

反射型高解像度CGHのコンタクトコピーによる フルカラー体積型転写CGHの作成

中尾 弘希[†] 松島 恭治[†]

[†] 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

E-mail: nakao@laser.ee.kansai-u.ac.jp

あらまし レーザリソグラフィによって描画される金属膜干渉縞を有する CGH は、高い反射率のため、反射型ホログラムとして高効率で再生できる特徴がある。これを利用して、原版 CGH に記録材料を密着させてコンタクトコピーを行い、体積型転写 CGH を作成することができる。そこで、3 枚の原版 CGH を 3 枚の記録材料に転写し、それらを重ね合わせることでフルカラー体積型 CGH の作成を試みた。

キーワード 計算機合成ホログラム, 体積ホログラム, 転写ホログラム, カラーホログラム

Creation of full-color transferred volume-CGHs by using contact-copy of reflection-type high-definition CGHs

Hiroki NAKAO[†] Kyoji MATSUSHIMA[†]

[†] Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

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

E-mail: nakao@laser.ee.kansai-u.ac.jp

Abstract CGHs having a metal film interference fringes are drawn by the laser lithography are characterized to be reproduced at the high efficiency as the reflection type hologram because of the high reflectivity. Using this, a recording material is stuck to a CGH and it uses contact-copy, and it enable to create a volume type transfer CGH. Therefore, full-color volume type CGH production was tried by copying three original CGHs into three recording materials and overlapping them.

Keyword Computer-generated hologram, volume hologram, transferred hologram, color hologram

1. はじめに

近年、レーザリソグラフィを用いて干渉縞を描画して作成する高解像度計算機合成ホログラム(以下、CGH)では、古典的な光学ホログラフィに匹敵する再生像が得られるようになってきている[1]。しかしながら、レーザリソグラフィを用いて描画した CGH は薄いホログラムとなるため、波長選択性が無く、白色の再生照明光で CGH を再生した場合、強い色収差が発生する。すなわち、波長ごとに位置や大きさが異なる多数の再生像が同時に発生し、再生像にぼけが生じる。

このような CGH のフルカラー再生手法として、ダイクロミックミラーを用いた方法[2]や、カラーフィルタを用いた方法[3]などが考案されているが、前者は像を合成するための光学系が大きく、その調整も難しいため、展示会などで展示するのが困難である。後者は本来 3 枚の干渉縞を細長く分割して 1 枚のプレートに

埋め込んでいるため、再生像の質が低下する可能性がある点と、フィルタの分光特性がよくないため十分に色収差を低減できない点が問題になる。

そのため本研究では、光の 3 原色に相当するレーザを用いて 3 枚の原版 CGH を 3 枚の記録材料に転写し、赤、緑、青色で再生される体積型ホログラムを重ねあわせることによりフルカラーホログラムを作成することを最終目標として研究を行っている。

本研究では、以下これをフルカラー体積型転写 CGH と呼ぶ。また、この転写においては、レーザリソグラフィで作製する原版 CGH が金属膜干渉縞により反射型として再生できることを利用して転写を行う。本論文では、原版 CGH を銀塩材料とフォトポリマーに転写した実験結果を示し、提案手法によりフルカラー転写 CGH を作成する可能性を検討する。

2. 金属膜干渉縞 CGH のコンタクトコピー

2.1. 転写の原理

Fig.1 に金属膜干渉縞を有する原版 CGH を記録材料に転写する原理を示す。本手法で転写対象とする原版 CGH は、ガラス基板上的クロム膜で干渉縞が形成されており、一般に、その干渉縞はホログラムの観察者から見てガラス板の背面にある。この金属膜干渉縞は非常に高い反射率を有しており、その反射パターンによって3次元像が再生される。すなわち、薄いホログラムであるにもかかわらず、反射型ホログラムとして再生する。

ここで、原版 CGH の干渉縞パターンの発生では、数値合成した物体光波と参照光波を計算機で数値的に干渉させる。この仮想的な参照光波としては一般に球面波が用いられており、ホログラムの手前側にその中心がある。したがって、原版 CGH の光学再生時に仮想の参照球面波の中心と同じ位置に点光源を置くと、数値合成した物体光波が正確に再生されることになる。

そこで、記録材料を原版 CGH のガラス基板の前面に貼り付け、球面波再生照明光の発生に用いるスペイシャルフィルタのピンホール位置が仮想参照球面波の中心と一致するように配置し、記録材料を透過して原版 CGH を照明する。これによって原版 CGH が反射型 CGH として働き、数値的に合成された物体光波が

