

論文題目

Title: **Modeling and Characterization of Photonic Crystal Fibers
for Optical Engineering Applications**

光工学に応用されるフォトニック結晶ファイバの設計とその最適化

This thesis presents the numerical modeling and characterization of photonic crystal fibers (PCFs) for various optical engineering applications. PCFs are new class of optical fibers, and they possess a series of unique optical properties which are impossible to be achieved in classical optical fibers. Numerical calculations and analysis of all PCFs' optical properties was done by Finite Difference Method (FDM) with perfectly matched boundary layers. PCF architectures presented in this research are deemed suitable for various applications in emerging optical engineering technology, such as in high speed dense wavelength division multiplexing (DWDM) networks and in medical imaging technology.

Two silica-based PCF designs with relatively large negative dispersion coefficients have been proposed for broadband dispersion compensating applications. Square PCF (SPCF) and Octagonal PCF (OPCF) were utilized and realized the dispersion coefficients ranging $-280 \sim -390$ ps/(nm.km) and $-226 \sim -290$ ps/(nm.km), respectively, suitable for dispersion compensation in optical fiber networks. Dispersion Compensating SPCF (DC-SPCF) covers only C-transmission band while DC-OPCF covers for both C- and L-bands. For the DC-OPCF, the calculated RDS value is closely matched to that of an SMF for about 90% and its dispersion coefficient of around -240 ps/(nm.km) at 1550 nm wavelength which is better than that of the conventional DCFs is obtained. Furthermore, in both proposed PCFs the calculated residual dispersion obtained after the dispersion compensation by the optimized fiber lengths for the accumulated dispersion in a span of transmission fiber (SMF) is less than 28 ps/nm. These results predict the usability of the proposed PCFs in high speed transmission networks of more than 40 Gb/s. Another point worth mentioning is possession of polarization maintaining (PM) characteristics (i.e. birefringence of order 10^{-2}) on the proposed DC-OPCF, which would be essential for eliminating the effect of PMD in transmission systems, optical amplification systems and in sensing applications. Moreover, due to its low loss compared to conventional DCFs, I expect the proposed DC-PCFs will be beneficial for numerous future optical engineering applications such as broadband dispersion compensation in high speed transmission networks, PM devices, fiber sensing systems.

Moreover, two high nonlinear (HNL) PCFs with dispersion managed and PM properties have been designed and analysis of their supercontinuum generation has presented. The first proposed novel PCF possesses better combined optical properties such as high birefringence of $B \approx 1.35 \times 10^{-2}$, confinement loss $L_c \approx 2 \times 10^{-4}$ dB/km, effective area $A_{eff} \approx 3.19 \mu\text{m}^2$, nonlinear coefficient $\gamma \approx 33.72$ (W.km) $^{-1}$, and near-zero dispersion $D \approx \pm 7$ ps/(nm.km) within the wavelength range $\lambda = 1.48 \sim 1.57 \mu\text{m}$. The second one is simple modified octagonal PCF (MOPCF) simultaneously possesses high nonlinear $\gamma \approx 44.65$ (W.km) $^{-1}$, near-zero flattened dispersion of $-8 \sim 1.11$ ps/(nm.km), low confinement loss and polarization maintaining properties within $\lambda = 960 \sim 1300$ nm range, which are deemed suitable for broadband SC generating light source in Optical Coherence Tomography (OCT). Furthermore, we demonstrated that the MOPCF can generate SC spectra with relatively low coherence length in two wavebands around 1.05 and 1.3 μm , as result the axial resolution in the OCT image can be readily enhanced compared to the conventional light sources. The aforementioned proposed HNL-PCFs can be applicable in the WDM optical systems and OCT medical imaging technology.

