

## フォトニック結晶構造を用いたCMOS イメージセンサ用カラーフィルタ設計技術

### フォトニック結晶構造を利用したカラー フィルタで、肉眼に近い色合いを再現

携帯端末やデジタルカメラなどに用いられるCMOS（相補型金属酸化膜半導体）イメージセンサの高画質化が求められています。特に、カメラを通して見た被写体の色合いを、より肉眼に近づけることが重要になっています。従来のCMOSイメージセンサでは、特定の波長の光を吸収する吸収型のカラーフィルタが用いられていました。しかし吸収材料の組合せには限りがあり、人が直接目で見た色合いの再現は困難です。

そこで東芝は、微細な形状を採用することによって透過する波長を選択できるフォトニック結晶構造カラーフィルタの設計技術を開発し、肉眼に近い色合いのCMOSイメージセンサの実現を目指しています。

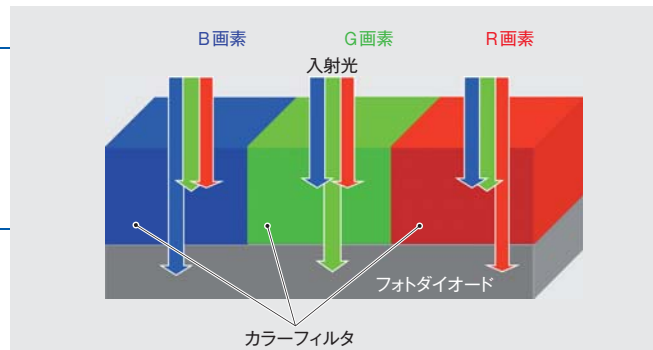


図1. RGB吸収型カラーフィルタのイメージ— フォトダイオード上に吸収型カラーフィルタをパターンニングすることで、特定の波長の光を透過させます。

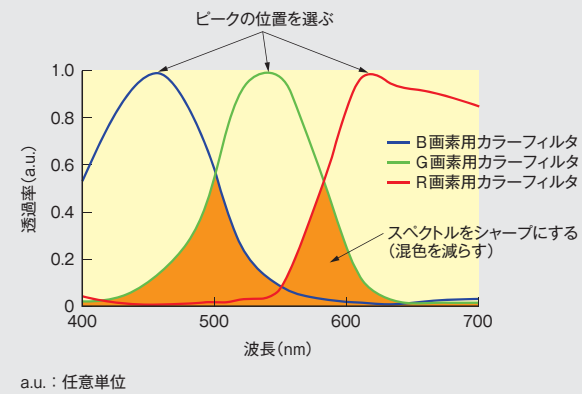


図2. 吸収型カラーフィルタの透過率スペクトル— ピークの位置を選び、混色を低減することが重要になります。

### CMOSイメージセンサの課題

近年、携帯電話や、スマートフォン、デジタルカメラなどの普及によりCMOSイメージセンサの市場が拡大しています。それに伴いCMOSイメージセンサの高画質化が求められており、特に画質指標の一つである色合いを肉眼に近づけることが重要になります。

CMOSイメージセンサは、フォトダイオード上の各ピクセル（画素）に赤（R）、緑（G）、青（B）の三原色のそれぞれを透過するカラーフィルタがパターンニングされた構成になっています（図1）。

RGBカラーフィルタはそれぞれ透過率の波長依存性（透過率スペクトル）を持っており、そのスペクトル形状によってCMOSイメージセンサの色合いが決まります。

従来のRGBカラーフィルタは光を吸収する材料が用いられており、この場合の透過率スペクトルは材料の特性で決まってしまう。材料の組合せには限りがあり、人の目が持っている視覚特性とは異なっています。したがって、CMOSイメージセンサで撮像した画像と肉眼とでは、その色合いに差が生じるといった問題があります。

カラーフィルタの透過率スペクトルを人間の視覚特性に近づけるには、RGBスペクトルのピーク位置を任意に選び、透過率スペクトルをシャープ（混色が少ない）にすることが重要になります（図2）。

### フォトニック結晶構造を用いた カラーフィルタ

そこで東芝は、材料物性ではなく、微細構造を採用することによって透過

率スペクトルを制御できるフォトニック結晶構造カラーフィルタの開発を行っています。

フォトニック結晶構造では、特定の波長の光だけが周期構造体と共鳴して反射や透過を起こします。今回は、特定の波長の光を透過させることができる誘電体多層膜と、特定の波長の光を反射させることができる導波モード共鳴格子の二つを組み合わせたカラーフィルタを設計しました（図3）。

### 誘電体多層膜を用いた RGBピークを選択

ある波長の光が波長と同程度の厚さの薄膜に入射すると、薄膜干渉により光が強め合ったり弱め合ったりする現象が起こります。透過光が強め合う条件となる膜厚のとき、入射した光は全て反射