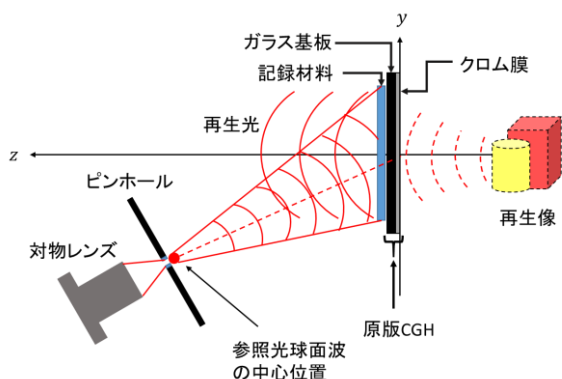


Fig.1 コンタクトコピーの原理

Table 1 Ultimate の仕様

型番	U08-PAN-0-4x5-G
ガラス厚み	3 mm
最適露光量	130 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$
感度比	(633 nm) 0.8 (532 nm) 1.0 (457 nm) 1.0

Table 2 予備実験に用いた CGH のパラメータ

ピクセル数	65,536 \times 65,536
ピクセルピッチ	1 $\mu\text{m} \times$ 1 μm
サイズ	65 mm \times 65 mm
設計波長	633 nm
参照光位置	(-40, -40, -300) mm

Table 3 予備実験の転写パラメータ

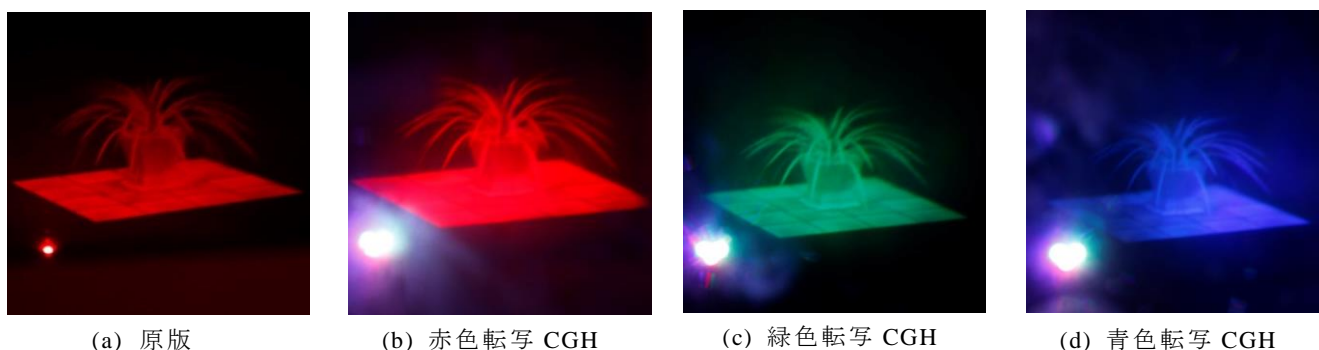
転写波長	露光時間	露光量
633 nm	2 s	600 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$
532 nm	0.75 s	450 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$
488 nm	1 s	450 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$

原版 CGH の反射再生光として発生する。したがって原版 CGH に貼り付けた記録材料中には再生照明光と再生光の干渉縞が発生し、これが記録材料に記録される。

この構成では、物体光波(原版 CGH の再生光)と参照光波(原版 CGH の照明光)が記録材料に対して互いに反対方向から入射するため、記録されるホログラムは体積型となる。

2.2. CGH のコンタクトコピー実験

3 原色に対応した 3 枚の原版 CGH をコンタクトコピーしてフルカラー転写 CGH を作成する前に、まず、事前実験として既存の 1 枚の CGH のコンタクトコピーを試みた。この実験では、記録材料として、Table 1 に示す Holography Laboratory の“Ultimate”ガラス乾板



(a) 原版

(b) 赤色転写 CGH

(c) 緑色転写 CGH

(d) 青色転写 CGH

Fig.2 原版 CGH と転写 CGH の光学再生像

を用いた。

この実験では原版 CGH として「オリヅル蘭」という名前の高解像度 CGH を用いた。この CGH のパラメータを Table 2 に、また赤色 LED によるその光学再生像を Fig.2(a)に示す。この CGH を光の 3 原色に対応する 3 波長のレーザーを用いてコンタクトコピーを行い、マルチチップタイプ白色 LED で再生をした時の再生像を Fig.2(b)-(d)に示し、転写パラメータを Table3 に示す。この結果から転写波長に対応する色で再生されており、波長選択性を有する体積型転写 CGH ができていることが分かる。

しかし、当然ながら赤色波長で計算された CGH を緑や青色波長で再生しても、再生像の大きさや位置がずれてしまう。そこで、3つの設計波長で作成された3枚の原版 CGH を作成し、それぞれの設計波長のレーザーを用いてコンタクトコピーを行ったものでフルカラー体積型転写 CGH の作成を試みた。

