(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2004-503836
(P2004-503836A)
(43)公表日　平成16年2月5日(2004.2.5)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
G02B 6/32	G02B 6/32		2H037
G02B 27/00	G02B 27/00	R	

審査請求 未請求　予備審査請求 有　（全 54 頁）

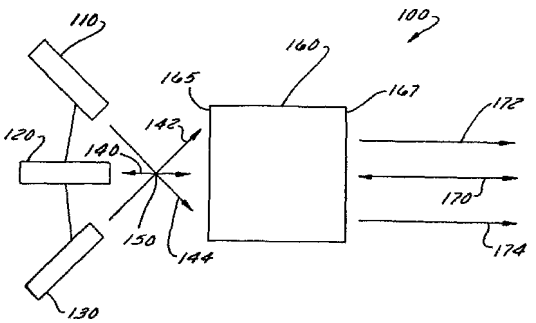
(21)出願番号	特願2002-511503(P2002-511503)
(86)(22)出願日	平成13年6月6日(2001.6.6)
(85)翻訳文提出日	平成14年12月9日(2002.12.9)
(86)国際出願番号	PCT/US2001/018286
(87)国際公開番号	WO2001/097425
(87)国際公開日	平成13年12月20日(2001.12.20)
(31)優先権主張番号	09/591,335
(32)優先日	平成12年6月9日(2000.6.9)
(33)優先権主張国	米国(US)

(71)出願人　500357703
フィジィカル　オプティクス　コーポレーション
アメリカ合衆国　カリフォルニア州　９０５０１－１８２１　トーランス　グラマーシイ　プレイス　２０６００ビルディング　１００
(74)代理人　100062982
弁理士　澤木　誠一
(74)代理人　100102749
弁理士　澤木　紀一
(72)発明者　アグロク　アリャー
アメリカ合衆国　カリフォルニア州　９２６４７　ハンチントン　ビーチ　ディ番コド　サークル　１６８９２

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ビーム結合器

(57)【要約】
非結像ビーム結合器及びコリメータ。この非結像ビーム結合器及びコリメータは、焦点（１５０）を通る同一波長の光（１４２，１４４）を放射する少なくとも２つの光源（１１０，１３０）と、焦点を通った同一波長の光を受け取り、大気を通る同一波長の光をコリメートする非結像素子（１６０）とを有する。上記少なくとも２つの光源（１１０，１３０）は、光ファイバー源と、光学ファイバーと、階調インデックスレンズと、ファイバーレーザーまたはレーザダイオードを有する。上記非結像素子（１６０）は、入力面（１６５）と、この入力面に隣接する放物面と、この放物面に隣接する円錐面と、及びこの円錐面に隣接する、上記入力面（１６５）に対し反対側の楕円面とを有する。上記放物面は、全内部反射面を有する。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
焦点を通る同一の第１波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源と、
大気を通る同一の第１波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、コリメートする非結像素子とより成る
大気を通る光を結合しコリメートする装置。
【請求項２】
上記少なくとも２つの第１光源が、光ファイバー源と、光学ファイバーと、階調インデックスレンズ焦点システムと、ファイバーレーザーと、及びレーザダイオードとの少なくとも１つを有する請求項１記載の装置。
【請求項３】
上記非結像素子が、
入力面と、
上記入力面に隣接する放物面と、
上記放物面に隣接する円錐面と、及び
上記円錐面に隣接する、上記入力面に対して反対側の楕円面とを有する
請求項１記載の装置。
【請求項４】
上記放物面が全内部反射面を有する請求項３記載の装置。
【請求項５】
焦点を通る同一の第２波長の光を放射する少なくとも２つの第２光源を更に有し、上記非結像素子が大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため上記焦点を通った同一の第２波長の光を更に受け取り、コリメートする請求項１記載の装置。
【請求項６】
上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つに結合した光源制御器と、
この光源制御器に結合した大気条件感知器とを更に有する請求項１記載の装置。
【請求項７】
上記光源制御器が、大気条件感知器によって感知した大気条件をベースとして上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによって放射された光を制御する請求項６記載の装置。
【請求項８】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できることを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによる光の放射を停止せしめる請求項７記載の装置。
【請求項９】
上記大気条件感知器が、大気によって容易に光を伝達できないことを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つにより光を放射せしめる請求項７記載の装置。
【請求項１０】
上記大気条件感知器がレーザレーダを有する請求項６記載の装置。
【請求項１１】
上記光源制御器が、上記大気条件感知器によって感知した大気をベースとして大気を通る光の出力の増大、維持及び低下の少なくとも１つを行なう請求項６記載の装置。
【請求項１２】
上記大気条件感知器が、大気を通る同一の第１波長の光ビーム内の大気条件を感知する請求項６記載の装置。
【請求項１３】
請求項１記載の装置を有する製版器。
【請求項１４】
請求項１記載の装置を有する、対象物を標的とするための標的指示システム。

【請求項１５】
焦点を通る同一の第１波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源と、
大気を通る同一の第１波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、コリメートし、及び
大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第２波長の光を受け取り、コリメートする非結像素子と、
を含む第１の大気光学データノードと、
第２の大気光学データノードと
より成る大気光学ネットワーク。
【請求項１６】
大気から上記同一の第１波長光と同一の第２波長光を受け取るレシーバを更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項１７】
上記レシーバが、光を結合し、コリメートするための装置から略１０キロメータ離れている請求項１６記載のネットワーク。
【請求項１８】
上記レシーバが、同一の第２波長の光から同一の第１波長の光を分解する波長分割デマルチプレクサを有する請求項１６記載のネットワーク。
【請求項１９】
上記レシーバが、加／減マルチプレクサを有する請求項１６記載のネットワーク。
【請求項２０】
コリメートした光を大気を通して反射する反射器を更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項２１】
コリメートした光を第１及び第２レシーバに屈折する屈折器を更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項２２】
上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つに結合した光源と、
上記光源制御器に結合した大気条件感知器と、
を更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項２３】
上記光源制御器が、上記大気条件感知器によって感知した大気条件をベースとして上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによって放射された光を制御する請求項２２記載のネットワーク。
【請求項２４】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できることを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによる光の放射を停止せしめる請求項２３記載のネットワーク。
【請求項２５】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できないことを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つにより光を放射せしめる請求項２３記載のネットワーク。
【請求項２６】
上記大気条件感知器がレーザレーダを有する請求項２２記載のネットワーク。
【請求項２７】
上記光源制御器が、上記大気条件感知器によって感知した大気をベースとして大気を通る光の出力の増大、維持及び低下の少なくとも１つを行なう請求項２２記載のネットワーク。
【請求項２８】
上記大気条件感知器が、大気を通る同一の第１波長の光ビーム内の大気条件を感知する請

求項２２記載のネットワーク。
【請求項２９】
焦点を通る同一の第１波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源と、
焦点を通る同一の第２波長の光を放射する少なくとも２つの第２光源と、及び　大気を通る同一の第１波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、コリメートし、大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第２波長の光を受け取り、コリメートする非結像素子と
より成る大気光学データノード。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明はビーム成形装置、特に、大気を通る光を結合し、コリメートする方法及び装置に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
現在、照明システムは光を伝達するために用いられている。この伝達光は光源とレシーバ間のデータ伝達に用い得る。例えば、光ファイバーを通して光源からレシーバにデータを伝達できる。更に、伝達光は微小対象物のために用い得る。例えば、レーザ照準器はターゲットをピンポイント照射するために用い得る。更に、伝達光は製版のために用い得る。例えば、高出力レーダではターゲット照明のため伝達光を利用できる。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
然しながら残念なことに、現在の多くの照明システムは多数の用途のために適するパワーを作ることができない。更に、コストとスペースの問題で多くの用途に用いるため光のパワーを増大することができない。例えば、パワーを必要とする理由で大気を通してデータを高速で伝達することはコスト的に不可能である。更に、ピンポイントターゲットのためのシステムのような多くの用途のための大きな照明システムの使用は、コストとサイズの面で実現できない。例えば、現在の最大出力レーザダイオードによっても１～４ワットの出力以上は得られない。このような出力では濃い大気条件において戦争シーンを３次元的に表現するには不十分である。
【０００４】
【課題を解決するための手段】
本発の目的は非結像ビーム結合器及びコリメータ（ＮＩＢＣＣ）を形成することにある。このＮＩＢＣＣは、焦点を通る同一波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源と、大気を通る同一波長の光を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、大気を通る同一波長の光をコリメートする非結像素子とより成る。
【０００５】
上記少なくとも２つの第１光源は、光ファイバー源と、光学ファイバーと、階調インデックスレンズと、ファイバーレーザと、及びレーザダイオードとの少なくとも１つを有する。上記コリメータは、入力面と、上記入力面に隣接する放物面と、上記放物面に隣接する円錐面と、及び上記円錐面に隣接する、上記入力面に対して反対側の楕円面とを有する。
【０００６】
上記放物面は全内部反射面を有する。
【０００７】
本発明のＮＩＢＣＣは、焦点を通る同一の第２波長の光を放射する少なくとも２つの第２光源を更に有する。上記非結像素子は大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため上記焦点を通った同一の第２波長の光を更に受け取り、コリメートする。本発明のＮＩＢＣＣは、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つに結合した光源制御器と、この光源制御器に結合した大気条件感知器とを更に有する。上記光源制御器は、大気条件感知器によって感知した大気条件をベースとして上記少なくとも２つの第１光源の少なくと

も１つによって放射された光を制御する。
【０００８】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できることを感知したとき上記光源制御器は、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによる光の放射を停止せしめる。上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できないことを感知したとき上記光源制御器は、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つにより光を放射せしめる。上記大気条件感知器はレーザレーダを有する。上記光源制御器は、上記大気条件感知器によって感知した大気をベースとして大気を通る光の出力の増大、維持及び低下の少なくとも１つを行なう。上記大気条件感知器は、大気を通る同一の第１波長の光ビーム内の大気条件を感知する。
【０００９】
本発明のＮＩＢＣＣは製版器を有し、また、対象物を標的とするための標的指示システムを用いる。
【００１０】
本発明のＮＩＢＣＣは大気光学ネットワークを用いる。この大気光学ネットワークは大気光学データノードを有する。この大気光学データノードは、焦点を通る同一の第１波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源を有する。上記大気光学データノードは、焦点を通る同一の第２波長の光を放射する少なくとも２つの第２光源を有する。上記大気光学データノードは、更に大気を通る同一の第１波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、コリメートし、及び大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第２波長の光を受け取り、コリメートする非結像素子を有する。上記大気光学ネットワークは、更に第２の大気光学データノードを有する。
【００１１】
上記大気光学ネットワークは、大気から上記同一の第１波長光と同一の第２波長光を受け取るレシーバを更に有する。上記レシーバは、光を結合し、コリメートするための装置から略１０キロメータ離す。このレシーバは、同一の第２波長の光から同一の第１波長の光を分解する波長分割デマルチプレクサを有する。
【００１２】
上記大気光学ネットワークは、コリメートした光を大気を通して反射する反射器を更に有する。上記大気光学ネットワークは、コリメートした光を第１及び第２レシーバに対し屈折する屈折器を更に有する。
【００１３】
上記大気光学ネットワークは、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つに結合した光源と、上記光源制御器に結合した大気条件感知器とを更に有する。上記光源制御器は、上記大気条件感知器によって感知した大気条件をベースとして上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによって放射された光を制御する。
【００１４】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できることを感知したとき上記光源制御器は、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによる光の放射を停止せしめる。上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できないことを感知したとき上記光源制御器は、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つにより光を放射せしめる。
【００１５】
上記大気条件感知器はレーザレーダを有する。上記光源制御器は、上記大気条件感知器によって感知した大気をベースとして大気を通る光の出力の増大、維持及び低下の少なくとも１つを行なう。上記大気条件感知器は、大気を通る同一の第１波長の光ビーム内の大気条件を感知する。
【００１６】
本発明のＮＩＢＣＣによれば以下のような効果が得られる。開度０．５ｍラジアンの高性能コリメート光が得られる。戦場のような条件でも操作の間機械的に頑丈で周期的な調整

を必要としない。モールドやダイヤモンド回転技術によって廉価に大量生産できる。金属部品なしに作り得るため戦場における敵のレーダにとらえられずステルス技術をサポートする。極めてコンパクトで、従来の光学装置の１０分の一である。

