

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-508471
(P2025-508471A)

(43)公表日 令和7年3月26日(2025.3.26)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 S 3/0941(2006.01)	H 0 1 S 3/0941	5 F 1 7 2
H 0 1 S 3/16 (2006.01)	H 0 1 S 3/16	
H 0 1 S 3/083(2006.01)	H 0 1 S 3/083	

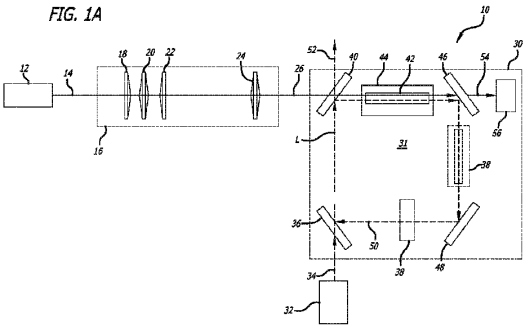
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全28頁)			
(21)出願番号	特願2024-550232(P2024-550232)	(71)出願人	507159407 ニューポート コーポレーション アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 2 6 0 6 , アーヴィン, ディア アヴェニ ュー 1 7 9 1
(86)(22)出願日	令和5年2月23日(2023.2.23)	(74)代理人	100109896 弁理士 森 友宏
(85)翻訳文提出日	令和6年10月4日(2024.10.4)	(72)発明者	ゴージャン, マーティン アメリカ合衆国, 9 2 6 0 6 カリフォ ルニア州, アーバイン, ディア・アベ ニュー 1 7 9 1
(86)国際出願番号	PCT/US2023/013699	(72)発明者	ケムニトザー, マサイアス アメリカ合衆国, 9 2 6 0 6 カリフォ ルニア州, アーバイン, ディア・アベ ニュー 1 7 9 1
(87)国際公開番号	WO2023/164049		
(87)国際公開日	令和5年8月31日(2023.8.31)		
(31)優先権主張番号	63/313,605		
(32)優先日	令和4年2月24日(2022.2.24)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW), EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES, FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV 最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器及び製造方法

(57)【要約】

本出願は、増幅プロセス中に光学結晶を励起するために複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器システムであって、励起ビームレットが共振器類似のものの内部に配置される光学結晶に入射する際に平行で実質的に発散しないままであるように個々のそれぞれの励起ビームレットを拡大し、拡大励起ビームレットを出力するように構成されるテレセントリックテレスコープを含んでおり、これにより、コンパクトなレーザ増幅器システムの構成が実現される。

【選択図】 図 1 A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

850nmから1250nmの波長を有する少なくとも1つの励起信号を出力するように構成される少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイと、

前記少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイと光学的に連絡され、前記少なくとも1つの励起信号を受け、少なくとも1つの増幅器励起信号を出力するように構成される少なくとも1つのテレセントリックテレスコープと、

少なくとも1つの入力信号を出力するように構成される少なくとも1つの信号源と、

前記少なくとも1つのテレセントリックテレスコープ及び前記少なくとも1つの信号源と連絡され、少なくとも1つの信号ミラー、少なくとも1つの励起インジェクションミラー、少なくとも1つの励起出力ミラー、及び少なくとも1つのミラーにより規定される共振器類似増幅器であって、前記少なくとも1つの信号ミラー、前記少なくとも1つの励起入力ミラー、及び前記少なくとも1つの励起出力ミラー、及び50mmから700mmの前記少なくとも1つのミラーにより規定される光路長を有する少なくとも1つの共振器類似増幅器と、

前記少なくとも1つの共振器類似増幅器内に配置され、前記少なくとも1つの励起信号の少なくとも一部及び前記少なくとも1つの入力信号を受け、前記少なくとも1つの共振器類似増幅器から少なくとも1つの増幅器出力信号を出力するように構成される少なくとも1つの光学結晶と

を備える、レーザ増幅器システム。

【請求項 2】

前記ファイバ結合レーザダイオードアレイは、2以上の光ファイバ本体を含み、それぞれの光ファイバ本体は少なくとも1つの励起ビームレットを出力するように構成され、前記複数のビームレットは前記少なくとも1つの励起信号を形成する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 3】

前記少なくとも1つの励起信号は、960nmから990nmの波長を有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 4】

前記少なくとも1つの励起信号は、970nmから980nmの波長を有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 5】

前記少なくとも1つのテレセントリックテレスコープは、200 μ mから約800 μ mの範囲のターゲットスポットサイズを有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 6】

前記少なくとも1つのテレセントリックテレスコープは、380 μ mから約475 μ mの範囲のターゲットスポットサイズを有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 7】

前記少なくとも1つのテレセントリックテレスコープは4倍の倍率を有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 8】

前記少なくとも1つのテレセントリックテレスコープは少なくとも2倍の倍率を有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 9】

前記少なくとも1つの信号ミラー、前記少なくとも1つの励起インジェクションミラー、前記少なくとも1つの励起出力ミラー、及び前記少なくとも1つのミラーのうち少なくとも1つは、前記少なくとも1つの励起信号を透過させ、前記少なくとも1つの入力信号を反射するように構成される少なくとも1つのダイクロイックコーティングを含む、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項 10】

前記光路長は80mmから120mmの範囲である、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項11】

前記光路長は100mmから110mmの範囲である、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項12】

前記少なくとも1つの入力信号は、前記少なくとも1つの入力信号が前記少なくとも1つの光学結晶の小面上の異なるスポットに繰り返し入射するように、前記共振器類似増幅器を繰り返し横断する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項13】

少なくとも1つの信号ミラー、少なくとも1つの励起インジェクションミラー、少なくとも1つの励起出力ミラー、及び少なくとも1つのミラーは、前記共振器類似増幅器の光軸に対して傾斜しており、少なくとも1つの増幅信号は、前記少なくとも1つの入力信号が前記共振器類似キャビティを異なる光路に沿って横断するように前記共振器類似増幅器内を横断する、請求項13に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項14】

少なくとも1つの信号ミラー、少なくとも1つの励起インジェクションミラー、少なくとも1つの励起出力ミラー、及び少なくとも1つのミラーは、くさび形の本体を含み、前記少なくとも1つの増幅信号は、前記少なくとも1つの入力信号が前記共振器類似キャビティを異なる光路に沿って横断するように前記共振器類似増幅器内を横断する、請求項13に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項15】

前記少なくとも1つの増幅器励起信号は複数の励起ビームレットを含み、それぞれのビームレットは、前記少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイを形成する少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードに結像し、それぞれのビームレットは、前記少なくとも1つの光学結晶の少なくとも1つの小面上の個々の励起スポットを形成する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項16】

前記少なくとも1つの光学結晶はYb:YAGから製造される、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項17】

前記少なくとも1つの光学結晶は、Yb:Lu₂O₃、Yb:Sc₂O₃、Yb:GGG、Yb:KYW、Yb:CALGO、Yb:CaF₂、及びYb:CNNGGからなる群から選択される少なくとも1つの材料から製造される、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項18】

前記少なくとも1つの光学結晶は均一なドーピング濃度を有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項19】

前記少なくとも1つの光学結晶は不均一なドーピング濃度を有する、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項20】

前記少なくとも1つの信号源は、モードロックフェムト秒レーザ源を含む、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項21】

前記少なくとも1つの信号源は、1以上の前置増幅を有するレーザ源、広帯域光源、ピコ秒光源、ナノ秒光源、CW光源、及び共振器類似増幅器からなる群から選択される少なくとも1つの信号源を含む、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項22】

前記共振器類似増幅器内に配置される少なくとも1つの任意的な光学要素をさらに備え、前記少なくとも1つの光学要素は、レンズシステム、マイクロレンズアレイ、フィルタ

10

20

30

40

50

、空間フィルタ、1以上の孔又はラインの形態のメカニカルブロック、透過型光学要素、利得媒質、光学結晶、偏光器、及び波長板からなる群から選択される、請求項1に記載のレーザ増幅器システム。

【請求項23】

少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイであって、前記少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイから個々に出射される複数の励起ビームレットから形成される少なくとも1つの励起信号を出力するように構成される少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイと、

前記少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイと光学的に連絡され、前記少なくとも1つの励起信号を形成する個々の前記励起ビームレットを受け、個々の複数の増幅器励起信号を出力するように構成されるテレセントリックテレスコープと、

10

少なくとも1つの入力信号を出力するように構成される少なくとも1つの信号源と、

前記テレセントリックテレスコープ及び前記少なくとも1つの信号源と連絡される少なくとも1つの共振器類似増幅器であって、少なくとも1つの信号ミラー、少なくとも1つの励起インジェクションミラー、少なくとも1つの励起出力ミラー、及び少なくとも1つのミラーにより規定される共振器類似増幅器と、

前記少なくとも1つの共振器類似増幅器内に配置され、前記個々の複数の増幅励起信号及び前記少なくとも1つの入力信号により励起され、前記少なくとも1つの共振器類似増幅器から少なくとも1つの増幅器出力信号を出力するように構成される光学結晶とを備える、レーザ増幅器システム。

20

【請求項24】

少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイであって、前記少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイから個々に出射される複数の励起ビームレットから形成される少なくとも1つの励起信号を出力するように構成される少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイと、

前記少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイと光学的に連絡され、前記少なくとも1つの励起信号を形成する個々の前記励起ビームレットを受け、個々の複数の増幅器励起信号を出力するように構成されるテレセントリックテレスコープと、

少なくとも1つの入力信号を出力するように構成される少なくとも1つの信号源と、

前記テレセントリックテレスコープ及び前記少なくとも1つの信号源と連絡される少なくとも1つの共振器類似増幅器と、

30

前記少なくとも1つの共振器類似増幅器内に配置され、前記個々の励起ビームレット及び前記少なくとも1つの入力信号により励起され、前記少なくとも1つの共振器類似増幅器から少なくとも1つの増幅器出力信号を出力するように構成される光学結晶とを備える、レーザ増幅器システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願に対する相互参照

本出願は、2022年2月24日に提出された「複数のエンドポイントスポットを利用するレーザ増幅器及び製造方法」という表題の米国仮特許出願第63/313,605号の優先権を主張するものであり、その内容はその全体が参照により本明細書に組み込まれる。

40

【背景技術】

【0002】

背景

現在のところ、超高速ファイバレーザの最先端技術水準は性能的に制限されている。例えば、現在利用可能な超高速ファイバレーザは、ピークパワー及び平均パワーに関して制限されている。例えば、現在利用可能な超高速レーザデバイスは、典型的には、特にいわゆる横モード不安定性のためにおよそ200ワット(200W)に制限されている。C. Jau regui et al, "Transverse mode instability," Adv. Opt. Photonics 12 (2),

50

429-484 (2020) 参照。

【0003】

これに対して、より高いピークパワー及びより高い平均パワーを有する超高速レーザシステムを製造するために様々な構成が検討されている。例えば、おそらく1mJを超えるパルスエネルギーを実現可能な、大面積フォトニック結晶ファイバと組み合わせた複雑で高価なチャープドパルス増幅（以下、CPA）を含むシステムが提案されている。F. Roeser et al, "Millijoule pulse energy high repetition rate femtosecond fiber chirped-pulse amplification system," Opt. Lett. 32, No.24 (2007) 参照。提案されているこのシステムは、ある程度有用なものであるが、それ自体に制限があり問題があった。例えば、CPAを含めた場合には、システムの複雑さと費用が増大していた。

