(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7633245号
(P7633245)

(45)発行日　令和7年2月19日(2025.2.19)

(24)登録日　令和7年2月10日(2025.2.10)

(51)国際特許分類

		FI		
G01J 1/02 (2006.01)		G01J	1/02	K
H02J 50/30 (2016.01)		H02J	50/30	

請求項の数　14　（全14頁）

(21)出願番号　特願2022-525155(P2022-525155)
(86)(22)出願日　令和2年11月1日(2020.11.1)
(65)公表番号　特表2023-500254(P2023-500254A)
(43)公表日　令和5年1月5日(2023.1.5)
(86)国際出願番号　PCT/IL2020/051135
(87)国際公開番号　WO2021/084544
(87)国際公開日　令和3年5月6日(2021.5.6)
審査請求日　令和5年10月30日(2023.10.30)
(31)優先権主張番号　62/928,550
(32)優先日　令和1年10月31日(2019.10.31)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者　513314090
ワイーチャージ リミテッド
イスラエル国 ７６７０２ レホボト ペケリス ストリート ２
(74)代理人　100083806
弁理士　三好 秀和
(74)代理人　100095500
弁理士　伊藤 正和
(74)代理人　100111235
弁理士　原 裕子
(74)代理人　100195257
弁理士　大渕 一志
(72)発明者　コンフォーティ、 エヤル
イスラエル国 ６７８９０３６ テルアビブ ハハスカラ ストリート １７
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　光無線パワーシステムの安全動作のための光パワーメータ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
レーザビームのパワーを測定するためのシステムであって、
実質的に不透明な筐体であって、そこからレーザビームが外部環境に開放された出口開口を通過するように方向付けられる筐体を備え、
前記筐体は、
前記出口開口を通して前記レーザビームの大部分を透過し、前記レーザビームの小部分を反射するように構成されるビームスプリッタと、
前記レーザビームの反射された小部分が衝突するように配置される拡散器素子と、
前記拡散器素子と光通信する少なくとも１つの検出器素子であって、前記レーザビームの前記小部分の拡散光が衝突することに応答して信号を提供する検出器素子と、
吸収体素子と
を備え、前記吸収体素子は、前記出口開口を通過して前記外部環境から前記筐体に入射して前記ビームスプリッタによって反射される光の一部が前記吸収体素子に衝突して、実質的に吸収されるように配置される、システム。
【請求項２】
前記筐体内にレーザが配置される、請求項１に記載のシステム。
【請求項３】
前記筐体の外側にレーザが配置され、そのビームを前記筐体内に方向付ける、請求項１に記載のシステム。

【請求項４】
レーザへの前記検出器素子の光結合効率は、前記筐体の外側の任意の他の位置への前記検出器素子の光結合効率よりも実質的に大きい、請求項１～３のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項５】
前記ビームスプリッタによって透過される前記レーザビームの前記大部分の波面の形状は、前記ビームスプリッタを通過することによって実質的に影響を受けない、請求項１～４のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項６】
前記レーザビームの波長がその平均値から３ｎｍまで変化する場合に、前記検出器素子によって受け取られるパワーに対する前記レーザビームによって透過されるパワーの比は、実質的に一定である、請求項１～５のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項７】
前記レーザビームの偏光がその平均値から変化する場合に、前記検出器素子によって受け取られるパワーに対する前記レーザビームによって透過されるパワーの比は、実質的に一定である、請求項１～６のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項８】
前記レーザビームのビームプロファイルがその平均値から変化する場合に、前記検出器素子によって受け取られるパワーに対する前記レーザビームによって透過されるパワーの比は、実質的に一定である、請求項１～７のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項９】
前記ビームスプリッタは、透明な前面及び反射防止の背面を備える、請求項１～８のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１０】
前記拡散器素子は、ビームプロファイル全体にわたって前記レーザビームからの前記信号を等化するように構成される、請求項１～９のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１１】
前記拡散器素子は、前記検出器素子を均一に照射するように適合される凹形状を備える、請求項１～１０のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１２】
前記検出器素子は、隣接する一対の検出器を備え、前記一対の検出器は、検出されたビームが両方に衝突するように配置される、請求項１～１１のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１３】
前記レーザビームはレーザダイオードによって発生され、前記一対の検出器は、前記レーザビームの速軸が前記一対の検出器の中心を結ぶ線と平行になるように配置される、請求項１２に記載のシステム。
【請求項１４】
前記出口開口から透過された前記レーザビームの前記大部分は、ソースレーザビームの８０％より大きい、請求項１～１３のいずれか１項に記載のシステム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、レーザベースの充電システムのための正確なパワーメータを提供することによって、特にレーザへの過度の暴露を防止するために使用される、移動装置の遠隔充電のための安全システムの分野に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、多くのバッテリ駆動による移動システムが開発されており、それらのバッテリは、典型的には約１～６０Ｗｈの容量を有し、こうしたバッテリは再充電を必要とする前に

数時間から数週間動作することが可能である。このような移動システムの充電時間は、典型的には１２時間未満であり、したがって、充電器は、その時間枠内でバッテリを充電するために約１～５Ｗの電力を供給する必要がある。このような移動システムのために、遠隔レーザ充電システムが開発されており、これにより、光パワーを電力に変換し、充電中にワイヤによって移動装置を電源に接続する必要性が排除される。光パワーと電力との間の変換効率を考慮すると、光充電システムの搬送ビームの光パワーは、典型的には数ワットである。

【０００３】

レーザベースの遠隔充電システムでは、安全性の確保が必須である。クラスＩレーザの被ばく放出限界（ＡＥＬ）は、米国では連邦規則２１ＣＦＲ～１０４０及びその他の文書で定義されている。クラス１レーザは、通常の使用条件下では安全である。これは、肉眼又は一般的な拡大光学装置（例えば望遠鏡又は顕微鏡）でレーザを見るときに、最大許容露光量（ＭＰＥ）を超えることができないことを意味する。許容可能な時間よりも長い時間、又は許容可能なパワー限界よりも高いパワーへのヒトの曝露がある場合、システムはクラスＩレーザとして分類することが許可されず、このようなレーザは一般的な公共の使用に不適切である。

