

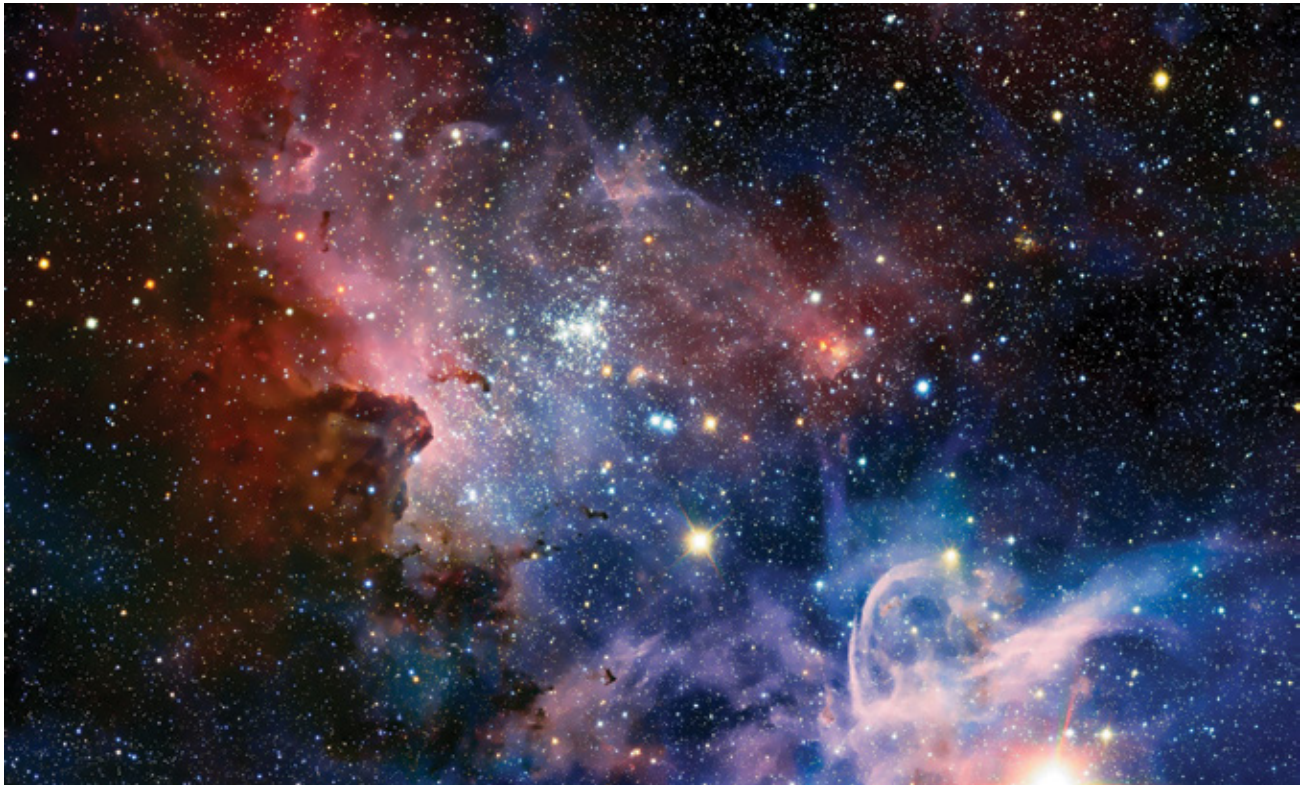
ラージフォーマットイメージセンサーが未来を形作る

ラージフォーマットイメージセンサーは、可能な限り最大の領域にわたって最大の画像データを取得するのに優れています。いくつかの条件が付帯します。

TELEDYNE e2v: JOSÉ ÁNGEL SEGOVIA
TELEDYNE PHOTOMETRICS: MATTHEW KÖSE-DUNN 共著

概要

センサーメーカーは、ピクセル数を増やしながらピクセルサイズを小さくすることで、解像度とパフォーマンスを向上させることを継続的に追求してきました。ただし、一部の用途では、厳しい条件下で画像を得るためには、ラージフォーマットセンサーのスケールと独自のアーキテクチャが必要となります。



ラージピクセル (>10 μm) を組み込んだラージフォーマットイメージャーの使用は、天文学用または画素間の照明に大きな違いがあるか、ラージピクセルのみにより感度が充足できる感度が極めて重要な用途に通常は限定されています。
Teledyne社提供。

天文学、生体内イメージング、X線、および顕微鏡などのアプリケーションによく使用されているラージピクセルを組み込んだラージフォーマットセンサーは、画素間で照明に大きな違いがあり、感度がラージピクセルのみにより充足できる用途において要求されています。ここで、ラージ (Large) とは、10 μm を超える寸法と定義されます。

