

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6415435号
(P6415435)

(45) 発行日 平成30年10月31日(2018.10.31)

(24) 登録日 平成30年10月12日(2018.10.12)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 S 3/06 (2006.01)	HO 1 S 3/06
HO 1 S 3/042 (2006.01)	HO 1 S 3/042
HO 1 S 3/092 (2006.01)	HO 1 S 3/092
HO 1 S 3/10 (2006.01)	HO 1 S 3/10
HO 1 S 3/23 (2006.01)	HO 1 S 3/23

請求項の数 23 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2015-525585 (P2015-525585)
(86) (22) 出願日	平成25年8月1日(2013.8.1)
(65) 公表番号	特表2015-528217 (P2015-528217A)
(43) 公表日	平成27年9月24日(2015.9.24)
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/053166
(87) 国際公開番号	W02014/022635
(87) 国際公開日	平成26年2月6日(2014.2.6)
審査請求日	平成28年7月28日(2016.7.28)
(31) 優先権主張番号	13/566,144
(32) 優先日	平成24年8月3日(2012.8.3)
(33) 優先権主張国	米国(US)

前置審査

(73) 特許権者	514027861 スチュアート, マーティン, エー. アメリカ合衆国, カリフォルニア州 91 001, アルタデナ, 2306 グレン キャニオン ロード
(73) 特許権者	514027850 カニンガム, スティーブン, エル. アメリカ合衆国, カリフォルニア州 91 001, アルタデナ, 2306 グレン キャニオン ロード
(74) 代理人	100114775 弁理士 高岡 亮一
(74) 代理人	100121511 弁理士 小田 直

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】スラブレーザおよび増幅器ならびに使用方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スラブ結晶と、

空洞フィルタ材料が、第1の周波数帯の、受け取った光エネルギーを、スラブ結晶によって吸収される第2の周波数帯の光エネルギーに変換するように、前記スラブ結晶の少なくとも片側に提供され、光源から光エネルギーを受け取るように構成された、空洞フィルタ材料と
を備え、

前記光エネルギーを前記第2の周波数で吸収した後に、前記スラブ結晶は、入射光ビームを前記スラブ結晶の一端にある角度で受け取るとともに、前記一端から増幅されたレーザビームを前記ある角度とは異なる角度で放射するか、または前記光エネルギーを前記第2の周波数で吸収した後に前記入射光ビームから直線移動された前記増幅されたレーザビームを放射する

レーザ装置であって、

前記スラブ結晶の底部に対する角度が90度ではない角度の反射面を備える、レーザ装置。

【請求項 2】

前記反射面は、レーザビームに対して周波数選択性を有するが、励起ランプに対して透明であることを特徴とする、1/4波長積層の誘電多層を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記スラブ結晶は、前記スラブ結晶によって放射された前記出射レーザビームが、前記光源からの前記光エネルギーの前記入射ビームからある角度または距離だけ分離されるよう構成される、前記請求項 1 又は 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記第 1 の周波数は紫外線光周波数にあり、前記第 2 の周波数は紫外線光より小さい周波数である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 5】

請求項 1 のレーザ装置を複数備えるシステムであって、

複数の前記レーザ装置のうち、前の装置の増幅されたレーザビーム出力が、次の装置への入力として作動するように、一連の光増幅器を形成する複数の前記レーザ装置を備えるシステム。

10

【請求項 6】

前記装置の構成要素を保持するように構成される一方で、前記装置の 1 つまたは複数の前記構成要素の熱膨張が可能である、複数の弾性保持部をさらに備える、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 7】

前記空洞フィルタ材料は、サマリウムでドープされたフッ化テルビウムを含む、請求項 1 ~ 4 及び 6 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 8】

前記スラブ結晶はクロムをドープしたアレキサンドライトを含む、請求項 1 ~ 4 、 6 及び 7 のいずれか 1 項に記載の装置。

20

【請求項 9】

前記スラブ結晶および / または前記空洞フィルタ材料を前記スラブ結晶と前記空洞フィルタ材料との間に冷却液を循環させることによって冷却するために、前記装置内の前記冷却液を循環するように構成された冷却液循環サブシステムをさらに備える、請求項 1 ~ 4 及び 6 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 10】

前記一端は、前記スラブ結晶の隣接した片面に対して鋭角で提供され、前記スラブ結晶の反対側の隣接面に対して鈍角で提供される、請求項 1 ~ 4 及び 6 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の装置。

30

【請求項 11】

直列に配置された前記複数のレーザ装置を備える、光を増幅するための、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 12】

スラブ結晶と、

紫外線周波数帯を含む光エネルギーを提供する光源と、

サマリウムでドープされたフッ化テルビウムを含む空洞フィルタ材料であって、前記フィルタ材料は、前記スラブ結晶の少なくとも片面上に提供され、前記光源から前記光エネルギーを受け取るように構成され、前記スラブ結晶による吸収のために、第 1 の紫外線周波数帯の光エネルギーを、可視光線の第 2 の周波数帯の光エネルギーに変換するように構成される、空洞フィルタ材料と

40

を備え、

前記スラブ結晶は、一端から前記増幅されたレーザビームを放射するように構成されるレーザ装置。

【請求項 13】

前記装置の構成要素を保持するように構成される一方で、前記装置の 1 つまたは複数の前記構成要素の熱膨張が可能である、複数の弾性保持部をさらに備える、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 14】

前記スラブ結晶および / または前記空洞フィルタ材料を前記スラブ結晶と前記空洞フィ

50

ルタ材料との間に冷却液を循環させることによって冷却するために、前記装置内の前記冷却液を循環するように構成された冷却液循環システムをさらに備える、請求項 1 2 または 1 3 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 1 5】

前記スラブ結晶はクロムをドープしたアレキサンドライトを含む、請求項 1 2 ~ 1 4 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 1 6】

増幅されたレーザビームが、増幅のため、ソースビームが入射されたスラブ結晶の端部と同じ端部から放射され、放射されたレーザビームが、ソースレーザビームがスラブ結晶に入射した角度とは異なる角度から放射される、または放射されたレーザビームが、ソースビームがスラブ結晶に入射した位置とは異なる位置でスラブ結晶から放射される、請求項 1 2 ~ 1 5 のいずれか 1 項に記載の装置。

10

【請求項 1 7】

前記放射されたレーザビームが前記スラブ結晶から、ソースレーザビームが前記スラブ結晶に入射した角度と異なる角度で放射されるように、ソースビームが入射されたスラブ結晶の端部は、前記スラブ結晶の隣接する片面に対して鋭角で提供され、前記スラブ結晶の反対側の隣接面に対して鈍角で提供される、請求項 1 6 に記載のレーザ装置。

【請求項 1 8】

ソースビームが入射されたスラブ結晶の端部は、前記スラブ結晶の隣接する片面に対して鋭角で提供され、前記スラブ結晶の反対側の隣接面に対して鈍角で提供される、請求項 1 2 ~ 1 7 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

20

【請求項 1 9】

スラブ結晶と、

紫外線周波数帯の一部および可視光線周波数の一部を含む光エネルギーを提供する光源と、

前記可視光線周波数帯で実質的に透過する空洞フィルタ材料であって、前記フィルタ材料は、前記スラブ結晶の少なくとも片面上に提供され、前記光源から前記光エネルギーを受け取るように構成され、前記スラブ結晶による吸収のために、紫外線周波数帯の光エネルギーを、前記紫外線周波数帯よりも小さい変換周波数帯の光エネルギーに変換するよう構成される、空洞フィルタ材料と

30

を備え、

前記光源および前記空洞フィルタ材料は、前記可視光線周波数帯内の前記光エネルギーの前記一部の少なくとも一部が前記空洞フィルタを通って前記スラブ結晶に伝播されるように配置され、

前記スラブ結晶は、前記空洞フィルタを通って伝播された前記可視周波数帯内の前記光エネルギーの前記一部の一部を吸収し、かつスラブレーザから放射するレーザビームを増幅するために、前記紫外線周波数帯よりも小さい変換周波数帯の光エネルギーを吸収するように構成され、

前記空洞フィルタ材料は、サマリウムでドープされたフッ化テルビウムを含む、
レーザ装置。

40

【請求項 2 0】

前記スラブ結晶はクロムをドープしたアレキサンドライトを含む、請求項 1 9 に記載の装置。

【請求項 2 1】

前記増幅されたレーザビームは、ソースビームが増幅のために前記スラブ結晶に入射すると、前記スラブ結晶の同じ端部から放射され、前記放射されたレーザビームは、前記スラブ結晶から、前記ソースレーザビームが前記スラブ結晶に入射した角度と異なる角度で放射される、請求項 1 9 又は 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 2】

正面に対して第 1 の角度で提供された入射光ビームを受け取るために、前記スラブ結晶

50

の底部に対して鋭角を形成する前記正面を有するスラブ結晶であって、前記スラブ結晶は、前記スラブ結晶の前記底部に対して 90 度ではない背面角で設けられた後壁も有する、スラブ結晶と、

第 1 の周波数帯内的一部および第 2 の周波数帯内的一部を含む光エネルギーを提供する光源と、

前記第 1 の光周波数帯で透過し、前記スラブ結晶の前記頂部および／または前記底部上に提供され、前記光源から前記光エネルギーを受け取るように構成され、また前記スラブ結晶による少なくとも部分的な吸収のために、前記第 1 の周波数帯の光エネルギーを、変換周波数帯の光エネルギーに変換するように構成される、空洞フィルタ材料とを備え、

前記光源および前記空洞フィルタ材料は、前記第 2 の光周波数帯内の前記光エネルギーの前記一部の少なくとも一部が前記空洞フィルタを通って前記スラブ結晶に伝播されるように配置され、

前記スラブ結晶は、前記空洞フィルタを通って伝播される前記第 2 の周波数帯内の前記光エネルギーの前記部分の一部を吸収することにより、かつ前記変換周波数帯の前記光エネルギーの一部を吸収することにより、前記スラブ結晶から放射するためのレーザビームを増幅するように構成され、

前記鋭角および前記背面角は、前記スラブ結晶に入射する前記入射光ビームが前記スラブ結晶から放射された前記増幅されたレーザビームと一致しないように、前記増幅されたレーザビームが前記スラブ結晶の前記正面から、前記第 1 の角度と異なる角度で放射されるように選択される、レーザ装置。

【請求項 2 3】

筐体と、

スラブ結晶と、

第 1 の周波数帯および第 2 の周波数帯を含む光エネルギーをそれぞれが提供する複数の光源と、

空洞フィルタ材料が、第 1 の周波数帯の、受け取った光エネルギーを、スラブ結晶によって吸収される第 2 の周波数帯の光エネルギーに変換するように、前記スラブ結晶の少なくとも片側に提供され、光源から光エネルギーを受け取るように構成された、空洞フィルタ材料と

