feature

光学フィルタ

フィルタスタックが、 波長シフトなく広角入射光を透過

ジェイソン・ケック

光学系で入射角に対する色の変化の問題を回避するために、薄膜コーティングしたフィルタ素子を様々なフィルタガラスのスタックで構成したフィルタで置き換えることができる。

広角イメージングシステムには、克服すべき問題がたくさんある。画面内対象物の形状歪は、重要な問題であり、これは「魚眼レンズ」的な見え方として認識されており、ソフトウエアで修正されることがある。とは言え、レンズ歪だけが問題ではない。

彩雲現象、つまり透過光や反射光の 色を異なる角度で見た時の変化は自然 でも見られる現象であり、精密色仕様 の人工光検出システムでも見られる が、ここには多くの問題が生ずる。

広角カラーセンシングアプリケーションでは一般に、入射角に関わらず波長を検出できなければならない。薄膜コーティングした光学素子の透過による彩雲現象は、周辺物体から来る光の透過スペクトルをひずませるのでそこでは問題となる。

帯域外の光を阻止しながら薄膜コーティングの透過帯域における光透過を最大化することが、誘電体フィルタのようなコーティングした光学コンポーネントの要件となる。ところが、波長の遷移は一般に、相対的に狭い円錐角内でしか維持されない。角度が5°以上になると、そのようなフィルタは彩雲現象の影響を受けやすくなり、色の変化、つまり「ブルーシフト」として観察される。フィルタに入射する光の角度が増すにつれて、光が伝播する個々の薄膜スタック層が多くなり、光学フィル

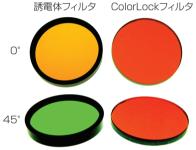


図1 薄膜誘電体フィルタは、入射角が0°から45°に変わると、急激な色の変化を示す(左)。一方、ColorLock広角フィルタスタックは、そのような色の変化は全く見せない(右)。(資料提供:レイナード社)

タスタックの見かけ上の全厚が変わり、 当初狙った設計パフォーマンスに影響 が出てくる。このため、そのようなフィ ルタは明るい照明の広角イメージング アプリケーションには適していないこ とになる。また、そのようなアプリケ ーションでは、全入射光の波長に一貫 性があることが強く求められている。

より複雑な広角イメージングソリューションの一つでは、カメラクラスタ、つまりポリカメラを使用する。これは昆虫の複眼のように、カメラが様々な方向に向いており、結果として得られた多数の画像をソフトウエアで一つの画像に組み立てる。個々のカメラに入射する光は狭い円錐角しか満たさないが、そのようなシステムは結果的に複雑になり、高価格になることは明らかである。

米レイナード社 (Reynard)のエンジニアは、このような問題に単一の光学

デバイスで対処してきた。デバイスは、2つあるいはそれを超える数のフィルタガラス層を組み合わせてスタック構成にしたシステムである。このColor-Lockフィルタスタックによって、入射角の増加にともなう波長シフトが無くなり、特定のシステム要件に適合するようにカスタマイズできる(図1)。

これらのフィルタの層の正確な組成と厚さはソフトウエアを使って決める。ソフトウエアは、フィルタ要件の最適値を推定するメリット関数を定め、これによってフィルタスタックを設計し、バンドパス、ショートパス、ロングパス、ユーザ指定の機能が決まる。入射角は、透過波長の変化に関わらず、50°までが可能である。一方、同じ条件を持つように従来のコーティングしたフィルタを増やそうとすると、短波長側に大きくシフトすることになる。

広角フィルタスタックの用途

このタイプのフィルタには多くのアプリケーションがある。デジタルイメージング分野では、広帯域でスペクトルエネルギー読み取りに使う色度計は、ディスプレイ機器のプロファイルや較正に使用され、ディスプレイエッジのピクセルカラーや強度がディスプレイ中央のピクセルのパフォーマンスと合致しているかどうかを検証する。

天文学、生物医学、蛍光イメージング、鉱物学では、ハイパースペクトルイメージングに多くの重要なアプリケーションがある。入射角は彩雲現象がほとんどないようにすることが重要で

