Integration Insights

シングルチップでの SWIRと可視光のキャプチャを可能にする、 新しいセンサプロセス

ピオトル・パパジ

革新的な接合手法により、InGaAs赤外センサのスケーラビリティ、製造可能性、感度を高めることができる。

可視域と短波赤外域(SWIR)のハイパースペクトルイメージングにはこれまで、コストが高く、SWIR分解能が低い、マルチチップまたはマルチカメラのソリューションが必要だった。ソニーが開発した新しいプロセスは、革新的なCu-Cu(銅と銅)接合プロセスによってこの問題を解決する。

SWIR範囲(1000nm ~ 2000nm)のイメージングに対するニーズは、ここ数年で高まっている。SWIR波長用のセンサは、表面の下の様子を確認できるとして、食品検査などの業界で不可欠な存在となっている。例えば、リンゴの傷を早期に検出して、作物全体が悪くなるのを防ぐことができる(図1)。

同様に、物体で反射したSWIR波長の特徴(図2)により、有毒な食品汚染物質を検出し、それがサプライチェーンに混入するのを防ぐことができる(記事「Deep learning and hyperspectral imaging technologies team up for diseased potato identification」(ディープラーニングとハイパースペクトルイメージングの組み合わせによる、病気にかかったジャガイモの識別を参照、bit.ly/VSD-POT)。これは、複雑な母集合の中の少量の混入物質でさえも検出できる、非常に費用対効果の高い手段である。例えば、可視域(515、595、650nm)とSWIR(880nm)の4

つの波長を使用して、牛肉に混入する 馬肉を識別することができる(bit.ly/ VSD-HORSE)。

ハイパースペクトルイメージング技術が、将来の食品汚染を防ぐ上で重要な役割を担うことが予測される中、欧州連合(EU)や米国を含む多くの政府が、その可能性をさらに評価するために、さまざまなプロジェクトに対して承認や出資を行っているのも意外ではない。例としては、EUが支援するHyperaプロジェ

クト(bit.ly/VSD-EUFP)、米農務省(USDA)の農業研究事業団(Agricultural Research Service: ARS)の下で進められているキム・デルウィチェ氏(Kim Delwiche)の取り組み(bit.ly/VSD-US DA)、韓国政府が出資する粉ミルクに混入するメラニンを検出するための研究(bit.ly/VSD-MILK)などがある。

SWIR イメージングは、セキュリティや天文学の他、シリコンウエハやフラットパネルディスプレイの検査から



図 1 可視光では確認できない傷や欠点が(左)、SWIRイメージングでは強調して示される(右)。



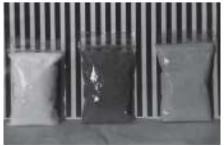
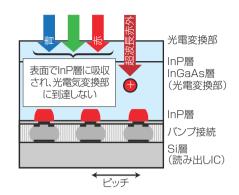


図2 化学物質は、それぞれ固有の波長域のSWIR光を吸収し、固有の吸収スペクトルを持つ。SWIRイメージングはこの性質を利用して、食品の中の汚染物質を識別する。左の画像は、(左から)塩、砂糖、ジャガイモでんぷんを可視光センサでとらえたもので、右の画像はSWIRセンサでとらえたもの。



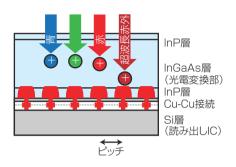


図3 左の図は、読み出しIC(ROIC) にバンブ接続された従来のInGaAs SWIRセンサの構造、右の図は、Cu-Cu接続を示している。

美術修復、薬物検出から自動運転車に 至るまでのさまざまな分野で有効性が 実証されており、脳腫瘍の視覚化や非 侵襲検出が可能であることも示されて いる(bit.ly/VSD-TUM)。

従来のSWIR センサの能力

従来、SWIR帯域の画像キャプチャは、可視光と同じセンサ技術では不可能だった(記事「Shortwave infrared enhances machine vision」(短波赤外線によるマシンビジョンの強化)を参照、bit.ly/VSD-SW)。可視光(400~700nm)の用途に対しては、一般的にCMOSイメージセンサが用いられる。可視光イメージセンサのピクセルピッチを急速に縮小することができる基板により、解像度はますます向上している。また、CMOSイメージセンサはデジタル出力を提供する。しかしCMOSイメージセンサは、1100nmを超える波長の光をキャプチャできない。

そのため、SWIRイメージングでは InGaAs技術が用いられる。しかし、既存のInGaAs技術は、解像度が低く、バンプ接合プロセスの性質に基づき、それ以上の小型化が難しい(図3)。加えて、この接合プロセスがアナログ出力を生成すること、また、従来のInGaAsセンサの構造が原因で、可視域の光が光電気変換層に到達しにくいという問題があった。

解像度が低く抑えられるだけでなく、可視光とSWIR光の両方をキャプチャできるハイパースペクトルカメラの構築にはコストがかかっていた。以下では、新しいプロセス技術によって、3つの主な制約(解像度、感度、アナログ出力)が解決できることを紹介する。

解像度の向上

InGaAs層(光電子変換が行われるところ)と読み出し回路(Si層)の間の従来のバンプ接続に起因する、解像度と小型化の問題は、フォトダイオードアレイ(PDA)のIII-V族InGaAs/InPとSi層の間に、Cu-Cuハイブリダイゼーションを採用することにより、解決できる。

この新しい手法は、2019年12月に 開かれたInternational Electron Device Meeting (bit.ly/VSD-IEDM20) において、ソニーの研究者チームによって初めて概要が示された(bit.ly/ VSD-SWIR)。これにより、次世代の SWIR センサのピクセル密度を高める ことができ、より小さなセンサと高い 解像度の実現が可能になる。

従来のバンプ接合プロセスを採用する SWIR チップのピクセルピッチは、約 10μ mである。一方、新しい技術に基づく第1世代のSWIR センサのピッチは 5μ mに縮小され、同じ面積あたりのピクセル数は4倍となって、

SXGA (1296×1032) 解像度の SWIR センサを 1/2 タイプ (8.2mm) のフット プリント、 VGA (656×520) の解像度 のセンサを 1/4 タイプ (4.1mm) のフットプリントで実装することができる。

感度の向上

SWIR光と可視光の両方を同一センサでキャプチャできれば、ハイパースペクトル画像を必要とする用途のコストが抑えられる。InP層の厚みを減らすことにより、これが可能である。従来のセンサでは、InP層の厚みが、それを透過する可視光の量を制約する最大の要因だった。

InP層が薄いと、それに吸収される可視光が減少し、その下のInGaAs層まで可視光が到達することで、 $0.4 \sim 1.7 \mu \text{m}$ という広い波長範囲でのイメージングが可能となる $(400 \sim 1650 \text{nm}$ で相対量子効率は70%以上)。また、InP層が薄いことで、SWIR波長の相対量子効率も高まり、 $900 \sim 1600 \text{nm}$ の波長の光の90%以上がInP層を透過する (図4)。

この改良によって、センサはSWIR と可視光の両方のハイパースペクトル 画像をキャプチャすることができ、イ メージカメラシステムの処理負荷と、 マルチセンサのソリューションと比べ た場合のシステム全体のBOM (Bill Of Materials) は大きく低減する。

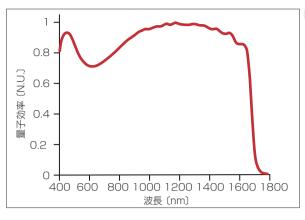


図4 InP層を薄くすることに より、短い(可視域の)波長が InGaAs層に到達して検出可能 となる。

結論

Cu-Cuハイブリダイゼーションへの移行により、InGaAsセンサはデジタル変換回路を使用することなく、デジタル信号を出力できるようにもなる。これにより、設計が簡素化されるだけでな

く、この技術を採用するSWIRカメラ に現行の産業用CMOSイメージセンサ と同等の性能を持たせることができる。

ハイパースペクトル技術とSWIR技術は、食品や農業の品質検査や汚染検出に多大なメリットをもたらすが、美

術修復や薬品や自動車など、幅広い業 界で利用することができる。

バンプ接続をCu-Cu接合に置き換えることにより、従来のInGaAsセンサの制約を大幅に改良することができる。ピクセル密度は4倍になり、シングルチップでのSWIRと可視光のキャプチャが可能になり、デジタル出力が得られる。

ソニーは、この技術に基づく初めての SWIR イメージセンサ2種類を、7月から提供開始している (bit.ly/VSD-SONY)。

著者紹介

ピオトル・パパジ(Piotr Papaj)は、ソニー・ヨーロッパ(Sony Europe)の欧州コミュニケーションズマネージャー。URL: www.sony.com

USD.

