

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 種村 拓夫

本論文は“円複屈折光ファイバ中の三次非線形効果—全光信号処理への応用—”と題し、8章からなる。

将来期待される超高速フォトニックネットワークでは、波長変換や波形再生などの信号処理を可能な限り光領域で行うことが求められる。このような全光信号処理デバイスを実現する有効な方法として、光ファイバ中の非線形効果の利用が活発に研究されている。特に分極の三次非線性に起因する諸効果は、応答速度が非常に速いため、超高速光信号処理デバイスへの応用が期待されている。

光ファイバ中で局所的に発生する三次非線形分極の大きさは、光の偏波状態に大きく依存する。しかし通常のファイバでは、残留複屈折によって光の偏波状態がスクランブルされるため、ファイバ中の伝搬に伴って非線形効果の偏波依存性が平均化される。その結果、ファイバ出力端で観測される非線形効果には、多波長光成分間の相対的な偏波状態に対する依存性は現れるものの、絶対的な偏波依存性は殆ど存在しない。これに対して、光ファイバに長手方向のねじりを加えると、円複屈折ファイバ（CBF：circular-birefringence fiber）が得られることが知られている。本研究では、未だ検証されていない様々な側面からCBF中の三次非線形効果を調べ、その絶対的な偏波依存性を積極的に利用することにより、従来のファイバ型光信号処理デバイスにはない新しい機能を開拓している。

第1章は“序論”であり、光ネットワークにおける全光信号処理技術の重要性について論じ、先行する研究を総括した後、本論文の目的と構成について述べている。

第2章は、“光ファイバの三次非線形光学効果”と題し、光ファイバ中の三次非線形効果について理論的に説明し、それが光の楕円偏光度に本質的に依存する現象であることを示した。

第3章は“光ファイバの偏波特性”と題し、光ファイバ中の偏波特性に関する一般論を概説し、光ファイバにねじりを加えるとCBFが得られ、伝搬光の楕円偏光度が維持されるメカニズムを明らかにした。

第4章は“円複屈折光ファイバの作製と基本偏波特性の評価”と題し、長尺なCBFの設計、作製および基本特性の評価結果を示した。最適設計のもとで作製した長尺CBFについて、P-OTDR（polarimetric optical time-domain reflectometry）測定と偏波モード分散（PMD: polarization mode dispersion）測定を行った結果、設計通りのCBFが得られていることを確認した。また、市販の高非線形ファイバ（HNLF: highly nonlinear fiber）にねじりを加えることにより、円複屈折高非線形ファイバ（CB-HNLF: circular-birefringence HNLF）の作製にも成功した。

次に、作製したCBFとCB-HNLFを用いて、各種の三次非線形効果とその応用について検証した。第5章は“円複屈折光ファイバ中の相互位相変調効果を用いた偏波無依存波長変換実験”と題し、CBF中の相互位相変調（XPM: cross-phase modulation）効果を用いて、偏波無依存の光波長変換器および光時分割多重分離（DEMUX: demultiplexing）器を実現した。4章で作製したCBFを用いることにより、40 Gb/s光波長変換器の偏波依存性を3.5 dBから0.3 dB以下にまで抑圧した。また、

CB-HNLFにより、偏波依存性が0.7 dBの160 Gb/s 光波長変換に成功した。さらに同様の構成で、160 Gb/sから10 Gb/sへの偏波無依存DEMUX器も実現した。

第6章は“円複屈折光ファイバ中の偏波無依存四光波混合効果とその応用”と題し、CBF中で生じる非対称四光波混合（FWM：four-wave mixing）効果の偏波依存性について検証し、二つのポンプ光が同一円偏波状態のとき、FWM効率が信号光の偏波状態に依存しなくなることを理論・実験により初めて明らかにした。200 mのCBFを用いて、通常ファイバでは5.8 dBほどの偏波依存性を、0.9 dBにまで抑圧することに成功している。

さらに第7章は“円複屈折ファイバ中の楕円偏波回転効果とその応用”と題し、CBF中の楕円偏波回転（ER: ellipse rotation）効果について検証し、通常ファイバに比べてその効果が大きく助長されることを数値計算と実験によって初めて明らかにした。一般にER効果は等方的な三次非線形媒質に見られる現象で、楕円偏波状態の光の強度に比例して楕円軸が回転するという効果である。しかし通常のnon-PMファイバは、残留複屈折のためERの回転方向が周期的に反転し、ER効果が相殺される。これに対してCBFでは、楕円偏光度が保たれるため、等方的な媒質中と同様にER効果が効率良く蓄積することを初めて実証した。さらにこの効果の応用として、40 Gb/s 信号の全光波形再生実験に成功した。

最後に第8は“結論”であり、本研究の成果をまとめている。

以上のように本研究では、円複屈折光ファイバの設計、試作、評価を行い、円複屈折光ファイバ中での偏波無依存相互位相変調効果、偏波無依存四光波混合効果、楕円偏波回転効果を実証して、その光信号処理デバイスへの応用可能性を示した。全光信号処理技術の発展に大きく寄与し、電子工学への貢献が多大である。

よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。