ある。また、精密イメージング測定機 器に費用をかけて軌道上に打ち上げる 際には、フィルタは極限環境動作条件 に耐えられる堅牢さが不可欠である。

農業では、作物や食品生産物の色か ら重要な情報が得られる。作物の「植 生指数」(緑の色調を計測)を計測する 地球観測衛星の利用は新しいものでは ないが、無人飛行機の手頃な費用から 新たな可能性が展開された。無人飛行 機はGPSデータでプログラムして指定 された作付領域の上を固定パタンで飛 ばし、一定の間隔で広角画像を撮り、 作物の植生指数画像を作成する。その ようなアプリケーションで使用される 画像が、可能な限り彩雲現象による歪 がない正確なスペクトルデータを提供 できるなら、農業従事者は施肥レート を正確にコントロールし、効率と生産 性を大きく改善することができる。こ れは、低解像度、狭帯域衛星画像や従 来の有人飛行を利用した航空写真に対 して、大幅なコスト節約となる。

設計上の課題

そのようなフィルタスタックの設計では、複雑な要素が3つある。まず、フィルタガラスの選択肢が限られている。利用できるメーカーだけでなく、物理的にも限られている。あるアプリケーションにとって理想的なエッジカットオンまたはカットオフ波長を持つフィルタガラスは簡単に見つかるとは限らず、精密につくれない可能性もある。入手可能であっても、設計者には、今度は需要に応じて、メーカーが妥当な期間で提供できるかどうかという制限がある。これは、雪解けが何年に一回かは予定通りにならない可能性があるのと同様である。

第2の要素は、特定のアプリケーション用に完璧なフィルタガラスが存在 しないかも知れないが、要件に非常に

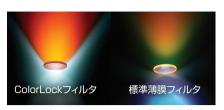


図2 広角フィルタスタック(左)と標準薄膜フィルタ(右)をその受光角の至る所から光を当て、角度応答の違いが分かるように見せている。

近いものが実現するには多くのベンダ が提供する他のガラスタイプを組み合 わせればよい。しかし、そのタイプが 数百あることだ。

第3の複雑にする要素は、ColorLock フィルタの設計は恐ろしく多次元的であり、最適化は一筋縄ではいかないと言うことである。物理的な製造要件の制約により、個別層を全て組み合わせた厚さが、結果として得られる光コンポーネントの全体的な厚さ要件を超えないようにすることは難しい。さらに、特殊なフィルタガラスタイプの選別にも制約がある。

レイナード社は、この複雑な設計プロセスをシステムの全ての要件を取り込んだソフトウエアを社内で開発することによって簡素化した。そのソフトウエアによって製造可能なフィルタ設計ができる。フィルタは、必要な材料が正確な厚さで各層に組み合わされている。

高耐久性で劣化のないコーティング

薄膜コートの光学素子よりもフィルタスタックを使うことの優位性には、広角性能(図2)と高い耐久性がある。ガラスそのものがブロッキング機能を持つので、極限的な環境の変化、汚染、取り扱いミスによるコーティング劣化の心配はない。フィルタスタックは、その材料となるガラスと同様の耐久性があり、強引な清浄法、厳しい摩滅、MIL-PRF-13830B、MIL-C-48497A、MIL-C-675Cなどの耐久性基準ごとの塩水噴霧試験、湿度、温度サイクルを切り抜けること

ができる。

全てのフィルタガラスタイプは、ほほ同じ屈折率であるので、光が内部の1つの層から別の層に伝播する際にフレネル損失は生じない。とは言え、どんなガラスでも言えるように、空気と基板との界面でコンポーネントに生ずるトータルのフレネル損失は約8%となる。

個々の空気と基板との表面に広帯域 反射防止膜(BBAR)を施すことで、こ の損失はほぼ除去できる。BBARのスペクトル範囲は、フィルタの機能スペクトル範囲よりも遙かに広くなるように 設計されているので、透過帯域の安定 性はフィルタ角度の変化に影響されない。インバンドパフォーマンスをより 急峻なエッジにする必要があるなら、 阻止コーティングを追加することもで きる。しかし、そうするとエッジの波長 における広角性能に影響が出る。

ColorLockフィルタスタックは、特殊設計波長では60%を超える透過となるように、紫外(UV)から近赤外までのスペクトル範囲で設計できる。この透過性能は誘電体フィルタほど高くはないかも知れないが、マシンビジョンなど、照明が制御されていて安定しているアプリケーションには十分である。このような場合、入射角からの波長の一貫性が、透過性よりも一層重要であるからだ。

多くの設計課題を克服したので、レイナード社はこのようなフィルタスタックが画期的なソリューションとして利用可能であると考えている。用途は、誘電体フィルタでは対処できないような広い入射角からの一貫性のある波長を必要とするもの、しかも誘電体フィルタの高い透過性の重要度が低い場合である。

著者紹介

ジェイソン・ケックは、レイナード社の技術ディレクター (San Clemente, CA)。 email: JKeck@reynardcorp.com URL: www.reynardcorp.com.