

分光法をスマートフォンに取り入れるためのフィルタアレイ技術

スティーブ・サックス

バイナリマルチスペクトル(BMS: binary multispectral)製造技術によって、マルチスペクトルのバンドパスフィルタアレイの量産が可能となる。

宇宙に存在するあらゆる材料に、それぞれ独自の光スペクトル特性がある。材料に既知の光を当てて反射を調べることによって、それを観測することができる。反射光のスペクトルには、その材料組成に関する情報が含まれている。色はそのような情報の1つの側面だが、人間が視覚できるのは、およそ400~700nmの範囲の波長(紫から赤)だけに限定される。

一連の色を含むこの範囲に隣接するのが短波近赤外領域(SW-NIR: short-wave near-infrared)で、およそ700~1100nmの範囲にわたる。SW-NIRは、身の回りの材料組成に関する情報の宝庫である。

偶然にも、安価でどこにでもあるシリコン光検出器はSW-NIRの光に対する感度が高く、身の回りの世界に関する目に見えない情報を一般消費者に提供できる可能性を秘めている。最大の課題はコストとサイズだが、技術の進歩によってそのような問題がまもなく解決され、不可視で重要な情報がスマートフォンに提供されるようになると思われる。

分子分光法とは、分子振動に対する光の作用を研究するものである。一般的な材料の多くは、電磁スペクトルの約3~50 μ mの波長範囲のIR(赤外)領域に分子振動の基本周波数がある。最も簡単な方法としては、既知の光源で材料に光を照射し、反射光または透過

光のスペクトル成分を分析し、測定したスペクトルを既知の材料のデータベースと比較して、そこから組成を予測する。

IR領域で直接測定を行えば、最も正確で詳細な結果が得られるが、波長が短くなると基本周波数の倍音または高調波が観測される。およそ900~1700nmの範囲を対象とする近赤外分光法(NIRS: near-infrared spectroscopy)は、かなり以前に学術的に確立され、産業界に導入された手法である。ベンチトップ型の計測器に基づくNIRSはこれまでに、農業、食品や飼料の加工、製薬、石油やガスの生産、材料加工といった多岐にわたる分野で活用されてきた。

シリコン検出器に基づく分光法はそれよりも新しい手法だが、民生製品の非常に厳しいコストとサイズの要件に比類なく合致する。シリコン光検出器やイメージセンサはこの10年間で、目覚ましい技術革新の恩恵を享受してきた。デジタルカメラ技術のこの10年間の進歩を見るだけで、スマートフォンのカメラにはほぼプロ並みの画質をもたらしたこの偉大な技術革新を十分に理解することができる。

技術革新の多くは画像処理とソフトウェアにおけるものだが、シリコンイメージセンサも目覚ましい進歩を遂げ、スペクトル検出に理想的なレベルにまで進化した。具体的には、裏面照射型イメージセンサ(BSI: backside

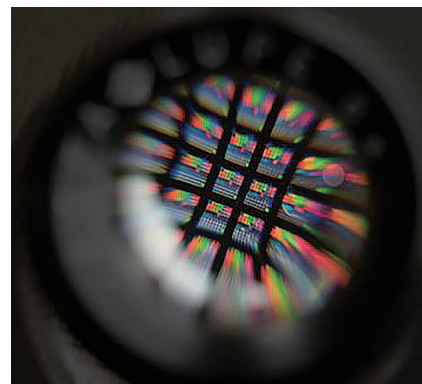


図1 8×8のバンドパスフィルタアレイを拡大鏡を通して見た様子。

illuminated imager)の登場によって、前面照射型イメージセンサでは一般的に25%だった有効集光面積が100%に増加した。最先端のイメージセンサメーカーからは現在、特殊用途向けのハイブリッドCCD-CMOSイメージセンサが提供されている。CCDの集光効率と電荷を保存する性質を、CMOSのオンチップ処理能力とともに利用するものである。このハイブリッドアーキテクチャによってCCD集光の深度も深くなり、NIR感度が高まって、可視域外の分光法にさらに適したイメージセンサが構成される。

スペクトルセンサを構成するには、波長を分離するための何らかの手段をイメージセンサに追加する必要がある。バンドパスフィルタのアレイをイメージセンサの近くに配置すれば、面積をほとんど増加させることなくこれを行うことができる。これに似た方法は、NASAの宇宙探査機でも採用されており、たとえば、冥王星を探査したニュー・ホライズンズ(New Horizons)

