

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5684151号
(P5684151)

(45) 発行日 平成27年3月11日 (2015. 3. 11)

(24) 登録日 平成27年1月23日 (2015. 1. 23)

(51) Int. Cl.	F I
GO 2 B 6/02 (2006. 01)	GO 2 B 6/02 B
GO 2 B 6/44 (2006. 01)	GO 2 B 6/44 3 3 6

請求項の数 17 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2011-551172 (P2011-551172)	(73) 特許権者	511200731
(86) (22) 出願日	平成22年2月17日 (2010. 2. 17)		フォロ エナジー インコーポレーティッド
(65) 公表番号	特表2012-518210 (P2012-518210A)		FORO ENERGY INC.
(43) 公表日	平成24年8月9日 (2012. 8. 9)		アメリカ合衆国 80120 コロラド州
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/024368		, リトルトン, サウスパーク サークル 8020
(87) 国際公開番号	W02010/144160	(74) 代理人	100083895
(87) 国際公開日	平成22年12月16日 (2010. 12. 16)		弁理士 伊藤 茂
審査請求日	平成25年2月15日 (2013. 2. 15)	(72) 発明者	ゼディカー, マーク, エス.
(31) 優先権主張番号	12/706, 576		アメリカ合衆国 63304 ミズーリ州
(32) 優先日	平成22年2月16日 (2010. 2. 16)		, ウェルドン スプリング, メルリン
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ドライブ 315
(31) 優先権主張番号	61/153, 271		
(32) 優先日	平成21年2月17日 (2009. 2. 17)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 長距離に亘って高パワーレーザーエネルギーを伝達するための光ケーブル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高パワーレーザーエネルギーを長距離に亘って伝達する光ファイバケーブルであり、
 入力端と出力端とを有し、約 2 km より長い長さの光ファイバケーブルからなり、
 該ケーブルは、約 300 ミクロンより大きい直径を有する中実のコアと、クラッドと、
 ポリマーコーティングと、第一の保護層と、当該ケーブルに機械的強度と損傷抵抗とを付
 与する材料からなる第二の保護層と、を備えており、

前記ケーブルは、約 10 kW 以上のパワーを有するレーザーエネルギーを、該ケーブルの
 全長に亘って、約 2 dB/km 未満のパワー損失で伝達することができるようにされ、

前記ケーブルの前記出力端にまで伝達されたレーザーエネルギーが、実質的に誘導ラマン
 散乱を含まないスペクトルを有する、ことを特徴とする光ファイバケーブル。

10

【請求項 2】

前記入力端に入力されるレーザーエネルギーのパワーと前記出力端から出力されるレーザ
 ーエネルギーのパワーとが実質的に線形関係となる、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケ
 ーブル。

【請求項 3】

前記レーザーエネルギーが、誘導ラマン散乱スペクトル帯域が存在することなく伝達する
 、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケーブル。

【請求項 4】

前記第二の保護層が銅である、ことを特徴とする請求項 2 に記載のケーブル。

20

【請求項 5】

前記第一の保護層がゲルである、ことを特徴とする請求項 2 に記載のケーブル。

【請求項 6】

前記第一の保護層がゲルであり、前記第二の保護層が銅である、ことを特徴とする請求項 2 に記載のケーブル。

【請求項 7】

当該ケーブルの長さが約 4 km より長い、ことを特徴とする請求項 6 に記載のケーブル。

【請求項 8】

当該ケーブルの長さが約 4 km より長い、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケーブル。 10

【請求項 9】

当該ケーブルの長さが約 4 km より長い、ことを特徴とする請求項 2 に記載のケーブル。

【請求項 10】

前記コアの直径が少なくとも約 500 ミクロンである、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケーブル。

【請求項 11】

前記ケーブルの前記出力端が、前記ケーブルの前記入力端で受け取ったレーザーエネルギーの少なくとも約 60 % を給送できる構造とされている、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケーブル。 20

【請求項 12】

前記ケーブルの前記出力端が、前記ケーブルの前記入力端で受け取ったレーザーエネルギーの少なくとも約 60 % を給送できる構造とされている、ことを特徴とする請求項 2 に記載のケーブル。

【請求項 13】

前記ケーブルはコイル状に巻くことができ、前記コイル状に巻かれたケーブルの外径が約 6 m 未満である、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケーブル。

【請求項 14】

伝達された前記レーザーエネルギーの波長が約 800 nm から 2000 nm の間である、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケーブル。 30

【請求項 15】

伝達された前記レーザーエネルギーの波長が約 800 nm から 2000 nm の間である、ことを特徴とする請求項 2 に記載のケーブル。

【請求項 16】

前記レーザーエネルギーのパワーが約 20 kW より大きい、ことを特徴とする請求項 1 に記載のケーブル。

【請求項 17】

前記レーザーエネルギーのパワーが約 20 kW より大きい、ことを特徴とする請求項 2 に記載のケーブル。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、これまで得ることが出来ないと考えられていたほどの高パワーレーザーエネルギーを長い距離に亘って伝達する能力を提供することができる光ファイバケーブルの構造及び組成並びにこのようなケーブルを使用しているレーザー装置に関する。本発明は更に、過酷な環境に耐えることができるこのようなケーブルの構造に関する。特に、本発明は、光ファイバとこのようなケーブルの多層構造との独特且つ新規な組み合わせに関する。

【0002】

本明細書において使用されている“高パワーレーザーエネルギー”という用語は、別途特定されていない限り、少なくとも約5 kW（キロワット）のパワーのレーザービームを意味している。本明細書において使用されている“長距離”という用語は、別途特定されていない限り、少なくとも約500 m（メートル）の距離を意味している。本明細書において使用されている“実質的なパワーの損失”及び“実質的なパワー損失”という用語は、選択された波長について約20 dB/km（デシベル／キロメートル）より大きい損失を意味している。本明細書において使用されている“実質的なパワー伝達”という用語は、少なくとも約50%の伝達率を意味している。

【0003】

（関連出願）

本願は、Method and Apparatus for Delivering High Power Laser Energy over Long Distances（長距離に亘って高パワーレーザーエネルギーを給送する方法及び装置）という名称の2009年8月19日に出願された米国特許出願第12/554,136号の一部継続出願であり、この出願は、Transmission of High Optical Power Levels via Optical Fibers for Applications such as Rock Drilling and Power Transmission（削岩及びパワー伝達のような用途のための光ファイバによる高光パワーレベルの伝達）という名称の米国仮特許出願第61/106,472号に基づく35 U. S. C第119条（e）（1）による優先日2008年10月17日の利益を主張しており、Optical Fiber Cable for Transmission of High Power Laser Energy Over Great Distances（長距離に亘って高パワーレーザーエネルギーを伝達する光ファイバケーブル）という名称の2010年1月15日に出願された米国仮特許出願第61/295,562号及びMethod and Apparatus for an Armored High Power Optical Fiber for Providing Boreholes in the Earth（地中にボーリング孔を開ける方法及びそのための外装を有する高パワー光ファイバのための方法及び装置）という名称の2009年2月17日に出願された米国仮特許出願第61/153,127号に基づく35 U. S. C. 第119条（e）（1）による優先権を主張している。上記した通常の米国特許出願及び米国仮特許出願の各々は、これに言及することにより、その全開示内容が参考として本明細書に組み込まれている。

【0004】

本発明は、ARPA-E米国エネルギー省の事務局によって授与されているAward DE-AR 0000044による政府の支援によってなされたものである。政府は、本発明に対して何らかの権利を有している。

