

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 7 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560462

研究課題名(和文)インコヒーレント光源を用いたファイバ型グレーティングデバイスの製作とその応用

研究課題名(英文)Fabrication of fiber-optic grating devices using an incoherent light source and its applications

研究代表者

水波 徹 (Mizunami, Toru)

九州工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00174029

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：光ファイバグレーティングデバイスは光通信用フィルタ、モード変換器、光ファイバセンサ等として用いられる。本研究では長周期ファイバグレーティングを高価なレーザを用いずに低圧水銀ランプの紫外光を照射する方法で製作した。水素処理条件の改善等により照射時間を従来の1/3以下に短縮した。また光ファイバセンサとして温度および歪みの計測を行った。また軸ずれ入射により高次モードを励振するとスペクトルが変化することを確認し、さらに、センサの光源として面発光レーザが有効であることを示した。また他の光デバイスでは、第二高調波発生を行うポーリング光ファイバの擬似位相整合が低圧水銀ランプの照射で可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Fiber-optic grating devices have been used as filters for optical communication, mode converters, or fiber-optic sensors. Here, fabrication of long-period fiber-gratings without using an expensive and bulky excimer laser was studied. A low-pressure mercury lamp at 254 nm was used as a writing source. The exposure time was shortened to a one-third of the initial value by improving hydrogen loading. The fabricated long-period gratings were used as temperature and strain sensors. Also, when higher-order propagating modes were excited by off-axis coupling, it was confirmed that the transmission spectrum of the long-period grating was different from that of the fundamental-mode excitation. A vertical-cavity surface-emitting laser was found to be effective as a light source for sensing. As for another fiber-grating device, a thermally poled fiber for the second-harmonic generation was studied, and quasi phase-matching was performed with periodic exposure with a low-pressure mercury lamp.

研究分野：電子通信工学

キーワード：長周期グレーティング 光ファイバセンサ モード分割多重光通信 水銀ランプ 光ファイバデバイス

1. 研究開始当初の背景

光ファイバグレーティングは光ファイバに周期的に屈折率変化を与えたもので、特定の波長の光を反射しあるいは減衰させる。大容量光通信や光ファイバセンサの分野で利用が進んでいる。その周期が数百マイクロンのものは長周期ファイバグレーティングと呼ばれクラッドモードとの結合により位相整合条件を満たす波長で減衰を生じる。長周期ファイバグレーティングは、光通信分野ではエルビウムドープ光ファイバ増幅器(EDFA)の利得等化に、また最近では超大容量伝送が可能なモード分割多重伝送のためのモード変換器として着目されており、また光センシングの分野で用いられる。

これらの光ファイバデバイスは、エキシマレーザ等の紫外レーザ光をマスクに通し光ファイバに露光して製作されており、コヒーレント光源でなければ製作できないと考えられていた。しかしながらレーザの設備を要するため高コストとなり、その応用もまだ限られている。これらはフォトリフラクティブ効果、すなわち光ファイバのコアにドープされるゲルマニウムによる酸素欠乏欠陥が紫外域の 240nm 付近に吸収スペクトルを持つことを利用し、その波長の紫外レーザを照射して屈折率変化を誘起している。240nm の波長を持つレーザはエキシマレーザが代表的であるが高価で大型である。半導体レーザもこのような短波長で発振するものはない。また長周期グレーティングに関しては、CO₂レーザで熱的処理を行う方法もあるが低コストではなく、機械的凹凸を付与する方法もあるがセンシングには適していない。そこで、ランプなどインコヒーレント光源を利用してこれらのデバイスを製作できれば低コスト化が期待される。また 240nm の波長では光ファイバが光導電性も示すため、これを用いた波長変換デバイスの製作なども期待される。