Name: KAIJAGE, SHUBI FELIX

(様式第5-2)

平成23年 2月 17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 アシャリフ モハムド レザー

副査 氏名 比嘉 晃



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 KAIJAGE, SHUBI FELIX 学籍番号 088653A
指導教員名	波平 宜敬
成績評価	学位論文 <u>合格</u> 不合格 最終試験 <u>合格</u> 不合格
論文題目	Modeling and Characterization of Photonic Crystal Fibers for Optical Engineering Applications 光工学に応用されるフォトニック結晶ファイバの 設計とその最適化
論文要旨	<p>本研究では、有限差分法(FDM)を用いて、光ネットワークに適した比較的大きな負の波長分散を有する2種類の四角形と八角形フォトニック結晶ファイバ(PCF)を分散補償ファイバ(DCF)としての最適設計を行い、新しいDC-PCFを提案し、その特異な諸特性について明らかにしている。</p> <p>DCFとして提案している四角形PCF(DC-SPCF)及び八角形PCF(DC-OPCF)の波長分散値の範囲は、$-280 \sim -390$及び$-226 \sim -290$ps/(nm.km)で有望である。</p> <p>DC-SPCFは、ITU-T(国際電気通信連合-電気通信標準化部門)の光通信帯域のCバンド(1530-1565nm)のみカバーしているが、DC-OPCFは、CバンドとLバンド(1565-1625nm)をカバーしている。</p>

DC-OPCF は、分散スロープは、通常のシングルモード光ファイバ(SMF)の約 90%で、分散値は、波長 1550nm で $-240\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ になり通常の DCF より大きいものが得られた。

DC-PCF は、広範囲で分散補償ができるので、高速光通信ネットワーク、偏光依存性デバイス、及び光ファイバセンサーシステムなどに期待されている。

また、分散制御され、かつ偏光依存性を有する高非線形 PCF (HNL-PCF)は、超広帯域のスーパーコンティニューム(SC)光発生用として適用可能である。

最初の提案 PCF は、高い複屈折率 $B \cong 1.35 \times 10^{-2}$ を有し、閉じ込め損失は、 $L_c \cong 2 \times 10^{-4} \text{ dB}/\text{km}$ と低く、実効断面積 $A_{\text{eff}} \cong 3.19 \mu\text{m}^2$ も通常の光ファイバより小さいため、非線形係数 $\gamma \cong 33.72 (\text{W}/\text{km})^{-1}$ は大きくなっており、波長分散は $\lambda = 1.48 - 1.57 \mu\text{m}$ の範囲で、 $D \cong \pm 7 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ と分散フラットになることが確認できた。

2 番目の提案の修正八角形 MOPCF は、波長 960– 1300 nm の範囲で、高非線形係数 $\gamma \cong 44.65 (\text{W}/\text{km})^{-1}$ で、分散値も $D \cong -8 \sim 1.11 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ とフラットで、閉じ込め損失も小さく、かつ複屈折率も通常のものよりも高いことが確認できた。

高い複屈折率 $B \cong 1.35 \times 10^{-2}$ を有し、閉じ込め損失は、 $L_c \cong 2 \times 10^{-4} \text{ dB}/\text{km}$ と低く、実効断面積 $A_{\text{eff}} \cong 3.19 \mu\text{m}^2$ も通常の光ファイバより小さいため、非線形係数 $\gamma \cong 33.72 (\text{W}/\text{km})^{-1}$ は大きくなっており、波長分散は $\lambda = 1.48 - 1.57 \mu\text{m}$ の範囲で、 $D \cong \pm 7 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ と分散フラットになることが確認でき、光コヒーレンストモグラフィ(OCT)用のブロードバンドの SC 光発生用 PCF として有望であることが確認できた。

このように、MOPCF は、波長 $1.05 \mu\text{m}$ と $1.3 \mu\text{m}$ の 2 つのバンドで、低コヒーレンス長なので、通常の OCT 用光源より OCT 画像の深さ方向の分解能を向上することが可能であるため医療用として有望であることが分かった。

また、ITU-T の光通信帯域の C-バンドと L-バンドの範囲で、分散フラットの特徴を示すため、波長多重光通信(WDM)用の伝送媒体としても有望であることが確認できた。

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14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。