

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25600110

研究課題名(和文)画像入力可能な位相共役鏡を用いたモード多重伝送技術の開拓

研究課題名(英文) Mode division multiplexing transmission using a multi-mode fiber and phase conjugation mirror

研究代表者

黒川 隆志 (Kurokawa, Takashi)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：40302913

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、光インターコネクションの広帯域化をねらいとして、多モードファイバの持つ多数の伝播モードを利用したモード多重伝送の新しい方法を提案することを目的とする。単に光パターンをマルチモードファイバに入射するだけでは、伝播中にモード毎に異なる位相歪みが発生することにより、光の波面が乱れて正しくパターンを再生することはできない。そこで、電気入力型空間変調器とイメージセンサを用いたハイブリッドな波面補償光学系と、光書き込み型空間変調器からなるモノリシックな波面補償光学系の2つの構成について検討した。また、NFP測定光学系を構成し、モード変換が少ない伝搬状態を実現するための最適な光励振方法を検討した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to propose a new method for mode division multiplexing transmission using a multi-mode fiber in order to increase the capacity of optical interconnection systems. The incident light pattern to a multi-mode fiber is not preserved through the fiber propagation because the wave front is disturbed by the different phase distortion induced in the different mode. Therefore, two kind of configurations for wave front compensation were examined. One was a hybrid system using an image sensor and an LCOS and the other was monolithic system consisting of an optical spatial modulator. By constructing an NFP measurement system, we examined the optimum mode excitation method to reduce the mode conversion.

研究分野：光信号処理

キーワード：モード多重

1. 研究開始当初の背景

時間多重、波長多重、そして最近研究が盛んな多芯コアファイバによる空間多重などの多重化技術により、光通信の大容量化は急速に進んできた。しかし、1本のファイバにできるだけ多くの情報を詰め込みたいという要求はとどまるところを知らない。近年、一層の伝送容量の拡大を目指して、多モードファイバ(MMF)を用いたモード多重伝送の研究が始まっているが2-3本のモードで数m以下の距離に過ぎない(R. Ryf et al., OFC2011等)。モード多重伝送の究極はモードを画素に対応させた直接画像伝送であり、非線形光学結晶による位相共役波を用いる方法が古くから検討されている。位相共役鏡に対して同一のMMFを往復させた画像再生実験により、MMFのモード的相反性が確認されている(G. J. Dunning et al., Opt. Lett., 1982)。

2. 研究の目的

本研究は、光インターコネクションの広帯域化をねらいとして、マルチモードファイバの持つ多数の伝播モードを利用したモード多重伝送の新しい方法を提案することを目的とする。

一本の多モードファイバには数10万のモードが存在する。各モードを信号のチャンネルに対応させれば一挙に10万倍以上の大容量化が可能となる。しかしファイバ伝搬で生じるモードごとに異なる位相ひずみのため、僅かなファイバ長でも画像を送るのは困難である。これまで非線形光学効果による位相共役波を用いた位相補償が検討されてきたが、単に位相共役鏡の動作だけでは、同じ経路を戻ることになって実際に信号を送ることができない。そこで本研究では、目的を次の2点に絞って研究を進めた。

(1)低パワーで安定に動作し、かつ画像入力機能をもつ位相共役鏡を実現する。(2)これを用いて、実際に往経路だけの信号伝送が可能なモード多重伝送方法を提案し、その原理を

実証する。

3. 研究の方法

単に光パターンをマルチモードファイバに入射するだけでは、伝播中にモード毎に異なる位相歪みが発生することにより、光の波面が乱れて正しくパターンを再生することはできない。そこで、伝播中に生じるモード毎に異なる位相歪みを補償するために、位相共役鏡を使用した光波面の補償を提案する。具体的には、電気入力型空間変調器(LCOS-SLM)とCMOSイメージセンサを用いたハイブリッドな波面補償光学系と、光書き込み型空間変調器からなるモノリシックな波面補償光学系の2つの構成について検討する。

(1) ハイブリッド型位相共役鏡の構築

原理確認のため、現有デバイスを用いて構成可能なハイブリッド型位相共役鏡を構成する。ハイブリッド型位相共役鏡はイメージセンサと電気入力型液晶空間変調器(LCOS)を結合した構成である。物体光と参照光の干渉縞をイメージセンサに書き込み、その干渉縞をLCOS上に生成して位相共役波を発生する。イメージセンサの位置をLCOSと光学的に等価な位置に配置すれば、物体光に対する位相共役波が発生でき、位相物体に対する波面補償ができる。