【００１７】

本発明のＮＩＢＣＣのサイズは２″×２″×３″である。外面を容易に清掃でき汚染に対し安定である。本発明のＮＩＢＣＣにおける光路差を、１ＧＨｚマイクロウエーブ信号の干渉長さよりかなり小さくできるため、１ＧＨｚマイクロウエーブ変調周波数で位相干渉コリメーションが得られる。高効率（本発明のＮＩＢＣＣ上に反射防止膜を形成した場合透過率９８％以上）の光コリメーションが得られる。本発明のＮＩＢＣＣによればより多くのビームを結合でき、入射ビームの各部分孔がより小さくなるため個々のビームのポテンシャル収差を小さくできる。本発明のＮＩＢＣＣによれば同一波長のビームを結合できる。

【００１８】

本発明のＮＩＢＣＣは極めて廉価であり、温度変化や振動にも安定できる。高輝度を小さい立体角で得られるため、空港着陸灯、高い柱のための定方向接近警報灯、警察用サーチライト、及びヘリコプター接近灯等の多くの多くの商業用途に用い得る。

【００１９】

【発明の実施の形態】

図１は大気を通る光を結合し、コリメートするための本発明装置の一実施例を示すブロック線図である。この装置１００は光源１１０，１２０及び１３０と、非結像素子（ＮＩＥ）１６０とを有する。光源１１０，１２０及び１３０は少なくとも２つの光源１１０と１３０または２つの光源１１０と１３０以上のものを有する。光源１１０，１２０及び１３０は、光ファイバー源、光学ファイバー、階調インデックスレンズ、ファイバーレーザ、レーザダイオードまたは光源として好ましい他の装置を更に有し得る。ＮＩＥ１６０は入力面１６５と出力面１６７とを有する。ＮＩＥ１６０は、光をコリメートし及びまたは結合するための装置を有する。光源１１０，１２０及び１３０は、ＮＩＥ１６０の入力面１６５に向って光を放射する。少なくとも２つの光源が本質的に同一波長の光を放射する。光１４０，１４２及び１４４はＮＩＥ１６０の入力面１６５に向って焦点１５０を通して進む。ＮＩＥ１６０は光１４０，１４２及び１４４をコリメートし、結合する。ＮＩＥ１６０は、出力面１６７からコリメートされ、結合された光１７２と１７４を放出する。焦点１５０を通して受け取った光をコリメートし、結合することによって、ＮＩＥ１６０は受け取った光１４０，１４２及び１４４の強さを合計し、出力面１６７を通る結合光１７０，１７２及び１７４を作る。この結果、第１光源から放射された光の強度が第２光源からの光に加わって２倍の強度となり、第３光源からの光に加われば３倍となる。

【００２０】

光源１２０は、光制御器と大気センサを有し、光源１１０と１３０の少なくとも１つに結合される。例えば、光源１２０は、ライダまたはレーザレーダであり、焦点１５０を通る光１４０を放射し、この光はＮＩＥ１６０を通り出力面１６７から光１７０として放出される。光１７０の一部は、大気条件に応じてＮＩＥ１６０を通して反射される。例えば、きれいな大気に比べ、濃い霧やスモッグの場合にはより多くの光が反射される。光はＮＩＥ１６０を通して反射され光源１２０に達する。光源１２０の大気センサが大気条件の変化を感知する。大気条件が変化したとき、光源１２０の光制御器が光源１１０と１３０から放射される光を制御する。例えば、大気条件が変って光の伝達が困難となった場合には、例えば光源１１０を光制御器が制御し、光を伝達し、または伝達される光の強度を強める。従って、きれいな大気条件では１つの光源を用い、濃い大気条件ではこれを補償するため多くの光源を用いる。

【００２１】

図２は、大気を通る光を結合し、コリメートする本発明の他の実施例を示すＮＩＢＣＣ２００のブロック線図である。このＮＩＢＣＣ　２００は光源２０５とＮＩＥ（ＮＩＥ）２５０とを有する。光源２０５はレーザダイオード２１０，２１２及び２１４と、階調イ

ンデックス（ＧＲＩＮ）レンズ２３０，２３２及び２３４とを有する。このＧＲＩＮレンズ２３０，２３２及び２３４は照明外匣２２０内に設ける。上記ＮＩＥ２５０は、入力面２５２と、放物面２５４と、円錐面２５６及び楕円面２５８とを有する。円錐面２５６はＸ軸２６０の周りの円錐面である。レーザダイオード２１０，２１２及び２１４からの光は、ＧＲＩＮレンズ２３０，２３２及び２３４を介して焦点２７５を通る光２４０となる。この光２４０は、入力面２５２を通してＮＩＥ２５０に入り、反射され、屈折されてＸ軸２６０に平行な光２７０と２７２になる。

【００２２】

レーザダイオード２１０，２１２及び２１４からの光は、ホーン技術または従来の光学装置を用いてファイバー２１６～２１８に結合する。多くのＧＲＩＮレンズ２３０，２３２及び２３４はＮＩＥ２５０の焦点２７５に対し光をガイドする。ＮＩＥは次いで光２７０と２７２を出力する。

【００２３】

ＮＩＥ２５０はＸ軸２６０に回転対称な面を有する。入力面２５２は球面であり、その中心は点２７５である。点２７５からの光は屈折することなく入力面２５２を通して進む。ＡからＢ迄の面２５４は焦点２７５を有する放物面を含む。各光ＦＣは（光ＣＥのように）全内面反射し放物面の軸に平行な光２７０となる。ＢからＤ迄の円錐面２５６は光ＣＥを屈折してＸ軸に平行な光とする。Ｄ－Ｌ－Ｓ迄の楕円面２５８は背面焦点２７５を有する。この楕円面２５８はＦＰのような入射光を直接屈折し、Ｘ軸に平行な例えば出力光２７２とする。ＮＩＥ２５０の捕捉角は１８０°である。（即ち、ＮＩＥは立体角πから光を集める）。これは点光源のための捕捉フリーコリメート素子である。点２７５における焦点サイズは極めて小さい（～５０μｍ）ため、ＮＩＥ２５０は、出射ビームの開度を０．５ｍラジアンとすることができる。ダイヤモンド回転技術を用いた光学プラスチックで作り得るＮＩＥ２５０内の収差を小さく維持するため捕捉角を１６０°に減少する。この捕捉角の減少によって集合光の量が減少することはない。

【００２４】

図３は、本発明の大気光学ネットワークシステム３００を示すブロック線図である。このシステム３００は、データ源３１０、光源３２０，３２２，３２４，３２６及び３２８、焦点３５５を通して放射される光３３０、ＮＩＥ３４０、結合されコリメートされた光３４５、レンズ３５０、と検出器３６０とを有するレシーバと、及びターミナル３７２，３７４及び３７６とを有する。データ源３１０は、光３３０を投射するため光源３２０～３２８のためのデータを作る。例えば、データ源３１０は、パルス光を放射するため光源３２０～３２８のための２進データを作る。異なるチャンネルを有効ならしめるため、光源３２２と３２４は１つのチャンネルのため第１波長の光を放射する。更に、区分チャンネルを有効ならしめるため、光源３２６と３２８は第２波長の光を放射する。従って、第１チャンネルのデータを光源３２２と３２４によって伝達し、第２チャンネルのデータを光源３２６と３２８によって伝達する。

【００２５】

光源３２０は、光源３２２，３２４，３２６及び３２８の制御において大気条件を感知するための大気センサと、光制御器とを有する。従って、きれいな大気条件ではパワー節約のため用いる光源の数を少なくする。濃い大気条件では、大気を通る光のパワーを増大するためチャンネル毎に用いる同一波長の光源を増やす。光制御器と光センサはシステム３００の外側に配置する。従って、光制御器と大気センサのための光をＮＩＥ３４０を通して受け取る必要がない。

【００２６】

光３３０は焦点３５５を通してＮＩＥ３４０に伝達される。ＮＩＥ３４０は光３３０を結合し、コリメートする。光３４５がレシーバのレンズ３５０によって受け取られ、レシーバの検出器３６０にフォーカスされる。検出器３６０は、データの異なるチャンネルを異なるターミナル３７２，３７４及び３７６に分配する。例えば、検出器３６０は、検出アレイ、波長分割デマルチプレクサ、光電変換器及びまたは加／減　マルチプレクサ／デマ

ルチプレクサを有する。ターミナル３７２，３７４及び３７６は付加検出器、コンピュータターミナル、サーバ、ノードまたはデータを利用できるものを含む。

【００２７】

図４は、本発明のレシーバ４００のブロック線図である。このレシーバ４００は図３に示すシステム３００の検出器３６０として機能する。レシーバ４００は、検出器４２０、光学ポンプ４３０、光電検出器４４２，４４６及び４４８、テスター４５０及び及び音響光加／減　マルチプレクサ／デマルチプレクサ（ＡＯＡＤＭ）４５２を有する。検出器４２０は大気から光４１０を受け取る。検出器４２０はレンズまたはビームスプリッタ、検出回路、光学センサ、波長分割デマルチプレクサ等を有する。この検出器は、光４１０から受け取ったデータをレシーバ４００の他の素子に分配する。このデータは光または電気データとして分配される。光学ポンプ４３０は光データのようなデータまたは光を受け取り、連続した伝達のため光を増幅する。光電検出器４４２～４４８は光としてデータを受け取り、この光を電気的システムによって使用するための電気信号に変換する。各検出器４４２～４４８は光４１０からデマルチプレクサされた分離チャンネルを受け取る。次いでこの検出器４４２～４４８はこの光データを次の装置に伝達するため電気信号に変換する。

【００２８】

テスター４５０は種々の基準をベースとして大気条件をテストし、他の装置を好ましく制御する。例えば、テスター４５０は大気条件をテストするためインバンドライダーを用いる。ＡＯＡＤＭ４５２には、光保持データの付加的波長の形の付加的チャンネルを加または減でき、付加的ＮＩＢＣＣを用いることによって信号を連続して伝達できる。ＡＯＡＤＭ４５２は連続伝達のため受け取った信号を再生できる。ＡＯＡＤＭ４５２は光学的ドメイン内全体で機能を達成でき、電気的ドメインに変換し、次いで光学的ドメイン内に返すことができる。ＡＯＡＤＭ４５２は次いで信号を他のレシーバに送る。

【００２９】

図５はＮＩＢＣＣを用いた本発明の基本システム５００の説明図である。基本システム５００は、第１大気光学データノード（ＡＯＤＮ）５１０、第２ＡＯＤＮ５２０、コリメートされ、結合された光５３０、第１構造物５４０及び第２構造物５５０を有する。第１ＡＯＤＮ５１０は第１構造物５４０上に設ける。第２ＡＯＤＮ５２０は第２構造物５５０上に設ける。構造物５４０及び５５０はビルディング、タワーまたはＡＯＤＮを囲むのに好ましい他の有用な構造物を含む。構造物５４０と５５０は、例えば略１０ｋｍ離して配置する。ＡＯＤＮは、例えば図１に示す装置１００のような大気を通る光を結合し、コリメートするための装置を含む。ＡＯＤＮ５１０は、結合され、コリメートされた光５３０の形のデータを第２ＡＯＤＮ５２０に伝達する。従って、基本システム５００は、キャンパスエリアネットワークのようなメトロポリタンエリアネットワーク（ＭＡＮ）を実現するために用い、または、ワイドエリアネットワーク（ＷＡＮ）を実現するために用いる。

【００３０】

図６は、ＮＩＢＣＣを用いた本発明のネットワーク６００を示す説明図である。このネットワーク６００は、構造物６１０～６１４、ＡＯＤＮ６２０～６２４及び反射器６３０を有する。ＡＯＤＮ６２０は結合し、コリメートした光を用いてデータをＡＯＤＮ６２１に伝達する。ＡＯＤＮ６２１は、光を用いて伝達されたデータを受け取り、光を再生し、ＡＯＤＮ６２２と６２３に対し反射または屈折する。ＡＯＤＮ６２３は伝送されたデータを用い、光を更に反射器６３０に伝達する。反射器６３０は光をＡＯＤＮ６２４に反射する。従って、反射器６３０は、ＡＯＤＮ６２３からＡＯＤＮ６２４迄の直接通路を阻止する障害物に打ち勝つために用いる。ネットワーク６００は、ＷＡＮまたはＭＡＮを実現するために用いる。ＡＯＤＮ６２０～６２４の総べては、図４に示すようなレシーバと、図１及び図２に示すようなＮＩＢＣＣを用いる。

【００３１】

図７は、本発明の彫刻器７００の説明図である。この彫刻器７００は、光源７１０，７２０及び７３０と、ＮＩＥ７４０とを有する。光源７１０，７２０及び７３０は焦点を通し

て光をＮＩＥ７４０に投射する。ＮＩＥ７４０は次いで光７５０として結合し、コリメートし対象物７６０に送る。従って、ＮＩＥ７４０は、光源７１０，７２０及び７３０によって反射された光７３５の合計強度に等しい大きい強度の光を作る。彫刻器７００は光を用いて種々の対象物７６０を彫刻するために用いる。