【０００４】

上述の規則によれば、数ワットのパワーを有するビームの許容露光時間は短く、１０６０ｎｍにおける１Ｗの７ｍｍガウスビームではマイクロ秒程度であるので、レーザへの露光時間が許容時間を超える前に自動ビーム停止を容易にするための効率的な能動的安全システムが必要とされる。このような安全システムでは、安全な動作を確保するために、送信機から放射される光パワーを正確に測定する必要がある。

【０００５】

現在のレーザパワー伝送システムの大部分は、パワーメータを含まないか、又は装置の長時間にわたる動作に対して正確な結果を提供するのに不適切なパワーメータを含んでいる。このような従来技術のシステムは、経時的に自然に生じるビーム形状の変化、波長の変化、又はシステム自体の光学特性の変化を考慮していない場合がある。そのため、それらは長期間にわたる安全な動作を保証するほど信頼性が高くない。

【０００６】

例えば、Ｄ．Ｓ．Ｇｒａｈａｍの“Ｗｉｒｅｌｅｓｓ ｐｏｗｅｒ ｂｅａｍｉｎｇ ｔｏ ｃｏｍｍｏｎ ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ ｄｅｖｉｃｅｓ”についてのＵＳ２００７／００１９６９３に記載されているシステムは、フォトダイオード（２８）を使用してレンズからの逆反射を測定する。この方法は、光が受信機に到達せず、受信機で電力に変換されなかったために、さもなければ浪費されたであろう光のみを使用するので、パワー効率が高い。しかしながら、フォトダイオードは、レンズのミスアライメント、埃、波長の変化に高感度であり（レンズは一般に誘電体コーティングを有するので、そのようなコーティングは波長の変化に高感度であることが知られている）、再較正なしでは、経時的に信頼性のある測定を提供しない。また、外部の光源からのフォトダイオードの照射にも非常に高感度である。

【０００７】

Ｄｅｌｌａ－ＰｅｒｇｏｌａによるＵＳ２０１４／０１２６６０３は、共通の発明者を有し、本出願人と共同所有されており、単一のフォトダイオードにビームを向けるために漏れミラーを使用する。この設計は、特にレンズがこれらの構成の一部で使用されるので、埃、ミスアライメント、及びビーム形状の変化に影響されやすい。“Ｓｙｓｔｅｍ ｆｏｒ ＯｐｔｉｃａｌＷｉｒｅｌｅｓｓ Ｐｏｗｅｒ Ｓｕｐｐｌｙ”に関するＵＳ９，３１２，７０１は、本出願と共通の発明者を有し、ビーム内のパワー損失の検出に基づいてビーム内の物体を検出することを提案している。ＵＳ２０１４／００９２９２９も、共通の発明者を有し、本出願人によって共同所有されており、安全性を確保するためにビームのパワー及び形状を監視することを提案している。

【０００８】

多くの安全システムは、送信機から放射されるレーザパワーの測定に依存している。現在の技術は、レーザパワーを測定するためにパワーメータを使用することを提案しており、光の一部をフォトダイオードに結合するために「リーキー（ｌｅａｋｙ）」ミラー又はレンズ表面からの反射を使用することを特定する場合もあるが、パワーメータの正確な較正を長期間にわたって維持することができるシステムを提供することができず、それによって安全な動作を可能にするために頻繁な再較正を必要とする。

【０００９】

したがって、従来技術のシステム及び方法の欠点の少なくともいくつかを克服する遠隔光学式充電システムの安全性を確保するために、長期的で、正確かつ信頼性のあるパワーメータが必要とされている。

【００１０】

本項目及び明細書の他の項目に記載された各刊行物の開示は、それぞれその全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【発明の概要】

【００１１】

本開示は、再較正及び／又はクリーニングを必要とせずに長期にわたって信頼性の高い正確な光パワー測定を保証するパワー測定モジュールを使用することにより、最小のパワー損失で長期にわたって安全な動作を保証するレーザベースの無線パワー伝送システムのための安全システムを開示する。

【００１２】

本開示に記載されているパワー測定システムは、高効率及び低コストを好む従来のアプローチよりも長期の信頼性、安全性、及びメンテナンスフリーの動作を提供する。本システムが従来のシステムと異なる点は、反射されたレーザ光と環境からの迷光の両方が容易に衝突することができるような方向及び位置に検出器を配置するのではなく、検出器は、レーザの出口開口の近くに配置されるが、筐体に入射する外部光が筐体の壁によって吸収され、検出器に衝突しないようにレーザに向くことである。さらに、本開示のパワーメータは、主ビームへのパワー損失が低く、範囲の損失がない、パワー測定に安定性を与える多数の要因を説明する。これらの要因には、ビームモードの変化、波長、温度、光学構成要素の劣化、及び透過率及び反射率の変化、光学及び電子表面への埃蓄積、主ビームからの内部反射（「ゴースト」）による測定のバイアス、及び外部照明による測定のバイアスに関する弾性が含まれる。

【００１３】

このように、本開示に記載された装置の例示的な実装によれば、レーザビームのパワーを測定するためのシステムが提供され、このシステムは、実質的に不透明な筐体を備えており、この筐体から、レーザビームが出口開口を通過するように方向付けられ、この筐体は、（ｉ）出口開口を通してレーザビームの大部分を透過し、レーザビームの小部分を反射するように構成されるビームスプリッタと、（ｉｉ）レーザビームの反射された小部分がそれに衝突するように配置される拡散器素子と、（ｉｉｉ）拡散器素子と光通信する少なくとも１つの検出器素子であって、レーザビームの小部分の拡散光がそれに衝突することに応答して信号を提供する検出器素子と、（ｉｖ）出口開口を通過して筐体に入り、ビームスプリッタによって反射される光の一部が吸収体素子に衝突し、実質的に吸収されるように配置される吸収体素子とを備える。

