

大画面ナチュラル3次元ホログラフィックディスプレイ

Natural Three-dimensional Holographic Display with Wide Screen

研究代表者 神戸大学工学部情報知能工学科 助教授 的場 修

研究代表者 神戸大学工学部情報知能工学科 助手 仁田 功一

[研究の目的]

光技術によるデータ通信の高速化やデジタル映像機器の進展にともない、より人間に優しい3次元映像の表示・記録技術の研究が活発化している。ホログラフィーは、3次元物体からの光の波面情報を完全に記録し、再生できる理想的な方法として知られている。しかしながら、ホログラフィーによる3次元映像再生システムの開発には、空間コヒーレンスが良く、薄型かつ大画面の光源開発が必須である。

本研究では、薄型かつ大画面化に適用可能な空間コヒーレンスの高い面光源として、導波路アレイを用いる方法を提案し、数値計算により設計する。これにより、ホログラフィーによる、より自然な3次元ディスプレイ装置を開発する重要かつ革新的な基盤となる。

[研究の内容、成果]

本研究では、導波路アレイを用いて、薄型かつ大画面に拡張可能な高空間コヒーレンスな面光源を提案する。ビーム伝播法を用いた光波伝播解析により、均一な強度分布が得られる導波路アレイ構造を設計する。

1. 大画面高空間コヒーレンス面光源の原理

ホログラフィーは3次元物体からの光波の分布を参照光と呼ばれる光波と干渉させて、干渉強度分布を振幅変調または位相変調に置き換えて記録する技術である。我々は、ホログラムをデジタ

ル情報として記録するデジタルホログラフィーにより3次元物体を記録し、再生可能であることを示している。記録された3次元物体情報を映像として再構成するためには、波面の情報、つまり、光の強度情報だけでなく位相情報も操作できる空間光変調素子とコヒーレント光源が必要である。しかし、従来の大画面ディスプレイ用の光源はインコヒーレント光源を使用しており、3次元情報を再生するために必要な位相情報を操作することが困難である。

本研究では、導波路アレイの光波分岐の性質を利用して、目に優しく、眼鏡等の特殊な装置を使用することなく、肉眼のみで観察できる3次元ディスプレイのためのコヒーレント面光源を提案する。

図1にその概念図を示す。光源としてレーザー光を導波路アレイに入射することでレーザー光がアレイ状に並ぶ導波路内に分岐される。時間コヒーレンスの高いレーザー光を分岐しているため分岐された光も高コヒーレントな光として出力され、位相情報が保存されることが期待できる。

導波路アレイからの出力光波は、コリメートレンズにより平行光にされた後、液晶空間光変調素子などの空間位相変調素子に入射され、位相は各画素で自由に制御される。我々は、位相変調分布のみにより、3次元物体を再生できることを既に明らかにしており、提案するコヒーレント面光源により3次元映像を自然な形で観察することができる。

以下では、2次元アレイ導波路を設計するために、はじめに1次元アレイ導波路で1次元方向に光波を分岐した後、2次元方向に展開する2段階の設計を行った。

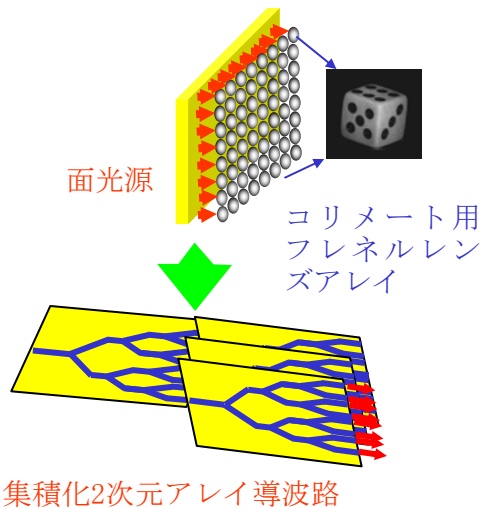


図 1 導波路アレイを用いた大画面高コヒーレンス面光源とそれを用いた3次元ディスプレイ

2. 1次元アレイ導波路の設計

ディスプレイ用光源として使用するためには、導波路アレイから出力されるそれぞれの光波の強度が均等になることが望ましい。また、位相分布も均一であることが望まれる。等間隔の1次元導波路アレイでは、理論上、それぞれの導波路から出力される光波の強度はベッセル関数の関係で出力されることが知られている。本節では、2次元差分ビーム伝播法を用いて、1次元アレイ導波路での光波の伝播解析を行った。

1次元アレイ導波路での導波路幅、導波路間隔、コア、クラッドの屈折率のパラメータを表1に示す。アレイ導波路の断面図を図2に示す。コアの屈折率を n_{core} 、クラッドの屈折率を n_{clad} とする。導波路アレイの導波路の本数は9本であるとし、コア、クラッドの屈折率差は固定しとする。導波路幅 A 、間隔 D を変化させて光波の伝播の様子と出力強度のばらつきを調べた。各導波路はシングルモ