10

【0004】

これに対して、Russbueldtによって述べられているようなInnoslabレーザ増幅器（P. Russbueldt et al, "400 W Yb:YAG Innoslab fs-amplifier", Opt. Exp. 17, No. 15, (2009) 及び P. Russbueldt 等の米国特許第9484705号「Optically end-pumped slab amplifier comprising pump modules arranged in a distributed manner」参照）は、両方の問題に取り組み、これらを解決するものであり、400W超を実現し、CPAなしでμJ出力パワー、適度なCPAでmJ出力パワーを送ることが可能である。このInnoslabデザインは、複数のダイオードバーから得られる結晶アパーチャ全体にわたる均質励起場（ライン）を利用する。Innoslabシステムに使用されている励起整形及び伝達光学系及び類似のスラブ増幅器は、設計するのが難しく、製造するには高価で、嵩張るものである。加えて、信号ビーム整形及びアライメントが複雑で時間のかかるものとなっている。さらに、Innoslabシステム及び類似のスラブ増幅器を用いる場合には、非常に良いビーム品質（すなわちコースティックを通じた円形で均一に滑らかなガウシアンビームによる低ビーム伝搬因子M²）を実現することが難しくなっている。

20

【0005】

上記を踏まえて、SchulteとRussbueldtは、フラウンホーファー研究所のレーザ技術ILT年報2015において「Scalable USP Power Amplifier Based on the Multi rod Concept」という表題の解決案を生み出した。しかしながら、この年報は、システムの重要な技術的詳細、製造上の考慮事項、及び構成を開示しておらず、そのようなシステムを構築することに対する理論上の可能性に焦点を当てたものとなっている。さらに、SchulteとRussbueldtの論文は、ダイクロイックミラーのコーティング設計に対する制約が少なくなるので940nmの励起波長が好ましいと述べている。加えて、スポットごとの励起パワーの半分のみ（50W）が報告されており、これが最大パワーの半分（150W）を生み出している。より高いパワーは一部の用途では有用であり、一部の用途で必要とされている。

30

【0006】

上記を踏まえると、高パワー（>100W）で高い繰り返し率のレーザ増幅器システムに対する需要が継続的に存在している。

【発明の概要】

【0007】

概要

本出願は、増幅プロセス中に光学結晶を励起するために複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器システムの様々な実施形態を開示している。本明細書に開示されるデバイスは、励起源としてファイバ結合レーザダイオードアレイ少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイを含んでいる。上記励起源は、複数の励起ビームレットを出力し、これらの励起ビームレットは、励起ビームレットが平行で実質的に発散しないままであるようにそれぞれ個々の励起ビームレットを拡大し、拡大励起ビームレットを出力するように構成されるテレセントリックテレスコプ内に導入される。複数の拡大励起ビームレットを含む増幅器励起信号は、共振器類似増幅器内に位置する光学結晶に入射する。また、少なくとも1つの入力信号も光学結晶に入射し、共振器類似増幅器を繰り返し横断

50

し、光学結晶に繰り返し入射することにより、光学結晶によって増幅される。最後に増幅信号が共振器類似増幅器から出射される。一実施形態においては、従来技術の増幅器とは異なり、本システムは、個々の励起ビームレットを実質的に発散させることなく維持しつつすべての励起ビームレットを拡大する単一の望遠鏡を含んでいる。加えて、複数の光学結晶を必要とする従来技術のシステムとは異なり、本システムは、単一の光学結晶を含み得るものであり、これにより、コンパクトなレーザ増幅器システムの構成が実現される。

【0008】

ある具体的な実施形態においては、本出願は、レーザ増幅器システムに向けられており、850nmから1250nmの波長の少なくとも1つの励起信号を出力するように構成される少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイを含んでいる。少なくとも1つのテレセントリック望遠鏡は、ファイバ結合レーザダイオードアレイと光学的に連絡されており、励起信号を受け、少なくとも1つの増幅器励起信号を出力するように構成され得る。少なくとも1つの信号源は、少なくとも1つの入力信号を出力するように構成され得る。少なくとも1つの共振器類似増幅器は、テレセントリック望遠鏡及び信号源と連絡している。共振器類似増幅器は、少なくとも1つの信号ミラー、少なくとも1つの励起インジェクションミラー、少なくとも1つの励起出力ミラー、及び少なくとも1つのミラーにより規定され得る。共振器類似増幅器は、信号ミラー、励起入力ミラー、及び励起出力ミラー、及びミラーにより規定される約50mmから約700mmの光路長を有し得る。少なくとも1つの光学結晶の位置は、共振器類似増幅器内であってもよく、励起信号の少なくとも一部を受け、共振器類似増幅器から少なくとも1つの増幅器出力信号を出力するように構成され得る。

【0009】

他の実施形態においては、本出願は、ファイバ結合レーザダイオードアレイから個々に出射される複数の励起ビームレットから形成される少なくとも1つの励起信号を出力するように構成される少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイを含むレーザ増幅器システムに向けられている。少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイと光学的に連絡されるテレセントリック望遠鏡が、励起信号を形成する個々の励起ビームレットを受け、個々の増幅器励起信号を形成する複数の拡大励起ビームレットを出力するように構成され得る。少なくとも1つの信号源は、少なくとも1つの入力信号を出力するように構成され得る。少なくとも1つの共振器類似増幅器はテレセントリック望遠鏡及び信号源と連絡される。共振器類似増幅器は、少なくとも1つの信号ミラー、少なくとも1つの励起インジェクションミラー、少なくとも1つの励起出力ミラー、及び少なくとも1つのミラーにより規定される。光学結晶が共振器類似増幅器内に配置されていてもよく、個々の複数の増幅器励起信号及び入力信号により励起され、共振器類似増幅器から少なくとも1つの増幅器出力信号を出力するように構成されていてもよい。

【0010】

さらに他の実施形態においては、本出願は、レーザ増幅器システムに向けられており、ファイバ結合レーザダイオードアレイから個々に出射される複数の励起ビームレットから形成される少なくとも1つの励起信号を出力するように構成される少なくとも1つのファイバ結合レーザダイオードアレイを含んでいる。テレセントリック望遠鏡は、ファイバ結合レーザダイオードアレイと光学的に連絡されていてもよく、少なくとも1つの励起信号を形成する個々の励起ビームレットを受け、個々の複数の増幅器励起信号を出力するように構成されていてもよい。少なくとも1つの信号源は、少なくとも1つの入力信号を出力するように構成され得る。少なくとも1つの共振器類似増幅器は、テレセントリック望遠鏡及び信号源に連絡されていてもよい。少なくとも1つの光学結晶が共振器類似増幅器内に配置されていてもよく、個々の励起ビームレット及び入力信号により励起され、共振器類似増幅器から少なくとも1つの増幅器出力信号を出力するように構成されていてもよい。

【0011】

複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器及び製造方法の他の特徴及び利点は、以下の詳細な説明を考慮すると明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0012】

図面の簡単な説明

図面は、例示的な実施形態を開示しており、複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器システム及び製造方法のすべての実施形態を述べることを意図しているものではない。スペースを節約するため、あるいは、より効果的な説明のために、明らかな、あるいは不必要な詳細は省略されることがある。これとは逆に、ある実施形態は、具体的な実施形態に関して開示された詳細な事項のすべてを伴うことなく実施され得る。異なる図面に同一の参照番号が表示されている場合には、その参照番号は、同一又は類似のコンポーネント又はステップを意味する。以下の図面を考慮することにより、本明細書に開示される、複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器システム及び製造方法の新規な側面がより明らかになるであろう。

10

【0013】

【図1A】図1Aは、共振器類似増幅器を有するレーザ増幅器システムの実施形態の模式図を示している。

【0014】

【図1B】図1Bは、共振器類似増幅器を有するレーザ増幅器システムの他の実施形態の模式図を示している。

20

【0015】

【図2】図2は、共振器類似増幅器を有するレーザ増幅器システムの実施形態の斜視図を示している。

【0016】

【図3】図3は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用されるファイバ結合レーザダイオードアレイ励起源の実施形態の分解斜視図を示している。

【0017】

【図4A】図4Aは、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用されるファイバ結合レーザダイオードアレイ励起源の実施形態の斜視図を示している。

【0018】

【図4B】図4Bは、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用されるファイバ結合レーザダイオードアレイ励起源の他の実施形態の斜視図を示している。

30

【0019】

【図5】図5は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用されるテレスコープの実施形態の側面図を示している。

【0020】

【図6】図6は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される、複数の励起ビームレットが横断するテレスコープの側面図を示している。

【0021】

【図7】図7は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される共振器類似増幅器の実施形態の模式図を示している。

40

【0022】

【図8】図8は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される光学結晶の実施形態の斜視図を示している。

【0023】

【図9】図9は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される、複数の励起ビームが入射する光学結晶の実施形態の斜視図を示している。

【0024】

【図10】図10は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される光学結晶の他の実施形態の斜視図を示している。

50

【0025】

【図11】図11は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される光学結晶の他の実施形態の斜視図を示している。

【0026】

【図12】図12は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される光学結晶の他の実施形態の斜視図を示している。

【0027】

【図13】図13は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される光学結晶の他の実施形態の斜視図を示している。

【0028】

【図14】図14は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される光学結晶の他の実施形態の斜視図を示している。

【0029】

【図15】図15は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される、光軸OAに垂直な励起出力ミラーの実施形態の斜視図を示している。

【0030】

【図16】図16は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される、光軸OAに対して傾斜した励起出力ミラーの実施形態の斜視図を示している。

【0031】

【図17】図17は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される、共振器類似増幅器に導入される増幅器励起信号の斜視図を示している。

【0032】

【図18】図18は、レーザ増幅器システムの実施形態とともに使用される、共振器類似増幅器から出力される増幅器出力信号の斜視図を示している。

【0033】

【図19】図19は、レーザ増幅器システムの実施形態における光学結晶を横断する増幅器信号の側面図を示している。

【0034】

【図20】図20は、レーザ増幅器システムの実施形態における、光学結晶及びマイクロレンズを横断する増幅器信号の側面図を示している。

【0035】

【図21】図21は、レーザ増幅器システムの実施形態における、光学結晶及び2つのレンズを横断する増幅器信号の側面図を示している。

【0036】

【図22】図22は、本明細書で述べられるレーザ増幅器システムの実施形態を用いた、増幅信号のビーム品質の測定結果を示している。

【0037】

【図23】図23は、シングルパス構成において複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器システムの実施形態の模式図を示している。

【0038】

【図24】図24は、マルチパス構成において複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器システムの実施形態の模式図を示している。

【発明を実施するための形態】

【0039】

詳細な説明

本出願は、光信号の増幅のために複数のエンド励起スポットを利用するレーザ増幅器システムの様々な実施形態を開示している。例示的な実施形態が以下に述べられる。明示的に述べている場合を除き、図面においては、構成要素、特徴、要素などのサイズや位置などとともに、これらの間の距離は、必ずしも縮尺通りではなく、分かりやすくするために不釣り合いになっているか、さらに／あるいは誇張されている場合がある。

