

Title	強誘電体周期分極反転構造を用いた電気光学変調器に関する研究
Author(s)	井上, 敏之
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/52169">https://doi.org/10.18910/52169</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 井 上 敏 之 )

論文題名

強誘電体周期分極反転構造を用いた電気光学変調器に関する研究

## 論文内容の要旨

本論文は、著者が大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻博士課程に在学中、集積光電子デバイス領域(梶原研究室)において行った“強誘電体周期分極反転構造を用いた電気光学変調器に関する研究”をまとめたもので、全6章から構成されている。

## 第1章 序論

強誘電体周期分極反転構造を用いた電気光学デバイスは、従来の電気光学デバイスの高性能化や新規機能を有するデバイスの実現を目指して研究され、将来の産業の発展に大いに寄与しうることを踏まえて、本研究の意義や重要性を述べた。先行研究において明らかになった問題点・課題について言及し、本研究における目的および解決すべき課題を明確にした。

## 第2章 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の設計

モード結合理論を用いて変調特性の理論解析を行った。電気光学特性に優れ、高い光損傷耐性を有するMgO添加LiNbO<sub>3</sub>あるいはMgO添加LiTaO<sub>3</sub>を変調器に用いた場合の変調特性の理論予測を示した。電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の構成方法について述べ、最適設計法を示した。

第3章 MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の作製・評価

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>短周期分極反転構造の一様性を改善するためには、周期電極の構造や形状の最適化が不可欠であることを踏まえ、均一性の高い周期分極反転構造の最適作製条件を明らかにした。MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型光変調器の作製方法および評価について述べた。特に光損傷の問題が顕著に生じると予想される短波長光の変調特性を明らかにした。紫色レーザー光変調時に顕著な緩和現象が生じることが分かった。また、分極反転構造形成後に酸素雰囲気中で結晶アニーリングを施すことにより、緩和現象を低減できることを見出した。透過光・回折光パワーの変調器印加電圧依存性やレーザー光入射角度受容幅などの変調特性を調べ、第2章で示した理論予測との比較および考察を行った。さらに、電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器のプロトタイプ作製および評価について述べた。

## 第4章 周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の設計

モード結合理論を用いて変調器の理論解析を行った。MgO添加LiNbO<sub>3</sub>あるいはMgO添加LiTaO<sub>3</sub>を変調器に用いた場合の変調特性の理論予測を示した。

第5章 MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の作製・評価

光源のスペクトル幅を波長受容幅よりも十分小さくする必要があることを示したのち、この要件を満たすための回折格子を用いた複合外部共振器型GaInレーザーの構成方法について述べた。MgO添加LiNbO<sub>3</sub>への周期分極反転構造の作製方法、MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の作製方法を示した。複合外部共振器型GaInレーザーを光源として変調器の特性評価を行い、垂直・水平偏光パワーの変調器印加電圧依存性や変換効率の入射光波長依存性などの変調特性を調べ、第4章で示した理論予測との比較および考察を行った。

## 第6章 結論

本研究で得られた成果を総括し、今後の課題や展望を述べた。また、関連する研究分野における本研究の意義や位置づけを明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 井 上 敏 之 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 栖 原 敏 明
	副 査	教 授 尾 崎 雅 則
	副 査	教 授 宮 永 憲 明
	副 査	教 授 伊 藤 利 道
	副 査	教 授 森 勇 介
	副 査	教 授 片 山 光 浩
	副 査	教 授 近 藤 正 彦
	副 査	教 授 大 森 裕
	副 査	教 授 八 木 哲 也

## 論文審査の結果の要旨

近年の大容量情報の伝送・処理およびそのための機器製造の必要性に対処するため高度な技術開発が続けられている光通信・光情報処理・レーザディスプレイ・レーザリソグラフィ等の分野においては、新規な機能と高い性能を有するコンパクトな光制御デバイスの実現が強く望まれている。ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) やタンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ ) などの強誘電体結晶における電気光学効果を利用すれば、種々の光制御素子を実現できるので古くから研究開発がなされてきた。一方、近年、強誘電体の自発分極を周期的反転した構造の非線形光学波長変換デバイスが開発され長足の進歩を遂げている。この分極反転技術を利用すれば新機能を有し小型高性能の電気光学光制御デバイスが種々実現できると期待される。しかしこれまでの関連研究は主に光通信応用を目指すものに限られ、レーザディスプレイ・リソグラフィなどを含めた広範な応用に必要な機能の実現や短波長高強度光に対する光損傷問題回避などの課題の検討は十分になされていなかった。

本論文の研究はこの分野の新たな展開のため、新規なデバイス構成を提案し、その設計作製技術を確認し、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) 電気光学特性に優れた高い光損傷耐性を有する  $\text{MgO}$  添加  $\text{LiNbO}_3$ ・ $\text{MgO}$  添加  $\text{LiTaO}_3$  結晶における周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型光強度変調器の理論解析を行い、変調特性の理論予測と比較検討を行い、設計基礎データを得ている。
- (2) 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型光強度変調器を多数集積した一次元空間光変調器について理論考察し、高画素密度、高消光比、低駆動電圧などを得るための最適設計の指針を明らかにしている。
- (3) 以前は作製困難とされていた  $\text{MgO}$  添加  $\text{LiNbO}_3$  結晶への短周期分極反転構造の作製にとり組み、電極構造の工夫や電圧印加時の温度履歴や電圧等の条件の最適化により周期  $3\mu\text{m}$  程度までの良質な分極反転構造を得る手法を確立している。
- (4)  $\text{MgO}$  添加  $\text{LiNbO}_3$  周期分極反転構造を用いてブラッグ偏向型光変調器を構成し、紫色および紫外レーザ光に対する変調特性を評価し、最大回折効率 97%、消光比 1/13 などの良好な特性を得るとともに、高温酸素中結晶アニーリングによる緩和現象低減法を見出し、これまでの変調器では困難であった紫外光強度変調を実証している。
- (5)  $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$  および  $\text{MgO}:\text{LiTaO}_3$  における周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の理論解析、設計と特性予測および比較検討を行い、最適設計の指針と理論性能限界を明らかにしている。

(6) MgO:LiNbO<sub>3</sub> 周期分極反転構造を用いた偏光変換型光変調器を試作・評価している。紫外レーザー光に対する最大変換効率 89% (垂直偏光入力)、91% (水平偏光入力) など良好な性能を得て、短波長光の偏光変調と強度変調を実証している。

以上のように、本論文の研究は、MgO 添加 LiNbO<sub>3</sub> 結晶を中心とする光損傷耐性を有する強誘電体結晶における周期分極反転構造を用いたいくつかの電気光学光変調器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確立し、これらのデバイスの実現と実用的性能達成の可能性を実証したものである。強誘電体電気光学効果光制御デバイスに関して多くの有用な知見を得るとともに今後の課題を明らかにしており、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。