



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A Study on Design of heterogeneous step-index single-mode multi-core fibers with the standard cladding diameter of 125- μm [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	王, 一州
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15076号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85310
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yizhou_Wang_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 王 一州

審査担当者 主 査 教 授 齊藤 晋聖

副 査 教 授 大鐘 武雄

副 査 教 授 西村 寿彦

学位論文題名

A Study on Design of heterogeneous step-index single-mode multi-core fibers with the standard cladding diameter of 125- μm

(標準クラッド外径異種ステップインデックス型シングルモードマルチコアファイバの設計に関する研究)

光ファイバ通信技術は、過去 20 年間で光ファイバ 1 本当たりの伝送容量を 3 桁拡大し、現在、毎秒数 Tbit の伝送を可能としているが、様々なネットワークサービスの登場により、ネットワークを流れるトラフィックは年々指数関数的な増加を続けており、今後 20 年間では、さらに 3 桁から 5 桁の伝送容量拡大が求められている。一方、光ファイバの伝送容量は、これまで波長分割多重技術や多値変調技術などにより改善を続けてきたが、現在、伝送帯域の枯渇や、非線形雑音による信号対雑音比改善の限界により、従来のシングルモードファイバを用いた光ファイバネットワークの伝送容量改善は原理的限界に近付きつつある。こうした限界を打破し得る技術として、近年、マルチコアファイバ (MCF) や数モードファイバ (FMF) を利用した空間分割多重 (SDM) 伝送技術が大きな注目を集めており、国内外で様々な空間多重技術に関する研究開発が行われている。特に、1 本の光ファイバ内にシングルモード条件のコアを複数有するシングルモードモード MCF を利用した伝送システムは、既存の光ファイバ通信技術との親和性が高く、受信側で空間的に多重化された信号を分離するための信号処理が必要でないため、有望な実装方式と考えられている。

シングルモード MCF の各コアを独立の伝送路として利用するためには、コア間隔を広げてコア間の信号干渉であるクロストークを十分低減する必要がある。コア間クロストークを低減するために、コア周囲に低屈折率領域であるトレンチ層を設けたトレンチ付加 MCF は、クラッド領域への電磁界の染み出しを低減することができるため、クロストークの抑圧に非常に有効であるが、単純なステップインデックス型屈折率分布を有する MCF に比べて製造難易度が高くなる。一方、伝搬定数の異なる複数種類のコアを導入した異種コア配置を用いた異種 MCF は、隣接コア間の伝搬定数差が十分大きければ、屈折率分布がステップインデックス型であったとしてもクロストークを十分低減可能であり、製造難易度を上げることなく、限られた空間 (有限のクラッド外径) 内により多くのコアを収容することが可能である。

さらに、MCF のクラッド外径については任意性があるが、ファイバ 1 本当たりの伝送容量を拡大するために、コア間隔を一定に保ったまま (クロストークレベルを一定に保ったまま) 単純にコア数

を増やしても、クラッド外径も同時に大きくなるため、空間多重密度の大きな改善は見込めないことになる。また、既存の接続技術、コネクタ技術、ケーブル化技術等との整合性の観点からは、MCFのクラッド外径は、標準シングルモード光ファイバのクラッド外径である $125\ \mu\text{m}$ が望ましいと考えられる。

こうした状況の中で、本論文では、 $125\ \mu\text{m}$ の標準クラッド外径を有する新しい異種ステップインデックス型シングルモード MCF を提案し、その設計指針を明らかにするとともに、従来の標準クラッド外径 MCF と比較して、コア多重数の向上とコア間クロストーク低減の両立が可能であることを示している。

本論文の構成内容は以下のとおりである。

第1章では、本論文の背景、目的、および構成について述べている。

第2章では、異種ステップインデックス型コア間のクロストーク評価に必要なコア間結合係数の解析的近似式を提案し、提案近似式の妥当性を示すとともに、それを用いて、従来の異種ステップインデックス型シングルモード MCF の限界を明らかにしている。

第3章では、異種ステップインデックス型シングルモード MCF の新しいコア配置方法を提案している。従来は、最外コアの中心からクラッド端までの距離であるクラッド厚が全てのコアに対して同一に設定されていたが、高屈折率を有するコアのみ外側方向(径方向)にコアの位置をシフトすることにより、波長 $1550\ \text{nm}$ 帯(Cバンド帯)では8個、波長 $1310\ \text{nm}$ 帯(Oバンド帯)では10個のコアを標準 $125\ \mu\text{m}$ クラッド外径内に収容可能であることを明らかにしている。

第4章では、異種ステップインデックス型シングルモード MCF におけるクラッドの最外層に、共通トレンチ層と呼ばれる低屈折率領域を導入した MCF を提案している。この共通トレンチ層を導入することにより、従来のように各コアの周囲に(コアの数だけ)トレンチ層を付加しなくても、クロストークを十分低減可能な異種ステップインデックス型 MCF の設計が可能であることを示している。

第5章では、本論文により得られた結論を取りまとめている。

これを要するに、著者は、光ファイバネットワークの伝送容量改善の限界を打破し得る空間分割多重技術である MCF に関し、異種ステップインデックス型コア間の結合係数を与える解析的近似式を導出するとともに、この解析的近似解を駆使して、標準クラッド外径異種ステップインデックス型シングルモード MCF の新しいコア配置方法、およびクラッド厚低減方法(共通トレンチ層構造)を提案しており、情報通信フォトニクスに関する学術分野に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。