10

20

30

40

50

【0040】

本明細書において使用される用語は、特定の例示的な実施形態を説明するためだけのものであり、限定することを意図しているものではない。本明細書で使用される場合には、単数形「a」、「an」及び「the」は、文脈がそうでないと明確に示している場合を除いて複数形を含むことも意図している。「備える」及び／又は「備えている」という用語は、本明細書で使用される場合には、述べられている特徴、整数、ステップ、動作、要素、及び／又は構成要素の存在を特定するものであるが、1以上の他の特徴、整数、ステップ、動作、要素、構成要素、及び／又はこれらのグループの存在又は付加を排除するものではないことを理解すべきである。そうでないと特定されている場合を除いて、値の範囲が記載されている場合には、その範囲は、当該範囲の上限及び下限の両方とともにこれらの間の任意のサブレンジを含んでいる。そうでないと示されている場合を除いて、「第1」、「第2」などの用語は、それぞれの要素を互いに区別するためだけに使用されている。

10

【0041】

そうでないと示されている場合を除いて、「約」、「およそ」などの用語は、その量、サイズ、組成、パラメータ、及び他の量及び特性が一致しておらず、また一致する必要がなく、必要に応じて、許容範囲、換算係数、端数計算、測定誤差など、及び当業者に知られている他のファクタを反映して近似され、さらに／あるいはこれよりも大きく又は小さくなり得ることを意味している。

【0042】

以下の説明で述べられている実施形態の多くは、共通の構成要素、デバイス、及び／又は要素を共有している。同様に名前が付けられた構成要素及び要素は、同様に名前が付けられた要素を一貫して意味する。例えば、以下の詳細な説明で述べられている実施形態は、概して、少なくとも1つの共振器内に配置された少なくとも1つの利得媒質、増幅器、及び／又は共振器類似増幅器を含んでいる。加えて、以下で述べられる実施形態は、概して、少なくとも1つの励起源からの少なくとも1つの共振器励起信号を共振器、増幅器、及び／又は共振器類似増幅器に結合するための少なくとも1つのテレセントリックテレスコープを含んでいる。当業者であれば、以下で述べられる実施形態においては任意の種類の付加的なデバイス又は構成要素が使用され得ることを理解するであろう。さらに、任意の種類の代替テレスコープシステムが本システムとともに用いられ得る。このため、同一又は類似の名前が付けられた構成要素又は特徴は、対応する図面において言及されておらず、述べられていなくても、他の図面を参照して述べられることがある。また、参照符号が付されていない要素でさえ、他の図面を参照して述べられることがある。

20

30

【0043】

本開示の趣旨及び教示を逸脱することなく多くの異なる形態及び実施形態が考えられ、そのため、本開示は、本明細書で述べられる例示の実施形態に限定されるものと解釈すべきではない。むしろ、これらの例示の実施形態は、本開示が徹底的で完全なものとなるように提供されるものであり、本開示の趣旨を当業者に伝えるものである。

【0044】

図1A、図1B、及び図2は、複数のエンド励起スポットを用いたレーザ増幅器の様々な実施形態を示している。図1A、図1B、及び図2に示されるレーザ増幅器システムの構成は異なっているが、これらのシステムは同じように動作する。図1A及び図2に示されるように、レーザ増幅器システム10は、1以上の励起信号14を出力するように構成される少なくとも1つの励起源12を含んでいる。一実施形態においては、励起源12は、1以上のファイバ結合レーザダイオード又は類似の放出体（以下、ファイバアレイ）を含んでいるが、当業者は、レーザ増幅器システム10とともに様々な励起源が使用され得ることを理解するであろう。任意的に、任意の数の励起信号14が任意の数の励起源12から出射されてもよい。さらに、励起信号14を形成するために複数の励起ビームレット28a~28g（図6参照）が使用され得る。

40

【0045】

図1及び図2を再び参照すると、少なくとも1つのテレスコープ又は光学システム16

50

が、励起信号14を受信し、少なくとも1つの増幅器励起信号26を出力するように構成され得る。図示された実施形態においては、望遠鏡16は、4つのレンズ又は光学デバイスを含んでいるが、当業者であれば、望遠鏡16内で任意の数のレンズ又は光学デバイスが使用され得ることを理解するであろう。さらに、望遠鏡16内の少なくとも1つの光学デバイス又はコンポーネントは、移動可能に、取外し可能に、あるいは再配置可能に構成され得る。他の実施形態においては、望遠鏡16内の4つのレンズ18, 20, 22, 24が固定され得る。例えば、ソース12が移動可能に構成されつつ、第1のレンズ18、第2のレンズ20、第3のレンズ22及び第4のレンズ24の位置が固定され得る。図示された実施形態においては、第1のレンズ18、第2のレンズ20、及び第3のレンズ22は個別の要素を含んでいる。任意的に、第1のレンズ18、第2のレンズ20、第3のレンズ22及び第4のレンズ24のうち1つ以上が隣接する光学部品に連結されてモノリシックレンズシステムを形成していてもよい。一実施形態においては、レンズ18, 20, 22, 24は溶融シリカから製造されるが、当業者であれば、レンズ18, 20, 22, 24は様々な材料から製造され得ることを理解するであろう。任意的に、レンズ18, 20, 22, 24のうち少なくとも1つは、球面レンズか、あるいは当該技術分野において知られている他の任意のレンズ構成を有し得る。さらに、望遠鏡16は、これらに限られるわけではないが、フィルタ、空間フィルタ、分析器、センサ、ミラー、グレーティングなどをはじめとする任意の数の付加的デバイスの代替物を含み得る。

10

【0046】

図1A及び図2に示されるように、望遠鏡16からの増幅器励起信号26は少なくとも1つの増幅器30に導入される。図2において、増幅器励起信号26を共振器、増幅器、及び／又は共振器に類似する増幅器に導入するために少なくとも1つのミラー又は類似のデバイス27が使用され得る。図1A、図1B、及び図2に示される図示の実施形態においては、増幅器30はリング共振器に類似する増幅器を有しているが、当業者であれば、任意の種類、タイプ、及び／又は構成の共振器に類似する増幅器がレーザ増幅器システム10において使用され得ることを理解するであろう。このため、増幅器30を共振器類似増幅器（以下、RL増幅器30）という。図示された実施形態においては、RL増幅器30は、望遠鏡16と光学的に連絡している少なくとも1つの励起入力ミラー40を含んでいる。励起入力ミラー40は、増幅器励起信号26の少なくとも一部が通過して伝搬できるように構成され得る。その後、増幅器励起信号26は、RL増幅器30内に配置された1以上の光学結晶又は利得媒質42に入射し得る。図示された実施形態においては、利得媒質42は、少なくとも1つの光学マウント又はステージ44上に位置している。一実施形態においては、RL増幅器30内の光学マウント44の位置は固定され得る。任意的に、光学マウント44はRL増幅器30内で移動可能に配置されていてもよい。使用中は、増幅器励起信号26は、励起エネルギーを利得媒質42に伝達するように構成され得る。

20

30

【0047】

図1A、図1B、及び図2を再び参照すると、増幅器励起信号26は、利得媒質42を横断してRL増幅器30内に配置される少なくとも1つのミラーに入射する。図示された実施形態においては、増幅器励起信号26は、励起出力ミラー46を横断して消費励起信号54を形成する。任意的に、励起信号26の一部は励起出力ミラー46によって反射され得る。その後、消費励起信号54は1以上のビームダンプ又は類似のデバイス56に導入され得る。

40

【0048】

加えて、増幅される1以上の光信号（以下、入力信号34）がRL増幅器30内に導入され得る。図示された実施形態においては、少なくとも1つの信号源32は、RL増幅器30内に導入される少なくとも1つの入力信号34を出射する。これらに限られるわけではないが、モードロックフェムト秒レーザ源、1以上の前置増幅器を有するレーザ源、広帯域光源、ピコ秒光源、ナノ秒光源、CW光源などの任意の種類のデバイスを信号源32として使用することができる。任意的に、信号源32は、類似のレーザ増幅器システム10の出力信号を含んでおり、これにより多段増幅器を形成する。より簡潔に言えば、図1A、図1B、及び図2に示されるRL増幅器30の増幅出力信号52は、他の又は後続のRL増幅器（

50

図示せず)又は当該技術分野において知られている他の増幅器の入力信号34として機能し得る。図示された実施形態においては、入力信号34は、RL増幅器30に直接注入されるように構成され、これにより、信号ミラー36又は36' (図1B参照)をなくしてもよいし、あるいは信号ミラー36又は36'が存在する場合にはこれと相互作用させてもよい。このため、一実施形態においては、信号ミラー36 (及び/又は36')は、入力信号34の少なくとも一部が通過できるように構成され、これにより、入力信号34が共振器類似増幅器10に注入されるようになっていてもよい。他の実施形態においては、入力信号34は、入力ミラー36 (及び/又は36')と関わることなく、共振器類似増幅器10に注入されていてもよい。例えば、入力信号34は、信号ミラー36 (及び/又は36')の下方、上方、又は側方を通過するように構成されていてもよい。ミラー36, 40, 46, 48と存在する場合には36'及び48'のうち少なくとも1つは、入力信号34の波長で高い反射性を有するように構成される1以上のコーティングを含んでいてもよい。加えて、ミラー36, 40, 46, 48 (及び存在する場合には48')のうち少なくとも1つは、増幅器励起信号26の波長に対して高い透過性を有する一方で、入力信号34/増幅信号50の波長に対して高い反射性を有するように構成されるダイクロイックミラーを含んでいてもよく、これにより増幅器励起信号26をRL増幅器30から抽出できるようにしてもよい。例えば、励起入力ミラー40と励起出力ミラー46の両方に、増幅器励起信号26の波長では高い透過性を有しつつ、増幅信号50の波長で高い反射性を有するように構成される1以上のダイクロイックコーティングが付与されていてもよい。その結果、励起光は、励起エネルギーを利得媒質42に供給した後、共振器40から簡単に除去され得る。加えて、ミラー36, 40, 46, 48と (存在する場合には) 36'及び48'のうち少なくとも1つは、平坦及び/又はくさび形の本体を含んでいてもよい。入力信号34は、励起入力ミラー40によって反射されて利得媒質42に向けられてもよい。利得媒質42は、入力信号34を増幅するように選択され得る。このため、信号源32は、利得媒質42を構成するために使用されている材料に基づいて入力信号34の増幅を可能とするように構成される波長を有する入力信号34を供給するように選択され得る。一実施形態においては、励起出力ミラー46は、わずかなくさび、傾斜、又は傾斜面 (例えば、~数度) を有するように配置されていてもよく、これにより、大きな角度 (例えば~45°) の名目上平坦平行な板である46を通じた励起ビーム収束性により励起信号の非点収差を光学結晶42内で変化させることを可能にしてもよい。励起出力ミラー46の後の伝搬の励起ビーム軸の不要なずれが生じることは、増幅器出力信号52の軸の調整により補償され得る。

【0049】

図1A、図1B、及び図2を再び参照すると、その後、利得媒質42により出射された少なくとも1つの増幅信号50は、RL増幅器30内に配置された1以上の付加ミラーにより反射され得る。例えば、図示された実施形態においては、RL増幅器30は、RL増幅器30からの増幅器励起信号54を少なくとも1つのビームダンプ56に透過させつつ、増幅信号50の実質的にすべてを反射するように構成される少なくとも1つの励起出力ミラー46を含んでいる。励起出力ミラー46は、増幅器励起信号54の本質的にすべてを透過させつつ、増幅信号50の実質的にすべてをRL増幅器30に反射するように構成される1以上のダイクロイックコーティングを含み得る。示される図示の実施形態においては、増幅信号50を入力信号ミラー36に向ける少なくとも1つの増幅器ミラー48がRL増幅器30内に配置されており、これによりリングRL増幅器30を形成している。例えば、図1Aに示されるように、RL増幅器30内に単一の増幅経路31が生成され得る。

