直方向に沿って得られた強度プロファイルが、入力ビームの高さを表す実線524によって示されている。図5Aに示すように、幅方向に沿った測定値（破線522）は、略2峰性の分布によって特徴付けられており、ピークが縁領域にあり、強度の低下がプロファイルの中央に存在する。高さ方向に沿った測定値（実線524）は、ビームの上部に出力の大部分が存在することに特徴を有し、低い強度が下部中央に存在する。ビームの下縁にあるスパイクが、レーザ強度グラフに見える。

30

#### 【0036】

[0046]レーザビーム全体にわたる強度変化は大きく、強度スパイクのいくつかは、他の強度値の3倍よりも大きくなっている。ビームの垂直方向測定値に関する実線524を参照すると、約20mmでのスパイクは、3を超える正規化強度値を有し、一方、約10mmでの強度は、1未満である。破線522については、約1の平均正規化強度値を有し、いくつかのピークは、その値の約2倍に達しており、谷は、その値の約半分である。したがって、強度の変化は、100%を超え得る。図5Aに関して述べたように、図5Bに示すような強度プロファイルを有するレーザビームは、ポンプビームとして使用される場合に又は他の高出力アプリケーション向けに使用される場合に、芳しくない性能をもたらす。図5A及び図5Bに示す入力ビームの集束によって、非回折限界スポットがもたらされ、相当な量の出力が、より高次のローブに存在することとなる。したがって、標的

40

50

の出力は、入力ビームが一様であったら利用できたものよりも非常に少ないことになる。

【0037】

[0047]図5Cは、本発明の一実施形態による回折光学素子の出力での位置の関数としてのレーザビーム強度を略示した画像である。回折光学素子の出力でのレーザビーム強度について言及する際には、この出力は、回折光学素子の表面に位置する出力ビームであることを要しないが、回折光学素子から離間して配置された出力位置にあるビームとして理解することができる。図4を参照すると、出力ビームは、増幅器スラブ430の表面432に位置し得る。レーザビームは、略矩形のビーム形状から円形ビームに変換されている。ビーム形状の変換は、本発明の各実施形態によって必須ではないが、この図に示すように与えられてもよい。図5Cに示すように、レーザビーム強度の画像は、一様な強度パターンを位置の関数として示しており、このことは、多くのアプリケーションにとって望ましい。

10

【0038】

[0048]図5Dは、本発明の一実施形態による回折光学素子の出力での位置の関数としてのレーザ強度を略示したグラフを含む。円形ビーム全体にわたる位置の関数としてのレーザ強度が、破線532及び実線534によって示されている。水平方向に沿って得られた強度プロファイルが、破線532によって示されており、垂直方向に沿って得られた強度プロファイルが実線534によって示されている。図5Bと比べて、水平方向と垂直方向の双方の強度プロファイルは略一様であり、位置の関数としてわずかな変化だけを有している。回折光学素子を利用することにより、回折光学素子についての特定の設計基準に応じて、ビーム全体にわたって20%未満、15%未満、10%未満、5%未満、4%未満、3%未満、2%未満、又は1%未満の強度変化がもたらされる。

20

【0039】

[0049]本発明の各実施形態によれば、(ビームホモジナイザなどの)回折光学素子は、強度変化又は位相変化を有するマスタープレートを用い、光屈折ガラス基板に所定の強度プロファイルを結像することによって製造され、それによって単一の露光で新しい回折光学素子が製造される。図6は、本発明の一実施形態による回折光学素子を製造する方法の略示フロー図である。図6に示す方法では、ダイオードレーザポンプアレイ又はレーザビームからの光の均一化に用いる一以上の回折光学素子を製造することができる。この方法は、部分的に透過性のスライドを用意するステップ(610)と、PTRガラスを用意するステップ(612)とを含む。部分的に透過性のスライドは、グレイスケールフォトリソグラフィ技法の使用に適した写真イメージであってもよい。そのような写真イメージを用いる場合には、濃淡の陰影を利用して、PTRガラス中の位置の関数としての連続的な屈折率の変化を生成することができる。PTRガラス中の位置の関数としての所望の屈折率の計算に基づいて、部分的透過性スライドの密度、そして、結果としてPTRガラスの照射の強度は、PTRガラスの様々な部分で露光される光量に応じて変化する。

