

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4374162号
(P4374162)

(45) 発行日 平成21年12月2日(2009.12.2)

(24) 登録日 平成21年9月11日(2009.9.11)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 S 3/094 (2006.01)

H O 1 S 3/094

S

H O 1 S 3/10 (2006.01)

H O 1 S 3/10

Z

請求項の数 14 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2001-259734 (P2001-259734)
 (22) 出願日 平成13年8月29日(2001.8.29)
 (65) 公開番号 特開2002-141589 (P2002-141589A)
 (43) 公開日 平成14年5月17日(2002.5.17)
 審査請求日 平成20年8月26日(2008.8.26)
 (31) 優先権主張番号 10043269:7
 (32) 優先日 平成12年8月29日(2000.8.29)
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 501325543
 イエーノブティーク レーザー、オブティ
 ーク、ジステーメ ゲゼルシャフト ミッ
 ト ベシュレンクテル ハフツング
 ドイツ連邦共和国 デー・07745 イ
 ェーナ ゲシュヴィッツァー シュトラ
 セ 25
 (74) 代理人 100091867
 弁理士 藤田 アキラ
 (72) 発明者 ギュンター ホレマン
 ドイツ連邦共和国 デー・07749 イ
 ェーナ ヴィーゼルヴェーク 15
 (72) 発明者 ヤン ジマノフスキー
 ドイツ連邦共和国 デー・07743 イ
 ェーナ アム ハイリゲンベルク 16
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ダイオードでポンピングされるレーザー増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つのレーザー活性固体媒体を備え、

増幅対象であるレーザー光線がレーザー活性固体媒体を透過する際にポンピング光線にモードを整合せしめられ、

楕円形状のポンピング光線が入射することにより、レーザー活性固体媒体内にポンピング光線の入射方向と平行で互いに垂直な面内において強さが異なるサーマルレンズが形成される、

ダイオードでポンピングされるレーザー増幅器において、

前記レーザー光線のビーム(1)が、強いサーマルレンズ(TL)をもった面内において
 10
 合焦するようにレーザー活性固体媒体の中へ指向しており、その際に形成されるビームウェストが前記強いサーマルレンズの領域にあることを特徴とするレーザー増幅器。

【請求項 2】

ポンピング光線源として少なくとも1つのレーザーダイオードセル(10)を使用し、高速軸をコリメートするための手段と、互いに垂直な面内に異なる強さで形成されるサーマルレンズ(TL)を生じさせるために楕円形状にダイオード光線を合焦させるための手段とが設けられていることを特徴とする、請求項1に記載のレーザー増幅器。

【請求項 3】

ポンピング光線の偏光を調整するため、ポンピング光線源が / 2 位相遅延プレート(12)を含んでいることを特徴とする、請求項2に記載のレーザー増幅器。
 20

【請求項 4】

ポンピング光線が、レーザー活性固体媒体の、ポンピング光線源側のビーム通過面（４）を介して、レーザー光線が、レーザー活性固体媒体の、前記ビーム通過面（４）に対向しているレーザー光線源側のビーム通過面（３）を介して、それぞれレーザー活性固体媒体の中へ指向され、ポンピング光線源側のビーム通過面（４）がレーザー光線の波長に対し高反射性があるように構成され、これによりレーザー光線は反射後新たにレーザー活性固体媒体と合焦要素とを透過することを特徴とする、請求項 3 に記載のレーザー増幅器。

【請求項 5】

増幅器の入口に、弱いサーマルレンズを備えた面内でレーザー光線を拡大させるための光学要素が設けられていることを特徴とする、請求項 4 に記載のレーザー増幅器。

10

【請求項 6】

前記光学要素として円筒レンズガリレイ型望遠鏡（６）を用いることを特徴とする、請求項 5 に記載のレーザー増幅器。

【請求項 7】

前記光学要素としてアナモルフィックプリズム対を用いることを特徴とする、請求項 5 に記載のレーザー増幅器。

【請求項 8】

レーザー光線の光路内に、１つの面内にある弱いサーマルレンズを増幅器出口で補償するための少なくとも１つの結像要素が設けられていることを特徴とする、請求項 6 または 7 に記載のレーザー増幅器。