【0050】

これに対して、図1Bは、内部に第1の増幅経路31と少なくとも1つの第2の増幅経路33とが形成されたRL増幅器30の実施形態を示している。一実施形態においては、増幅信号50を第1の増幅経路31と少なくとも1つの第2の増幅経路33に供給するために単一の光学結晶42が使用され得る。図1Bに示される実施形態においては、第1の光学結晶42は、増幅信号50を第1の増幅経路31に供給するように構成されているが、少なくとも1つの第2の光学結晶42'が、少なくとも1つの増幅信号50を第2の増幅経路33に供

給するように構成されていてもよい。一実施形態においては、第1の光学結晶42及び第2の光学結晶42'は同一の材料から製造される。任意的に、第1の光学結晶42及び第2の光学結晶42'は異なる材料から製造される。さらに、1以上の付加的な光学要素又はコンポーネント38, 38'がRL増幅器30内に配置されていてもよい。付加的なコンポーネント38の例としては、これらに限られるものではないが、レンズシステム、マイクロレンズアレイ、フィルタ、空間フィルタ、1以上の孔又はライン()の形態のメカニカルブロッカ、透過型光学要素、利得媒質、光学結晶、偏光器、波長板などが挙げられる。当業者であれば、RL増幅器30は、ミラー36, 40, 46, 48の間の合計距離により定義される所望の光路長Lを有するように構成され得ることを理解するであろう。例えば、図1A及び図2に関しては、光路長Lは約50mmから400mmであり得る。他の実施形態においては、光路長Lは約80mmから120mmであり得る。任意的に、光路長Lは約100mmから110mmであり得る。これに対して、光路長L、すなわち、図1Bに示されるRL増幅器の36', 36, 40, 46, 48, 48'の間の合計距離は約80mmから700mmであり得る。具体的な実施形態においては、光路長Lは約100mmから約140mmである。

10

20

30

40

50

【0051】

図3、図4A、及び図4Bは、図1及び図2に示されるレーザ増幅器システムとともに使用される例示的な励起源12の様々な図を示している。しかしながら、当業者であれば、本出願は、1以上の励起信号14のソースとして1以上のファイバ結合ダイオードレーザを用いることを説明するが、RL増幅器30(図1及び図2参照)内に位置する利得媒質42にエネルギーを供給するために任意の数の任意の種類のレーザシステムが用いられ得ることを理解するであろう。一実施形態においては、励起源12は、1以上のファイバ結合ミッドパワーレーザダイオードを含んでいる。より具体的には、それぞれのファイバ結合レーザダイオードは、1Wから1500Wの間の励起パワーを有する少なくとも1つの励起信号を出力するように構成され得る。より具体的な実施形態においては、それぞれのファイバ結合レーザダイオードは、約50Wから200Wの励起パワーを有する少なくとも1つの励起信号を出力するように構成され得る。任意的に、それぞれのファイバ結合レーザダイオードは、約100W以上の励起パワーを有する少なくとも1つの励起信号を出力するように構成されるファイバ結合レーザダイオードを用いて、より小さいレーザ増幅器が構成されてもよい。任意的に、本出願で述べた構成と同様の構成を用い、非常に低いパワーの励起源、例えば、1mW以下のオーダーの励起信号14を出力することが可能な励起源12を利用することにより、非常に低いパワーの増幅器システムが構成されてもよい。

【0052】

図3、図4A、及び図4Bを再び参照すると、励起源12は、所望の波長で少なくとも1つの励起信号14を出力するように構成され得る。この所望の波長は、利得媒質42を構成するために使用される材料に大きく依存する。一実施形態においては、励起信号14は、約cの波長を有するが、当業者であれば、任意の種類の波長が使用され得ることを理解するであろう。他の実施形態においては、励起信号14は、約940nmから約1000nmの波長を有する。任意的に、励起源12は、約960nmから約990nmの波長を有する少なくとも1つの励起信号14を出力するように構成される。ある具体的な実施形態においては、励起信号14は約969nmから約971nmの波長を有する。他の具体的な実施形態においては、励起信号14は約970nmから約980nmの波長を有する。図示されているように、励起源12は、内部に形成されるかその上に位置する1以上のV溝又は類似のファイバ整列補助部64を規定する励起源本体62を含んでおり、これにより、その内部にファイバ結合レーザダイオードの光ファイバ本体66を正確にしっかりと位置付けることができる。一実施形態においては、ファイバ径は20µmから200µmの間であり、開口数(NA)は0.05から0.22の間である。他の実施形態においては、ファイバ径は50µmから110µmの間であり、NAは0.1から0.22の間である。他の具体的な実施形態においては、ファイバ径は90µmから110µmの間であり、NAは0.1から0.22の間である。さらに、励起源

本体62内に1以上のファイバを固定するために少なくとも1つのカバープレート68が使用され得る。図示された実施形態においては、それぞれ少なくとも1つのレーザダイオードに連結された7本のファイバ66が、励起デバイス本体62内に形成されたV溝64内に配置されており、これにより少なくとも1つのV溝アレイを形成している。当業者であれば、任意の数のファイバ66を用いて励起源12を形成し得ることを理解するであろう。例えば2本のファイバ66を使用してもよい。他の実施形態においては、10本のファイバ66が使用される。使用中は、それぞれのファイバ66は、励起ビームレットを出力するように構成され、この励起ビームレットは、励起源12内の他のファイバ66により出射された励起ビームレットと結合されると協働的に励起信号14を形成する。このため、励起信号14は、個々のファイバ66によりそれぞれ出射された数多くの励起ビームレットを含んでいる。

10

【0053】

一実施形態においては、デバイス本体62に形成されたV溝64は実質的に平行である。任意的に、デバイス本体62に形成されたV溝64は実質的に非平行である。例えば、ファイバ66は、約5 μm 以下から約2500 μm までのファイバピッチを有する。他の実施形態においては、ファイバ66は、約250 μm から約700 μm までのファイバピッチを有する。さらに他の実施形態においては、ファイバ66は約500 μm のファイバピッチを有する。当業者であれば、任意の数のファイバ66が励起デバイス本体62内に配置され得ることを理解するであろう。一実施形態においては、ファイバ66のうち少なくとも1つはシングルモードファイバを含む。他の実施形態においては、ファイバ66のうち少なくとも1つはマルチモードファイバを含む。他の実施形態においては、ファイバ66のうち少なくとも1つは、他の残りのファイバとは異なる直径又はNAを有するマルチモードファイバを含む。一実施形態においては、励起デバイス本体62及びカバープレート68のうち少なくとも一方がガラスから製造される。任意的に、励起デバイス本体62及びカバープレート68のうち少なくとも一方は、これらに限られるものではないが、複合金属、合金、セラミック材料、金属、エラストマ、ポリマ、結晶、結晶材料など様々な材料で製造され得る。あるいは、ファイバアレイを製造する他の手段は、これらに限られるものではないが、ファイバを正確に穿孔された孔に個々に設置する（例えば接着結合すること又はファイバをガラス板又は類似の基板に融着することを含み得る。加えて、図1及び図2に示されるレーザ増幅器システム10の実施形態は単一の励起源12を利用している。任意的に、図1及び図2に示されるレーザ増幅器システムとともに任意の数の励起源12が使用され得る。図示された実施形態においては、ファイバ66は励起デバイス本体62内で垂直方向に位置付けられている。任意的に、ファイバ66のうち少なくとも1つは、励起デバイス本体62内で水平に位置付けられていてもよい。他の実施形態においては、ファイバ66は、励起デバイス本体62内で垂直及び水平の両方に位置付けられていてもよい。図4Aは、共通の垂直軸に沿って垂直に揃えられた数多くのファイバ放出体を有する励起源12の実施形態を表している。これに対して、図4Bは、励起源本体62内で垂直及び水平方向に分布しているファイバ放出体を有する励起源の実施形態を示している。

20

30

【0054】

図5及び図6は、図1及び図2に示されるレーザ増幅器システム10とともに使用される望遠鏡又は光学システム16の実施形態の様々な図を示している。一実施形態においては、望遠鏡16は複数のレンズを含んでいる。より具体的には、一実施形態においては、望遠鏡16は、第1のレンズ18、第2のレンズ20、第3のレンズ22、及び第4のレンズ24を含んでいる。任意的に、任意の数のレンズ、ストップ、アパーチャ、絞り、及び／又は光学デバイスを使用して望遠鏡16を形成することができる。さらに、いずれかのタイプの望遠鏡は、第1のレンズ18、第2のレンズ20、第3のレンズ22、及び第4のレンズ24であり得る。一実施形態においては、望遠鏡16は、テレセントリック系望遠鏡を含む。このため、一実施形態においては、第1のレンズ18、第2のレンズ20、及び第3のレンズ22がトリプレットを形成し、第4のレンズ24がレンズシングレットを形成する。さらに、レンズ18、20、22、24が固

40

50

定されていてもよく、励起源本体62が移動可能であってもよい。任意的に、テレスコープ16に使用されているレンズのうち少なくとも1つが移動可能に構成されていてもよい。このため、テレスコープ16は、約 $10\mu\text{m}$ 以下から約 $2000\mu\text{m}$ 以上にわたるターゲットスポットサイズを提供するように構成され得る。他の実施形態においては、テレスコープ16は、約 $200\mu\text{m}$ から約 $800\mu\text{m}$ にわたるターゲットスポットサイズを提供するように構成され得る。任意的に、テレスコープ16は、約 $380\mu\text{m}$ から約 $475\mu\text{m}$ にわたるターゲットスポットサイズを提供するように構成され得る。テレスコープ16は、所望の倍率を有するように構成され得る。一実施形態においては、テレスコープ16は約4倍（ $4\times$ ）の倍率を有する。他の実施形態においては、テレスコープ16は約2倍（ $2\times$ ）の倍率を有する。任意的に、テレスコープ16は約10倍（ $10\times$ ）の倍率を有する。

10

【0055】

図6に示されるように、テレスコープ16は、励起源12内で使用されている個々のファイバ結合レーザダイオードから出射された励起ビームレットを含む励起信号14を受信し、励起信号14を拡大して少なくとも1つの増幅器励起信号26を出力する。図示されるように、増幅器励起信号26は、励起信号14を形成する拡大ビームレット28a~28gを含んでいる。当業者であれば、励起信号14を形成する励起ビームレットの数は、励起源12を形成するために使用されたレーザダイオード又は他の励起エネルギー放出体の数に対応することを理解するであろう。任意的に、光学結晶42の実質的にすべての小面74（図8参照）が増幅器入力信号26によって励起されるように複数のビームレット28a~28gが光学結晶42に入射する。他の実施形態においては、増幅器入力信号26は、小面74の一部にのみ入射する。当業者であれば、増幅器励起信号26が所望の偏光を有し得ることを理解するであろう。一実施形態においては、増幅器励起信号26はs偏光励起信号を有している。他の実施形態においては、増幅器励起信号26はp偏光を有している。任意的に、増幅器励起信号26は偏光されている必要はない。

