



Title	超高速光信号処理用導波型非線形光学デバイスに関する研究
Author(s)	石月, 秀貴
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3184409">https://doi.org/10.11501/3184409</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	いしづき ひでまさ 石 月 秀 貴
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 2 3 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 13 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子工学専攻
学 位 論 文 名	超高速光信号処理用導波型非線形光学デバイスに関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 西 原 浩  (副査) 教 授 吉 野 勝 美    教 授 濱 口 智 尋    教 授 尾 浦 憲 治 郎 教 授 森 田 清 三    教 授 谷 口 研 二    助 教 授 栖 原 敏 明

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) 光導波路と擬似位相整合用周期的分極反転構造を用いて超高速光信号処理用非線形光学デバイスを実現することを目的として行われた研究をまとめたもので、5章で構成されている。

第1章は緒論で、これまで主に光波長変換デバイスとして研究されてきた強誘電体結晶導波路を用いた擬似位相整合型非線形光学デバイスが、ピコ秒以下の超短光パルスに対する超高速光信号処理のためのデバイスとして発展応用可能なことを述べている。種々の方式の超高速光信号処理デバイスのこれまでの研究を概観するとともに、擬似位相整合型デバイスの可能性と特徴を展望し、本研究の目的と課題を明らかにしている。

第2章では、 $\text{LiNbO}_3$ 導波型擬似位相整合デバイス中における超短光パルスの非線形相互作用の理論解析を行っている。ビーム伝搬法に基づくシミュレーションにより、超高速信号処理に応用可能な光第2高調波発生、和周波発生、差周波発生およびそれらの組み合わせについて、出力パワー、出力波形、効率や帯域などの理論特性を明らかにするとともに、特性のデバイスパラメータ依存性を明らかにし、高性能超高速光信号処理デバイス実現の観点からデバイス設計指針を示している。

第3章では、超高速光信号波形観測のための光サンプリング用導波型擬似位相整合和周波発生デバイスの実現について検討している。理論設計により、従来のバルク結晶を用いたサンプリングに比べて大幅な効率改善が可能なことを示している。実際にデバイスを設計・作製し、幅25ピコ秒の超短光パルスによる光サンプリングの実験を行い、サンプリングパルス幅に対応する時間分解能でのサンプリング動作を実証するとともに、バルク結晶の場合に比べて約4桁高い効率を達成している。

第4章では、超高速光スイッチングデバイスの実現について述べている。種々の擬似位相整合型光スイッチングデバイスの構成案を具体的に示し、それぞれの理論特性と作製上の課題について比較検討している。提案したデバイスのうち、光第2高調波発生と差周波発生のカスケード動作を利用する光スイッチについては、詳細な理論特性解析を行うとともに、実際にデバイスを設計・作製して実験を行い、ピコ秒パルスを制御光とする波長変換型光スイッチングの動作を実証している。

第5章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題を明らかにしている。

## 論文審査の結果の要旨

近年の大容量情報伝送・処理の社会的必要性に対処するため高度技術の開発が続けられている光通信・光情報処理の分野においては、電子デバイスの限界を超える超高速の情報処理を可能にするため光を光で制御する全光信号処理デバイスの実現が強く望まれている。ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) などの強誘電体結晶における 2 次非線形光学効果は電子分極の非線形性に起因する高速の現象であるので、これを利用すれば超高速光信号処理を行うことができる。一方、この数年来、光ディスクメモリ用短波長小型コヒーレント光源の実現を目的として、強誘電体の自発分極を周期的反転した構造で位相整合を実現するとともに光導波路構造を形成して光波を閉じ込めることにより効率を高めた導波路型擬位相整合非線形光学波長変換デバイスが研究されてきた。この技術を利用すれば低パワー動作する小型高効率の非線形光学光信号処理デバイスが種々実現できると期待される。しかし従来の研究は短波長連続光での動作を対象としたものであり、光通信波長帯の超短光パルスで動作するデバイスと超高速信号処理への応用の検討は殆どなされていなかった。

本論文の研究はこの分野の開拓のため、新規なデバイス構成を提案し実現可能性を実証することを目的としたものであり、理論的実験的検討を行って以下のような成果を得ている。

- (1)  $\text{LiNbO}_3$  導波路擬位相整合非線形光学デバイスにおける超短光パルスの相互作用の理論解析により、高効率・高速の光信号処理デバイスの設計手法を確立し、デバイス設計に有用な多くの基礎データを得ている。
- (2) 具体的な超高速光信号処理デバイスとして、光サンプリング用和周波発生デバイスおよびカスケード第 2 高調波発生/差周波発生型光スイッチングデバイスをはじめとする各種光スイッチングデバイスの構成を提案し、それぞれのデバイスの特徴と理論特性を明らかにし、具体的な設計例を示している。
- (3) 上記デバイス作製のための要素技術として、パルス電界印加法による擬位相整合用周期的分極反転構造の形成技術と、プロトン交換法によるチャンネル導波路構造の形成技術を確立し、光通信波長帯信号処理のため最適化されたデバイスパラメータを実現するための作製条件を見出している。
- (4) 光サンプリング用和周波発生デバイスを実際に作製して光サンプリング実験を行い、ピコ秒分解能の光サンプリング動作を実証し、従来のバルク結晶利用に比べて 4 桁も高いトップデータの効率を達成している。これは擬位相整合導波路デバイスの超高速光信号処理デバイスとしての有用性を実証した最初の例として評価できる。
- (5) カスケード第 2 高調波発生/差周波発生型光スイッチングデバイスを設計・試作して、実験によりピコ秒およびサブピコ秒制御パルスによる超高速光スイッチングの基本的動作を確認している。また性能改善のための課題を明らかにしている。

以上のように、本論文の研究は、 $\text{LiNbO}_3$  導波路と擬位相整合用周期分極反転構造を用いたいくつかの超高速光信号処理デバイスの具体的な構成を提案し、その設計と作製のための要素技術を確立し、これらのデバイスの実現可能性を実証したものである。超高速光信号処理デバイスに関して多くの有用な知見を得ており、集積光電子工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値のあるものと認める。