2. 研究の目的

本研究では、低圧水銀ランプが 254 nm の輝線スペクトルを強く発光することに着目し、これを利用してレーザを用いずに長周期グレーティングが製作できることを示す。照射時間はエキシマレーザより長時間かかるためこれを短縮する研究を行う。また製作された長周期グレーティングが各種の応用に適用可能であることを確かめるため、歪みセンサ・温度センサの実験を行う。またモード分割多重通信への応用のため、高次モード励振をした場合のスペクトル特性を研究する。また光ファイバセンサとしての応用のため、単一縦モードで狭スペクトルで発振する面発光レーザ(VCSEL)に着目し、これを波長読み出し光源として応用する研究を行う。また光ファイバデバイスとして第二高調波発生の機能のあるポーリング光ファイバを研究し、低圧水銀ランプを用いて擬似位相整合を

行う。

3. 研究の方法

(1) 長周期ファイバグレーティングの製作と照射時間の短縮

図 1 のような露光装置を開発した。低圧水銀ランプは直線状であり光ファイバと近接して露光が可能である。ニッケル製の振幅マスクを通して、予め水素処理を施した感光性光ファイバ(Fibercore 社)に照射し、光スペクトラムアナライザで透過スペクトルを測定し結合波長と損失を求めた。

(2) センシング特性

製作された長周期ファイバグレーティングを微動ステージに固定し恒温槽の中に収めた。温度および歪みに対する波長変化を測定した。

(3) 高次モード励振時のスペクトル特性

図 2 のようにハロゲンランプの連続スペクトル光をモードフィールド径 4 μ m の短波長用単一モードファイバに入射し、長周期グレーティングが書き込まれた光ファイバに軸ずれ入射することにより高次モードを励振し、透過スペクトル特性を求めた。測定は高次モードが伝搬可能な 1.2 μ m 以下の短波長域に着目して行った。

(4) 面発光レーザを用いたセンシング

1.5 μ m 帯で発振する長波長面発光レーザを用い、電流変調により発振波長が変更されることを利用して波長読み出しを行った。図 3 のようにセンサにはファイバブラッググレーティングを用いた。これにより高価な光スペクトラムアナライザ等を用いない低コストのセンサシステムとなった。レーザの電流を変化させて反射光によるフォトダイオードの応答が最大になる電流を求め、その値から温度や歪みの測定値を決定した。

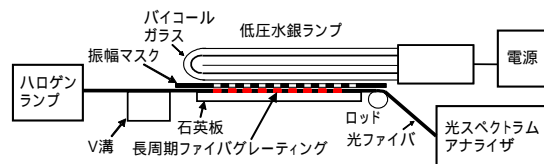


図 1. 長周期ファイバグレーティング製作のための露光装置の構成

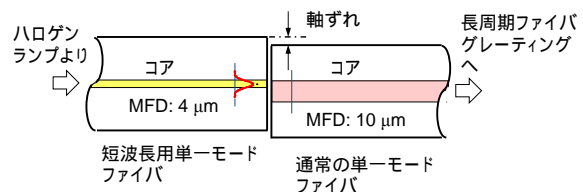


図 2. 軸ずれ入射による長周期ファイバグレーティングの高次モード励振 (MFD: モードフィールド径)

(5) 波長変換光ファイバデバイス

光ファイバのコアの横に2個の空孔をもつツインホールファイバを用い、電極線を差し込んで2.5kVの電圧を印加し、300の温度に40分保った(ポーリング)。YAGレーザの基本波(1.06 μm)を励振すると二次の非線形効果により第二高調波(0.53 μm)が発生した。そのファイバに図4のように低圧水銀ランプ光をマスクを通して照射した。マスクを傾けてコヒーレンス長と格子間隔が整合するようにした。ランプ光が照射された部分のみ電気伝導が生じ空間電荷層が消失して非線形性が周期的に消去され擬似位相整合が行われる効果を目的とした。照射後の光ファイバで第二高調波出力を測定し比較を行った。さらに、光ファイバに伸張歪みを加えて第二高調波出力を比較した。

4. 研究成果

(1) 長周期ファイバグレーティングの製作と照射時間の短縮

最初にファイバに近接させて露光するために適したランプの比較を行い最適なランプを選定した。また460 μm および212 μm の格子間隔をもつマスクで、グレーティング長を従来の20mmから30mmに増加すると照射時間が20%短縮された。代表的な損失波長は格子間隔212 μm でアニーリング後の場合、ピーク1-4の順に1179, 1234, 1327, 1501nmであった。