【背景技術】

【0005】

本発明がなされるまでは、高パワーレーザーエネルギーの実質的なパワー損失がない状態での長距離に亘る伝達は得られないという状況にあると考えられていた。その結果、更に、長距離に亘って高パワーレーザーエネルギーを伝達することができる光ファイバ又は光ファイバケーブルの組成物を作るか又は研究する理由はないと考えられていた。

【0006】

長距離に亘るパワーの損失は、光ファイバ内において多くの原因によって生じる。このような原因としては、吸収による損失、特に水酸イオン（OH）による吸収損失、レーリー散乱、ブリュアン散乱、ラマン散乱、欠陥、介在物、及び曲げ損失がある。これらの問題点は文献に記録されて来た。

【0007】

例えば、2006年版のCrystal Fiber White誌における“Towards 100 kW fiber laser system Scaling up power in fiber lasers for beam combining（ビーム結合のためのレーザファイバ内のパワーを拡大させる100 kWに近いレーザファイバ装置）”という名称の記事には、その第4頁に、誘導ブリュアン散乱（SBS）に対しては、“閾値は、信号のモードフィールド直径（MFD）の二乗で且つ有効ファイバ長さに逆比例して高くなる。従って、パワーの拡大のためには、比較的大きなコアサイズ及び短いファイバ長さで設計されることが望ましい。（下線は原文のまま）”ことが記載されている。2004

年版のCorning誌 NIST-SOFMにおける“Stimulated Brillouin Scattering: An Overview of Measurements, System Impairments, and Applications (誘導ブリュアン散乱: 測定の概要、システム障害、及び用途)”という名称の記事には、その第1頁に、“3つのタイプの散乱現象 [レーラー、ラマン、及びブリュアン] のうち誘導ブリュアン散乱 (SBS) は、主光ファイバの非直線性として認識されている” ([] は付け加えたもの) ということが提供されている。Corning誌には、続いてその第3頁に、“出力パワー曲線はまた、・・・信号パワーはある種の入力パワーより多く除去されるようになることを示している。この有害な結果は、信号パワーを効率良く抑制するが、誘導ブリュアン現象を強調する電歪プロセスによりパワーをストークス (反射) 信号へと移行させ続けるであろう。”と記載されている。従って、Corning誌の第4頁には、“誘導ブリュアン散乱は、幾つかの光伝達装置、増幅器、及びレーザーの設計を著しく制限するものとして知られている。”と記載されている。

10

【0008】

ファイバの長さと言力のパワの伝達との間に存在すると考えられている当該技術において表されているこの認識された状況は更に、CHINESE OPTICS LETTERSの2007年5月31日、第5巻、補遺第S39～S41頁のMutoらによる“Laser cutting for thick concrete by multi-pass technique (マルチパス技術による厚いコンクリートのレーザー切断)”という名称の記事に示されている。Mutoは、5kWのレーザーパワーがファイバ内へ送り込まれるときに、1kmのファイバで4kWまで低下されたパワーが送られたと述べているけれども、Mutoは、誘導ラマン散乱SRS現象を排除することに失敗している。Mutoの記事によって示されているように、この有害な現象は、長さ及びパワーが増すにつれて出力パワーを大きく抑制する。SRS現象は、Mutoの図3に示されているスペクトルによって観察され、この図は、本明細書においては、図2として提供されている。図2において、レーザービームは帯200として示されており、SRSは帯201として示されている。このように、本発明以前においては、入力レーザーパワー又はファイバの長さが増大せしめられると、ファイバのパワー出力は、SBS、SRS、及びその他の非線形現象により増大しないと考えられていた。特に、SBSは、出力パワーを入力に向かってファイバを補強するように変える。更に、SBS、SRS、並びにその他の有害な非線形作用は、ファイバから伝えることができるパワーの量を制限することに加えて、ファイバの加熱及び最終的な欠陥を生じさせ得る。従って、Mutoが第S41頁において認識しているように、“10-kWのパワーの給送は、コア直径が150μmの250m長さのファイバ内で可能であり、伝達されるパワーを制限する物理現象はSRSであることがわかる。従って、Mutoは、彼より前の他の人たちも出来なかったように、長距離に亘って高パワーレーザーエネルギーを給送することが出来なかった。

20

30

【0009】

本発明は、非線形作用によってもたらされるこれらの及びその他の損失を解消し且つ実質的なパワー損失を伴うことなく長距離に亘る高パワーレーザーエネルギーの伝達を提供するファイバケーブル装置を提供することによって、長さと言力とに関する上記の認識を打破し且つこの認識を超えて高パワーレーザー給送技術を進歩させたものである。

40

【発明の概要】

【0010】

実質的なパワー損失を伴うことなく長距離に亘る高パワーレーザーエネルギーの給送を提供することができる光ファイバを得ることは望ましい。本発明は、とりわけ、本明細書において教示されている物品を提供することによって、この必要性を満たしている。

【0011】

従って、本明細書には、長距離に亘って高パワーレーザーエネルギーを伝達するための光ケーブルが提供されている。該ケーブルは、長さが約0.5kmより長い、2kmより長い、約3kmより長い、又は約5kmより長く、該ケーブルは、コアとクラッドとコーティングと第一の保護層と第二の保護層とからなる積層構造であり、該ケーブルは、パワーが約1kW以上、約5kW以上、又は10kW以上のレーザーエネルギーを伝達する

50

ことができ、該ケーブルの全長に亘って選択された波長に対するパワー損失が約 2 dB/km未満、好ましくは約 1 dB/km未満、更に好ましくは 0.3 dB/km未満である。更に、SRS現象が実質的に起こらないスペクトルのレーザーエネルギーを、工具又は面へと給送することができる光ファイバが提供されている。

【0012】

高パワーレーザーエネルギーを工具に給送する装置であり、パワーが少なくとも約 1 kW、少なくとも約 5 kW、又は少なくとも約 10 kWである高パワーレーザーを備えている装置。該装置は、コアとクラッドとコーティングと第一の保護層とを備えている。該装置は工具を備えている。該装置内のケーブルは、第一及び第二の端部を有しており且つ第一の端部と第二の端部との間の長さが、0.5 kmより長い、約 1 kmより長い、約 2 kmより長い、約 3 kmより長い。該ケーブルの前記第一の端部は、レーザーに対して光学的に関連付けられているか又は結合されており、該ケーブルの前記第二の端部は、工具に組み合わされているか、好ましくは光学的に関連付けられているか、又は結合されている。少なくとも一部がレーザーから発生され、ケーブル内を伝達され、ケーブルの第一の端部におけるパワーが少なくとも約 1 kWであり、第一の端部から第二の端部までの該ケーブル内でのレーザービームのパワーの損失は、選択された波長に対して、約 2 dB/km未満、好ましくは約 1 dB/km未満、更に好ましくは約 0.5 dB/km未満である。SRS現象が実質的に存在しないスペクトルを有するレーザーエネルギーを工具又は表面へと給送するようになされた光ファイバが更に提供されている。

【0013】

長距離に亘ってレーザーエネルギーを伝達することができるファイバのスプール。該スプールは、その周囲にケーブルが巻かれており、該ケーブルはスプールから解いて繰り出したり巻き上げたりすることができ、従って再度巻き取ることができる。該ケーブルの長さは、約 0.5 kmより長い、約 1 kmより長い、約 2 kmより長い、又は約 3 kmより長く、コアとクラッドとコーティングと第一の保護層と第二の保護層とを備えている。該ケーブルは、パワー損失が約 2 dB/kmより少ないか、より好ましくは約 1 dB/kmより少ないか、更に好ましくは約 0.5 dB/kmより少ないか、もっと好ましくは約 0.3 dB/kmより少ない状態で、その全長に亘って高パワーレーザーエネルギーを伝達することができる。巻き上げられたときのスプールの外径は、トラックによるケーブルの搬送を容易にするために約 6 m未満とされている。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】図1Aは、本発明の光ファイバケーブルの構造を示している、必ずしも一定の縮尺ではない横断面図である。