【００３２】

図８は、本発明のターゲット指示システム８００の説明図である。このターゲット指示システムは、光源８１０，８２０及び８３０と、ＮＩＥ８４０とを有する。光源８１０，８２０及び８３０は、焦点を介して光８３５をＮＩＥ８４０に放射する。ＮＩＥ８４０は、対象物８６０を指示するために用いる。従って、光源８１０，８２０及び８３０のパワーをＮＩＥ８４０によって結合し、大きい強度の光８５０を作る。この高強度の光８５０は次いで対象物８６０を指示するために用いる。

【００３３】

図９は、図２に示すＮＩＢＣＣのような本発明のＮＩＢＣＣ９００の説明図である。このＮＩＢＣＣ９００は、ＮＩＥ９１０と、ファイバー９２５，９３５及び９４５の列に設けたＧＲＩＮレンズ９２０，９３０及び９４０を有する。ＮＩＥ９１０は半球全体からの光を集める。最大受け入れ光はＦＡである。側面ＡＢは、全内面反射角ｋまたはこの角度より大きい角度で光を反射する放物回転面である。角度ｋは数１で示される。

【００３４】

【数１】

$$h \sin k = 1, \qquad (1\text{-}2)$$

【００３５】

ここで、ｈは非結像素子材料の反射係数である。全ての光は光軸ＦＯから角θで反射する。円錐面ＢＤで反射後、出射光は軸ＦＯに平行となる。

【００３６】

【数２】

$$n \sin \alpha = \sin \beta \qquad (1\text{-}3)$$

【００３７】

ここでｎは屈折率である。

【００３８】

出射光γは軸ＦＯと平行である。三角形ＦＥＭから数３が得られる。

【００３９】

【数３】

$$\beta = 90° - \phi \qquad (1\text{-}4)$$

【００４０】

ここでＥＭは円錐面ＤＢに対し直角である。三角形ＣＮＥから数４が得られる。

【００４１】

【数４】

$$\alpha = 180° - \theta - \delta \qquad (1\text{-}5)$$

【００４２】

従って数５が得られる。

【００４３】

【数５】

$$\delta = 180° - \beta \qquad (1\text{-}6)$$

【００４４】

または数３を考えれば、数６と数７が得られる。

【００４５】
【数６】
$$\delta = 180° - 90° + \phi = 90° + \phi \qquad (1\text{-}7)$$

【００４６】
【数７】
$$\alpha = 180° - \phi - 90° = 90° - \theta - \phi \qquad (1\text{-}8)$$

【００４７】
従って、非結合素子のデザインを定める主な式は数２のように示し得る。

【００４８】
【数８】
$$n \sin(90° - \theta - \phi) = \sin(90° - \phi), \text{または}$$
$$n \cos(\theta + \phi) = \cos(\phi). \qquad (1\text{-}9)$$

【００４９】
θ＝９０°－２Ｋであり、Ｋは数１から既知であるので数８はφの大きさを与えることになる。

【００５０】
面ＤＬＳは凸状楕円面である。背面焦点は点Ｆである。楕円面の偏心度εが数９のように既知であれば、総べての光は図１０に示すように軸Ｘに対し平行に放出される。

【００５１】
【数９】
$$\varepsilon = 1/n \qquad (1\text{-}10)$$

【００５２】
r_1＝ＦＡ，r_2＝ＡＦ$_1$であれば数１０が得られる。

【００５３】
【数１０】
$$r_1 = a + \varepsilon x \qquad (1\text{-}11)$$

【００５４】
ここでａは楕円軸の半分である。図１０の角φが図９の角φに等しいときは、図１１に示すようになる。区分ＦＤは角φに対しr_1である。r_1を得るため三角形ＦＡＤを考えると数１１と数１２が得られる。

【００５５】
【数１１】
$$r_1 / \sin(90 - \theta) = h / \sin(180 - 90 + \theta - 90 + \phi), \qquad (1\text{-}12)$$

【００５６】
【数１２】
$$r_1 / \cos\theta = h / \sin(\theta + \phi), \qquad (1\text{-}13)$$
$$r_1 = h \cos\theta / \sin(\theta + \phi).$$

【００５７】
焦点Ｆは、Ｘ＝－ａε（図１０）の位置にあるため、点ＤのＸ座標は数１３のようになる。

【００５８】
【数１３】

$$x_D = -a\varepsilon + r_1 \cos\phi \qquad (1\text{-}14)$$

【００５９】
然しながら数１０から数１４が得られる。
【００６０】
【数１４】

$$r_1 = a + \varepsilon x_D \text{ または} \qquad (1\text{-}15)$$

$$r_1 = a + \varepsilon(-a\varepsilon + r_1 \cos\phi).$$

【００６１】
数１４から数１５のようにパラメータａが得られる。
【００６２】
【数１５】

$$a = \frac{r_1}{(1-\varepsilon^2)}(1 - \varepsilon\cos\phi) \qquad (1\text{-}16)$$

【００６３】
数１５からのパラメータａと、数９からのパラメータεとによって楕円が定められる。図９に示すデザインは理論的に収差がない場合である。然しながら、実際には、ファイバー端部の像はＧＲＩＮレンズを通しており点Ｆに集まった光はある有限の大きさを有している。このため出射光はある開度を有するようになる。
【００６４】
許容できる照射角１８０°のＮＩＥは光学材料の屈折率の間隔が極めて小さい。この屈折率の間隔は１．７～１．８５の大きさに制限される。ＮＩＥの形状劣化は、屈折率の減少したＮＩＥの楕円部分のふくらみによって生ずる。これは、屈折率の減少と共に偏心度が大きくなり（数９）、小さな楕円軸絶対値が増加するためである。この屈折率の減少により全内面反射角ｋが増加し（図９）、従って、点Ｄでの高さが大きくなる。屈折率が大きくなれば、楕円が縮少し、形状劣化を生ずる。図１２は本発明の屈折率の異なるＮＩＥの形状説明図である。
【００６５】
ダイヤモンドターニングプロセスはＮＩＥ製造可能な技術である。然しながら、ダイヤモンドターニングプロセスをガラスに適用すれば破裂層を生ずる。デザインは光学プラスチック－アクリルから作る。アクリルの屈折率は１．５である。ＮＩＥの照射角は、屈折率に適応せしめるため１８０°から例えば１６０°に減少せしめる。図１３は本発明の照射角を減少するための結合方式の説明図である。
【００６６】
図１３においては、傾斜放物線ＡＢのため全内面反射を点Ａから始める。大きな全内面反射角ｋにもかかわらず、角θはＮＩＢＣＣの小さな楕円部分を支持するに十分な大きさである（光ＰＤは下降し、点ＤはＦに近づく）。この例では楕円はふくらまない。始めのθがθ＝９０°－２Ｋであればθ＝９０－２Ｋ＋（９０－α／２）が得られる。楕円部分をデザインで十分に小さくてもＮＩＢＣＣにおける収差の主因となる。従って、光ファイバー照明アセンブリはＮＩＢＣＣの許容できる角度に対応する必要がある。
【００６７】
図１４は良質な集光オプティクスを得るため平凸ＧＲＩＮレンズ１４１０と付加的ポジティブコンポネント１４２０とを用いた本発明における集光オプティクス１４００の説明図である。付加的ポジティブコンポネント１４２０は収差を補償し、ファイバー孔０．３５に等しい入力孔を作る。集光オプティクス１４００は図１５に示すように収差を好ましく

補正する。高さ０，０．０２及び０．０３１ｍｍの対象物のための３点拡がり機能が示されている。スポットサイズは直径約０．０１５ｍｍである。集光システムを通ったファイバー先端の像を図１６に示す。

【００６８】

図１７は本発明の他の集光オプティクス１７００の説明図である。この集光オプティクス１７００は、ＧＲＩＮレンズ１７２０と、ポジティブコンポネント１７３０と、ネガティブレンズ１７１０とを有する。このネガティブレンズ１７１０は、ポジティブコンポネント１７３０を通して射出ひとみを放射するために用いる。

【００６９】

図１８は、本発明の他の集光オプティクス１８００の説明図である。この集光オプティクスは、ＧＲＩＮレンズ１８１０と、ネガティブレンズ１８２０と、ポジティブレンズ１８３０とを有する。集光オプティクス１８００の透過度は図１４に示すものより１０倍良好である。視野の縁における最大スポットサイズは約２μｍである。図１９は、４つの視野点のための本発明集光オプティクス１８００の点スプレッドファンクションの説明図である。

【００７０】

改良された集光対物レンズの出口孔は０．４４９または２６°である。７個の集光オプティクスまたはオブジェクティブの配置は、約１５６°でＮＩＢＣＣの入口コーンをカバーできる。このオブジェクティブオプティクスは機械的ハウジング内に組み込むことができる。このハウジングの壁の最小厚さは０．２ｍｍである。図１８に示す１．１５４の像距離で像中断の最小半値角は約９°である。図２０は本発明の集光オブジェクティブ２０００のハウジングの説明図である。

【００７１】

図２１は、本発明の集光オブジェクティブ２０００を有するＮＩＢＣＣに対する投射ビームの配置説明図である。図２１の配置は最適に近く、現在のマイクロオブジェクティブ製造技術で達成できる。

【００７２】

以上本発明の特定の実施例につき説明したが当業者にとって種々変更できることは勿論である。従って、本発明は以上の実施例に限定されるものではない。本発明の実施例は本発明の精神を逸脱することなく種々増減変更可能である。

【図面の簡単な説明】

【図１】

大気を通る光を結合し、コリメートするための本発明システムのブロック線図である。

【図２】

大気を通る光を結合し、コリメートする本発明のシステムまたは装置の説明図である。

【図３】

本発明の大気光学ネットワークのブロック線図である。

【図４】

本発明の一実施例のレシーバのブロック線図である。

【図５】

本発明の一実施例のＮＩＢＣＣを用いたシステムの説明図である。

【図６】

本発明の一実施例のＮＩＢＣＣを用いたネットワークの説明図である。

【図７】

本発明の一実施例の彫刻器のブロック線図である。

【図８】

本発明の一実施例のターゲット指示システムの説明図である。

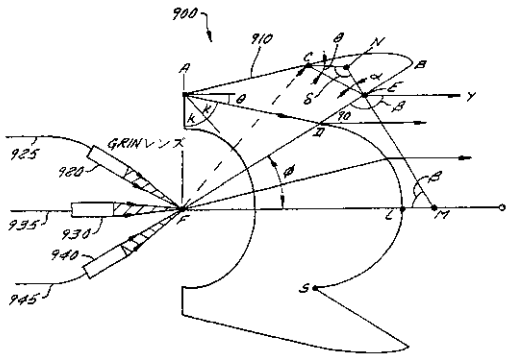
【図９】

本発明の一実施例のＮＩＢＣＣのデザイン説明図である。

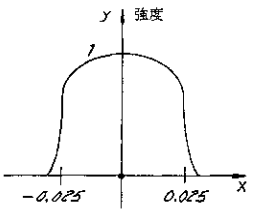
【図１０】

どのように光がＸ軸に平行に放射される説明する図である。
【図１１】
本発明の他の実施例のＮＩＢＣＣのデザイン説明図である。
【図１２】
本発明の一実施例の異なる大きさの屈折率のためのＮＩＢＣＣの形状説明図である。
【図１３】
本発明の一実施例の減少された照射角のための接合方式の説明図である。
【図１４】
本発明の一実施例の集光オプティクスの説明図である。
【図１５】
収差の好ましい補正のための集光オプティクスの説明図である。
【図１６】
集光システムを通ったファイバー先端の像の説明図である。
【図１７】
本発明の他の実施例の集光オプティクスの説明図である。
【図１８】
本発明の他の実施例の集光オプティクスの説明図である。
【図１９】
本発明の一実施例の４つの視野点のための集光オプティクスの点スプレットファンクションの説明図である。
【図２０】
本発明の一実施例の集光オブジェクティブのハウジングデザインの説明図である。
【図２１】
本発明の一実施例の集光オブジェクティブを有するＮＩＢＣＣに対する投射ビームの配置説明図である。