【００１４】

このようなシステムでは、レーザは筐体内に配置されるか、又は筐体の外側に配置され、そのビームを筐体内に方向付けてもよい。

【００１５】

さらに、検出器のレーザへの光結合効率は、筐体の外側の任意の他の位置への検出器の光結合よりも実質的に大きくてもよい。

【００１６】

さらに、ビームスプリッタによって透過されるビームの大部分の波面の形状は、ビーム

スプリッタを通過することによって実質的に影響を受けない。

【００１７】

上述したシステムのいずれにおいても、ビームの波長がその平均値から３ｎｍまで変化するとき、検出器素子によって受け取られるパワーに対するレーザビームによって透過されるパワーの比は、実質的に一定であり得る。さらに、ビームの偏光がその平均値から変化するとき、検出器素子によって受け取られるパワーに対するレーザビームによって透過されるパワーの比は、実質的に一定であり得る。さらに、ビームのビームプロファイルがその平均値から変化するとき、検出器素子によって受け取られるパワーに対するレーザビームによって透過されるパワーの比は、実質的に一定であり得る。

【００１８】

これらのシステムのいずれにおいても、ビームスプリッタは、透明な前面及び反射防止の背面を備えてもよい。さらに、拡散器素子は、ビームプロファイル全体においてビームからの信号を等化するように構成されてもよい。拡散器素子は、検出器素子を均一に照明するように適合される凹形状を有してもよい。

【００１９】

検出器素子に関しては、隣接する一対の検出器を備えてもよく、一対の検出器は、検出されたビームがそれらの両方に衝突するように配置されてよい。このような場合、
レーザビームがレーザダイオードによって発生される場合、一対の検出器は、レーザビームの速軸が検出器の中心を結ぶ線と平行になるように配置され得る。

【００２０】

最後に、これらのシステムの全てにおいて、出口開口から透過されるレーザビームの大部分は、ソースレーザビームの８０％より大きくてもよい。

【図面の簡単な説明】

【００２１】

本願の請求項に記載の発明は、以下の図面と共に、以下の詳細な説明からより完全に理解されるであろう。

【図１】波長１０５０ｎｍ、直径７ｍｍのビームに対して、最大許容露光時間がパワーの関数としてどのように減少するかを示している。

【図２】図２Ａ及び２Ｂは、従来技術のビームスプリッタと検出器との間のいくつかの相違点を示しており、これは本明細書に開示されている。

【図３】再較正なしに長期間にわたって光学的充電システムのパワーを正確に測定するための例示的なシステムを示す。

【図４】識別されたホットスポットを有する、長軸及び短軸にわたる可変パワーを有するダイオードレーザの典型的なビームプロファイルを示す図である。

【図５】長軸及び短軸にわたるパワー変動を示す例示的なレーザを示す。

【図６】図６Ａ及び６Ｂは、パワーメータによる測定の精度を向上させるための追加の構造構成要素を示す。

【図７】例示的な実装におけるパワーメータの構成要素を示す。

【発明を実施するための形態】

【００２２】

最初に図１を参照すると、このグラフには波長１０５０ｎｍ、直径７ｍｍのビームに対する最大許容露光時間が示されており、ビームパワーの関数として許容露光時間の低下が示されている。

【００２３】

次に図２Ａを参照すると、従来技術のビーム伝送システムが示されており、放射されたレーザビームの小部分を、その伝搬方向とは逆方向に及び検出器に向かって反射させて、出力パワーに比例すると推定される信号を提供するために、ビームスプリッタがどのように使用されるかを例示している。典型的には、ビームの約９８％が透過され、レーザ光の２％が後方に反射されて検出器に衝突する。しかしながら、検出器は、レーザ光の大部分が透過される開口部に向いているので、環境から開口部に入る入射光も検出器に入射し、