20

【請求項 9】

前記結像要素が、増幅器出口に配置され折畳みミラー（１５）として構成された円筒鏡であることを特徴とする、請求項 8 に記載のレーザー増幅器。

【請求項 10】

前記結像要素が、増幅器出口に配置され折畳みミラー（１５）として構成された球面鏡であることを特徴とする、請求項 8 に記載のレーザー増幅器。

【請求項 11】

前記結像要素が、レーザー活性固体媒体から放出されるレーザービームの光路内に配置される長焦点距離の凸状円筒レンズであることを特徴とする、請求項 8 に記載のレーザー増幅器。

30

【請求項 12】

前記結像要素が、レーザー活性固体媒体から放出されるレーザービームの光路内に配置される長焦点距離の球面レンズであることを特徴とする、請求項 8 に記載のレーザー増幅器。

【請求項 13】

レーザー活性固体媒体が、０．５％のドーピングを施したNd:YVO₄結晶であることを特徴とする、請求項 9 から 12 までのいずれか一つに記載のレーザー増幅器。

【請求項 14】

ポンピング波長が 803 nm ないし 809 nm の範囲にあることを特徴とする、請求項 13 に記載のレーザー増幅器。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、少なくとも１つのレーザー活性固体媒体を備え、増幅対象であるレーザー光線がレーザー活性固体媒体を透過する際にポンピング光線にモードを整合せしめられ、楕円形状のポンピング光線が入射することにより、レーザー活性固体媒体内にポンピング光線の入射方向と平行で互いに垂直な面内において強さが異なるサーマルレンズが形成される、ダイオードでポンピングされるレーザー増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

50

周知のごとく、固体レーザー分野における基本モード発振器は、使用されるレーザー活性媒体のオプトサーマル特性のために、ある一定の出力値以下にしか構成できない。このため、高出力を生じさせるため、発振器は光路内の下流側に配置されるレーザー増幅器と組み合わせられることが多い。レーザー増幅器により発振器光線の高品質のビームを維持することができる。

【0003】

また、この種の発振器・増幅器装置には、発振器を比較的低電力で作動させることができるという利点もある。このようにして、モードカップリング短パルスレーザーの場合には、共振器内部に配置される可飽和半導体吸収体を過度の負荷から保護することができる。

【0004】

公知のこの種の装置、たとえば米国特許第5237584号公報に記載されている装置には、位置調整感度が高いという欠点がある。複数段からなっている増幅器には発振器・出力光線がモードを整合させて供給される。増幅器はダイオードでポンピングされるレーザークリスタルを有し、レーザークリスタルに対向して折畳みミラーが配置されている。レーザークリスタル内に形成される強いサーマルレンズを補償するためには、折畳みミラーの曲率半径と、折畳みミラーとレーザークリスタルの距離とを高精度に整合させる必要がある。もし整合させないと、安定な光学系は保証されない。この種のシリアル構成の重大な欠点は、個々の個体変動(Exemplarschwankung)を常に再調整しなければならないことである。公差幅が非常に小さいので、たとえば疲労等によるダイオードパラメータのわずかな変動やレーザークリスタルの個体変動があっただけで、システムが故障してしまう。

【0005】

米国特許第5696786号公報に記載のレーザーシステムの場合、上記の欠点はさらに深刻になる。というのは、このレーザーシステムには中間結像要素が設けられていないので、サーマルレンズに対し光路を整合させることができないからである。この種のレーザー装置はダイオード電流に対し小さなオペレーションウィンドウしか有していないのが通常である。

【0006】

或いは、上記の構成に代えて、折畳み型式の光路がクリスタル内にも実現されることがある(米国特許第5271031号公報)。このため、このクリスタルの異なるポンピング領域を何度も相前後してビームを通過させる。この装置にも前記米国特許第5696786号公報に記載のレーザーシステムと同様の欠点がある。

【0007】

最後に、DE19521943によれば、縦方向にポンピングされる固体レーザー装置に対し、レーザークリスタル内に比較的平らな楕円形の形態の等温場が形成されるので、これに基づき長尺のポンピングスポットを用いてゲート状の凸レンズまたは円筒レンズを自然発生的に、制御せずに生じさせることが知られている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、入力パラメータの変動に対する増幅装置の公差を著しく増大させることにより、増幅器の安定性を保証するための微細整合を行わずに済むようにすることである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を解決するため、少なくとも1つのレーザー活性固体媒体を備え、増幅対象であるレーザー光線がレーザー活性固体媒体を透過する際にポンピング光線にモードを整合せしめられ、楕円形状のポンピング光線が入射することにより、レーザー活性固体媒体内にポンピング光線の入射方向と平行で互いに垂直な面内において強さが異なるサーマルレンズが形成される、ダイオードでポンピングされるレーザー増幅器において、前記レーザー光線のビームが、強いサーマルレンズをもった面内において合焦するようにレーザー活性固体媒体の中へ指向しており、その際に形成されるビームウェストが前記強

