

# タイリング転写による 積層 CGVH 方式フルカラーCGH の作製 Fabrication of full-color stacked CGVH by tiling contact-copy

藤木 駿介 西 寛仁 松島恭治

Shunsuke Fujiki Hirohito Nishi Kyoji Matsushima

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita, Osaka 564-8680, Japan

E-mail: k524366@kansai-u.ac.jp (S. Fujiki)

**Abstract** Stacked CGVHs (Computer-generated volume holograms) have capabilities to reconstruct brighter and less noisy full-color 3D images when comparing another technique. However, it is difficult to fabricate a large CGVH over 10 cm square by using low power lasers. To fabricate large-size CGVHs, the tiling contact-copy method is presented in this paper. Furthermore, problems at the current stage and improvement plan are proposed to fabricate large-size full-color stacked CGVHs by the tiling contact-copy.

## 1. はじめに

近年のコンピュータの性能向上に伴い、大型の全方向視差計算機合成ホログラム(FP-CGH)を計算・作製することが可能となった。しかし、フリンジプリンタ等で描画されたCGHは一般に薄いホログラムであり、単色照明光により単色で再生する。CGHをフルカラー再生する手法として、RGBカラーフィルタ方式と[1]、積層CGVH(Computer-generated volume hologram)方式が提案されている[2]。いずれの方式も白色LED照明で再生可能であるが、RGBカラーフィルタ方式ではフィルタの帯域が広いため、高品質な再生像を得るには、RGBレーザー照明が必要である[3]。しかし、RGBレーザー光源は高価であり、スペckルノイズが生じる問題もある。一方、積層CGVH方式では、CGVHの高い波長選択性によって白色LED光源による照明でも高品質な再生像を得ることができる。しかし、この方式では低出力レーザーを用いた大型化が難しいため、

ビームスキャン法による大型化手法が提案されているが、高品質な再生像は得られていない[4]。これは、スキャン時のステージによる振動や、ガラス基板の歪み、ビームの重なりによる劣化等が原因と考えられる。

そこで、このような問題を解消する方法として、タイリング転写法による積層CGVHの大型化手法を提案している[5]。本稿では、タイリング転写法による大型積層CGVHフルカラーCGHの作製方法について述べ、現状の問題点について報告する。

## 2. タイリング転写法によるCGVH作製

### 2.1. コンタクトコピーによる転写

CGVH作製では、まずレーザーリソグラフィを用いて原版となるCGHを描画する。レーザーリソグラフィによる干渉縞パターンはクローム膜で描かれるため反射再生が可能である。そこで、Fig.1(a)に示すように、原版CGHの計算に用いた参照光と同じ光を転写光として用い、原版CGHとフォトポリマーを密着さ

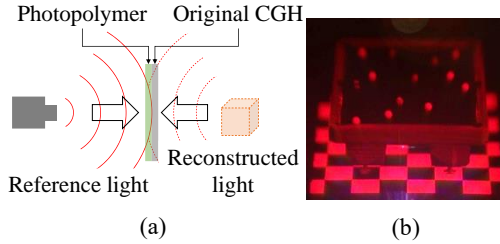


Fig.1 (a) The principle of the contact-copy, and (b) the example of optical reconstruction of a CGVH illuminated by a white LED.

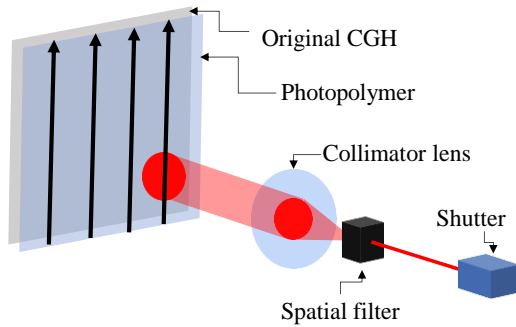


Fig.2 Contact-copy by the beam-scan method.