冷却液を循環させるための冷却サブシステムとを備え、

前記空洞フィルタおよびスラブレーザは、循環冷却液が冷却のために前記スラブ結晶と前記空洞フィルタ材料との間を流れる手法で、前記筐体内に配置され、

前記光エネルギーを前記第 2 の周波数で吸収した後に、前記スラブ結晶は、入射光ビームを前記スラブ結晶の一端にある角度で受け取るとともに、前記一端から増幅されたレーザビームを前記ある角度とは異なる角度で放射するか、または前記光エネルギーを前記第 2 の周波数で吸収した後に前記入射光ビームから直線移動された前記増幅されたレーザビームを放射する

レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願の相互参照

本出願は、2012 年 8 月 3 日に出願された米国特許出願第 13/566,144 号の利益を主張し、参照によって本明細書に組み込まれる。

【背景技術】

【0 0 0 2】

本出願は、一般にレーザおよびレーザ増幅器の分野に関する。より詳細には、本出願は、ランプにより光学的に励起されるスラブの形の固体レーザ増幅器に関し、レーザビーム

10

20

30

40

50

は、ブリュースター角ファセットを通って入り、ビームが入った面と同じ面を通って出る前に、全内部反射に起因して複数の面から面へのバウンスを経験する。

【0003】

概して、ランプを駆動したスラブレーザは長年存在する。先行技術は、駆動し、面を励起し、面から面へ複数のバウンスをし、全内部反射（TIR）Nd:Yag（ネオジムをドープしたイットリウム・アルミニウム・ガーネット）スラブのクリプトンアークランプのゼネラル・エレクトリックの設計によって実証される。ゼネラル・エレクトリックの設計では、Nd:Yag結晶は、クリプトンアークランプで面励起された。これらの特定の設計は、数キロワットに達した出力で約4%の変換効率（レーザ出力を電力で割った）を達成した。この設計では、黒体スペクトルおよび輝線光子を放射するクリプトンアークフラッシュまたはアークランプ（セリウムをドープした石英エンベロープからなる）は、ネオジムをドープしたイットリウム・アルミニウム・ガーネット・スラブの隣接面上に可能な限り均一に引き続き反射された。この利得素子は、このエネルギーの一部を選択的に吸収した。このエネルギーは、ネオジム原子を上昇させたエネルギー状態に励起し、それからレーザビームが発生または增幅された。

【0004】

後の例は、効率および構造の簡潔さを増加するために（ドープされたYagによって高く吸収される光子エネルギーの特定の周波数のみを生成することにより）ダイオードレーザ励起起源を組み込んだ。さらに後の例は、ネオジムをドープしたイットリウム・バナジウム酸塩（YbVO₄）を利得媒体として利用した。このようなシステムが基準になり、その限界がYAG、バナジウム酸塩または利得結晶を調製できる最大サイズである。米国特許第3,633,126号および第3,631,362号は、関連した技術を検討している。

【0005】

先に述べたダイオードを励起するシステムは、10%のシステム効率を実証しており、効率は理想的環境の25%に近づくことさえあるが費用が高く、絶縁はダイオード励起レーザに対して約50%の効率であり、Nd:VO₄に対して65%の効率、Nd:YAGについては、効率は、1.064ミクロンの放射に約50%の変換効率を有しており、続くビームクリーンアップは10%までシステム出力効率を低減し、良好に設計されたシステムの全体効率は約25%である。出力電力への電流の上限は、励起されたファイバ端部であったセラミックYagスラブ、および面を励起したタイプの両方を有することが実証されており、その両方は主にノースロップ・グラマンによって構築された。これらのシステムは、ダイオード励起レーザに対して約50%の効率、および約25%の出力効率に対してNd:Yagスラブの約50%の変換効率をもつ、1レーザヘッド当たり25kW（キロワット）の出力を実証した。

【0006】

既存のランプを励起した設計に対する限界効率は、主に2つの領域にある。第1は、励起ランプからの発光スペクトルは、通常レーザ結晶材料の励起スペクトルに一致しないという事実に起因する非効率性である。第2は、2倍以下で不完全に充填された利得材料を通過するビームを有することに起因して、利得材料からのビーム抽出の非効率性である。これらの欠点は、スラブレーザ概念の潜在的な実際的適用を妨げてきた。

【発明の概要】

【0007】

横に面を励起し、ランプを駆動したスラブレーザ、および面から面へのビーム伝播方式での增幅器設計が提示される。TIR（全内部反射）の端部バウンスは、同じ入力ファセットから戻る増幅された放射の方向を変えるが、異なる角度方向では、必要に応じてより大きいシステム内で使用することは示された設計を実質的にさせる。

【0008】

また希ガスに基づいた以前のランプ設計より多くの光子を使用可能なスペクトル内に生成する、励起ランプの使用も提示される。また、ランプ出力の非有益部分を有益な励起帶

10

20

30

40

50

に幾分高い効率で変換する、空洞蛍光フィルタも利用されてきた。これは、効率および電力処理能力を改善する。

【0009】

例示的実施形態として、スラブ結晶、および空洞フィルタ材料が、第1の周波数帯において受領した光エネルギーを、スラブ結晶によって吸収された第2の周波数帯において光エネルギーに変換するように、光源から光エネルギーを受領するためにスラブ結晶の少なくとも片側に提供された空洞フィルタ材料を備える、レーザ装置が提供される。

【0010】

上記のレーザについて、スラブ結晶は、入射光ビームをスラブ結晶の一端の中にある角度で受領するように適合され、また増幅されたレーザビームを一端からある角度と異なる角度で放射する、または光エネルギーを第2の周波数で吸収した後、入射光ビームから直線的にシフトされた、増幅されたレーザビームを放射する。

10

【0011】

スラブ結晶、紫外線周波数帯を含む光エネルギーを提供する光源、およびサマリウムでドープされたフッ化テルビウムを含む空洞フィルタ材料であって、フィルタ材料は、光源から光エネルギーを受領するため、またレーザビームを増幅するためにスラブ結晶による吸収に対して、第1の紫外線周波数帯における光エネルギーを、可視光線の第2の周波数帯で光エネルギーに変換するために、スラブ結晶の少なくとも片面上に提供される、空洞フィルタ材料を備えるレーザ装置の例示的実施形態がさらに提供される。

【0012】

上記のスラブ結晶は、裏反射面を含まない一端から増幅されたレーザビームを放射するように適合される。

20

【0013】

また、スラブ結晶、紫外線周波数帯内的一部分および可視光線周波数帯内的一部分を含む光エネルギーを提供する光源、ならびに可視光線周波数帯に透過する空洞フィルタ材料であって、フィルタ材料は、光源から光エネルギーを受領するために、またスラブ結晶による吸収に対して、第1の紫外線周波数帯における光エネルギーを、紫外線周波数帯より小さく変換された周波数帯で光エネルギーに変換するために、スラブ結晶の少なくとも片面上に提供される、空洞フィルタ材料を備える、レーザ装置の例示的実施形態も提供される。

30

【0014】

上記レーザの光源および空洞フィルタ材料は、可視光線周波数帯内の光エネルギーの該一部の少なくとも一部が空洞フィルタを通ってスラブ結晶に伝播されるように配置され、スラブ結晶は、空洞フィルタを通って伝播された可視光線周波数帯内の光エネルギーの該一部の一部を吸収し、かつスラブレーザから放射するレーザビームを増幅するために、光エネルギーの一部を変換された周波数帯において吸収するように適合される。

【0015】

スラブ結晶、第1の周波数帯で光エネルギーを提供する光源、光源から光エネルギーの一部を受領するために、また第1の周波数帯において光エネルギーの該一部の少なくとも一部を、スラブ結晶による少なくとも部分的な吸収のために第2の周波数帯において光エネルギーに変換するために、スラブ結晶の少なくとも片側に提供される空洞フィルタ材料、装置の構成要素を保持する一方で、装置の1つまたは複数の構成要素の熱膨張が可能である、複数の弹性保持部、ならびに装置を冷却するために装置内に冷却液を循環させるための冷却液循環システムであって、スラブ結晶は、スラブ結晶の一端から増幅されたレーザビームを放射するように適合される、冷却液循環システムを備えるレーザ装置の例示的実施形態がさらに提供される。

40

【0016】

また、正面に対して第1の角度で提供された入射光ビームを受領するために、スラブ結晶の底部に対して鋭角で提供された点を形成する、正面を有するスラブ結晶であって、スラブ結晶は、スラブ結晶の底部に対して90度でない背面角で提供される後壁も有する、スラブ結晶、第1の周波数帯内的一部分および第2の周波数帯内的一部分を含む光エネルギー

50

を提供する光源、ならびに第1の光周波数帯に透過し、光源から光エネルギーを受領するために、またスラブ結晶による少なくとも部分的な吸収のために、第1の周波数帯における光エネルギーを変換された周波数帯において光エネルギーに変換するために、スラブ結晶の頂部および／または底部上に提供される、空洞フィルタ材料を備える例示的レーザ装置も提供される。

【0017】

上記レーザの光源および空洞フィルタ材料は、第2の光周波数帯内の光エネルギーの該一部の少なくとも一部が空洞フィルタを通ってスラブ結晶に伝播されるように配置され、さらにスラブ結晶は、空洞フィルタを通って伝播される第2の周波数帯内の光エネルギーの該部分の一部を吸収することにより、かつ変換された周波数帯における光エネルギーの一部を吸収することにより、スラブ結晶から放射するためのレーザビームを増幅するよう10に適合される。

【0018】

上記レーザについて、鋭角および背面角は、スラブ結晶に入る入射光ビームがスラブ結晶から放射された増幅されたレーザビームと一致しないように、増幅されたレーザビームがスラブ結晶の正面から、第1の角度と異なる角度で放射されるように選択されるように選択される。

【0019】

光ビームを増幅するために直列のあらゆる上記レーザの任意の複数を使用する、レーザ増幅システムがさらに提供される。

【0020】

例えば、構成要素上もしくは構成要素内に物質を気化し堆積することにより、半導体装置または被覆された導体などの構成要素を製造するために、本明細書に記載されたように1つまたは複数のスラブレーザを利用して製造するシステムおよび方法がさらに提供される。堆積された材料は、ドーパント、または例えばダイヤモンドもしくはダイヤモンド状炭素などの材料の層であることが可能である。

【0021】

また、そのすべてではないが、一部が以下により詳細に説明される、追加の例示的実施形態も提供される。

【0022】

本明細書に説明される例示的実施形態の特徴および利点は、添付図面を参照して以下の説明を読むと、本開示に関連する当業者には明らかになろう。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の一例示的実施形態の外観図の概略図である。

