

最近の技術から

位相格子を用いた波長選択性を有する光学的ローパスフィルタ

岡山 裕昭*・米山 匡幸**・森本 吉史***・小野 周佑*

* 松下電器産業(株)材料デバイス研究所, ** 映像音響情報研究所 〒571 門真市大字門真 1006
 *** 松下日東電器(株) 〒610-03 京都府綴喜郡田辺町大字大住小字浜 55-12

1. はじめに

民生用ビデオカメラの小型・軽量化の要求に対して、非球面レンズや小型 CCD の開発が行われてきた。高画質の要求に対しては、RGB ごとに各 1 枚 CCD を用いた 3 板方式での展開等が行われている。現在、撮像面に色分離フィルタを設けた CCD を 1 枚のみ用いた単板方式で、より小型・軽量かつ高画質化の検討が進められている^{1,2)}。

CCD の解像の限界を超える空間周波数成分は、エイリアジング (aliasing) により偽解像、偽色等の偽信号の原因となるため、光学的ローパスフィルタを用いて減衰させている。従来、光学的ローパスフィルタとして水晶が用いられており、入射光束は複屈折性により複数の光路に分割されるため、像面上で像がずれて重なり高周波成分減衰の効果が得られる。また、最近では位相格子³⁾も用いられており、各次数の回折光による像が像面上でずれて重なり高周波成分が減衰される。図 1 にそれぞれの動作原理を図示する。

一方、色分離フィルタを設けた CCD では、G 成分の画素数が R および B 成分の画素数の 2 倍あり、解像限界も G 成分は R および B 成分の 2 倍の高さを有している。ところが、水晶フィルタのローパス特性は RGB の各成分に対して等しいため、G 成分の高い解像限界を有効に利用することができず、R および B 成分についてのみローパス特性を有するフィルタの開発が望まれていた。

2. 波長選択性位相格子の原理

波長選択性位相格子フィルタは、光学材料の屈折率と分散の関係を活用している。2 種類の光学材料を張り合わせた境界面に位相格子を形成すると、境界面にできる位相分布 $\phi(x, \lambda)$ は次式で表される。

$$\phi(x, \lambda) = \frac{2\pi(n_1(\lambda) - n_2(\lambda))h(x)}{\lambda} \quad (1)$$

ただし、 λ : 波長、 $n_1(\lambda)$: 物体側材料の波長 λ での屈折率、 $n_2(\lambda)$: 像面側材料の波長 λ での屈折率、 $h(x)$: 格

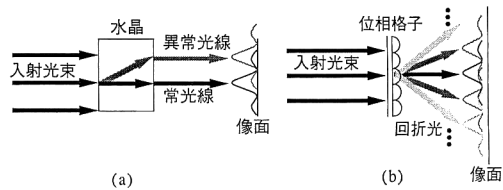


図 1 光学的ローパスフィルタの動作原理 (a)水晶を用いた従来型、(b)位相格子を用いた構成。

子の形状 (深さ)。

2 種類の光学材料としては、図 2 に示すように R および B 成分の波長帯域中では屈折率差が比較的大きくなり G 成分の波長帯域中では屈折率がほぼ等しくなるように高分散材料 a と低分散材料 b を選択して組み合わせる。この時の各成分における位相差の模式図を図 2 に示す。

3. フィルタ設計

本フィルタの設計に際して、MTF (modulation transfer function) を評価関数として用いた。位相差 $\phi(x, \lambda)$ を有する格子の MTF は次式で与えられる。

$$H(\xi) = \left(\int H(x)H^*(x-\xi)dx \right) / \left(\int |H(x)|^2 dx \right) \quad (2)$$

ただし、 $H(x) = \exp(j\phi(x, \lambda))$, $\xi = \lambda df$ 。d: フィルタから像面までの空気換算距離、f: 空間周波数。

上記式より、MTF を決定するパラメータは、格子の形状 $h(x)$ 、像面までの距離 d、2 種類の光学材料の屈折率差である。また、RGB 各成分が帯域幅を有するため、

