

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7352015号

(P7352015)

(45)発行日 令和5年9月27日(2023.9.27)

(24)登録日 令和5年9月19日(2023.9.19)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 6/02 (2006.01)

G 0 2 B 6/02 4 1 1

G 0 2 B 6/032(2006.01)

G 0 2 B 6/02 4 5 1

G 0 2 B 6/032 Z

請求項の数 5 (全9頁)

(21)出願番号	特願2022-511262(P2022-511262)	(73)特許権者	509094034
(86)(22)出願日	令和2年8月21日(2020.8.21)		オーエフエス ファイテル, エルエルシー
(65)公表番号	特表2022-545472(P2022-545472 A)		アメリカ合衆国 3 0 0 7 1 ジョージア , ノアクロス, ノースイースト エクス プレスウェイ 2 0 0 0
(43)公表日	令和4年10月27日(2022.10.27)	(74)代理人	100094112
(86)国際出願番号	PCT/US2020/047529		弁理士 岡部 譲
(87)国際公開番号	WO2021/035191	(74)代理人	100106183
(87)国際公開日	令和3年2月25日(2021.2.25)		弁理士 吉澤 弘司
審査請求日	令和4年6月6日(2022.6.6)	(74)代理人	100114915
(31)優先権主張番号	62/889,882		弁理士 三村 治彦
(32)優先日	令和1年8月21日(2019.8.21)	(74)代理人	100125139
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		弁理士 岡部 洋
		(74)代理人	100209808
			弁理士 三宅 高志

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光ファイバ間の結合損失低減

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1のモードフィールド直径(MFD)を有する中空コアファイバ(HCF)と、
前記HCFに結合され、前記第1のMFDの90%以下である第2のMFDを有する追
加のファイバと、

前記第1のMFDから前記第2のMFDへの緩やかな移行を提供するテーパ加工された部
分とを含む、

複数の光ファイバ間の結合損失を低減するように構成された物品。

【請求項 2】

第3のMFDを有し、前記HCFと前記追加のファイバとの間に位置する短いファイバ
をさらに含み、前記第3のMFDは、前記第1のMFDより小さく、前記第2のMFDよ
り大きい、請求項1に記載の物品。

【請求項 3】

リターン損失を増加させるために、HCFと前記追加のファイバとの間に角度接合をさ
らに含む、請求項1に記載の物品。

【請求項 4】

第1のモードフィールド直径(MFD)、コア、およびコア壁領域を持つ中空コアファイ
バ(HCF)と、

第2のMFDを有する追加のファイバであって、前記HCFに結合され、前記HCFの前
記コア壁領域の直径の61%以下である領域において基本モードを伝搬する追加のファイ

10

20

バと、

前記第 1 の M F D から前記第 2 の M F D への緩やかな移行を提供するテーパ加工された部分とを含む、

複数の光ファイバ間の結合損失を低減するように構成された物品。

【請求項 5】

第 1 のモードフィールド直径 (M F D)、コアと、およびコア壁領域を持つ中空コアファイバ (H C F) と、

第 2 の M F D を有する追加のファイバであって、前記 H C F に結合され、前記 H C F の前記コア壁領域の直径の 6 1 % 以下である領域において基本モードを伝搬する追加のファイバと、

10

第 3 の M F D を有し、前記 H C F と前記追加のファイバとの間に位置する短いファイバとを含む、

前記第 3 の M F D は、前記第 1 の M F D より小さく、前記第 2 の M F D より大きい、複数の光ファイバ間の結合損失を低減するように構成された物品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

[関連出願への相互参照]

本出願は、参照により本明細書に組み込まれる、2019 年 8 月 21 日に提出された米国仮出願第 62 / 889,882 号の利益を主張する。

20

【 0 0 0 2 】

ここでは、光ファイバ間の結合損失を低減するためのシステム、方法、および製品、より詳細には、中空コア光ファイバ (H C F) とソリッドコアファイバ (S C F) などの別のファイバとの間の結合損失を、モードフィールド直径 (M F D) ミスマッチを使用して低減するためのシステム、方法、および製品について説明する。