【図1B】図1Bは、図1Aの光ファイバケーブルの長手方向の断面図である。

【図2】図2は、SRS現象の存在を示している従来技術におけるスペクトルの図である。

【図3】図3は試験装置の概略図である。

【図4】図4は、SRS現象が存在しないことを示している本発明によって伝達されるレーザーエネルギーのスペクトルの図である。

【図5】図5は、SRS現象が存在しないことを示している本発明によって伝達されるレーザーエネルギーのスペクトルの図である。

【図6】図6は、SRS現象が存在しないことを示している本発明によって伝達されるレーザーエネルギーのスペクトルの図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明は、概して、実質的なパワー損失がない状態で高パワーレーザーエネルギーを長距離に亘って伝達するための光ファイバ構造に関する。本発明は更に、過酷な環境において使用するためのケーブルの構造に限定されない光ファイバケーブルの構造に関する。

【0016】

図1A及び1Bには、コア1とクラッド2とコーティング3と第一の保護層4と第二の保護層5とを備えている光ファイバが提供されている。これらの構成要素は、図面では、同心状のものとして示されているけれども、中心をずらして配置されても良いし、種々の位置で中心をずらしたり中心を合わしたりして配置されても良く、コア、コアとクラッド、及びコアとクラッドとコーティングとは、保護層のうちの1つ以上より長くても良いし短くても良いことは理解できる。

【0017】

コア1は、せいぜい約0.25ppmの水分を含んでいる石英ガラスによって構成されるのが好ましい。該コアは、米国特許出願第12/544,136号に開示されているもののような他の材料によって構成されても良い。前記の米国特許出願は、これに言及することにより、その全開示内容が本明細書に参考として組み込まれている。該コアにおいて使用するためには、入手可能な比較的高純度の材料或いは最も高純度の材料が好ましい。なぜなら、この比較的高純度が高い材料は、欠陥及び介在物によって生じる散乱損失を最小化するからである。コアは、直径が約200～約700ミクロン、好ましくは約500～約600ミクロン、更に好ましくは約600ミクロンである。本明細書において使用されている“約”という用語は、プラスマイナス10%の範囲を含んでいる。

【0018】

クラッド2は、フッ素がドーピングされた石英ガラスによって作られるのが好ましい。クラッドは、屈折率を変えるイオン（ゲルマニウム）がドーピングされている石英ガラス並びに米国特許出願第12/544,136号に開示されているもののような他の材料によって構成されても良い。該米国特許出願はこれに言及することにより、その開示内容が参考として本明細書に組み入れられている。クラッドの厚みは、使用されている波長及びコア直径に応じて、約50ミクロン～約250ミクロン、好ましくは約40ミクロン～約70ミクロン、更に好ましくは約60ミクロンである。多層構造に関してここで使用されている“厚み”という用語は、層の内径と外径との間の距離を意味している。クラッドの厚みは、コアのサイズ及び意図されている波長に基づいており且つ関連付けられている。一般的には、1.1ミクロンの波長に対しては、クラッドの外径はコアの外径の1.1倍以上であるべきであり、1.5ミクロンの波長に対しては、クラッドの外径はコアの外径の約1.5倍以上であるべきである。単一のクラッドが図示されているけれども、多数のクラッドを使用しても良いことがわかる。

【0019】

コーティング3は、ポリイミドコーティングが望ましい高い温度に対しては、高温アクリレートポリマーによって作られるのが好ましい。コーティングは、金属のような他の材料並びに米国特許出願第12/544,136号に開示されているような材料によって作っても良い。該米国特許出願の開示内容は、これに言及することにより、参考として本明細書に組み込まれている。コーティングの厚みは、約50ミクロン～約250ミクロン、好ましくは約40ミクロン～約150ミクロン、更に好ましくは約90ミクロンであるのが好ましい。該コーティングの厚みは、極端な環境、状態、及び特別な用途に対しては更に厚くすることさえでき、又は比較的需要が少ない環境及び用途に対しては更に薄くしても良い。この厚みは、ケーブルの特別な用途において受け且つ／又は予想されるコア及びクラッドに対する特別な環境による危険性及び／又は物理的な危険性から保護するように調製することができる。

【0020】

第一の保護層4と第二の保護層5とは、同じであっても良いし異なっても良く、又はこれらの層は、互いに異なる材料を含む単一の複合層としても良い。該第一の保護層と第二の保護層とは異なる材料であるのが望ましい。

【0021】

第一の保護層は、チキソトロップゲルであるのが好ましい。この好ましい実施例においては、この層は、主として、ファイバをヒドロキシイオン及び振動による吸収損失から保護する。チキソトロップゲルは、ファイバを振動による機械的損傷から保護すると共に該

10

20

30

40

50

ゲルは静止しているときにその粘度が増大するので垂直方向に垂下しているときにファイバに対する支持を提供する。パラジウム添加剤が該チキソトロップゲルに添加されて水素の掃引を提供する。ファイバ内に拡散する水素は、ゲルマニウム又はこれに類似のイオンがドーブされているコアにとっては問題があるかも知れない。純粋なケイ素がドーブされているコアを使用した場合には、この作用はそれほどではない。第一の保護層は、米国特許出願第12／544, 136号に開示されているもののような材料によって作ることができる。該米国特許出願は、これに言及することにより、その開示内容全体が本明細書に参考として組み込まれている。該第一の保護層の厚みは、使用環境及び使用条件並びにケーブルの望ましい可撓性及び／又は堅牢性に基づいて選択されるべきである。このように、該第一の保護層の組成及び厚みは、ケーブルの特別の用途において遭遇し且つ／又は予想されるコア、クラッド及びコーティングに対する特別な環境及び／又は物理的な危険性から保護するように調製することができる。このようにして、この好ましいチキソトロップゲルを使用することによって、ケーブルの製造への付加並びにひとたびケーブルの製造が完了したときにコアに対する機械的保護を提供するという両方の利点が提供される。

【0022】

第二の保護層は316ステンレスからなるステンレス鋼管であるのが好ましい。該第二の保護層は、長距離に亘ってファイバに物理的強度を付与すると共に、物理的な損傷及びケーブルが使用される環境からの保護を提供するのが好ましい。該第二の保護層は、米国特許出願第12／544, 136号に開示されているもののような他の材料によって作られても良い。該米国特許出願は、これに言及することにより、その開示内容全体が参考として本明細書に組み込まれている。該第二の保護層の厚みは、使用条件及びケーブルが使用される環境に基づいて選択されるべきである。この厚みは更に、該ケーブルを構成している材料の重量及び強度にも依存する。従って、該第二の保護層の厚み及び組成は、ケーブルの特別な用途において受け且つ／又は予測されるコア、クラッド、及びコーティングに対する特別な環境及び／又は物理的危険性から保護するように調製することができる。