【図2】スラブレーザ材料の両面上に提供される、フィルタ空洞材料の2層を示す概略図である。

【図3】レーザスラブ、2つの空洞フィルタ、励起ランプ、セラミック反射体、および外ケースとの間の関係を示す、図1の本発明の一例示的実施形態の端面図の概略図である。

【図4】冷却用外部水マニホールドを追加する、別の例示的実施形態の概略図である。

【図5】例示的実施形態のレーザスラブの一般断面形状の概略図である。

【図6】例示的実施形態の増幅器スラブに入り、増幅器スラブから離れる軸上レーザビームの経路の概略図である。

【図7A】例示的実施形態の入射ビームから出射ビームを分離するためにレーザビームが移動する効果の概略図である。

【図7B】図7Aに示された例示的実施形態に対して、複数のレーザビームが移動する効果の概略図である。

【図8A】例示的実施形態におけるレーザスラブの正面で楔の角度を半化する効果を示す概略図である。

【図8B】例示的実施形態におけるレーザスラブの正面で楔の角度を半化する効果を示す

10

20

30

40

50

概略図である。

【図9】例示的実施形態に対する異なる方向のビーム内に入射ビームおよび出射ビームを提供するための例示的配置の概略図である。

【図10A】例示的実施形態において端部反射面の角度を変化することにより、入射ビームから出射ビームの例示的分離を示す概略図である。

【図10B】例示的実施形態において端部反射面の角度を変化することにより、入射ビームから出射ビームの例示的分離を示す概略図である。

【図11】大きいスラブレーザ結晶を使用し、より多くの励起ランプを追加する、例示的増幅器チェーンの1断面の内部構造を示す概略図である。

【図12】レーザビームがどのように利得材料に入出するかを示す、チェーン内の1つの增幅器の断面を示す概略図である。 10

【図13】非常に高い出力電力を提供するために、図12の複数の増幅器を直列に組み立てる例を示す概略図である。

【図14】1つまたは複数のスラブレーザを使用して、構成要素を製造するための例示的配置を示す概略図である。

【図15】図14の例示的配置に対する例示的試料設定を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

上に論じたように、横に面を励起し、ランプを駆動したスラブレーザ、および面から面へのビーム伝播方式での増幅器設計が提示される。TIRの端部バウンスは、同じ入力ファセットから戻る増幅された放射の方向を変えるが、異なる角度方向では、必要に応じてより大きいシステム内で使用することは示された設計を実質的にさせる。この形状の選択により、発生される、または増幅されるレーザ光のパルスは、利得材料の同じ片をレーザスラブの内側を1往復につき少なくとも4回（標準の2回ではない）通過する。1通過当たり約60%であるエネルギー抽出効率の条件下で、これは、抽出されるレーザスラブ内に貯蔵されるエネルギーの例えは約97%をもたらす。この特徴は、例示的装置のより高い効率に寄与する。 20

【0025】

また、さらなる例示的実施形態は、金属または金属ハロゲン化物合金を使用する、励起ランプの使用も提示され、これは希ガスに基づいた以前のランプ設計より多くの光子を使用可能なスペクトル内に生成する。また（水銀アークランプのため、およびチタンサファイアレーザのためのヨウ化インジウム・プラス・ヨウ化タリウムランプのスペクトルの紫外線部分における）ランプ出力の非有益部分を有益な励起帯に幾分高い効率で変換する空洞蛍光フィルタも利用してきた。これらの改善は、ダイオードレーザを励起したタイプのみに通常関連した、効率および電力処理能力で作動するシステムをもたらす。しかし、ここに提示された例示的システムは、レーザダイオードの代わりにランプを使用してこれらの効率を達成し、したがってダイオードレーザ励起を使用して同量の出力電力を実装するために、以前の設計より費用を非常に少なくすることができる。 30

【0026】

例示的設計に利用される提示された利得材料に対して、提示されたランプを励起した設計は、同じサイズに対してこれらのレーザのダイオードを励起したタイプを超える、電力出力レベルを有することになる。例えば、アレキサンドライト装置に利用される励起レーザから可視光線出力（635～670nmおよび680.4nmの赤色光）の効率は、例えば、約20%の変換効率で作動する。また、532nmの緑色光を出力する周波数が2倍のNdレーザは、チタンサファイアの緑色吸収帯を励起するために使用され、約20%の電気から光学への変換効率で作動する。比較すると、金属アークおよび金属ハロゲン化物アークランプの電気から光学への効率は、どちらもほぼ70～73%である。この改善および構造を使用して、パルスまたは持続波レーザビームを、40%に近づく上限を有するシステム効率で非常に高い電力レベルに増幅することができる。1つのヘッド当たりの出力は、アレキサンドライトに提示されたヘッドの設計に対して6.5～15.5kWの 40

範囲（チタンに対する範囲は約3.6 kW）になると予期されるが、その設計はこれらの電力レベルに限定されない。

【0027】

レーザ装置全体の構成

図1は、本発明の一例示的実施形態の全体的構造の概略を示す。スラブ結晶1および6つの励起ランプ2の端部は、筐体3の外側に延在する。筐体は液体冷却がスロット4を通過することを可能にする。これらのスロット4は、後に論じるように筐体3の外側の水マニホールドに入る。

【0028】

図2は、空洞フィルタスラブ5が、レーザスラブ結晶1の両面上の筐体の内側に存在する。この図では、6つの励起ランプ2のうちの3つのみが空洞内に示されている。空洞フィルタスラブ5の目的は、励起ランプ2から放射された光の紫外線部分を可視スペクトルに変換することであり、可視スペクトルは、スラブレーザ結晶1の材料によってより容易に吸収される。

【0029】

図3は、外ケースの内側の主要要素を示す、例示的実施形態の端面図の概略を示す。構造の中心は、隙間8'を備える空洞フィルタスラブ5により頂面および底面上を包囲されるレーザスラブ結晶1である。レーザ結晶1を励起するために使用する6つのランプ2は、空洞フィルタスラブ5の外側に提供される。これらの構成要素を包囲するのは、筐体7内に収納される4つのセラミック反射体6であり、筐体7はステンレス鋼から作成できる。図3の筐体7は、図1の筐体3と同じタイプであることが可能であるが、これは必須要件ではない。構造間の隙間8'および8内に、冷却水などの冷却液が提供され、冷却液はランプ2およびスラブ結晶1を冷却するために流れる。

【0030】

図4は、レーザを冷却するために使用される、水マニホールド10を提供する例示的実施形態を示す。2つのマニホールド10は、外部ケース7を通り、セラミック反射体6'を通って延在するスロット9を覆う。水は、中心レーザスラブ1を冷却するために、2つのスロット9を通り隙間8'を通り反対側に流される。また水は、励起ランプ2を冷却するために、隙間8内で軸方向に（図2および3における励起ランプ2の方向に）分離した回路内を流れる。スラブレーザ結晶1に対する冷却水の温度と励起ランプ2に対する冷却水の温度が異なることが可能なのは、それらの温度は、スラブがランプの効率温度より高い効率温度を作動できる、分離した回路（以下に説明される）上にあるからである。

【0031】

加えて、図4の例では、開けられた穴11が存在する、あるいはレーザスラブ1および空洞フィルタスラブ5の長さに沿って数インチ毎に置かれたセラミック反射体6'が提供される。これらの穴により、シリコンゴムまたはテフロン（登録商標）緩衝材を使用してそれぞれのスラブを支持し、レーザ要素が過熱し、したがって膨張すると、熱膨張における差異を吸収することが可能になる。加えて、シリコンは水封を形成して、励起ランプ2を冷却する異なる温度水から分離する、スラブレーザ結晶1と空洞フィルタスラブ5との間に水を保持する。

【0032】

スラブレーザ結晶

一例示的設計では、スラブレーザ結晶1は、クロムをドープしたアレキサンドライト（Cr:BeAl₂O₄）から構成されるが、別の例では、スラブレーザ結晶は、チタンをドープしたサファイアから構成されることが可能である。スラブ結晶のバルクは、ドープされた材料から作成される。しかしそスラブ結晶のバルクは、アレキサンドライト結晶（BeAl₂O₄）の非ドープ部分で、またはチタンサファイアに対して清浄なキャップを生成するために拡散接合を介して縁部および端部上に清浄な非ドープのサファイアでその後処理されることも可能である。清浄なキャップ部分の目的は、高い励起電力で生成された温度勾配に起因するレンズ歪みを低減することである。これらの清浄なキャップは、非ド

10

20

30

40

50

ープ部分が残余からの熱負荷がない、または利得材料から抽出されたエネルギーがないので、3つの要因による歪効果を低減する。

【0033】

レーザスラブ結晶を生成する好ましい結晶成長法は、伝統的な熱交換法（HEM）を介するはずである。この結晶成長技術は、例示的利得材料のいずれに対しても混入物のない結晶を生成する。この方法により、例えば、1平方センチメートル当たり23ギガワットまでの損傷のない電力限界が、アレキサンドライト材料に対して実現可能である（同様の電力処理能力がサファイア材料に対してもたらされる）。一方、チョクラルスキー結晶成長法を使用する増幅器構造では、アレキサンドライト結晶を、例えば、1ナノ秒パルス長に対して1平方センチメートル当たり1~1.5ギガワットの電力限界の放射で生成することができる。これらの損傷値は、計画的標準作動電力を優に超え、これは、1平方センチメートル当たり100メガワットであることが可能である。

【0034】

レーザスラブに対してスラブ結晶を獲得した後、約1ミクロンの厚さの二酸化ケイ素を測定するなどの反射コーティングを両面および恐らく縁部に加えて、増幅したレーザ光のための反射体として作用し、バウンス部位に重なる封止を保護することが可能である。

【0035】

設計者がそのように望む場合、拡散接着された清浄なカップを側面から除外することができ、スラブ結晶をアルミナセラミック空洞反射体の内側に側面で包囲することができ、誘導体反射鏡コーティングを結晶の2面および端部に加えて、増幅ビームの所望の反射を促進する、追加設計要素を有する。この変形形態は、単一の封止が結晶の本体の周囲に圧縮されることを可能にする。

【0036】

励起ランプ

例示的励起ランプ2は、水銀を満たした（例えば、7トルのアルゴンと共に満たした）清浄に研磨したサファイア・エンベロープまたは清浄に溶融した石英エンベロープを利用することができる。特にサファイアを利用する際、高ニッケル合金であるコバールは、コバールがほぼ一致する膨張係数を有するのでこのようなランプに使用することができ、工業的な標準技法を使用してエンベロープに端付けすることができる。タンゲステン電極はコバールに端付けされ、この電極は水銀内にアークを定着させる。

