Mid-infrared DFG laser source using QPM-LN ridge waveguide and its application for gas spectroscopy

○忠永修、柳川勉、西田好毅、曲克明、梅木毅伺、遊部雅生、鈴木博之（日本電信電話株式会社 NTT フォトニクス研究所）
O. Tadanaga, T. Yanagawa, Y. Nishida, K. Magari, T. Umeki, M. Asobe, and H. Suzuki (NTT Photonics Labs., NTT Corporation)

1. はじめに

2-5 μm の波長域には様々な環境ガスの基準振動などの強い吸収線があるために小型の中赤外光源の開発が望まれている。この様な中赤外域の光源には、技術的に成熟された1 μm 付近の励起光と通信波長帯の信号光を用いることのできる差周波発生が有望だと考えられる。これまで周期分極反転LiNbO₃ (PPLN)を用いた差周波発生によりガスの吸収線を観測する様々な試みがされてきた。我々は、さらに高効率な波長変換を達成するためにPPLNを導波路化し、擬似位相整合(QPM)-LNリッジ導波路の開発を行ってきた。本報告では、導波路による3 μm 帯、及び2 μm 帯の中赤外発生について述べ、同光源を用いてメタン及び一酸化炭素ガスの吸収線測定を行った結果について述べる。さらに、導波路素子にファイバーピグテール化を施した波長変換モジュールの特性についても報告する。

2. 素子の作製

コア層となる3インチZカットLN基板とクラッド層となる3インチZカットLiTaO₃ (LT) 基板を用い、直接接合法により導波路作製を行った。図1(a)に素子作製手順の概略を示す。まず電界印加法を用いて周期分極反転構造をLN基板のみに施し、その後LT基板と直接接合した。LN/LT接合基板のコア層となるLN基板を研削・研磨により10 μm 程度に薄膜化し、ダイシングソーを用いてリッジ導波路を作製した。図1(b)に作製した直接接合リッジ導波路の写真を示す。超高粒度のダイヤモンドブレードを用いることにより、平坦な側面を持つリッジ導波路の作製に成功した。

本研究で用いた直接接合リッジ導波路は、バルクLNの特性をそのまま利用できるため、

- 高光損傷耐性
- デバイス設計が容易
- 不純物混入や接着剤の吸収を回避可能

等の特徴を持つ。

図1 直接接合リッジ導波路作製手順

図2 擬似位相整合カーブ

3. 素子特性及びガス吸収線測定

1.55 μm 帯波長可変光源を用いて、作製した導波路の差周波発生信号光波長依存性を測定した。ファイバーカプラーを用いて励起光と信号光を合波し、リッジ導波路に入力した。導波路より出力される光からGeフィルターにより入力光を遮断し、PbSeを用いて中赤外光を検出した。

波長1047nmのNd:YLFレーザを励起光源として用いて測定した3 μm 帯光発生用導波路の特性を図2に示す。分極反転周期28.4 μm 、長さ50mmの導波路において、40%/Wの規格化変換効率を得た^[1]。さらに937nmのFBG安定化LDを励起光源として用いた2 μm 帯発生用導波路の特性を図2点線で示す。分極反転周期25.6 μm 、長さ50mmの導波路において、100%/Wの規格化変換効率を得た^[2]。図中実線の3 μm 帯発生用導波路と比較して2 μm 帯発生用導波路では、非常に広い擬似位相整合幅が得られた。これは材料の屈折率の波長分散の特性に起因しており、LNでは0.94 μm 付近の励起光を用いることにより非常に広い半値全幅が得られる。

つづいて、これらの導波路を用いて、ガスの吸収線測定実験を行った。測定系を図3に示す。導波路からの差周波出力をビームスプリッター(BS)で2光路に分岐し、一方にガスセル、他方に参

図3 ガス吸収線測定系

照のための真空セルを配置し、それぞれの透過光強度をPbSeにより測定した。

図4に3 μm 発生用導波路を用いて測定したメタンガスの吸収スペクトルを示す。励起光源に1.06 μm のFBG安定化LD光源を用いた。メタンセルは9 Torrで長さ20cmのものを用いた。メタンガス特有の吸収線が観測された。さらに2 μm 発生用導波路を用い、一酸化炭素ガスの吸収線測定を行った。励起光源に0.94 μm のFBG安定化LD光源を用いた。図5に示す様に、2 μm 帯導波路の広帯域差周波発生特性により、 ^{12}CO と ^{13}CO (それぞれ100 Torr, 20cm セル)の同位体原子種の吸収スペクトル一括測定が可能となった^[3]。

図4 メタンガス吸収線スペクトル

図5 一酸化炭素吸収線スペクトル

4. 中赤外差周波モジュール

直接接合リッジ導波路を用いた中赤外光源化に向けて、3 μm 発生用導波路を用いファイバービッグテール付き波長変換モジュールを作製した。入力ファイバをV溝接続法により導波路端面に固定し、ペルチェ素子搭載のパッケージ内に収容した(図6)。

図6 中赤外モジュールの概観写真

図7 擬位相整合曲線

図8 差周波光強度の信号光強度依存性

図7に差周波発生効率の信号光波長依存性を示す。励起光源には1064nmのFBG安定化LDを用いた。導波路端は斜めに加工されており、滑らかな位相整合カーブが得られた。図8に差周波光の強度の信号光強度依存性を示す。信号光はEDFAにより増幅した。外部変換効率9.7%/Wが得られ、最大3mWの中赤外光強度を確認した^[4]。

5. まとめ

QPM-LN導波路を直接接合法により作製し、3 μm 帯と2 μm 帯の導波路素子を作製した。規格化変換効率は、3 μm 帯発生導波路で40%/W、2 μm 帯発生用導波路で100%/Wを達成した。2 μm 帯発生用導波路では、2.3 μm で100nmと非常に広い半値全幅の差周波発生特性を得た。これらの導波路を用いてメタン及び一酸化炭素のガス吸収線測定を行った。さらに、V溝接続法を用いたファイバービッグテール中赤外波長変換モジュールを作製し、最大3mWの中赤外光出力を得た。

参考文献

- [1] O. Tadanaga, T. Yanagawa, Y. Nishida, H. Miyazawa, K. Magari, M. Asobe, and H. Suzuki, Appl. Phys. Lett. **88**, 061101 (2006).
- [2] O. Tadanaga, T. Yanagawa, Y. Nishida, H. Miyazawa, K. Magari, M. Asobe, and H. Suzuki, Jpn. J. Appl. Phys. **45**, L239-L241 (2006).
- [3] T. Yanagawa, O. Tadanaga, Y. Nishida, H. Miyazawa, K. Magari, M. Asobe, and H. Suzuki, Opt. Lett. **31**, 960-962 (2006).
- [4] O. Tadanaga, Y. Nishida, T. Yanagawa, H. Miyazawa, K. Magari, T. Umeki, K. Yoshino, M. Asobe and H. Suzuki, IEE Electron. Lett. **42**, 988-989 (2006).