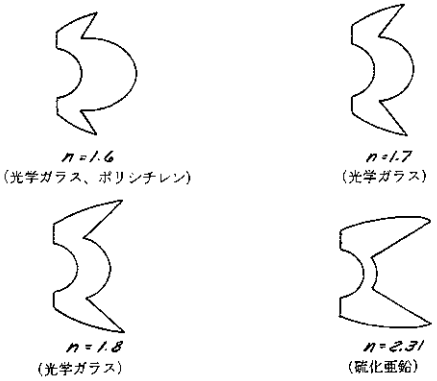
【図９】



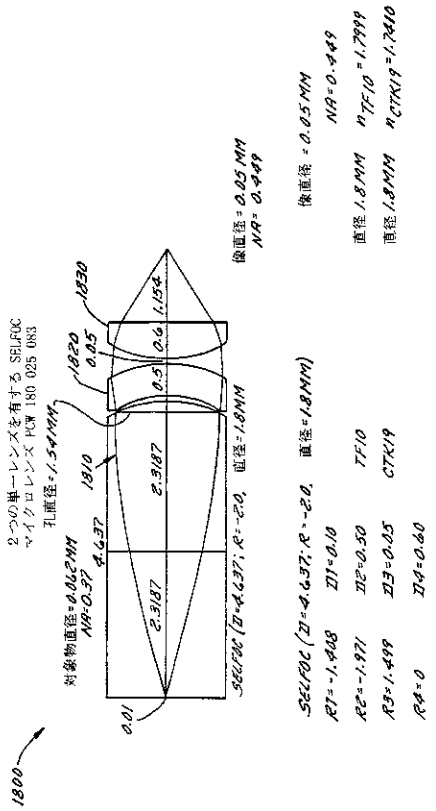
【図１６】



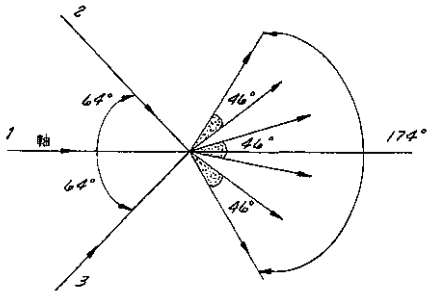
【図１２】



【図１８】


2つの単一レンズを有するSELFOC
マイクロレンズ PCW 180 025 083
孔直径=1.54MM
対象物直径=0.062MM
NA=0.37
4.637
1810
2.3187
2.3187
1820
0.85
0.6
0.5
1830
1.154
0.01
1800
像直径=0.05MM
NA=0.449
SELFOC (D=4.637; R=-2.0, 直径=1.8MM)
SELFOC (D=4.637; R=-2.0, 直径=1.8MM)
R1=-1.408 D1=0.10
R2=-1.927 D2=0.50
R3=1.499 D3=0.85
R4=0 D4=0.60
像直径=0.05MM
NA=0.449
直径1.8MM nTF10=1.7999
直径1.8MM nGTK19=1.7410

【図２１】


2
64°
46°
1
軸
46°
174°
64°
46°
3

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
20 December 2001 (20.12.2001)

PCT

(10) International Publication Number
WO 01/97425 A1

(51) International Patent Classification⁷: H04J 14/02, H04B 10/00

(21) International Application Number: PCT/US01/18286

(22) International Filing Date: 6 June 2001 (06.06.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/591,335 9 June 2000 (09.06.2000) US

(71) Applicant: PHYSICAL OPTICS CORPORATION [US/US]; 20600 Gramercy Place, Building 100, Torrance, CA 90501 (US).

(72) Inventors: AGUROK, Il'ya; 16892 Cod Circle #D, Huntington Beach, CA 92647 (US). LINDSEY, Lonnie; 15852 Los Solanas Street, Westminster, CA 92683 (US).

(74) Agents: NILLES, Andrew, J. et al.; Nilles & Nilles, S.C., Firstar Center, Suite 2000, 777 East Wisconsin Avenue, Milwaukee, WI 53202 (US).

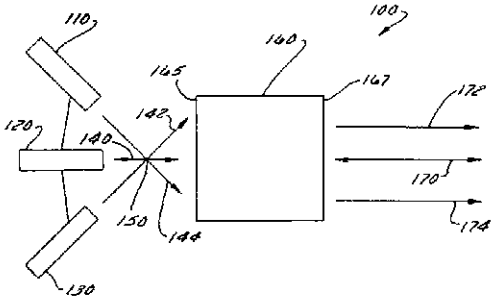
(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW). Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM). European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR). OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— with international search report

[Continued on next page]

(54) Title: BEAM COMBINER



(57) Abstract: A nonimaging beam combiner and collimator. The nonimaging beam combiner and collimator can include at least two light sources (110, 130) that emit light of the same wavelength (142, 144) through a focus point (150) and a nonimaging element (160) that receives the light of the same wavelength after the focus point and collimates the light at the same wavelength through the atmosphere. The at least two light sources (110, 130) can include fiber light sources, optical fibers, gradient index lenses, fiber lasers or laser diodes. The nonimaging element (160) can include an input surface (165), a paraboloid surface located adjacent to the input surface, a conical surface located adjacent to the paraboloid surface, and an ellipsoid surface located adjacent to the conical surface and located on an opposite side of the nonimaging element (160) from the input surface (165). The paraboloid surface can include a total internal reflection surface.

WO 01/97425 A1

— *before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments*

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

BEAM COMBINER

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of Invention

The present invention is directed to a beamforming device. More particularly, the present invention is directed to a method and apparatus for combining and collimating light through the atmosphere.

2. Description of Related Art

Presently, lighting systems can be used to transmit light. This transmitted light can be used to communicate data between a source and a receiver. For example, data may be transmitted from a source across fiber optics to a receiver. Additionally, the transmitted light can be used to pinpoint objects. For example, a laser sight can be used to pinpoint a target. Furthermore, transmitted light can be used for engraving purposes. For example, high power radar can utilize transmitting light for target illumination.

Unfortunately, many present lighting systems do not provide adequate power for numerous applications. Furthermore, it can be cost and space prohibitive to increase the power of the light for use in numerous applications. For example, it is cost prohibitive to transmit high-speed data across the atmosphere because of the necessary power requirements. Also, cost and size constraints can prohibit the use of a large lighting system for many applications, such as systems for pinpointing targets. For example, presently the highest power laser diodes cannot produce more than one to four Watts of power. This power can be insufficient for making a three-dimensional rendering of a battle scene when dense atmospheric conditions are present.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention provides a nonimaging beam combiner and collimator (NIBCC). The NIBCC can include at least two first light sources that emit light of the same wavelength through a focus point and a nonimaging element that receives the light of the same wavelength after the focus point and collimates the light of the same

wavelength through the atmosphere. The at least two first light sources can include at least one of fiber light sources, optical fibers, gradient index lenses, fiber lasers and laser diodes. The collimator can include an input surface, a paraboloid surface located adjacent to the input surface, a conical surface located adjacent to the paraboloid surface, and an ellipsoid surface located adjacent to the conical surface and located on an opposite side of the collimator from the input surface. The paraboloid surface uses total internal reflection principals.

The NIBCC can further include at least two second light sources, the at least two second light sources emitting light of a same second wavelength through the focus point. The nonimaging element can further receive the light of the same second wavelength after the focus point and collimate the light of the same second wavelength to sum the power of the light of the same second wavelength through the atmosphere.

The NIBCC can additionally include a light source controller coupled to at least one of the at least two first light sources and an atmospheric condition sensing device coupled to the light source controller. The light source controller can control light emitted by at least one of the at least two first light sources based on atmospheric conditions sensed by the atmospheric condition sensing device. The light source controller can also cause the at least one of the at least two first light sources to stop emitting light when the atmospheric condition sensing device senses that the atmosphere transmits light easily. The light source controller can further cause the at least one of the at least two first light sources to emit light when the atmospheric condition sensing device senses that the atmosphere does not transmit light easily. The atmospheric condition sensing device can include a laser radar. The light source controller can perform at least one of boosting, maintaining and lowering the power of light through the atmosphere based on atmospherics sensed by the atmospheric sensing device. The atmospheric condition sensing device can sense atmospheric conditions within a beam of the light of the same first wavelength through the atmosphere.

The NIBCC can be utilized in an engraver. The NIBCC can also be utilized in a target pointing system for targeting an object.

The NIBCC can additionally be utilized in an atmospheric optical network. The atmospheric optical network can include an atmospheric optical data node. The atmospheric optical data node can include at least two first light sources, the at least two first light sources emitting light of a same first wavelength through a focus point. The atmospheric optical data node can also include at least two second light sources, the at least two second light sources emitting light of a same second wavelength through the focus point. The atmospheric optical data node can further include a nonimaging element that receives the light of the same first wavelength after the focus point and collimates the light of the same first wavelength to sum a power of the light of the same first wavelength through the atmosphere and receive the light of the same second wavelength after the focus point and collimate the light of the same second wavelength to sum the power of the light of the same second wavelength through the atmosphere. The atmospheric optical network can also include a second atmospheric optical data node.

The atmospheric optical network can additionally include a receiver that receives the light of the same first wavelength and the light of the same second wavelength from the atmosphere. The receiver can be located approximately at least two kilometers, 10 kilometers, or more from the apparatus for combining and collimating light. The receiver can include a wavelength division demultiplexer that demultiplexes the light of the same first wavelength from the light of the same second wavelength. The receiver can also include an add/drop multiplexer.

The atmospheric optical network can further include a reflector that reflects the collimated light through the atmosphere. The atmospheric optical network can also include a refractor that refracts the collimated light to a first receiver and a second receiver.

The atmospheric optical network can additionally include a light source controller coupled to at least one of the at least two first light sources and an atmospheric condition sensing device coupled to the light source controller. The light source controller can control light emitted by the at least one of the at least two first light sources based on atmospheric conditions sensed by the atmospheric condition sensing device. The light source controller can also cause the at least one of the at least two first light sources to stop emitting light when the atmospheric condition

sensing device senses that the atmosphere transmits light easily. The light source controller can additionally cause the at least one of the at least two first light sources to emit light when the atmospheric condition sensing device senses that the atmosphere does not transmit light easily.

The atmospheric condition sensing device can include a laser radar. The light source controller can boost, maintain or lower the power of light through the atmosphere based on atmospherics sensed by the atmospheric sensing device. The atmospheric condition sensing device can sense atmospheric conditions within a beam of the light of the same first wavelength through the atmosphere.

The NIBCC offers the following advantages: It achieves a high quality collimated beam with 0.5 mrad divergence. Also, it is mechanically rugged and does not require periodic alignment during the operation, even under battlefield conditions. Additionally, it is inexpensively mass produced by either molding or diamond-turning technologies. Furthermore, it is transparent to enemy radar in battlefield application because it can be made without metal elements; therefore, it supports stealth technology. Also, it is very compact; 10 times smaller than a conventional optics approach. The size of the NIBCC can be < 2" × 2" × 3". Additionally, it is stable against contamination with an outer surface that can be easily cleaned. Furthermore, it provides phase coherent collimation at microwave modulation frequencies of 1 GHz because the optical path difference in the NIBCC can be designed to be much less than the coherence length of a 1 GHz microwave signal. Also, it provides high efficiency (>98% transmission, with antireflection coating on the NIBCC) light collimation. Additionally, potential aberrations of individual beams can be small because the more beams the NIBCC combines, the smaller every partial aperture of the entrance beam. Furthermore, the NIBCC can combine beams of the same wavelength.

The NIBCC can be very inexpensive and can maintain its stability in the presence of temperature deviations and vibrations. Because of its ability to achieve high brightness in small, solid angles, it will be attractive in many commercial applications such as airport landing lights, unidirectional warning approach lights for high masts, police searchlights, and helicopter approach lights.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The preferred embodiments of the present invention will be described with reference to the following figures, wherein like numerals designate like elements, and wherein:

Fig. 1 is an exemplary block diagram of a system for combining and collimating light through the atmosphere according to a first embodiment;

Fig. 2 is an exemplary diagram of a system or apparatus for combining and collimating light through the atmosphere according to another embodiment;

Fig. 3 is an exemplary block diagram of an atmospheric optical network system according to one embodiment;

Fig. 4 is an exemplary block diagram of a receiver according to one embodiment;

Fig. 5 is an exemplary illustration of a system utilizing NIBCCs according to one embodiment;

Fig. 6 is an exemplary illustration of a network that utilizes NIBCCs according to one embodiment;

Fig. 7 is an exemplary block diagram of an engraver according to one embodiment;

Fig. 8 is an exemplary illustration of a target pointing system according to one embodiment;

Fig. 9 is an exemplary illustration of the design of a NIBCC according to one embodiment;

Fig. 10 is an exemplary illustration of how rays exit parallel to an x-axis;

Fig. 11 is an exemplary illustration of the design of a NIBCC according to another embodiment;

Fig. 12 is an exemplary illustration of the shape of a NIBCC for different magnitudes of index of refraction according to one embodiment;

Fig. 13 is an exemplary illustration of a conjugation scheme for a reduced entrance angle according to one embodiment;

Fig. 14 is an exemplary illustration of focusing optics according to one embodiment;

Fig. 15 is an exemplary illustration of how focusing optics provide good aberration correction;

Fig. 16 is an exemplary illustration of an image of a fiber tip over a focusing system;

Fig. 17 is an exemplary illustration of focusing optics according to another embodiment;

Fig. 18 is an exemplary illustration of focusing optics according to another embodiment;

Fig. 19 is an exemplary illustration of point spread functions of focusing optics for four field-of-view points according to one embodiment;

Fig. 20 is an exemplary illustration of housing design of a focusing objective according to one embodiment; and

Fig. 21 is an exemplary illustration of an arrangement of beams incident on a NIBCC with the focusing objective according to one embodiment.

DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENTS

Fig. 1 is an exemplary block diagram of a system or apparatus 100, such as a NIBCC, for combining and collimating light through the atmosphere according to a first embodiment. The apparatus 100 can include light sources 110, 120, and 130, and a non-imaging element (NIE) 160. The light sources 110, 120, and 130 can include at least two light sources 110 and 130 or can include more than two light sources 110 and 130. The light sources 110, 120, and 130 may further include fiber light sources, optical fibers, gradient index lenses, fiber lasers, laser diodes or any other device useful as a light source. The NIE 160 can include an input surface 165 and an output surface 167. The NIE 160 may comprise an apparatus for collimating and/or combining light. In operation, the light sources 110, 120, and 130 can emit light 140, 142, and 144 directed towards the input surface 165 of the NIE 160. At least two of the light sources can emit light of substantially the same wavelength. The light 140, 142, and 144 can be substantially directed through a focus point 150 towards the input surface 165 of the NIE 160. The NIE 160 and can collimate and combine the light 140, 142, and 144. The NIE 160 can then output collimated and combined light 170, 172, and 174 through output surface 167. By collimating and combining the light

received through the focus point 150, the NIE 160 can sum the intensities of the received light 140, 142, and 144 to create the combined light 170, 172, and 174 through output surface 167. Thus, for example, the intensity of light emitted by one light source can double by adding a second light source, triple by adding a third light source, etc.

The light source 120 may contain a light controller and atmospheric sensor and may be coupled to at least one of the light sources 110 and 130. For example, the light source 120 may be a lidar or laser radar and may emit light 140 through the focus point 150 which may travel through the NIE 160 and be emitted as light 170 out of the output surface 167. A portion of the light 170 can be reflected back through the NIE 160 depending on atmospheric conditions. For example, dense fog or smog may cause more light to be reflected back than a clearer atmosphere. The light may be reflected back through the NIE 160 back to the light source 120. The atmospheric sensor of the light source 120 can then sense changes in atmospheric conditions. When atmospheric conditions change, the light controller of the light source 120 can control the light emitted by light sources 110 and 130. For example, when atmospheric conditions make it difficult to transmit light, the light controller can cause additional light sources, such as light source 110, to transmit light or to increase the intensity of the light transmitted. Therefore, one light source may be used for clear atmospheric conditions and more light sources may be added to compensate for denser atmospheric conditions.

Fig. 2 is an exemplary diagram of a system or apparatus for combining and collimating light through the atmosphere such as a NIBCC 200 according to another embodiment. The NIBCC 200 can include light sources 205 and NIE (NIE) 250. The light sources 205 can include laser diodes 210, 212, and 214 and gradient index (GRIN) lenses 230, 232, and 234. The GRIN lenses 230, 232, and 234 can be mounted in an illuminator housing 220. The NIE 250 can include an input surface 252, a parabolic surface 254 a conical surface 256 and an ellipsoid surface 258. The conical surface 256 is conical about the x-axis 260. In operation, the laser diodes 210, 212, and 214 may project light through the GRIN lenses 230, 232, and 234 in the form of light 240 through a focal point 275. The light 240 can enter the NIE 250

through the input surface 252 and be reflected and refracted as output light 270 and 272 which is parallel to the x-axis 260.

More particularly, in operation, the light from the laser diodes 210, 212, and 214 is coupled to the fibers 216-218, using either horn technology or conventional optics. A number of GRIN lenses 230, 232, and 234 steer light to the focal point 275 of the NIE 250. The NIE can then output the light as output light 270 and 272.

The NIE 250 consists of surfaces with rotation symmetry about the x-axis 260. The input surface 252 is spherical, with its center at point 275. The rays from point 275 go through the input surface 252 without refraction. Surface 254 from A to B includes a parabola with its focus at point 275. Every ray FC will be reflected (as ray CE) in a direction parallel to the parabola's axis through total internal reflection. The conical surface 256 from B to D will refract ray CE in a direction parallel to the x-axis. The ellipsoid 258 from D to L to S has a back focus at point 275. This surface 256 will directly refract incident rays such as FP in a direction parallel to the x-axis as, for example, output light 272. The acquisition angle of the NIE 250 can be 180° (i.e., the NIE can collect light from a π solid angle). It is also an aberration-free collimating element for point sources. Because the focusing spot size at point 275 can be extremely small (~50 μm), the NIE 250 can provide 0.5 mrad divergence of the outgoing beam. To support low aberrations in the NIE 250, which can be made from optical plastic using diamond-turning technology, the acquisition angle can be reduced to 160°. This reduction in the acquisition angle does not significantly reduce the amount of collected light.

Fig. 3 is an exemplary block diagram of an atmospheric optical network system 300 according to one embodiment. The system 300 can include a data source 310 light sources 320, 322, 324, 326, and 328, light 330 emitted through a focus point 335, a NIE 340, combined and collimated light 345, a receiver that can include a lens 350 and a detector 360 and terminals 372, 374, and 376. In operation, the data source 310 may provide data for light sources 320-328 to project as light 330. For example, data source 310 may provide binary data for light sources 320-328 to emit as pulsed light. To effectuate different channels, light sources 322 and 324 may emit light of a first wavelength for one channel. Additionally, light sources 326 and 328 may emit light of the second wavelength to effectuate a section channel. Therefore, data of a

first channel may be transmitted by light sources 322 and 324 and data of a second channel may be transmitted by light sources 326 and 328.

Light source 320 may contain a light controller and atmospheric sensor for sensing atmospheric conditions in controlling the light sources 322, 324, 326, and 328. Therefore, for clear atmospheric conditions, less light sources may be used for conservation of power. For dense atmospheric conditions, additional light sources of the same wavelength may be used per channel to increase the power of a transmission through the atmosphere. The light controller and atmospheric sensor may be positioned external to the system 300. Therefore, it is not necessary for the light controller and atmospheric sensor to receive light through the NIE 340.

Light 330 is transmitted through focal point 335 to the NIE 340. The NIE 340 may then combine and collimate the light 345. The light 345 may be received and focussed by the lens 350 of the receiver to a detector 360 of the receiver. The detector 360 may then distribute different channels of data to different terminals 372, 374, and 376. For example, the detector 360 may comprise a detector array, a wavelength division demultiplexer, an optical to electric converter and/or an add/drop multiplexer/demultiplexer. The terminals 372, 374, and 376 may be additional detectors, computer terminals, servers, nodes, or anything else that can utilize data.

Fig. 4 is an exemplary block diagram of a receiver 400 according to one embodiment. The receiver 400 may operate as the detector 360 of the system 300 illustrated in Fig. 3. The receiver 400 can include a detector 420, an optical pump 430, opto-electrical detectors 442, 444, 446, and 448, a tester 450 and an acousto-optic add/drop multiplexer/demultiplexer (AOADM) 452. In operation, the detector 420 can receive light 410 from the atmosphere. The detector 420 can include a lens or beam splitter, detector circuitry, optical sensors, wavelength division demultiplexers or the like. The detector may then distribute data received from the light 410 to the other elements of the receiver 400. The data may be distributed as optical or as electrical data. The optical pump 430 can receive the data as optical data or light and can then amplify the light for continued transmission. The opto-electrical detectors 442-448 can receive the data as light and can convert the light to electrical signals for use by electrical systems. Each detector 442-448 can receive separate

channels demultiplexed from the light 410. The detectors 442-448 can then convert the optical data to electrical signals for transmission to subsequent devices.

The testing device 450 can test the atmospheric conditions based on various criteria and can control other devices appropriately. For example, the testing device 450 may use in-band lidar for testing of atmospheric conditions. The AOADM 452 can add or drop additional channels in the form of additional wavelengths of light carrying data and can continue transmission of the light by use of additional NIBCCs. The AOADM 452 may also regenerate received signals for continued transmission. The AOADM 452 may perform functions entirely in the optical domain or may perform conversion to the electrical domain and then back into the optical domain. The AOADM 452 can then send signals to other receivers.

Fig. 5 is an exemplary illustration of a basic system 500 utilizing NIBCCs according to one embodiment. The basic system 500 can include a first atmospheric optical data node (AODN) 510, a second AODN 520, collimated and combined light 530, a first structure 540 and a second structure 550. The first AODN 510 may be mounted on the first structure 540. The second AODN 520 may be mounted on the second structure 550. The structures 540 and 550 may comprise buildings, towers or any other useful structure for housing an AODN. The structures 540 and 550 may be located, for example, approximately 10km apart. An AODN can include an apparatus for combining and collimating light through the atmosphere such as the apparatus 100 illustrated in Fig. 1. In operation, the AODN 510 can transmit data in the form of combined and collimated light 540 to the second AODN 520. Thus, the basic system 500 may be utilized to effectuate a metropolitan area network (MAN) such as a campus area network or may be used to effectuate a wide area network (WAN).

Fig. 6 is an exemplary illustration of a network 600 that utilizes NIBCCs according to one embodiment. The network 600 can include structures 610-614, AODNs 620-624 and a reflector 630. In operation, the AODN 620 may transmit data using combined and collimated light to the AODN 621. The AODN 621 may receive data transmitted using the light and may regenerate, reflect or refract the light to AODNs 622 and 623. The AODN 623 may utilize data transmitted from the light and may further transmit the light to reflector 630. The reflector 630 may reflect the light to AODN 624. Therefore, the reflector 630 may be used to overcome an obstacle

blocking a direct path from AODN 623 to AODN 624. The network 600 may be utilized to effectuate an WAN or MAN. All of the AODNs 620-624 may utilize receivers such as that illustrated in Fig. 4 and NIBCCs such as those illustrated in Figs. 1 and 2.

Fig. 7 is an exemplary block diagram of an engraver 700 according to one embodiment. Engraver 700 may include light sources 710, 720, and 730 and a NIE 740. In operation, the light sources 710, 720, and 730 may project light 735 through a focal point to the NIE 740. The NIE 740 may then combine and collimate the light as light 750 towards an object 760. Thus, the NIE 740 can produce light with a high intensity which is equal to the sum of the intensities of the light 735 emitted by the light sources 710, 720, and 730. The engraver 700 can be used to engrave various objects, such as object 760, by using light.

Fig. 8 is an exemplary illustration of a target pointing system 800 according to one embodiment. The target pointing system 800 may comprise light sources 810, 820, and 830 and a NIE 840. In operation, the light sources 810, 820, and 830 can emit light 835 through a focal point to the NIE 840. The NIE 840 can then combine and collimate the light and output it as light 850. The light 850 may be used to target an object 860. Thus, the power of light sources 810, 820, and 830 may be combined by the NIE 840 to produce high intensity light 850. The high intensity light 850 can then be used to target an object 860.

Fig. 9 is an exemplary illustration of the design of a NIBCC 900, such as the NIBCC illustrated in Fig. 2, according to one embodiment. The NIBCC 900 can include a NIE 910 and GRIN lenses 920, 930, and 940 attached to an array of fibers 925, 935, and 945. NIE 910 can concentrate light from a whole hemisphere. The maximum accepted ray is FA. The lateral surface AB is a paraboloid of rotation, which reflects light at the angle of total internal reflection k or at angles greater than this angle.

$$h \sin k = 1, \qquad (1\text{-}2)$$

where h is the reflective coefficient of the nonimaging element material. All rays will be reflected at an angle θ from the optical axis FO. After refraction at the conical surface BD, the outgoing rays will be parallel to the axis FO. Where n is the refractive coefficient,

$$n \sin \alpha = \sin \beta \quad (1\text{-}3)$$

If the outgoing ray γ is parallel to the axis FO, from triangle FEM:

$$\beta = 90° - \phi \quad (1\text{-}4)$$

where EM is normal to the conical surface DB. From Triangle CNE:

$$\alpha = 180° - \theta - \delta \quad (1\text{-}5)$$

Therefore,

$$\delta = 180° - \beta \quad (1\text{-}6)$$

or, taking into consideration Eq. (1-4),

$$\delta = 180° - 90° + \phi = 90° + \phi \quad (1\text{-}7)$$

so

$$\alpha = 180° - \phi - 90° = 90° - \theta - \phi \quad (1\text{-}8)$$

so the main equation that determines the design of the nonimaging element is the interpretation of Eq. (1-3):

$$n \sin(90° - \theta - \phi) = \sin(90° - \phi), \text{ or}$$

$$n \cos(\theta + \phi) = \cos(\phi). \quad (1\text{-}9)$$

Because $\theta = 90° - 2K$, and angle K is known from Eq. (1-2), Eq. (1-9) gives the magnitude of ϕ.

The surface DLS is a convex ellipsoid. The back focus is at point F. It is known that if the eccentricity ε of the ellipsoid is

$$\varepsilon = 1/n \quad (1\text{-}10)$$

all rays will exit parallel to the x axis as illustrated in Fig. 10. If $r_1 = FA$ and $r_2 = AF_1$:

$$r_1 = a + \varepsilon x \quad (1\text{-}11)$$

where a is the half axis of the ellipse. If the angle ϕ from Fig. 10 is equivalent to ϕ from Fig. 9, the situation is reflected in Fig. 11. The segment FD is r_1 for angle ϕ. To find r_1, let's consider the triangle FAD:

$$r_1 / \sin(90 - \theta) = h / \sin(180 - 90 + \theta - 90 + \phi), \qquad (1\text{-}12)$$

or

$$r_1 / \cos\theta = h / \sin(\theta + \phi), \qquad (1\text{-}13)$$

$$r_1 = h \cos\theta / \sin(\theta + \phi).$$

Because focal point F is at the position in which $x = -as$ (Figure 10), the x coordinate of point D is:

$$x_D = -a\varepsilon + r_1 \cos\phi \qquad (1\text{-}14)$$

However, from Eq. (1-11), we have:

$$r_1 = a + \varepsilon x_D \text{ or} \qquad (1\text{-}15)$$

$$r_1 = a + \varepsilon(-a\varepsilon + r_1 \cos\phi).$$

Eq. (1-15) will determine the parameter a:

$$a = \frac{r_1}{(1 - \varepsilon^2)}(1 - \varepsilon\cos\phi) \qquad (1\text{-}16)$$

Parameter a from Eq. (1-16) and parameter ε from Eq. (1-10) will determine the ellipse. The design shown in Fig. 9 is theoretically free of aberrations. However, in practice, the light concentrated at point F has a finite size because it is the image of the end fibers over the GRIN lenses. This will lead to divergence of the outgoing beam.

A NIE with an acceptable entrance angle of 180° exists for a very narrow interval of the refractive index of optical material. This interval of the refractive index is limited to index magnitudes from 1.7 to 1.85. Shape degradation of the NIE is caused by swelling of the elliptical part of the NIE with a decreasing index. This

happens because the eccentricity grows with the decreasing index (Eq. (1-10)) and increases the absolute value of the small ellipse axis. This index decrease leads to an increase in the angle of total internal reflection k (Fig. 9), and hence, in the height of point D. If the index grows, the ellipse shrinks, which will once more lead to shape degradation. Fig. 12 is an exemplary illustration of the shape of the NIE for different magnitudes of index of refraction according to one embodiment.

Diamond-turning is the only feasible technology for NIE manufacturing. However, using the diamond-turning process with glass creates a ruptured layer. A design can be created from optical plastic-acrylic. Acrylic has a refractive index of 1.5. The entrance angle of the NIE can be reduced from 180° to a lower value, such as 160°, to accommodate the refractive index. Fig. 13 is an exemplary illustration of a conjugation scheme for a reduced entrance angle according to one embodiment.

In Fig.13, for the inclined parabola AB, the total internal reflection begins from point A. Despite the large magnitude of angle k, angle θ is sufficiently large to support the compact elliptical part of the NIBCC (ray PD is going down and point D is close to F). In this case, the ellipse does not swell. Where originally $\theta = 90° - 2K$, now $\theta = 90-2k+(90-\alpha/2)$. The elliptical part is the main source of aberration in the NIBCC, even though it is sufficiently small in this design. Therefore, the fiber optic illumination assembly must be in accordance with the acceptance angle of the NIBCC.

Fig. 14 is an exemplary illustration of focusing optics 1400 that utilizes a plano-convex GRIN lens 1410 and an additional positive component 1420 that can be used to achieve good quality of focusing optics according to one embodiment. The additional positive component 1420 compensates for aberrations and makes the input aperture equal to the fiber aperture, 0.35. The focusing optics 1400 provide good aberration correction as illustrated in Fig. 15. The three point spread function for object heights 0, 0.02 mm, and 0.031 mm are shown. The spot size is about 0.015 mm in diameter. This means that the image of the fiber tip over the focusing system will appear as shown in Fig. 16.

Fig. 17 is an exemplary illustration of focusing optics 1700 according to another more sophisticated embodiment. The focusing optics 1700 can include a

GRIN lens 1720, a positive component 1730, and a negative lens 1710. The negative lens 1710 can be used to project an exit pupil over the positive component 1730.

Fig. 18 is an exemplary illustration of focusing optics 1800 according to another embodiment. The focusing optics can include a GRIN lens 1810, a negative lens 1820 and a positive lens 1830. The image quality of focusing optics 1800 is 10 times better than for the objective in Fig. 14. The maximum spot size at the edge of the field-of-view is about 2 μm. Fig. 19 is an exemplary illustration of the point spread functions of focusing optics 1800 for four field-of-view points according to one embodiment.

The exit aperture of the developed focusing objective is 0.449, or 26°. So the double angle of the light cone is 52°. The arrangement of seven focusing optics or objectives can cover the entrance cone of a NIBCC at about 156°. The optics of the objective can be assembled into a mechanical housing. The minimum thickness of the housing walls can be 0.2 mm. With an image distance of the 1.154 mm, shown in Fig. 18, the minimum half angle of beam interruption is about 9°. Fig. 20 is an exemplary illustration of housing design of a focusing objective 2000 according to one embodiment.

Fig. 21 is an exemplary illustration of an arrangement of beams incident on a NIBCC with the focusing objective 2000 according to one embodiment. The arrangement in Fig. 21 is close to optimal and can be achieved with existing micro-objective manufacturing technology.

While this invention has been described with specific embodiments thereof, it is evident that many alternatives, modifications, and variations will be apparent to those skilled in the art. Accordingly, the preferred embodiments of the invention as set forth herein are intended to be illustrative, not limiting. Modifications and tactical transformations may be made. Additionally, various further changes may be made without departing from the spirit and scope of the invention.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. An apparatus for combining and collimating light through an atmosphere comprising:

at least two first light sources, the at least two first light sources emitting light of a same first wavelength substantially through a focus point; and

a nonimaging element that receives the light of the same first wavelength after the focus point and collimates the light of the same first wavelength to sum a power of the light of the same first wavelength through the atmosphere.

2. The apparatus according to claim 1, wherein the at least two first light sources comprise at least one of fiber light sources, optical fibers, gradient index lens focusing systems, fiber lasers and laser diodes.

3. The apparatus according to claim 1, wherein the nonimaging element comprises:

an input surface;

a paraboloid surface located adjacent to the input surface;

a conical surface located adjacent to the paraboloid surface; and

an ellipsoid surface located adjacent to the conical surface and located on an opposite side of the nonimaging collimator element from the input surface.

4. The apparatus according to claim 3, wherein the paraboloid surface comprises a total internal reflection surface.

5. The apparatus according to claim 1, further comprising at least two second light sources, the at least two second light sources emitting light of a same second wavelength through the focus point, wherein the nonimaging element further receives the light of the same second wavelength after the focus point and collimates the light of the same second wavelength to sum the power of the light of the same second wavelength through the atmosphere.

6. The apparatus according to claim 1, further comprising:

a light source controller coupled to at least one of the at least two first light sources; and

an atmospheric condition sensing device coupled to the light source controller.

7. The apparatus according to claim 6, wherein the light source controller controls light emitted by the at least one of the at least two first light sources based on atmospheric conditions sensed by the atmospheric condition sensing device.

8. The apparatus according to claim 7, wherein the light source controller causes the at least one of the at least two first light sources to stop emitting light when the atmospheric condition sensing device senses that the atmosphere transmits light easily.

9. The apparatus according to claim 7, wherein the light source controller causes the at least one of the at least two first light sources to emit light when the atmospheric condition sensing device senses that the atmosphere does not transmit light easily.

10. The apparatus according to claim 6, wherein the atmospheric condition sensing device comprises laser radar.

11. The apparatus according to claim 6, wherein the light source controller performs at least one of boosting, maintaining and lowering the power of light through the atmosphere based on atmospherics sensed by the atmospheric sensing device.

12. The apparatus according to claim 6, wherein the atmospheric condition sensing device senses atmospheric conditions within a beam of the light of the same first wavelength through the atmosphere.

13. An engraver comprising the apparatus of claim 1.

14. A target pointing system for targeting an object comprising the apparatus of claim 1.

15. An atmospheric optical network comprising:

a first atmospheric optical data node including:

at least two first light sources, the at least two first light sources emitting light of a same first wavelength through a focus point,

at least two second light sources, the at least two second light sources emitting light of a same second wavelength through the focus point,

a nonimaging element that receives the light of the same first wavelength after the focus point and collimates the light of the same first wavelength to sum a power of the light of the same first wavelength through the atmosphere and receives the light of the same second wavelength after the focus point and collimates the light of the same second wavelength to sum the power of the light of the same second wavelength through the atmosphere; and

a second atmospheric optical data node.

16. The network according to claim 15, further comprising a receiver that receives the light of the same first wavelength and the light of the same second wavelength from the atmosphere.

17. The network according to claim 16, wherein the receiver is located approximately 10 kilometers from the apparatus for combining and collimating light.

18. The network according to claim 16, wherein the receiver includes a wavelength division demultiplexer that demultiplexes the light of the same first wavelength from the light of the same second wavelength.

19. The network according to claim 16, wherein the receiver includes an add/drop multiplexer.

20. The network according to claim 15, further comprising a reflector that reflects the collimated light through the atmosphere.

21. The network according to claim 15, further comprising a refractor that refracts the collimated light to a first receiver and a second receiver.

22. The network according to claim 15, further comprising:

a light source controller coupled to at least one of the at least two first light sources; and

an atmospheric condition sensing device coupled to the light source controller.

23. The network according to claim 22, wherein the light source controller controls light emitted by the at least one of the at least two first light sources based on atmospheric conditions sensed by the atmospheric condition sensing device.

24. The network according to claim 23, wherein the light source controller causes the at least one of the at least two first light sources to stop emitting light when the atmospheric condition sensing device senses that the atmosphere transmits light easily.

25. The network according to claim 23, wherein the light source controller causes the at least one of the at least two first light sources to emit light when the atmospheric condition sensing device senses that the atmosphere does not transmit light easily.

26. The network according to claim 22, wherein the atmospheric condition sensing device comprises laser radar.

27. The network according to claim 22, wherein the light source controller performs at least one of boosting, maintaining and lowering the power of light through the atmosphere based on atmospherics sensed by the atmospheric sensing device.

28. The network according to claim 22, wherein the atmospheric condition sensing device senses atmospheric conditions within a beam of the light of the same first wavelength through the atmosphere.

29. An atmospheric optical data node comprising:

at least two first light sources, the at least two first light sources emitting light of a same first wavelength through a focus point;

at least two second light sources, the at least two second light sources emitting light of a same second wavelength through the focus point; and

a nonimaging element that receives the light of the same first wavelength after the focus point and collimates the light of the same first wavelength to sum a power of the light of the same first wavelength through the atmosphere and receives the light of the same second wavelength after the focus point and collimates the light of the same second wavelength to sum the power of the light of the same second wavelength through the atmosphere.