したがって得られた測定値を誤らせることがある。
【００２４】
多くの従来技術のシステムは、外部照明からの干渉に影響を受けやすい設計上の問題に悩まされており、パワー測定センサを前方向ではなく反対方向又は後方向として知られている方向に配置する。
【００２５】
いわゆる「レーザの後方向」とは、レーザからパワーメータ又はフォトダイオードへの透過効率が、パワーメータが感度を有する波長について、送信機外部の少なくとも１点からの透過効率に比べて小さい任意の方向である。
【００２６】
いわゆる「レーザの前方向」とは、パワーメータが感度を有する波長について、レーザ２１Ｂからパワーメータ又はフォトダイオードへの透過効率が、送信機外部の任意の点からの透過効率に比べて大きい方向と定義される。
【００２７】
したがって、後方向では、システム外部から検出器２５Ｂへ入射する光の結合は、光反射されたレーザ２１Ａの検出器への結合よりも大きい。例えば、リーキー背面ミラーが、パワー測定のためにしばしば使用される。レーザの背面ミラーは、特定のレーザ波長に対して高い反射率を有するように設計されており、典型的には、外部から入射するときにパワー測定値を誤らせる他の波長に対して透過性である。パワーメータがレーザの背面ミラーの後ろに配置される場合、レーザ光の約０．１％が検出器に結合され、一方、外部光の５％程度がレーザに結合され得る。レーザのパワーを測定するために、ビームの小部分が分割され、パワーメータ又は検出器に向けられる。レーザに対する検出器の構成とスプリッタの角度との両方が検出器の精度に影響する。ＧｒａｈａｍのＵＳ　２００７／００１９６９３は、レンズの背面をスプリッタとして使用して、レンズ面からの背面反射を測定している。ＵＳ２０１４／０１２６６０３において、Ｄｅｌｌａ　Ｐｅｒｇｏｌａは、（これも「逆」方向に）レーザの背面ミラーをパワー測定用のカプラとして使用している。この場合、レーザ背面ミラーはビームスプリッタである。
【００２８】
図２Ａには、検出器２５Ａを後方向に備えた、先に使用された技術に従って構成されたパワーメータが示されている。レーザビーム２２Ａがスプリッタによって分割され、ビーム２４Ａの僅かな割合が後方に反射されて検出器２５Ａに到達し、レーザビームの大部分が出口開口から放射されるように、ビームスプリッタ２３Ａは配置されている。しかしながら、これに加えて、外部から入射する迷光２６Ａが出口開口を通過して検出器２５Ａに到達し、測定に影響を与えて精度を低下させる。これは、検出器がレーザに対して後方に、すなわち、レーザに背を向けた方向に向いており、外界に向いているためである。
【００２９】
図２Ｂには、入射背景光の干渉の問題に対する新規な解決法に従って構成された例示的なパワーメータが示されている。この構成では、検出器２５Ｂは、出口開口の近くに配置されるが、レーザに対して前方向に、すなわち、レーザに向いて、外界に背を向ける方向に向いている。したがって、筐体に入射する迷光は検出器に衝突しないので、レーザパワーの読み取りに影響を与えない。この実装では、ビームスプリッタは、同様に、ビームの９８％が透過され、２％が検出器に向かって反射されるようなものであってもよい。この構成において、検出器２５Ｂは、レーザビーム２４Ｂの２％がスプリッタ２３Ｂに衝突した後に偏向されて検出器２５Ｂに到達するが、迷光ビーム２６Ｂからのパワーはほとんど到達しないように配置される。
【００３０】
レーザは不透明な筐体内に収容されるように図２Ｂに示されているが、パワーメータは、外部から発生したレーザビームを測定するための別個の装置として構成することもできることが理解されるべきである。この場合、筐体は開口部を有し、ビームが開口部に入るようにレーザを配置する必要がある。外部光の入射を低減するために、レーザは、最も有

利には、可能な限り開口部に近接して配置されるか、又は開口部を含む筐体壁に接触さえするべきである。

【００３１】

次に図３を参照すると、レーザ２１からパワー検出器２７に向かって前方向２２に進むレーザビームの小部分を分離するように設計されたパワーメータモジュールに使用されるビームスプリッタ２６が概略的に示されている。スプリッタ２６は、後方向２４から来る光を損失素子２５、典型的にはビームの範囲内の波長を吸収する構成要素に向けて方向転換させ、これは、後方ビームの相当な部分が検出器に向かってさらに反射されるのを防止するために、反射ビームの大部分を吸収する。図２Ｂに示されるように、これらの構成要素は、特にスプリッタ２３及び損失要素２５上での埃の蓄積を防止するために、光学的に不透明な筐体内に密閉される。

【００３２】

レーザビーム、特に多モードダイオードレーザビームは、しばしばビーム形状が変化する。次に図４は、典型的なビーム形状の画像を示しており、これは、速軸３３及び遅軸３４がマーキングされたレーザビームプロファイル３２を示している。対角線３５で示されるいわゆる「ホットスポット」は、ビーム３２全体の形状と同様に、レーザの通常動作中に形状、位置、及び強度をしばしば変化させる。このようなビームの形状の動的変動がパワー測定結果を変化させることを回避するために、ビーム全体が均一な効率でサンプリングされなければならず、これは一般に、ビーム全体を検出器上に集束させることによって達成されてきた。しかしながら、このような構成は、ビーム及び検出器に対する集束素子のアライメントに高感度であり、経時的にドリフトする傾向があり、再アライメント又は再較正が必要とされる。

【００３３】

次に図５を参照すると、ダイオードレーザビームの軸の別の視点が概略的に示されている。ビーム４２は、シングル縦モードダイオードレーザ又はマルチ縦モードダイオードレーザのいずれかであるダイオードレーザ４１から放射される。このようなダイオードレーザからのビーム４２は、典型的には、異なる動作をする、２つの異なる直交軸４３、４４を有し、ダイオードエミッタから約２５°～５０°で広がるいわゆる速軸４３、及びダイオードエミッタから５°～２０°で広がる遅軸４４である。遅軸４４を横切るモードは、高速軸を横切るモードと比較して、典型的には、あまり一貫性がなく、あまり安定性がない。したがって、速軸４３の方向におけるビームの断面は、通常、ガウス形状４５に近く、経時的に大きく変化することはない。

【００３４】

遅軸４４におけるパワープロファイルの一貫性の欠如のために、サンプラは、均一な効率でビームの遅軸４４全体をサンプリングする必要がある。速軸４３のサンプリングは、その方向のパワープロファイルがより安定であり、任意の所与の断面でのサンプリングが、その方向のビームプロファイル全体を代表したままであるため、感度が低い。その結果、場合によっては、空間における速軸４３の一部の不均一なサンプリングで十分である。

【００３５】

次に図６Ａ及び６Ｂを参照すると、ビームパワーの正確な測定を確実にするためのソリューションが概略的に示されている。場合によっては、ビーム全体を検出器パワーメータに集束させることは、実用的でないか又は不可能である。このような場合、分割ビームの均一なサンプリングは、ビームを拡散器５６、５７に衝突させ、そこから拡散光がそれぞれ検出器５０、５９に衝突することによって達成される。拡散器の目的は、サンプリング比がビームの各部分で同じになるように、拡散器によって収集された光が、拡散器に入射するビームの各部分を等しく代表することを確実にすることである。このような拡散器５６、５７とパワー検出器５０、５９との間のパワーメータの光路長が、それぞれ遅軸におけるビーム径よりも実質的に長い場合、ここでビーム路長の係数がビーム径の３０倍であることは十分と考えられており、単純な拡散器を使用して、パワーメータによるビーム全体の略均一なサンプリングを得ることができる。パワーメータの光学的長さが短いシステ