CCD または CMOS

マシンビジョン業界での長年の議論は、CCD（電荷結合素子）対CMOS（相補性金属酸化型半導体）イメージセンサーの比較メリットを中心に展開しています。過去に、CCDセンサーは高品質のイメージングということでCMOSよりも優れていると考えられていました。しかし、携帯電話カメラ用のCMOSセンサーへの巨額の投資に後押しされて、CMOSが現在主流の技術になっています。実際、Sony社は2015年にCCDの生産を終了、そして2026年にCCDのサポートを終了します。

それでもなおCCDセンサーは、高い量子効率と低い暗電流を提供する分光法など、特定の用途にはメリットがあります。これにより、CCDセンサーはより長い露光時間が必要な場合に最適な選択肢の一つになっています。ただし、CCDセンサーは通常、読み取り時間が遅く、ノイズが高いため、高速イメージングまたは単一分子レベルの感度を必要とする用途での使用は制限されます。CMOSテクノロジーはまた、同等の暗電流を提供しながら、CCDセンサーの高い量子効率に整合するように進歩してきました。CMOSのテクノロジーは複雑であるため、以前は一層ラージフォーマットに拡張することが困難でしたが、技術的な進化によりこの欠点が克服されました。

ラージフォーマットセンサーは、CMOS対CCDの議論に独自のひねりを提示します。大型センサーが使用される光不足のアプリケーションの多くは、長時間露光中の暗電流を減らすためにセンサーを冷却する必要があります。これらの大型センサー、特にCMOSチップの熱管理は困難であるため、CCDはより長い露光時間を必要とするアプリケーションにより適しているように見えます。

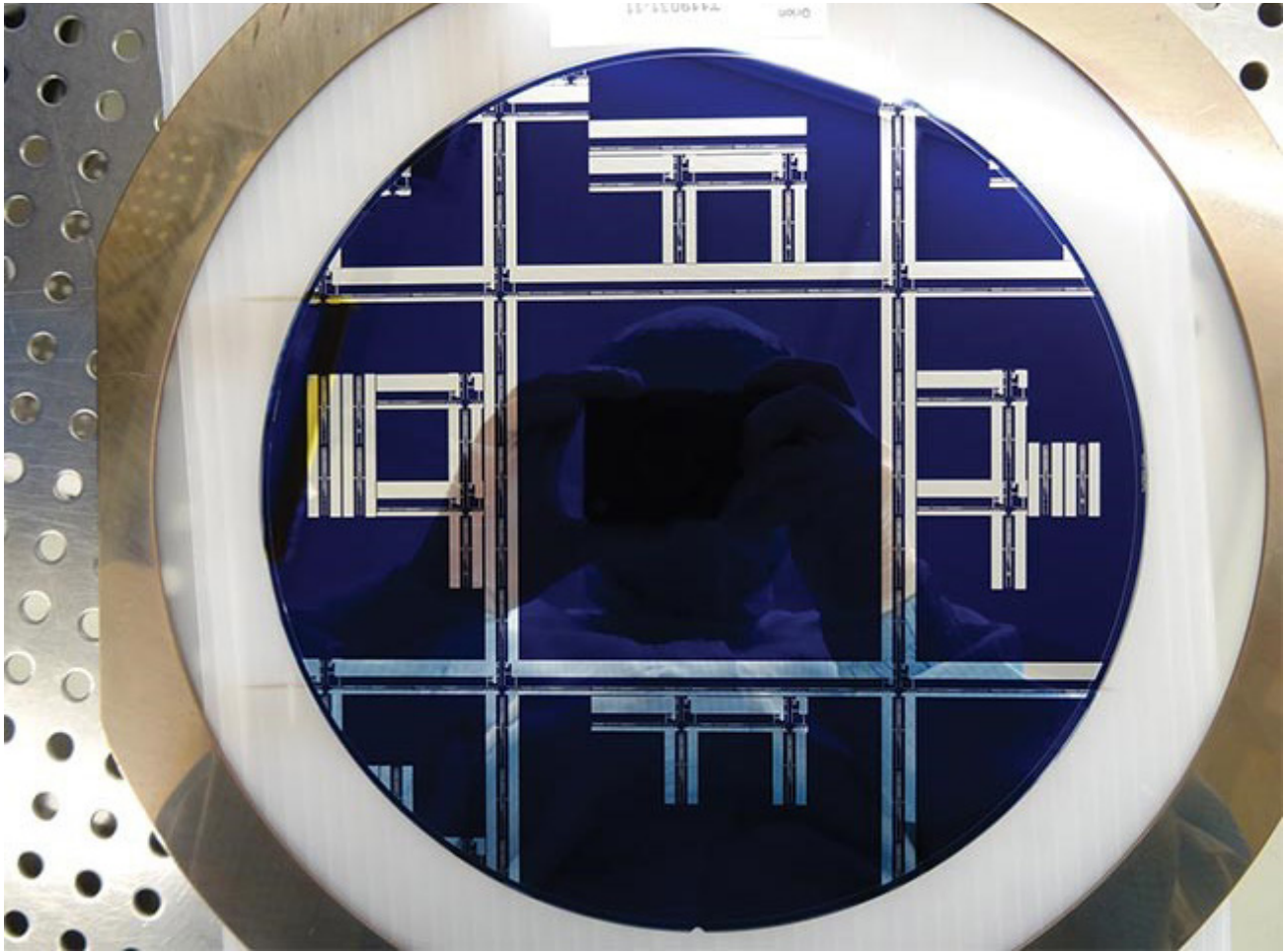
低電力取得モードを備えたラージフォーマット低ノイズCMOSイメージセンサーの開発に、過去数年間大きな進展がありました。この開発は、長時間露光モードの消費電力を劇的に削減し、それに応じて暗電流を削減する可能性をもたらします。

