

(様式第 3 号)

論 文 要 旨

論 文 題 目

石英系光ファイバの非線形屈折率測定に関する研究 Studies on Nonlinear Refractive Index Measurements of Silica-based Optical Fibers

近年の通信機器のデジタル化によるデータ通信の急激な増加に伴い高信頼、高速、かつ大容量通信技術として波長多重(WDM)伝送技術が実用化されているが、WDM では 1 波長伝送に比べ複数の波長の信号光を用いるため光ファイバ内で四光波混合(FWM)等の非線形現象が発生し伝送特性が劣化することが深刻な問題になっている。また、光を光で処理する次世代フォトニックネットワークでは、高非線形フォトニック結晶ファイバ(PCF)を光デバイスとして活用することが検討されているため、PCF の非線形定数(n_2/A_{eff})及び非線形屈折率(n_2)の評価が重要となつて来ている。特に、様々な光デバイスの設計の指標となる純石英材料で構成された PCF の n_2 (silica) の評価は非常に重要である。本論文では、光ファイバの非線形定数(n_2/A_{eff})測定法として、正弦波変調信号光による自己位相変調(SM-SPM)法を新たに提案し、従来の連続波による(CW-SPM)法との、(n_2/A_{eff})及び n_2 測定結果を比較検討することで、本測定法の妥当性、測定精度や安定性等について検討を行った。その結果、SM-SPM 法が CW-SPM 法に比べ測定精度と安定性で優れていることが確認できた。SM-SPM 法の測定精度に及ぼす波長分散の影響を調べるため、波長分散(D)と光ファイバ長(L)の積 $|DL|$ に対する(n_2/A_{eff})の測定について検討を行った結果、最適な測定範囲 $0.8[\text{ps/nm}] < |DL| < 1.61[\text{ps/nm}]$ が得られた。これは分散シフト光ファイバ(DSF)の長さでは $(1.5\text{km} < L < 3.0\text{km})$ に相当し、SM-SPM 法を用いた(n_2/A_{eff})と n_2 の測定では、 $|DL| < 1.61[\text{ps/nm}]$ 以下で測定する必要がある測定限界を提案することができた。

以上の結果より、一般的な $|DL|$ の影響を考慮した条件下で、純石英コア光ファイバ(PSCF)とフォトニック結晶ファイバ(PCF)の(n_2/A_{eff})及び n_2 の測定を SM-SPM 法を用いて行った結果、PSCF と PCF の n_2 は、 $n_{2(\text{silica})} \approx 2.13 (\pm 0.06) \times 10^{-20} [\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$ ($\sigma \approx 0.16$) (@ランダム偏光)が得られた。

次に、六角形の基本空孔配置構造を有する PCF の電界分布特性を、有限差分(FDM)法を用いた数値解析と、ファーフィールドスキャン(FFS)法を用いた測定で比較し、PCF 設計において推定される誤差範囲の検討を行った結果、数値解析と測定結果の推定誤差範囲は約 1.0~14.0% であることが分かった。両者の結果の差異は、主に数値解析モデルを検討する際に、構造パラメータの寸法の測定誤差が主要因と考えられ、FFS 法による測定誤差は比較的小さいことを明らかにしている。最後に PCF のモードフィールド径(MFD)の測定について検討を行っている。ここでは、MFD と A_{eff} の波平実験式(the Namihira Relation)の補正係数 $k_n \approx A_{eff} / \{\pi(\text{MFD}/2)^2\} \neq 1.0$ のとき、光パワー分布が Gaussian 分布でなくなるため、ITU-T Petermann II 定義式を用いることに着目し、FDM 法の数値解析と FFS 法の実測から得られる k_n について、2 種類の PCF について検討した結果、PCF の構造パラメータ(d/Λ : d 空孔、 Λ : 空孔間隔) d/Λ が 0.35~0.88 において、 $k_n \approx 1.20$ となることを明らかにした。この結果は、従来報告されている測定法の矛盾点を克服するとともに、より高精度な測定法を用いて得られた測定値であるという点で非常に重要である。