30

【0040】

[0050]この方法は、UV放射を、部分的に透過性のスライドを介してPTRガラスに照射するように向けられるステップ(614)も含む。強度パターンは、PTRガラスの所望の屈折率パターンに応じた所定のパターンである。PTRガラスの所定部分は、UV放射に露光され(616)、露光されたPTRガラスは、熱処理されて、位置の関数として所望の屈折率プロファイルを生成する。本発明のいくつかの実施形態は、位置の関数として屈折率の連続的な変化を与える。これら回折光学素子によってもたらされる滑らかに変化する位相プロファイルによって、所望の一様なビームプロファイルの発生において伝達効率をより高めることが可能となる。

40

【0041】

[0051]PTRガラスに所望の強度プロファイルを作り出すために用いられ得る別の方法は、空間光変調器を用いて、UVビームの一部を遮り、PTRガラスに連続的に変化する強度パターンを作り出すことである。フォトリソグラフィプロセスの一部として利用されるイメージリレー技法を利用して、部分的に透過性のスライドの使用又は空間光変調器の

50

使用によって生成される画像を拡大又は縮小することができる。一例として、L I F E プログラムでの使用に適した大口径光学部品用に、本明細書に記載の方法を、ステッパを用いて拡張して、ある露光箇所を隣の箇所に適切に位置合わせし、それにより共にタイミングをとって、完全な大面積の回折光学素子を得ることができる。図7との関連で更に十分に説明するように、次いで、タイリングプロセスを用いて製造される大面積のマスタープレートを用いて単一の露光を利用して複製のプレートを作り出すことができる。

【0042】

[0052] P T R ガラスに製造される回折光学素子は、従来のエッチングされた回折構造よりも堅牢でもある。本発明の各実施形態によって用意される回折光学素子の平面は、微細な形体を有するエッチングされた構造よりも非常に損傷しにくい。

10

【0043】

[0053] オプションの方法として、更なる P T R ガラスが、用意されてもよい(620)。同じ部分的に透過性のスライドを用いて、U V 放射が、部分的に透過性のスライドを介して更なる P T R ガラスに入射するように向けられてもよい。更なる P T R ガラスの一部は、U V 放射に露光され、次いで露光された P T R ガラスは、熱処理されて、第2の回折光学素子を形成することになる。このオプションのパスは、複数回行われてもよい。この任意のプロセスを利用して、複数の回折光学素子を、唯一の部分的に透過性のスライドをマスタースライドとして用いて製造することができる。大面積の光学部品については、部分的に透過性のスライドは、部分的に透過性の媒体のより小さい部分に基づいて、ステッププロセス及び繰り返しプロセスを用いて製造することができる。したがって、ダイオードレーザレイ及びレーザビーム用の空間ビームホモジナイザを含む開示した回折光学素子を製造する方法は、基板(例えば、P T R ガラス基板)の大きさによってのみ制限される規模で低コスト大量生産を可能にする。

20

【0044】

[0054] 図6に示す具体的なステップは、本発明の一実施形態による回折光学素子を製造する特定の方法与えることを理解されたい。他のステップ順序が、代替の実施形態によって同様に行われてもよい。例えば、本発明の代替の実施形態は、異なる順序で上記のステップを行ってもよい。また、図6に示す個々のステップは、個々のステップに応じた様々な順序で行われ得る複数のサブステップを含んでもよい。さらに、追加のステップが、特定のアプリケーションによって追加又は除去されてもよい。当業者は、追加の多くの変更形態、修正形態、及び代替形態を認識するであろう。