【0023】

該光ファイバケーブルの長さは、約0.5 km（キロメートル）より長くしたり、約1 kmより長くしたり、約2 kmより長くしたり、約3 kmより長くしたり、約4 kmより長くしたり、約5 kmより長くしたりすることができる。好ましい第一の保護層と第二の保護層とを使用している好ましい光ファイバは、約300℃以下の温度、約3,000 psi～36,000 psi（20.68 MPa～248.21 MPa）の圧力、及びファイバの全長に亘る腐食性の環境に対して、パワーの実質的な損失がない状態で長期間に亘って耐えることができる。該光ファイバケーブルのパワー損失は、所定の波長に対して、約2.0 dB/km未満、約1.5 dB/km未満、約1.0 dB/km未満、約0.5 dB/km未満、及び約0.3 dB/km未満である。該光ファイバケーブルのパワー伝達率は、少なくとも約50%、少なくとも約60%、少なくとも約80%、及び少なくとも約90%である。

【0024】

該ケーブルの可撓性及び／又は堅牢性は、該ケーブルの種々の層において使用される材料のサイズ及びタイプに基づいて変えることができる。従って、用途に応じて、更に堅牢か更に可撓性のあるケーブルが望ましいかも知れない。該ケーブルは、外径が約6メートル以下のスプール又はリールに対して繰り返し巻き付けたり繰り出したりできる十分な可撓性及び強度を有しているのが好ましい。この外径のスプールサイズは、一般道路をトラックによって搬送することができる。従って、本発明は、外径が約6メートル未満であり且つ本発明の光ファイバを0.5メートル～5 kmの範囲内で備えているスプール又はリール、外径が約6メートル未満であり且つ約0.5 km（キロメートル）より長い、約1 kmより長い、約2 kmより長い、約3 kmより長い、約4 kmより長い、約5 kmより長い本発明の光ファイバを備えているスプール又はリールを包含している。

【0025】

あらゆるタイプの高パワーレーザーが、本発明の光ファイバケーブルと共に使用するた

10

20

30

40

50

めのレーザーエネルギー源として使用できる。このようなレーザーの例は米国特許出願第 12/544, 136 号に開示されており、該特許出願の開示内容は、これに言及することにより本明細書に参考として組み入れられている。光ファイバケーブルの組成及び構造、特にコア及びクラッドの組成は、レーザーが射出する特定のビームに対してパワー損失の低下を最適化するように選択されなければならない。約 800 nm～約 2000 nm の波長のビームを発するレーザーは、本発明のケーブルと共に使用されるときに、許容可能なパワー損失を確認することができ、すなわち利点を有する。しかしながら、約 1060 nm～約 1100 nm 及び約 1470 nm～約 1600 nm の波長は更に大きな潜在的な利点を有する。高パワー赤外レーザーが好ましい。現在のところ、約 1490 nm、約 1550 nm、約 1080 nm の波長は、更に大きな潜在的な利点を有しているので好ましい。更にこれらの波長範囲内の広帯域幅のビームは更に大きな利点を有している。好ましくは、該レーザーは、少なくとも約 1 kW、少なくとも約 3 kW、少なくとも約 5 kW、少なくとも約 10 kW、及び少なくとも約 20 kW 以上のパワーの赤外波長レーザービームを発生するはずである。

【0026】

本発明の光ファイバケーブルと共に使用するためのこのような好ましいレーザーの例は、IGP 2000 YB である。このレーザーの詳しい特性は、米国特許出願第 12/544, 136 号に開示されている。該米国特許出願は、これに言及することにより、その開示内容が本明細書に参考として組み入れられている。好ましいレーザーは 20 個のモジュールからなる。ファイバレーザーの利得帯域幅は 20 nm 程度であり、自由振動器の線幅は 3 mm であり、半値全幅 (FWHM) は (10 nm を含む比較的広い線幅が想像でき且つ考えられるけれども) 3 nm～5 nm の範囲内である。各モジュールの波長は互いに若干異なっている。該モジュールは更に、各々、マルチモードのビームを形成している。従って、これらのモジュールからのビーム同士を結合する累積効果は、ラマン利得とブリュアン利得とを個々のモジュールの波長と線幅とに対応する比較的低い値に維持すること、従って、結果的に結合されたビームがファイバ内を伝達されるときにファイバ内の SBS 現象及び SRS 現象を減らすことである。

【0027】

図 3 の試験装置は、本発明の種々のファイバを評価するために使用することができる。従って、レーザー 301 が設けられており、約 25 m 未満の短い 300 μ m ファイバ 302 が該レーザーを QBH コネクタ 303 に結合しており、QBH コネクタ 303 は、ファイバ 302 をコリメータ 304 に結合している。コリメータ 304 は、レーザービームを平行にして 1/4 % ビームサンプラ 305 内を通過させる。該ビームは、装置内のこの位置で 1/4 % ビームサンプラ 306、ビームダンプ 307、又はコリメータ 308 へと導かれる。コリメータ 308 は、ビームを集光させて QBH コネクタ 309 内へ入力する。コリメータ 308 は、集光レンズ、ヒートシンク、及びファイバ受け口を備えている。コネクタ 309 はコリメータ 308 に結合されている。コネクタ 309 は長い試験ファイバ 310 に固定されている。長い試験ファイバ 310 は QBH コネクタ 311 を備えており、QBH コネクタ 311 は長い試験ファイバ 310 をコリメータ 312 に結合している。レーザービームは、コリメータ 312 から 1/4 % ビームサンプラ 313 へと進む。ビームは、サンプラ 313 からパワーメータ 314 又は光スペクトル分析器 (OSA) 315 へと進む。光時間領域反射率計 (OTDR) 316 は、定期的なレーザービームをサンプラ 306 を介して受け取ったり伝達させたりし、サンプラ 305 へ進ませ、次いでファイバを 310 に沿って進ませる。OTDR 315 もまた、レーザー 301 とは別個にファイバ 310 を試験するために使用することができる。レーザー 301 からのレーザービームは、サンプラ 306 から 1/4 % ビームサンプラ 317 へと進み、次いで OSA 315 又はパワーメータ 318 へと進む。

【0028】

実施例 1

本発明の光ファイバケーブルの実施形態の一つの例は、直径が約 600 ミクロンの石英

10

20

30

40

50

ガラス製のコアと、厚みが60ミクロンのフッ素がドーブされた石英ガラス製のクラッドと、厚みが約90ミクロンの高温アクリレートコーティングと、厚みが約2500ミクロンのチキソトロールゲルからなる第一の保護層と、外径が約6250ミクロンで長さが約2kmの316ステンレス鋼製の第二の保護層とからなる。コアとクラッドとコーティングとを備えているファイバ構造の長さは、ステンレス鋼製の保護層の長さよりも長い。この長さの違いによって、ケーブルが、例えば、坑井内を下方へ伸長せしめられるときのよう

10

【0029】

実施例2

本発明の光ファイバケーブルの一実施形態の一つの例は、直径が約500ミクロンの石英ガラス製のコアと、厚みが50ミクロンのフッ素がドーブされた石英ガラス製のクラッドと、厚みが約60ミクロンのアクリレートコーティングと、外径が1/8インチ(3.175ミリメートル)のステンレス鋼製の保護層と、約2kmの長さとを有している。該ファイバの開口数(NA)は0.22である。この実施例のファイバは、好ましいレーザーからの約10kW(キロワット)のパワーのレーザービーム(波長が1080nm)を、約2kmの距離に亘って、約150℃以下の温度及び大気圧下で、0.8dB/km未満のパワー損失で伝達させることができる。

20

【0030】

実施例3

本発明の光ファイバケーブルの一実施形態の一つの例は、直径が約600ミクロンの石英ガラス製のコアと、厚みが60ミクロンのフッ素がドーブされた石英ガラス製のクラッドと、厚みが約90ミクロンのアクリレートコーティングと、外径が1/8インチ(3.175ミリメートル)のステンレス鋼製の保護層と、約0.5kmの長さとを有している。該ファイバの開口数(NA)は0.17である。この例のファイバは、好ましいレーザーからの約10kW(キロワット)のパワーのレーザービーム(波長が1080nm)を、約0.5kmの距離に亘って、約200℃以下の温度及び大気圧下で、1dB/km未満のパワー損失で伝達させることができる。

