



Title	強誘電体周期分極反転構造を用いた高速レーザーソグ ラフィ装置用空間光変調器に関する研究
Author(s)	岡崎, 雅英
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55944
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (岡 崎 雅 英)

論文題名

強誘電体周期分極反転構造を用いた高速レーザリソグラフィ装置用空間光変調器に関する研究

論文内容の要旨

本論文は、筆者が株式会社 SCREEN ホールディングス第二技術開発室と大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻集積光電子デバイス領域（栖原研究室）とで行われた共同研究の内容をまとめたもので、全 7 章から構成されている。

第 1 章では、基幹産業である半導体・フラットパネル・プリント基板と印刷製版製造において、従来のフォトマスク転写方式から新たな直接描画方式へ革新するために取り組んだ本研究の背景、目的と課題を述べた。

第 2 章では、周期分極反転構造を用いた一次元空間光変調器の具体化に必要な基本原理、変調特性、設計方針を整理した。紫外光固体レーザを用いる場合はブラッグ回折型、赤外光マルチエミッター高出力半導体レーザの場合はラマン・ナス回折型光変調器が適する事を示した。また空間光変調器の動作を出力光の空間周波数スペクトルを用いて説明した。

第 3 章では、紫外光固体レーザを用いる電気光学ブラッグ回折型光強度変調器の設計・試作・評価について述べた。紫外レーザ光に対し光損傷耐性の高い MgO:s-LiTaO_3 結晶を選び出した。高速変調の為に低電圧駆動デバイスに必要な薄板結晶を用いる構造を提案し、光変調器の設計試作を行い印加電圧 8.9V で回折効率 97.8%、消光比 87.6 を得た。

第 4 章では、紫外光固体レーザを用いる導波路型電気光学ブラッグ回折型空間光変調器の設計・試作・評価について述べた。光損傷耐性が高く低損失光伝搬が可能で出射光が描画に適する光強度分布となる大きなモードサイズを有するアニールプロトン交換光導波路を提案実証した。寿命試験を実施し安定性を確かめた。次に 10 画素一次元空間光変調器を実証した。良好な画素の光強度分布と高消光比(50~100)、3MHz の変調速度を 10V の低電圧駆動で得た。駆動回路の高速化により 10MHz 達成見通しを得た。

第 5 章では、赤外光用電気光学ラマン・ナス回折型光強度変調器の設計・試作・評価について述べた。ラマン・ナス回折型光変調器の消光比を改善するために、整数比の周期を持つ格子を 2 段カスケードに接続した調和格子を新たに提案実証した。約 70 の高い消光比性能が得られた。

第 6 章では、赤外光マルチエミッター高出力半導体レーザを光源に用いた 1024 画素の電気光学ラマン・ナス回折型空間光変調器を実証した。3 段構成タイプのカスケード型調和周期格子を用いる事で実用上十分な消光比約 22 を得た。また市販の印刷板描画装置を用いて印刷版にパターンを描画し、高品質な実用レベルの描画結果を得た。

第 7 章では、本研究で得られた成果を総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (岡 崎 雅 英)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	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	森 伸 也
	副 査	教 授	八 木 哲 也

論文審査の結果の要旨

近年の半導体デバイス、フラットディスプレイパネル、電子回路プリント基板等の製造においては、従来からのフォトマスク転写技術に加えて、大量生産と多品種少量生産の両方に対応できるレーザ直接描画技術が活用されるようになっており、そのための高速レーザリソグラフィ装置の研究開発が続けられている。同装置の重要な構成要素のひとつは、レーザビームを多数の画素に分解してそれぞれを強度変調する空間光変調器であり、種々の方式のデバイスが開発されているが一長一短があり、高速性・空間分解能・駆動電圧・画素数・ロバスト性など全ての面で満足なものとは実現されていない。最近、非線形光学デバイス分野で急発展が見られた強誘電体結晶周期分極反転構造を高速空間光変調器の実現のために応用する研究がなされ基礎的な成果が得られているが、産業機器としての実用に適した機能・性能のデバイスを完成するためには、短波長レーザ光・高パワーレーザ光に対する光損傷問題回避、画素数拡大、駆動電圧低減、消光比改善など解決すべき多くの課題が残されていた。