30

【0045】

[0055] 図7は、本発明の別の実施形態による回折光学素子を製造する方法の略示フロー図である。この方法は、部分的に透過性のスライドを用意するステップ(710)と、第1の P T R ガラスを用意するステップ(712)とを含む。後述の通り、第1の P T R ガラスは、処理され、次いで回折光学素子として用いる更なる P T R ガラスの製造においてマスタープレートとして使用されることになる。この方法は、また、U V 放射を、部分的に透過性のスライドを介して第1の P T R ガラスに入射するように向けたステップ(714)と、第1の P T R ガラスの所定部分を U V 放射に露光するステップ(716)とを含む。

40

【0046】

[0056] 第1の P T R ガラスに所望の強度パターンを作り出すために、部分的に透過性のスライドを使用する以外の方法が、利用されてもよい。例えば、2次元の空間光変調器を利用して第1の P T R ガラスに所望の強度パターンを生成し、それによって第1の P T R ガラスの所定部分を U V 放射に露光してもよい。

【0047】

[0057] P T R ガラスが露光された後、P T R ガラスを熱処理して、P T R ガラスの内部に位置の関数として所定の屈折率パターンを生成する(718)。第1の P T R ガラスは屈折率パターンを備え、当該屈折率パターンは回折を通じて特定の結像面で所定の強度プロファイルを生成する。したがって、以下に更に十分に説明するように第1の P T R ガラ

50

スに強度パターンを生成し、この強度パターンが屈折率パターンになり、この屈折率パターンを後に使用して第2の強度パターンを生成するために、計算が、この方法の実施形態に含まれている。

【0048】

[0058]本発明の各実施形態は、いくつかの異なる方法を利用してマスタープレートを作り出すことができる。マスタープレートに対して所望の光強度プロファイルを発生させるために、空間光変調器、リソグラフィ印刷技法、標準のフォトリソグラフィエッチング技法、磁性流体研磨法などを使用してもよい。位相板に当該板全体にわたって位置の関数としての所定の位相変化を与えてマスタープレートを製造した後、当該マスタープレートは、略無限数の複製プレートを発生させるためのマスタとして使用される。複製プレートのコストは、当該複製プレート用に使用されるに基板のコストに迫るものである。

10

【0049】

[0059]この方法は、第2のPTRガラスを用意するステップ(720)と、UV放射を、第1のPTRガラスを介して第2のPTRガラスに入射するように向けるステップ(722)とを更に含む。したがって、第1のPTRガラスは、部分的に透過性のスライドを使用するのと同様にマスタープレートとして使用される。部分的に透過性のスライドは、第1のPTRガラスに所定の強度パターンを作り出すために使用されることが理解されよう。本発明の本実施形態では、次いで、第1のPTRガラスを用いて、第2のPTRガラスに第2の所定の強度パターンを作り出す。第1のPTRガラスを通過するUV放射の回折を利用して、第2の所定の強度パターンを形成する。更なる光学素子を、第2の所定の強度パターンを形成するために、光学系の一部として利用することができる。当業者は、追加の多くの変更形態、修正形態、及び代替形態を認識するであろう。

20

【0050】

[0060]第2のPTRガラスの所定部分は、第1のPTRガラスを通過するUV放射に露光され(724)、第2のPTRガラスは、露光後に熱処理される(726)。したがって、第2のPTRガラスは、回折光学素子、例えば回折型ホモジナイザとしての使用に適した位置の関数としての屈折率プロファイルを有する。第1のPTRガラスをマスタープレートとして利用するために、プロセス720~726を更なるPTRガラスを用いて適宜繰り返し、更なる回折光学素子を形成する。したがって、初めのマスタープレートの製造後に、第2のPTRガラスの複数のコピーを、従来の技法と比べて容易及び安価に製造することができる。図6との関連で述べたように、イメージリレー、拡大、縮小などを含むフォトリソグラフィ技法をPTRガラスのUV放射への露光中に利用することができる。

30

【0051】

[0061] 図7に示す具体的なステップは、本発明の一実施形態による回折光学素子を製造する特定の方法を与えることを理解されたい。他のステップ順序が、代替の実施形態によってやはり行われてもよい。例えば、本発明の代替の実施形態は、異なる順序で上記のステップを行ってもよい。また、図7に示す個々のステップは、様々な順序で行われ得る個々のステップに応じた複数のサブステップを含んでもよい。更に、追加のステップが、特定のアプリケーションによって追加又は除去されてもよい。当業者は、追加の多くの変更形態、修正形態、及び代替形態を認識するであろう。