ムでは、拡散器及びパワーメータ上の異なる点の間の距離の差により、不均一なサンプリングが生じ、これにより、ビーム形状の変化に対する高感度を引き起こし得る。これは、図６Ａにおいて、拡散器５６の異なる側からのビームが検出器５０に衝突するように示されており、図示されている例では、ビームの左側からの光は、ビームの右側からの光よりも検出器に近く、検出器内でより大きな信号を生成することが明らかである。上記の基準よりも短い経路長を有するシステムにおいて、ダイオードレーザ放射の遅軸に当てはまるが、ビームプロファイルが、そのプロファイル全体における任意の所与の位置で変化する強度を示す場合、これは、ビームプロファイルの変化に過度の依存性を生じさせる。

【００３６】

多くの場合、このようなビーム直径の３０倍の長い光路は、実用上の理由で望ましくない可能性があり、したがって、別々に又は一緒に、３つの代替ソリューションが実装され得る。第１に、レンズ、集束ミラー又は望遠鏡（図６Ａ及び６Ｂには示されていない）等の光学装置を用いて、拡散器によってサンプリングされたビーム内の最も近い点と、拡散器によってサンプリングされた最も遠い点との差を可能な限り短く維持しながら、より短い空間に適合できるように光路を圧縮し得る。第２に、サンプリングが均一になるように、計画された可変反射率又は透過率を有する拡散器５６を使用して、ビーム内の異なる位置間の異なる距離及び角度を補償し得る。第３に、図６Ｂに示すように、ビーム内の異なる点間の光路長がより均一になるように、遅軸に沿って光が入射する方向に典型的には凹形であるか、又は両軸に対して凹形である、成形された拡散器５７が使用されてもよい。検出器５０、５９が拡散器の曲率中心の近くに配置される場合、拡散器内の各点から検出器までの距離は同じである。典型的には、完全な円形開口からのわずかな偏差は、ビームによる拡散器の均一な軸外照射を可能にする。これらの３つのソリューションは、一緒に又は別々に使用されてもよい。

【００３７】

光学設計の当業者であれば、このようなシステム及びその組み合わせをどのように設計及び構築するかを知っているであろう。このように、これらの３つの特徴の組み合わせの実装は、ビームモードの変化に対する弾性を達成する。

【００３８】

図６Ｂに示すように、単一の検出器素子の代わりに、一対の検出器５０、５９を使用することが有利である。検出器は、それらを結ぶ線がレーザダイオードの速軸の方向に光学的に平行になるように配置される。このように、２つの検出器は、拡散ビームの中心から僅かにずれていても、同様の信号を生成する。これをより明確に図７に示す。これらの類似の信号は、２つの信号が異なり始めるので、システムが較正を外れている場合に警告を与えるために使用されてもよく、それによって、パワーレベルの低下、ビームの終了、及び／又は技術者の呼び出し等の危険な動作を防止するための訂正アクションの実行を可能にする。

【００３９】

拡散器ベースの検出方式の実装は、一般に、光が拡散器から離れて多くの方向に拡散されるので、光検出器によって光を収集するために全体立体角のごく一部のみを利用する。したがって、これらの構成のいずれかへの拡張は、拡散ビーム内に多数のこのような検出器を実装し、複数の同時パワー指示信号を提供することによって得られる。これらの全ての信号が、パワー以外の元のビームの特性に依存しないため、これらの信号は、互いに一度だけ較正される必要があり、この較正は、ビームプロファイルの変動にもかかわらず維持されることが確実にされる。詳細には、円筒形拡散器の場合、複数の検出器が円筒軸に沿って配置され得る。

【００４０】

本システムの他の典型的な態様は、図６Ｂに示されるように、埃からの密閉の重要性である。サンプラ及びビームの経路内の他の要素上に埃が蓄積すると、サンプリング比が変化し、ビームパワーの測定が不正確になる可能性がある。このような埃の問題を回避するために、システムは、例えば、埃筐体５８によって、又はラビリンス空気通路を使用して

外部と内部との間の空気通路を延長し且つ複雑にすることによって密閉され、埃がサンプリングシステムに到達するのを防止することができる。拡散器５７及び検出器５０、５９は、モジュールに入射する任意のランダムな光がサンプリング測定の精度に及ぼす影響が低減されるように、遮光筐体５５内にさらに密閉されてもよい。

【００４１】

次に図７を参照すると、この例示的な構成では、パワーメータの筐体６１５の外側に配置されたレーザソース６２１から入射する光ビーム６１０のパワーを追跡するための例示的なスキームが概略的に示されており、ビームは入口開口６０２を通って入っているが、図２Ｂの例示的なシステムで示されたように、レーザは筐体内に配置されてもよい。上記の実装と同様に、入射ビームの一部を検出器６０１，６０９に向けて偏向させるために、ビームスプリッタ６０７が使用される。このモジュール６００では、ビーム６１０は、スプリッタ６０７によって、出口開口６０３から受信機に向けて方向付けられた主ビーム６１１と、全レーザビームの既知の小部分を構成するより小さなサンプリングされた部分６１２とに分割される。ビームサンプル６１２は、遮光筐体６１６に入り、そこで拡散器素子６０８に衝突する。拡散器素子６０８は、球形、円筒形、又は衝突ビームの波面のスクランブルを容易にする他の形状であってもよく、その結果、各光子の方向は、他の光子に対してランダム、又は略ランダムである。ビーム６１７の速軸が２つの検出器の中心を結ぶ線に平行であり、遅軸が検出器が互いに隣接する方向に沿っているように、散乱ビームの一部が一対の検出器６０１，６０９に衝突する。この構成では、両方の検出器が遅軸の全長をカバーし、それにより、その方向に沿ったビームプロファイルにおける起こり得るノイズの多いランダムな変化を両方が等しくカバーする一方で、速軸に沿ったより安定なガウスプロファイルは、各部分が時間的に合理的に安定なままであるので、各検出器によって部分的にカバーされ得る。

