

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 忠永 修

環境問題に関する関心の高まりに応じて、温室効果ガスなど大気中ガスの微量濃度計測の必要性が広く求められている。各種計測法の中でも赤外分光法は物質選択性に優れ、高速で高感度な計測が可能となるので有望視され、開発が進んでいる。二酸化炭素やメタンなど多くの分子の振動遷移の吸収断面積は、波長 2 から 5  $\mu\text{m}$  の中赤外域で最大になることはよく知られている。したがって、中赤外光を用いれば検出感度を上げることができる。ところが、この波長域で直接発振する手頃なレーザーは存在せず、もっぱら非線形光学波長変換に頼っている。しかし、従来のバルク結晶を用いた波長変換では変換効率が上がらず、計測機器の小型軽量化を果たす障害となっていた。本研究では、ニオブ酸リチウムを用いた導波路型の位相整合素子を用い、近赤外レーザーを一次光源とした高効率な中赤外コヒーレント光源の開発に成功した。本素子の特徴は、基板と導波路部を直接接合したことにより、これにより、接着剤を用いた場合に発生する吸収を回避し、導波部の伝搬特性を改善できた。その結果、従来法に比べ格段に波長変換効率を高めることに成功した。

以下、本論文の内容を各章ごとにまとめる。

第1章「序章」では、本研究開発の背景となるガス計測法についての現状をまとめた後、2次非線形光学効果を用いた差周波発生法についての基礎的な事柄が述べられている。特に、導波路型の疑似位相整合素子に着目し、本論文で取り上げる直接接合リッジ導波路構造が最も高性能が期待できることを述べている。

第2章「中赤外用直接結合 QPM-LN リッジ導波路の素子設計および 3  $\mu\text{m}$  光発生」では、分極反転したニオブ酸リチウム板をタンタル酸リチウム基板の上に接着剤を使わず直接接合し、ダイヤモンドブレードでカットしてリッジ導波路を作製する方法と、作製誤差を考慮した素子設計法が述べられる。この素子を用い、波長 3.3  $\mu\text{m}$  において入力パワー 1W 換算で 40%の変換効率を実現した。この値は報告例のあるバルクの疑似位相整合素子に比べ 2桁高く、また、従来の導波路素子に比べ 1桁高い値である。この光源を用いたメタン検出の実験例が紹介されている。

第3章「直接接合リッジ導波路による中赤外発生における諸特性」では、中赤外発生に

まつわるいくつかの課題を取り上げ詳細に議論している。第 1 に、ニオブ酸リチウムが  $2.8\ \mu\text{m}$  帯に O-H 基に起因する吸収を持つことが報告されているが、その効果を検証した。その結果、この波長帯においても発生効率が落ちることは観測されず、O-H 吸収の影響が出ないことを確かめた。次に高出力動作時にしばしば観測されるフォトリフラクティブ効果に起因する光損傷について調べた。ニオブ酸リチウムに酸化亜鉛を添加することによりフォトリフラクティブ効果の発現を抑えられることを確かめ、 $65\text{mW}$  に達する高出力パワーを実現した。最後に、ニオブ酸リチウムの分散特性から  $2.3\ \mu\text{m}$  帯で  $100\text{nm}$  に及ぶ広帯域差周波発生が可能であることを示した。

第 4 章「導波路分散制御による広帯域特性への影響」では、前章の最後に取り上げられた  $2.3\ \mu\text{m}$  帯における広帯域発生において、導波路の構造パラメータを最適化することにより波長域を  $173\text{nm}$  まで拡張されることを実証した。これを用い、 $2.3\ \mu\text{m}$  帯にある一酸化炭素の 44 本の吸収線を測定した結果について述べている。

第 5 章「中赤外モジュールおよび中赤外光源」では、以上の成果を基に、波長変換素子のモジュール化、および、励起用半導体レーザーを組み込んだデバイス化を実現している。これは直ちに現場において使用可能である。

第 6 章「結論」は本論文のまとめに当てられている。なお、本編に続く付録で、分極反転周期に変調が加わったときの位相整合曲線の形状変化を定量的に扱っている。

以上を要するに、本論文では、直接接合法という新規の方法で導波路型疑似位相整合素子を作成し、中赤外波長域で従来法に比べ格段に高い波長変換効率を実現し、この光源を用いて、メタンや二酸化炭素を高感度に検出できることを実証した。さらに、本論文の成果は研究試作に留まらず、実際にデバイス化されたことは特筆に値する。よって、本論文は理工学に対し寄与するところ大であり、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。