【背景技術】

【 0 0 0 3 】

中空コア光ファイバは、センシング、通信、高出力光パルス伝送などの画期的な性能改善を提供する強力な技術プラットフォームである。実際には、その待ち時間は真空中の光波の伝播にほぼ等しいので、中空コア光ファイバは、データセンタ、高周波株式取引通信リンク、分散コンピューティング環境、ハイパフォーマンスコンピューティングなどのための魅力的なソリューションを提供する。例えば、株式取引アプリケーションでは、中空コア光ファイバは、取引コンピュータ間のデータ伝送時間の短縮を可能にし、取引プログラムがプログラムされた取引トランザクションをより迅速に完了できるようにすると考えられている。

30

【 0 0 0 4 】

中空コアファイバとは、ここでは、中空コアのような固体ではないコアを有する任意のファイバを意味し、中空コアは、真空であってもよいし、空気のような気体で満たされていてもよい。本開示では、フォトリソグラフィギャップクラッドを有する中空コアファイバを例示するが、ここで説明した方法によって、任意の中空コアファイバ間の結合損失を低減することができる。典型的には、中空コアファイバは、ファイバの損失の主要原因であるコアの端部で空気/ガラス界面と重なる光の量を低減するために、標準的なソリッドコア光ファイバよりも大きなコア直径を有する。

40

【 0 0 0 5 】

低レイテンシ、温度非依存性、放射硬度などの中空コアファイバの望ましい特性を利用する光学装置またはシステムでは、H C F は通常、標準的な市販の S C F 用に設計された標準的な光学部品、典型的にはソリッドコアのシングルモードファイバ (S M F) に 1 つまたは複数の点で結合する必要がある。したがって、これらの接続は、しばしばシステムの最良の可能な性能のために重要であるため、これらの接続または接合の結合損失を最小化する必要性が当技術分野に残る。H C F の基本モードの横方向プロファイルは S M F の

50

基本モードとは実質的に異なるので、最小結合損失を達成するために両方のファイバでどれが最良のMFD比であるかは不明である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、当技術分野のニーズに対処し、中空コア光ファイバを含む接続における結合または接合損失を低減することを目的とする。例えば、HCFとSMFとの間の結合損失または接合損失は、HCFのMFDよりも著しく小さいMFDを有するSMFを選択することによって最小化することができる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の1つ以上の実施形態によれば、複数の光ファイバ間の結合損失を低減するように構成された製造物品が本明細書に記載され、製造物品は、第1モードの伝搬を支持する中空コアファイバHCFと、HCFに結合されたSCFとを含む。

【0008】

本発明の例示的な実施形態は、例示的なHCFを、著しく小さいMFDを有する例示的なSMFに結合/接合すること、HCFのMFDとSMFのMFDとの間にあるMFDを持つ3番目のファイバを挿入すること、HCFを端部がテーパ加工されたSMFに結合/接続すること、その端部などでドーパントの濃度が長手方向に変化するSMFにHCFを結合/接続すること、などの方法の形をとる。本発明の他の実施形態および態様は、以下の議論の過程において、添付図面を参照することによって明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の一実施形態による、6つの外側コア(シャント)を有する例示的な19セルHCFにおける基本モードを示す図である。

