

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25年 6月 7日現在

機関番号：12605
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22656079
 研究課題名（和文）コヒーレントな面発光レーザアレイによるホログラム立体表示

研究課題名（英文）Holographic 3D display using coherent VCSEL arrays

研究代表者

黒川 隆志 (KUROKAWA TAKASHI)
 東京農工大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号：40302913

研究成果の概要（和文）：

電子的にホログラフィーを実現するためには、ピクセルピッチ1 μm 程度の超高精細な空間光変調器が必要になる。これは技術的に実現が極めて困難なため、従来の電子的なホログラム表示は小画面・狭視域といった問題がある。本研究では、垂直方向の立体視は犠牲にして水平方向のみ解像度を1 μm近くまで高解像化する水平視差型のホログラムチップを提案した。数値シミュレーションおよび既存の空間光変調器を用いた光学実験により、その技術的可能性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

The realization of the future electronic holography requires a spatial light modulator with an ultra-high resolution and a pixel pitch of 1 μm. Such a high resolution is extremely difficult to realize technically, therefore conventional holographic displays have problems of small screen and narrow viewing zone. In this study, we have proposed a horizontal-parallax-only hologram chip in which a high resolution of up to 1 μm can be attained only in the horizontal direction. We have confirmed the technical feasibility through the numerical simulation and the optical experiments using a conventional spatial light modulator.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	0	900,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	660,000	3,760,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：ホログラム, 立体表示, 水平視差

1. 研究開始当初の背景

近年、メガネ式立体テレビが商品化されたが、期待ほど普及が進んでいない。一部でメガネなし立体テレビも実用化されているが、性能が十分でなくほとんど利用されていない。眼精疲労などの人体に与える悪影響の問題は未解決のままである。

Holographyは物体からの波面を再生するため、理想的な立体表示方法と言われている。1948年にGaborがホログラフイーを發明して以来、動的ホログラムを用いた立体テレビの実現は永年の夢であった。十分な視域と画面サイズをもつ立体表示の実現には高分解能の動的ホログラムが必要だが、これまでのところ実現の見通しは立っていない。

ホログラムを用いた立体表示の最大の問題点は、1000本/mm級の高解像度と大きな画面サイズを有する空間光変調器（SLM）が必要な点にある。しかし、このような高解像度のSLMの実現は困難で、液晶やMEMSによる現状のSLMの解像度は高々100本/mm程度に留まっている。

当初、空間コヒーレントな光源アレイとして、コヒーレントなVCSELアレイを採用する方向で検討を進めることとした。これはTalbot-Lau効果を起こす外部共振器（Talbot共振器と呼ぶ）を導入したVCSELアレイである。

2. 研究の目的

電子的にホログラフイーを実現するためには、ピクセルピッチ1 μm 程度の超高精細な空間光変調器が必要になる。これは技術的に実現が極めて困難なため、従来の電子的なホログラム表示は小画面・狭視域といった問題がある。

そこで本研究の目的は、垂直方向の立体視は犠牲にして水平方向のみ解像度を1 μm 近

くまで高解像化する水平視差型のホログラムチップを開発することにより、人類の長年の夢であるホログラフィック立体テレビの実現の可能性を示すことにある。

水平方向にのみ高密度に配置した空間コヒーレントな光源アレイと、これに併せた配置された空間光変調器からなるホログラムチップを多数並べることにより、大きなフラットパネル型ホログラフィック立体テレビを構成する。

3. 研究の方法

提案するホログラムチップの構造を図1に示す。SLM上の複数行のピクセルで1本のホログラム走査線を構成し、SLM全体で複数のホログラム走査線を実現する。図に示すように、各ホログラム走査線は縦横に並ぶ多数のピクセルで構成されるが、すべてのピクセルは開口位置が水平方向に異なるように配置する。開口の水平幅を微細化し開口間の水平方向の重なりをなくすことで、各ピクセルは異なる水平位置を変調でき、ホログラム走査線上では光を水平方向に超高解像度に変調できるため、水平視域が拡大する。各ホログラム走査線に、シリンダリカルレンズとスリットを対応させることで、ホログラム走査線内のピクセルの垂直位置の違いを解消する。スリット内に垂直方向拡散板を配置することで、垂直視域を拡大する。SLMはコヒーレントな平行光で照明するが、これには点光源アレイやVCSELアレイを用いる。図2のように、ホログラムチップを縦横に多数配列すれば、大画面のフラットパネル型立体テレビを構成できる。

