

学位論文題名

Analysis of Holographic Data Storage Medium
and Recording Method for Practical Application

(ホログラフィックメモリの実用化に向けた
フォトポリマメディアと記録方式の研究)

学位論文内容の要旨

光ディスクは1982年の音楽用途のCD(Compact Disc)から始まり、デジタル映像の媒体としてのDVD(Digital Versatile Disc)、そして高精細なHD画像の媒体としてのBlu-ray discなどアプリケーションと共に発展してきた。更に近年の情報通信技術の発展は留まる所を知らず、大容量な第4世代と言われる光ディスクの研究開発が期待され、そこでのスペックは500GByte~1TByteの容量、同時に300Mbps~1Gbpsの転送速度が要求されている。次世代の光ディスクとしては2光子吸収等を用いた3次元記録、近接場記録、超解像を用いた技術など様々な研究が行われているが、その中で体積記録ホログラフィックメモリは三次元的記録領域に由来する大容量性と、二次元一括記録再生方式に由来する高速性から次世代を担う光メモリとして盛んに研究されている。ホログラフィックメモリの研究開発は1960年代から長きに渡って発展と衰退を繰り返してきたが、近年になり、記録メディアとしてフォトポリマの目覚ましい発展からその研究開発は実用化に向けて急速に発展した。ホログラムの多重方式としては、主に民生用を目的としたコアキシャル方式、プロフェッショナル用途を主な目的としたポリトピック多重方式などが提案されている。それらの方式を用いて、容量として300~500Gbyte、また転送速度も100~400Mbpsを達成したという報告もあり、既に第4世代光ディスクの目標まで到達しつつある。しかし現在も実用化に至っていないのは、最も重要なパーツであるフォトポリマメディアの信頼性を含めた特性が実用化の段階に達していない点、また実際のドライブを構築する上で重要な温度などのトレランスがホログラム記録は非常に敏感という点が上げられる。

本論文では、フォトポリマメディアを中心としたホログラフィックメモリの実用化を目的とした研究を行っており、これまで明らかにされていなかったフォトポリマメディアの記録プロセスを独自のシミュレーションと実験によって解析を行い、実用化に向けたメディアの課題や最適構造を示す。また温度などの環境に対する特性の解析を行い、そのトレランス改善法の検証を行うことによって、フォトポリマメディアの実用化のための使いこなしに重点を置いた記録方式についての検討を行う。

1章では研究の背景、目的及び構成について述べる。

2章では、ホログラフィックメモリの基本原理、またその記録メディアとして有力視されるフォトポリマの基本的な記録原理について説明を行う。

3章と4章では、ホログラフィックメモリの実現のキーパーツとなるフォトポリマの記録プロ

セスのシミュレーションモデルの提案を行い、記録プロセスや最適パラメータなどの各種解析を行う。3章の1次元シミュレーションでは、複雑な記録プロセスであるモノマの拡散とポリマ化をFDTD法 (Finite Difference Time Domain Method) によってモデル化したもので、記録特性改善の為の各種メディアパラメータの解析、実験とのフィッティングにより各種メディアパラメータの見積もりを行う。4章では、多重記録やノイズ等の特性を見積もるために、上記シミュレーションを2次元モデルに拡張した新たなモデルで、ホログラムの厚みや多重記録による回折効率の劣化などの検討を行う。

5章と6章では、ホログラフィックメモリ実用化のために最も大きなハードルと思われる、温度トレランスの解析とその改善法についての検討結果を示す。5章では、再生時のメディアの熱膨張による回折格子の形而変化の影響を解明し、再生光の波長と角度を変えることにより温度トレランスを改善できる方式を提案し、我々が独自に開発した波長可変レーザを用いた実験によりトレランス改善を実証する。6章では、フォトポリマメディアの記録の温度特性として、記録時のメディア特性の劣化は、その基礎原理がポリマ化率と拡散速度に依存するというを上記メディアシミュレータで明らかにし、その対処法についての検討を行う。

7章では、メディアの記録再生特性に大きく影響するメディア材料を挟み込む基板についての解析を行う。現在ホログラムメディアで一般的に使用されているBK-7等の光学ガラスに比べて安価で軽く、作成も容易なポリカーボネートなどのプラスチック基板の特性の解析を行い、特にホログラム記録に影響を与えうる複屈折と線膨張係数の2つの点からポリカーボネート基板の実現性を示す。

8章ではフォトポリマ材料を用いたディスク形状メディアの記録方式として最も有力視される、コアキシャル方式における記録メディアの基礎特性評価を行う。コアキシャル方式でのホログラムメディアのチルトトレランス、波長トレランスや振動特性を示す。またフォトポリマを用いたコアキシャル方式の大きな問題点である、反射膜による透過型、反射型ホログラムでトータル4つのホログラムが記録されることの検証を実験と解析によって明らかにし、その特性を独自に改善する方式を提案し実証する。更に、コアキシャル方式における新たな記録方式を提案し、またその簡便な暗号化への応用を提案する。

9章では、本研究で得られた成果の総括と共に、これからのホログラフィックメモリの実現のために残された克服すべき技術などについての内容について述べる。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 岡 本 淳
副 査 教 授 雨 宮 好 仁
副 査 教 授 佐 野 栄 一
副 査 教 授 三 島 瑛 人

学位論文題名

Analysis of Holographic Data Storage Medium and Recording Method for Practical Application

(ホログラフィックメモリの実用化に向けた
フォトポリマメディアと記録方式の研究)

光ディスクは 1982 年の音楽用途の CD から始まり、デジタル映像の媒体としての DVD、そして高精細な HD 画像の媒体としての Blu-ray disc などアプリケーションと共に発展してきた。更に近年の情報通信技術の発展は留まる所を知らず、大容量な第 4 世代と言われる光ディスクの研究開発が期待され、ここでは 500GByte~1TByte の容量と 300Mbps~1Gbps の転送速度が要求されている。次世代の光ディスクとしては 2 光子吸収等を用いた 3 次元記録、近接場記録、超解像を用いた技術など様々な研究が行われているが、その中でホログラフィックメモリは 3 次元的記録領域に由来する大容量性と、2 次元一括記録再生方式に由来する高速性から次世代を担う光メモリとして盛んに研究されている。ホログラフィックメモリの研究開発は 1960 年代から長きに渡って発展と衰退を繰り返してきたが、近年になり、記録メディアとしてフォトポリマの目覚ましい発展からその研究開発は実用化に向けて急速に発展し、多重方式として有力視されるコアキシャル方式や、ポリトピック多重方式で、上記の容量と転送レートのスペックを達成したという報告もある。しかし現在も実用化に至っていないのは、最も重要なパーツであるフォトポリマメディアの信頼性を含めた特性が実用化の段階に達していない点、また実際のドライブを構築する上で重要な温度などのトレランスがホログラム記録は非常に敏感という点が上げられる。

本論文の 3,4 章では、ホログラフィックメモリの実現のキーパーツとなるフォトポリマの記録プロセスのシミュレーションモデルの提案を行い、記録プロセスや最適パラメータなどの各種解析を行っている。3 章の 1 次元シミュレーションでは、複雑な記録プロセスであるモノマの拡散とポリマ化をモデル化したもので、記録特性改善の為に各種メディアパラメータの解析、実験とのフィッティングにより各種メディアパラメータの見積もりを行っている。4 章では、多重記録やノイズ等の特性を見積もるために、上記シミュレーションを 2 次元モデルに拡張した新たなモデルで、ホログラムの厚みや多重記録による回折効率の劣化などの検討を行っており、フォトポリマメディアの記録プロセスを独自のシミュレーションと実験によって有益な知見が得られている。

5章と6章では、ホログラフィックメモリ実用化のために最も大きなハードルと思われる、温度トレランスの解析とその改善法についての検討結果が示されている。5章では、再生時のメディアの熱膨張による回折格子の形而変化の影響を解明し、再生光の波長と角度を変えることにより温度トレランスを改善できる方式を提案し、独自に開発した波長可変レーザを用いた実験によりトレランス改善を実証している。6章では、フォトポリマメディアの記録の温度特性として、記録時のメディア特性の劣化は、その基礎原理がポリマ化率と拡散速度に依存するというを上記メディアシミュレータで明らかにし、その対処法についての検討を行っている。この2つの章によって温度特性の改善法の基礎をほぼ網羅されており、これからのドライブ開発に非常に役立つと考えられる。

7章では、メディアの記録再生特性に大きく影響するメディア材料を挟み込む基板についての解析が行われている。現在ホログラムメディアで一般的に使用されているBK-7等の光学ガラスに比べて安価で軽く、作成も容易なポリカーボネートなどのプラスチック基板の特性の解析が行われ、特にホログラム記録に影響を与えうる複屈折と線膨張係数の2つの点からポリカーボネート基板の実現性が示されている。

8章ではフォトポリマ材料を用いたディスク形状メディアの記録方式として最も有力視される、コアキシャル方式における記録メディアの基礎特性評価を行っている。コアキシャル方式でのホログラムメディアのチルトトレランス、波長トレランスや振動特性が示されている。またフォトポリマを用いたコアキシャル方式の大きな問題点である、反射膜による透過型、反射型ホログラムでトータル4つのホログラムが記録されることの検証を実験と解析によって明らかし、その特性を独自に改善する方式が提案され実証されている。

9章では、本研究で得られた成果の総括と共に、これからのホログラフィックメモリの実現のために残された克服すべき技術などについての内容について述べられている。

これを要するに、著者は、ホログラフィックメモリの実用化に向けた様々な技術を新たに提案し、メディアやドライブにおける各種トレランスの改善に関して多くの有益な知見を得ており、光エレクトロニクス分野に貢献するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。