10

20

30

40

50

いサーマルレンズの領域にあることを特徴とするものである。

【 0 0 1 1 】

設定されるべき、円筒レンズとレーザー活性媒体との間隔は、サーマルレンズの関数ではないので、焦点距離の公称間隔を一度設定すれば十分である。複数の増幅段を備えた増幅器に見られるような個々のサーマルレンズは、安定なシステムを形成する上で考慮する必要はない。ビームウェストの領域にあるサーマルレンズはビーム伝播に影響しないことが明らかとなった。ビーム光路に対するサーマルレンズ効果の影響を高感度位置調整作業により補償しなければならない従来の解決法とは異なり、本発明においては、サーマルレンズの作用はすでに増幅器の構成により実質的に排除される。レーザー光線とポンピング光線とのモード整合は、サーマルレンズの、該サーマルレンズの強さ（屈折力）が異なる互いに独立の複数個の面内で行われる。これにより増幅器の増幅度、ビームクオリティ、ビームパラメータはダイオードパラメータの影響を受けないので、レーザーダイオードセルとして構成されるポンピングダイオードは電氣的にシリアルに且つ同じ温度で作動させることができる。また、互いに異なる個々のダイオードレーザー特性とスペクトル特性により生じる異なるサーマルレンズは、従来の技術の解決法とは異なり、その作用を喪失し、面倒な位置調整処置によって補償する必要がない。

10

【 0 0 1 2 】

本発明によれば、増幅器をコンパクトに低コストに構成でき、厳密にモジュール状である増幅段の数量に拡張性がある。すなわち、各増幅段の出力は、最終段を除いて、次の増幅段の入力を形成している。本発明によれば、増幅器の個体変動が少ないにもかかわらず、必要とする簡単な標準構成要素を製造する際に、大きな製造公差が可能であるような増幅装置が提供される。

20

【 0 0 1 3 】

本発明による装置によれば、発振器の光線は、発振器によって定義され回折測定係数 M^2 によって決定されるビームクオリティを維持しながら、低パワーで、特にモードカップリングされる作動モードで増幅されることができる。シリアルな増幅器を、安定性が高く、再現性があるように構成することができた。さらに、本発明によれば、ポンピングダイオードのために高価で、効率を低下させるビーム成形光学系を使用せずに済む。ビーム光学系を使用すると、ダイオードの高速軸と低速軸に対するビームパラメータ積を対称化するために再配列が行なわれる。

30

【 0 0 1 4 】

ポンピング光線源として少なくとも1つのレーザーダイオードセルを使用し、高速軸をコリメートするための手段と、互いに垂直な面内に異なる強さで形成されるサーマルレンズを生じさせるための楕円形ポンピングフォーカスにダイオード光線を合焦させるための手段とが設けられているのが有利である。

【 0 0 1 5 】

ポンピング光線の偏光を設定もしくは調整するため、ポンピング光線源に / 2 位相遅延プレートを付設してもよい。

【 0 0 1 6 】

ポンピング光線は、レーザー活性固体媒体の、ポンピング光線源側のビーム通過面を介して、レーザー光線は、レーザー活性固体媒体の、前記ビーム通過面に対向しているレーザー光線源側のビーム通過面を介して、それぞれレーザー活性固体媒体の中へ指向されている。ポンピング光線源側のビーム通過面がレーザー光線の波長に対し高反射性があるように構成されているので、レーザー光線は反射後新たにレーザー活性固体媒体と合焦要素とを透過する。

40

【 0 0 1 7 】

弱いサーマルレンズを備えた面内でレーザー光線を拡大させるために増幅器の入口に設けられる光学要素は、円筒レンズガリレイ型望遠鏡として、或いはアナモルフィックプリズム対として構成されていてよい。