次に水素処理の効果を検討するため、拡散によりファイバガラス中の水素濃度を2/3に減少させた場合、照射時間は1.5倍となることが分かった。逆に水素ガス圧を120気圧から135気圧に増加すると、図5のように、照射時間を2/3にすることができた。水素処理時間を12週間に増加すればさらに2/3に減少した。また図6に135気圧、4週間の場合の透過スペクトル特性を示した。

(2) センシング特性

温度および歪みに対する感度の測定の結果を図7に示す。ほぼ直線的な応答が得られている。

(3) 高次モード励振時のスペクトル特性

製作した長周期ファイバグレーティングの透過スペクトル特性を調べる実験を行った。その結果、1.2 μm 以下の波長域で基本モード励振とは異なった損失ピークが現れることを示した。現在、理論的検討を行っている。

(4) 面発光レーザを用いたセンシング

エキシマレーザと位相マスクを用いて作成した反射率13%のファイバブラッググレーティングを用いて、温度および歪みについてセンシングを行った。その結果を図8に示す。ほぼ直線的な応答が得られた。反射率の異なるグレーティングでの誤差の変化について検討中である。また、面発光レーザ光を入力としてエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)で飽和増幅を行えば検出光のパワー

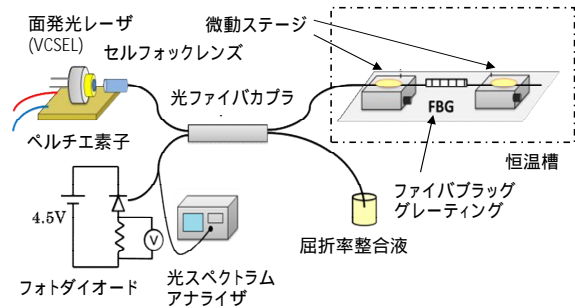


図3. 面発光レーザを用いた光ファイバセンサシステム

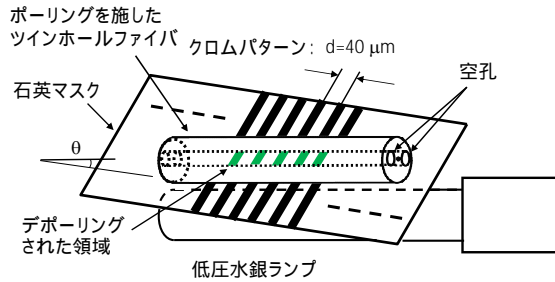


図4. 第二高調波発生用ポーリング光ファイバの擬似位相整合

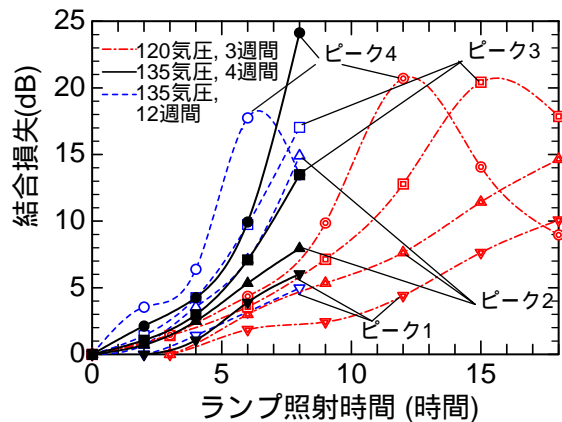


図5. 水素処理条件の違いによる長周期ファイバグレーティングの形成時間の比較

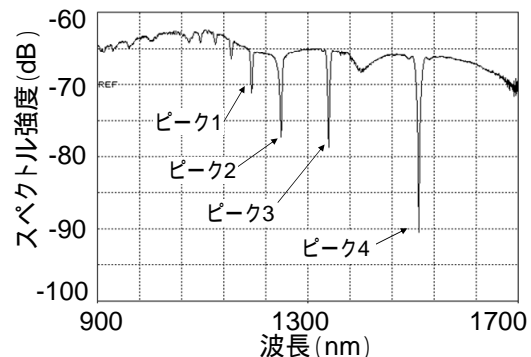


図6. 長周期ファイバグレーティングの透過スペクトル

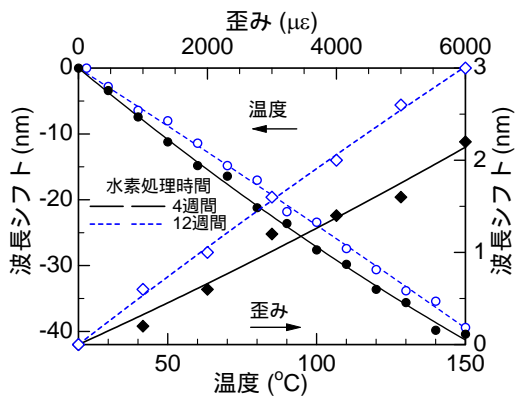


図7. 温度および歪みに対する長周期ファイバグレーティングの波長シフト(ピーク4)

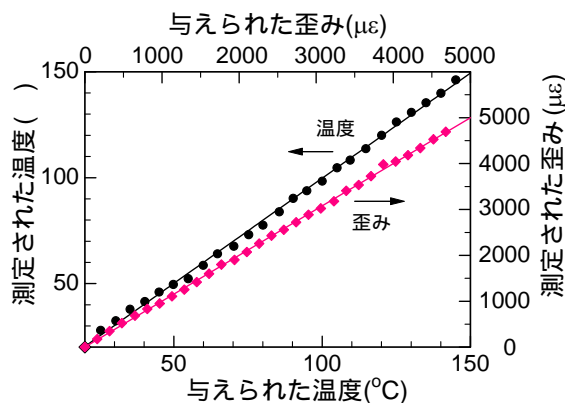


図8. 面発光レーザを光源として用いた温度および歪みのセンシング

の安定化ができることを示した。

(5) 波長変換光ファイバデバイス

最初に擬似位相整合により第二高調波出力が増加することを確認した。次に光ファイバに張力を加えることにより、擬似位相整合条件の最適化を行うことができ、第二高調波出力がさらに増加することを、KrF エキシマレーザ照射と水銀ランプ照射の両方で確かめた。これにより第二高調波発生分野でも低圧水銀ランプが有効であることが示された。

