

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280074

研究課題名(和文)再帰透過光学構造の試作と虚像プロジェクタの構成

研究課題名(英文) a trial production of retro-transmissive optical structure and virtual image projector

研究代表者

木島 竜吾 (Ryugo, Kijima)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：80283282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,500,000円

研究成果の概要(和文)：再帰透過という新たな基礎光学機能を試作を通じて実現し、性能の高い光学素子を実現する方法を探索した。主たる再帰透過性能の定義は、ボケ量、光利用効率であるとし、これらの理論式を構築するとともに、試作片の性能試験を行って理論値と実験値が概ね一致することを確認した。本研究を通じて、「直交ルーバー鏡型」と名付けた光学構造では、他の構造ではボケ量を大きく支配する直交精度がほぼ無関係になることを見出し、これが現時点では最も有望な構造であることを見出した。試作にはナノ加工機を用いた切削を中心とした方法、鏡面をあらかじめ形成し積層し切断する方法を用い、積層法の法が鏡面の乱れが小さく性能がよいことがわかった

研究成果の概要(英文)：A novel idea of the fundamental optical function named as the retro-transmission had been proposed by the representative researcher of this project, and this function was realized by making the prototypes of pieces with the optical structures. The major performance parameters were defined as the amount of blur. The efficiency of the light energy usage, and formulas to estimate these performances were proposed theoretically, and the result of experiment to measure the performances matched with the formulas. It was found that one of the nominated optical structure, so-called "right crossed louver mirror array", has the advantage in blur performance to other structures, because the angular accuracy between the mirror pair has no relation to the degradation of image resolution only in case of this structure. For the prototype making, cutting method by nano-machining center and acculumation and peeling of the prepared thin stripe mirror plate was used. The latter was better in performance.

研究分野：情報工学

キーワード：光学 再帰透過 虚像プロジェクタ 頭部搭載型ディスプレイ 光学シースルー バーチャル・リアリティ

1. 研究開始当初の背景

バーチャル・リアリティ、オーグメンテッド・リアリティなどで用いられる頭部搭載型ディスプレイのうち、外の実世界に仮想世界を光学的に重畳できる光学透過式ディスプレイは、視野角を大きく取ることが困難であり、広視野角を得るためには大きな眼前構造物を装着せざるを得なかった。

筆者は再帰透過という新しい光学機能を提唱し、これが実像を結像するプロジェクタからの投影光を虚像に転換することを示し、これにより比較的コンパクトにして広視野の得られる頭部搭載型ディスプレイが実現可能であると考えた。これを虚像プロジェクタと呼ぶ。

これまでに再帰反射シートと光学コンバイナーを組み合わせた構造、レトロプリズムを離散的に配置し回転により平面を動的に埋め光学コンバイナーを組み合わせた方法、細長いリバーサルミラー列を平面上に形成し、それら 2 枚を対向させた構造などを試作し、虚像プロジェクタの動作原理の証明はできたものの、頭部搭載に適した現実的な製作法を見出すには至らなかった。



図 1. 光学透過式 HMD の試作例、University of North Carolina at Chapel Hill, "Converting Commodity Head-Mounted Displays for Optical See-Through Augmented Reality", 2015.4 より

2. 研究の目的

問題は、高性能な再帰透過素材を製作・製造する方法である。再帰透過を引き起こす光学的な構造は、既に個別分野で発明されてきたもの、筆者らが案出したものを含め複数あり、それ以外に未だ発見されていない構造も存在しうる。それらの得失を定性的に検討し、製作可能なものを見出し、試作を通じて、解像度や光利用効率が高く、製造が容易である構造を特定し、製作方法や性能設計方法を探求することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

第 1 に、あたりをつけた構造を試作し、目的である虚像プロジェクタを構成することにより、その有効性を現実性を評価する。

第 2 に、その構造の作用・機能のうち主たるものを抜粋し、考察により性能に関する理論式を立て、光線追跡数値シミュレーションや、スケールを巨大化させた実験装置を用いた実験、さらには試作片を用いた実験と比較する。

4. 研究成果

本研究では、最終的に片側性直交鏡列を有望な構造として取り上げた。これは、短冊状の鏡を目に直角に配置して並べたルーバー鏡を作成し、2 枚のルーバー鏡を直交するように貼り合わせたものである。