40

【0052】

[0062]図8は、本発明の一実施形態によるマスタープレートを用いた回折光学素子を製造する方法の略示フロー図である。この方法は、位置の関数として所定の位相プロファイルによって特徴付けられるマスタープレートを用意するステップ(810)を含む。このマスタープレートは、PTR材料を用いて製造することができ、或いは、このマスタープレートは、従来の多段階エッチング回折素子であってもよい。この方法は、PTRガラスを用意するステップ(812)と、UV放射を、マスタープレートを介してPTRガラスに入射するように向けるステップ(814)とをも含む。マスタープレートの位相プロファイルは、所定の位相プロファイルであり、当該所定の位相プロファイルは、マスターブ

50

レートを通じて伝播する光を回折させて、PTRガラスにおいてある強度パターンを提供する。

【0053】

[0063]この方法は、PTRガラスの所定部分をUV放射に露光するステップ(816)と、露光したPTRガラスを熱処理して回折光学素子を形成するステップ(818)とを更に含む。図8に示す方法は、共通する特徴を図6及び図7に示す方法と共有し、これらの図に関連した説明は、図8に適用可能である。

【0054】

[0064]更なる回折光学素子を製造するために、更なるPTRガラスを用意し(820)、工程814~818を繰り返して、更なる回折光学素子を製造する。単一の位相ベースのマスタープレートを利用して、製造に使用される基板のコストに迫る回折光学素子のコストで、複数の同一の回折光学素子が生成される。図8に示す方法は、回折光学素子の製造中にマスタープレートの単一の露光を利用するが、ステップ方法及び繰り返し方法を利用して、マスタープレートより大きい回折光学素子を製造することができる。

10

【0055】

[0065]図8に示す具体的なステップは、本発明の一実施形態によるマスタープレートを用いた回折光学素子を製造する特定の方法を与えることを理解されたい。他のステップ順序が、代替の実施形態によって行われてもよい。例えば、本発明の代替の実施形態は、異なる順序で上記のステップを行ってもよい。また、図8に示す個々のステップは、個々のステップに応じた様々な順序で行われ得る複数のサブステップを含んでもよい。更に、追加のステップが、特定のアプリケーションによって追加又は除去されてもよい。当業者は、追加の多くの変更形態、修正形態、及び代替形態を認識するであろう。

20

【0056】

[0066]明細書に記載した例及び実施形態は、例示の目的のために過ぎず、それらに鑑みて様々な修正又は変更に変更に当業者は想到するであろうし、それらは、本出願の精神及び認識範囲内、並びに添付の特許請求の範囲の範囲内に含まれることになることも理解されよう。

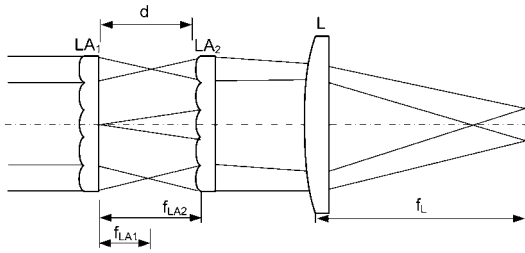
【符号の説明】

【0057】

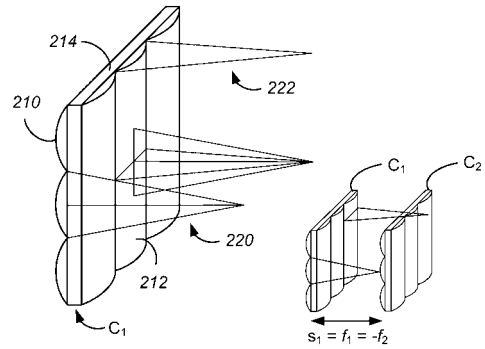
400...システム、405...レーザビーム、入力レーザビーム、410...回折光学素子、412...第1の表面、表面、414...第2の表面、表面、420...レンズ、単レンズ、430...光増幅器、増幅器スラブ、432...表面、平面。