30

【0031】

実施例4

好ましいIPG20000YBレーザービームを、1kHzのパルス繰返数に対して10%のデューティサイクルで作動させた。この実施例の作動条件は、SBSに対する時定数よりも長いパルス持続時間を維持するように確立した。従って、SBSの欠如は、パルス持続時間ではなくファイバとレーザーとの結果であった。レーザービームを実施例2の2kmファイバの中を伝達させ、図3に示されている試験装置のラインに沿った試験装置内で評価し、表Iに示されている結果が得られた。表I中、射出されたピークパワーとパワー出力との単位はワットである。

40

【0032】

【表 1】

表 I

ピークの射出パワー	ピークのパワー出力	伝達パーセンテージ
9 2 4	4 5 2	4 8. 9
1 5 3 5	8 6 4	5 6. 3
1 5 6 3	8 4 4	5 4. 0
1 6 6 0	8 6 4	5 2. 0
1 8 1 8	9 7 0	5 3. 3
1 9 3 2	1 0 4 5	5 4. 1
2 0 0 0	1 1 0 0	5 5. 0
2 2 2 4	1 1 5 3	5 1. 8
2 2 9 7	1 2 1 6	5 2. 9
2 4 9 5	1 2 5 0	5 0. 1
2 6 3 2	1 3 2 9	5 0. 5
2 7 5 6	1 4 2 1	5 1. 6
3 0 2 8	1 5 9 2	5 2. 6
3 4 2 1	1 8 1 6	5 3. 1
3 6 8 4	1 9 8 7	5 3. 9
3 9 4 7	2 1 0 5	5 3. 3
4 3 4 2	2 2 6 3	5 2. 1
4 6 0 5	2 3 8 2	5 1. 7
4 8 6 8	2 4 8 7	5 1. 1

10

【0 0 3 3】

4 8 6 8 ワットパワーに対するスペクトルが図 4 に示されている。S R S 現象が存在しないことがスペクトル内に明確に示されている。（ここで使用されている特別な現象又は作用が“無い”、“存在しない”、“発生しない”というような用語は、全ての実際上の目的に対して、該現象又は作用が存在しないこと及び／又は当業者が使用する通常的手段によって観察できないことを意味している。）更に、射出（入力）及び出力パワーは S B S 現象が存在しないことを確実なものとしている。更に、レーザーのパルス動作がファイバレーザーの波長をチャープ（周波数変動）させたかも知れず、これは、S B S 及び S R S 現象の抑制に更に寄与した。なぜならば、これは効率の良い比較的広いレーザー線幅をもたらすからである。

20

【0 0 3 4】

実施例 5

好ましい I G P 2 0 0 0 0 Y B レーザーを、連続波を提供するように作動させた。下の表に記載されているように、1 個、2 個、4 個、及び 6 個のモジュールを使用した。各パワーに対して、レーザーは約 2 分 1 5 秒間発光させた。レーザービームを実施例 2 の 2 k m ファイバ内で伝達させ、図 3 に示されている試験装置のラインに沿って該試験装置内で評価し、表 II に示されている結果が得られた。表 II において、レーザーパワー（入力パワー）と出力パワーとは、ワットで示されており且つパワー処理量は伝達率と同じ意味である。

30

【0 0 3 5】

【表 2】

表 II

1 個のモジュール	レーザー設定	レーザーパワー	2 k mファイバの出力	パワー処理量
	%	ワット		
	1 0	2 5	2 0	8 0 %
	1 1	7 0	5 2	7 4 %
	1 2	8 0	5 9	7 4 %
	1 3	9 0	6 6 . 5	7 4 %
	1 4	9 0	7 3 . 9	8 2 %
	1 5	1 1 0	8 1 . 5	7 4 %
	1 6	1 2 0	8 9 . 2	7 4 %
	1 7	1 3 0	9 6 . 5	7 4 %
	1 8	1 4 0	1 0 4 . 2	7 4 %
	1 9	1 5 0	1 1 1 . 2	7 4 %
	2 0	1 6 0	1 1 8 . 8	7 4 %
	2 1	1 7 0	1 2 6 . 2	7 4 %
	2 2	1 8 0	1 3 3 . 2	7 4 %
	2 3	1 9 0	1 4 0 . 5	7 4 %
	2 4	2 0 0	1 4 7 . 9	7 4 %
	2 5	2 1 0	1 5 5 . 2	7 4 %
	2 6	2 2 0	1 6 0 . 4	7 3 %
	2 7	2 3 0	1 6 7 . 2	7 3 %
	2 8	2 4 0	1 8 1	7 5 %
	2 9	2 6 0	1 7 7 . 7	6 8 %
	3 1	2 8 0	1 9 1 . 8	6 9 %
	3 3	3 0 0	2 0 6 . 7	6 9 %
	3 5	3 3 0	2 2 1 . 5	6 7 %
	3 7	3 5 0	2 3 6 . 4	6 8 %
	3 9	3 6 0	2 5 0 . 1	6 9 %
	4 1	3 9 0	2 6 3 . 3	6 8 %
1 個のモジュール				
	2 3	1 9 0	1 2 0	6 3 %
	3 5	3 3 0	2 1 5	6 5 %
	4 1	4 0 0	2 5 7	6 4 %
	4 5	4 3 0	2 8 8	6 7 %
	5 0	4 9 0	3 1 3	6 4 %
	5 5	5 4 0	3 5 2	6 5 %
	6 0	5 9 0	3 8 2	6 5 %
	6 5	6 4 0	4 1 1	6 4 %
	7 0	6 9 0	4 7 7	6 9 %
	7 5	7 5 0	4 9 3	6 6 %
	8 0	8 0 0	5 2 5	6 6 %
	8 5	8 5 0	5 6 5	6 6 %
	9 0	9 0 0	5 9 9	6 7 %
	9 5	9 5 0	6 2 5	6 6 %
	1 0 0	1 0 0 0	6 4 7	6 5 %
2 個のモジュール				
	5 0	9 9 0	6 5 5	6 6 %
	5 5	1 1 0 0	7 0 9	6 4 %
	6 0	1 2 0 0	8 2 0	6 8 %
	6 5	1 3 1 0	8 5 5	6 5 %
	7 0	1 4 1 0	9 4 0	6 7 %
	7 5	1 5 1 0	1 0 0 5	6 7 %
	8 0	1 6 2 0	1 0 6 0	6 5 %
	8 5	1 7 3 0	1 2 0 0	6 9 %
	9 0	1 8 3 0	1 2 2 0	6 7 %
	9 5	1 9 3 0	1 2 6 5	6 6 %
	1 0 0	2 0 0 0	1 3 4 0	6 7 %
4 個のモジュール				
	5 0	1 9 9 9	1 3 1 0	6 6 %
	5 5	2 2 0 0	1 4 6 0	6 6 %
	6 0	2 4 1 0	1 5 8 8	6 6 %
	6 5	2 6 3 0	1 7 4 0	6 6 %
	7 0	2 8 0 0	1 8 5 2	6 6 %
	7 5	3 0 4 0	2 0 0 0	6 6 %

