

フレネル回折を用いた混合色光ホログラムの開発

奈良工業高等専門学校 電子制御工学科 ○室野 健一 ◎西田 茂生

要旨

現在、実用化されているホログラムは単色の像を再生する。そこで、RGBの3色のレーザー光を合成することで白色光を作成し、それを光源とした白色光ホログラムを開発することを目的として本研究を始めた。本研究では複数の波長に対応した多重ホログラムを作成し、白色光に対応する波長の像が再生されることが確認できた。これにより、ホログラムで任意の色を再生することが可能であることが検証できた。

1. 緒言

白色光を光源とするホログラムは応用性に優れるが、太陽光、白色灯を光源とするには可干渉性の問題があるため困難である。そのため、この問題を解決するために可干渉性に優れたレーザーを光源とする必要がある。本研究では加法混色の原理を利用し、光を合成することで混合色の光源として作成する。

混合色の光源を作成するために、加法混色と呼ばれる色の表現方法を用いる。これは光の3原色である赤、緑、青の3色を組み合わせることで任意の色を表現する方法であり、3色を等量で混ぜることで白色を表現することができる。この原理を用いて黄色、マゼンタ、シアン、白色の光源を作成した。

今回は2色、3色の混合色を光源とする多重ホログラムを作成し、混合色光ホログラムとして機能するか検証する。

2. ホログラムの設計

本研究では、実際のホログラムの代わりに空間光変調器(SLM)を用いる。SLMは中心部分が液晶になっている。この液晶にフレネルホログラムの位相や振幅パターンを再現することで、これをフレネルホログラムとして用いることができる。

視認性を表す指標として回折効率がある。本来はホログラムへの入射光強度に対する再生像強度のことであるが、本研究では次のように定義した。

$$\frac{\text{再生像の光強度} - \text{再生像以外の光強度}}{\text{再生像の光強度}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

光強度はADVANTEST社の光パワーメータTQ8210で測定し、回折効率が高いほど視認性が高いことを数値的に表す。

実験を行う際に使用するフレネルホログラムの設計条件はSLMのスペックに準ずる。SLMにはHOLOEYE社のLC2002を使用している。

実験で取り扱うホログラムはGS法を用いて設計されており、結像距離ごとに設計波長が異なる多重ホログラムである。

ここで多重ホログラムとは、結像距離や設計波長が異なる複数のホログラムを重ね合わせた、1枚のホログラムのことである。Fig.1に多重ホログラムの例を示す。

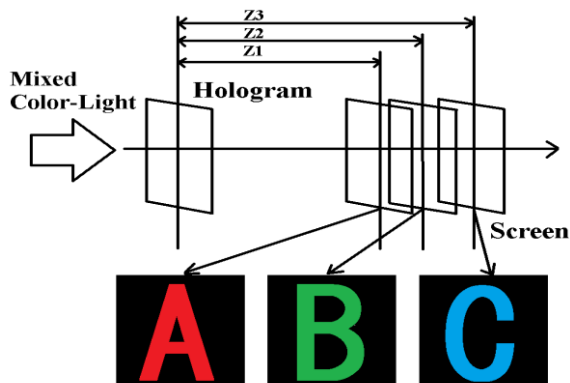


Fig.1 Schematic diagram of multiple hologram

実験に用いた多重ホログラムの設計条件をTable.1に示す。

Light source	Wavelength [nm]	Imaging distance [m]
Yellow	632.8	1.2
	532.0	1.0
	580.0	0.8
Magenta	400.0	1.2
	632.8	1.0
	432.0	0.8
Cyan	480.0	1.2
	532.0	1.0
	432.0	0.8
White	632.8	1.4
	580.0	1.2
	532.0	1.0
	480.0	0.8
	432.0	0.6
	400.0	0.4
	632.8+532.0+432.0	0.2

Yellow, Magenta, Cyanの光源に対応したものが3重ホログラム、Whiteの光源に対応したものが7重ホログラムの条件となっている。

フレネル回折の光強度は波長と結像距離の関数であるため、同じ結像距離に複数の像を再生し光強度を測定するとすると、測定誤差が生じてしまう可能性がある。それを回避するために結合距離を変えて設計している。