【 0 0 1 8 】

50

レーザー光線の光路内に、1つの面内にある弱いサーマルレンズを増幅器出口で補償するための少なくとも1つの結像要素が設けられているのが有利である。この結像要素は、折畳みミラーとして構成された円筒鏡であるか、或いは球面鏡であってよく、或いは、レーザー活性固体媒体から放出されるレーザービームの光路内に長焦点距離の凸状円筒レンズまたは長焦点距離の球面レンズを配置してもよい。

【0019】

レーザー活性固体媒体として、0.5%のドーピングを施したNd:YVO₄結晶を用いてよい。このNd:YVO₄結晶は803nmないし809nmの範囲の波長でポンピングされる。

【0020】

【発明の実施の形態】

図1に図示した増幅器モジュールはレーザー光線、特にコリメートされたレーザー光線1を増幅するために使用する。レーザー光線1は図示していない発振器により生成され、本実施形態では円形の光線横断面Q_{k r}をもっている。

【0021】

レーザークリスタル2として実施されたレーザー活性固体媒体は互いに対向する2つの光線通過面3,4を有し、そのうち一方の光線通過面はポンピングミラー5にすぐ隣接する位置に配置されている。ポンピングミラー5(光線通過面4の表面膜として構成してもよい)はポンピング波長に対し透過性があり、レーザー光線の波長に対しては高反射性がある。光学的に活性な光線通過面3は、標準断面ではポンピング波長に対してもレーザー波長に対しても非反射性があるようにコーティングされていてよい。必要とするポンピング波長は、有利にはたとえば0.5%のドーピングを施したNd:YVO₄結晶として構成されたレーザークリスタル2に対しては、803nmと809nmの間にある。本実施形態に対しては、1×4×4mm³のサイズのクリスタルが適している。Nd:YVO₄結晶以外では、希土類をドープした他のクリスタルを使用してもよい。

【0022】

入射したレーザー光線1は、まず第1の面(接平面E_{t a n})において、円筒レンズガリレイ型望遠鏡6により、この望遠鏡6の倍率に応じて、半軸比が小さな楕円形の光線横断面Q_{e 1}に拡大される(2倍ないし3倍の拡大)。或いはこれに代えて、アナモルフィックプリズム対を使用してもよい。なお、発振器がすでに楕円形のレーザー光線を提供する場合には、もちろんこのような入口側の光線成形部を設けなくてもよい。光路内で下流側に配置される最初の折畳みミラー7は、レーザー光線1を偏向させて円筒レンズ8を通過させる。円筒レンズ8は、コリメートされたレーザー光線1を第2の面(サジタル面E_{s a g})でレーザークリスタル2に合焦させる。接平面E_{t a n}において以前コリメートされた状態にあるレーザー光線1(図3)はレーザークリスタル2を透過し、その際ポンピング光線にモードを整合せしめられて、かなり楕円形のフォーカスQ_{s t e 1}をもっている。円筒レンズ8は、レーザークリスタル2内に形成されるサーマルレンズTLから、自らの焦点距離f_{z y 1}だけ離れて配置されているので、生じたビームウェストはその領域内にある(図2)。

【0023】

ポンピングミラー5で反射したレーザー光線1は、円筒レンズ2の2回目の通過後、サジタル面E_{s a g}でも再びコリメートされて、円筒レンズ8を最初に通過したときと同じ楕円形の横断面をもっている。

【0024】

ポンピング光線を生成させるため、ダイオードレーザーモジュール9が設けられている。ダイオードレーザーモジュール9は、図示していない密封ケース内に、高速軸用のコリメーション光学系11を備えた少なくとも1つのレーザーダイオードセル10と、偏光を生じさせるための、オプションな1/2位相遅延プレート12と、レーザークリスタル2にポンピング光線をフォーカシングするための非球面体13とを含んでいる。図示していないが、レーザーダイオードセル10の光線クオリティを改善するため、低速軸のオプションなコリメーション部も設けられている。さらに、非球面体13の代わりに、球面の

10

20

30

40

50

レンズまたはレンズ装置を使用してもよい。

【0025】

ケースはモジュール構成要素を埃、湿気、化学性の蒸気、静電放電、機械的な損傷から保護する。レーザーダイオードセル10は、適当な取り付け技術により、ヒートシンクとして用いられる銅体14に固定されている。