10

20

30

40

	8 0	3 2 5 0	2 1 3 0	6 6 %
	8 5	3 4 6 0	2 2 9 0	6 6 %
	9 0	3 6 7 0	2 4 3 0	6 6 %
	9 5	3 8 7 0	2 5 3 5	6 6 %
	1 0 0	4 0 0 0	2 6 7 5	6 7 %
6 個のモジュール				
	6 5	4 0 4 0	2 6 6 5	6 6 %
	7 0	4 3 5 0	2 8 7 5	6 6 %
	7 5	4 6 5 0	3 1 0 0	6 7 %
	8 0	4 9 3 0	3 3 0 0	6 7 %

【0036】

10

100%のレーザー設定における4個のモジュールのスペクトルが図5に示されている。SRS現象が起こらないことが該スペクトルに明確に示されている。更に、入力及び出力パワーの線形関係によってSBS現象が起こらないことが確保されている。

【0037】

実施例6

好ましいIPG20000YBレーザーを作動させて連続波を提供した。1個のモジュールを使用した。各パワーについて、レーザーは約2分15秒間発光させた。レーザービームは、実施例3の0.5kmファイバ内を伝達させ、図3に示されている試験装置のラインに沿って該試験装置内で評価し、表III及び表IVに示されている結果が得られた。表II及び表IVにおいて、レーザーパワー（入力パワー）及び出力パワーはワットによって示されており、パワー処理量は伝達率と同義である。

20

【0038】

【表3】

表III

パワー (W)	パワー出力 (W)	%伝達率
2 2 0	1 9 6	8 9 . 0 9 %
4 4 0	3 8 0	8 6 . 3 6 %
6 6 0	5 6 0	8 4 . 8 5 %
8 8 0	7 4 0	8 4 . 0 9 %
1 0 0 0	8 4 0	8 4 . 0 0 %
1 0 0 0	8 6 0	8 6 . 0 0 %
1 0 0 0	8 8 0	8 8 . 0 0 %
1 0 0 0	8 5 0	8 5 . 0 0 %
1 0 0 0	8 5 0	8 5 . 0 0 %
1 0 0 0	8 5 0	8 5 . 0 0 %
1 0 0 0	8 5 0	8 5 . 0 0 %

30

【0039】

【表 4】

表Ⅳ

モジュールの個数	%レーザーパワー	パワー (W)	パワー出力 (W)	%伝達率
1	3 0	2 7 0	2 5 3	9 3 . 7 0 %
1	3 0	2 7 0	2 4 4	9 0 . 3 7 %
1	3 5	3 2 0	3 0 0	9 3 . 7 5 %
1	4 0	3 9 0	3 7 0	9 4 . 8 7 %
1	4 5	4 3 0	3 9 0	9 0 . 7 0 %
1	3 0	2 7 0	2 4 7	9 1 . 4 8 %
5	1 5	5 8 0	5 2 0	8 9 . 6 6 %
5	2 0	8 6 0	7 7 0	8 9 . 5 3 %
5	2 5	1 1 4 0	9 8 0	8 5 . 9 6 %
5	3 0	1 4 2 0	1 2 3 0	8 6 . 6 2 %
5	3 5	1 7 0 0	1 4 4 0	8 4 . 7 1 %
5	4 0	1 9 7 0	1 7 0 0	8 6 . 2 9 %
5	4 5	2 2 5 0	1 9 1 0	8 4 . 8 9 %
5	5 0	2 5 2 0	2 1 5 0	8 5 . 3 2 %
5	5 5	2 7 9 0	2 3 5 0	8 4 . 2 3 %
5	6 0	3 0 6 0	2 6 0 0	8 4 . 9 7 %
5	6 5	3 3 2 0	2 8 0 0	8 4 . 3 4 %
5	7 0	3 5 9 0	3 0 0 0	8 3 . 5 7 %
5	7 5	3 8 5 0	3 2 0 0	8 3 . 1 2 %
5	8 0	4 1 2 0	3 5 0 0	8 4 . 9 5 %

10

【0 0 4 0】

20

実施例 7

好ましい I P G 2 0 0 0 0 Y B レーザーを作動させて連続波を提供した。下の表に示されているように、2 個、6 個、8 個、及び 1 0 個のモジュールを使用した。各パワーについて、レーザーを約 2 分 1 5 秒間発光させた。レーザービームは、実施例 2 の 2 k m ファイバ内を伝達させ、図 3 に示されている試験装置のラインに沿って該試験装置内で評価し、表 V に示されている結果が得られた。表 V において、レーザーパワー（入力パワー）及び出力パワーは、ワットで示されており、パワー処理量は伝達率と同義である

【0 0 4 1】

【表 5】

表 V

モジュール	レーザー設定	レーザーパワー	2 k ファイバ	処理量
	%	ワット	ワット	
2 個のモジュール				
	1 0	5 0	3 9	7 8 %
	1 5	2 2 0	1 6 2	7 4 %
	2 0	3 3 0	2 4 3	7 4 %
	2 5	4 4 0	3 2 0	7 3 %
	3 0	5 5 0	4 2 0	7 6 %
	3 5	6 6 0	4 7 0	7 1 %
	4 0	7 7 0	5 5 0	7 1 %
	4 5	8 8 0	6 5 0	7 4 %
	5 0	9 9 0	7 0 0	7 1 %
	5 5	1 1 0 0	7 7 0	7 0 %
	6 0	1 2 0 0	8 5 0	7 1 %
	6 5	1 3 1 0	9 4 0	7 2 %
	7 0	1 4 2 0	9 9 0	7 0 %
	7 5	1 5 1 0	1 0 7 0	7 1 %
	8 0	1 6 1 0	1 1 3 0	7 0 %
	8 5	1 7 2 0	1 2 0 0	7 0 %
	9 0	1 8 2 0	1 2 9 0	7 1 %
	9 5	1 9 3 0	1 3 7 0	7 1 %
	1 0 0	2 0 2 0	1 4 2 0	7 0 %
6 個のモジュール				
	1 0	1 5 0	1 3 0	8 7 %
	2 0	1 0 4 0	7 1 0	6 8 %
	2 5	1 3 8 0	9 4 0	6 8 %
	3 0	1 7 2 0	1 2 0 0	7 0 %
	3 5	2 0 5 0	1 4 2 0	6 9 %
	4 0	2 3 9 0	1 6 6 0	6 9 %
	4 5	2 7 2 0	1 9 0 0	7 0 %
	5 0	3 0 5 0	2 1 4 0	7 0 %
	5 5	3 3 9 0	2 3 5 0	6 9 %
	6 0	3 7 1 0	2 5 8 0	7 0 %
	6 5	4 0 3 0	2 8 1 0	7 0 %
	7 0	4 3 5 0	3 1 0 0	7 1 %
	7 5	4 6 6 0	3 2 0 0	6 9 %
	8 0	4 9 8 0	3 5 0 0	7 0 %
	8 5	5 3 0 0	3 7 0 0	7 0 %
	9 0	5 6 2 0	3 9 0 0	6 9 %
	9 5	5 9 1 0	4 1 0 0	6 9 %
	1 0 0	6 2 1 0	4 3 0 0	6 9 %
8 個のモジュール				
	4 0	3 2 0 0	2 1 5 0	6 7 %
	4 5	3 6 5 0	2 4 0 0	6 6 %
	5 0	4 0 9 0	2 7 5 0	6 7 %
	5 5	4 5 3 0	3 1 0 0	6 8 %
	6 0	4 9 7 0	3 4 0 0	6 8 %
	6 5	5 3 9 0	3 7 0 0	6 9 %
	7 0	5 8 2 0	4 0 0 0	6 9 %
	7 5	6 2 4 0	4 3 0 0	6 9 %
	8 0	6 6 5 0	4 6 0 0	6 9 %
	8 5	7 0 8 0	4 9 0 0	6 9 %
	9 0	7 5 0 0	5 2 0 0	6 9 %
	9 5	7 9 2 0	5 4 0 0	6 8 %
	1 0 0	8 2 8 0	5 7 0 0	6 9 %
1 0 個のモジュール				
	1 0	2 8 0	2 0 2	7 2 %
	1 5	1 1 9 0	8 6 0	7 2 %
	2 0	1 7 5 0	1 2 1 0	6 9 %
	2 5	2 3 2 0	1 6 1 0	6 9 %
	3 0	2 8 8 0	1 9 8 0	6 9 %
	3 5	3 4 4 0	2 3 8 0	6 9 %
	4 0	4 0 0 0	2 7 5 0	6 9 %
	4 5	4 5 5 0	3 1 0 0	6 8 %