3. 混合色の光源を用いた実験

実験はFig. 2のように光学系を組み行う。各レーザーの光強度を等しくするためにポラライザーを用いる。緑色レーザーのみを調整しているのは、青色レーザーは本体に光強度の調節機能があるからである。多重ホログラムの評価方法としては、2色と3色の異なる混合色の光源を作成し、回折効率を比較する方法をとる。

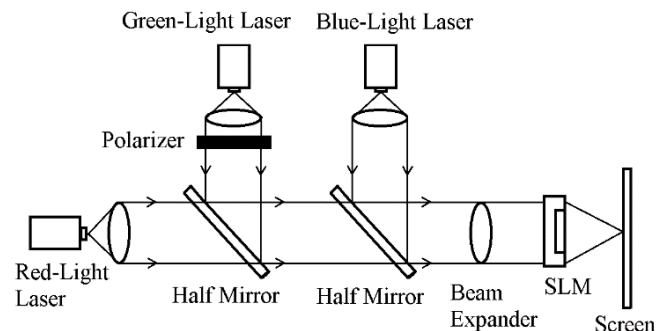


Fig.2 Schematic of optical system by mixed color-light

光源には赤色として波長 632.8nm の He-Ne レーザー、緑色、青色として波長 532nm, 432nm の DPSS レーザーを使用した。

実験結果を Fig.3 に示す。横軸に波長、縦軸に回折効率をとる。Fig.3 において、Yellow, Magenta, Cyan の点が 3 重ホログラムでの回折効率であり、White の点が 7 重ホログラムでの回折効率である。黒点は設計波長を白色としたとき、つまり設計

波長が赤, 緑, 青の3つの波長で設計されているときの回折効率である.

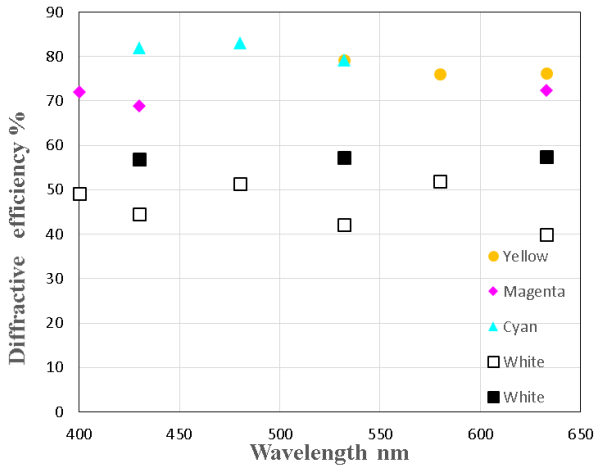


Fig.3 Relation between the wavelength and diffractive efficiency

Fig.3 より 2 色の混合色を光源とした多重ホログラムの回折効率が 70~80%程度になっていることが分かる. また, 3 色の混合色を光源とした場合においても 2 色よりはばらつきがあるものの回折効率が 40~60%程度になっていることが分かる. 2 色と 3 色で回折効率に差があるのは, 用いた多重ホログラムが 3 重と 7 重のものであり, 多重ホログラムは重ねれば重ねるほど回折効率が低下するからである. また, 3 色の混合色を光源とした多重ホログラムでは赤, 緑, 青に対応した設計波長での回折効率に対して, 混合色に対応した設計波長での回折効率が高くなっていることが確認できる. これは混合する前の 2 色, あるいは 3 色のレーザー光全ての影響を受けているからだと考えられる. 以上のことを考慮すると作成した多重ホログラムは機能していると考えられる.

Fig.4 に各混合色光源を SLM に入射したときの再生像を示す. これらを表示するホログラムはアルファベットの「W」が再生像として現れるように設計したものである.