20

【0056】

図7~図16は、レーザ増幅器システム10において使用されるRL増幅器30を構成するために使用される種々の要素を示している。図7に示されるように、RL増幅器30は内部に複数のミラーを含んでいる。一実施形態においては、RL増幅器30は4つのミラー40, 46, 48, 36を含んでいる。図示されるように、RL増幅器30はリング共振器に類似する増幅器を形成し得る。任意的に、レーザシステム10は、任意の共振器類似増幅器の構成を使用するように構成され得る。RL増幅器30は内部に少なくとも1つの利得媒質又は光学結晶42を含んでいる。利得媒質42は、少なくとも1つの光学マウント44内に配置されるか、少なくとも1つの光学マウント44により保持され得る。一実施形態においては、光学マウント44は、RL増幅器30内の固定位置に配置される。任意的に、光学マウント44はRL増幅器30内に配置され得る。このため、光学マウント44は選択的に移動可能であってもよい。さらに、光学マウント44は、1以上の冷却流体又は熱制御流体を利得媒質44に供給するように構成され得る。これによりユーザは共振器34又は利得媒質42内の環境条件を熱的に管理することが可能になる。任意的に、光学マウント44は、熱管理システム又はデバイスを含んでいる必要はない。

30

【0057】

図8及び図9に示されるように、利得媒質42は、少なくとも1つの端部小面74と少なくとも1つの細長小面78を有する少なくとも1つのデバイス本体72を含んでいる。図8及び図9に示されるように、一実施形態においては、利得媒質42は、端部小面74で増幅器励起信号26を受け取るように構成される。他の実施形態においては、利得媒質42は、細長小面74で増幅器励起信号26を受け取るように構成される。図示されるように、利得媒質42の端部小面74上に7つの励起スポット76が形成されており、これらの励起スポット76は、増幅器励起信号26を形成する励起ビームレット28a~28gに対応している。利得媒質42の端部小面72上には任意の数の励起スポットが形成されていてもよい。図9に示されるように、使用中は、共振器類似増幅器30を横断する増幅信号50が、前回とは異なる励起スポット74で光学結晶42に入射する。さらに、励起スポットが垂直に配置されて

40

50

いるが、当業者であれば、利得媒質42の端部小面74上に任意の種類の方向の任意の数の励起スポットが形成されてもよいことを理解するであろう。任意的に、複数の利得媒質42がRL増幅器30内に配置されていてもよい。例えば、図10に示されるように、コンパクトで利得の大きい増幅器システムを提供する利得媒質システム43を提供するために4つの利得媒質42が互いに隣接して配置される。一実施形態においては、利得媒質システム43の熱特性を選択的に制御するために、それぞれの利得媒質42の間に1以上の熱管理デバイス又はシステム（図示せず）が配置されていてもよい。任意的に、利得媒質システム43が熱管理システムを含んでいる必要はない。例えば、図11は、増幅器の利得を上げるために垂直及び水平に分布するエンドスポットアクセスを可能にするモノリシック利得媒質42を示している。

10

【0058】

図8～図14に示されるように、利得媒質42は、任意の種類の構成、材料、ドーピングレベルなどにより製造され得る。例えば、一実施形態においては、利得媒質42は単一結晶として成長させたYb:YAG材料から製造される。他の実施形態においては、利得媒質42は、セラミックとしてのYb:YAG材料から製造される。他の実施形態においては、利得媒質42は、Yb:Lu₂O₃、Yb:Sc₂O₃、Yb:GGG、Yb:KYW、Yb:CALGO、Yb:CaF₂、Yb:CNGG、様々なレーザセラミックなどから製造される。一実施形態においては、利得媒質42は、結晶体の内部で一定及び／又は均一のドーピング濃度を有する単一のYb添加材料から製造される。これに対して、図9は、結晶体の内部で変化する及び／又は非均一なドーピング濃度を有する利得媒質42の実施形態を示している。より具体的には、利得媒質本体72は、反対側の端部小面74'と比較して端部小面74におけるドーピング濃度が低くなっている。このため、利得デバイス本体72の内部のドーピング濃度は、水平面に沿って可変となっている。その結果、励起信号26の励起ビームレット28a～28gは、利得媒質本体72のドーピング濃度の低い端部小面74に入射する。より簡潔に言えば、励起ビームレット28a～28gは、利得媒質本体72を横断する間にドーピング濃度がより高くなった部分を通過する。これに対して、図12は、垂直面に沿ってドーピング濃度が変化する利得媒質本体の実施形態を示している。他の実施形態においては、図13は、横断寸法、厚さ、長さ、高さ、幅、ドーピング濃度、利得媒質材料、及び／又はこれらに類似するものが異なる複数の利得媒質本体セグメント72a～72gから構成される利得媒質本体72の実施形態を示している。さらに他の実施形態においては、図14は、第1の利得媒質本体材料72'と少なくとも1つの第2の利得媒質本体材料72"とから形成される利得媒質本体72を示している。

20

30

【0059】

図7に示されるように、RL増幅器30を形成するためにミラー36, 40, 46, 48が使用され得る。図15に示されるように、一実施形態においては、ミラー36, 40, 46, 48のうち少なくとも1つは、光軸OAに対して垂直に配置され得る。他の実施形態においては、図16に示されるように、ミラー36, 40, 46, 48のうち少なくとも1つは、光軸OAから傾斜するかずれていてもよい。一実施形態においては、入力信号ミラー36及び励起出力ミラー46が光軸法線から角度 α （例えば2度以上）だけ傾いており、これにより、入力信号34が共振器類似増幅器30を繰り返し横断し続ける際に、光学結晶42上の前回のスポットとは異なる位置で入力信号34が光学結晶42に入射することが可能となっている。当業者であれば、ミラー36, 40, 46, 48のうち少なくとも1つが所望の角度で傾いていてもよいことを理解するであろう。任意的に、ミラー36, 40, 46, 48のうち少なくとも1つはくさび形の本体を含んでいてもよく、これにより、入力信号34が共振器類似増幅器30を繰り返し横断し続ける際に、光学結晶42上の前回のスポットとは異なる位置で入力信号34が光学結晶42に入射することが可能となる。この結果、増幅信号50が利得媒質42によって繰り返し増幅され、RL増幅器30を横断する際に、増幅信号50がそれぞれのミラー36, 40, 46, 48の異なる部分に入射する。任意的に、RL増幅器30内で増幅信号50の位置を変化させるために、RL増幅器30の内部で1以上の任意的な光学要素38を使用してもよい（図1及び図2参照）。例えば、一実施形態においては、増

40

50

幅信号50がRL増幅器30を横断する度に、増幅信号50の位置を変化させるために、1以上のブルースタープレート又はデバイスを使用してもよい。当業者であれば、増幅信号50がRL増幅器30を横断する際に増幅信号50の位置を変化させるために、任意の種類の光学デバイス又はコンポーネントを使用してもよいことを理解するであろう。図示された実施形態においては、RL増幅器は、開放リング共振器又は「準」共振器に類似したものである。任意的に、ミラー36, 40, 46, 48のうち少なくとも1つは、エンドミラーを含んでいてもよく、これにより、開放リング共振器に類似する特徴部を閉じ、共振器内パワーは非常に低いが出力パワーは高い共振器を提供してもよい。

【0060】

図7、図17、及び図18は、共振器信号88a~88gが繰り返し入射する入力信号ミラー36及び励起入力ミラー40の実施形態を示している。より具体的には、図17は、RL増幅器30内に導入される入力信号34と、入力信号ミラー36により反射する増幅器信号88a~88gとを示している。これに対して、図18は、RL増幅器30内に射出される増幅器励起信号26と、励起入力ミラー40により利得媒質42に向けられる増幅器信号88a~88gとを示している。当業者であれば、増幅器信号88a~88gは、RL増幅器30を順次通過する増幅信号50を表しており、共振器信号88a~88gがRL増幅器30を横断する位置を繰り返し変化させていることを示すためにのみ示されていることを理解するであろう。図17に示される実施形態においては、入力信号34（又は複数の入力信号34が存在する）は、入力信号ミラー36を横断することなくRL増幅器30内に導入され得る。例えば、図17に示されるように、入力信号34は、入力信号ミラー36の下方でRL増幅器30内に注入されてもよく、これにより、少なくとも1つの増幅器信号88aを形成してもよい。任意的に、入力信号34は、入力信号ミラー36の上方でRL増幅器30内に注入されてもよい。他の実施形態においては、入力信号34は、入力信号ミラー36の側方でRL増幅器30内に注入され得る。当業者であれば、ミラー36, 40, 46, 48のうちいずれかが励起入力ミラー及び／又は入力信号ミラーとして動作することにより、本システムが任意の数、タイプ、及び構成の主発振器出力増幅器構成に対して適応できるようになり得ることを理解するであろう。

【0061】

その後、図18に示されるように、RL増幅器30の内部での入力信号34を表す増幅器信号88aは、励起入力ミラー40に入射し、励起入力ミラー40で反射し得る。この励起入力ミラー40は増幅器信号88aを利得媒質42に向ける。上記で述べたように、入力信号34は、他のレーザ増幅器システム10の増幅出力信号を含み、多段レーザ増幅器を形成してもよい。利得媒質42から射出された増幅共振器信号88bは、励起出力ミラー46及び増幅器ミラー40によって入力信号ミラー36に戻るよう方向付けられ得る。図示されるように、一実施形態においては、増幅器信号88bは共振器信号88aからずれている。増幅器信号88a~88fがRL増幅器30を横断して利得媒質42によって増幅される度に（図17及び図18において増幅器信号88a~88gの太さが増していることによって示されている）、増幅器信号88b~88gは先行する増幅器信号88a~88gからずれる。最終的に、図18に示されるように、増幅器信号88gは、励起入力ミラー40を避けるように構成され、これにより、増幅器信号88gがRL増幅器30から射出されて少なくとも1つの増幅出力信号52を形成し得る。図示された実施形態においては、増幅器信号88a~88gは、RL増幅器30を7回通過するように構成されている。当業者であれば、RL増幅器30が、増幅器信号88a-88gが任意の回数だけRL増幅器30を通過するように構成され、これにより、ユーザが増幅器信号88a~88gの増幅を制御又は修正できるようにしてもよいことを理解するであろう。上述したように、ミラー36, 40, 46, 48のうち少なくとも1つを傾けてRL増幅器30内で共振器信号88a~88gの連続的なずれを実現するようにしてもよい。例えば、入力信号ミラー36及び励起出力ミラー46を傾けてそれぞれRL増幅器30を通過する共振器信号88a~88gを協働して再配置しずらしてもよい。代替例においては、増幅器信号88a~88gがRL増幅器30を横断する度に増幅器信号88a~88gの位置を変化させるために、1以上のブルースタープレート又は類似の位置シフトデバイスを使用しても