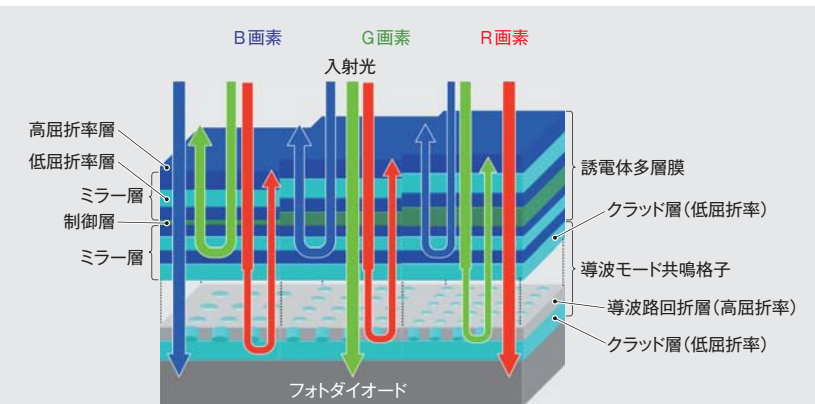


図3. 誘電体多層膜と導波モード共鳴格子— 誘電体多層膜と導波モード共鳴格子（回折格子+導波路）を組み合わせて、カラーフィルタを構成します。

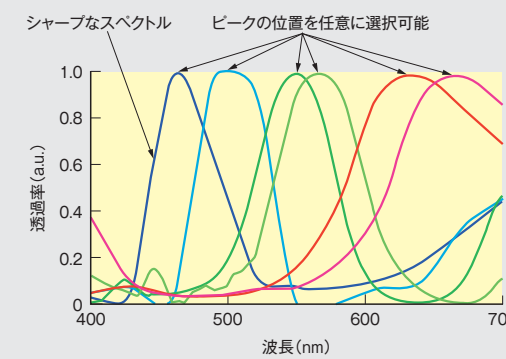


図4. カラーフィルタのスペクトルの例— 誘電体多層膜と導波モード共鳴格子の構造を最適化することで、任意のピークを持ち混色の少ないカラーフィルタを実現できます。

されます。この現象を利用して高屈折率と低屈折率の積層膜の膜厚を適正化することで、可視光領域全ての光を反射させるミラーを作ることができます。

一方、ミラー層内で透過光が強め合う条件となる制御層を1層設けることによって、任意の波長の光だけを透過させるカラーフィルタとなります。フォトダイオード上にR、G、Bそれぞれに対応した制御層を設けた誘電体多層膜をパターンニングすることで、RGBのカラーフィルタが実現できます（図3）。このとき誘電体多層膜は層数が多いほどシャープな透過率スペクトルとなり、混色を減らすことができます。しかし、層数を増やすとCMOSイメージセンサのピクセルサイズよりも厚いカラーフィルタになってしまい、RGBピクセル間で空間的に光が横に漏れて透過率スペク

トルとは関係のない混色を起こします。

### 導波モード共鳴格子を用いた シャープな透過率スペクトルの実現

この空間的な漏れ光による混色を防ぐために、層数を増やさずに透過率スペクトルをシャープにすることが必要になります。そこで、特定の波長に対して回折格子で曲げられ、かつ導波路中に閉じ込められる光が、再度回折によって反射光となるフォトニック結晶構造を用いた導波モード共鳴格子を、誘電体多層膜に組み合わせました（図3）。

例えば、G画素では回折格子の周期を赤色光が反射する条件とし、一方R画素では回折格子の周期を緑色光が反射する条件とすることによって、透過率スペクトルをシャープにすることができます。

### カラーフィルタの設計

誘電体多層膜と導波モード共鳴格子を組み合わせて、カラーフィルタの設計を行いました。

誘電体多層膜の厚さと材料、回折格子の形状（ホールパターンやラインパターン）、パターン周期、及び材料を変えて、厳密な波動解析に基づいた数値計算で透過率スペクトルを求めました（図4）。

構造を最適化することによってピーク的位置を450 nmから670 nmの範囲内で任意に選ぶことが可能で、透過率スペクトルがシャープなカラーフィルタを実現できることがわかりました。

また、試作品の透過率スペクトルの測定結果と計算結果が一致することも確認できました。

### 今後の展望

肉眼に近い色合いの画像を撮像できるCMOSイメージセンサの実現のために、誘電体多層膜と導波モード共鳴格子を用いたカラーフィルタの設計技術を開発しました。

今後は、CMOSイメージセンサへの搭載試作や低コストな製造プロセスの検討を行います。また、監視カメラやモーションカメラに必要な赤外波長領域のIR（InfraRed）フィルタや、色合いをより肉眼に近づけることができる4色以上のカラーフィルタにも応用できると考えています。更に、CMOSイメージセンサだけでなく、ディスプレイやプロジェクタなどの表示機器への展開も考えられます。

今野 有作

生産技術センター  
光技術研究センター研究主務