【００４２】

円筒形拡散器は、例えば、多モード端面発光ダイオードレーザを使用する場合に、入射ビームの２軸において元のビームの空間分布が非対称である場合に最もよく機能する。図６の符号５７で示されるような拡散器の湾曲した軸は、より強い空間的変動によって特徴付けられるビームの軸と整列される。

【００４３】

図３及び４では、これはそれぞれレーザの遅相軸３４、４４である。次に、両方の検出器は、光信号を電気信号に変換し、信号のパワーの測定値を提供する。次に、この情報は、安全性の判断に使用される。

【００４４】

図７には、主光ビーム６１１の一部がパワーメータに向かって反射されることが示されており、この光６１３は、開口６０３を通って外部からシステムに入射する。開口６０３に入射するスプリアス光は、レーザビームの反射以外の光源からの周囲光であってもよい。この入射光６１３はビームスプリッタ６０７に衝突し、衝突した光の一部はビーム６１４として反射され、ビーム吸収体６０５に衝突する。ビーム吸収体６０５は、反射されたビーム６１４が、システム６００の構成要素を取り囲んで密閉する筐体６１５内でさらに反射されることを防止する。

【００４５】

図７に示されるような構成を使用すると、一対の検出器６０１，６０９にもたらされる電気信号は、そのパワー以外の元のビームの特性にほとんど影響されない。このような他の特性には、限定されないが、偏光、波長及び空間分布が含まれる。パワーを測定するために従来技術で提案された解決策は、典型的には、スプリッタにおいて低い結合係数を使用することを示唆している。パワーの０．５％未満又はさらに０．２％未満の典型的な結合係数値は、スプリッタで光の結合を外すための誘電体コーティングを使用して可能であり、追加の損失が、典型的に、特に拡散器において、また他の部分においても生じる。誘電体スプリッタは、使用可能であるが、いくつかの欠点がある。

【００４６】

レーザ、特にダイオードレーザは、縦モードホップ及びタイプの波長が変化し、その結果、経時的に波長及び／又は帯域幅への小さなシフトが生じる。誘電体コーティングは波長の変化に高感度であり、したがって、誘電体コーティングを使用することは、これらの波長の変化に高感度であり得るシステムをもたらし、したがって安全でなくなる。波長耐性誘電体コーティングが利用可能であるが、より高価である。

【００４７】

一方、金属表面からのフレネル反射は、典型的には、波長変化に対する感度がはるかに低い。本願に記載のシステムでは、従来の誘電体コーティングスプリッタの代わりに金属表面反射に基づく、又はフレネル反射に基づくスプリッタの使用がより有利である。いくつかの実装では、出力ビームが分割される反対側のスプリッタの表面は、反射防止コーティングでコーティングされてもよい。一部の実装では、特に高パワーの又は大きなビームで使用するために、ポルカドット金属コーティングが使用されてもよい。

【００４８】

第１の好ましいサンプラは、スプリッタ６０７の典型的に透明な光学表面の前面ファセット、すなわちレーザビームに面するファセットからのフレネル反射を使用する。後面ファセットは、典型的には、それからの反射を防止するために反射防止コーティングされているが、両方の表面から反射する実施形態は、いくつかの状況では、特にサンプラが薄く、その面が僅かに平行でない場合に有利であり得る。サンプラは、ビームによってカバーされる領域全体にわたって空間的に一貫しており、したがってビーム形状の変化に対する感度を低減する。

【００４９】

このような構造は、固定波長を有する固定偏光ビームをサンプリングするのに非常に適している。

【００５０】

サンプリング角度は、フレネル反射がビーム６１０の小部分をサンプリングするように選択される。典型的には、ブリュースター角の０％～７５％の小さい角度は、偏光に依存しないという利点がある。ブリュースター角の７５％～１２０％の大きな角度は、偏光により高感度であるが、（特に「Ｐ」偏光の）より高い透過を可能にし、したがってより高い効率をもたらす。４５°に近い角度は、典型的には、最もコンパクトな構造を可能にし、これは、コンパクトなシステムが望まれる場合に有利であり得る。有利な一実施形態では、主要な偏光は、サンプラ軸における「Ｐ」偏光として設定され、したがって、約４５°の入射角におけるサンプリング比は、サンプリング比が典型的には３～５％である０°に近い角度におけるサンプリングに対して小さい（約１－１．３％）。このようにして、波長及び偏光の変化に対する弾性が達成される。

【００５１】

したがって、本発明の検出装置は、拡散器素子６０８及びそれに続く光検出器６０１，６０９を含み、これは拡散されたビームの立体角の一部のみから光を収集する。拡散器素子は、拡散分布がビームの元の方向に沿って生成される透過性のもの、又は拡散ファセットからの反射によって分布が生成される反射性のものであり得る。図７に後者の場合を示す。完全拡散器は、サンプリングされたビームの偏光又は波長に依存しない普遍的なランバート分布を生成する。この分布の固定立体角は、光検出器によって収集され、パワー指示信号に変換されるので、この指示信号もまた、サンプリングされたビームの偏光及び波長に低感度である。実用的な拡散器は、パワー追跡システムの要求される精度に関して偏光及び波長に対する残留依存性が無視できるように選択される。

【００５２】

一実施形態では、光検出器６０１，６０９は、拡散器領域全体が検出器に対して実質的に同じ距離及び角度を共有するように、拡散器から十分に大きな距離に配置される。このような配置は、拡散器の全ての座標がパワー指示信号に等しく寄与することを保証し、したがって、この信号は、元のビームの空間分布には影響されない。実際には、サンプリングされたビームの所与の横方向範囲に対して、検出距離は、パワー追跡システムの要求さ