10

20

30

40

50

よい。

【0062】

図7及び図19～21は、入射信号を増幅するRL増幅器30内の利得媒質42の様々な図を示している。図19～図21に示されるように、増幅器信号88aは、RL増幅器30を横断し、励起入力ミラー40によって利得媒質42に方向付けられる。入力信号88aは利得媒質42の内部で増幅され、利得媒質42は増幅器信号88bを出力する。増幅器信号88bは、例えばRL増幅器30内の少なくとも1つの傾斜ミラー36, 40, 46, 48によってRL増幅器内でわずかに再配置され、ミラー46, 48, 36, 40によって利得媒質42に戻るよう方向付けられる。このため、利得媒質42に入射する増幅器信号88bの位置が、利得媒質88aに入射した増幅器信号88aの位置に対してずれる。さらに、増幅器信号88bが利得媒質によって増幅され、利得媒質42から出射される増幅信号88cが生成される。このプロセスは、最終的にRL増幅器30から出射されるまで、増幅信号50（図7参照）が繰り返しRL増幅器30を横断する際に任意の回数だけ繰り返される。任意的に、図20に示されるように、RL増幅器30の内部で増幅信号50を集束、結像、あるいは修正するために、少なくとも1つのマイクロレンズアレイ又は類似の光学コンポーネント38を使用してもよい（図7参照）。他の実施形態においては、RL増幅器30内で1以上の大面積レンズ又は類似のコンポーネントを配置してもよい。

【0063】

増幅器信号88a～88gは、所望の偏光を有していてもよい。例えば、一実施形態においては、増幅器信号88a～88gのうち少なくとも1つは垂直に偏光されている（s偏光）。他の実施形態においては、増幅器信号88a～88gのうち少なくとも1つは水平に偏光されている（p偏光）。任意的に、増幅器信号88a～88gのうち少なくとも1つは部分的に偏光されるか偏光されていなくてもよい。図示された実施形態においては、増幅器信号88a～88gは、励起入力ミラー40の上方に向けられており、少なくとも1つの増幅出力信号52を形成している。任意的に、増幅器信号88a～88gは、励起入力ミラー40の下方又は側方に向けられて少なくとも1つの増幅出力信号52を形成してもよい。一実施形態においては、増幅出力信号52は、約1020nmから約1040nmの波長を有するが、当業者であれば、増幅出力信号52の波長が利得媒質の材料に依存することを理解するであろう。さらに、一実施形態においては、増幅出力信号52は、約10Wから約300W以上のパワーを有する。当業者であれば、RL増幅器30からの出力パワーは、これらに限られるわけではないが、使用される利得媒質42、励起波長、励起パワー、利得媒質42の熱管理、利得媒質42を通過する回数などをはじめとする数多くのファクタに依存していることを理解するであろう。ある具体的な実施形態においては、増幅出力信号52は、約150Wから約300Wのパワーを有する。図22は、増幅出力信号52の様々な測定結果を示している。図1で述べられたようなレーザ増幅器システムが構成された。それぞれのファイバ結合レーザダイオードは、約100Wの励起ビームレット28a～28g（図6参照）を供給して増幅器信号26を形成し、この増幅器信号26が利得媒質42に導入された。任意的に、ファイバ結合レーザダイオードは、約300Wの励起ビームレット28a～28g（図6参照）を供給して増幅器信号26を形成し、この増幅器信号26が利得媒質42に導入された。当業者であれば、ファイバ結合レーザダイオードが、約2Wから約1500W以上の励起パワーを有する励起ビームレット28a～28g（図6参照）を供給するように構成され得ることを理解するであろう。加えて、約2Wのパワーを有する入力信号34がRL増幅器30に注入された。一実施形態においては、入力信号34は約100Wの入力パワーを有する。任意的に、入力信号34は約70Wから約140Wの入力パワーを有し得る。任意的に、入力信号34は約40Wから約300Wの入力パワーを有し得る。要するに、入力信号34は所望の入力パワーを有し得る。増幅出力信号52は、ビーム伝搬因子（ $M^2_X < 1.1$ 、 $M^2_Y < 1.1$ ）により定量的に測定され、完全ガウシアンビーム（TEM00）から最小偏差を有する平滑な円形ビーム形状により付加的に定量的に測定されたビーム品質が優れており、約280Wのパワーを有する。再び、当業者であれば、励起パワー、入力パワー、スペクトルバンド内パワー、出力パワー、及びビーム品質は必要に応じて変えられることを理解す

10

20

30

40

50

るであろう。

【0064】

図1及び図2に示されるレーザ増幅器システムは、数ワットの入力信号をほぼ回折限定された優れたビーム品質を有する高出力パワー（ $>300\text{W}$ ）及び高エネルギー（ mJ クラス、非線形性が低い）に増幅することを可能にするものである。一実施形態においては、これは、共振器10内でビーム整形（非点収差補正）又は空間フィルタリング（損失なく高次モードを除去すること）を追加で必要とすることなく実現される。このため、付加的な透過型光学部品、ビーム整形コンポーネント、及び類似のデバイスを含める必要がなく、これにより、密集した簡易なスケラブル設計を最小限の非線形性で提供することができる。RL増幅器30内の付加的な光学コンポーネントに依存するのではなく、レーザ増幅器システム10は、十分なエネルギーと十分なエンド励起スポットサイズをもって、利得媒質内に形成される熱レンズとともに形成される安定したリングレーザ共振器を提供し、これにより、B-Integralを最小に低減する大きなスポットサイズを実現することができ、利得媒質42内のスポットサイズが最適値よりも小さくならない。

【0065】

一実施形態においては、RL増幅器30は、約 100mm の往復距離を有しており、これにより、利得媒質42上に形成されるスポット上に少なくとも1つの熱レンズを形成する。一実施形態においては、形成された熱レンズは、 30mm から 100mm の間の焦点距離を有する。ある具体的な実施形態においては、形成された熱レンズは、約 50mm の焦点距離を有するため、利得媒質42の外側で直径約 $250\mu\text{m}$ のウェストサイズを有する安定的なリング共振器モードを形成する。利得媒質42内部のモードサイズは約 $380\mu\text{m}$ である。任意的に、増幅器励起信号26は、リングキャビティモード（すなわち、利得媒質42の内側の位置で約 $430\mu\text{m}$ のウェストサイズ径）に整合するようにRL増幅器30であり得る。任意的に、共振器入力信号34は、リングキャビティモード（すなわち、利得媒質42の前約 50mm の位置で約 $250\mu\text{m}$ のウェストサイズ径）に整合するようにRL増幅器30内に結合され得る。その結果、レーザシステム10は、縦変動（例えば熱レンズパワーの変動）及び横変動（例えば1以上のミラー36, 40, 46, 48のわずかなずれ）又は入力ビーム34の両方に関して自立設計を提供するように構成され得る。その結果、入力信号34のビーム径を調整することにより、熱レンズ効果の増加が簡単に補償され得る。しかしながら、当業者であれば、所望の出力波長、出力パワー、ビーム品質などを提供するために寸法、倍率、励起パワー、入力信号パワー、共振器寸法、利得媒質の材料などが変化し得ることを理解するであろう。一実施形態においては、利得媒質42はYb:YAGを含んでいる。しかしながら、他のレーザ材料を簡単に考えることができる。このため、レーザ増幅器システム10は、 50W 未満から 300W を超える出力パワーを有する、コンパクトで費用対効果の大きい高ビーム品質が要求されるレーザ微細加工システム（fs、ps及びns）に適している。

【0066】

加えて、レーザ増幅器システムは、従来技術のシステムに比べて、非常に高いASEと寄生閾値を有し、高くて小さい信号利得（ 50dB を超え、 80dB にも至るまで）を提供するように構成され得る。したがって、本設計は、高利得MOPA増幅器（ps、ns、fsなど）として使用され得る。例えば、図23及び図24は、RL増幅器30の別の構成を示している。図23に示されるように、RL増幅器30は、少なくとも1つの励起入力ミラー40と少なくとも1つの励起出力ミラー46とを含み得る。先の実施形態と同様に、励起源12は、少なくとも1つの励起信号14をRL増幅器30に供給する。図示はされていないが、先の実施形態と同様に、少なくとも1つのテレスコープ16は、少なくとも1つの増幅器励起信号26を形成することにより、励起源12からの少なくとも1つの励起信号14をRL増幅器30に向けるように構成され得る（図1及び図2参照）ことを理解すべきである。加えて、少なくとも1つの入力信号34が、少なくとも1つの結合平面又はデバイス39を介してRL増幅器30内に注入される。増幅器励起信号26及び入力信号34は、光学マウント44に固定された利得媒質42に導入される。利得媒質42は少なくとも1つの増幅器信号50を

出力し、この少なくとも1つの増幅器信号50は、RL増幅器30から少なくとも1つの増幅出力信号を出力するように構成される少なくとも1つの出力平面又はデバイスに導入される。先の実施形態と同様に、消費増幅器励起信号がRL増幅器30から励起出力ミラー46を介して少なくとも1つのビームダンプに送られる。

【0067】

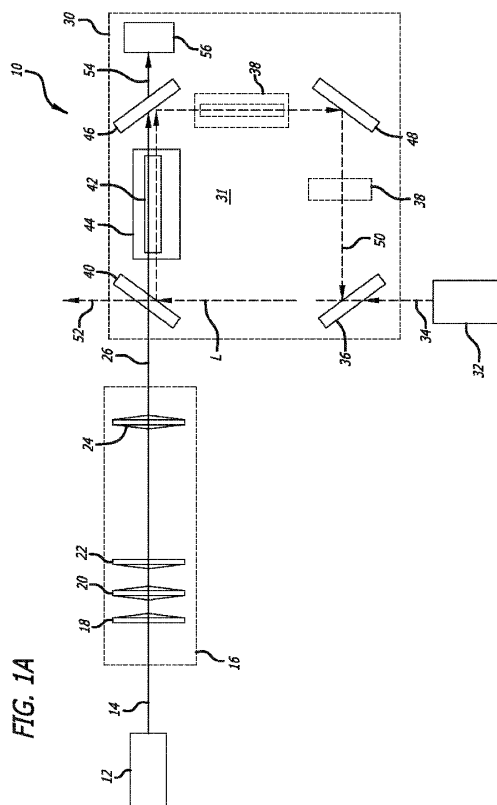
図23は、入力信号34の増幅のためのシングルパス増幅システムの実施形態を示すものである。このため、ミラー40、46を傾斜させる必要はない。加えて、シングルパス構成は、より高い励起信号14のパワー及び／又は信号34のパワーを許容し得る。代替例においては、図24は、ダブルパス増幅用に構成されたRL増幅器の他の実施形態を示している。図示されるように、増幅器励起信号26及び入力信号34は利得媒質42に導入される。これにตอบสนองして、利得媒質42は少なくとも1つの増幅器信号50を出力し、この少なくとも1つの増幅器信号50は、増幅器ミラー49によって利得媒質42に戻るように反射される。再び利得媒質42は増幅器信号50を増幅し、少なくとも1つの再増幅信号50'を形成する。再増幅信号50'は、RL増幅器50から出力されて少なくとも1つの増幅器出力信号52を形成し得る。再び、ミラー40、46、49を傾斜させる必要はない。任意的に、ミラー40、46、49のうち少なくとも1つを傾斜させてもよい。さらに、本出願に示されている様々な実施形態は、増幅器出力信号52が他の増幅器に注入されることを許容し得る。他の実施形態においては、増幅器出力信号52は、1以上の光ファイバデバイス又はアレイ、マイクロレンズアレイ、レンズシステム、顕微鏡などに注入され得る。