【0037】

このような手法で構築され活性化されたランプは、例えば、水銀に対して約72%の効率、およびヨウ化タリウムに対して約70%の効率を有する。これらの例示的ランプは、高周波数のAC電源で最も駆動される。このような電源は、市販されており、バラストと呼ばれ、動作周波数は40~100kHzである。ランプは、排熱除去率（例えば、脱イオン水を使用して240W/cm²の表面積）を選択することによって、また有益なサイズにスケーリングすることによってサイズ化される。例えば、約4.5mmの直径で約135V/cmで流れる孔を備えるランプは、約5.8アンペアで通過する。水銀アークランプについては、一旦プラズマが孔内に定着し水銀が蒸発すると、インピーダンス特性は、印加電圧が3倍であっても、電流は20%程度しか増加しないことである。したがって、長さ1フィートのランプは、例えば、35kW、または1cm当たり約1000ワットまで流れることが可能である。しかし、長期間で電力は、1cm当たり約400ワットに低減し、長さは短縮される。通常の慣行では、例えば、2mmの孔で長さ約8~15cmのアークを備えた、6mmの直径の溶融した清浄の石英を使用する。AC電源で活性化されるこれらのランプでは、1電極当たり約10%の熱損失があり、支持不可能な熱損失が電極自体およびエンベロープ上に直接隣接した領域に発生する可能性があるので、このことに配慮しなければならない。

【0038】

空洞フィルタスラブ

図1~3に示されたように例示的空洞フィルタスラブ5は、それぞれ約0.1%のサマ

10

20

30

40

50

リウムでドープされたフッ化テルビウム (TbF₃) からなる長方形のブロック結晶で作成され、これは紫外線スペクトルのほとんどを包含する吸収帯を有する。サマリウムイオンへのエネルギーの移動は、結晶母体を介してほぼ無損失の非放射移動である。次いで結晶は、蛍光をほぼ 595 nm のアレキサンドライト結晶のピーク吸収帯で発し、そうでなければ無駄になる UV エネルギーを有益な可視光に変換し、それによってシステムの励起効率が増加する。平均入力周波数と特殊な放射周波数とのエネルギー差から残留する熱負荷が存在する。これはストークスシフトと呼ばれる。この差は、利用可能なエネルギーのすべてまたはほとんどが抽出される場合でも、結晶内に残留する熱の原因となる。

【0039】

この電力レベルにおける水銀ランプのスペクトル出力は、UV 内の約 3 分の 1 である。
したがって、UV 放射エネルギーをできるだけ多く再利用するために空洞フィルタラブを使用することは、効率を増加させるために望ましい。加えて、フッ化テルビウムのフィルタラブは、アレキサンドライト結晶に衝突する UV 放射の量を低減する。この放射は経年で結晶を損傷し、その透明度を低下させる傾向があり、次いでこれはその有効性を、ひいてはレーザ装置の寿命を制限する。

【0040】

他の結晶設計は、空洞フィルタラブの使用にも実現可能である。これらは、チタンをドープしたサファイア利得材料を有するテルビウム・ガーネット、テルビウム、セリウム、チタンをドープした YALO、ガドリニウム、ガリウム、テルビウム、セリウム、サマリウムをドープした YAG、サマリウムでドープしたフッ化テルビウム、およびテルビウム・サマリウムをドープしたフッ化イットリウムリチウムを含む（が、これに限定されない）。それぞれはその固有の利点を有する。ほとんどはサマリウムでドープしたフッ化テルビウムより効率が少ないが、酸化物結晶は、より低い変換効率に起因してより多くの熱が残る、オフセットでより高い電力入力レベルを処理することができる。

【0041】

空洞反射体

図 4 に示されたように例示的セラミック空洞反射体 6、6' は、例えば、高純度の Al₂O₃ (アルミナ) 組成物を含む、非劣化セラミックから構成することができる。構成要素を、圧縮されたシリコンゴム封止（好ましくは白または透明）を介してその縁部に止水を可能にする、シーリング釉薬で仕上げることができる。空洞反射体 6 は、光（放射）をランプ 2 から利用される装置の中に反射を返すように設計される。この反射体 6 は、好ましくは、上述されたセラミック材料などの不活性（熱的、化学的、および放射）物質から作成される。

【0042】

空洞反射体 6、6' の配置は、ランプ 2 の長さに沿って開放空間 8 内の水流を促進するために、各端部に 2 つの長方形スロットを備えた長方形管に似ている。またこれは空洞フィルタ 5 の一面を冷却する。加えて、励起チャンバの各端部に正方形の反射端部キャップがあり、その中にランプが通過できる穴がある。シリコンゴムの O リング封止をランプ壁および反射体端部に対して圧縮できるように、分離した封止圧力プレートが存在する。一端には、レーザラブが通過し、圧力 O リングおよび封止プレートを介して封止される、長方形の穴が存在する。

【0043】

端部付近の外側の頂面および底面には、水が各側面（図示せず）に入出することができる 2 つのさらなる取付具が提供される。これは、ランプおよび空洞フィルタの一部に対して冷却水を受領するためである。

【0044】

スラブレーザ結晶の形状

図 5 は、例示的スラブレーザ結晶 1 の一般的形状の側面図を示す。形状は、各端部の中点から測定された、スラブ幅 12、スラブ長さ 13、入射ビームおよび出射ビームが通過する面に対する、ブリュースター光学窓として作用する楔角度 14、ならびに結晶の反射

10

20

30

40

50

端部に対する角度 15 によって画定される。これらの 4 つのパラメータのすべては、例示的実施形態に相互に連結され、スラブレーザ結晶 1 は、所望の機能のためにこれらのパラメータの特定の組を有するべきである。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、反射角度 15 は 90 度で提供され、入射角度はブリュースター角度によって設定され（例えば、アレキサンドライト C 軸に対するブリュースター角度は 60.06 度であるので、入射面の楔角度 14 は 29.94 度である）、次いで所望のスラブ長さは、スラブ幅に独自に関連する、好ましい例示的状況を示す。入射レーザビーム 16 が中心線上に配置された場合については、長さは、ビーム中心が反射端部でスラブの隅部に衝突するようすべきである、その結果、出射ビームも中心線上にある。図 6 に示された場合については、入射ビームおよび出射ビーム 16 は常に共線である。励起ランプからの光 20 は、スラブの頂面および底面に入る一方で、レーザ光源はブリュースター角度面を介して入り、増幅されたレーザ光はブリュースター角度面を介して出る。

【 0 0 4 6 】

入射ビームがスラブの正面に対して上下に移動されたときは、出射ビームも反対方向に移動される。これは図 7 A に示されており、単一の入射ビーム 16 は、中心線と入射窓との中間にある。次いで入射ビーム（または複数のビーム）が、図 7 B の 17 によって示されたように、窓のサイズの半分に過ぎない場合は、出射ビーム 17' は、入射ビーム 17 から物理的に分離する。この構成は、ビームの分離の問題を解決するが、ビームの断面積をスラブ面のサイズの半分未満に制限する。

【 0 0 4 7 】

正面楔角度 14 は、必ずしも前の図におけるようにブリュースター角度の構成要素に設定される必要はない。楔の角度が変化するにつれて、スラブの内側でビーム 16 の内部反射角度は変化し、所与の全長に対する反射の数は変化する。同じ長さおよび幅に対して働く他の入射楔角度の 2 つの例が、図 8 A および 8 B に示されている。図 8 A の第 1 の例では楔角度 14 は 37.6 度であり、図 8 B の第 2 の例では、楔角度 14' は 46.2 度である。広範囲の角度に対して働くスラブ長さを見出すことは可能である。しかしこのようなすべての場合において、入射ビームおよび出射ビームは、互いに（一致して）頂面で反対方向にある。

【 0 0 4 8 】

しかし、ほぼ 90 度の角度範囲も存在し、これも使用できる。このような 1 つの条件が図 9 に示されており、正面角度 14' はスラブ軸に対して 90 度である。この角度程度の解決策については、出射ビームと入射ビームは位置合わせされない。これは、入射ビームと出射ビーム 16 の分離の良好な特徴を有する。しかし、正面の領域は、他の楔角度 14 および 14' に比べて最小であるが、これは増幅した光の電力密度を限定する。

【 0 0 4 9 】

最後に、好ましい例示的実施形態は、スラブの端部に 90 度ではない角度の反射面を提供する。これは 2 つの例示的角度 15 および 15' について図 10 A、10 B に示されている。図 10 A の第 1 の例では、端部角度 15 は、88.25 度であり、これにより、出射ビームは軸上の入射ビームから 9.41 度だけ分離される。図 10 B の第 2 の例では、角度 15' は 91.80 度であり、出射ビームは、入力ビームから 13.50 度だけ分離される。他の角度をスラブ長さのスラブ幅に対する割合に依存して使用でき、これらの 2 つは例として示されているに過ぎない。この構成は、入射ビームと出射ビームを分離し、また完全孔を入射ビームで満たすことが可能になる、望ましい特徴を有する。

【 0 0 5 0 】

上述と同じ材料および一般配置を使用するが、わずかに異なる構造である別の例示的設計が、図 11 に部分的に示されている。この変形形態は、はるかに高い電力レベルにスケーリングができるはずである。この例では、利得結晶 21 の片面のみに提供された 1 列のランプ 22 が存在し、より多くのランプが存在する。図 1 ~ 4 に提示された 4 cm 幅の結晶例に対する片面上の 3 つのランプの代わりに、例えば、長さ 30 cm の結晶に対して 2

10

20

30

40

50

4個までのランプが存在可能である。また結晶軸は、B軸が30cmの寸法に沿うように横方向に回転する。また励起ランプ22とレーザ利得材料21との間にある単一の空洞フィルタスラブ25も示されている。

【0051】

図12は、例示的レーザ増幅器チェーンの断片30の1つの例の断面を示し、断片30は図11の構造を組み込む。この図は、レーザ増幅器スラブ21、空洞フィルタスラブ25、および励起ランプ22のアレイを示す。また増幅器スラブ21の片面のみを覆うセラミック空洞反射体26およびステンレス鋼ケース27も示されている。空洞反射体26は光(放射)をランプ22から利用される装置の中に反射を返すように設計される。この反射体26は、好ましくは、例えば、高アルミニナセラミックなどの不活性(熱的、化学的、および放射)物質から作成される。増幅器スラブ21と空洞フィルタ25との間の隙間は、従来通り冷却水の通過を可能にし、また励起ランプ22の周囲の空間は、冷却水の回路の分離を可能にする。スラブは、水回路の分離を保ち、温度が上昇すると部品の熱膨張を可能にする、封止29により定位置に保持される。