10

20

30

40

	5 0	5 1 0 0	3 5 0 0	6 9 %
	5 5	5 6 4 0	3 9 0 0	6 9 %
	6 0	6 1 7 0	4 3 0 0	7 0 %
	6 5	6 6 9 0	4 6 0 0	6 9 %
	7 0	7 2 2 0	5 0 0 0	6 9 %
	7 5	7 7 4 0	5 3 0 0	6 8 %
	8 0	8 2 7 0	5 7 0 0	6 9 %
	8 5	8 7 9 0	6 0 0 0	6 8 %
	9 0	9 3 0 0	6 3 0 0	6 8 %

【0042】

9300W出力パワーの10個のモジュールの90%レーザー設定におけるスペクトルが図6に示されている。SRS現象が起こらないことが該スペクトルにおいて明確に示されている。更に、入力パワーと出力パワーとの線形関係によって、SRS現象が起こらないことが確保されている。

10

【0043】

本発明の光ファイバケーブルは、多くの且つ様々な使用方法を有しており、今までのところ、そのうちの幾つかが実現されている。従って、光ファイバケーブルは、レーザー溶接及び切削工具のような公知のレーザー工具において使用するためのレーザーエネルギーを提供するために使用することができる。該光ファイバケーブルは、新しく開発された革新的なレーザー工具において使用するためのレーザーエネルギーを提供するために使用することができる。該新しく開発されたレーザー工具としては、例えば、2009年10月1日に出願されたMethod of Communicating Power and/or Data Though a Mud Motor（マッドモーターによってパワー及び／又はデータを通信する方法）という名称の米国特許出願第61/247,796号、及び2009年8月19日に出願されたApparatus for Advancing a Wellbore using High Power Laser Energy（高パワーレーザーエネルギーを使用して坑井を前進させるための装置）という名称の米国特許出願第12/544,038号に記載されている坑井を前進させるためのレーザー穴底アセンブリがある。更に、パイプラインの建設において使用するためのレーザーエネルギーを提供するために使用しても良い。更に、本発明の光ファイバケーブルは、軽量高強度材料によって作られ且つ高パワーを長距離に亘って提供する能力により、坑道掘削、ボーリング、材料除去のようなレーザー機械工具及び装置を改造し且つ／又は製造するために使用することができる。更に、本発明のケーブルは、軽量高強度材料によって作られ且つ高パワーを長距離に亘って提供する能力により、高パワーエネルギーを長距離に亘って効率良く伝達することが必要とされ有用であり且つ／又は有益であるあらゆる公知の又は後に発見される用途において使用できるという能力を有している。

20

30

【0044】

本発明の光ファイバケーブルは更に、他の管状及び／又はワイヤ状の設備に組み込み、配備させ、又は該設備と組み合わせる使用することができる。このような設備としては、例えば、掘削工業において使用されるコイル状に巻かれた管、掘削工業において使用される穴開けパイプ、及び降下、上昇、保持、結合設備に対して使用されるケーブルがある。本発明の光ファイバケーブルは、特定の用途に対しては相互に束ねても良く、このようにして特定の用途においては、複数のケーブルを使用することができ、これらの複数のケーブルを、掘削工業において使用されるコイル状の管、穴開けパイプ、ケーシング、及びライザーのような管内に組み込み又は配備させ且つ／又は該管と組み合わせることができる。更に、該光ファイバケーブルは相互に結合させても良い。更に、単一のケーブルを幾つかのケーブルに結合するか又はスイッチを使用して分岐させても良い。このようにして、一つの高パワーレーザーを、該高パワーエネルギーを長距離に亘って多数の工具に付与し且つ／又は長い距離のところに隔てられている多数の工具に付与するために使用することができる。

40

【0045】

更に、単一の長さのファイバの使用、すなわち、ファイバの長さを比較的長い距離に亘

50

るパワーの伝達のために端部同士を光学的に結合するかスライスするか又は別の方法で端部同士を光学的に結合した一連のファイバではなく1本のファイバによって作られるのが好ましいけれども、端部同士を結合させた多数の長さのファイバを使用しても良い。更に、幾つかの長さの光ファイバケーブル又は幾つかの長さのファイバコア構造又はこれらの両方を組み合わせたものを結合させて、このような構造の複数個を、例えば、光ファイバケーブルの束、ファイバコア構造、又はこれらの両方の組み合わせとしても良い。

【0046】

このように、本発明の光ファイバケーブルは、高パワーレーザーエネルギーを長距離に亘って、工具又は機械、例えば、溶接機、切削機、ボーリング、及び排土装置、物質取り出し装置に給送するために使用できる。このような装置においては、レーザーエネルギーは、
10
次いで、このような工具又は機械によって、面、物質、又は加工部片へと導かれる。更に、本発明の光ファイバは、作動動力例えば機械又は器具を作動させる動力を、長距離に亘って提供するために使用することもできる。本発明の光ファイバケーブルは、過酷な環境、例えば、鉱山、トンネル、坑井、造船所、工場、原子力サイト、高温、苛性条件、腐食条件、及び水中において、このような用途のために長距離に亘って高パワーレーザーエネルギーを提供するために使用することができる。

【0047】

上記の記載から、当業者は、本発明の基本的な特徴を容易に確かめることができ且つ本発明の精神及び範囲から逸脱することなく本発明の種々の用途及び条件に適合するように本発明に種々の変更／及び改造を施すことができることを認識することができる。
20

【符号の説明】

【0048】

- | | | |
|----------------------|------------------|--------------|
| 1 コア1、 | 2 クラッド、 | 3 コーティング、 |
| 4 第一の保護層、 | 5 第二の保護層、 | 301 レーザー、 |
| 302 ファイバ、 | 303 QBHコネクタ、 | 304 コリメータ、 |
| 305 1／4％ビームサンプラ、 | 306 1／4％ビームサンプラ、 | |
| 307 ビームダンプ、 | 308 コリメータ、 | 309 QBHコネクタ、 |
| 310 試験ファイバ、 | 311 QBHコネクタ、 | 312 コリメータ、 |
| 313 1／4％ビームサンプラ、 | 314 パワーメータ、 | |
| 315 光スペクトル分析器（OSA）、 | | |
| 316 光時間領域反射率計（OTDR）、 | | |
| 317 1／4％ビームサンプラ、 | 318 パワーメータ | |