【0068】

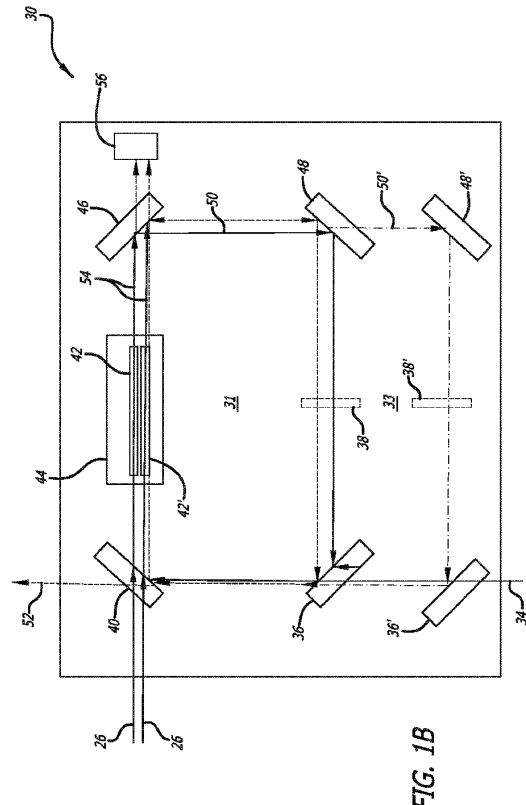
本明細書に開示されている実施形態は、本発明の原理を説明するためのものである。本発明の範囲内における他の改変が用いられ得る。したがって、本出願で開示されているデバイスは、本明細書で示され述べられているものと正確に一致するものに限定されるものではない。