10

【0052】

また増幅されたレーザビームの通路も図12に示されている。ビームの中心は、ビームの中心が利得結晶21の面にブリュースター角度で衝突するように、実線16によって示されている。ビームは、ビームが表面を交差する際に屈折し(角度を変え)、完全に背面に反射し、ブリュースター角度で出る。ビームは破線16'および16''によって示されたように幅広く、利得媒体を2度(入って出る)横切る。

20

【0053】

図13は、増幅段30がどのように増幅器チェーンに組み合わせて、著しく高い電力の増幅されたビームをもたらすことができるかを示す。レーザビーム16は、増幅段30のそれぞれをビーム経路を各側面上で交互に通過する。それぞれの増幅段間に、励起ランプ光子がレーザ利得材料によって吸収されるまで、励起ランプ光子を空洞内に捕捉する反射面31が存在する。

【0054】

低い電力レベルでは、レーザ増幅器を、図1~4に関して論じた例示的レーザを使用して構築することができる。電力レベルが増幅器チェーンに沿って増加すると、増幅器は、図11~13に示された例示的構成に設計を変更することが可能である。結果は、HEM法を介して成長した実証された利得材料の電力処理限界まで、以前に可能であったより高い効率で非常に高い電力ビームである。レーザビームは断面が膨張するので、この構造はビームが相互作用するために大きい表面積のスラブを提示する。ヘッドのサイズは、ブルを生成するHEM炉のサイズによってのみ制限され、ブルからスラブ結晶が切断される。例えば、この構成が高さ15cm、厚さ1cm、長さ30cmのアクティブスラブで作成される場合、約15cm×15cmのビーム断面を利用して、この構成は、単純で比較的小さい装置内に大量のピークおよび平均電力のビームを発生するはずである。

30

【0055】

しかし、より大きいスラブ増幅器結晶が、拡散接合などの記載された方法を介して組み立てられた場合であっても、最適な励起ランプのサイズは、長さ約15cmまたは直径6mm孔2mmのエンベロープに対して6キロワットの電力に制限されやすい。この制限は、電極に堆積された20%の熱に起因する(AC波形入力に作動した場合10%の各端部に対応する)。陽極として作用する電極は熱溶着を得、熱溶着は半周期ごとに生じる。この熱負荷は、直径6mmの石英管内で長期間管理可能である。異なる寸法は異なる熱除去特性を有し、ゆえに異なる寿命を有する。この励起ランプの電力および長さが、より大きいスラブ結晶と共に使用するために選択される場合は、ランプは、短縮された「U」構造内のアーム間の15cmのアーム部分を備えたアームに90度に入る電極部分で構築されるはずである。このタイプのランプは、図11に示された行がアレイと置換されるように、後方反射器を通ってずらして配列された平行ソケット内に装着されるはずである。配置は、アレキサンドライト(水銀ランプ)またはチタンサファイア(ヨウ化タリウムランプ

40

50

) レーザスラブのいずれかと共に使用される、ヨウ化タリウムまたは水銀アークランプのいずれかで均一の励起光度などを達成することが可能である。

【0056】

代替材料

上記の設計の変形形態は、アークランプ内の充填材として水銀と共にヨウ化タリウムを使用することである（これは励起ランプのスペクトルを変える。参照によって組み込まれた特許第7,061,182号を参照されたい。これは、冷却能力を含み、より高い電力負荷を有するために修正された場合、励起ランプ源として使用されてより長い寿命をより低い効率費用で提供できる）。別の選択肢は、レーザスラブ利得媒体としてチタンをドープしたサファイア（ $Ti : Al_2O_3$ ）と共にサファイアランプの内側を充填材としてヨウ化インジウムを使用することである。ヨウ化インジウムランプを使用する場合、空洞フィルタは、UV光を発生するランプとしての使用にも望ましいはずである。空洞フィルタをこの（ $Hg / Ar + ヨウ化タリウム$ ）構造に対して回避できるのは、ランプがほぼ535 nmで71%の出力を有するからである。これは、 $Ti : Al_2O_3$ 吸収帯のほぼピークである周波数帯である。

10

【0057】

この構成は、発信器として使用されることを恐らく支持しないが、この構成は、実際的な増幅器として使用されるためにそれ自体が役立つはずである。蛍光減衰時間はチタンサファイア利得材料に比べて、摂氏180度でアレキサンドライトにおいて約25倍長いので（例えば、75マイクロ秒に対して3.2マイクロ秒）、この構成は依然としてアレキサンドライト増幅器より効率が低いはずである。しかし設計者がアレキサンドライトより長い周波数で作動することを必要とした場合、 $Ti : Al_2O_3$ システムはそのように作動することができるはずである。

20

【0058】

適用

高出力レーザのいくつかの重要な使用の1つは、パルスレーザ堆積（PLD）における。高い繰り返し率のQスイッチパルス（これらのパルスは、本開示に論じられた例示的レーザに適用される、いくつかの市販の外部スイッチ装置の1つを使用して生成される）が、スパッタターゲットに向けられる場合は、あらゆる原子種または化合物の離散層を基板に移動して、構築されたミクロの階層化装置を作成することができる。高出力PLDさえも超える改善は、PLDに対して使用するターゲット気化においてこのレーザの両方のタイプを使用することである。この例では、最高平均電力レーザ（例えば、アレキサンドライトは高放射輝度のQスイッチパルスを約13,333 Hzで生成する）を使用して、ターゲット材料を高速で取り除くことができる。より高い繰り返し率（例えば、312.5 kHz）で超高速レーザとして作動するチタンレーザからの第2のビームは、イオン原子堆積材料の輸送中のプルームに向けられる。この二重のレーザの使用は、あらゆる放出された粒子状物質が第2のレーザにより原子イオン物質に完全に変換されるはずであるので、生成された薄膜の質を大きく向上させるはずである。

30

【0059】

これは、製造技術のスペクトルを示し、一端では、堆積が行われる追加製造と呼ばれ、他方では除去または減法製造が全行程を構成する組合せと共に行われる。大規模の例は、恐らく冷却のため、次いで特定量を取り除いてネット形状部品を達成するために構築された内部構造の有無にかかわらず特定の形状に築かれるコバルトなどの、ニッケル鉄合金の取付けスタブなどの膨張が一致する材料上で、地上で最高の融点の材料である炭化タルタンハフニウムなどの、製造不可能でなければ、珍しく以前は困難であった化合物を噴霧するPLDプラズマであるはずである。このような装置は、車両の翼上または排気のプラズマプルーム内のいずれかの極超音速機の制御面に適するはずである。この同じ技術および材料の拡張は、熱遮蔽の車両スキン材料に再利用可能であり、これは現在の材料の組合せより軽く強いはずである。この同じ技術の微細なレベルでは、半導体材料の層のPLD堆積に、続いて特定領域の除去を伴い、続いて他の半導体材料の堆積を伴って装置を作成す

40

50

るはずである。例示用例は、それと共に安価なダイオードレーザを一例として作成する、ダイオードレーザブールを製造することである。これはマイクロ電子回路またはマイクロ電子機械素子すなわちMEMの代表であるのは、この高出力パルスレーザ技術は、周波数または高調波変換装置と併せて使用される際、スペクトルの短い周波数部においてこれまでにない電力レベルの生成ができ、それによって直接的なマイクロ電子デバイスの製造が可能になるからである。この技術は、ダイヤモンド状炭素(DCL)（別の例としてマイクロ電子デバイス）を製造するのに特に有益であるはずである。さらなる例は、半導体熱制御のためのヒートスプレッダ材料としてのヒ化ホウ素材料の堆積である。適用のこの領域では、このレーザを、非常に高速の分子ビームエピタキシーを製造する機械に対して改良されたイオン放出体として使用することもできる。これは、市販の機械において高電圧イオン源銃に加えられる、または高電圧イオン源銃の代替になるはずである。この例示的用途では、Qスイッチ源およびモード同期源は、オプションで超微粒子化のためにイオン源に、次いでイオンビームに作用する、ナノ秒長パルス、およびピコ秒またはより小さいパルス長でさえも利用して、ターゲット装置のブール能力のみによって制限されて、堆積したイオンを時速1~10ミクロンなどの固有の堆積厚さ制限であるより、むしろ時速ミリメートルまたはセンチメートルの厚さの使用可能な構造に融合する、ビーム電流を達成するはずである。

【0060】

一例は、ダイヤモンド状炭素(DLC)の被覆をレーザまたはデュアルレーザを使用してあらゆる金属機械基板上に堆積すること（または実際のダイヤモンド被覆を堆積すること）であろう。DLC層は、市販用途に重要である少なくとも4つの特徴を有する。第1に、DLCは極めて硬い所望の特徴を有し、DLCで被覆される表面は実際にいかなる摩耗も示すことはない。第2に、DLC層は、非常に高い熱伝導率（銅より数倍高い）を有し、これは熱スプレッダとしての使用に理想となり、それに付着したあらゆる表面から熱を取り除く。第3に、DLC層は、電気的に絶縁し、非常に高い絶縁破壊電圧（1ミクロンの厚さあたり約10,000ボルト）を有する。第4に、DLCは、熱膨張の非常に低い係数を有し、DLCは小型のモノリシックに積層された回路構造から作動の熱を奪うので、極めて高い電力で作動する集積回路およびマイクロ電子デバイスを組み立てるための基板として使用可能である。したがって、DLC層を使用して効果的な電気絶縁を、エネルギー貯蔵のための電力用コンデンサを含む、多くの高電圧あるいは高い電界密度用途への使用に対して、比較的薄い層または厚いウェハ/スラブおよび積層されたモノリシック構造のロックを提供できる。

【0061】

様々な製品の製造に使用される銅またはアルミニウム線に加えられるDLC絶縁により、DLC絶縁装置が高分子絶縁材料で可能であるより高い温度で作動できるはずである。従来の高分子で絶縁した有線装置に対する作動温度の限度は約200である。比較すると、DLC被覆は、その黒鉛化温度まで機能するはずであり、これはほぼ400で始まる。DLCの熱伝導率、非常に低い熱膨張係数、および電圧絶縁の組合せにより、装置を高分子で絶縁した同等物より数倍小さい物理的サイズに装置を構築できるようになり、しかも依然として同じ電力レベルで作動するはずである。

【0062】

パルスレーザ堆積(PLD)（スパッタターゲットは黒鉛またはピュアカーボンである）によって生成されたDLC被覆は、小さい試料上に実証されているが、より大規模の商業用途への障害は、低コストで利用できないこと、および本明細書に開示されたスラブレーザのようにより高い電力のレーザを利用できないことである。一実装形態は、本明細書に開示された設計などのアレキサンドライトおよびまたはチタンレーザを使用して、ドナースパッタターゲットに向けられるQスイッチおよびまたは超高速パルスを生成することであり、チタンサファイアのタイプは約312,500KHzまたはより大きいパルス速度を生成して同時に使用され、基板に飛行中にプルームに向けられる（したがって、超粉砕化し、細分化し、イオン化する）。この方法は、あらゆるスパッタ材料に使用すること