れる精度に関して残留幾何学的差異が無視できる感度を生じるように選択される。

【００５３】

光検出器によって収集される光の量、したがって、関連するパワー指示信号の大きさは、収集立体角によって決定され、これは検出距離及び検出器領域に依存する。別の実施形態では、検出器領域は、僅かに大きい光検出器の真上に配置されるピンホール開口によって決定される。このような設計は、意図せずに感光性である検出器の領域をマスクし、したがって正確なサイズの活性領域を提供する。このようなピンホールの典型的な直径は、限定されないが、３００μｍであり得る。別の実装では、検出器領域は、意図しない偶発的な感光性の影響がパワー追跡システムの精度に影響を及ぼさないように十分に大きい。さらに別の実施形態では、意図しない感光性は、期待される信号の一部として特徴付けられる。

【００５４】

別の実装では、サンプリングされたビームは拡散器上に集束され、したがって、その横方向の広がりを著しく減少させる。このような設計は、検出距離の低減を可能にし、したがって、元のビームの空間分布に対するパワー指示信号の耐性を犠牲にすることなく、よりコンパクトなシステムをもたらす。

【００５５】

さらに別の実装では、拡散器は球状プロファイルを有する。

【００５６】

このような要素の単純な実装は、球状拡散反射体である。この球体の原点に光検出器を配置すると、全ての拡散器点は、この場合は球体半径である検出距離に関係なく、検出器に対して同じ距離を共有する。したがって、元のビームの空間分布への依存性の欠如は、いかなる検出距離に対しても保証される。

【００５７】

検出器／センサは、湾曲した拡散器（円筒状又は球状）の焦点から離れた位置に配置するのが最適であり、これは、典型的には、拡散器の表面から曲率半径の１／２に見出される。機械的設計に依存して、拡散器によって発生された幅広いビームは、所定の機械的要素にぶつかり、光学的検出器に向かって鏡面的に又は拡散的に反射され得る。この寄与は、直接収集のみによって期待される値を超えてパワー指示信号を増加させる。好ましい実施形態では、全ての潜在的な機械的反射器は、パワー指示信号に対するそれらの寄与が無視できるような距離に配置される。別の実施形態では、間接的な収集経路を阻害するために複数のバッフルが配置される。

【００５８】

これらは、自身の反射が検出器に届かないシャッターである。さらに別の実施形態では、関連する機械要素は、パワー指示信号に対するそれらの寄与を最小化するために、吸収材料でコーティングされる。このようなコーティングは、例えば、イスラエルのキルヤットガットのＡｃｋｔａｒ　Ａｄｖａｎｃｅｄ　Ｃｏａｔｉｎｇｓ社から入手可能なＭｅｔａｌ　Ｖｅｌｖｅｔ（ＴＭ）であってもよい。

【００５９】

本発明は、上記で特に示されかつ説明されたものに限定されないことが当業者には理解される。むしろ、本発明の範囲には、上述した種々の特徴の組み合わせ及び部分的組み合わせ、並びに、上記の説明を読んだときに当業者によって行われ得る、先行技術にはない、これらの変形及び修正の両方が含まれる。