【図2A】種々のSMF MFDのスプライス損失に対するモードミスマッチ寄与に基づく、図1の例示的なHCFのモード特性の波長依存性を示す図である。

【図2B】図1の例示的なHCFのMFDに基づく、図1の例示的なHCFのモード特性の波長依存性を示す図である。

【図3】例示的なHCFの最適MFD比対正規化コアサイズの関係を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態による例示的なHCFの最適SMF MFD対HCFコアサイズの関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下に詳細に説明するように、本発明は、結合損失を最小化するために、中空コア光ファイバと他のファイバとの間の種々のタイプの結合および接合の特性を評価することに関する。例えば、(中空コアファイバの種々の構成の場合のように)「空気」コアに沿った光信号光の伝送は、標準的なシリカコア光ファイバに関連する伝送速度よりも30%大きい伝送速度を提供する。上述の通り、この特徴は、低遅延通信リンクに依存する高頻度取引企業に特に適用される。低レイテンシは、数千台のサーバを相互接続するために数百キロメートルの光ケーブルが使用されるデータセンタ/スーパーコンピュータのアプリケーションにも適用される。上述したように、本発明の一実施形態は、HCFのMFDよりも著しく小さいMFDを有するSMFを選択することによって、HCFとSMFとの間の結合損失または接合損失を最小化することを可能にする。さらに、本発明のさらなる実施形態によれば、全体での結合損失を最小化するために、ここではモードフィールド適応ファイバ(MFAF)と呼ばれる第3のファイバの短いセクションをSMFとHCFとの間に追加することが有利であり得る。

【0011】

対数(デシベル)スケールでは、HCFとSMFの間のトータルの結合損失または接合損失 $a < (dB) >$ は、以下の数式における2つの項の合計である。

【数 1】

$$\alpha^{(\text{dB})} = \underbrace{-10 \log_{10} \left(1 - \left(\frac{n_{\text{SMF}}^{\text{eff}} - n_{\text{HCF}}^{\text{eff}}}{n_{\text{SMF}}^{\text{eff}} + n_{\text{HCF}}^{\text{eff}}} \right)^2 \right)}_{=: \alpha_{\text{Fresnel}}^{(\text{dB})}} - \underbrace{10 \log_{10} \left(\max_{MFD} \max_{x_0, y_0} \max_{\varphi \in [0, 2\pi)} \frac{|(E_{\text{SMF}}, E_{\text{HCF}})|^2}{(E_{\text{SMF}}, E_{\text{SMF}})(E_{\text{HCF}}, E_{\text{HCF}})} \right)}_{=: \alpha_{\text{mode mismatch}}^{(\text{dB})}}.$$

第 1 の項

【数 2】

$$\alpha_{\text{Fresnel}}^{(\text{dB})}$$

10

は、複数の有効なインデックスが大幅に異なるため、避けられないフレネル反射である。

1550nmの波長では、通常、

【数 3】

$$\alpha_{\text{Fresnel}}^{(\text{dB})} = 0.15\text{dB}$$

につながる

20

【数 4】

$$n_{\text{SMF}}^{\text{eff}} = 1.45$$

と

【数 5】

$$n_{\text{HCF}}^{\text{eff}} = 1.$$

が存在する可能性がある。

30

【0012】

フレネル反射光ファイバに沿って後方に伝搬されてシステムに不要なノイズが生じるのを避けるために、スプライスをファイバ断面に対して角度付けすることができる。

第 2 項

【数 6】

$$\alpha_{\text{mode mismatch}}^{(\text{dB})}$$

(図2A参照)は、2つのファイバの基本モードの不一致によるものであり、対称的な半双線型 (sesquilinear) 形式の表記を使用して、HCFの(電気)場 E_{HCF} とSMFの E_{SMF} の横方向重複積分、すなわち、典型的にはファイバ断面である横断面積 A 上の2つのベクトル場 U 、 V の式

40

【数 7】

$$(U, V) := \int_A \left(U_x(x, y) V_x^*(x, y) + U_y(x, y) V_y^*(x, y) + U_z(x, y) V_z^*(x, y) \right) dA$$

で近似される。

【0013】

50

結合損失を最小にするために、SMFの基本モードは、HCFのコア壁領域との重複が比較的小さくてもよい。図1は、6つの外側コア（例えばシャント）を有する例示的な19セルHCFにおける基本モードのプロット100を示す。矢印は電界の局所的な方向を示し、陰影は光強度の平方根を示す。図1で使用される例示的なHCFは、19セルHCFであるが、本発明の代替の実施形態は、この構造に限定されず、任意の数のセルおよび外側コアを使用する種々のHCFであってもよいが、これに限定されず、外側コアを有さない場合、すなわち、単一コアHCFであってもよい。HCFの基本モードの電場（及び磁場）の方向は、HCFのこのコア壁領域（図1参照）において強く位置依存することに注目することが重要である。これに対し、典型的なSMFは、通常、より均一に配向された電場（および磁場）を有する基本モードを有し得る。SMFがHCFのMFDよりも小さいMFDを有する場合、コア壁領域とのこのようなオーバーラップの低減が達成される。