本論文の研究はこの分野の新展開のため、新規なデバイス構成を提案し、設計・作製技術を確立し、実用的デバイスを研究開発することを目的としたものであり、理論設計と試作および実験的検討を行って以下の成果を得ている。

- (1) 高速リソグラフィ装置用空間光変調器の基本構成要素とするための周期分極反転構造を用いた電気光学偏向型光強度変調器として、ブラッグ回折型とラマン・ナース回折型の変調器の理論特性を表す数式を整理して両者の特性を比較検討し、光源レーザの種類に応じた選択を行う指針を明らかにし、基本性能予測を行っている。また偏向型光強度変調器を多数配列して構成した一次元空間光変調器の特性を、出力光空間周波数スペクトルを用いて検討している。
- (2) 高出力紫外固体レーザを光源として用いる高速リソグラフィ装置のためのブラッグ回折型変調器の設計・試作・評価を行っている。各種電気光学結晶の紫外レーザ光に対する光損傷耐性を実験的に比較検討して高耐性を示す MgO:s-LiTaO_3 結晶を選択し、低電圧駆動高速変調を可能にするための薄板結晶接合構造のデバイスを新たに考案し、設計試作を行い、8.9V の低駆動電圧で回折効率 97.8%、消光比 87.6 の高性能な変調器を実現している。
- (3) 上記変調器に光導波路構造を組合せて配列した構造の紫外光用ブラッグ回折型一次元空間光変調器の開発を行っている。このためまず、光損傷耐性が高くリソグラフィ装置に適した大きなモードサイズを有するアニールプロトン交換光導波路を形成する手法を開発・確立している。続いて 10 画素からなる空間光変調器のプロトタイプを設計・試作し、その動作を確認するとともに、10V の低電圧駆動で消光比 50～100、変調速度 3MHz などの高性能を実証している。

(4) 高出力マルチエミッタ赤外半導体レーザを光源とする高速リソグラフィ装置のための基本光変調器として、コリメーションの劣る同レーザ光に対しても高性能を実現できるラマン-ナス回折型変調器の開発研究を行っている。基本形のラマン-ナス回折型変調器では同レーザ光を有効に変調できるが消光比が不十分であることを明らかにし、改善のため新たに整数比の周期を持つ構造を2段カスケード接続した調和格子構造を提案し、理論シミュレーションによりパラメータを最適化して設計している。また電気光学定数が大きく光損傷耐性のある $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 結晶を選択して、実際に調和格子分極反転構造を形成してプロトタイプ変調器を試作し、約70の高い消光比を達成している。

(5) 上記変調器をさらに発展させて多数個配列することにより、高出力マルチエミッタ赤外半導体レーザ光源高速リソグラフィ装置のための1024画素の高性能空間光変調器の開発を行っている。消光比の更なる改善のため3段カスケード調和格子構造を考案し、シミュレーションにより最適化設計し、結晶接合技術と電極実装技術を駆使して実用的なデバイスを作製し、理論予測に近い良好な空間変調特性を実現している。またこの空間変調器を商用CTP(Computer To Plate)装置に搭載してパターン露光の試験を行い、産業用製造装置として実用的な総合性能を実証している。

以上のように、本論文の研究は、強誘電体電気光学結晶周期分極反転構造を用いた高速レーザリソグラフィ装置用光空間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技術を確立し、実際にデバイスを実現し実用的性能達成を実証したものである。薄板結晶接合構造、多段カスケード調和格子構造や大モードサイズ導波路など独自のアイデアや工夫を含み、高速レーザリソグラフィ用電気光学効果空間光変調器に関して多くの有用な知見を得るとともに実用デバイスの開発に成功している。また近未来のレーザディスプレイやレーザ加工への応用など波及効果も期待され、光電子工学と製造装置産業に寄与するところが大い。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。