3. フルカラー体積型転写 CGH

3.1. フルカラー体積型転写 CGH の原理

光の 3 原色に相当する 3つの設計波長で作成した 3枚の原版 CGH を対応する波長のレーザーでそれぞれ記録材料に転写し、これらを Fig.3 のように重ね合わせる。この時、白色再生光源で再生し、全ての像がきれいに重なり合うように記録材料を重ね合わせなければならない。ここで転写ホログラムの重ね合わせる順

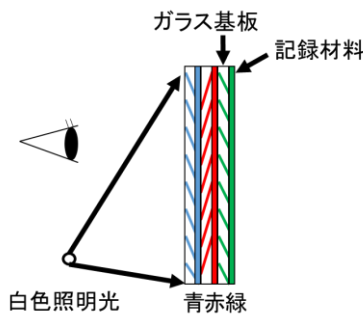


Fig.3 記録材料の重ね合わせ

Table 4 作成する原版 CGH のパラメータ

ピクセル数	65,536×65,536
ピクセルピッチ	0.8 μm×0.8μm
サイズ	52.4 mm×52.4 mm
赤の設計波長	633 nm
緑の設計波長	532 nm
青の設計波長	488 nm
参照光位置	(-30, -30, -350) mm

Table 5 転写のパラメータ

記録材料	露光時間	露光量
Ultimate	1 s	550 μJ/cm ²
	0.75 s	450 μJ/cm ²
Darol Photopolymer	300 s	120 mJ/cm ²
	540 s	378 mJ/cm ²

番は Fig.3 のように前から青、赤、緑色のホログラムとする。これは人間の視覚は青色に対する感度が最も低く、緑色に対する感度が最も高いためである。従って、再生効率が低下すると予想される最背面に緑を配置する。

3.2. 原版 CGH の作成

赤、緑、青色に対応した設計波長で 3種類の原版 CGH

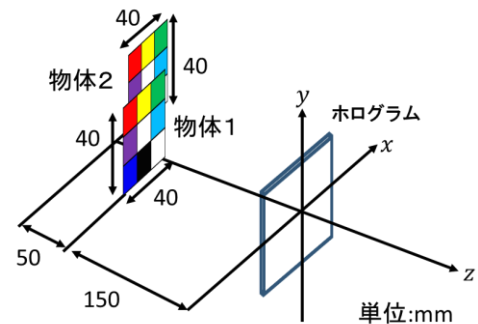
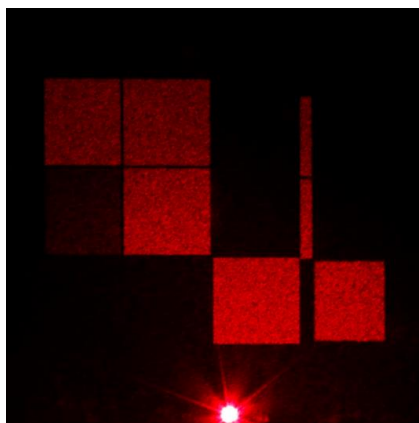
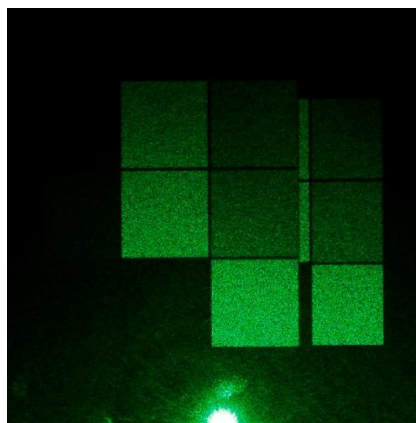


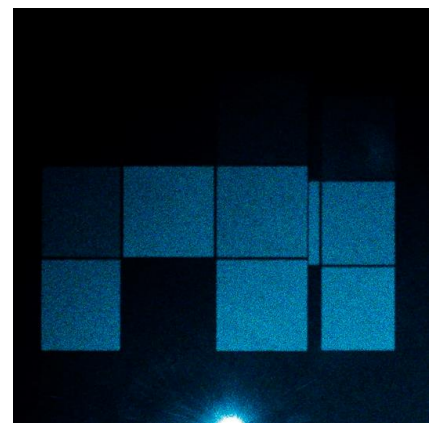
Fig.4 原版 CGH の 3D シーン



(a)赤色 CGH



(b)緑色 CGH



(c)青色 CGH

Fig.5 原版 CGH の再生像

を作成した。本研究で作成した CGH の 3D シーンを Fig.4 に、そのパラメータを Table4 に示す。物体モデルは平面ポリゴンで、その表面にテクスチャ画像を貼り付けたものである。3 波長の参照光と物体光を用いてそれぞれ干渉縞パターンを計算し、レーザーリソグラフィ描画装置で作成した 3 枚の CGH を設計波長と同じレーザー光で再生した時の再生像を Fig.5 に示す。