10

20

30

【図 1 A】

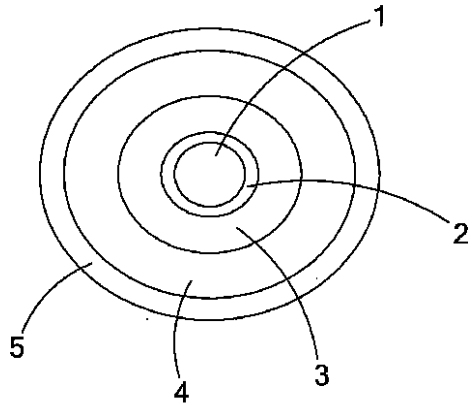


Fig. 1A

【図 2】

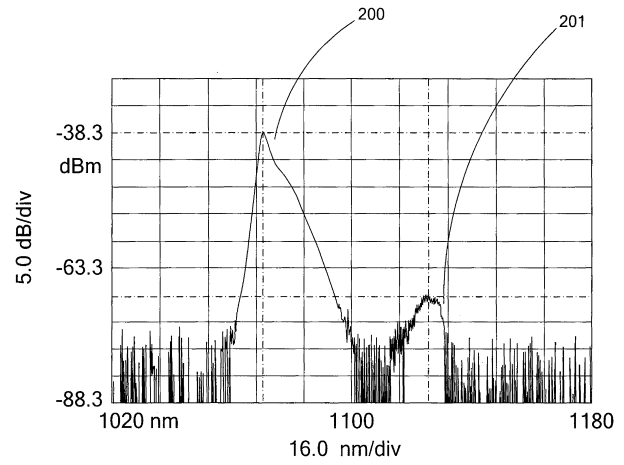


Fig. 2 (従来技術)

【図 1 B】

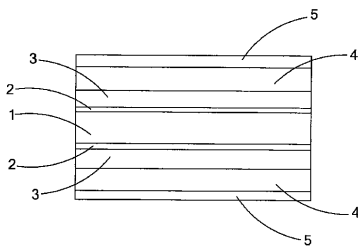


Fig. 1B

【図 3】

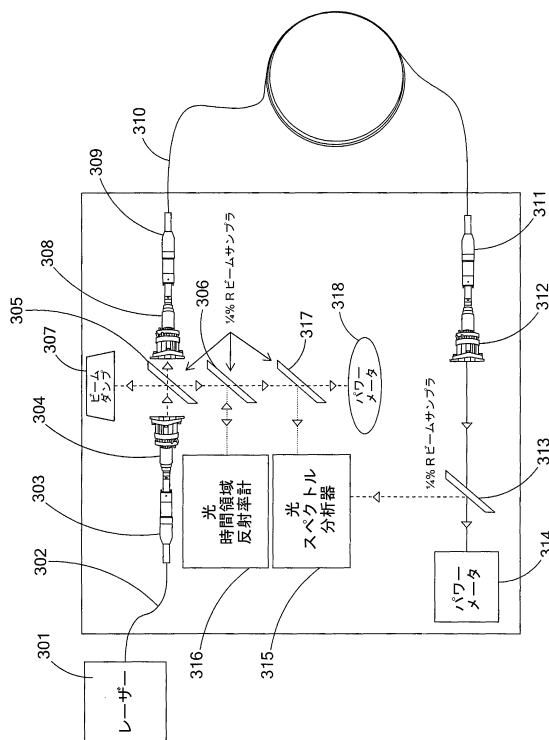


Fig. 3

【図 4】

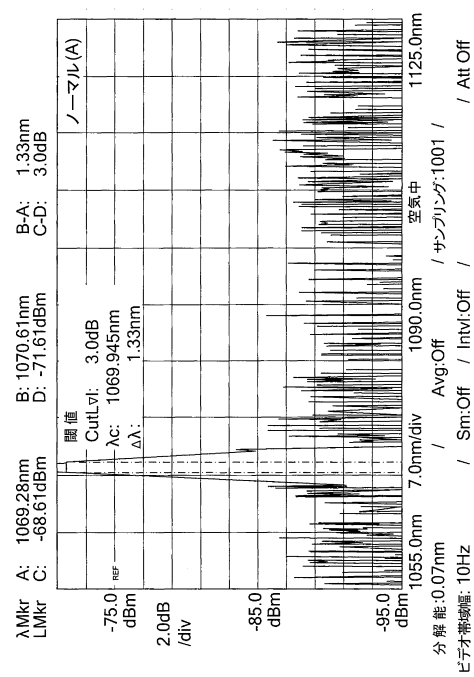


Fig. 4

【図 5】

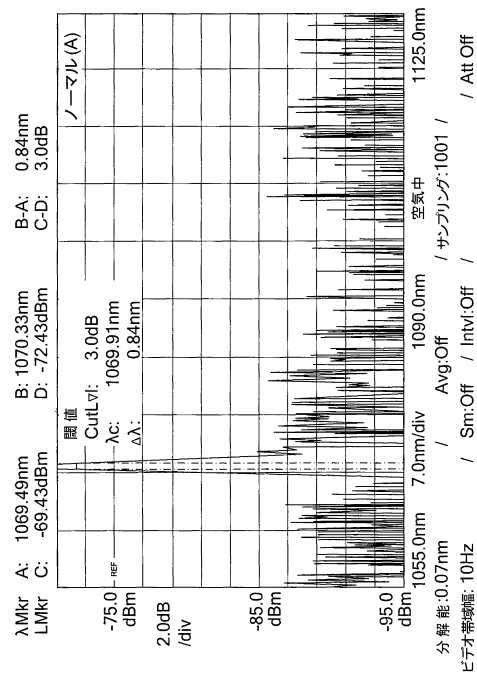


Fig. 5

【図 6】

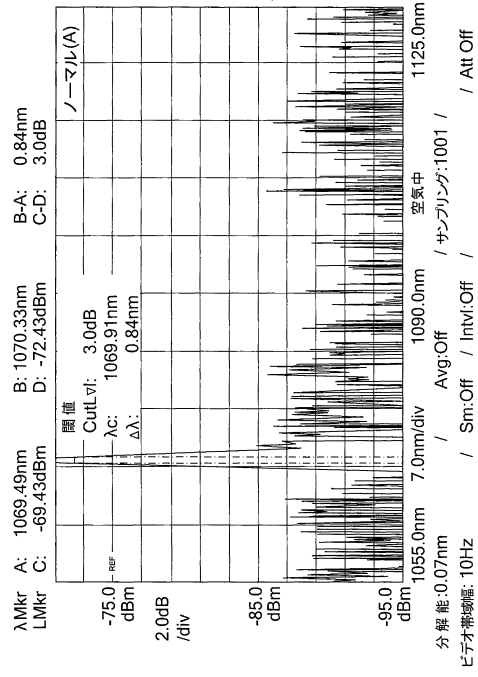


Fig. 6

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 12/544,136

(32)優先日 平成21年8月19日(2009.8.19)

(33)優先権主張国 米国(US)

(31)優先権主張番号 61/295,562

(32)優先日 平成22年1月15日(2010.1.15)

(33)優先権主張国 米国(US)

(72)発明者 リンズラー, チャールズ, シー.

アメリカ合衆国 80202 コロラド州, デンバー, スイート 105, 21 ストリート 1015

(72)発明者 フェアクロス, ブライアン, オー.

アメリカ合衆国 80439 コロラド州, エバーグリーン, ブルック フォレスト レーン 7664

(72)発明者 モックスリー, ジョエル, エフ.

アメリカ合衆国 80204 コロラド州, デンバー, #4シー ワジー ストリート 1301

(72)発明者 エシャヤ, コブリック

アメリカ合衆国 02067 マサチューセッツ州, シャロン ガーデン ストリート 11

審査官 吉田 英一

(56)参考文献 特開2008-242012 (JP, A)

特表2006-509253 (JP, A)

特開2006-039147 (JP, A)

特開昭62-011804 (JP, A)

特開2001-208924 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/00-6/036

G02B 6/44