【0026】

このような手段により生成されたポンピング光線は、レーザー光線1と同様にかなり楕円形の形状であり、ほぼ縦方向にポンピングされるレーザークリスタル2内部での光線横断面は、たとえば1 μm ないし500 μm のサジタル面内での膨張、およびたとえば0.5 mmないし3 mmの接平面内での膨張により特徴づけられる。このように楕円形に形成されたポンピング光線は、レーザークリスタル2内でサーマルレンズを生じさせ、サーマルレンズは、方向に応じて温度勾配が異なっているために、互いに垂直である前記面 E_{sag} と面 E_{tan} において異なる強さのものが形成される。たとえば、サジタル面 E_{sag} 内でのサーマルレンズの焦点距離は(サジタル面内にはレーザーダイオードセル10の高速軸も延在している)40 mmないし20 mmの範囲であり、接平面 E_{tan} では1000 mmないし4000 mmの範囲である。接平面 E_{tan} 内のサーマルレンズは、その焦点距離が長いので、増幅対象であるレーザー光線1に対し不具合な結像機能をほとんど持っていない。焦点距離が長くなるにつれて、このような作用を実質的に阻止することができる。

【0027】

しかし、接平面 E_{tan} 内のサーマルレンズの残留作用が弱ければ、増幅器モジュール内に補助的に配置される結像要素、たとえば長焦点距離の、凸に湾曲した円筒レンズ、または球面レンズによってこの残留作用を補償することができ、或いは既存の構成要素を特別に構成することによって補償することもできる。このため、光路内において増幅器モジュールの出口に配置される第2の折畳みミラー15を利用することができる。折畳みミラー15により、レーザー光線1を反射により次の増幅段(他の増幅器モジュール)に提供することができる。この目的のため、図面に破線で示した折畳みミラー15は筒状に構成され、或いは球面凸状に構成され、必要な場合は適宜傾斜して配置される。球面鏡を使用する場合、サジタル面 E_{sag} での光線の影響は、曲率半径が大きいためにわずかである。これは図5から明らかである。同様のことは長焦点距離の球面レンズに対しても当てはまる。というのは、サジタル面 E_{sag} では、短焦点距離のレンズだけが結像を決定するからである。いずれにしても、接平面 E_{tan} 内でのモードの整合は、円筒レンズ望遠鏡6内でのレンズ間隔を設定することにより可能である。接平面 E_{tan} 内でのサーマルレンズTLの残留作用の補正が必要でない場合は、或いは補正レンズによって行う場合は、第2の折畳みミラー15を平面鏡として構成してもよい。

【0028】

図4に図示した多段増幅器は、増幅段の数量に整合した数量の増幅器モジュールを有している。これらの増幅器モジュールの構成要素には図1の構成要素と同じ符号を付した。レーザークリスタル2に付設されているダイオードレーザーモジュール9は、増幅器のためのポンピング装置を形成している。個々のレーザーダイオードセル10は電氣的に有利にはシリアルに接続され、同じダイオード温度で作動する。

【0029】

本実施形態では1個の増幅段ごとに設けられているレーザークリスタルに、複数のレーザーダイオードセルを付設してもよい。他方、1個のレーザーダイオードセルにつき複数のレーザークリスタルを備えた構成でもよい。結像要素のために設けられる位置調整手段16ないし22は、増幅器の位置調整状態を設定するために用いる。この位置調整状態は、焦点距離 f_{zy} によって決定される円筒レンズ8とサーマルレンズとの距離と同様に、サジタル面 E_{sag} 内の強力なサーマルレンズの大きさに依存しないので、更なる整合、特にダイオード電流変化時の整合は必要ない。

【0030】

図1のモード整合は円筒レンズを用いて増幅器モジュールに対し入口側しか行われていな

10

20

30

40

50

いが、装置の対称性に基づき、出口にも円筒レンズ望遠鏡 2 3 の形態で適当なモード整合部を設けて、入口と出口で互いに対称な光線を生じさせてもよい。レーザークリスタル 2 はその破壊限界よりかなり下の値で作動するが、適当な取り付け技術、たとえば蝋付け、インジウムプレス、または接着でヒートシンク 2 4 上に固定されている。