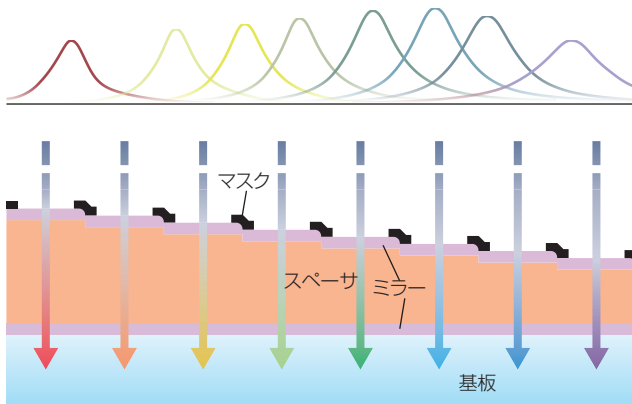


図2 マルチスペクトルフィルタアレイの断面を示す概念図。

は、この準惑星を覆うメタンと水でできた氷の画像を撮影している⁽¹⁾。

それよりも控えめな規模では、さまざまな企業が、バンドパスフィルタアレイをイメージセンサに直接蒸着するか、あるいは、ガラス上に蒸着してイメージセンサにボンディングすることを行っている。この手法の基本的な課題の1つがコストである。たとえば、64チャンネルのセンサの場合、アレイを作成するには64回のコーティングとパターニングを個別に行わなければならない可能性がある。各コーティング工程では、精密な薄膜フィルタの真空蒸着が行われるため、これだけの回数を繰り返さなければならないとすればスケラビリティの問題が生じ、製造コストは市場要件を大きく上回ってしまう。

バイナリマルチスペクトルフィルタ技術

米ビナビ・ソリューションズ社 (Viavi Solutions) は最近、このような用途に適した膨大な数のバンドパスフィルタで構成されるアレイを、経済的に製造するための手法を開発した。単一共振器のファブリ・ペロー (Fabry-Perot) フィルタにおける、厚さが可変のスペーサ層をバイナリ方式で付加的に製造していくもので、バイナリマルチスペ

クトル (BMS) フィルタ技術として知られる手法である。この手法ではまず、最初のミラーと最初のスペーサ (この厚さを d とする) が、基板上に蒸着される。基板はガラス、またはイメージセンサのシリコンウエハである。続いて、一連のパターニング済みのスペーサ層が蒸着される。各スペーサ層の厚さは $d/2$ 、 $d/4$ 、 $d/8$ というように1つ前の層の半分になる形で徐々に薄くなる。最後に2つめのミラーと必要に応じてブロック層が追加されて、構造が完成する (図2)。

製造効率の高いこの手法を採用すれば、64個のバンドパスフィルタで構成されるアレイ (図1) を、8回という少ないコーティング/パターニング回数で製造することができる。これにより、量産コストをスマートフォンの部品コスト (BOM: Bill Of Materials) の範囲内に抑えられる可能性がある。

ミクロンレベルの薄さの光学フィルタをイメージセンサのウエハ上に直接蒸着するのであれば、最終的なセンサ



図3 プリント回路基板に実装された小型マルチスペクトルセンサのプロトタイプ。

はイメージセンサそのものよりも大きくなることはない。ガラス上に蒸着してボンディングする場合は、全体的なチップの厚さは基板の厚さの分だけ増えることになるが、わずか $200\mu\text{m}$ 程度である。図3に、小さなプリント回路基板に実装されたプロトタイプセンサを示す。

水、砂糖、アスピリン、カフェインなど、多くの一般的な材料の光学特性が、シリコン検出器の範囲内で簡単に検出できる。これによってたとえば、食料品店に並ぶ果物の糖度や、粉ミルクの真正性や純度、週末に激しい運動をした後の体内の水分レベルなどが、スマートフォンのセンサによって測定できるようになる可能性がある。

分光計がスマートフォンに搭載されるようになれば、かなりの破壊的技術となる。消費者は近い将来、この新しい機能を利用してさまざまな科学的測定を自分でを行い、身の回りの材料組成について情報を得ることができるようになる。

参考文献

(1) K. Hendrix, "Spectral imager maps composition of Pluto" - see <https://goo.gl/Z9xxfT>.

著者紹介

スティーブ・サククス (Steve Saxe) は、米ビナビ・ソリューションズ社 (Viavi Solutions) の製品ライスマネージャー。旧社名は JDS ユニフェーズ (JDS Uniphase)。
e-mail: steve.saxe@viavisolutions.com URL: www.viavisolutions.com

LFWJ