また、数値解析と測定結果の差は、0.9~3.0%と比較的小さかったため、PCF の MFD 測定時の算出方法は、ITU-T Petermann II を用いることが最良であることを明らかにすることができた。

氏 名 宮城 加津也

(様式第5-3)

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

副査 氏 名 玉城 史朗

副査 氏 名 野口 隆

副査 氏 名 知念 幸勇



学位（博士）論文審査及び学力確認終了報告書

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	氏名 宮城 加津也		
現住所			
成績評価	学位論文 <u>合格</u> 不合格	学力確認 <u>合格</u> 不合格	
論文題目	石英系光ファイバの非線形屈折率測定に関する研究 Studies on Nonlinear Refractive Index Measurements of Silica-based Optical Fibers		
論文要旨 本研究では、光ファイバの非線形定数(n_2/A_{eff})測定法として、正弦波変調信号光による自己位相変調(SM-SPM)法を新たに提案し、従来の連続波による(CW-SPM)法との、(n_2/A_{eff})及び非線形屈折率(n_2)測定結果を比較検討することで、本測定法の妥当性、測定精度や安定性等について検討を行っている。SM-SPM法の測定精度に及ぼす波長分散の影響を調べるため、波長分散(D)と光ファイバ長(L)の積 $ DL $ に対する(n_2/A_{eff})の測定結果について検討を行った結果、最適な測定範囲 $0.8[\text{ps/nm}] < DL < 1.61[\text{ps/nm}]$ が得られた。これは分散シフト光ファイバ(DSF)の長さでは $(1.5\text{km} < L < 3.0\text{km})$ に相当し、SM-SPM法を用いた(n_2/A_{eff})と n_2 の測定では、			

$|DL| < 1.61 [\text{ps/nm}]$ 以下で測定する必要があることを示している。以上の結果より、一般的な $|DL|$ の影響を考慮した条件下で、純石英コア光ファイバ(PSCF)とフォトニック結晶ファイバ(PCF)の (n_2/A_{eff}) 及び n_2 の測定をSM-SPM法を用いて行った結果、PSCFとPCFの n_2 は、 $n_{2(\text{silica})} \cong 2.13 \pm 0.06 (\sigma \cong 0.16)$ (@ランダム偏光)が得られた。次に、六角形の基本空孔配置構造を有するPCFの電界分布特性を、有限差分(FDM)法を用いた数値解析と、フーリエ変換法(FFS)法を用いた測定で比較し、PCF設計において推定される誤差範囲の検討を行った結果、数値解析と測定結果の推定誤差範囲は約1.0～14.0%であることが分かった。両者の結果の差異は、主に数値解析モデルを検討する際に、構造パラメータの寸法の測定誤差が主な要因と考えられ、FFS法による測定誤差は比較的に小さいことを明らかにしている。最後にPCFのモードフィールド径(MFD)の測定について検討を行っている。ここでは、MFDと A_{eff} の波平実験式(the Namihira Relation)の補正係数 $k_n \cong A_{\text{eff}} / \{\pi(\text{MFD}/2)^2\} \neq 1.0$ のとき、光パワー分布がGaussian分布でなくなるため、ITU-T Petermann II 定義式を用いることに着目し、FDM法の数値解析とFFS法の実測から得られる k_n について、2種類のPCFについて検討した結果、PCFの構造パラメータ(d/Λ : d 空孔, Λ :空孔間隔) d/Λ が0.35～0.88において、 $k_n \cong 1.20$ となることを明らかにした。この結果は、従来報告されている測定法の矛盾点を克服するとともに、より高精度な測定法を用いて得られた測定値であるという点で非常に重要である。また、数値解析と測定結果の差は、0.9～3.0%と比較的小さかったため、PCFのMFD測定時の算出方法は、ITU-T Petermann IIを用いることが最良であることを明らかにしている。

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。