30

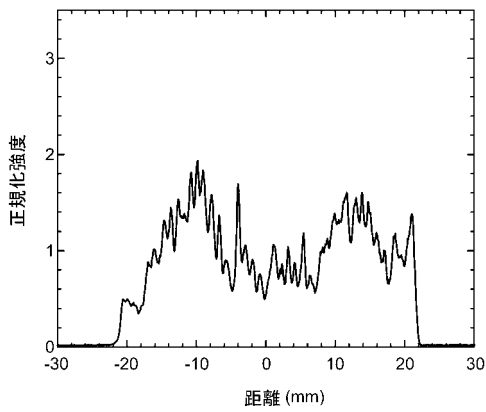
【 図 1 】



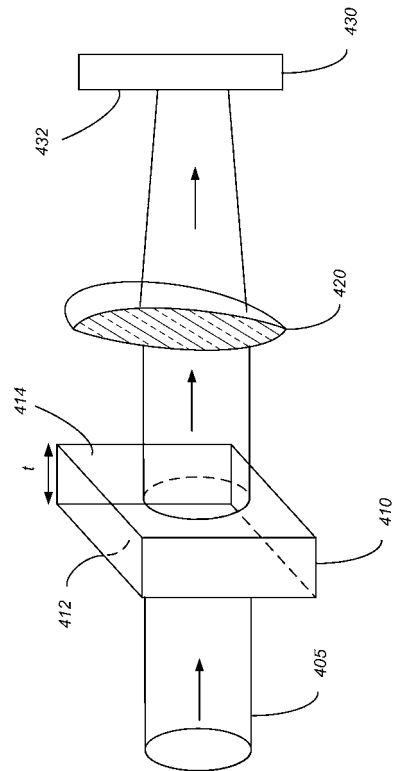
【 図 2 】



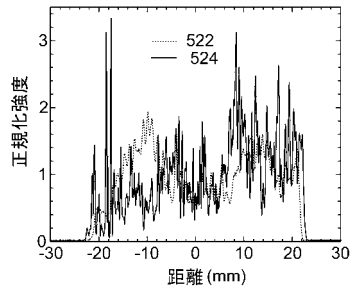
【 図 3 】



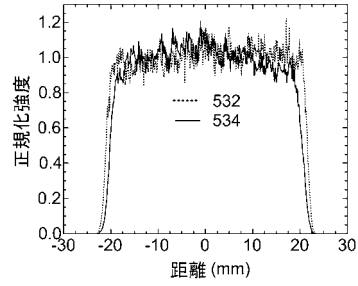
【 図 4 】



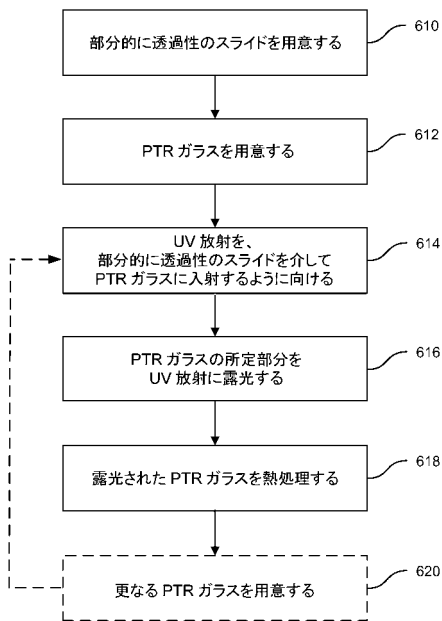
【 図 5 B 】



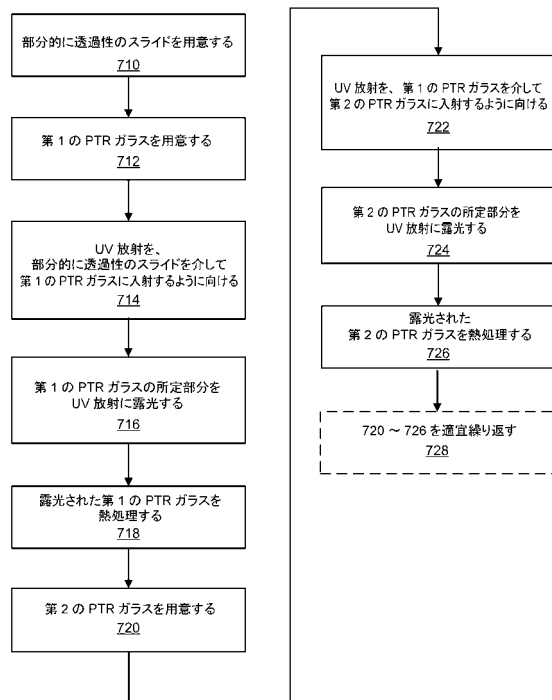
【 図 5 D 】



【 図 6 】

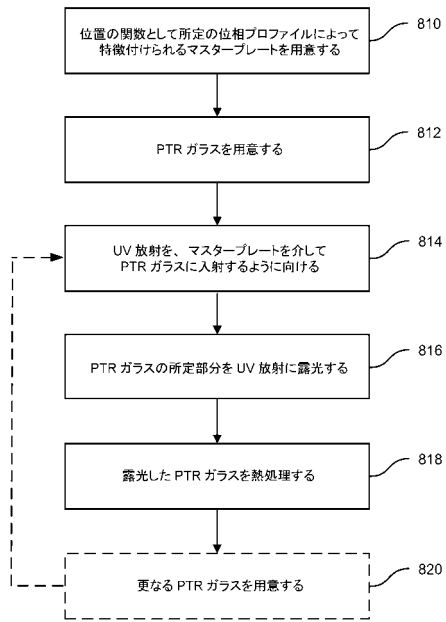


【 図 7 】

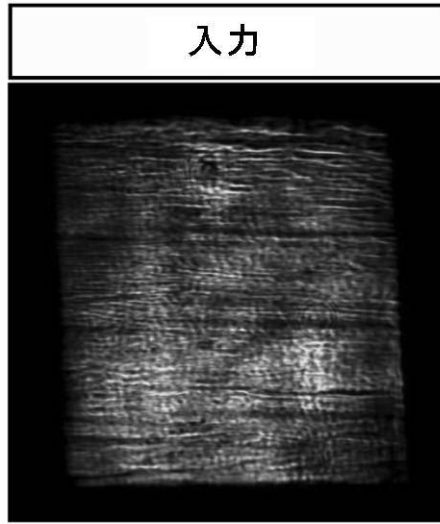




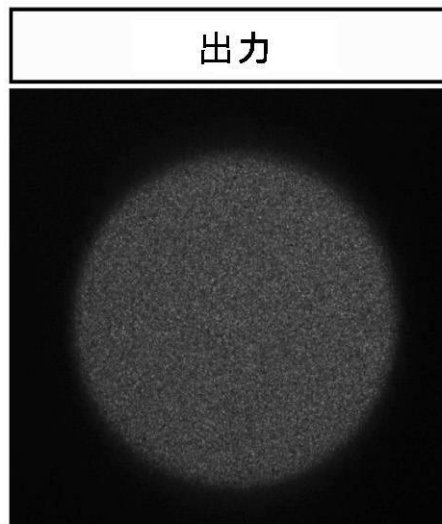
【 図 8 】



【図 5 A】



【図 5 C】



---

フロントページの続き

(72)発明者 クリストファー エー． エバース  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， プレザントン， サター ゲート アヴェニュー 47  
58

(72)発明者 ダイアナ シー． チェン  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， フリーモント， オリンパス アヴェニュー 4171  
2

Fターム(参考) 2H249 AA02 AA31 AA33 AA45 AA50 AA51 AA60 AA64

【外国語明細書】

2011048361000001.pdf