表 1 1次元アレイ導波路の設定値

	A (um)	D (um)	n_{core}	n_{clad}
pattern1	2.5	2	1.5	1.49925
pattern2	2.5	4	1.5	1.49925
pattern3	4.5	2	1.5	1.49925
pattern4	4.5	4	1.5	1.49925
pattern5	6.5	6	1.5	1.49925

A: channel width
D: separation between channels

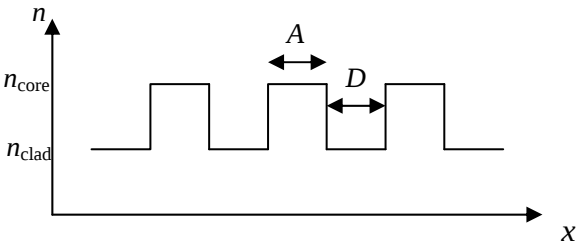


図 2 1次元アレイ導波路の断面図

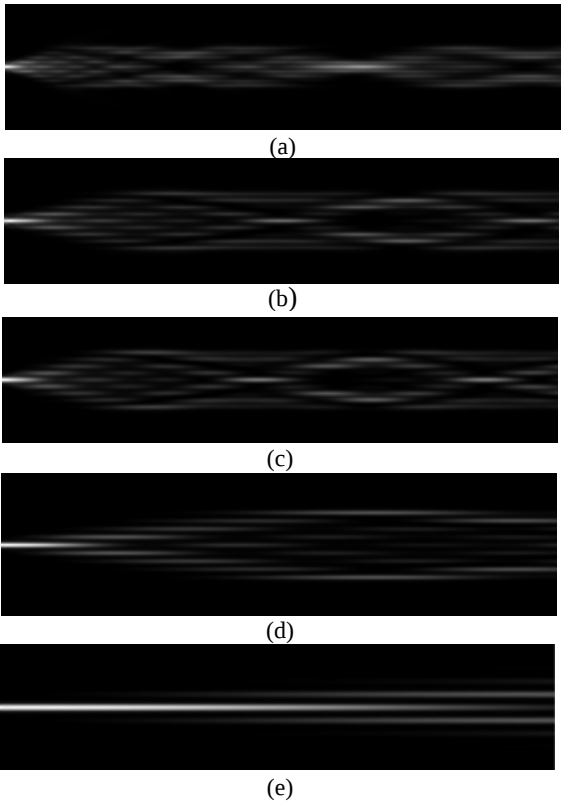


図 3 導波路中の光波伝播の様子; それぞれ pattern (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5.

ード条件を満足している。
導波路アレイに入射する光は波長 532nm の単

色コヒーレント光を用いる。計算領域は x 方向 $\times z$ 方向に $512\mu\text{m} \times 10,000\mu\text{m}$ であり、 x 方向、 z 方向の分解能はそれぞれ $0.5\mu\text{m}$ 、 $5.0\mu\text{m}$ である。 z 方向は光の伝播方向である。入力には単一導波路の導波モードを与えた。

表 1 に示す 5 つの導波路パターンに対する伝播の様子を図 3 に示す。伝播距離 z を変化させ、9 本の導波路からの出力強度が均一になる場所を求める。表 2 は 5 つのパターンについて、9 本の導波路の出力強度の分散値が最も小さくなる時の伝播距離 z と平均強度、分散を示したものである。分散値が最も小さい値を示したパラメータは **pattern3** である。薄型ディスプレイの設計を目的としているため、短い伝播距離で光波を分割できることが重要である。そこで以下の 3 次元シミュレーションでは **pattern3** のパラメータを元に解析する。

表 2 伝播距離に対する平均強度と分散

	$z(\mu\text{m})$	分散	平均強度
pattern 1	1,455	1.36×10^{-3}	0.13
pattern 2	2,205	1.12×10^{-3}	0.12
pattern 3	1,940	9.96×10^{-4}	0.11
pattern 4	4,865	2.11×10^{-3}	0.11
pattern 5	24,480	2.56×10^{-3}	0.11

3. 2 次元導波路アレイの設計

1 次元アレイ導波路の結果を元に、薄型 3 次元ディスプレイ用コヒーレント光源を設計する。3 次元シミュレーションを交互陰差分法(ADI-BPM)を用いて解析する。

2 次元アレイ導波路の解析では、図 4 の 2 次元アレイ導波路モデルを用いる。1 次元アレイ導波路の結果を元に $z=1940\mu\text{m}$ 平面まで x 軸方向に 9 本の導波路を並べる。導波路は $4.5 \times 4.5\mu\text{m}$ の矩形導波路を用いて、導波路間の幅を $2\mu\text{m}$ と設定し、屈折率はコア n_{core} を 1.5、クラッド n_{clad} を屈

折率差 0.05% の 1.49925 に設定する。 $z=1940\mu\text{m}$ の位置で、ここまで x 軸方向に配列させていた 9 本の導波路を中心に y 軸方向に同じように 9 本の導波路を並べた。計算領域を $x \times y \times z=512 \times 512 \times 5,000$ 画素とし、 x, y, z の分解能 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ を $\Delta x = \Delta y = 0.5\mu\text{m}$ 、 $\Delta z = 5.0\mu\text{m}$ とする。

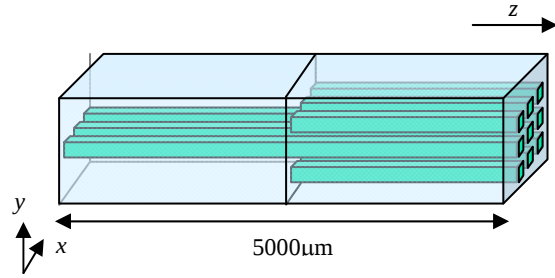


図 4 2 次元アレイ導波路の模式図

図 5 は $z=0\text{mm}$ 、 $z=1.94\text{mm}$ 、 $z=3.88\text{mm}$ 、 $z=5.0\text{mm}$ 平面での導波路アレイの光の伝播の様子を表したものである。 $z=5.0\text{mm}$ 平面で 81 本の導波路の中心の光強度を比較した時、平均値 1.1×10^{-2} 、分散値 2.31×10^{-5} となった。強度むらがあるのが分かるが、 $z=5.0\text{mm}$ では、 9×9 の出力スポットが見られる。1 次元アレイ導波路では、 $z=1.94\text{mm}$ で 9 つに分岐しているが、2 次元アレイ導波路では、 $z=3.88\text{mm}$ で最も良好な出力パターンが得られている訳ではない。この理由は、2 次元アレイ導波路では、2 次元方向の結合が存在するため、導波路間のエネルギーの移行が 2 次的に複雑化していることに起因すると考えられる。

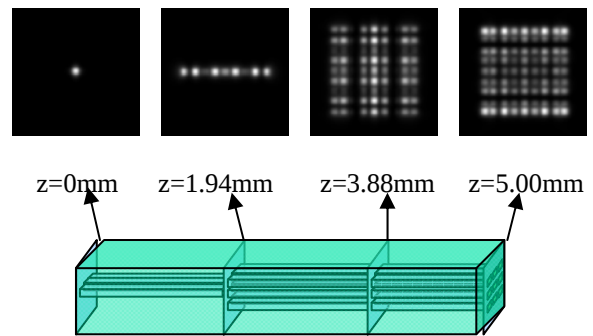


図 5 2 次元アレイ導波路における各 z 位置での出力強度分布

図 6 に $z=5.0\text{mm}$ での x, y 軸方向の位相分布の断面図を示す。導波路の周期に比べて、位相分布の周期は緩やかである。 $\pm 40\mu\text{m}$ の範囲で位相変化は 2π rad 程度である。しかしながら、位相は均一でないため、空間位相変調素子での補正が必要である。

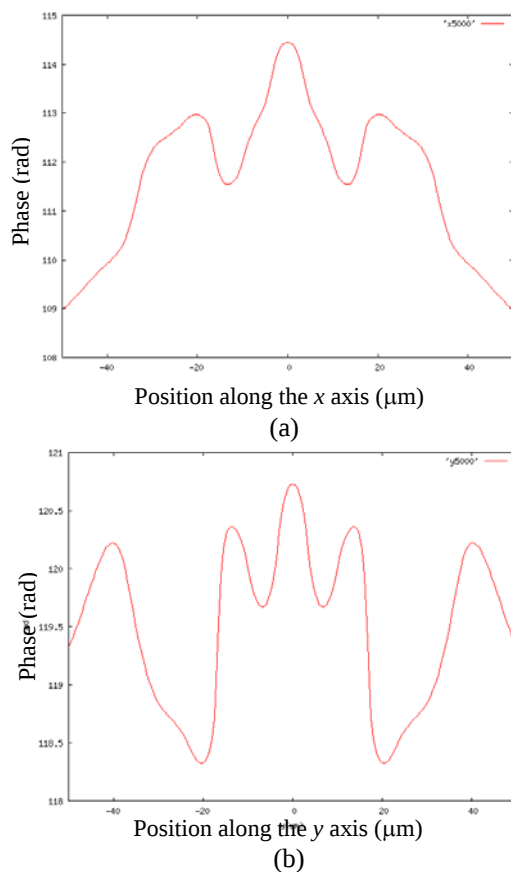


図 6 $z=5.0\text{mm}$ での位相分布; (a) x 軸方向、(b) y 軸方向

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、長さ 5.0mm で 9×9 の導波路アレイの設計を行ったが、3 次元ディスプレイのためには、 1024×768 画素以上の導波路アレイを 1cm 程度で作製する必要がある。このため本提案手法のように1次元ずつ光波を分岐するのではなく、入射位置から 2 次元アレイ導波路の構造設計を

行う必要がある。また、導波路構造を面内、伝播方向ともに均一とするのではなく、分布を持たせることで、出力強度のばらつきをおさえることが可能であるかを調べる必要がある。

[成果の発表、論文等]

- 1) O. Matoba, K. Hosoi, K. Nitta, and T. Yoshimura: Fast acquisition system for digital holograms and image processing for three-dimensional display with data manipulation, Appl. Opt., Vol.45, No. 35, pp. 8945-8950 (2006).
- 2) IEEE LEOS(Laser and Electro-Optics Society) 2007, 応用物理学会等に発表予定.