



「参照光不要型」ホログラムメモリの実証にはじめて成功

研究成果のポイント

- ・従来のホログラムメモリと比べ、簡単な装置構成で信号の記録を可能とする技術を開発。
- ・従来の強度変調信号ではなく、より性能の高い位相変調信号を利用。

研究成果の概要

北海道大学大学院情報科学研究科の岡本淳准教授らは、これまで複雑で非常に精度の高い装置を必要としていたホログラムメモリの記録・再生を、簡単な装置構成で実現することに成功しました。この原理を用いることにより、CD や DVD, Blu-ray といった従来の光ストレージ技術に比べ、数十倍の記録容量と数十倍の転送速度を、ほぼ同一サイズの光学システムで構築出来ます。

従来のホログラム技術では、信号光と参照光という2種類の光が必要でした。しかも、この2種類の光の制御には nm (ナノメートル: 10 億分の 1 メートル) の精度が必要で、振動にも弱い欠点がありました。このため、ホログラムは数十年来、高容量記憶装置として期待されながら商用化には至っていませんでした。

今回の発明では、信号光と参照光を分ける必要がなくなるため、装置を非常に簡単にすることが可能です。また記録方法には、従来から研究が行われている光の強度を用いる方式(強度変調)ではなく、より高性能な光の波のズレ(位相変調)を用いる方式を用いています。このため、ホログラムメモリの研究開発に対して、画期的な進歩となることが期待されます。

本成果により、ホログラムメモリの小型化、低消費電力化および早期実現化が期待されます。加えて本技術は、情報セキュリティ分野などの多くの応用分野を創出できる可能性を秘めています。

なお、本研究成果は特許出願済みです。(特願 2011-154192)

論文発表の概要

研究論文名 : Self-Referential Holographic Data Storage by Phase-Modulation Technique

(位相変調技術を用いた自己参照型ホログラフィックメモリ)

著者 : Masanori Takabayashi, and Atsushi Okamoto

所属 : 北海道大学大学院情報科学研究科

公表シンポジウム : Joint International Symposium on Optical Memory & Optical Data Storage

公表日 : 日本時間(現地時間) 2011 年 7 月 18 日 (ハワイ時間 2011 年 7 月 17 日)

研究成果の概要

(背景)

現在世界中に広く普及している CD, DVD, Blu-ray disc は、全て同じ原理を基に実現されています。しかし、これらの技術は、最新の Blu-ray disc でほぼ限界に達していると言われていています。その限界を打破する技術のひとつとして注目されているのが、ホログラムメモリです(図1)。ホログラムメモリはテラバイトを超える記録容量とギガビット毎秒を超える転送速度を達成できる光メモリ方式として、個人用光ストレージだけでなく医療機関や研究機関でのデータアーカイブに用いることが期待されています。しかしホログラムは2つの光で形成される干渉縞そのものであるため、ホログラムを記録するためには光を干渉させるための信号光波と参照光波の2つの光が必要となります。このことが招く光学系の複雑化が、ホログラムメモリ実現の大きな足かせのひとつになっていました。また、位相変調信号(※1)を信号光として用いるホログラムメモリは高い性能を有する一方で、位相変調信号を強度変調信号へ変換するための装置が必要となることも問題とされています。

(研究手法)

今回の研究では、参照光波を不要とし、信号光波のみでホログラムメモリを構築するための技術である自己参照型ホログラムメモリを開発しました。本手法では、記録に用いる信号光波を、それ自身を記録するための参照光としても動作させることによってホログラムを記録します。記録時の信号光波には情報が二値の位相変調信号を用います。再生時には記録時に信号光が伝搬してきた光路に一樣な位相を持った光波を入射します。この時、ホログラムの透過光と回折光の間でエネルギーの授受が行われ、記録した位相変調信号が強度変調信号となって読み出されます。

本研究では、結合波動方程式(※2)を用いた理論導出、高速フーリエ変換ビーム伝搬法(※3)に基づいた数値計算シミュレーションおよびフォトポリマー媒質(※4)への記録再生実験によって本手法の原理実証を行いました。

(研究成果)