LCOSには、干渉縞に重ねて任意の画像(2次元信号)をDSPから入力できるので、物体光の位置に入力画像を再生できる。ハイブリッド型位相共役鏡では、LCOSの画素ピッチ制限のため低い空間周波数の画像しか送ることができないが、画像入力が容易といった利点がある。この構成で、10本/mm程度までの画像に対して原理確認実験を行う。

(2) NFP/FFP測定系の構築とモード励振条件の検討

MMFの端面に、入射位置と入射NAを変えながら集光してモード変換の少ない光励振条件を決定する。そのための入射光学系を

構成する。NFP/FFP 測定光学系を構成し、モード変換が少ない伝搬状態を調べる。そのための最適な光励振方法を検討する。ボード間やチップ間の光インターコネクションへの応用の観点から、ファイバ長は 1-10m を目標とする。

(3) モノリシック型位相共役鏡の試作

強誘電性液晶 (FLC) を用いた画像入力機能をもつ位相共役鏡の設計・製作を行う。FLC の層は薄くすることで、高分解能 (300 lp/mm 以上) と高速応答 (1 μ s 以下) を目標とする。従来の SLM と異なり、読み出し光と書き込み光を時間的に分離することで、低パワーでの動作をねらいとする。

4. 研究成果

(1) ハイブリッド型位相共役鏡の構築

原理確認のため、イメージセンサと電気入力型液晶空間変調器 (LCOS) を結合した構成からなるハイブリッド型位相共役鏡について、光学系の設計および組立を行った。LCOS はピクセルサイズ 8.1 μ m, 1920x1200 画素、イメージセンサはピクセルサイズ 2.5 μ m, 2048x1536 画素の物を用いた。He-Ne レーザーを光源とするファイバ光学系と空間光学系で波面補償光学系を構成しており、干渉縞の生成と取得に成功した。

位相共役鏡の機能は、ホログラムの記録と再生の原理に基づく。マルチモードファイバを伝播して歪んだ光の波面と、単一モードファイバからの光とを干渉させて CMOS イメージセンサに干渉縞を記録する。これを電気入力型空間変調器に表示することで、共役光が再生されマルチモードファイバに戻る。マルチモードファイバの入射端で補償された光のビームパターンを検出することで、モード多重を確認することとした。まず、単一モードファイバ光学系によって、干渉縞の評価と共役光発生の確認実験を行い、十分なコントラストの干渉縞が得られることを確認した。しかし、光学系の精密調整が不十分なこ

とがわかり、共役光のファイバへの結合には到らなかった。

(2) NFP/FFP 測定系の構築とモード励振条件の検討

多モードファイバの近視野像と遠視野像観察のための光学測定系を構築し校正を行った。多モードファイバの端面に、入射位置と入射 NA を変えながら像面結合してモード変換の少ない光励振条件を決定した。ファイバ伝搬でモードをできるだけ安定にする最適励振条件として、ファイバ中心に像面結合して、メリディオナル光線のみを励起するのが良いことを見出した。

(3) モノリシック型位相共役鏡の試作

強誘電性液晶とアモルファスシリコン光導電体からなる空間変調素子 (FLC-SLM) を試作した。この素子は 1 対の透明電極の間に厚さ 1.6 μ m の FLC による光変調層と厚さ 1.0 μ m の a-Si による光導電層を持つ。FLC は 2 枚の配向膜の間に注入されており、ラビング処理によって液晶の配向方向が決定される。表示面のサイズはおよそ 20x20 mm である。また、透明電極の外側はガラス基板により保護されており、外部から電圧信号を入力するための 1 対のフレキシブルケーブルが取り付けられている。

このデバイスについて、読み出し光に対する変調光の応答特性、画像書き込みの検証、干渉縞の書き込み特性などの基本特性を確認し、空間変調器として動作することを確認した。今後、共役光発生確認を行うとともに、モード多重伝送の原理確認実験を行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

黒川隆志「研究との出会い」光技術コンタクト, vol.52, No.1, 2014 年 1 月, pp.10-15
ISSN 0913-7289

〔学会発表〕(計 1 件)

馬場はるか，西川淳，小谷隆行，田中洋介，
黒川隆志，「近赤外線高分散分光器 IRD のス
クランブラー開発」日本天文学会 2015 年春
季大会 V214a, 大阪大学 2015 年 3 月 20 日
〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒川 隆志 (KUROKAWA TAKASHI)
東京農工大学・大学院工学研究院・名誉教
授

研究者番号：40302913

(2) 研究分担者

高木 康博 (TAKAKI YASUHIRO)
東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：50236189