【図面】

【図１】

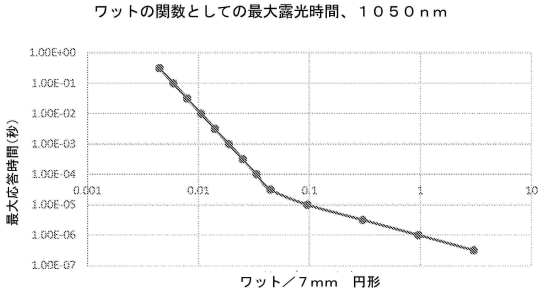


Fig. 1

【図２】

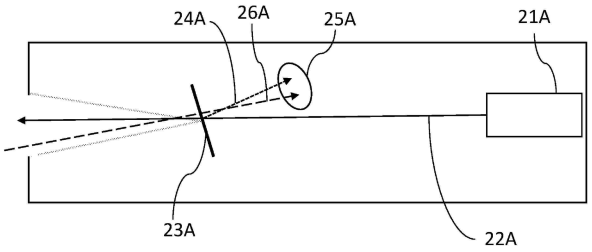


Fig. 2A （先行技術）

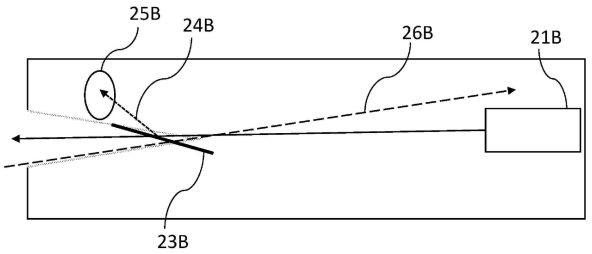


Fig. 2B

【図３】

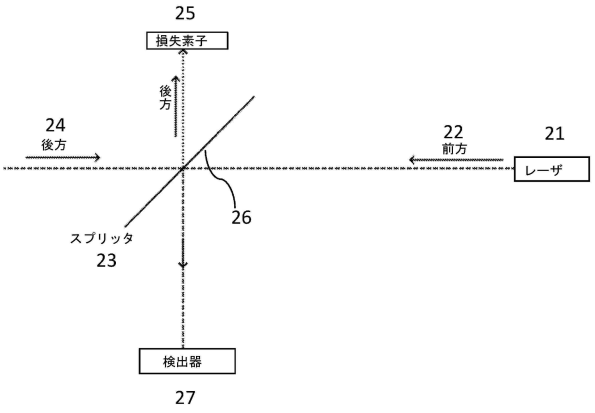


Fig. 3

【図４】

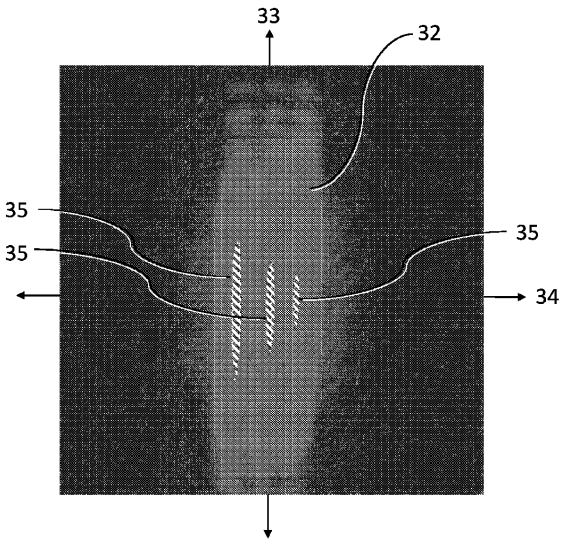


Fig. 4

【図５】

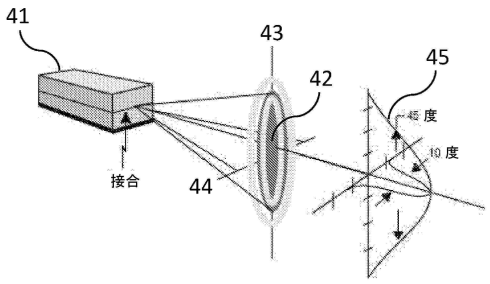


Fig. 5

【図６】

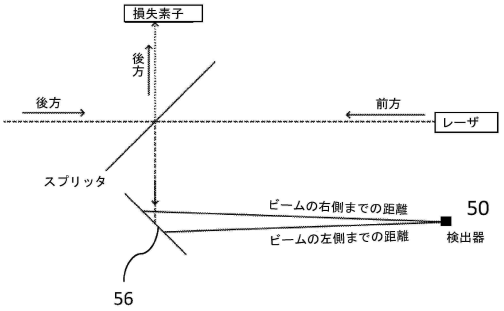


Fig. 6A

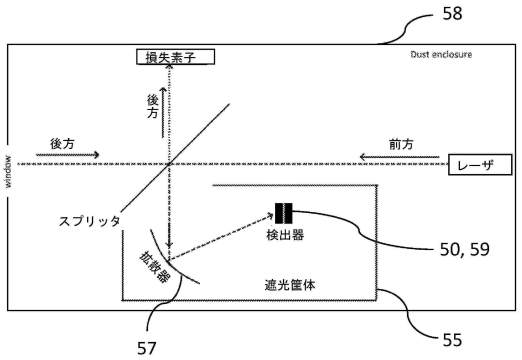


Fig. 6B

【図７】

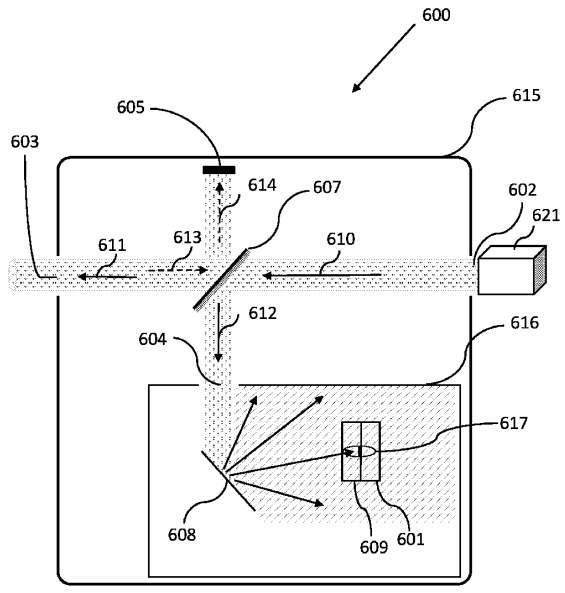


Fig. 7

フロントページの続き

(72)発明者　ゴラン、 リオール
イスラエル国 ５２５０３０８ ラマトガン ドブ フリードマン ストリート １６
(72)発明者　ナミアス、 オメル
イスラエル国 ９０８８５００ アミナダブ ハエゴズ ストリート ２２５
(72)発明者　ミルズ－レビン、 ゾーハ
イスラエル国 ７６６２０３７ レホボト ハール ハゾフィム ストリート ２５
(72)発明者　サギ、 ラン
イスラエル国 ６７４５４６１ テルアビブ ブルリア ストリート ２３
(72)発明者　アルパート、 オータル
イスラエル国 ７４０２００１ ネスジオナ ビアリク ストリート ３７
(72)発明者　モール、 オリ
イスラエル国 ６２９１００６ テルアビブ ハミシュナ ストリート １４

審査官　小澤 瞬
(56)参考文献　特表２００３－５０３８６１（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２３４１２５（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－３４４８４４（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０４８４２４０４（ＵＳ，Ａ）
実開平０１－０２７６２９（ＪＰ，Ｕ）
特開昭５９－１６４９２２（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－０５０８５９（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－２７２２７２（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１８５４９４（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－０７６９６２（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－０６２２４０（ＪＰ，Ａ）
独国特許出願公開第０４００９８２６（ＤＥ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１２／０２０６７３５（ＵＳ，Ａ１）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｊ　１／００ － Ｇ０１Ｊ　１／６０
Ｇ０１Ｊ １１／００
Ｈ０１Ｓ　３／００ － Ｈ０１Ｓ　３／０２
Ｈ０１Ｓ　３／０４ － Ｈ０１Ｓ　３／０９５９
Ｈ０１Ｓ　３／１０ － Ｈ０１Ｓ　３／１０２
Ｈ０１Ｓ　３／１０５ － Ｈ０１Ｓ　３／１３１
Ｈ０１Ｓ　３／１３６ － Ｈ０１Ｓ　３／２１３
Ｈ０１Ｓ　３／２３ － Ｈ０１Ｓ　４／００
Ｈ０２Ｊ ５０／００ － Ｈ０２Ｊ ５０／９０