今回開発したホログラムメモリの光学系を図2に示します。記録時には、空間光変調素子で二値位相変調信号を与え、レンズで集光することによってホログラムを記録します。ここで、記録する位相変調信号の設計方法は、結合波動方程式から理論的に導出された結果から、最も大きなエネルギー移動が起こるように設計されます。再生は、空間的に一樣な位相を有する光波をホログラムに照射することで行われます。ホログラムの記録再生が行われることを確かめるために行った数値シミュレーションの結果を図3に示します。信号光として与えた位相変調信号が、強度変調信号となって読み出されていることが分かります。これは、今回開発した手法の動作原理が実証されたことを示しており、さらにその再生品質も 9.48[dB]と非常に高いものでありました。また、記録媒質としてフォトポリマーを用いた光学実験によっても同様に高い品質を持つ再生光が得られました。

(今後への期待)

本研究によって確立された自己参照型ホログラム方式は、参照光が不要であると共に、記録した位相変調信号が強度変調信号として読み出されるという他には見られない特徴を有しているため、ホログラムメモリ以外の多くの分野への応用が期待されます。今後は光コンピュータや情報セキュリティ、及びグリーンフォトンクスに関連する分野への応用を視野に入れ、本技術の秘める新たな可能性を追求していく計画です。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学大学院情報科学研究所・准教授 岡本 淳（おかもと あつし）
TEL: 011-706-6520 FAX: 011-706-7836 E-mail: ao@optnet.ist.hokudai.ac.jp

【参考図】

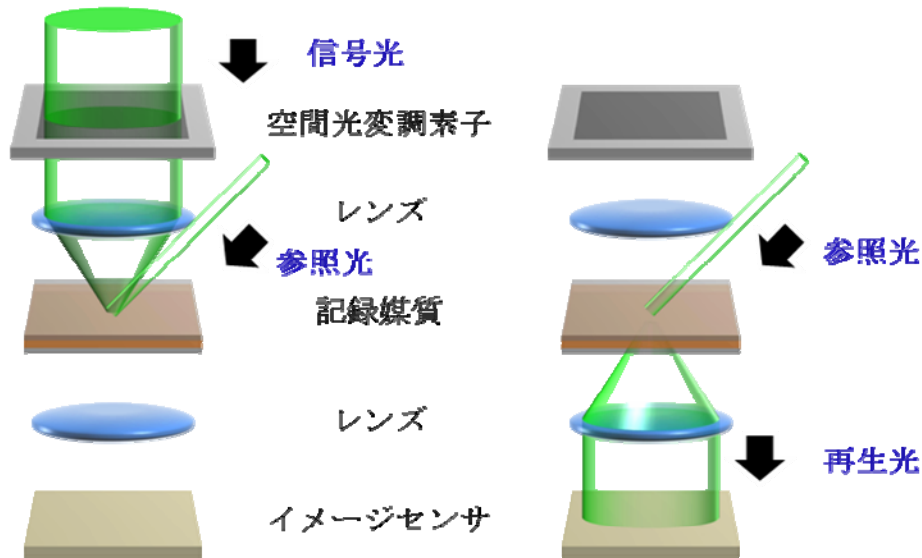


図 1) 一般的なホログラムメモリの光学系 (左) 記録過程 (右) 再生過程

2次元ページデータを有する信号光を参照光と干渉させることによってホログラムを記録します。再生時には、参照光をホログラムに照射することによって生ずる再生光をイメージセンサで検出します。