10

20

30

40

50

ができ、源材料として黒鉛に限定されない。

【0063】

別の有益な商業用途は、低コストの太陽電池またはP L Dによる集積回路の生産における。実際にあらゆる材料をあらゆる基板上にあらゆる順番および厚さで堆積することができ、コンピュータで制御して堆積し、かつ堆積された材料の大量または少量の原子を取り除く。商業用途への障害は、低コストで高出力のレーザ源を利用可能になった。本明細書に開示されたあらゆるレーザを使用して、シリコン、ゲルマニウム、ゲルマニウム上のヒ化ガリウム、窒化ガリウム、窒化ガリウムインジウム、燐化ガリウムまたはあらゆる他のガリウム合金などの、高効率の多層P V (太陽光発電)薄膜の経済的な高速生成ができる。スパッタリングによって生成された現在存在するあらゆる既存の半導体合金が特許請求の範囲に含まれる。あらゆる基板材料上の化学気相蒸着またはイオン堆積を、記載されたレーザシステムまたはデュアルレーザシステムで生成できる。この技術は、単層または多層構造における炭素原子の1原子の厚さのシートが特定の形状部品に成長した、グラフェンの高速で大領域の製造を含む。

10

【0064】

P L Dは最低堆積温度を有するので、今やP V薄膜を適切な熱可塑性纖維または箔面上に成長させることができある。これにより、従来のM O C V D (有機金属気相成長)法に比べて、低い製造コストで可撓性のP Vアレイに対する道を提供するはずである。

【0065】

高出力レーザは、溶接および/または切断の領域に多数の用途を有する。Qスイッチタイプのスラブレーザは、鋼板を数インチ~数十インチの厚さを快速で切断できるはずである。20 kWのCO₂のレーザは現在造船所内で使用されているが、100 kWのレーザは稀であり非常に高額である。これは本明細書に開示されたようにスラブレーザシステムの場合に可能性が低いはずであり、これはより経済的に作成できる。本開示に提供された例などの直列のレーザ増幅器から作成されるシステムは、ある程度のこの電力を他のメガワット級のレーザシステムに比べてはるかに低い作動費用で送達できる。

20

【0066】

また高出力レーザシステムとして接近して使用される記載されたパルスおよびまたは連続波(8, 220, 0965などによって例証されている)などの単一または組み合わせたレーザ源は、トンネルおよび/または地下掘削に使用できる。組み合わせた構造として連続および/またはQスイッチパルス列ビームを使用することにより、ターゲット掘削の岩面を厚い垂直スラブに薄切りすることができるはずである。薄切り下の長方形部分を連結式コンベヤベルトの材料除去システムの使用のために掘削し、次いで切断ビームを互いの垂直薄切り上のこの空間の数フィート上に水平に方向付けるとすると、水平に薄切りがなされた後、岩のスラブの重量によりある時点で岩が割れて連結式コンベヤベルトシステムの上に急落するはずである。気化により1メガワットビームで22フィートの岩に約1秒で1インチの直径の穴を開け、岩から10メートル×10メートル×1メートルの「パネル」を1時間程度で除去することができる。コンベヤベルトを出しシステムでできる。小型の5メガワットシステムは、重いトラックのずり出し構造に実行可能である。これはトンネル掘進速度に25~50倍の改善を示すはずである。

30

【0067】

レーザのパルス長は、レーザの適用に重要である可能性がある。レーザのパルス長が長いほど、気化される材料がブルーム内に望ましくない粒子をより多く含む傾向がある。これは、十億分のわずか、またはわずかナノ秒の長さのパルスにさえ起こることがある。しかし、1兆分の1秒長のパルスに迫るにつれて、原子緩和時間は接近し、これは熱エネルギーを隣接の原子に伝達する材料の能力を制限する傾向があり、したがってクランプは、充分に冷却されないので付着できず、これは原子化を増進し、粒子汚染を低減する。これが、爆発物をQスイッチシステムではなく超高速システムで機械加工でき、超短パルスまたは超高速パルスで気化の熱をブルームと共に除去する1つの理由である。

40

【0068】

50

それ故、1ピコ秒より短く、超高速と呼ばれるパルスに関心がもたれている。チタンサファイアシステムからの通常のパルス長は100フェムト秒であり、このようなシステムは、100アト秒長ほど短いパルスを生成した。

【0069】

物質がより短いレーザパルスで気化される際、設計者が取り組む粒子はほとんどなく、これにより、より良好な薄い薄膜およびより単純なプロセスを生み出す。この特徴が、これらのMOPAの設計が集積回路およびマイクロ電子機械システム製造に有益な理由である。特に興味深いのは、これらのレーザ設計を使用するDLC基板およびダイヤモンド半導体集積回路である。

【0070】

これらの短パルスを作成する問題は、利得材料を横切るこのような短パルスに対して、1) 短パルスは、荷電された原子と相互作用する充分な時間を費やさないので、多くの貯蔵されたエネルギーを使用しないために荷電された原子を誘導できない、2) このような超高速パルスを生成するシステムは、通常1つの大きい(直径20mm、長さ6mm)結晶を必要とし、結晶は、結晶から所望のエネルギーを実際に得るために結晶を約8~20回通って短パルスに再度向けられる、3) 所望のエネルギーが獲得されたとき、輝度は極めて高く、これにより光学の表面を破壊する可能性があることである。1兆分の1秒長である1ジユールパルスの放射を考慮すると、これは1兆ワットの放射を生成するはずである。損傷閾値に対する、べき乗スケーリング則は、電力の2分の1またはパルス長の差の平方根であり、その上で1ns長パルスに対して5GW/cmの放射レベルは、例えば、1ピコ秒長パルスに対して156MWに耐えるはずである。このパルス長は、例えば約1000倍短く、したがって1000の平方根は31.62であり、例示的放射およびエネルギーレベルは、例えば1ジユールで1兆ワットであるはずであり、したがって、新しい損傷閾値は、例えば $1/31.62 = 0.03162$ ジユールであるはずである。

10

20

30

【0071】

そのため従来の超高速システムでは、実際のパルス長は約1/2ナノ秒長であり、スペクトル化合物をチャープする、またはスペクトル的に重なるように、回折格子対内に圧縮される。これにより超高速増幅器に関する別の問題が出てくる、すなわち、光の速度は通常ほとんどの光学材料において異なる色に対して異なり、これは500ピコ秒の青色部がパルス自体の500ピコ秒の赤色部より遅い場合に「分散」をもたらす。これは、ほとんどのシステムの平均電力出力が超高速システムに対して制限され、通常100ワット未満を提供される、最も重要な理由の1つである。例示的最先端のシステムには300,000ドル掛かり、液体窒素で冷却され、Qスイッチの周波数が2倍の励起レーザを必要とし、これは駆動するために100ワットを得るには5倍の電力であり、したがって、例えば、約500,000ドルのシステムを生成する。対照的に、開示されたチタンサファイア増幅器から3,600ワットを得る費用は、これを執筆時点では、例えば約100,000ドル程度である。メーカーが記載された100ワット超高速システムを作成した理由は、有機金属気相成長法(MOCVD)ができなかった科学の関心の薄膜を作成した科学を生み出したことである。

【0072】

しかし、逆平行構造に配列された直列の高屈折率ガラスプリズムを通って分散されたパルスを方向付けることに基づいた、固体パルス圧縮技術を利用して、この問題を正すことができた。各プリズムの先端を通ってパルスを送ることにより、物理的距離は、ガラスを通るより遅い波形(より高い周波数)に対してより長く、より速い波形(より遅い周波数)に対してより短く、空気中とガラス内の経路長の差により低周波数をこの戦略によって圧縮することができるので、低周波数が増幅器に入ると、パルス内に位置していた場所に戻る。この構造は、光がプリズム積層を通って跳ね返るように、鏡をビーム経路の端部に有する積層を提供する。これらの積層されたプリズムを増幅器のほぼヘッドのサイズまたはそれ以上のサイズに提供することができ、これは、分散補償の1つまたは複数のヘッドを実際の電力の1つまたは複数のヘッドの間に提供することが有益である。

40

50

【0073】

例示的応用システム

これらの構成要素がどのように働き、どのように使用されるかを示すために、図14は、第1のシードレーザ40内の源から増幅器42および鏡48、47を通ってプロセスチャンバ45内のその端点に進むパルスを示し、次いでこれを第2のシードレーザ41に対して繰り返す。第1のシードレーザ40は、超高速増幅器チェーン42に対するシードとして作用する。パルス長周波数および反復率は、所望の応用に従ってこの構成要素内で画定される。例えば、パルス長周波数および反復率は、1/2ナノ秒パルスを生成することができ、このパルスは例えば、100nm幅の帯域幅750nm~850nmを有し、例えば秒速312,500のパルスが放射される。別法として、チタンサファイアの蛍光出力帯域幅は、光650nm~1100nmを記載されたのと同じ速度で生成し、望ましい場合それらの周波数でレーザの作動が可能になる。

【0074】

増幅器チェーンは、例示的モジュールのために図1に示されたような増幅器モジュールの直列アレイからなることが可能であり、この場合パルスは、図2ならびに10Aおよび10Bに示されたように、チタンサファイアの利得結晶の中に導かれる。レーザビームは結晶を端から端まで横切り再度戻るので、レーザビームは面から面に伝播し、レーザビームは異なる角度で分離目的のために入出するが、赤色構成要素に対する光の速度は青色構成要素より速いので、レーザビームは増幅され分散される。これにより、それぞれが依然として1/2ns長である部分が、互いに遅れ、パルスが効果的に長くなる。第1のスラブが出ると、パルスを分散補償器または圧縮器の中に向けることができ、(以下に説明する)これは、現在増幅されたパルスが1/2ns長に戻るよう、利得結晶の置換効果を覆す。これは、所望の電力レベルに達するまで各増幅段に対して繰り返され、所望の電力レベルに達した点で、パルスは補償器の同じ種類および設計で圧縮されるが、構造およびサイズは恐らくより大きく、より高いエネルギーレベルを収容する。

【0075】

圧縮装置を、チャーピングと呼ばれるプロセスによって5,000倍短くなるパルスを生成するために構築することが可能である。これは、青色部および赤色部が部分的に極めて重複するように、青色部および赤色部が適時に変換され、異なる色の尾端部および先端部が破壊的に干渉するように、異なる色の尾端部および先端部が分離される場合、この効果は、1ピコ秒長レベルであるが、パルスのエネルギー含量を低減しない、パルスの中心に重複しない部分を残す。