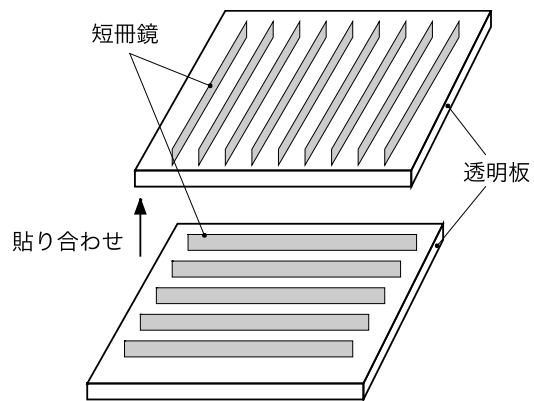


図 2. 片側性直交鏡列型再帰透過構造

一般に鏡ペアの直交精度が画質を支配する大きな要因であるが、片側性直交鏡列は、直交精度低下によってもボケがほとんど生じないことが予想され、試作片を用いた実験でもこのことは確認された。

試作には (1) ナノ加工機を用いてアクリル板を直接機械切削し、スパッタリングを用いて必要な面だけに白金などにより鏡を形成する方法、(2) ガラス薄板上にフォトリソグラフィ法を用いてストライプ状の鏡列を形成しておき、これを多数積層した上でストライプ方向に対して直角な面で薄くスライスする方法、を考案し用いた。

(1) の方法は、複数回の試作を行ったものの、研磨を行うことができないため切削のみにより作ろうとした平滑面の面精度が低く、画質を向上させることができなかった。また、深い鏡を形成するためには、溝のアスペクト比が高く、単結晶ダイヤモンドを用いた切削工具の強度が不足するため限界があることがわかった。しかしながら、もう一つの解像度低下要素である回折の影響については、構造の大きさが深く関わることを確認し、構造単位のサイズの下限を実験的に確認した。

なお、両側性直交鏡列についても同様の試作を行ったが、さらに解像度は低く、現状の機械切削では、必要な 1 分程度の鏡面全体間の直交精度を実現できないことがわかった。

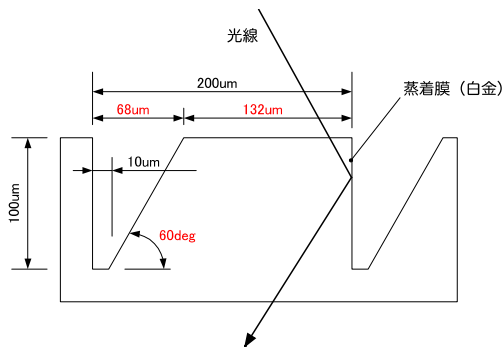


図3. ナノ加工機を用いて切削により試作したルーバー鏡板の構造の例

(2)の方法は鏡面の平滑さに関しては問題がなく、観察画像自体も(1)より鮮明であった。この方法に残存する最大の困難は、積層時のストライプの位置精度である。現状では職人的な試行錯誤を通じてある程度使用可能な精度を得ているが、より再現性の高い系統的な手法が必要であると考えられる。

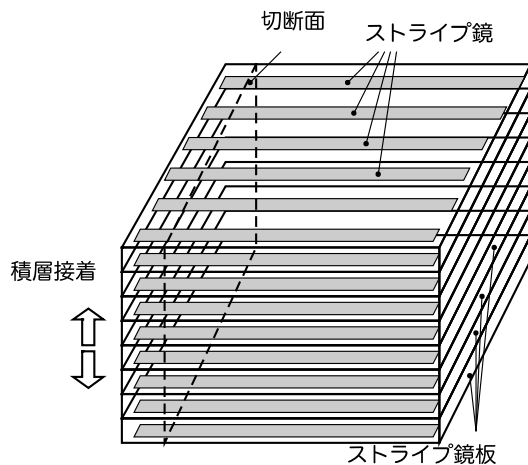


図4. フォトリソグラフィによりストライプ鏡を生成したガラス薄板を積層し薄く切断する試作方法

両側性、片側性直交鏡列の両方について、構造の形状(鏡深さ、鏡幅、鏡密度)、動作角度(光の入射角度)、鏡ペアの直交精度と、性能(解像度および光利用効率)の関係を表す理論式を構築した。特に製作の対象とした片側性直交鏡列については、100枚程度のスケールモデルを別に製作し、実験により光利用効率(再帰透過効率、透過率、迷光率)の理論計算結果と実験結果を照合し、理論式による結果と実験結果の差は数%以内であった。また両者の傾向もよく一致していた。