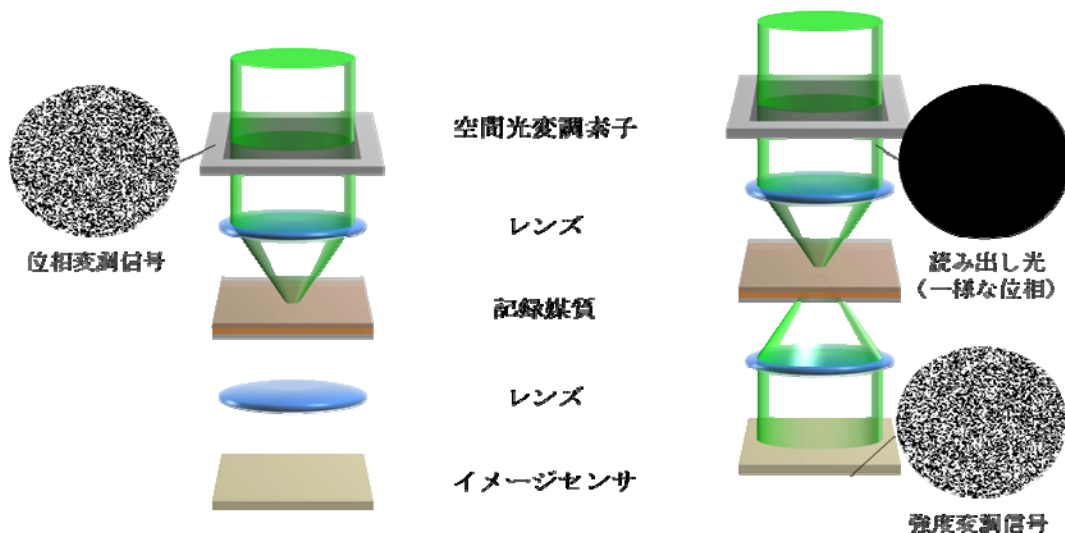


図 2) 自己参照型ホログラムメモリの記録再生光学系 (左) 記録過程 (右) 再生過程

本技術では、記録媒質に入射する光波が自分自身と干渉することによってホログラムを形成します。再生時には、一様な位相分布を有する読み出し光をホログラムに照射することによって光波内でのエネルギー移動を引き起こし、記録した位相変調信号を強度変調信号としてイメージセンサで検出します。

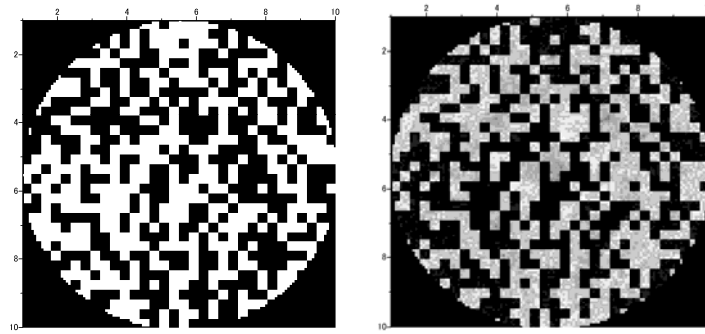


図3) 数値シミュレーション結果 (左) 記録した信号の位相分布 (右) 再生された信号の強度分布

記録した位相変調信号の白で塗られた領域と黒で塗られた領域は互いに $\pi/2$ の位相差を持っています。再生時には、この位相分布に基づいてエネルギー移動が引き起こされ、記録した位相分布と一致する強度分布が観測されます。

【用語解説】

※1 位相変調信号

光波の位相を変化させることによって、情報を表現する方法。人の目や一般的に用いられるカメラでは直接それらの位相分布を区別することが出来ないため、位相分布を強度分布へと変換する方法が必要となる。

※2 結合波動方程式

光波間の相互作用を記述するために用いられる連立微分方程式。

※3 高速フーリエ変換ビーム伝搬法

屈折率などが不均質な媒質内の光波伝搬を計算する為に古くから用いられているビーム伝搬法のひとつ。ビーム伝搬法は解析対象の空間を離散的に区切り、各格子点における電磁界を逐次的に計算する手法である。

※4 フォトポリマー媒質

フォトポリマーは現在ホログラムの記録に最もよく用いられている記録媒質のひとつである。フォトポリマーに光を照射すると、照射された光強度に応じて媒質中に存在するモノマーが光重合反応を起こす。このとき重合反応部と非重合反応部との間で屈折率が異なるため、結果として照射パターンに応じた屈折率分布、すなわちホログラムが形成される。

【参考】

*1 ホログラムメモリ

情報を持つ信号光を、それとコヒーレントな参照光を干渉させることによって形成される干渉縞を、振幅透過率分布や屈折率分布(ホログラム)として記録媒質中に記録する光ストレージ技術。一般に信号光には、2次元バーコード状のパターンが付与されるため、およそ100万ビットの情報を一度に書き込むことが出来る上、異なるホログラムを同一箇所に複数枚書き込むことが出来るため、数ギガビット毎秒(ギガは 10^9)の高速転送レートと、直径12cmのディスクあたり数テラバイト(テラは 10^{12} , 1バイト=8ビット)を超える高記録密度を同時に達成できることから、次世代光ストレージ技術の有力候補の一つとして注目されている。

*2 強度変調型ホログラムメモリ

ホログラムメモリにおいて、信号光に付与される2次元パターンを、光の輝度情報で表現する方法。

*3 位相変調型ホログラムメモリ

ホログラムメモリにおいて、信号光に付与される2次元パターンを、光の位相情報で表現する方法。