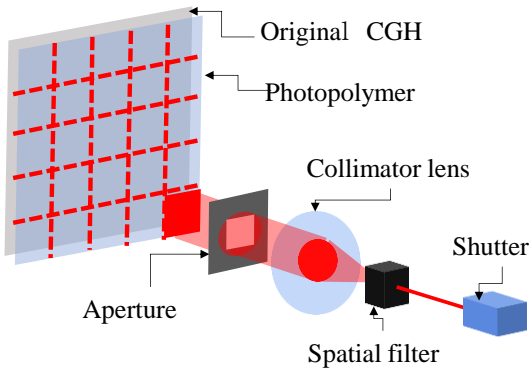


Fig.3 Contact-copy by the proposed tiling method (this work).

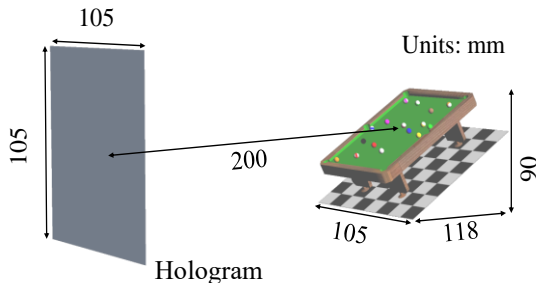


Fig.4 The 3D scene used to create the full-color stacked CGVH.

せた状態でフォトポリマーを透して原版CGHに転写光を照射する。これにより、原版CGHの反射回折により生じた再生光と転写光の干渉縞がフォトポリマーに記録される。

このとき、転写光と再生光は互いに対向してフォトポリマーに入射するため体積ホログラムが形成され、Fig.1(b)に示すように、白色照明でも単色再生像が得られるCGVHが作製できる。

## 2.2. タイリング転写法

原版CGHの面積が大きい場合、転写光ビームを広げる必要があるため、低出力レーザーでは光強度が低下してCGVHの作製が困難になる。そこで、先行研究では、Fig.2に示すビームスキャン法が提案されている[4]。この方式では、平行光のガウスビームを転写光として使い、ステージを連続的に動作させて原版CGH全体をスキャンする。そのため、ステージの振動やガウスビーム周辺部の多重露光が像品質を劣化させる原因になると考えられる。

そこで、本研究では、Fig.3に示すタイリング転写法を試みている。この手法では、矩形開口を通過した平行光で静止した状態の原版CGHの一部のみを露光し転写する。露光後にステージで移動させて隣接したタイルを転写する。これを繰り返すことで原版CGH全体をCGVHにコンタクトコピーする。

この方式であれば、ステージの振動による問題は生じないが、タイルの境界で多重露光や隙間が発生する可能性がある。また、球面波参照光源で設計した原版CGHに対して、平行光でコンタクトコピーを行う場合の問題点は解消されない[5]。

## 2.3. フルカラーCGHの作製

本研究で使用している原版CGHの3DシーンをFig.4に、そのパラメータをTable 1に示す。この原版CGHは球面波でコーディングを行っており、厚さ3mmのガラス基板の収差補正計算を行っている[2]。CGVHの作製に用いた光学系をFig.5に示し、タイリング転写によって作製した積層CGVH方式フルカラーCGHを白色ピグテイルLEDで照明した光学再生像をFig.6に示す。虹状のノイズが発生していることがわかる。なお、この虹状ノイズはRGBの個々のCGVH全てで発生している。

### 3. 転写光学系の改善

#### 3.1. 虹状ノイズの原因

以前の報告では、ノイズの原因は球面波参照光で計算した原版 CGH を平行光でコンタクトコピーすることによる原理的な問題である可能性を指摘していた[5]. しかし、タイルごとにノイズが発生していることから、Fig.7 に示すように光学系を簡略化して転写し、別の可能性を検討した. この光学系を用い、平行光で転写をした赤色 CGVH の光学再生像の例を Fig.8(a)に、またこの光学系からビームエキスパンダーを取り除いた場合の結果を(b)に示す. このとき、原版 CGH には、ガラスの厚みの補正以外のパラメータを全て 1/2 に縮小したものを使用している.

Fig.8(a)では虹状ノイズが発生しているが、(b)では発生していないことがわかる. これは他の波長でも同じであった. このことから、虹状ノイズの原因は、ビームエキスパンダーとコリメートレンズ間で生じた多重反射であることがわかった.

#### 3.2. 開口での回折と多重反射の軽減

タイル境界に生じるギャップや多重露光を減らすには高精度の開口が必要であるため、レーザーリソグラフィを用いてクロム膜で開口パターンを描画している. しかしクロム膜では強い反射が生じるため、開口との間の多重反射も考えられる. そこで、開口に反射防止塗装を施した. また開口による回折の影響を減らすため、開口とフォトポリマーの間隙が最小限になるように開口の設置方法を改良した.

#### 3.3. 単一タイルの転写による確認

以上の改良をすれば実際に像品質が向上するかどうかを確認するため、ビームエキスパンダーを取り除いた Fig.9 に示す光学系を用いて単一タイルの転写を試みた. 転写パラメータを Table 2 に示し、光学再生像を Fig.10 に示す. 全色で問題なく転写できており、ノイズも確認できないことから、ビームエキスパンダーが虹状ノイズの原因であり、また開口による反射や回折の軽減が有効であると考えられる.

Table 1 Parameters of the original printed CGHs.

Number of pixels	131,072 × 131,072
Pixel pitches [μm]	0.8 × 0.8
Wavelength [nm] (R, G, B)	(640, 532, 473)
Number of polygons	22,166

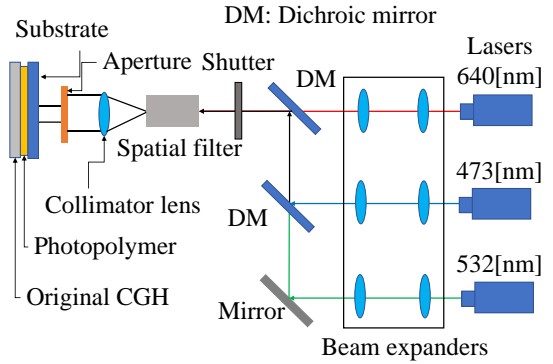


Fig.5 Optical setup for the tiling contact-copy.

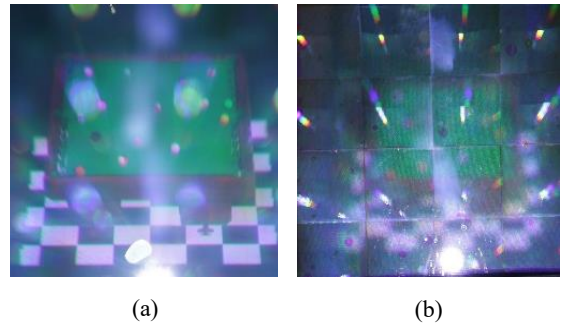


Fig.6 Photographs of optical reconstruction, focused on (a) the 3D scene and (b) hologram surface of a full-color stacked CGVH fabricated by the tiling contact-copy.

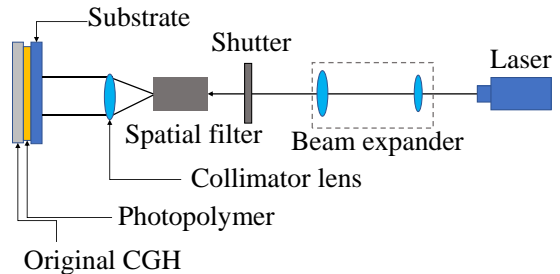


Fig.7 Optical setup for single color contact-copy using a collimated beam.

#### 4. まとめ

タイリング転写方式の光学系の構成上、多重反射の影響を受けたことがノイズの原因であることが判明した。また、対策を施した単一タイルの転写で問題が解消されることがわかった。今後は改良した光学系を用いてタイリング転写を行い、高品質な大型積層CGVH方式フルカラーCGHの作製を試みる予定である。

#### 謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 22H03712 の助成を受けたものである。

#### 文献

- [1] Y. Tsuchiyama and K. Matsushima, "Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters," *Opt. Express* **25**, 2016-2030 (2017).
- [2] O. Kunieda and K. Matsushima, "High-quality full-parallax full-color three-dimensional image reconstructed by stacking large-scale computer-generated volume holograms," *Appl. Opt.* **58**, G104-G111(2019).
- [3] K. Matsushima, S. Nakahara: Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method, *Appl. Opt.* **48**, H54-H63 (2009).
- [4] 國枝織絵, 松島恭治: ビームスキャンによる転写を用いたフルカラー積層体積型CGHの大型化, 3次元画像コンファレンス 2019 講演論文集, P-3 (2019).
- [5] 藤木駿介, 松島恭治: タイリング転写による積層CGVH方式フルカラーCGHの大型化, 3次元画像コンファレンス 2022 講演論文集, P-4 (2022).

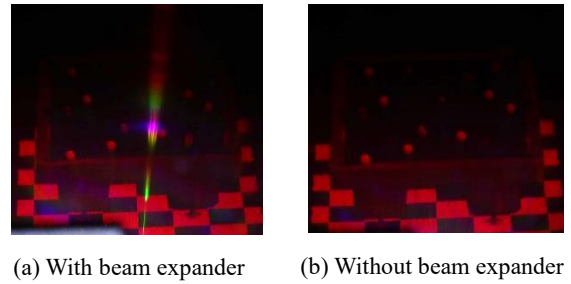


Fig.8 Comparison of optical reconstructions (a) with and (b) without the beam expander.

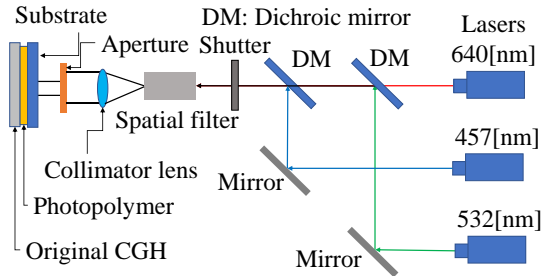


Fig.9 Optical setup for contact-copy at RGB wavelengths without tiling.

Table 2 Parameters of tiling contact-copy.

	Red	Green	Blue
Wavelength [nm]	640	532	457
Exposure [mJ/cm <sup>2</sup> ]	6.0	5.1	1.6
Exposure time [s]	15	10	30
Tile size [mm]	26.2 × 26.2		
Photopolymer	Bayfol@HX200		

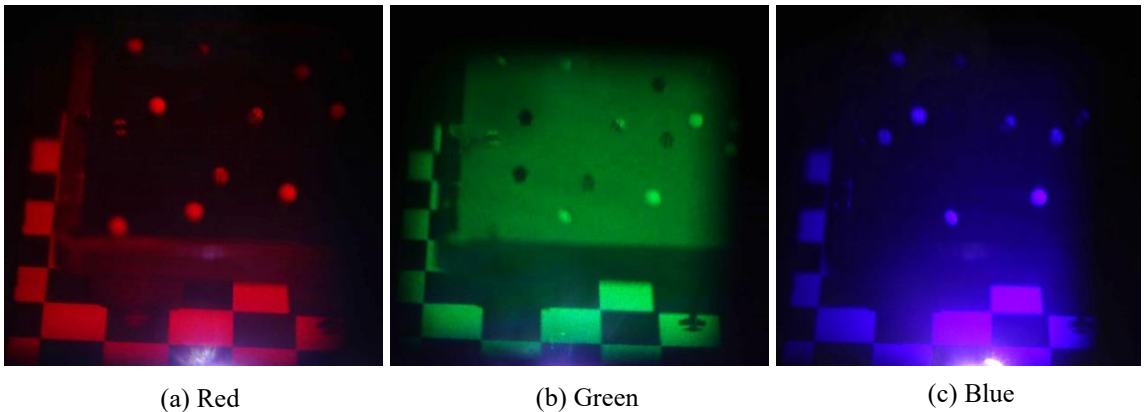


Fig.10 Photographs of optical reconstruction of individual CGVHs transferred without tiling. A white pigtail LED is used for illumination.