【0076】

図14を再度参照すると、最終圧縮段は、ビーム51を出力するために含まれた増幅器チェーンの端部を収納する第1の増幅器42内に配置されるはずである。放出されたビーム51は、第1のビームスプリッタ48に進み、そこで超高速パルスエネルギーの一部51'は、プロセスまたは試料チャンバ45に下がって反射されて、基板を熱化して図15のプルーム58内の粒子の中に入る。スプリッタ45を通って放射するビーム51の他方部分は、3倍器モジュール44に入り、ここではパルスエネルギーの一部が、例えば1/3波長または266nmの光子に変換される。これらの光子およびパルスのこの部分は反射鏡47上に向けられ、この場合1ピコ秒266nm光パルス52が、図15の試料59に示されたように、試料45内で被覆される試料上に向けられる。これが、UV光子が電子を試料59の表面から置換し、表面を光イオン化する場所であり、ひいては被覆の質および速度を高める。図14に示された第2のアレキサンライト増幅器チェーンでは、第2のシードレーザ41は、例えば、100nmまでの帯域幅を有する50ns長パルスのビーム53を秒速13,333パルスで生成する(パルス幅、反復率および帯域幅は、被覆エンジニアによって選択されてプロセスを最適化する)。このビーム53は、増幅器チェーン43の中に向けられ、ここではパルスはエネルギー含量を増加され、ビーム経路54を介して増幅器チェーン43から出で別の鏡47に進み、ここではパルスは試料チャンバ45内の源材料上に向けられる。源試料57は図15に示されており、これは気化され

10

20

30

40

50

、原子化されたプルーム 5 8 になる。

【0077】

ビーム 5 4 内のこのレーザパルス列は、この効果が 600 ピコ秒より長いパルス上で良好に働くので、必ずしも圧縮される必要はない。アレキサンドライト利得材料内の分散は、パルス長に著しく影響を与えることはなく、このビームは源における材料の気化に有効であるために、所望の電力レベルに達する必要があるに過ぎない。異なる材料は、この効果を最適化するために異なる長さのパルスを必要とし、この効果は堆積されるそれぞれの増幅器チェーンおよび材料に対してシードレーザ内で設定される。

【0078】

それ故、図 14 は、本明細書に記載されたアレキサンドライト MOPA およびチタンサファイア MOPA システムの両方を組み込む、現実世界の PLD レーザ源発生器の配置のための例示的構成要素構造を示す。それぞれは、対応するシードレーザまたは主発信器 40、41 を有し、シードレーザまたは主発信器 40、41 は、チタンサファイアおよびアレキサンドライト主発信器のそれであることが可能である。主発信器は、各増幅器チェーンに対してコヒーレンス長、パルス周波数、パルス長および反復率を設定する。したがってシード 40 は超高速シードレーザであり、これは、例えば、約 3.2 μs (またはそれ未満) 毎、または秒速 312,500 回 (またはそれを超える) 反復した、約 100 nm の帯域幅 (750 nm ~ 850 nm) (もしくはより狭い帯域幅) の約 1/2 ナノ秒 (またはそれ未満) を生成するはずである。これらの短いパルスを達成するために、シード 40 は (非常に短期間のまさにコヒーレントシードパルスを生成する方法で) モード同期される可能性が高いはずである。

【0079】

同様に、シード 41 は、アレキサンドライト増幅器チェーン 43 に対する源であり、シード 41 は、例えば、100 nm 以下の帯域幅の 50 ns + / - 20 パルス、例えば、75 μs 毎または秒速 13,333 回で、Q スイッチを生成するはずである。この帯域幅は、パルス長が、青色構成要素および赤色構成要素のスペクトル構成要素を重複することにより 6000 倍まで圧縮されて、個々のパルスの時間枠に破壊的に干渉する際に、超高速レーザに対して所望の特徴である。この効果は、シードパルスのコヒーレンス長により可能である (光子の振幅波のピークおよび谷は行進する兵士のように整列する) 。

【0080】

PLD 製造において原子レベル特性を活用に相関関係がある必要性が多く、すなわちこれらの特徴の 1 つは、プルーム内の気化された原子の可能性を高めて、被覆される基板上に構築された順で互いに引き付け接着することが望ましいことである。これが、設計者は、増幅されたレーザの周波数を変換した部分から短い波長光子を生成することにより、これらの原子をそのように促す能力を含むことを望むことが非常に多い理由である。これは 3 倍器 44 内で達成される。この装置は、選択されたビームの一部を 266 nm の光子に変換するホルダー内で、調和周波数変換結晶のクラスタである。該ビーム 51 の使用されない部分は、ビームスプリッタ 48 から主に反射され、イオン源から被覆される基板に移送される原子および粒子を熱化するように、プルーム上に向けられる。

【0081】

この目的のために超高速レーザのより高い部分が使用される理由は、チタンレーザの 25 倍以上の反復率の利用であり、UV ビーム 52 により照射を介して辛うじて光イオン化できる事象を生成して、組織および表面での付着を被覆される基板の所望される領域 (極端な技巧の場合に特に大きい領域または跡線) の構築された薄膜 (窒化ガリウム構造に必要とされるような) に高めることである。図 15 に示された被覆チャンバでは、ビーム 52 は、例えば、試料 59 を照射する 266 nm の紫外線ビーム部分を光イオン化する。ビーム 51 を介してプルーム 58 を熱化または原子化する部分が大きいほど、また平均電力が高いほど、アレキサンドライトビーム 54 がイオン源 57 を照射する反復率が低い。プルーム、源および基板上の入射照射の角度を介した最適化の詳細は、薄膜の立案者の分散内にある。これらのパラメータのすべては、シードレーザおよび真空チャンバまたは部分

10

20

30

40

50

選択圧力の大気の一部の特性を変更することによって変えることができる。

【0082】

それ故、図14および15に示されたような手法を、半導体製造（ワークピースとして半導体基板上の層をドープするおよび／もしくは堆積する）または様々なワークピースアイテムをダイヤモンドもしくはDLCなどの所望の材料で被覆するために利用することができる。

【0083】

上に記載されたレーザ増幅器の高効率および電力発生能力を、例えばMOPA（主発信電力増幅器を表す）と呼ばれる構造内に活用する現実世界の構造を、ここでより詳細に説明する。

10

【0084】

アレキサンドライトとしても公知のクロムをドープしたクリソベリルおよびチタンをドープしたサファイアの利得結晶のそれぞれのタイプは、レーザおよび関連した増幅器ビーム列のそれぞれのタイプに対して、分離した主発信器で作動し、分離した主発信器を提供される。それぞれのタイプの利得材料は、相補型パルス長およびエネルギーレベルの発生を好む特性を有する。アレキサンドライトのMOPAは、その繰り返しパルス列においてQスイッチと呼ばれることが多い、例えば1～200ナノ秒長のパルスを生成するのに最も良く利用される一方、チタンサファイアのMPOAは、超高速と呼ばれることが多い、サブピコ秒パルス長の圧縮に適切である、サブナノ秒パルス長を選択的に発生する。逆平行格子圧縮またはアクティブミラー・プリズム圧縮システムを利用するはずである。交互に、誘導ブリルアン散乱鏡は、波面歪を同時に修正するように、圧縮プリズムと共に使用されることが可能である。

20

【0085】

この設計の能力を活用するために、PLDシステムの設計者は、本明細書に記載された2つの異なるタイプのレーザを同じ被覆システムで利用することができる。それぞれのタイプのレーザは調節可能であるので、標準鏡被覆帯域幅内で、通常中心線周波数±10%であり、両者は別個であるが区別可能な出力周波数を容易に作動でき、両者は偏光出力を生成する。高反射率偏光ビームスプリッタまたは鏡を使用して、両方のビームを最も可能性が高い源で組み合わせる、または分離する。

30

【0086】

チタンサファイア結晶は、例えば、約3.2μsである蛍光寿命を有するのに対して、通常の増幅器設計システムの作動温度でアレキサンドライトは、例えば、約75μsであるが、アレキサンドライトは、例えば、氷点下温度で1.5ミリから、例えば、摂氏150度で75μsの範囲の蛍光寿命を有する。これは、放出断面がアレキサンドライトに対して異なる温度で変化する際に、出力電力および抽出効率に関する。利得媒体が飽和まで荷電される場合、設計者はパルスを抽出し、利得結晶をこの時間枠内またはより速く再荷電できる。チタンサファイアレーザは、通常、例えば5～200nsで励起されるが、平均は、50ns+/-20nsの緑色レーザパルスであり、チタンサファイア結晶の利得部分は飽和されることが多いので、チタンサファイア結晶の利得部分は超放射になる。

40

【0087】

これは、利得結晶がQスイッチおよび関連した電子機器を追加するようないかなる特別な手法もなしに、はるかに短いパルス（約2～5ns）を生成することを意味する。交互に、ミリ秒長である、溶接などのはるかに長いパルスを望む場合は、励起エネルギーは、多くの蛍光時間枠を超えて利得材料を荷電するのに充分な速度で加えられるべきであるので、実際に励起エネルギーはパルス中に疑似CWで動作する。

【0088】

開示された設計は、増幅器が発信器として動作することができるレベルに、荷電または励起される必要はないが、アレキサンドライト装置は、必要に応じて発信器として作動可能であるという事実を利用する。レーザは、（開示された設計において）励起が可能ないかなるレベルでも単に荷電されるが、ランプ放射は開示されたように有効に使用されるの

50

で、増幅器は、蛍光時間枠の間に貯蔵されたエネルギーを抽出するために増幅器を通って送られたパルスを有することができる。

【0089】

実際にアレキサンドライトを通ってより高い反復率のパルス列を動作させることができると、このような場合には誘導放射断面に注意を払わなければならず、誘導放射断面は、アレキサンドライトがパルス列内により長いナノ秒パルスの生成に好ましいのとは反対に、チタンが高利得で非常に短いパルスを生成することにより好ましい。しかし、この厳格な仕様は設計者の裁量による。この特徴により、650 nmのダイオードレーザが小さいアレキサンドライトスラブを、例えば図14の配列に示した項42および43などの、Qスイッチ、またはモード同期およびQスイッチシード発信器のいずれかとして、励起することが可能になる。アレキサンドライトまたはチタンサファイアのいずれかの増幅器チーンに対するシード主発信器は、図14における項40および41によって示されている。

