

Title	ピロリン酸を用いたプロトン交換光導波路と第2高調波発生デバイスへの応用
Author(s)	山本, 和久
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3063619
DOI	10.11501/3063619
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏 名	山 本 和 久
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 0 4 0 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 4 年 9 月 18 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	ピロ燐酸を用いたプロトン交換光導波路と第2高調波発生デバイスへの応用
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 末 田 正 (副査) 教 授 山 本 錠 彦 教 授 蒲 生 健 次 教 授 小 林 哲 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はピロ燐酸を用いたプロトン交換光導波路と第2高調波発生 (SHG) デバイスへの応用に関する一連の研究結果をまとめたものである。

半導体レーザの高出力化に伴い、導波路型 SHG デバイスは高出力化、超小型化が可能な青色コヒーレント光源として有望視されている。導波路型 SHG デバイス用光導波路として、Ti 拡散等の導波路に比べ閉じ込め効果および耐光損傷性に優れているプロトン交換光導波路の適用が考えられる。従来、プロトン交換法によってニオブ酸リチウム (LiNbO₃) あるいはタンタル酸リチウム (LiTaO₃) 基板上に光導波路を作製する場合、もっぱら安息香酸が用いられてきた。しかし、得られた光導路は一般に、伝搬損失が大きく、また、実効屈折率の均質性に問題があり、必ずしも満足できるものでなかった。従って、安息香酸に代わるプロトン交換源を見出し、低損失で均質な光導波路を得ることが可能になれば、SHG の高効率化が図れ、デバイスの実用化に対して大きな前進となり、光情報処理、医用、バイオ等の幅広い分野への貢献が期待できる。

本研究では、新しいプロトン交換源としてピロ燐酸 (H₂P₂O₇) を提案し、これを用いることによって低損失かつ均質であり、さらに光閉じ込め効果が大きく、耐光損傷性に優れた三次元光導波路が形成できることを明らかにしている。また、この光導波路形成技術を第2高調波発生デバイスへ応用し高効率波長変換が実現できることを示している。

論文は本文7章と参考文献、謝辞、付録より構成されている。以下に各章の概要を記す。

第1章序論では、SHGデバイスの重要性を示すとともに、高効率変換が可能な導波路型SHGデバイスの開発動向を概観し、課題を抽出している。また導波路型SHGデバイスへの応用を目的とした光導波路形成技術について議論し、本論文の意義と目的を明らかにしている。

第2章では、プロトン交換法によってLiNbO₃基板上に良質の高屈折率層を形成することを目的として、従来の安息香酸に代わる新しいプロトン交換源を模索し、種々考察の結果、ピロ燐酸の使用を提案している。また、実際にピロ燐酸を用いてプロトン交換層を形成し、屈折率変化量および形状、拡散定数、結晶性等の諸特性を測定し、ピロ燐酸により高屈折率層が形成できることを確かめている。次に、プロトン交換法による三次元光導波路形成法について考察

するとともに、ピロリン酸をプロトン交換源とする、 LiTbO_3 基板への三次元光導波路形成を行い、従来用いられてきた安息香酸処理によるものに比べて、低い光伝搬損失と高い閉じ込め効果の得られることを示している。最後に、ピロリン酸処理による低損失化の原因についても考察を行っている。

第3章では、光損傷の改善を目的として、ピロリン酸によるプロトン交換法を、材料として耐光損傷性に優れている酸化マグネシウム添加ニオブ酸リチウム ($\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$) および LiTaO_3 に適用した結果について述べている。作製された三次元光導波路の閉じ込め効果、伝搬損失、光損傷等の特性を明らかにし、各基板 (LiNbO_3 , $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$, LiTaO_3) に形成したプロトン交換光導波路の特性比較を行った結果、 $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$ 基板にプロトン交換光導波路を形成することにより伝搬損失および光損傷特性の改善が図れることを示している。また、プロトン交換 LiTaO_3 光導波路が特に低光損傷であることを明らかにしている。最後に、プロトン交換光導波路の SHG デバイスへの適用について考察を加えている。