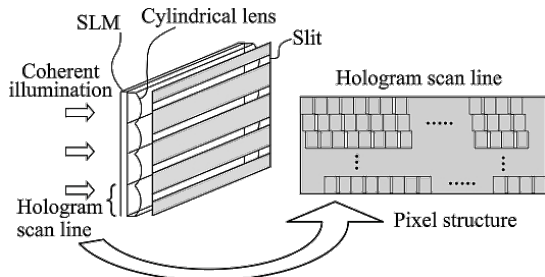


図1. ホログラムチップの構造

自発光型のホログラムは非発光型ホログラム (SLM など) と比べ、光利用効率が極めて高い、シンプルな装置化が可能といった大きなメリットがある。そこで、当初 VCSEL アレイを検討した。しかし製造と熱放散の制約の問題から、点光源アレイを半導体レーザーやファイバ系による構成 (図2) を発案した。

数値シミュレーションおよび既存の空間光変調器を用いた光学実験により、原理確認を行うこととした。

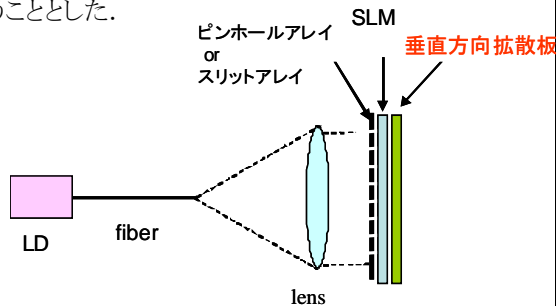


図2. ファイバ系による点光源アレイの構成

4. 研究成果

(1) 数値シミュレーション

ホログラムチップに必要な性能を見積るため、シミュレーション実験を行った。ホログラムチップは水平視差型であるため、人間の目の網膜上の画像をシミュレーションで求める。

シミュレーションの一例を示す。ホログラムチップのサイズを $8.2 \text{ mm} \times 8.2 \text{ mm}$ 、ピクセル数は $1,024 \times 512$ 、ピクセルサイズは $8.0 \mu\text{m} \times 16.0 \mu\text{m}$ 、ピクセルの開口部の水平幅は $1 \mu\text{m}$ とした。1本のホログラム走査線はピクセル8行で構成し、ホログラム走査線の総数は64本である。立体像としてホログラムチップから

手前2, 6, 10, 14 mm の位置に文字「T」「U」「A」「T」を表示した。ホログラムチップと眼の距離は300 mm とし、眼の瞳孔径は5 mm とした。

シミュレーションによって得られた結果を図3に示す。図3(a)は2 mm の位置に配置した「T」に、図3(b)は14 mm の位置に配置した「T」に眼の焦点を合わせた場合の結果である。図3(b)は図3(a)と比べ、14mm の位置にある「T」の水平方向のぼけはないが、垂直方向のぼけが生じている。このぼけは水平視差型のため生じ、ぼけはホログラム走査線幅程度許容される。

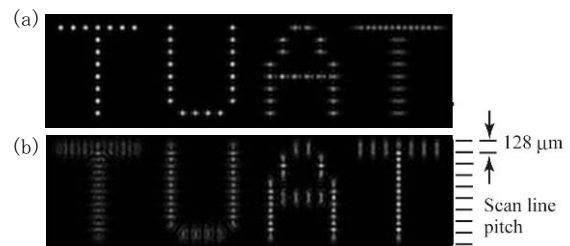


図3. シミュレーション結果

(2) 光学実験

ホログラムチップの動作原理を光学的に確認するために、現状の SLM を用いてシミュレーション実験を行った。すなわち、現状の SLM を用いて、ホログラムチップのピクセル構造を画像として表示した。

今回は、ホログラムチップの走査線を4行のピクセルで構成した。そのために、図4に示すように、ホログラムチップの1ピクセルを SLM の 4×4 ピクセルで構成した。各ピクセル内の開口は SLM の 1×4 ピクセルで構成した。