【0031】

図 4 の多段増幅器は、図 5 ないし図 8 に図示したビーム特性を有している。図示していない発振器からの距離に依存して、サジタル面 E_{sag} 内のレーザー光線 1 のビーム径は主に円筒レンズ 8 の作用によって決定される（図 5）。円筒レンズ 8 の作用が強ければ強いほど、システムの揺らぎは小さい。球面凸状に構成された折畳みミラー 15 の影響は、接平面 E_{tan} 内の長いミラー焦点距離とサジタル面 E_{sag} 内の円筒レンズ 8 の短い焦点距離との大きな焦点距離比により十分に補正されている。サジタル面 E_{sag} 内の強力なサーマルレンズ TL_{sag} は、レーザークリスタル 2 内でのビーム伝播（図 6）および増幅器の出口におけるビーム伝播（図 7）に悪影響を及ぼさない。両ケースとも、強力なサーマルレンズ TL_{sag} の焦点距離の変化により、ビーム径の変動はわずかである。

【0032】

図 8 によれば、接平面 E_{tan} 内で円筒レンズ望遠鏡 6 によって拡大したレーザー光線 1 は弱いサーマルレンズ TL_{tan} を透過し、その際球面凸状に構成された折畳みミラー 15 により修正が行なわれる。増幅器出口では、円筒レンズ望遠鏡 2 3 により対称化が行なわれる。なお接平面 E_{tan} 内では、低速軸のポンピング光線のクオリティは著しく悪化している。

【図面の簡単な説明】

【図 1】増幅器モジュールの構成図である。

【図 2】増幅器モジュール内の光路をサジタル面で示した図である。

【図 3】増幅器モジュール内の光路を接平面で示した図である。

【図 4】4 個の増幅器モジュールからなる 4 段増幅器を示す図である。

【図 5】図 4 の増幅器におけるサジタル面内でのビーム径の変化を示すグラフである。

【図 6】図 4 の増幅器のレーザークリスタル内でのビーム径とサジタル面内でのサーマルレンズの強さとの関係を示すグラフである。

【図 7】図 4 の増幅器の増幅器出口におけるビーム径とサジタル面内でのサーマルレンズの強さとの関係を示すグラフである。

【図 8】図 4 の増幅器の接平面内でのビーム径の変化を示すグラフである。

【符号の説明】

1	レーザー光線
2	レーザークリスタル
3, 4	光線通過面
5	ポンピングミラー
6	円筒レンズガリレイ型望遠鏡
7	折畳みミラー
8	円筒レンズ
9	ダイオードレーザーモジュール
10	レーザーダイオードセル
11	コリメーション光学系
12	/ 2 位相遅延プレート
13	非球面体
14	銅体
15	折畳みミラー
16 ないし 22	位置調整手段
23	円筒レンズ望遠鏡
24	ヒートシンク