10

【0014】

しかし、SMFのMFDを小さくしすぎると、結合損失が増加することもある。一例として、図2Aのグラフ200は、図1のガウスモード形状を有するSMFからHCFへのモードミスマッチ損失（接合または結合損失マイナスフレネル反射損失（*splicing or coupling loss minus Fresnel reflection loss*））を示す。1550nmの波長で、約15pmのMFDをもつSMFを用いることにより、約0.29dBの最小モードミスマッチ損失が達成され得る。これは、1550nmで約18mmであるHCFのMFDの約83%に過ぎない（図2Bのグラフ250参照）。これに対し、1550nmで18mmのMFDを有するSMFが選択された場合（図2Aの太線）、モードミスマッチ損失は約0.5dBであり、すなわち、最適損失よりも0.21dB高い。本発明の一実施形態によれば、例示的なSMFのMFDは、例示的なHCFのMFDの85%を超えてはならない。本発明の代替の実施形態によれば、例示的なSMFのMFDは、例示的なHCFのMFDの90%を超えてはならない。

20

【0015】

最適SMF MFDがHCFのMFDよりも著しく小さいという事実は、HCFコア直径の広い範囲、さらには異なるHCF設計にさえも当てはまる。例えば、図3のグラフ300は、HCFの相対的なコアサイズ $d_{core,rel}$ の関数としての最適なMFD比（最適なSMF MFDをHCFのMFDで割ったもの）を示し、これは、当業者は既知の通り、絶対的なコア直径 d_{core} およびマイクロ構造のピッチ P と共に

30

【数8】

$$d_{core,rel} := \frac{d_{core}}{5P}$$

として定義される。2本のファイバHCF1とHCF2は、例えば、空気充填率、 $d_{core,rel}$ 、製造日等の多くの特徴が異なるが、いずれの場合も、最適なMFD比は常に83%程度である。

【0016】

そこで、図3では、測定が困難なHCFのモード特性、すなわちMFDに関してSMFの最適MFDを正規化している。また、図4は、コア直径の測定が容易であるという観点から正規化したものである。図4のグラフ400は、SMF MFDとHCFコアサイズとの関係を示している。これらのユニットでは、SMFの最適MFDはHCF1とHCF2の両方に対して、HCFのコア直径の広い範囲にわたってHCFのコア直径の約56%である。本発明の一実施形態によれば、例示的なSMFのMFDは、例示的なHCFのコア直径の58%を超えてはならない。本発明の別の実施形態によれば、例示的なSMFのMFDは、例示的なHCFのコア直径の61%を超えてはならない。

40

【0017】

上述のように、結合損失または接合損失をさらに低減するために、例示的なSMFと例示的なHCFとの間に第3のファイバ（典型的には短いセクション）を使用することが有

50

利であり得る。したがって、MFDの1つの変更を、MFDの2つの小さな変更置き換えることができる。より一般的には、MFDのさらに緩やかな変化を達成するために、SMFとHCFとの間に1つ以上のファイバまたは導波路（典型的には短いセクション）を使用することができる。代替の実施形態によれば、テーパは、その長さに沿ってMFDの連続的な変化と共に使用されてもよい。

【0018】

モードミスマッチおよび接合損失または結合損失をさらに低減するために、種々のドーパントおよびドーピングプロファイル（例えば、屈折率の変化）を、例示的なSMFの先端で 사용할 ことができる。これと同時にまたは別個に、ガス、液体、または固体を、例示的なHCFのコアまたはクラディングセルに含めることができる。