【図面】

【図1A】



【図1B】



10

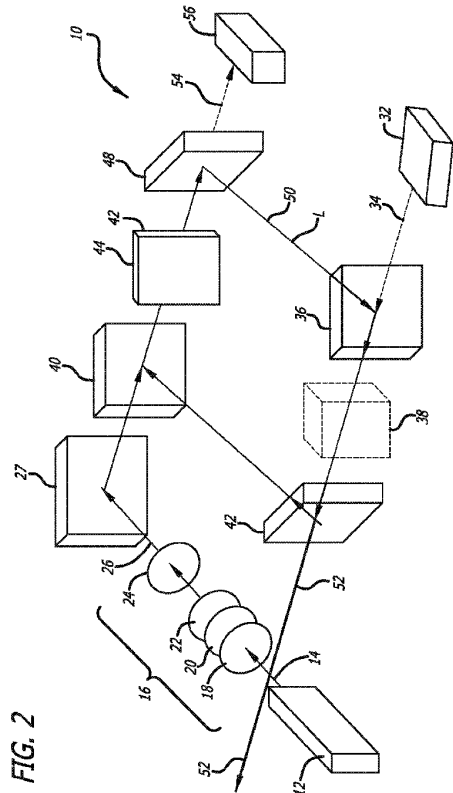
20

30

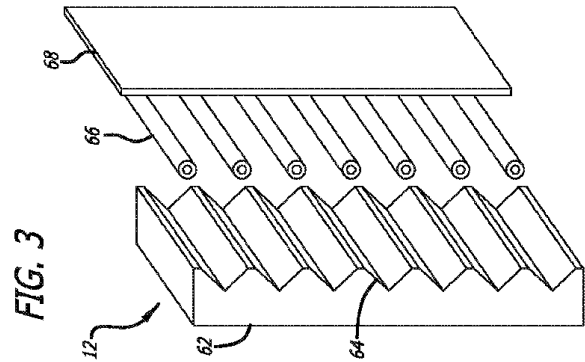
40

50

【 図 2 】



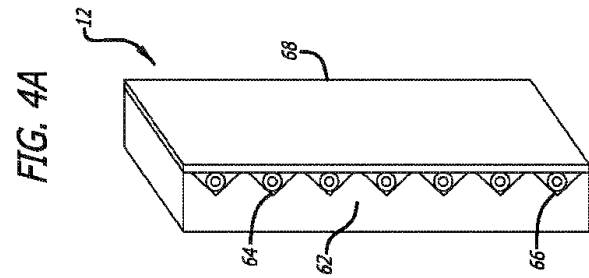
【 図 3 】



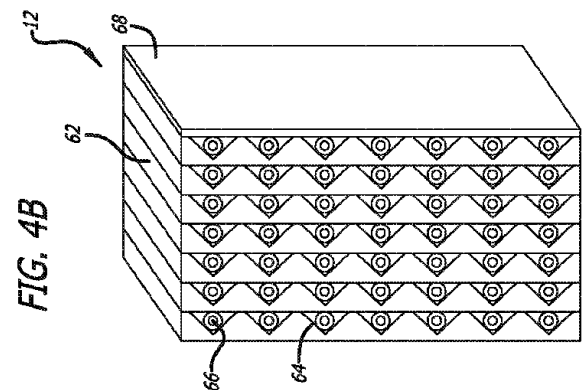
10

20

【 図 4 A 】



【 図 4 B 】



30

40

50

【図 9】

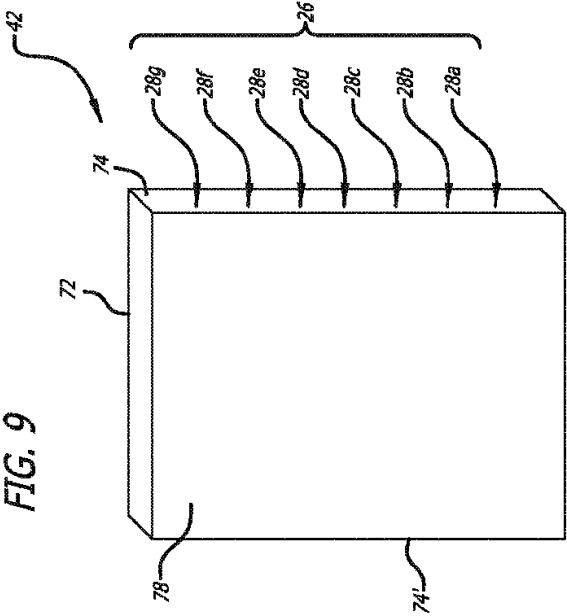


FIG. 9

【図 10】

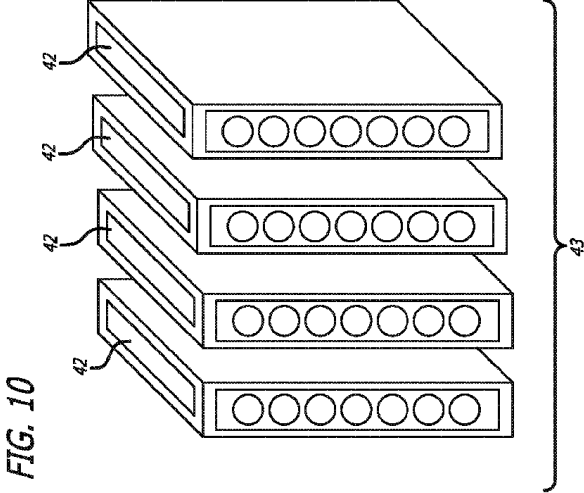


FIG. 10

【図 11】

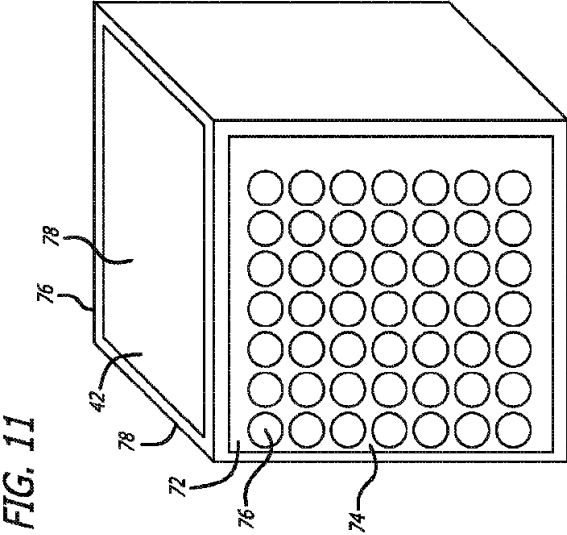


FIG. 11

【図 12】

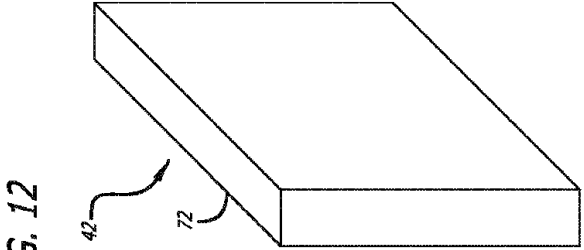


FIG. 12

10

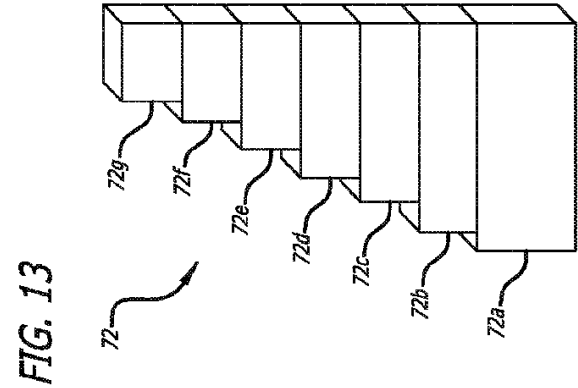
20

30

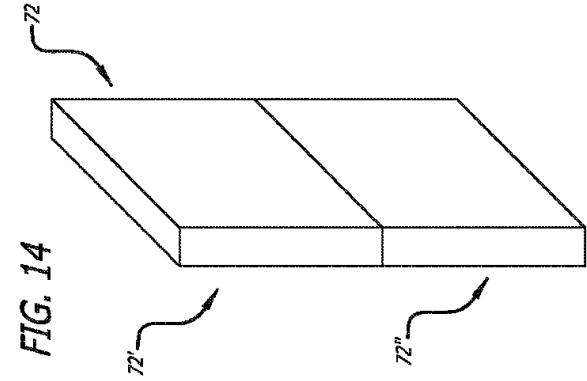
40

50

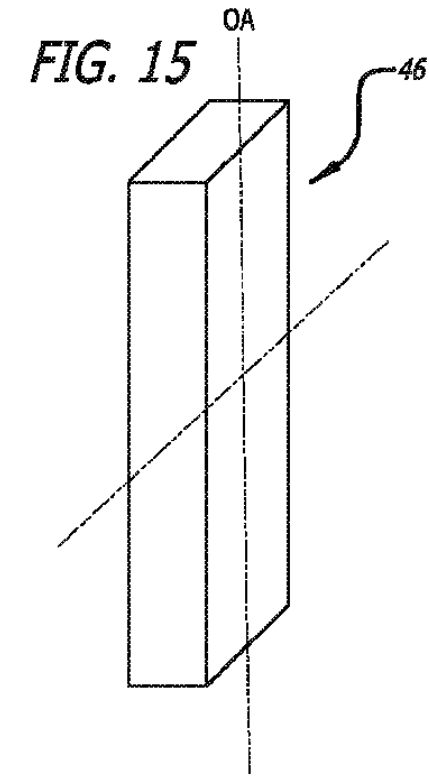
【図 13】



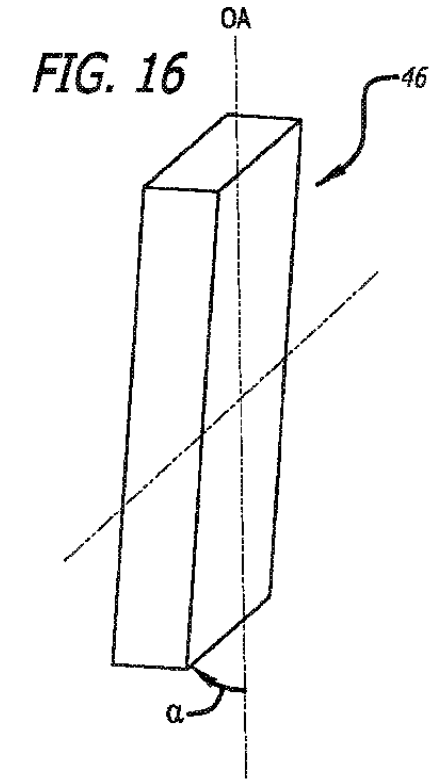
【図 14】



【図 15】



【図 16】



10

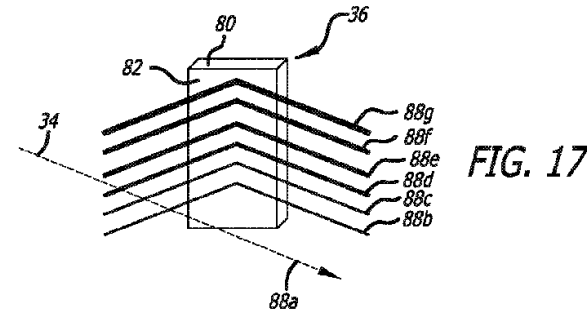
20

30

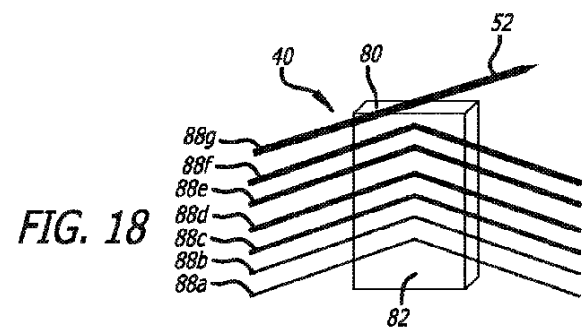
40

50

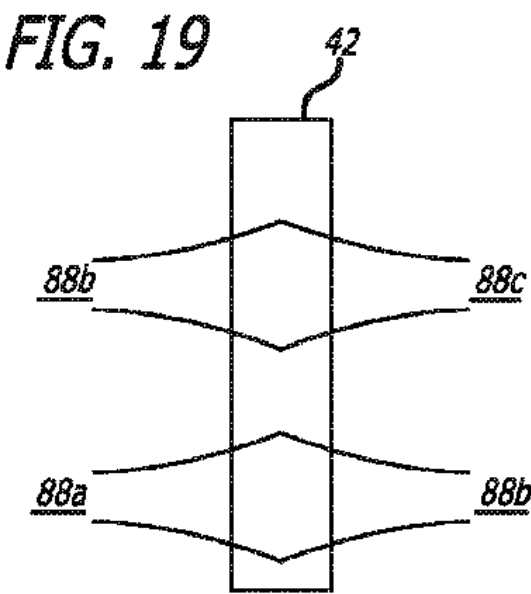
【図 17】



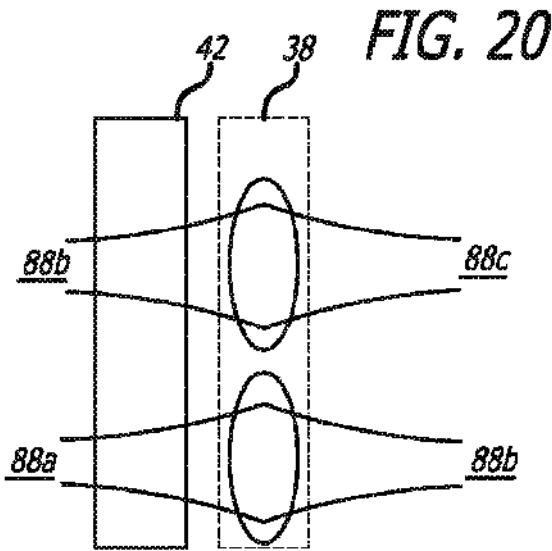
【図 18】



【図 19】



【図 20】



10

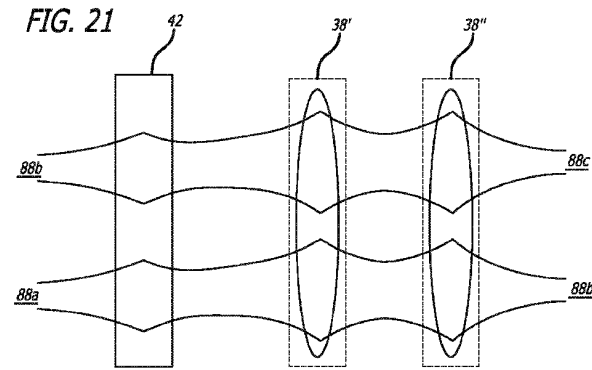
20

30

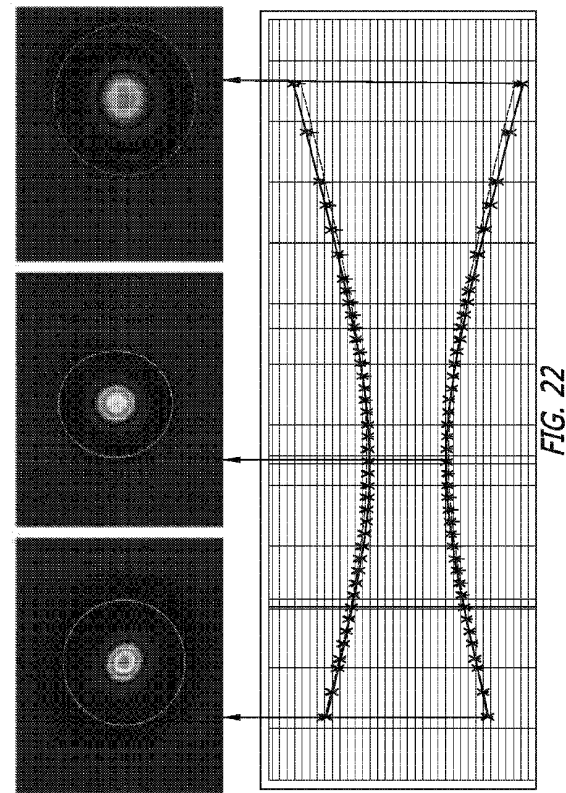
40

50

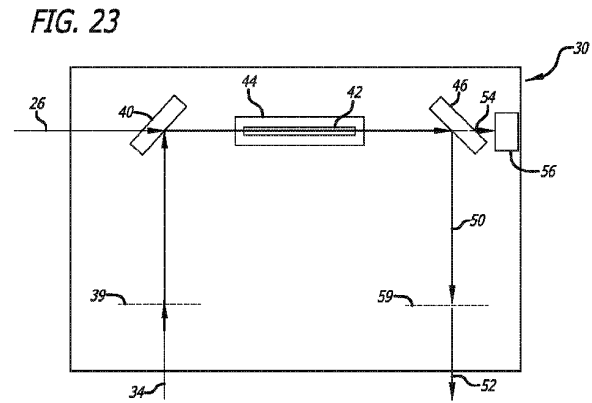
【図 2 1】



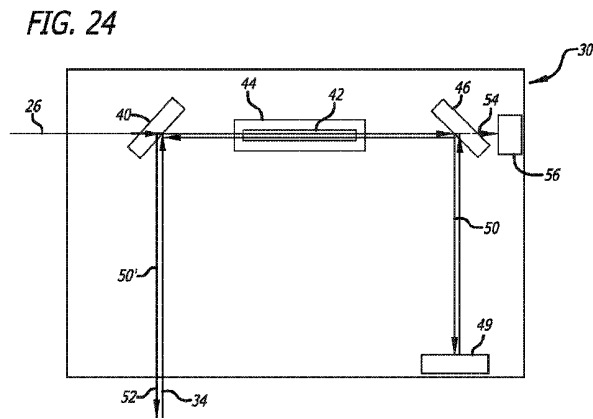
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2023/013699
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01S 3/094(2006.01); H01S 3/067(2006.01); 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) H01S 3/094(2006.01); H01S 3/067(2006.01); H01S 3/0941(2006.01); H01S 3/10(2006.01); H01S 3/106(2006.01); H01S 3/115(2006.01); H01S 3/30(2006.01) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: laser, amplifier, beamlet, input, source, crystal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107565360 B (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 22 May 2018 (2018-05-22) See claims 1-9 and figure 1.	1-24
A	CN 111224311 A (AVIC MANUFACTURING TECHNOLOGY INSTITUTE) 02 June 2020 (2020-06-02) See paragraph [24], claims 1-4 and figure 1.	1-24
A	US 2005-0169323 A1 (KALIN SPARIOSU et al.) 04 August 2005 (2005-08-04) See paragraphs [24]-[29], claims 1-4 and figures 1,2.	1-24
A	CN 102709801 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 03 October 2012 (2012-10-03) See paragraphs [26]-[32] and figure 1.	1-24
A	US 2016-0226209 A1 (IMRA AMERICA, INC.) 04 August 2016 (2016-08-04) See paragraphs [76]-[79], claim 1 and figures 1-6B.	1-24
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "T" 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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 19 June 2023		Date of mailing of the international search report 19 June 2023
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer PARK, Hye Lyun Telephone No. +82-42-481-3463

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2022)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/US2023/013699

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
CN	107565360	B		22 May 2018		CN	107565360	A	09 January 2018
CN	111224311	A		02 June 2020		None			
US	2005-0169323	A1		04 August 2005		EP	1585202	A2	12 October 2005
						EP	1585202	A3	15 November 2006
						EP	1585202	B1	27 February 2013
						US	7742512	B2	22 June 2010
CN	102709801	A		03 October 2012		CN	102709801	B	04 September 2013
US	2016-0226209	A1		04 August 2016		CN	101939880	A	05 January 2011
						CN	101939880	B	24 July 2013
						EP	2248233	A1	10 November 2010
						EP	2248233	B1	04 April 2018
						JP	2011-512653	A	21 April 2011
						JP	5600601	B2	01 October 2014
						US	2009-0201575	A1	13 August 2009
						US	2012-0206794	A1	16 August 2012
						US	2014-0036350	A1	06 February 2014
						US	2015-0207289	A1	23 July 2015
						US	8199398	B2	12 June 2012
						US	8736954	B2	27 May 2014
						US	9013786	B2	21 April 2015
						US	9293884	B2	22 March 2016
						US	9559483	B2	31 January 2017
						WO	2009-100113	A1	13 August 2009

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,
ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,C
O,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,I
R,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX
,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,
SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 アリオウラ，エドモンド

アメリカ合衆国， 9 2 6 0 6 カリフォルニア州，アーバイン，ディアー・アベニュー 1 7 9 1

Fターム（参考） 5F172 AE01 AE02 AE03 AF06 CC04 DD03 EE15 NQ32 NQ45 NQ47
NQ48