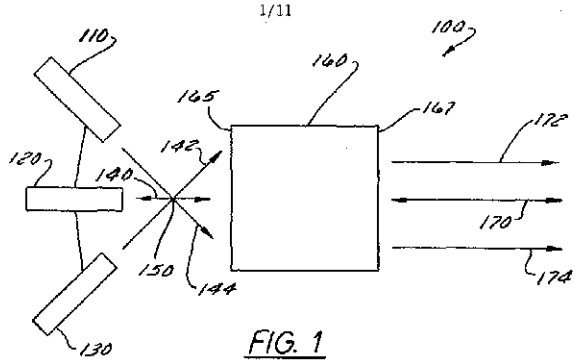

110
100
160
165
167
172
120
140
142
170
150
144
174
130

FIG. 1

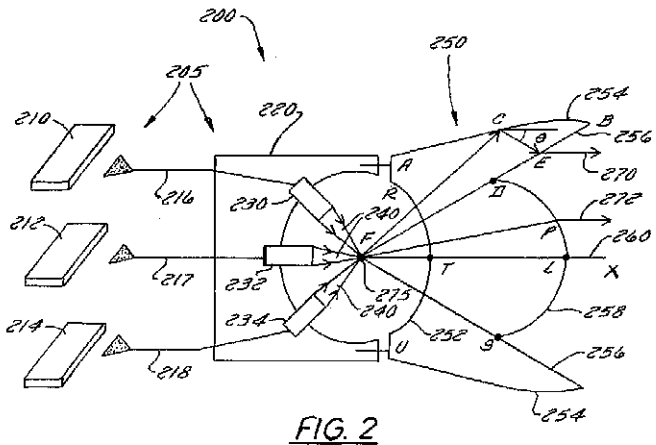

200
250
205
254
210
220
C
B
256
θ
A
E
270
216
230
R
D
272
240
212
F
P
260
217
232
T
L
X
275
240
214
234
258
252
S
256
218
U
254

FIG. 2

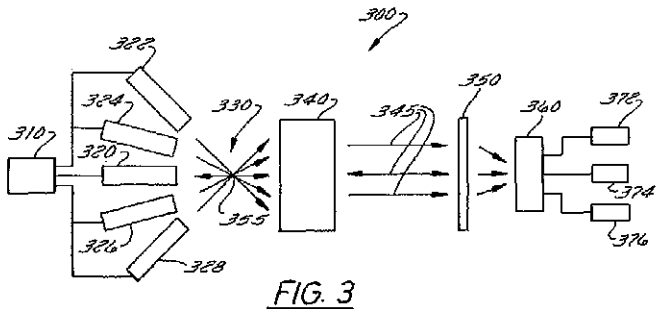

300
322
324
330
340
345
350
360
372
310
320
374
355
326
376
328

FIG. 3

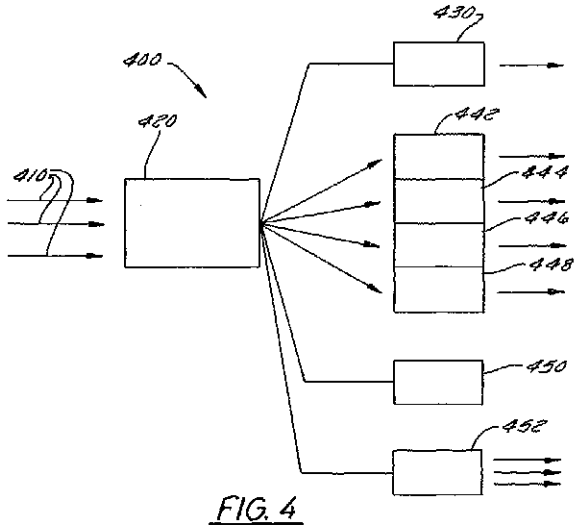

430
400
420
442
410
444
446
448
450
452

FIG. 4

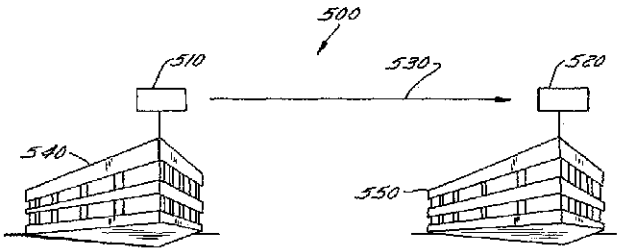

500
510
530
520
540
550

FIG. 5

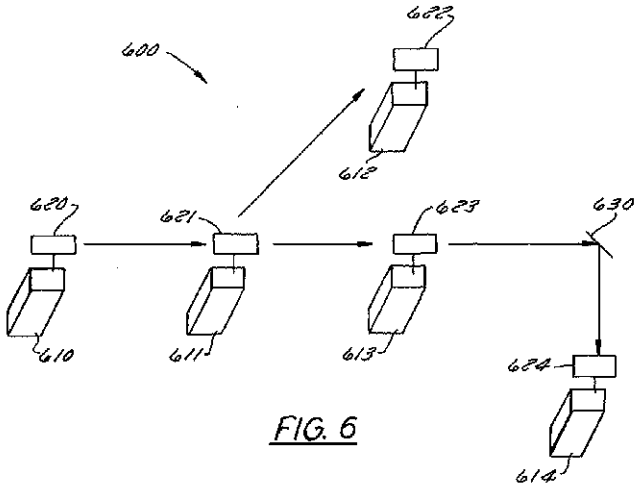

600
622
612
620
621
623
630
610
611
613
624
614

FIG. 6

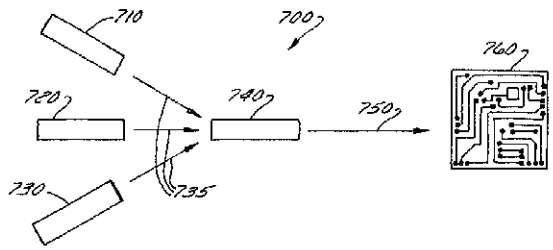


FIG. 7

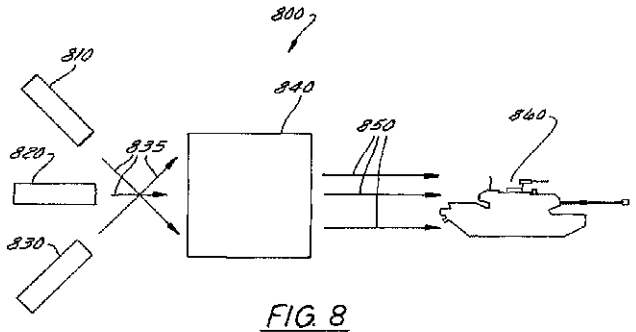


FIG. 8

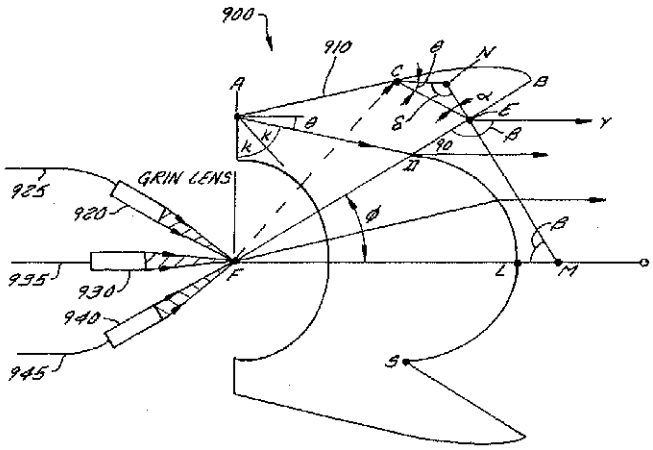

900
910
A
C
θ
N
B
α
E
Y
δ
β
90
K
θ
M
GRIN LENS
925
920
φ
935
930
F
L
M
940
945
S

FIG. 9

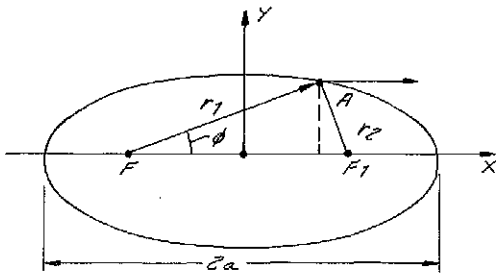

Y
r1
A
r2
φ
F
F1
X
2a

FIG. 10

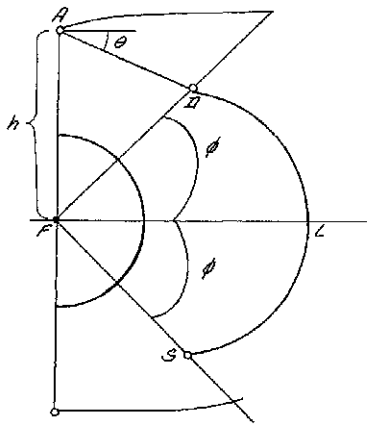

A
θ
h
D
φ
F
L
φ
S

FIG. 11

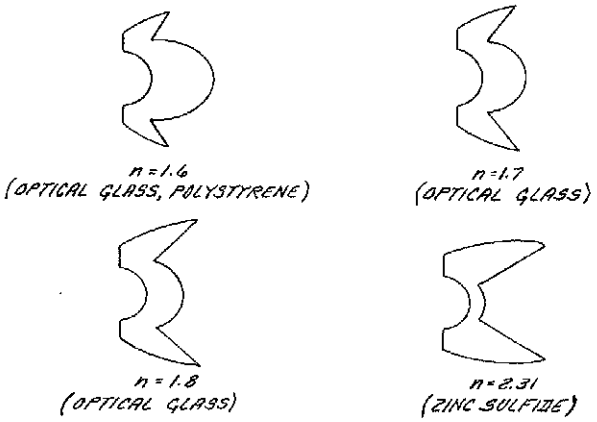

n = 1.6
(OPTICAL GLASS, POLYSTYRENE)
n = 1.7
(OPTICAL GLASS)
n = 1.8
(OPTICAL GLASS)
n = 2.31
(ZINC SULFIDE)

FIG. 12

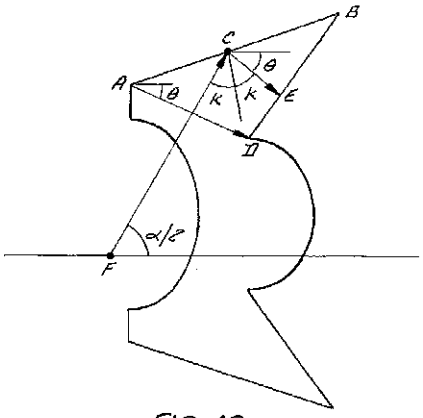

A
B
C
D
E
F
θ
θ
k
k
α/2

FIG. 13

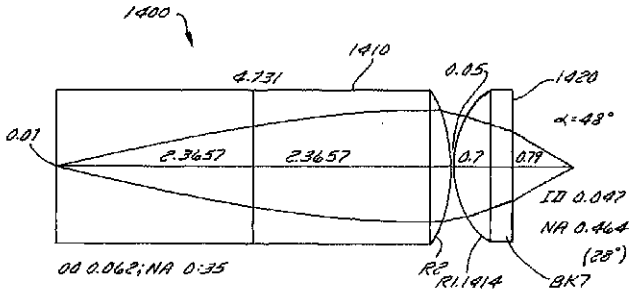

1400
1410
4.731
0.05
1420
α=48°
0.01
2.3657
2.3657
0.7
0.79
ID 0.047
NA 0.464
(28°)
00 0.062; NA 0.35
R2
R1.1414
BK7

FIG. 14

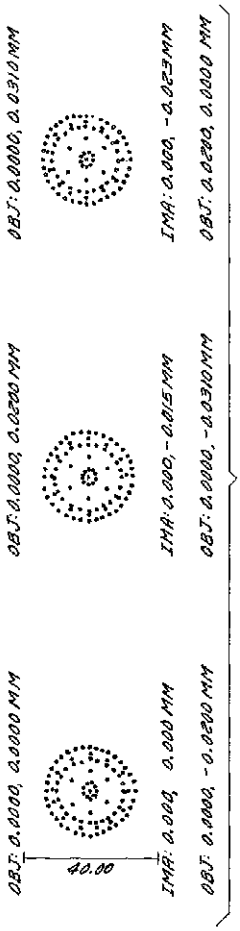


FIG. 15

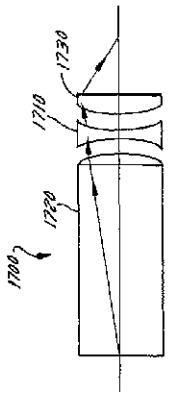


FIG. 17

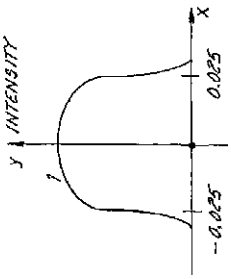


FIG. 16

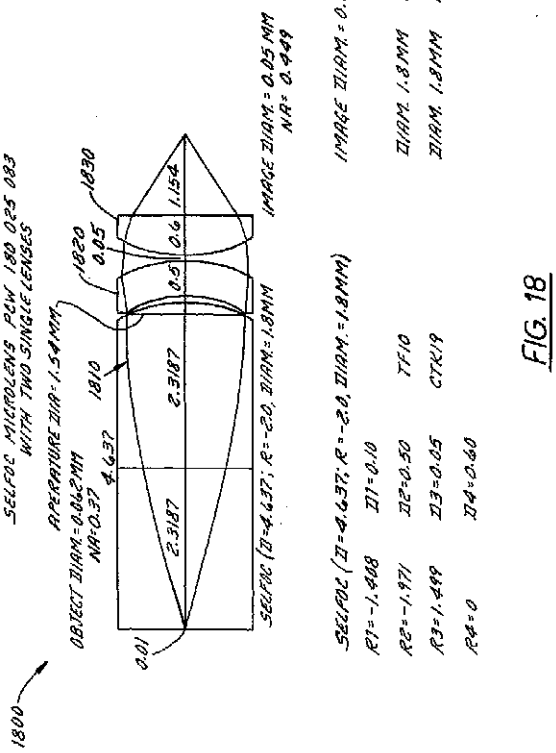

SELFOC MICROLENS PSW 180 025 083
WITH TWO SINGLE LENSES
APERATURE DIA=1.54MM
OBJECT DIAM=0.062MM
NA=0.37
4.637
1810
1820
0.25
1830
1.154
0.6
0.5
2.3187
2.3187
0.01
SELFOC (D=4.637; P=-2.0, DIAM=1.8MM
IMAGE DIAM=0.05MM
NA=0.449
SELFOC (D=4.637; P=-2.0, DIAM=1.8MM)
P1=-1.448 D1=0.10
P2=-1.971 D2=0.50
P3=1.449 D3=0.25
P4=0 D4=0.60
IMAGE DIAM=0.05MM
NA=0.449
TF10
CTK19
DIAM. 1.8MM
DIAM. 1.8MM
nTF10=1.7999
nCTK19=1.7810
1800