10

【0019】

さらに、本開示の別の実施形態によれば、HCFとSMFとの間に角度接合があつて、リターン損失を増加させることができる。

【0020】

本発明のさらなる態様は、例示的なHCFおよびSMFのような、光ファイバ間の結合損失または接合損失を低減する方法に関する。これらの例示的な方法は、例示的なHCFを、著しく小さいMFDを有する例示的なSMFに結合/接合することと、HCFのMFDとSMFのMFDとの間にあるMFDを持つ第3のファイバを挿入して、HCFをSMFに結合/接続することと、その端部がテーパ加工されたSMFにHCFを結合/接続することと、その端部でドーパントの濃度を長手方向に変化させることができるSMFにHCFを結合/接続することと、その端部で屈折率を長手方向に変化させることを含むことができるが、これに限定されるものではない。本明細書全体に記載される例示的な実施形態は、HCFに適用されるだけでなく、他のタイプの微細構造ファイバにも適用することができる。さらに一般的には、典型的なSMFの基本モードの横方向の形状とは異なる横方向の形状を有する基本モードを有するファイバにも適用することができる。

20

【0021】

本明細書において、「SMF」という用語は、中実コアSMFを指す場合がある。しかしながら、当業者は、SMFが、例えば、中空コア単一モードファイバのような、異なるタイプのSMFを指すこともあることを理解するであろう。

【0022】

本開示は、その例示的な実施形態を参照して説明された。本開示に開示されるすべての例示的な実施形態および条件付き例示は、本開示が関係する当業者による本開示の原理および概念の理解を助けることを意図して記載されているしたがって、本開示が関係する当業者には、本開示が、本開示の精神および範囲から逸脱することなく、修正された形態で実施され得ることが理解されるであろう。様々な特徴を有する多数の実施形態が本明細書に記載されてきたが、本明細書に記載されていない他の組み合わせにおけるそのような様々な特徴の組み合わせは、本開示の実施形態の範囲内で企図される。

30

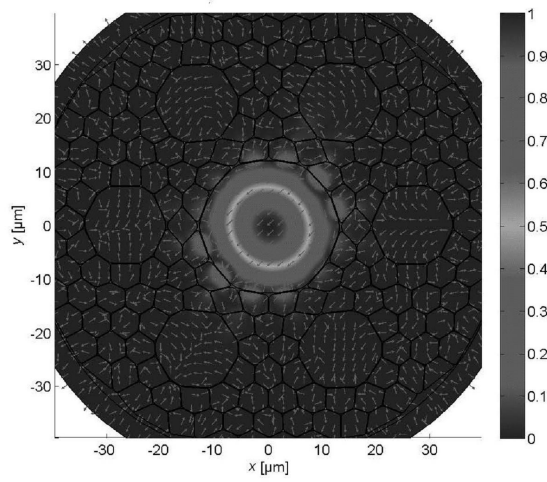
40

50

【図面】

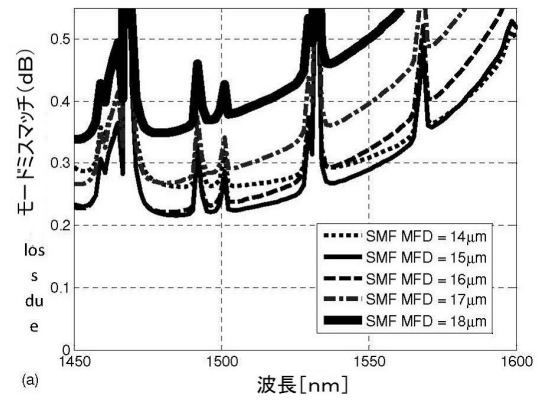
【図 1】

プロット100



【図 2 A】

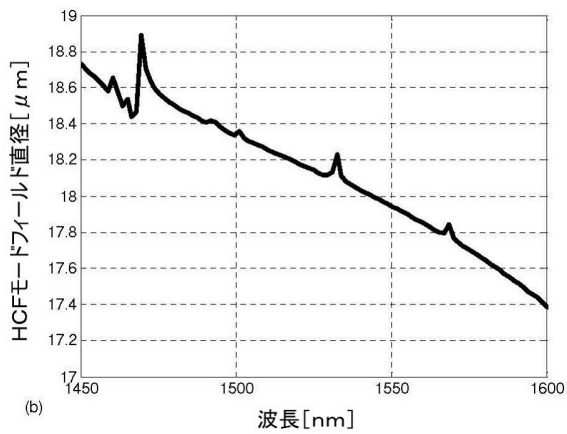
グラフ200



10

【図 2 B】

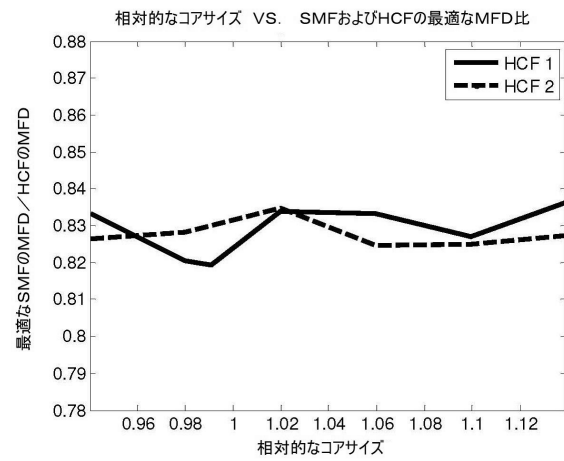
グラフ250



20

【図 3】

グラフ300



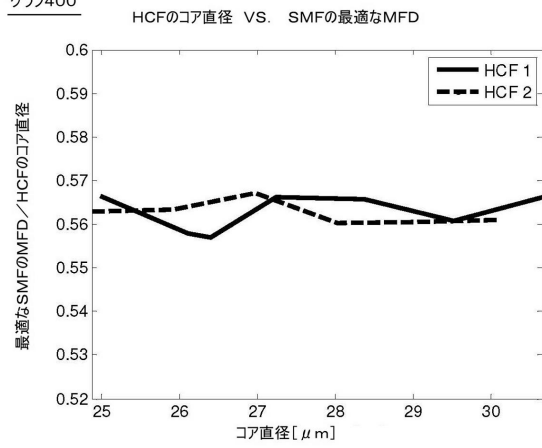
30

40

50

【 図 4 】

グラフ400



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 コラード, マット
アメリカ合衆国 08822 ニュージャージー, フレミントン, レイジー ブルック ドライヴ 95
- (72)発明者 クレンプ, トリスタン
アメリカ合衆国 08873 ニュージャージー, サマセット, ウォルナット アヴェニュー 153
- (72)発明者 マンガン, ブライアン
アメリカ合衆国 08525 ニュージャージー, ホープウェル, 1 / 2 ハート アヴェニュー 61
- 審査官 大西 孝宣
- (56)参考文献 特開2006-128384(JP, A)
特開2004-191998(JP, A)
特表2009-543065(JP, A)
特開2006-292843(JP, A)
特開2002-243971(JP, A)
特表2002-526787(JP, A)
特開平10-142433(JP, A)
特表2017-520804(JP, A)
特表2019-504350(JP, A)
米国特許出願公開第2006/0209908(US, A1)
中国特許出願公開第102494702(CN, A)
KOMANEC, M. et al., Low-Loss and Low-Back-Reflection Hollow-Core to Standard Fiber Interconnection, IEEE Photonics Technology Letters, 2019年, Vol.31, No.10, p.723-726, DOI:10.1109/LPT.2019.2902635
FAN, Danyun et al., Extremely High-Efficiency Coupling Method for Hollow-Core Photonic Crystal Fiber, IEEE Photonics Journal, 2017年, Vol.9, No.3, p.1-8, DOI:10.1109/JPHOT.2017.2697969
GAO Shoufei et al., Splice Loss Optimization of a Photonic Bandgap Fiber via a High V-Number Fiber, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 2014年11月01日, Vol.26, No.21, p.2134-2137, DOI:10.1109/LPT.2014.2349519
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 6/02 - 6/10
G02B 6/24
G02B 6/255 - 6/27
G02B 6/30 - 6/34
G02B 6/36 - 6/44
JSTPlus / JMEDPlus / JST7580(JDreamIII)