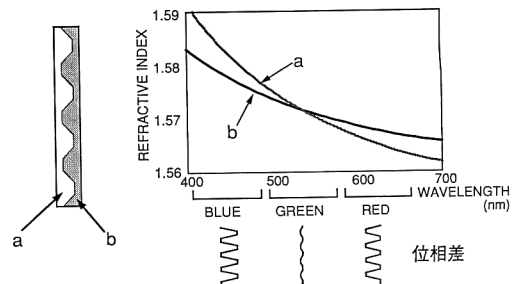


図 2 位相格子を用いた光学ガラスの特性

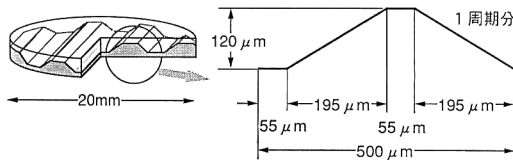


図3 格子形状

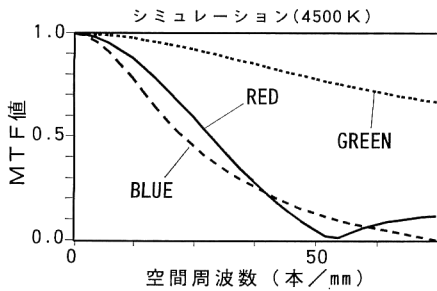


図4 MTF シミュレーション値 (4,500 K)

各成分のMTF値は、波長特性にもとづき各波長のMTF値を合成することによって得られる。各成分の波長特性は、色分離フィルタのRGB各波長帯の分光透過率特性、照明の分光特性、CCDの分光感度特性、および光学系の分光透過率から決定した。ただし、照明の分光特性は使用条件によって変化するが、最も使用頻度の高い色温度4500Kを用いた。

光学材料としては、屈折率の均一性が良く、種類の選択の幅が広く、さらに温度安定性が高いという理由でガラス材料を用いた。また、2種のガラス材料を接合する接着層の影響を小さくするため、接着剤と一方のガラス材料の屈折率をほぼ等しくした。この場合の屈折率の波長特性図が前述の図2である。これらの点を考慮して高分散ガラス材料にはLF6、低分散ガラス材料にはGFK70を用いた。

格子形状は、加工性を考慮して、等脚台形に限定した。RGB各成分の画素密度から決まる遮断MTF特性を満足し、色再現処理の回路系によるRとB成分のMTF特性差が許容範囲に入るように、台形の上底と下底の長さ、台形の高さ、およびフィルタと像面までの距離を決定した。設計例を図3に示す。また、特性のシミュレーション値を図4に示す。

4. 評価および結果

フィルタの特性評価にはイーリング社製MTF測定機S.S.EROSを用いた。測定結果を図5に示す。フィルタの設計では、照明光源色温度4,500Kを用いたが、測定機の光源の3,000Kにあわせたシミュレーションを行い、結果を図6に示す。図5と図6の比較から、実測値

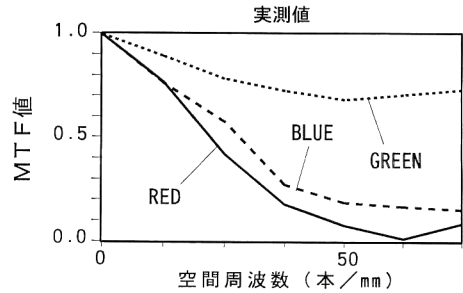


図5 MTF 実測値 (Ealing S.S.EROS 使用)

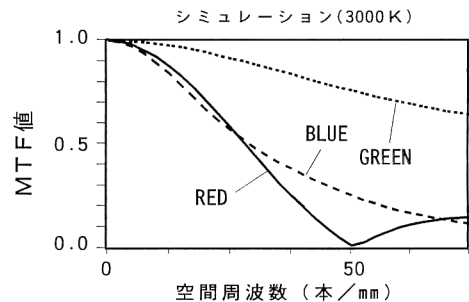


図6 MTF シミュレーション値 (3,000 K)

とシミュレーション値とは良く一致しており、RおよびB成分に関しては設計値通りのローパス特性を有していること、G成分に関してはMTF値の低下が少なく、高い伝達特性を有することが確認できた。B成分の伝達特性が光源色温度の影響を受けやすい原因は、色温度の変化によりB成分の分光特性のピーク波長が長波長側にシフトするためである。

カメラに本フィルタを組み込んで行った実写テストで、従来のカメラと比較して、垂直解像度が350TV本から500TV本に向上し、色モアレが許容限界以下に抑圧されることが確認でき、高品位な画像が得られた。

5. まとめ

高分散材料と低分散材料から構成した位相格子フィルタでMTF特性が波長選択性を有する光学的ローパスフィルタを実現した。また、波長選択性光学的ローパスフィルタを用いることによって、CCDの有する解像の限界を有効に利用することができ、従来よりも解像度と画質が向上することを確認した。

文 献

- 1) 米山匡幸, ほか: 1992年テレビジョン学会年次大会講演予稿集, pp. 295-296.
- 2) 米山匡幸, ほか: 1994年テレビジョン学会年次大会講演予稿集, pp. 119-120.
- 3) R.L. Townsend: "Spatial-frequency filter for a Kell-type color camera," Appl. Opt., 11 (1972) 2463-2472.

(1994年10月3日受理)