（様式第３号）

論　文　要　旨

論　文　題　目

光コヒーレンストモグラフィ用各種フォトニック結晶ファイバの最適設計

Optimum Design of Various Types of Photonic Crystal Fibers for Optical Coherence Tomography

現在，光の干渉を利用して生体組織下数 mm の断層面を可視化できるイメージング技術，光コヒーレンストモグラフィ(OCT: Optical Coherence Tomography)が注目を集めている．OCT には幾つかの技術課題があるが，最適な光ファイバを導入することによって，安価で高分解能なシステムを実現できる可能性がある．

フォトニック結晶ファイバ(PCF: Photonic Crystal Fiber)はシリカガラスに多数の空隙を規則正しく配列した新種の光ファイバである．空隙の大きさや間隔を変化させることにより，従来の光ファイバでは実現が困難とされていた特性を得ることができる光ファイバである．

本論文では，OCT の低価格化及び高分解能化を目指し，有限差分法(FDM: Finite Difference Method)を用いて各種 PCF の最適設計を行い，理論的に評価を行っている．OCT では，光ファイバの波長分散が大きな影響を与える．そのため，本研究で設計する PCF は全て所望の波長帯でゼロ分散またはゼロ近傍の分散フラットになるよう設計を行った．また，数値解析の波長帯は皮膚や粘膜に有効とされている 1.0 μm 帯で行った．

初めに，所望の特性を実現する PCF を設計するために，PCF の結晶格子形状の違いによる諸特性について数値計算を行い，理論的に検討を行った．OCT の理想的な光源の条件は，極端に時間的コヒーレンスが短く空間的コヒーレンスが高いことである．これらを低価格で実現する手段として，高非線形 PCF に高強度の超短光パルスを入射して得られる超広帯域なスーパーコンティニューム(SC: Supercontinuum)光を用いる方法がある．そこで，四角形の結晶格子形状を有する PCF の改良を行い，高非線形分散フラット PCF の最適設計を行った．数値計算の結果，ピコ秒パルスレーザで SC 光が得られることを確認し，コヒーレンス長がスーパールミネッセントダイオード(SLD)よりも短くなることが分かった．偏光感受型 OCT システムでは，偏光状態を保存したまま干渉光を伝送することが，雑音の消去につながると報告されている．そこで，ゼロ分散でかつ分散フラットの偏波面保存 PCF の最適設計を行った．数値計算の結果，1.0 μm 帯でゼロ分散フラット特性を有し，従来の偏波面保存ファイバよりも 1 桁大きな複屈折を得ることができ，偏波保存性に優れていることと，低損失であることも確認できた．最後に，OCT システムの採光用高開口数(NA)PCF の最適設計も行った．NA を高くするため，クラッド部の空隙率を高くした構造で，コア部には比屈折率差の異なるゲルマニウム(Ge: Germanium)を添加した．数値計算の結果，NA はコア部に添加する Ge の比屈折率差よりもクラッド部の構造(等価屈折率)の影響を大きく受けることが分かった．NA は，従来の光ファイバでは高い NA を有するマルチモード光ファイバよりも大きな値が得られ，コア部に添加する Ge の比屈折率差が 0.5 %のとき，波長 1.0 μm 帯においてシングルモード動作で且つ低閉じ込め損失の高 NA ゼロ分散フラット PCF になることを理論的に示すことができた．

氏　名　金城 達也

（様式第５－２）

平成22年　2月　19日

琉球大学大学院
理工学研究科長　殿

論文審査委員
主査　氏　名　　波平 宜敬　印
副査　氏　名　　玉城 史朗　印
副査　氏　名　　名嘉村　盛和　印

学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し，学位論文の審査及び学力確認を終了したので，下記のとおり報告します。

記

申　請　者	専攻名　総合知能工学　氏名 金城 達也　学籍番号 [redacted]	
指導教員名	波　平　宜　敬	
成績評価	学位論文　(合格)　不合格	最終試験　(合格)　不合格
論文題目	光コヒーレンストモグラフィ用各種フォトニック結晶ファイバの最適設計 Optimum Design of Various Types of Photonic Crystal Fibers for Optical Coherence Tomography	

論文要旨

本研究では，光の干渉を利用して生体組織下数 mm の断層面を可視化できるイメージング技術，光コヒーレンストモグラフィ(OCT)の低価格化及び高分解能化を目指し，有限差分法(FDM)を用いて各種フォトニック結晶ファイバ(PCF)の最適設計を行い，理論的に評価を行っている．

OCT では，光ファイバの波長分散が大きな影響を与えるため，本研究で設計する PCF は全て所望の波長帯でゼロ分散またはゼロ近傍の分散フラットになるよう設計を行い，波長帯は皮膚や粘膜に有効とされている 1.0 μm 帯で数値解析を行った．

初めに，所望の特性を実現するPCFを設計するために，PCFの結晶格子形状の違いによる諸特性について数値計算を行い，理論的に検討を行った．OCTの理想的な光源の条件は，時間的コヒーレンスが短く空間的コヒーレンスが高いことである．これらを低価格で実現する手段として，高非線形PCFに高強度の極短光パルスを入射して得られる超広帯域(SC)光を用いる方法がある．そこで，四角形の結晶格子形状を有するPCFの改良を行い，高非線形分散フラットPCFの最適設計を行った結果，ピコ秒パルスレーザでもSC光が得られることを確認し，コヒーレンス長は，スーパールミネッセントダイオードよりも短くできることを明らかにできた．雑音を消去するため，ゼロ分散フラット偏波面保存PCFの最適設計を行った結果，1.0 μm帯でゼロ分散フラット特性を有し，従来の偏波面保存ファイバよりも1桁大きな複屈折を得ることができ，且つ低損失であることも確認できた．最後に，OCTシステムの採光用高開口数(NA)PCFの最適設計も行った．NAを高くするため，クラッド部の空隙率を高くした構造で，コア部には比屈折率差の異なるゲルマニウム(Ge)を添加した．数値計算の結果，NAはコア部に添加するGeの比屈折率差よりもクラッド部の構造(等価屈折率)の影響を大きく受けることを明らかにし，マルチモード光ファイバよりも大きなNAが得られ，コア部に添加するGeの比屈折率差が0.5 %のとき，波長1.0 μm帯においてシングルモード動作及び低閉じ込め損失で且つ高NAゼロ分散フラットPCFになることを理論的に示すことができた．

以上のように，本研究論文は，工学的に価値のある新しい研究成果が示されており，また，上記の者は専門分野及び関連分野の十分な知識を有することも確認できたので，博士（工学）の学位論文として合格とする。

また，最終試験として，２月１６日に実施した公聴会においても，活発な質疑応答に答え，多くの視点からの評価が得られたので，博士（工学）の学位論文として合格とする。

以上より，本研究論文は，本学大学院理工学研究科総合知能工学専攻における博士（工学）の論文として認める。