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4件)

Toru Mizunami, Yoshihisa Tashiro, Effects of hydrogen loading conditions on fabrication of long-period fiber-grating sensors by low-pressure mercury lamp, Proceedings of SPIE, 査読有, vol.9450, 2015, pp.945001-1-

945001-6, DOI:10.1117/12.2070925.

Toru Mizunami and Tsubasa Fujiyoshi, Fabrication of long-period fiber gratings using low-pressure mercury lamp: Shortening of exposure time, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, vol.53, no.8S2, 2014, pp.08ME02-1-08ME02-6, DOI:10.7567/JJAP.53.08ME02.

Toru Mizunami, Ryo Miyazaki, and Teruyuki Kamori, Quasi-phase-matched second-harmonic generation in thermally poled twin-hole silica-glass optical fiber by mercury-lamp exposure, Thin Solid Films, 査読有, vol.559, 2014, pp.14-17, DOI:10.1016/j.tsf.2013.10.105.

Toru Mizunami, Shuji Hirose, Takeshi Yoshinaga, and Ken-ichi Yamamoto, Power-stabilized tunable narrow-band source using a VCSEL and an EDFA for FBG sensor interrogation, Measurement Science and Technology, 査読有, vol.24, No.9, 2013, 094017 (7pp), DOI:10.1088/0957-0233/24/9/094017.

〔学会発表〕(計15件)

山田泰地、土屋智史、水波 徹、温度制御した長波長面発光レーザを用いた光ファイバグレーティング温度センサ、電気・情報関係学会九州支部大会論文集、07-2P-10, p.513, 2014年9月19日、鹿児島大学

田代悦久、水波 徹、水銀ランプ法による長周期ファイバグレーティング形成における水素処理改善と温度・歪み特性、電気・情報関係学会九州支部大会論文集、07-2P-09, p.512, 2014年9月19日、鹿児島大学。

木村拓人、家守輝幸、水波 徹、ポーリング光ファイバの第二高調波発生：擬似位相整合のファイバ伸張による最適化、電気・情報関係学会九州支部大会論文集、07-2P-08, p.511, 2014年9月19日、鹿児島大学。

Toru Mizunami, Yoshihisa Tashiro, Fabrication of long-period fiber-gratings by exposure to low-pressure mercury lamp - Effect of hydrogen loading, 6th EPS-QEOD Europhoton Conference, TuP-T2-P-07, 2014年8月26日, Université de Neuchâtel, Neuchâtel, Switzerland.

田代悦久、水波 徹、水銀ランプ法による長周期ファイバグレーティングの形成の照射時間短縮、応用物理学会春季学術講演会講演予稿集、17p-E8-1, p.05-127, 2014年3月17日、青山学院大学相模原キャンパス(神奈川県)。

Toru Mizunami, Tsubasa Fujiyoshi,

Fabrication of Long-Period Fiber-Gratings by Low-Pressure Mercury Lamp - Effect of Grating Length, 18th Microoptics Conference, H54, Technical Digest, p.109, 2013年10月29日, Tokyo Institute of Technology, Tokyo. 土屋智史、広瀬秀治、水波 徹、長波長面発光レーザを光源とした光ファイバグレーティング温度センサ、電気関係学会九州支部大会論文集、10-1A-04、p.120、2013年9月24日、熊本大学。

田代悦久、藤吉 翼、水波 徹、水銀ランプ法による長周期ファイバグレーティングの形成における形成長の増加、電気関係学会九州支部大会論文集、10-1A-03、p.119、2013年9月24日、熊本大学。

家守輝幸、木村拓人、宮崎 遼、水波 徹、ポーリングした光ファイバのファイバ伸長による擬似位相整合効果の変化、電気関係学会九州支部大会論文集、10-1A-02、p.118、2013年9月24日、熊本大学。

Toru Mizunami, Ryo Miyazaki, and Teruyuki Kamori, Quasi-Phase-Matched Second-Harmonic Generation in Thermally Poled Twin-Hole Silica-Glass Optical Fiber: Comparison between Mercury Lamp and Excimer Laser Exposures, 8th International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics, Abstracts, p.51 (2013), 13pP41, 2013年5月13日, Waseda University, Tokyo.

広瀬秀治、水波 徹、長波長面発光レーザの光ファイバグレーティングセンサーへの応用、レ - ザ - 学会学術講演 33 回年次大会講演予稿集、E129p 04、2013年1月29日、姫路商工会議所(姫路市)。

水波 徹、藤吉 翼、長周期ファイバグレーティングの低圧水銀ランプ照射法による形成、レ - ザ - 学会学術講演会第 33 回年次大会講演予稿集、G129a 03、2013年1月29日、姫路商工会議所(姫路市)。

Toru Mizunami, Toshihiro Mori, and Tsubasa Fujiyoshi, Long-Period Fiber Gratings and their Sensing Applications, International Conference on Fiber Optics and Photonics, T2B.1, 2012年12月11日, Chennai, India (招待講演)。

Toru Mizunami, Shuji Hirose, Takeshi Yoshinaga, and Ken-ichi Yamamoto, Tunable narrow-band source using a VCSEL and an EDFA for interrogation of fiber Bragg grating sensors, 22nd International Conference on Optical Fiber Sensors, 2012年10月16日, Beijing, P.R.China.

広瀬秀治、吉永武史、水波 徹、面発光レーザを用いた FBG センサ用光源、電気

関係学会九州支部大会論文集、01-2A-06、p.338、2012年9月25日、長崎大学。

6 . 研究組織

(1)研究代表者

水波 徹 (MIZUNAMI Toru)
九州工業大学大学院工学研究院電気電子
工学研究系・教授
研究者番号：00174029

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし