



Title	光複素振幅制御技術を用いた超高密度ホログラフィックメモリに関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	渋川, 敦史
Citation	北海道大学. 博士(情報科学) 甲第11294号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/55460">http://hdl.handle.net/2115/55460</a>
Rights(URL)	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Atsushi_Shibukawa_abstract.pdf (論文内容の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 渋川 敦史

### 学 位 論 文 題 名

光複素振幅制御技術を用いた超高密度ホログラフィックメモリに関する研究  
( Study on ultra-high density holographic memory using optical complex-amplitude control  
technique )

従来の光メモリは、記録密度を高めるためにレーザ光源の短波長化と対物レンズの高 NA(開口数)化による集光スポットの微小化を行ってきたが、このような記録密度向上の手段は、ブルーレイディスク (BD) において既に物理的限界に達している。これに対して、次世代光メモリとして期待されるホログラフィックメモリ (HDS) は、従来の二次元記録ではなく三次元記録を用いるため、BD の数百倍の記録容量を達成可能である。加えて、HDS は、二次元のページデータを一括で記録再生するため、BD の数百倍のデータ転送速度も同時に達成可能である。このように従来の光メモリとは全く異なる原理と特長を持つ HDS は、アメリカの Inphase 社によって実際に製品化されており、その記録容量と転送速度はそれぞれ 1.6TB/disc と 1Gb/s である。しかしながら、一般的なホログラフィック記録媒質の理論的な三次元記録密度限界はおおよそ 500TB/disc であることから、現行 HDS の記録媒質の利用効率は極めて低く、記録密度拡大の余地はまだまだ多く残されている事が分かる。

記録媒質の利用効率が低い主な要因として、まず、三次元的な記録空間を有する記録媒質においてホログラムが均一に記録されていない点が挙げられる。従来の HDS では、集光スポットの位置を媒質の面方向に沿って微小変位させることでホログラムの多重記録を行っているため、媒質の深さ方向に対する多重化ホログラムの均一性が不十分である。また、媒質の利用効率が低い要因として、非再生ホログラムからのクロストークノイズ(ページ間クロストーク)も挙げられる。ホログラムを多重する間隔の理論限界は  $1\mu\text{m}$  以下であるにも関わらず、実際の多重間隔はページ間クロストークを抑制するために  $20\mu\text{m}$  程度に設定されており、これは HDS の潜在的な多重化能力が約 1/400 に減殺されることを意味する。再生信号の空間周波数面にピンホールを設置することでページ間クロストーク低減を図る方法がこれまでに提案されているが、この方法は再生信号成分と等価な空間周波数帯域を持つページ間クロストーク成分を除去することが難しい。さらに、媒質の利用効率に影響を与える重要な要素として、信号変調方式も挙げられる。最近、一つのホログラムにより多くの情報を変調できる、多値振幅変調と多値位相変調を組み合わせた空間直交振幅変調 (SQAM) 方式が提案され、これによる記録密度と転送速度の改善が検討されている。しかしながら、SQAM 信号等の光複素振幅を生成するためには、一般的に振幅を変調する空間光変調器 (SLM) と位相を変調する SLM が必要になり、これはホログラフィックメモリシステムの大型化・複雑化を招く。これに対して、計算機合成ホログラム (CGH) は一つの SLM のみで SQAM 信号等の光複素振幅を生成できる。しかしながら、従来の CGH は、一つの正確な光複素振幅値を生成するために SLM のおおよそ 100 ピクセルを消費してしまう。従って、従来の CGH によって生成される光複素振幅の空間解像度は SLM のそれより遥かに劣り、結果として HDS の記録密度と転送速度が低下する恐れがある。

本論文は、「記録媒質の均一な活用、ページ間クロストークの低減、空間解像度の高い光複素振幅の生成を可能とする光複素振幅制御技術を創出し、現状の HDS の記録密度を飛躍的に向上させる

こと」を目的とする。そこで、まずは、記録媒質の均一な利用を可能とする多層化コリニアホログラフィックメモリを提案・検討する。多層化コリニアホログラフィックメモリは、物理的な層構造を有する多層記録媒質を用意することなく、媒質深さ方向に沿う集光スポットの位置制御によって純光学的な多層化を可能とする。数値シミュレーションを用いて、多層化コリニアホログラフィックメモリによって達成可能な多層数を示すと共に、多層数と記録密度の関係を明らかにする。基礎実験により、純光学的なホログラムの多層化が可能であることを確認する。次に、ページ間クロストークの低減を可能とするデジタル画像拡散技術を提案・検討する。デジタル画像拡散技術は、ランダムディフューザと位相共役光の性質を巧みに活用することでページ間クロストーク低減を可能とする。また、本技術では、光複素振幅生成技術と光複素振幅検出に基づいたデジタル位相共役再生法を用いることで、付加的な光学素子も不要になる。数値シミュレーションを用いて、本技術によって得られるホログラム多重間隔の縮小率ならびに記録密度の拡大率を示す。基礎実験によりページ間クロストークの低減効果を確認する。最後に、一つの SLM を用いて任意の光複素振幅を生成可能とする空間クロスモジュレーション法を提案・検討する。空間クロスモジュレーション法は、光波における位相の重要性に着目したものであり、ランダムディフューザによって生成される散乱位相波面から任意の光複素振幅分布を再生する。本方式が高輝度かつ高空間分解能を併せ持った光複素振幅分布を生成可能であることを明らかにすると共に、本方式によって達成可能な SQAM 信号の多値数を求める。

以下に各章の要旨を示す。

第 2 章では、まず HDS の基本構成や記録再生原理を述べた後、これまでに提案されてきた多重記録方式を紹介した。また、ホログラフィックメモリのシステムノイズとページ間クロストークを低減可能とする従来方法について述べた。

第 3 章では、まず従来の光複素振幅生成技術や検出技術を紹介し、その動作原理を示した。また、従来技術の特長や問題点等についても述べた。

第 4 章では、まず多層化コリニアホログラフィックメモリを提案し、その基本動作や特長を説明した。次に、数値シミュレーションによって約 100 層のホログラム多層化が原理的に可能であることを明らかにした。さらに、深さ方向への多層記録と面方向への多重記録を組み合わせた時、層数を 2 層に設定した場合に最も高い媒質利用効率を得られることを示した。

第 5 章では、まずデジタル画像拡散技術を提案し、その基本動作や特長を述べた。また、数値シミュレーションによって、本技術は従来の HDS における多重間隔や記録密度を約 5 倍改善できることを示した。さらに、5 枚のデータページを用いた多重記録再生実験を行い、本技術によるページ間クロストーク低減の効果を実験的に実証した。

第 6 章では、まず光複素振幅生成のための空間クロスモジュレーション法を提案し、その基本動作や特長について述べた。また、数値シミュレーションにより、従来の CGH と比べて、本方式がより高い空間解像度と高い回折効率を有する光複素振幅を生成可能であることを示した。さらに、ホログラフィックメモリへの応用に向けた基礎実験も行い、本方式による 8 値 SQAM 信号の生成に成功した。

第 7 章では、本論文の総括と今後の課題について述べた。