FIG. 18

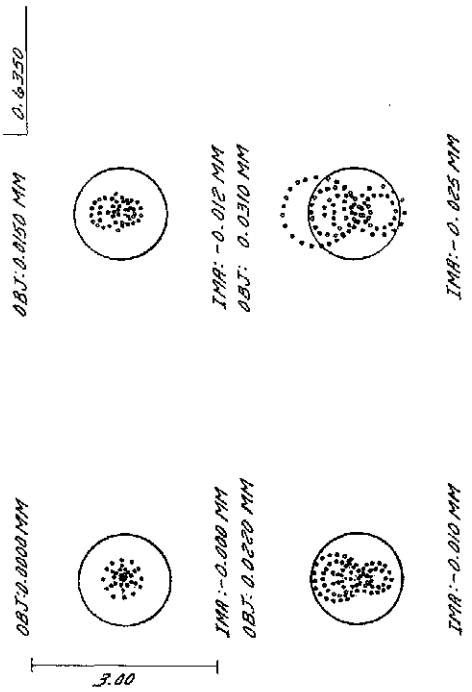

0.6350
OBJ:0.0150 MM
IMA:-0.012 MM
OBJ: 0.0310 MM
IMA:-0.025 MM
OBJ:0.0000 MM
IMA:-0.008 MM
OBJ: 0.0220 MM
IMA:-0.010 MM
3.00

FIG.19

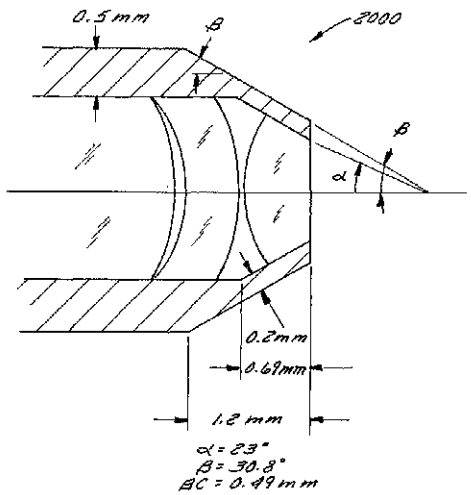

0.5mm
B
2000
B
α
0.2mm
0.69mm
1.2mm
α = 23°
B = 30.8°
BC = 0.49mm

FIG. 20

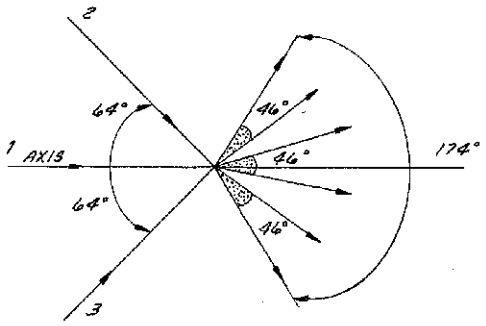

2
64°
1
AXIS
64°
3
46°
46°
46°
174°

FIG. 21

【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
20 December 2001 (20.12.2001)

PCT

(10) International Publication Number
WO 01/97425 A1

(51) International Patent Classification⁷: H04J 14/02, H04B 10/00

(21) International Application Number: PCT/US01/18286

(22) International Filing Date: 6 June 2001 (06.06.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/591,335 9 June 2000 (09.06.2000) US

(71) Applicant: PHYSICAL OPTICS CORPORATION [US/US]; 20600 Gramercy Place, Building 100, Torrance, CA 90501 (US).

(72) Inventors: AGUROK, Il'ya; 16892 Cod Circle #D, Huntington Beach, CA 92647 (US). LINDSEY, Lonnie; 15852 Los Solanas Street, Westminster, CA 92683 (US).

(74) Agents: NILLES, Andrew, J. et al.; Nilles & Nilles, S.C., Firstar Center, Suite 2000, 777 East Wisconsin Avenue, Milwaukee, WI 53202 (US).

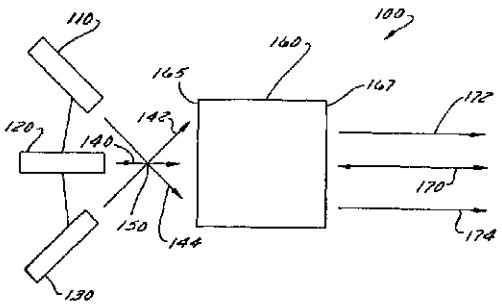
(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— with international search report
· with amended claims and statement

[Continued on next page]

(54) Title: BEAM COMBINER



(57) Abstract: A nonimaging beam combiner and collimator. The nonimaging beam combiner and collimator can include at least two light sources (110, 130) that emit light of the same wavelength (142, 144) through a focus point (150) and a nonimaging element (160) that receives the light of the same wavelength after the focus point and collimates the light at the same wavelength through the atmosphere. The at least two light sources (110, 130) can include fiber light sources, optical fibers, gradient index lenses, fiber lasers or laser diodes. The nonimaging element (160) can include an input surface (165), a paraboloid surface located adjacent to the input surface, a conical surface located adjacent to the paraboloid surface, and an ellipsoid surface located adjacent to the conical surface and located on an opposite side of the nonimaging element (160) from the input surface (165). The paraboloid surface can include a total internal reflection surface.

WO 01/97425 A1

WO 01/97425 A1



Date of publication of the amended claims and statement:
21 March 2002

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

【手続補正書】
【提出日】平成13年12月26日(2001.12.26)
【手続補正１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】特許請求の範囲
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
焦点を通る同一の第１波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源と、及び
大気を通る同一の第１波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、コリメートする非結像素子とより成り、
上記非結像素子が、
入力面と、
上記入力面に隣接する放物面と、
上記放物面に隣接する円錐面と、及び
上記円錐面に隣接する、上記入力面に対して反対側の楕円面とを有する
大気を通る光を結合し、コリメートする装置。
【請求項２】
上記少なくとも２つの第１光源が、光ファイバー源と、光学ファイバーと、階調インデックスレンズ集光システムと、ファイバーレーザと、及びレーザダイオードとの少なくとも１つを有する請求項１記載の装置。
【請求項３】
削除
【請求項４】
上記放物面が全内部反射面を有する請求項１記載の装置。
【請求項５】
焦点を通る同一の第２波長の光を放射する少なくとも２つの第２光源を更に有し、上記非結像素子が大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため上記焦点を通った同一の第２波長の光を更に受け取り、コリメートする請求項１記載の装置。
【請求項６】
上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つに結合した光源制御器と、
この光源制御器に結合した大気条件感知器とを更に有する請求項１記載の装置。
【請求項７】
上記光源制御器が、大気条件感知器によって感知した大気条件をベースとして上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによって放射された光を制御する請求項６記載の装置。
【請求項８】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できることを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによる光の放射を停止せしめる請求項７記載の装置。
【請求項９】
上記大気条件感知器が、大気によって容易に光を伝達できないことを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つにより光を放射せしめる請求項７記載の装置。
【請求項１０】
上記大気条件感知器がレーザレーダを有する請求項６記載の装置。
【請求項１１】
上記光源制御器が、上記大気条件感知器によって感知した大気をベースとして大気を通る光の出力の増大、維持及び低下の少なくとも１つを行なう請求項６記載の装置。

【請求項１２】
上記大気条件感知器が、大気を通る同一の第１波長の光ビーム内の大気条件を感知する請求項６記載の装置。
【請求項１３】
請求項１記載の装置を有する製版器。
【請求項１４】
請求項１記載の装置を有する、対象物を標的とするための標的指示システム。
【請求項１５】
焦点を通る同一の第１波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源と、
大気を通る同一の第１波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、コリメートし、及び
大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第２波長の光を受け取り、コリメートする非結像素子と、
を含む第１の大気光学データノードと、
第２の大気光学データノードと
より成る大気光学ネットワーク。
【請求項１６】
大気から上記同一の第１波長光と同一の第２波長光を受け取るレシーバを更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項１７】
上記レシーバが、光を結合し、コリメートするための装置から略１０キロメータ離れている請求項１６記載のネットワーク。
【請求項１８】
上記レシーバが、同一の第２波長の光から同一の第１波長の光を分解する波長分割デマルチプレクサを有する請求項１６記載のネットワーク。
【請求項１９】
上記レシーバが、加／減マルチプレクサを有する請求項１６記載のネットワーク。
【請求項２０】
コリメートした光を大気を通して反射する反射器を更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項２１】
コリメートした光を第１及び第２レシーバに屈折する屈折器を更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項２２】
上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つに結合した光源と、
上記光源制御器に結合した大気条件感知器と、
を更に有する請求項１５記載のネットワーク。
【請求項２３】
上記光源制御器が、上記大気条件感知器によって感知した大気条件をベースとして上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによって放射された光を制御する請求項２２記載のネットワーク。
【請求項２４】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できることを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つによる光の放射を停止せしめる請求項２３記載のネットワーク。
【請求項２５】
上記大気条件感知器が大気によって容易に光を伝達できないことを感知したとき上記光源制御器が、上記少なくとも２つの第１光源の少なくとも１つにより光を放射せしめる請求項２３記載のネットワーク。
【請求項２６】

上記大気条件感知器がレーザレーダを有する請求項２２記載のネットワーク。
【請求項２７】
上記光源制御器が、上記大気条件感知器によって感知した大気をベースとして大気を通る光の出力の増大、維持及び低下の少なくとも１つを行なう請求項２２記載のネットワーク。
【請求項２８】
上記大気条件感知器が、大気を通る同一の第１波長の光ビーム内の大気条件を感知する請求項２２記載のネットワーク。
【請求項２９】
焦点を通る同一の第１波長の光を放射する少なくとも２つの第１光源と、
焦点を通る同一の第２波長の光を放射する少なくとも２つの第２光源と、及び　大気を通る同一の第１波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第１波長の光を受け取り、コリメートし、大気を通る同一の第２波長の光の出力を合計するため、上記焦点を通った同一の第２波長の光を受け取り、コリメートする非結像素子と
より成る大気光学データノード。
【請求項３０】
上記入力面が少なくとも２つの第１光源にその中心を合わせた球状入力面である請求項１記載の装置。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US01/18755

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(7) :H04J 14/08; H04B 10/00
US CL : 359/124,127,131,172,618,691
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)
U.S. : 359/124,127,131,172,618,691

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5,113,244 A (CURRAN) 12 MAY 1992, Fig. 4.	1-2,13-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

*	Special categories of cited documents:	"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
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E"	earlier document published on or after the international filing date	"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
"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	"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 22 AUGUST 2001	Date of mailing of the international search report 16 NOV 2001
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230	Authorized officer KINFE-MICHAEL NEGASH Telephone No. (703) 305-4892

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)*

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 リンドシー ロニー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９３６８３ ウエストミンスター ロス ソラナス ストリート １５８５２

Ｆターム(参考) 2H037 BA03 BA32 CA16 DA03 DA04 DA05