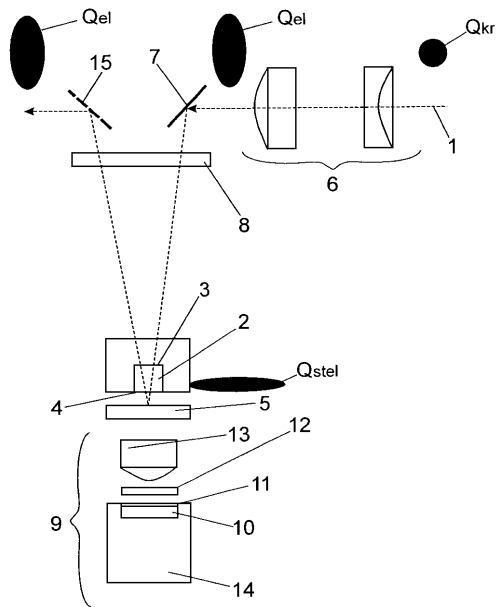
10

20

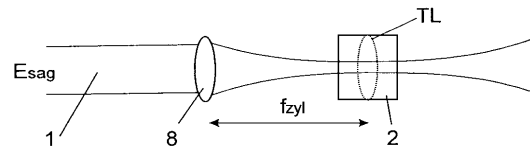
30

40

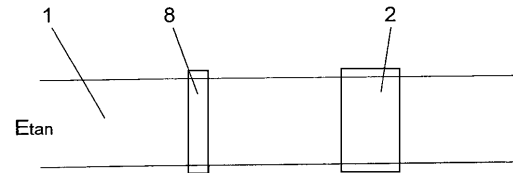
【図 1】



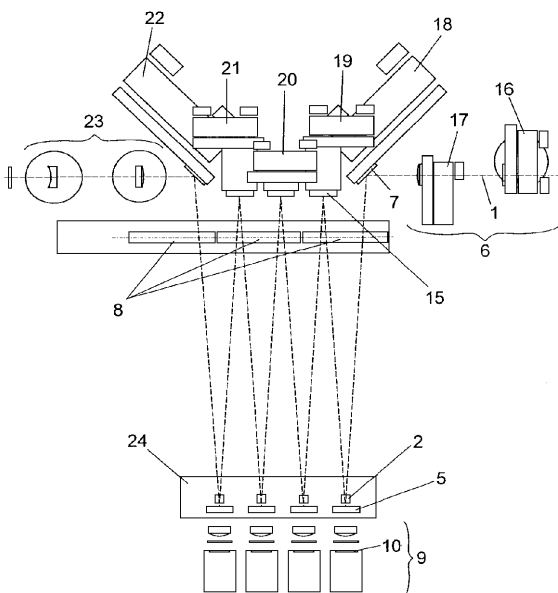
【図 2】



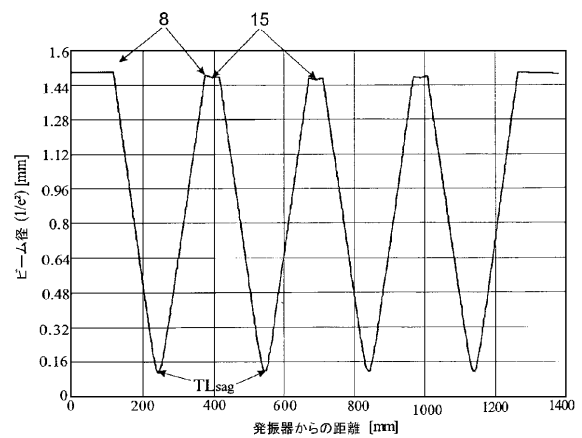
【図 3】



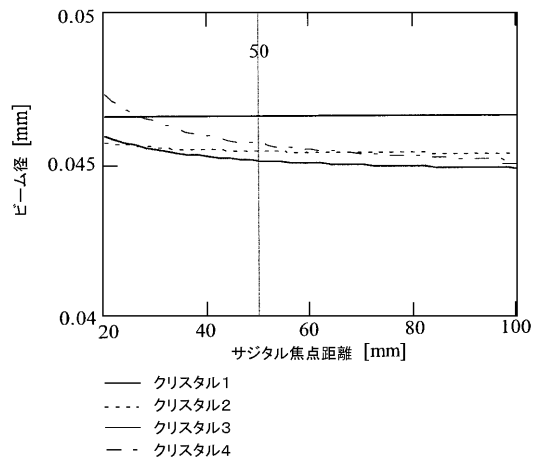
【図 4】



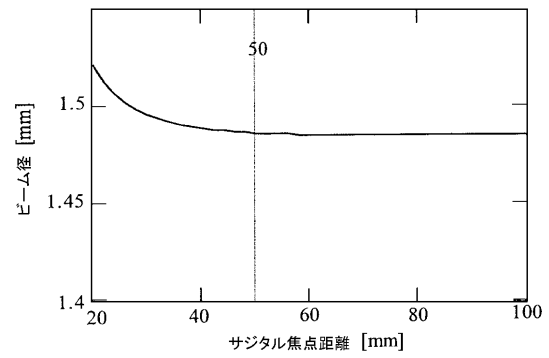
【図 5】



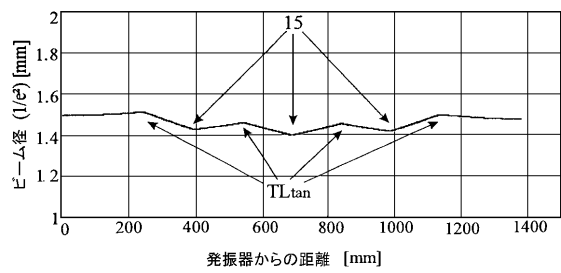
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

審査官 瀬川 勝久

(56)参考文献 米国特許第 5 6 2 7 8 5 3 (U S , A)

特開平 1 - 2 5 7 3 8 7 (J P , A)

特開平 4 - 3 4 5 0 7 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01S 3/00 - 4/00

JSTPlus(JDream2)

CiNii

WPI