

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ホログラフィックディスプレイの実現に向けた磁気光学デバイス開発および再生像評価に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	東田 諒
Author(English)	Ryo Higashida
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12711号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:山口 雅浩,金子 寛彦,中村 健太郎,渡辺 義浩,ファム ナムハイ
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12711号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	情報通信 情報通信	系 コース	申請学位（専攻分野）： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	東田 諒		審査員主査： Chief Examiner	山口 雅浩

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本研究は、臨場感・没入感の高い究極の映像体験の提示を目指し、特別なメガネをかけることなく、深い奥行きを有した 3 次元 (3D) 映像を提示可能なホログラフィーによる 3D ディスプレーを対象とした。

第 1 章では、研究の背景として映像技術のこれまでの発展について述べ、本研究の目的と構成を述べた。本研究では、特に空間光変調器 (SLM) という表示デバイスに着目した。従来、ホログラフィックディスプレイに用いられる SLM は汎用的なものであり、その再生像は性能不足によって究極の映像とは大きな隔りがある。ホログラフィックディスプレイの将来性や SLM 開発の方向性を明らかにすることで、専用表示デバイス開発を促進することを研究の目的とした。本研究では新規 SLM 開発と再生像評価技術の両輪で研究を推進した。

第 2 章では、ホログラフィーによる 3D 映像表示システムに関連する基本的な技術を概説し、既存の研究や課題について説明した。このような映像システムの実現に必要な SLM の基本要件は視聴形態によって異なるが、可視光程度の画素ピッチと数十 k×数十 k 以上の画素が必要であると考えられている。このような性能を満たす SLM はこれまでに実現されていない。また、光学システムによって表示性能を改善する研究が報告されているが、なんらかの性能とのトレードオフとなり、十分な品質な映像は実現されていない。したがって、デバイスとシステムの両面からの研究開発が必要である。

第 3 章では、SLM の狭画素ピッチ化、多画素化を目指し、磁気光学 (MO) 効果を用いた SLM (MOSLM) の研究について説明した。MO 材料は微細化と高速性に優れており、ホログラフィックディスプレイに適した SLM 性能を実現できる可能性がある。MO 効果は磁化方向に応じて光の偏光状態が変化する現象であり、本研究では各画素の磁化方向を電流誘起磁壁移動によって制御した。この素子は、光を変調する磁性細線 (NW) と、磁性細線の両端に埋め込まれ、磁性細線に磁壁を導入する 2 つの HM、HM 下部に設置された画素選択トランジスターから成る。画素選択トランジスターからの電流注入によって磁性細線の磁壁が移動して磁化方向が反転する。

はじめに、このデバイスの狭画素ピッチ化の可能性を示すため、サブミクロンスケールの微小な磁壁移動型光変調素子を作製した。ここで、HM の長さを変えることで、磁石の強さを示す保磁力を制御し、2 種類の HM を同時形成する技術を提案した。これにより、リソグラフィによる重ね合わせ誤差を軽減し、 $0.5 \times 2.0 \mu\text{m}$ の微小な素子の作製に成功し、さらに、パルス電流注入による磁化反転および光変調動作を実証した。

つづいて、微小な素子を狭画素ピッチで配置するため、HM 保磁力制御技術のアレイ構造に拡張し、さらに高開口率で配置する構造を提案した。また、この SLM 構造による光変調性能を検証するため、画素選択トランジスターによる電流注入ではなく、外部からの磁界印加によって固定のパターンを表示する方法を提案した。提案構造で画素ピッチ $1 \times 2 \mu\text{m}$ の検証用アレイ素子を作製し、光の回折および波長 633 nm のレーザーで水平視域 36° のホログラム再生を実証した。

また、MOSLM の回折効率を改善するため、NW 上部の絶縁体層の厚みや光の入射角を変えて磁性体付近の多重反射条件を調整し、検証用素子を用いて回折特性を評価した。その結果、今回のデバイス構造において、回折効率の改善には多重反射条件の調整が有効であり、さらに入射角の偏光依存があることが明らかとなった。

最後に、これらの研究成果を基に、画素ピッチ $1 \times 2 \mu\text{m}$ 、画素数 $10\text{k} \times 5\text{k}$ の MOSLM を開発し、波長 532 nm のレーザーで、水平視域 30° の広い視域をもったホログラムの動画再生を実証した。

第 4 章では、SLM 要求性能の導出に向けた、ホログラムの再生像評価に関する研究について説明した。SLM の性能を模擬したホログラムを生成し、その再生像を評価することで、SLM 開発の加速化・高度化を目指す。

はじめに、計算機上で任意の性能のホログラムの再生をシミュレーションし、その再生像を評価する方法を提案した。ホログラムの再生については、観察者の網膜像をシミュレーションした。計算した再生像について、強度情報が既知の物体を記録したホログラムの再生像を事前に計算し、評価対象の再生像を一律に正規化する手法を提案した。また、再生像の評価について、実世界で物体を観察した場合の像からの画質劣化を評価する手法を提案した。これらにより、再生像の画質劣化を数値的に評価することが可能となった。

つづいて、既存の SLM では表示が困難な性能のホログラムを静止画として出力して光学再生し、その再生像を評価するため、微細なパターンを大面積に形成するプロセスを提案した。基板表面を直接加工することで狭画素ピッチ多画素の静止画ホログラムを正確に形成し、視域や画面サイズなどを評価可能とした。

第 5 章では、本研究の成果をまとめ、学術的な意義や発展性を述べるとともに、ホログラフィーによる 3 次元映像システムの実現に向けた今後の課題や展望について述べ、総括とした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	情報通信 情報通信	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	東田 諒		審査員主査： Chief Examiner	山口 雅浩

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This research focused on holographic three-dimensional (3D) displays, which can present 3D images with deep depth without the need for special glasses.

Chapter 1 described the background, purpose and structure of the doctoral thesis. The research was conducted both the development of the display device called a spatial light modulator (SLM) and the image quality assessment of the reconstructed images.

Chapter 2 outlined the basic technologies related to holographic 3D display systems. The basic requirements for SLMs needed to realize such system are a pixel pitch of approximately visible light and several hundred megapixels or more. An SLM that meets these performance has not been realized to date.

Chapter 3 described the research on magneto-optical (MO) type SLM (MOSLM) using current-induced domain wall motion to achieve SLMs with narrower pixel pitch and more pixels. First, I proposed a method to control coercivity and demonstrated sub-micron scale devices. Next, I proposed an array structure that applies the coercivity control method and a test device that mimics the structure of SLM. Holograms were successfully reconstructed using the proposed test device with narrow pixel pitch. Furthermore, diffraction characteristics were measured using the test device, and it was found that the multiple reflection near the magnetic material and the polarization direction of the incident light contributed to the diffraction efficiency. Finally, based on these research, we developed the MOSLM and demonstrated reconstruction of holograms with a wide viewing angle of 30° in horizontal direction.

Chapter 4 described the research on the image quality assessment of the reconstructed holographic images to clarify the performance required for SLM. First, I proposed a method for normalizing the intensity distribution of the reconstructed images and a method for numerically evaluating the image quality degradation from the ideal image. Next, we proposed a process for accurately fabricate holograms with narrow pixel pitch and large-area, which are difficult to display with existing SLMs, enabling the evaluate the ideal viewing zone and screen size.

Chapter 5 summarizes the results of this study, discusses future issues and prospects, and provides a summary.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).