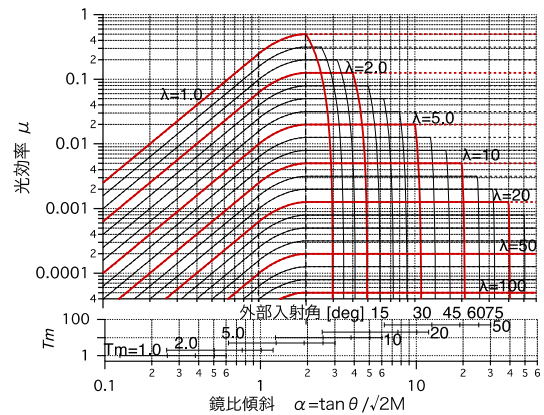


図5. 片側性直交鏡列の理論光利用効率

(: 入射角、M: 鏡のアスペクト比、 : 鏡の充填率)

虚像プロジェクタを構成する場合、眼前のメガネやバイザー状の再帰透過材に対して、ごく近くから小型プロジェクタにより画像を投影する。したがって入射角は場所により大きく異なり、光効率と入射角の関係は極めて重要であり、実際、光効率が大きく変化する部分を避けるように再帰透過構造を設計する必要がある。上記理論式により事前の光効率設計計算が可能となっただけでなく、入射角度と光学構造の形状は鏡比正接と呼ぶ量で正規化できることを見出し、これを主パラメータとして評価すれば形状の影響が容易に把握できるようになった。

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)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 9 件)

(1) 三宅 晃暉, 木島 竜吾, 直交鏡型再帰透過材を用いた虚像プロジェクタの観察輝度, 日本バーチャルリアリティ学会 19 回大会、展示発表, 2015-9-9, 芝浦工大豊洲キャンパス(東京都江東区), 日本バーチャルリアリティ学会。

(2) 三宅 晃暉, 木島 竜吾, 直交鏡型再帰透過材を用いた虚像プロジェクタの観察輝度, 日本バーチャルリアリティ学会回大会, vol. 19, pp. 172-175, 2015-09-09, 芝浦工大豊洲キャンパス(東京都江東区), 日本バーチャルリアリティ学会。

(3) 三宅 晃暉, 木島 竜吾, 直交鏡型再帰透過材における光利用効率の理論モデルと実験による検証, 電子情報通信学会技術研究報告, 115(125), pp. 1-6, 2015-07-02, 東京大学山上会館(東京都文京区), 電子情報通信学会

(4) 三宅 晃暉、木島 竜吾、片側性直交鏡型再帰透過材の試作と性能評価、日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, vol. 19, pp. 112-115, 2014-09-17, 名古屋大学東山キャンパス(愛知県名古屋市), 日本バーチャルリアリティ学会.

(5) 加藤 巧治, 木島 竜吾, 瞬時一括提示型HMDの試作と評価, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(CD-ROM), vol. 8, pp. 11C-2, 2013-09-18, 大阪ナレッジキャピタル(大阪府大阪市), 日本バーチャルリアリティ学会.

(6) 木島 竜吾 他, 今改めて HMD を考える, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会(招待講演), 2013-09-18, 大阪ナレッジキャピタル(大阪府大阪市).

(7) 三宅晃暉、木島竜吾、平行短冊鏡列による片側再帰透過材の試作と評価、日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, vol. 18, pp. 39-42, 2013-09-18, 大阪ナレッジキャピタル(大阪府大阪市), 日本バーチャルリアリティ学会.

(8) 三宅晃暉、木島竜吾、平行短冊鏡列による片側再帰透過材の試作と評価、日本バーチャルリアリティ学会 18 回大会, 展示発表, 2013-09-18, 大阪ナレッジキャピタル(大阪府大阪市), 日本バーチャルリアリティ学会.

(9) 土井崇史, 木島竜吾, 頭部回転による自己走査式単列型HMDの試作, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(CD-ROM), vol. 18th, pp.11C-1, 2013-09-18, 大阪ナレッジキャピタル(大阪府大阪市), 日本バーチャルリアリティ学会.

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 狭指向性反射型半透過スクリーン

発明者: 木島竜吾他

権利者: 岐阜大学

種類: 特許

番号: 特願 2015 - 044728

出願年月日: 平成 27 年 3 月 6 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木島 竜吾 (Ryugo Kijima)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号: 80283282

(2) 研究分担者

なし()

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし()

研究者番号: