

# カラーフィルタ方式による フルカラー高解像度計算機合成ホログラムの作成 Creation of Full-Color High-Definition CGH using a Color Filter

土山泰裕<sup>1</sup>                      松島恭治<sup>1</sup>                      中原住雄<sup>2</sup>                      坂本雄児<sup>3</sup>  
Yasuhiro Tsuchiyama<sup>1</sup>      Kyoji Matsushima<sup>1</sup>          Sumio Nakahara<sup>2</sup>          Yuji Sakamoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

<sup>2</sup>関西大学 システム理工学部 機械工学科

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Kansai University

<sup>3</sup>北海道大学大学院情報科学研究科

<sup>3</sup>Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

## ABSTRACT

Complex optical system is required for full-color reconstruction of CGHs. This optical system is commonly large and heavy, and has problems such as difficulty in adjusting alignment. Thus, the full-color CGHs are hard to display on museums and exhibitions. In this paper, the technique using a color filter is proposed for creating high-definition full-color CGHs that are intended to be on display at exhibition galleries. To realize this, we mainly present methods to closely contact the color filter with synthetic fringe and increase error tolerance for positioning the filter and fringe. Optical reconstruction of a full-color CGH created by using the proposed methods is also presented for verifying the technique.

**Keywords:** computer holography, computer-generated hologram, full-color reconstruction, color filter

## 1. はじめに

近年我々は、従来の光学ホログラフィに匹敵する高品質な像を再生する数10～数100億ピクセル規模の計算機合成ホログラム(CGH)が作成可能なコンピュータホログラフィを報告している[1]. しかしこの技術で作成された高解像度 CGH では単色再生しかできなかった. そこで, RGB3枚のCGHを再生し, 光学系を用いて各色の再生像を重ね合わせる手法によるフルカラー再生を報告している[2]. また, 低解

像度の電子ホログラフィでは時分割方式や[3], 物体モデルを分割し参照光位置を工夫し, 各色の像を重ね合わせることでフルカラー再生を行う手法も報告されている[4].

しかし, これらの手法ではいずれも光学系が大型化することや, その調整が難しいなどの問題のため, 大規模なフルカラーCGHを手軽に展示することはできなかった. また, 複雑な光学系を必要としないフルカラーCGHとして特定の波長帯域のみ反射し, 残りの波長を透過する誘電多層膜に干渉縞を形成することで, フルカラー再生を行う手法も報告されている[5]. しかし, 膜構造干渉縞の作成が難しく, この手法で高解像度CGHを製作することは容易ではない.

そこで本論文では, 手軽に展示可能なフルカラーCGHとして, カラーフィルタ方式による単板の高解

---

土山泰裕

<tsuchiyama@laser.ee.kansai-u.ac.jp>

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

TEL 06-6368-1121(内線 5722)

像度フルカラーCGHの作成を試みた結果について報告する。

## 2. カラーフィルタ方式の原理

本研究で作成するカラーフィルタ方式のフルカラーCGHの概要をFig.1に示す。この方式では、干渉縞を空間的にRGBブロックに分割して各色に対応する波長で干渉縞を発生し、ブロックに対応した色のカラーフィルタを貼り合わせる。これに照明光として白色光を照射すると、カラーフィルタを透過した各色の再生照明光が対応したブロックをそれぞれ照明することで各色の像が再生される。ホログラムは干渉縞の一部からでも再生できる特性をもつため、各色の再生像が重畳されてフルカラー再生される。

ここで、カラーフィルタを干渉縞に装着する際、干渉縞1ピクセルに対して1色のカラーフィルタを適用することはできない。これは干渉縞のピクセルピッチが0.8~1.0 $\mu\text{m}$ と非常に微細であるのに対し、カラーフィルタはミクロンオーダーのパターンを作成できないためである。従って、Fig.2に示すように干

渉縞のブロックごとにカラーフィルタを適用する。

また、レーザーリソグラフィ技術で作成される従来の単色CGHはFig.3(a)のように、ガラス基板側の高反射Cr膜を利用する反射型のCGHであった。この構造のCGHにカラーフィルタを貼り付けるには(b)のようにガラス基板上に装着する必要があるが、これではカラーフィルタと反射膜が密着しない問題があった。そのため、従来使用しなかったガラス基板面の反対側のCr膜面にカラーフィルタを装着する(c)の構造で作成を試みた。

## 3. 干渉縞の構造

原理上はCr膜面上にカラーフィルタを装着するだけでフルカラー再生が可能である。しかし実際には、CGHとカラーフィルタの貼り合わせで誤差が生じ、本来の波長とは異なる波長で干渉縞が部分的に照明されて色収差が生じ、再生像が劣化する。

そこで、誤差の生じ難いパターンとして、Fig.4(a)のようなストライプ状にRGBのブロックを分割した。これにより、(b)のような分割方法では水平・垂

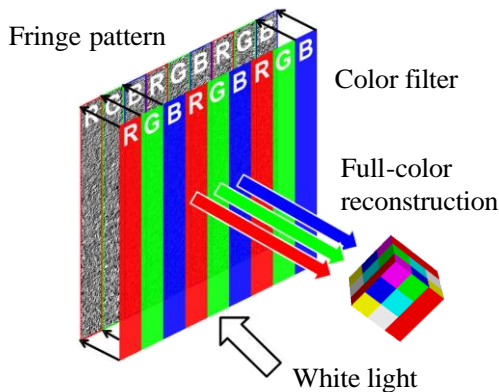


Fig.1 The principle of full-color reconstruction of high-definition CGHs using a color filter.

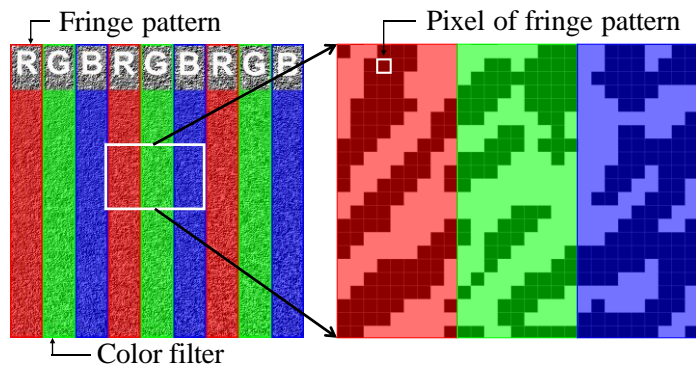


Fig.2 Blockwise color-filtering of the fringe pattern.

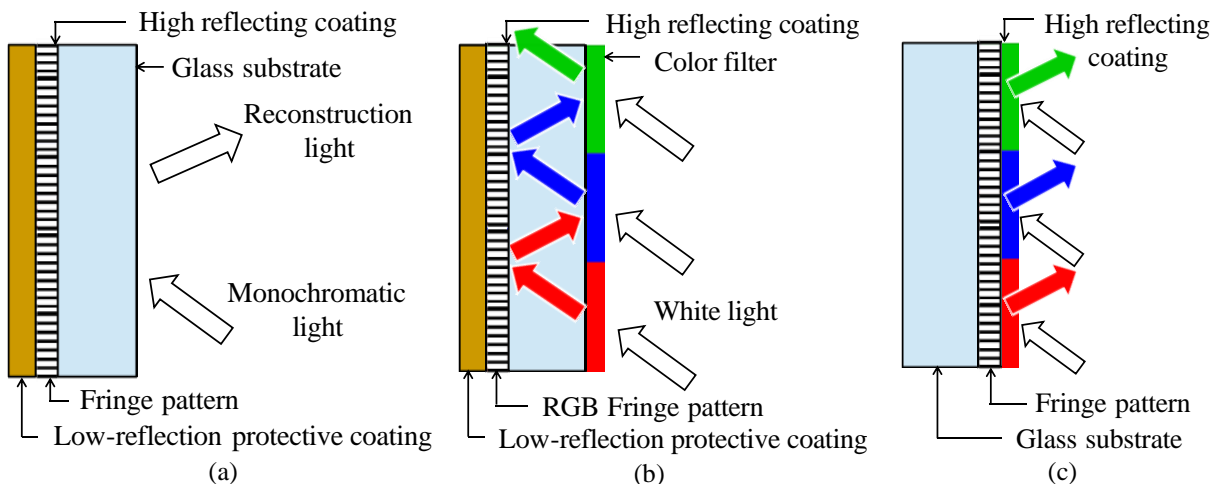


Fig.3 The layered structure of (a) monochromatic and (c) full-color high-definition CGHs.

直方向共に誤差を考慮する必要があるのに対し、(a)では一方向のみの誤差を考慮すれば良く、誤差が生じ難くなる。また、ホログラムは水平方向の視差が重要であるため、縦に干渉縞が分断されると水平方向の再生光波の劣化を引き起こすことになる。水平方向ストライプではその様な問題を生じることなく再生できると考えた。

更に、Fig.5に示すようにRGB各色の干渉縞の境界にガードギャップ(Guard-gap)と呼ぶ隙間を設け、誤差に対する許容度を増加した。しかし、ガードギャップの幅が大きくなるとそれ自体によって再生像が劣化するため、適切なギャップ幅を選択する必要がある。本研究では、ストライプ幅とガードギャップ幅を変えて、シミュレーションと光学再生を何度も試行錯誤することで、最適値を求めた。

#### 4. ホログラムの描画

レーザーリソグラフィを用いた干渉縞の描画方法をFig.6に示す。この描画では、(a)レーザーライタで干渉縞パターン形状にレジストを感光させ、(b)感光した部分のレジストを溶解、(c)露出したCr膜をエッチングし、(d)残りのレジストを除去するといったプロセスを行う。(c)の段階でも干渉縞は形成できているので、再生像を確認できるが、レジストの薄膜干渉によりFig.7(a)のような特定のスペクトルのみ明るくなった再生像となってしまう。レジストを除去することで(b)に示すように薄膜干渉の影響がなくなっていることが確認できる。

本研究で用いた描画材料は、Clean Surface Technology社のCBC4006Du-AZPである。また、レーザーライタとしてHeidelberg Instruments社のDWL66+を用いた。

#### 5. カラーフィルタの作成

本研究では、富士フィルムのリバーサルフィルムRDP-IIIに、Gretag Imaging社のデジタル銀塩プリンタであるLightjet2080を用いて2032dpiの解像度で描画し、カラーフィルタを作成した。

#### 6. フルカラーCGHの作成と再生

以上の手法を用いて、フルカラーCGHを作成した。作成したCGHのシーンとパラメータをFig.8とTable 1に示す。再生照明光源としてRGB各色の定

格出力2Wのマルチチップ型フルカラーLEDを使用した。カラーフィルタ透過後の各色のスペクトル特性をFig.9に示す。

作成したフルカラーCGHの光学再生像をFig.10に示す。ピクセルピッチが0.8μmであるので視域角が約34度となり、視差のあるフルカラー再生像が確

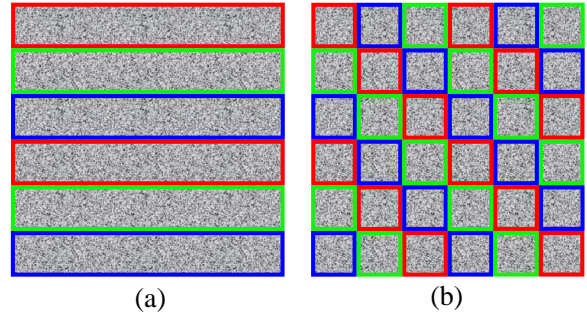


Fig. 4 Types of blockwise RGB color filtering.

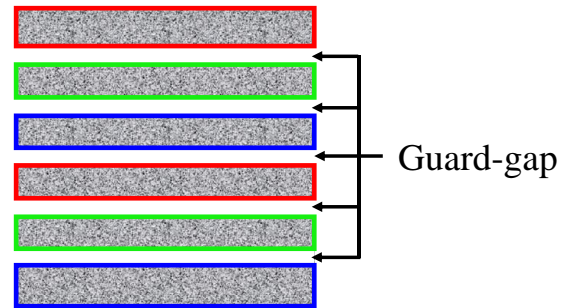


Fig.5 The structure of the guard-gap made on the fringe pattern.

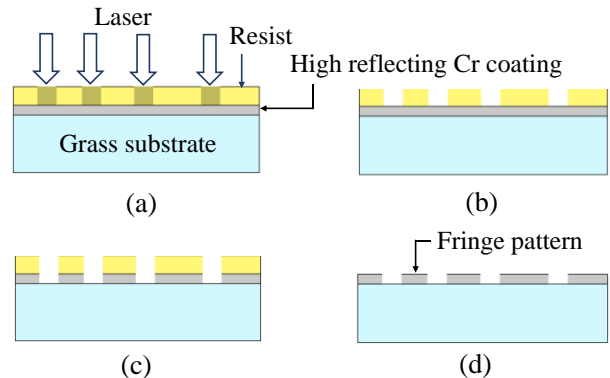


Fig.6 Print of the synthesized fringe pattern using laser lithography.

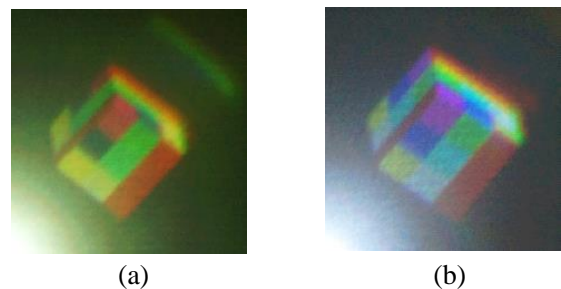


Fig.7 Optical full-color reconstruction of high-definition CGH (a) without and (b) with removing the resist.

認できる.

## 7. まとめ

本研究では、カラーフィルタを用いた CGH の作成を試みた。この時、カラーフィルタと CGH の貼りあわせ誤差が生じ難い干渉縞の構造として、水平方向のストライプパターンを用い、誤差に対する許容度を増加するためのガードギャップを設けた。これらの手法を用いてフルカラーCGHを作成し、実際にフルカラー再生が可能であることを示した。

## 8. 謝辞

本研究は、日本学術振興会の科研費(15K00512)、および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成25年～平成29年)の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] K. Matsushima, and S. Nakahara: "Extremely High-Definition Full-Parallax Computer-Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method" *Appl. Opt.* **48**, H54-H63 (2009)
- [2] T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara: "Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-definition color computer holography", *SPIE Proc.* **9386**, 93860N(2015).
- [3] T. Senoh, K. Wakunami, Y. Ichihashi, H. Sasaki, R. Oi, K. Yamamoto: "Viewing-zone-angle expansion of tiled color electronic holography reconstruction system" *SPIE Proc.* **9006**, 90060Z(2014)
- [4] T. Ito, K. Okano: "Color electroholography by three colored reference lights simultaneously incident upon one hologram panel" *Opt. Express* **12**, 4320-4325 (2004).
- [5] T. Kampfe, E. Kley, A. Tunnermann, P. Dannberg: "Design and fabrication of stacked CGH for multicolor image generation" *Appl. Opt.* **46**, 5482-5488(2007).

Table 1 Parameters used for creating the full-color CGH.

Number of pixels	65,536 × 65,536
Pixel pitches	0.8 μm × 0.8 μm
Sizes of CGHs	52.4 mm × 52.4 mm
Wavelength	630, 520, 460 nm
RGB stripe width	100 μm
Guard-gap width	50 μm

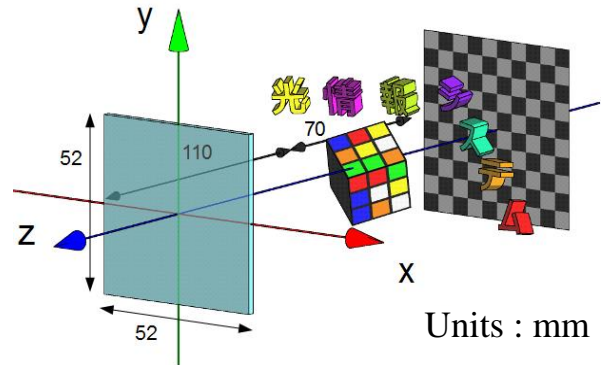


Fig. 8 3D scene of the full-color high-definition CGH.

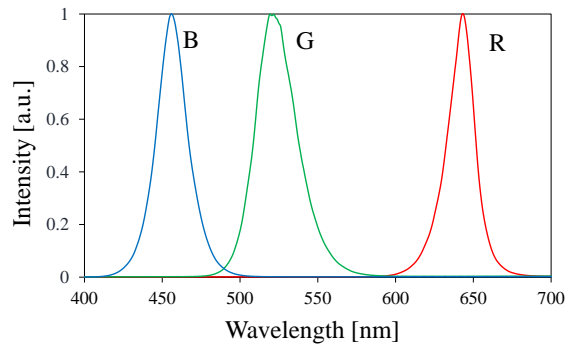


Fig. 9 Spectra of RGB illumination light transmitted through color filters. The intensities are normalized to unity.



Fig. 10 Optical reconstruction of the full-color high-definition CGH. Pictures are taken from different viewpoints.