SLM としては HoloEye 社製 LC-R 1080 を用いた。解像度 $1,920 \times 1,200$ でピクセルピッチ $8.1 \mu\text{m}$ の反射型 SLM である。ホログラムチップのホログラム走査線数は75本である。光源には、波長 633 nm の He-Ne レーザを用いた。SLM を水平方向に傾けたレーザ光で照明することで、再生像に対して、共役像とゼロ次光

を角度で分離した。水平視域角は 2.2° である。

再生像を図5に示す。同図(a)は、710個の物体点で構成される3次元物体で、物体の中心はホログラム表示面から5mm手前である。同図(b)は、○と×の単純図形を、SLM表示面の手前5mmの位置に表示した。ホログラムチップの開口の垂直幅が $32.4\ \mu\text{m}$ で回折により光が垂直方向に十分に拡散したため、垂直方向拡散板は用いなかった。実験結果から、再生像に対して、共役像とゼロ次光が角度で分離され、再生像のみが観察ができることが確認できる。

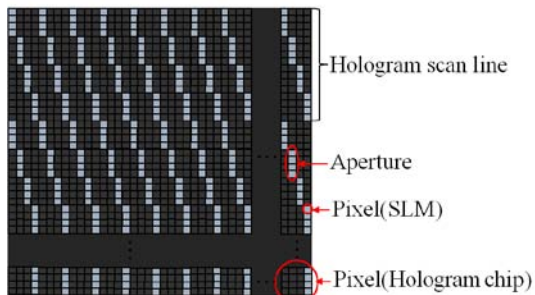


図4. 既存のSLMで擬似的に構成したホログラムチップ



(a)



(b)

図5. ホログラム表示実験結果：(a) apple, (b) symbols

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

①田中章斗、池田恭平、高木康博、黒川隆志
「フラットパネル型立体テレビのためのホログラムチップの実験的検討」第60回応用物理学会春季学術講演会, 29p-A1-6, 神奈川県工科大学, 2013年3月29日

②小島崇人、粕谷洋介、柏木謙、崔森悦、黒川隆志「中心周波数の異なる2つのコム光を用いた3次元形状計測」第59回応用物理学会春季学術講演会, 18p-B9-6, 早稲田大学, 2012年3月18日

③小島崇人、粕谷洋介、柏木謙、崔森悦、黒川隆志「2つの波長を用いた周波数コム間隔掃引干渉法による表面形状計測」第48回光波センシング技術研究会, LST48-13, 東京理科大学, 2011年12月6日

④種本侑美、高木康博、黒川隆志「フラットパネル型立体テレビのためのホログラムチップの提案」春季第58回応用物理学関係連合講演会, 27a-BJ-8, 講演予稿集DVD 2011年3月9日

[図書] (計1件)

①黒川隆志「光エレクトロニクスとその応用」[5.2, 6.3.3]執筆 日本学術振興会光エレクトロニクス第130委員会編 125-142, 281-289, オーム社, 2011年

[産業財産権]

○出願状況 (計4件)

①名称：HOLOGRAM DISPLAY MODULE AND STEREOSCOPIIC DISPLAY DEVICE

発明者：高木康博、黒川隆志

権利者：東京農工大学

種類：特許

番号：USP13/818,970

出願年月日：2013年2月25日

国内外の別：国外

②名称：ホログラム表示用モジュールおよび立体表示装置

発明者：高木康博、黒川隆志

権利者：東京農工大学
種類：特許
番号：特願 2012-530718
出願年月日：2013 年 2 月 21 日
国内外の別：国内

③名称：ホログラム表示用モジュールおよび
立体表示装置

発明者：高木康博，黒川隆志
権利者：東京農工大学
種類：特許

番号：PCT-jp-2011-069226
出願年月日：2011 年 8 月 25 日
国内外の別：国外

④名称：ホログラムモジュールおよび立体
表示装置

発明者：高木康博，黒川隆志
権利者：東京農工大学

種類：特許
番号：特願 2010-187721
出願年月日：2010 年 8 月 25 日
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~e-takaki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒川 隆志 (KUROKAWA TAKASHI)
東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：4 0 3 0 2 9 1 3

(2) 研究分担者

高木 康博 (TAKAKI YASUHIRO)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：5 0 2 3 6 1 8 9

(3) 連携研究者

なし