【0090】

現実世界のPLDシステム設計は、超高速および/またはQスイッチパルス列をプルーム上に向け(図15項51)、恐らく変換された該1つまたは複数のビームの一部を有し、高調波発生器(図14項44)では、短波UVスペクトルに達するので、設計者は光学電力レベルおよび関心の周波数に向ける選択肢を有し、原子クランプまたは粒子が原子化され、またイオン化される、または取り除かれるように所期のプルームまたは基板(図15項51および54)を照射し、また被覆される基板の表面も光イオン化される(またノックオフされた電子を有する)ので、この状態は付着率および構築された原子集合を増加させる。

【0091】

下の表は、開示されたレーザの様々な適用に対する例示的作動構成を示す。

【表1】

表1

レーザタイプ/ 適用	パルス長	高調波変換	注釈
アレキサンドライト = Alex チタンサファイア = Ti	1 ns ~ 200 ns、 0.05 ~ 0.6 ns + 壓縮 < 1 ピコ秒	一方または両方のレーザ は約400 nmおよびま たは266 nmに変換さ れた出力のすべてまたは 一部を有する	ほとんどの場合、基板上に て266 nmの波長および プルーム上でパルスを原子 化するA1ブースターを用 いることにより質が良くな る。
DLC	Alex; ~50ns, Ti; ~1ps	Alex:800nm, Ti:266nm	
半導体	Alex; ~50ns, Ti; ~1ps	Alex:800nm, Ti:266nm	
金属	Alex; ~150ns, Ti; ~1ps	Alex:800nm, Ti:266nm	
工業用セラミック	Alex; ~50ns, Ti; ~1ps	Alex:800nm, Ti:266nm	
同位体分離	Alex: 100ns	Alex:400nm	大きい高調波電力がブリュ ースターによって発生した

10

20

30

40

【0092】

温度依存性放射断面は抽出効率に関係し、設計におけるアクティブゲイン値には、レーザ経路内の構成要素が損傷するまたは阻害される場合に損傷する可能性がある、非常に高いエネルギーを含有するパルス列が都合がよいので、損傷閾値レベルは、注意深く設計され、レベルをこの限度より下に安全に保たれる必要がある。

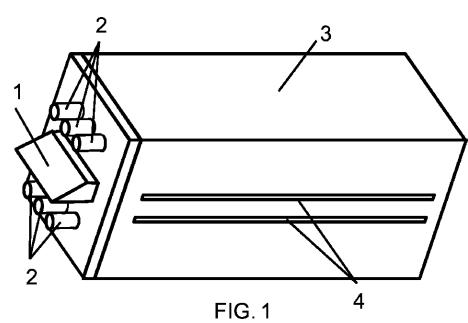
【0093】

多くの他の例示的実施形態を、上述の特徴の様々な組合せを通して提供することができる。上に説明された実施形態は特定の例および代替形態を使用するが、様々な追加の代替形態を使用してもよく、等価物が、本出願の所期の範囲から必ずしも逸脱することなく、

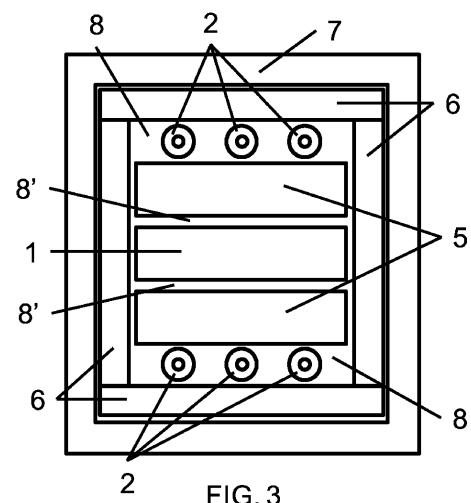
50

本明細書に記載された要素および／またはステップに替えられてもよいことが、当業者には理解されよう。修正形態は、本出願の所期の範囲から逸脱することなく、実施形態を特定の状況または特定の要件に適合させる必要があることがある。本出願は、本明細書に記載された特定の例示的実装形態および例示的実施形態に限定されないが、特許請求の範囲は、それによって網羅されるすべての新規および非自明の実施形態を、文字通りにまたは等価物に、開示の有無に問わらず網羅するためにそれらの最も広義の妥当な解釈を与えられることが意図される。

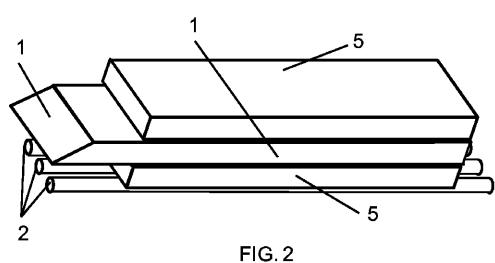
【図1】



【図3】



【図2】



【図4】

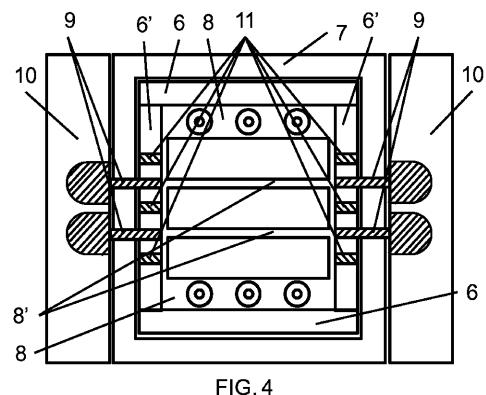


FIG. 4

【図5】

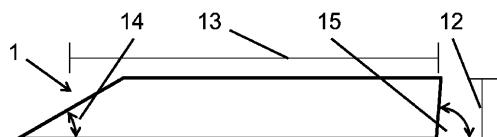


FIG. 5

【図6】

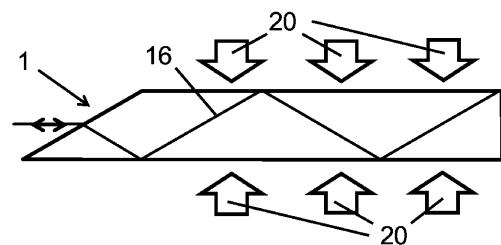


FIG. 6

【図7A】



FIG. 7A

【図7B】

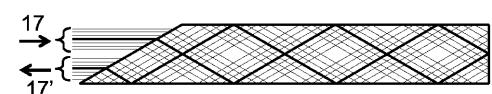


FIG. 7B

【図8A - 8B】

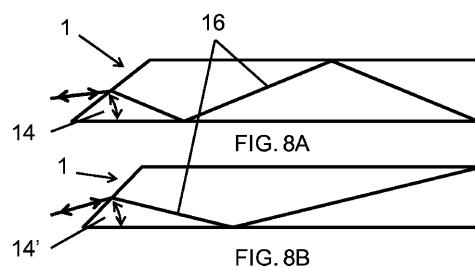


FIG. 8A



FIG. 8B

【図9】

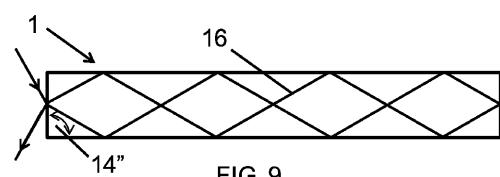


FIG. 9

【図10B】



FIG. 10B

【図11】

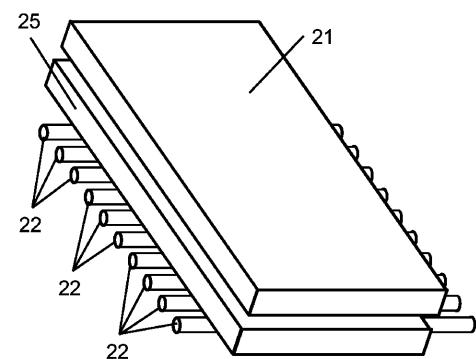


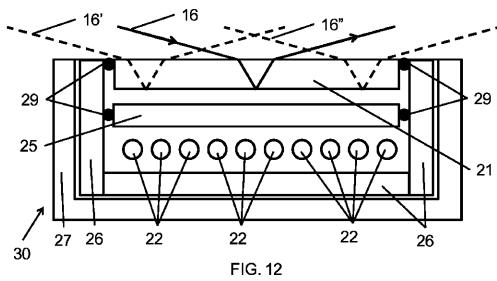
FIG. 11

【図10A】

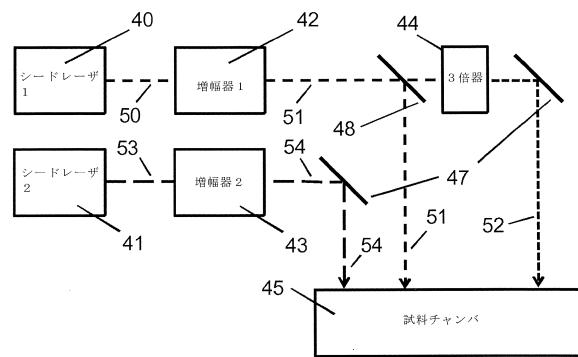


FIG. 10A

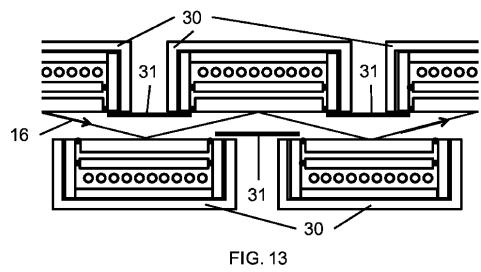
【図12】



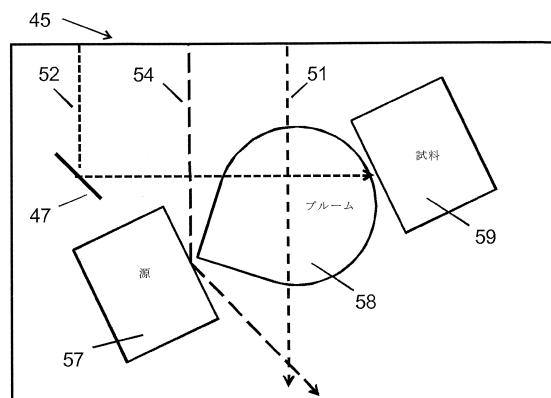
【図14】



【図13】



【図15】



フロントページの続き

(74)代理人 100191086

弁理士 高橋 香元

(72)発明者 スチュアート, マーティン, エー.

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 91505, バーバンク, 3612 ウエスト ビクトリー
ブルバード

(72)発明者 カニンガム, スティーブン, エル.

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 91001, アルタデナ, 2306 グレン キャニオン
ロード

審査官 島田 英昭

(56)参考文献 特開平06-125125 (JP, A)

特開平09-199781 (JP, A)

特開平02-014587 (JP, A)

特開平09-027646 (JP, A)

特開平05-254879 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S3/00-3/30