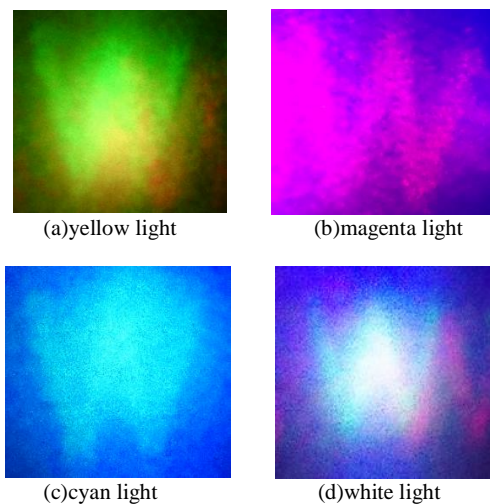


Fig.4 Diffraction images

Fig.4 において(a), (d)を見ると, 赤色の像がずれて再生されている. これにより視認性が悪化し, 光源の色が全体に表示されない現象が生じている. この原因としては, 赤色の波長の回折角度が他の波長よりも大きいからだと考えられる.

Fig.5 に白色光源を用いた混合色光ホログラムの再生像を示す. これは赤で R, 緑で G, 青で B がそれぞれ再生されるように設計したものである.

Fig.5 より多色の再生像を得ることが出来ていることがわかる. しかし, 0 次光による視認性の低下を確認した.



Fig.5 Diffraction images "R", "G", "B"

4. ハロゲンランプを用いた実験

実験は Fig.6 のように光学系を組み行う. ハロゲンランプの光強度を高めるためにレンズを使って集光し, 任意の色の光源にするために透過型ブレード回折格子を用いた. この回折格子は各波長の回折角度をより大きくするものであり, これにより任意の光源を用意する. この実験では, 作成した混合色光ホログラムが既存の白色光源で機能するかを検証する.

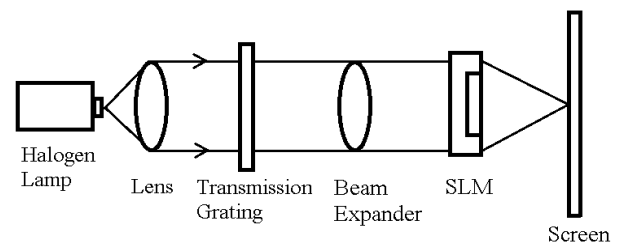


Fig.6 Schematic of optical system by halogen lamp

実験では, ハロゲンランプの波長スペクトラムがレーザー光と異なることを考慮し, ハロゲンランプに対応した設計波長の多重ホログラムを設計した.

実験結果を Fig.7 に示す. 実験では回折格子を用いて, 黄色の光源になるように調整した. 用いたホログラムの設計条件は, Table.1 の Yellow における Wavelength をそれぞれ 550, 440, 400 に置き換えたものである.

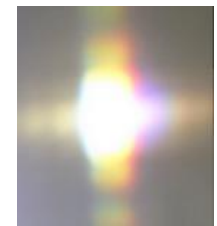


Fig.7 Diffraction image by halogen lamp

Fig.7 に示すように本実験では再生像を確認することはできなかった. その原因として考えられるのは, 光強度の不足と可干渉距離の問題である. 光強度に関しては, SLM 透過前の光強度を測定すると, その測定値がレーザー光を光源としたときの測定値とあまり差がなかった. そのことから直接の原因になっていないと考えられる. しかし, 可干渉距離に関して, 実験では光学系が 1m 以上の距離を持ってしまっている. 白色光源の可干渉距離はレーザーに比べると大幅に短く, 干渉実験でよく用いられる水銀灯においても 1m 程度しかない. ¹⁾そのため, 可干渉距離を確保できなかったことが再生像を確認できなかった原因として考えられる. 以上のことからハロゲンランプを用いて混合色光ホログラムを機能させるには光学系の改良が必要になる.

5. 結言

2 色, 3 色の混合色を光源とする多重ホログラムが正常に機能することが検証できた. つまり, 最終目的である白色光ホログラムの可能性を示せた. したがって, この技術を用いるとホログラムで任意の色を表現することができるようになる. しかし, ハロゲンランプを用いる実際の白色光を光源とした場合の検証, 回折角度の違いによって生じる視認性の低下, 0 次光による視認性の低下, などを解決していく必要がある.

参考文献

- 1) 榎田考司, 光物理学, 共立出版株式会社(1983)