3.3. フルカラー体積型転写 CGH の作成

3 枚の原版 CGH をそれぞれ記録材料にコンタクトコピーし、3 枚の体積型転写 CGH の作成を試みた。この時、記録材料として、前述の銀塩材料“Ultimate”以外に Ploygrama 社のフォトポリマーである“Darol Photopolymer”を用いた。Fig.6 に Ultimate を用いた転写 CGH、また Fig.7 に Darol Photopolymer を用いた転写 CGH を白色 LED で光学再生した像を示す。

残念ながら、いずれの場合も、青色原版 CGH のコンタクトコピーが上手くできない結果となった。Darol Photopolymer の場合には、Fig.8 に示す通り、青色波長での感度がかかなり低いためコピーができなかった可能性が高い。しかし、Ultimate で今回青色の転写ができなかった理由は不明である。さらに Ultimate による赤、緑色のコンタクトコピーにおいて漂白処理が不十分のため転写 CGH が不透明になってしまい、これらを重ね合わせた体積型転写 CGH の作成を試みることで

きなかった。Darol Photopolymer では透明な転写 CGH ができたが、フォトポリマーの散乱と歪みが大きく、今回は再生像をきれいに重ね合わせることができなかった。

4. まとめ

レーザーリソグラフィで作製する金属膜干渉縞を有する高解像度 CGH のコンタクトコピー手法を提案し、銀塩材料とフォトポリマーを用いて体積型転写 CGH の作成を行った。銀塩材料では特定の原版 CGH では 3 波長での転写を確認できたが、いずれの記録材料でも青色 CGH の転写ができない場合があった。

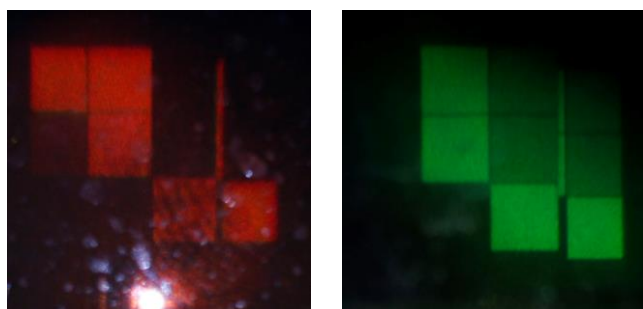
また、転写できた CGH を重ねあわせて白色光再生を試みた。銀塩材料の場合は漂白処理が不十分であり、フォトポリマーでは散乱と歪みが大きかったため再生像を重ね合わせることが出来なかった。今後、作製プロセスを見直して再度実験を行うことが必要である。

5. 謝辞

本研究は、JSPS 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

文 献

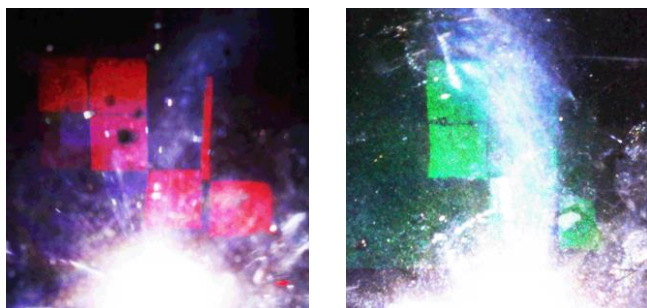
- [1] K.Matsushima,S.Nakahara:“Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method”, Appl. Opt. 48,H54-H63(2009)
- [2] T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara: “Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-defintion color computer holography”, SPIE Proc.9386, 9386N (2015)
- [3] 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児: “フルカラー高解像度 CGH 用カラーフィルタの設計とその光学再生像”, 3次元画像コンファレンス 2016, 2-1 (2016)



(a)赤色

(b)緑色

Fig.6 転写 CGH の再生像(Ulitimate)



(a) 赤色

(b) 緑色

Fig.7 転写 CGH の再生像(Darol Photopolymer)

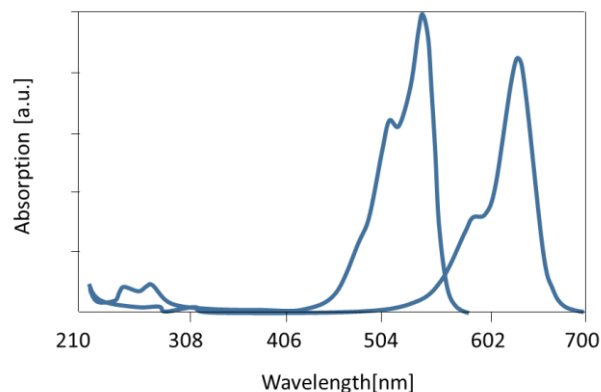


Fig.8 Darol Photopolymer の感度特性