第4章では、ピロリン酸を用いたプロトン交換法の、分極反転型 SHG デバイス作製への応用を提案している。 LiNbO_3 および LiTaO_3 への分極反転層および光導波路形成にピロリン酸によるプロトン交換法を用いるとともに第2高調波発生について論じている。作製された素子の導波特性、ならびに SHG 特性を評価し比較した結果、 LiTaO_3 の場合は深い分極反転層および低損失光導波路が形成でき、 LiNbO_3 に比べて高い変換効率が得られることを明らかにしている。また、 LiTaO_3 では光損傷による出力低下も観測されず (少なくとも数 mW まで)、擬似位相整合型 SHG デバイスとして有望であることを示している。

第5章では、前章では擬似位相整合型 SHG デバイスとして適していることを明らかにした LiTaO_3 を用いた SHG デバイスの最適設計を行い、光導波路の均一化、低損失化について考察し、このデバイスが高効率、高出力特性を有することを実験的に明らかにしている。さらに、 AlGaAs 系高出力半導体レーザの第2高調波発生について実験を行い、導波路型 SHG デバイスによる青色光発生を実現している。

第6章では、第3章で示唆されているようにプロトン交換 $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$ 光導波路が光の閉じ込めに優れ、低損失であることを利用し、チェレンコフ型 SHG デバイスへの応用を提案するとともに、デバイスの試作、評価結果について述べている。チェレンコフ放射位相整合の広い波長許容性を用い、二つの基本波から、それぞれの第2高調波および和周波を発生させ、これによって三原色光 (赤, 緑, 青) を同時に得る方法を提案し、実験によりその動作を確認している。次に、半導体レーザの緩和振動により発生したパルス光の SHG による波長変換について考察し、数十ピコ秒の短パルス青色光発生を実験的に確かめている。

第7章結論では、第2章から第6章までの研究成果を総括し、本研究で得られた結論と将来の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

近年、コヒーレント青色光源として、半導体レーザと第2高調波発生 (SHG) デバイスの組合せが注目されている。本論文は、ニオブ酸リチウムおよびタンタル酸リチウム単結晶基板上への新しい光導波路形成法、およびこれを利用した高効率 SHG デバイスの開発に関するものである。

高効率 SHG には、非線形光導波路の利用が考えられ、これまで安息香酸によるプロトン交換ニオブ酸リチウム光導波路が使われていた。しかし、導波損失、光損傷等の点で問題があり、十分満足できるものではなかった。著者は、新しいプロトン交換源としてピロリン酸の使用を提案し、これによって、光閉じ込め効果が大きく、低損失な三次元光導波路が実現できることを示した。さらに、比較的軽微な光損傷に強い酸化マグネシウム添加ニオブ酸リチウムおよびタンタル酸リチウム基板上への、ピロリン酸によるプロトン交換導波路の作成に成功し、とくに後者の場合、耐光損傷性が強く、SHG デバイス用として期待できることを示している。

SHG デバイスでは、位相整合が重要な課題である。著者は、周期的分極反転構造を利用した擬似位相整合を試みて

いる。まず、やはりピロリン酸によるプロトン交換により、タンタル酸リチウム基板上に周期的分極反転構造を作成し、次に、同じくピロリン酸プロトン交換によって、この反転層に低損失で光損傷に強い光導波路を形成することに成功している。この導波路を用いて、チタンサファイアレーザを光源とする SHG 実験を行い、タンタル酸リチウムでは初めて青色光 (2.4mW) を発生させている。また、24%/W という高い換算効率を得ている。

さらに、最適設計を行って SHG デバイスを試作し、低出力レーザである赤外半導体レーザとの組合せによって、初めて0.4mW の青色光 (434nm) を発生することに成功している。

最後に、著者は、チェレンコフ形位相整合の広い整合範囲に着目し、酸化マグネシウム添加ニオブ酸リチウム基板上的プロトン交換光導波路を利用し、二つの基本光波入射による3原色光の同時発生、およびパルス半導体レーザとの組合せによるピコ秒青色光パルス発生にも成功している。

著者は、非線形材料としてはほとんど用いられていなかったタンタル酸リチウムに着目し、新しいプロトン交換法によって高品質な光導波路ならびに周期的分極反転層を形成することに成功し、導波形非線形素子として初めて高効率第2高調波発生を実現しており、本論文は光エレクトロニクスの発展に寄与する所が大きく、博士論文として価値あるものと認められる。