



Title	A Study on Uncoupled Heterogenous Multimode Multicore Fiber of Two-Ring Core Layout with 125 $\mu\text{m}$ Cladding Diameter [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	趙, 哲宇
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16013号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/92323">https://hdl.handle.net/2115/92323</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Zheyu_Zhao_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 (情報科学) 氏名 趙 哲宇

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 Uncoupled Heterogenous Multimode Multicore Fiber of Two-Ring Core Layout with 125 $\mu\text{m}$ Cladding Diameter

(125  $\mu\text{m}$  クラッド径を有する 2 リングコア配置非結合型異種マルチモードマルチコアファイバに関する研究)

光ファイバ通信の伝送容量は、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が続けてきたが、現在、伝送帯域の枯渇や、非線形光学効果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 (Multi-Core Fiber: MCF) やマルチモードファイバを利用した空間分割多重 (Space Division Multiplexing: SDM) 伝送技術が大きな注目を集めており、国内外で様々な SDM 技術に関する研究開発が行われている。

1 本の光ファイバに収容した複数のコアを伝送チャネルとして利用する MCF は、収容したコアの数だけ伝送チャネルが増えることになるが、各コアを単一モードとして利用するだけでなく、マルチモード伝送技術と組み合わせることができ、各コアに複数モードが伝搬する MCF はマルチモード MCF (MM-MCF) と呼ばれる。MM-MCF においては、ファイバ中のコア多重数と各コアのモード多重数の積で空間チャネル数 (Spatial Channel Count: SCC) を拡大することができるため、空間チャネル数の拡張性に優れた SDM 用光ファイバとして期待されており、SCC が 100 を超える MM-MCF が報告されている。しかしながら、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が、コア間クロストークを低減しつつ SCC を拡大するためにコア数を増やしていくと、クラッド外径が大きくなっていくことが課題となっている。MCF のクラッド外径には任意性があるが、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、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、最近では外径 125  $\mu\text{m}$  を有する MCF に関する研究開発が活発に行われている。

また、MCF のコア間クロストークを低減する方法として、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有効であることが広く知られている。しかしながら、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という課題がある。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.

こうした背景の下, 本研究では,  $125\ \mu\text{m}$  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マルチモードモード 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, コア間クロストークを低減しつつ SCC を大幅に向上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, ステップインデックス型屈折率分布を有する異種コア間のモード結合係数の解析手法を説明するとともに, この結合係数からコア間のクロストークを算出する方法を説明している. さらに, クラッド外径  $125\ \mu\text{m}$  内にコアをリング状に配置した従来の非結合型異種 MCF を例として, 3 個の空間モード (2LP モード) が伝搬するコアの選択方法を説明している.

第 3 章では, コアがリング状に配置された従来の非結合型異種 MCF よりもさらに SCC を向上する手法として, コアを 2 リング状に配置した新しい非結合型異種 MCF を提案している. 従来のリング状にコアが配置された非結合型異種 MCF と比較して, 2 リング状のコア配置を用いることにより, 高屈折率を有する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 (Cladding Thickness: CT) を低減することができ, 結果として隣接する 2 コア間のコア間隔が拡大されるため, コア間クロストークが低減できることを明らかにしている. また, ここで提案した 2 リングコア配置非結合型 MCF を用いることにより, 標準クラッド外径  $125\ \mu\text{m}$  内に, C バンド帯域 (波長  $1530\ \text{nm}\sim 1565\ \text{nm}$ ) で低クロストーク特性を有する 8 個の 2LP モードコアを収容できることを明らかにしている.

第 4 章では, 第 3 章で提案した 2 リングコア配置非結合型 MCF における外側コアの漏洩損失をさらに軽減するために, 共通ディプレスト層を有する 2 リングコア配置非結合型 MCF を提案している. 共通ディプレスト層がない場合と比較して, 共通ディプレスト構造を導入することにより, 高屈折率を有するコアの CT をさらに低減することができることを明らかにしている. また, ここで提案した共通ディプレスト層を有する 2 リングコア配置非結合型 MCF を用いることにより, 標準クラッド外径  $125\ \mu\text{m}$  内に, C バンド帯域で低クロストーク特性を有する 10 個の 2LP モードコアを収容できることを明らかにしている.

第 5 章では, 第 3 章で提案した 2 リングコア配置非結合型 MCF を対象とし, 各コアが 6 個の空間モード (4LP モード) を伝搬する場合の SCC の上限について議論している. MM-MCF においては各コアのモード多重数の増加が SCC の拡大に非常に有効であり, 標準クラッド外径  $125\ \mu\text{m}$  内に, C バンド帯域で低クロストーク特性を有する 6 個の 4LP モードコアを配置することができ, SCC としてはこれまでで最高の 36 個の空間チャンネルを収容できることを明らかにしている.

第 6 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, コアを 2 リング状に配置した新規の非結合型異種マルチモード MCF を提案するとともに, 外側コアの漏洩損失を低減できる共通ディプレスト構造の導入を提案し, 30 個以上の空間チャンネルを有する標準クラッド外径 MCF が設計可能であることを明らかにしており, 情報通信フォトン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 (情報科学) の学位を授与される資格があるものと認める.