加えて、大型CMOSセンサーのグロー効果を軽減するための新しい技術が開発されました。この効果は、アクティブなバイアス条件下でセンサー自体が少量の光を放出するため、暗電流の削減を制限する可能性があります。Teledyne社とそのパートナーは、センサーが生成する光を遮断する浅いトレンチとアルミニウム層の使用を通じて、暗電流の生成とその影響を低減する技術を共同開発してきました。

ラージフォーマットの利点

世界があらゆる物をより小さく、より速く、より安くするために動いているのに、なぜいまだにラージフォーマットセンサーが好まれるのでしょうか？利点は何でしょうか？

小型センサーは、スモール (Small) ピクセルを使用しています。ただし、このようなアーキテクチャは、画素間で照明に大きな違いがあるアプリケーションや、感度がラージピクセルでのみ実現できる重要なパラメータであるアプリケーションではうまく機能しません。ラージピクセルは、より高いフルウェルキャパシティ（飽和容量）を提供することができ、読み取りノイズが低いダイナミックレンジを拡大します。



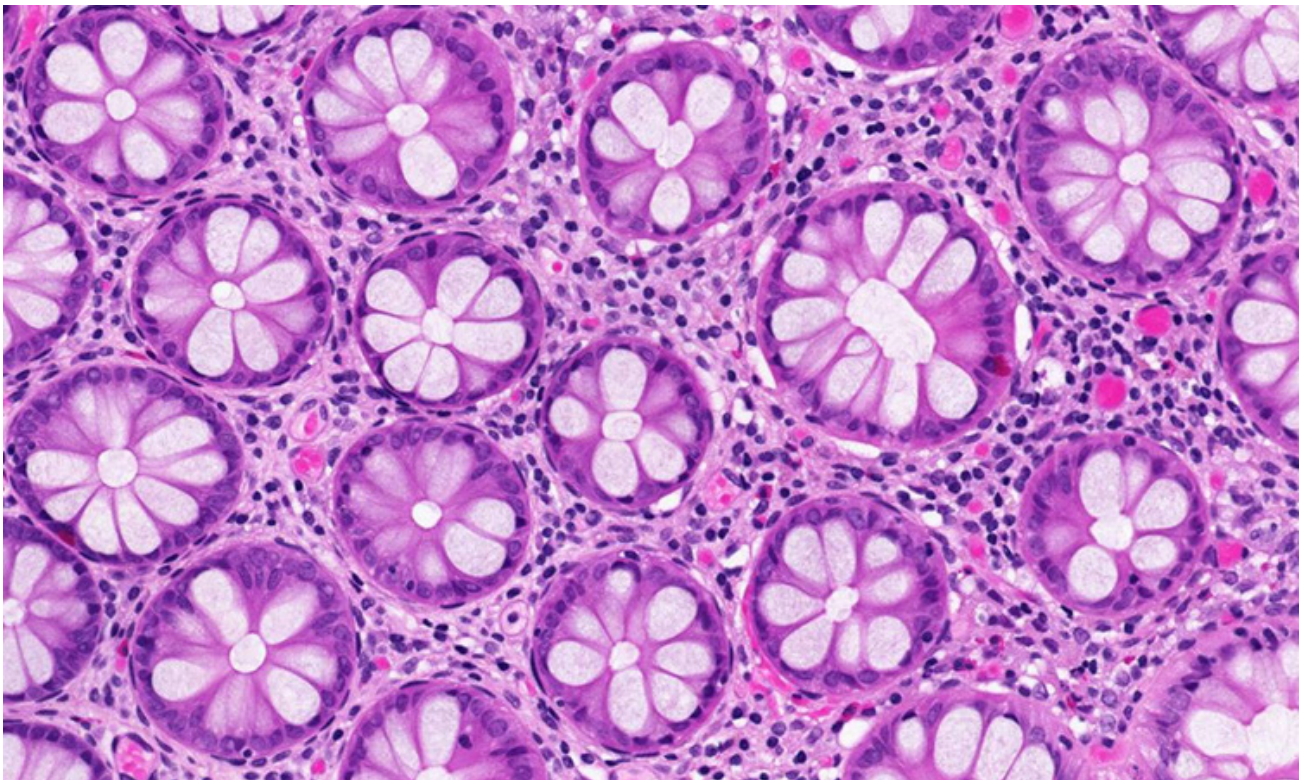
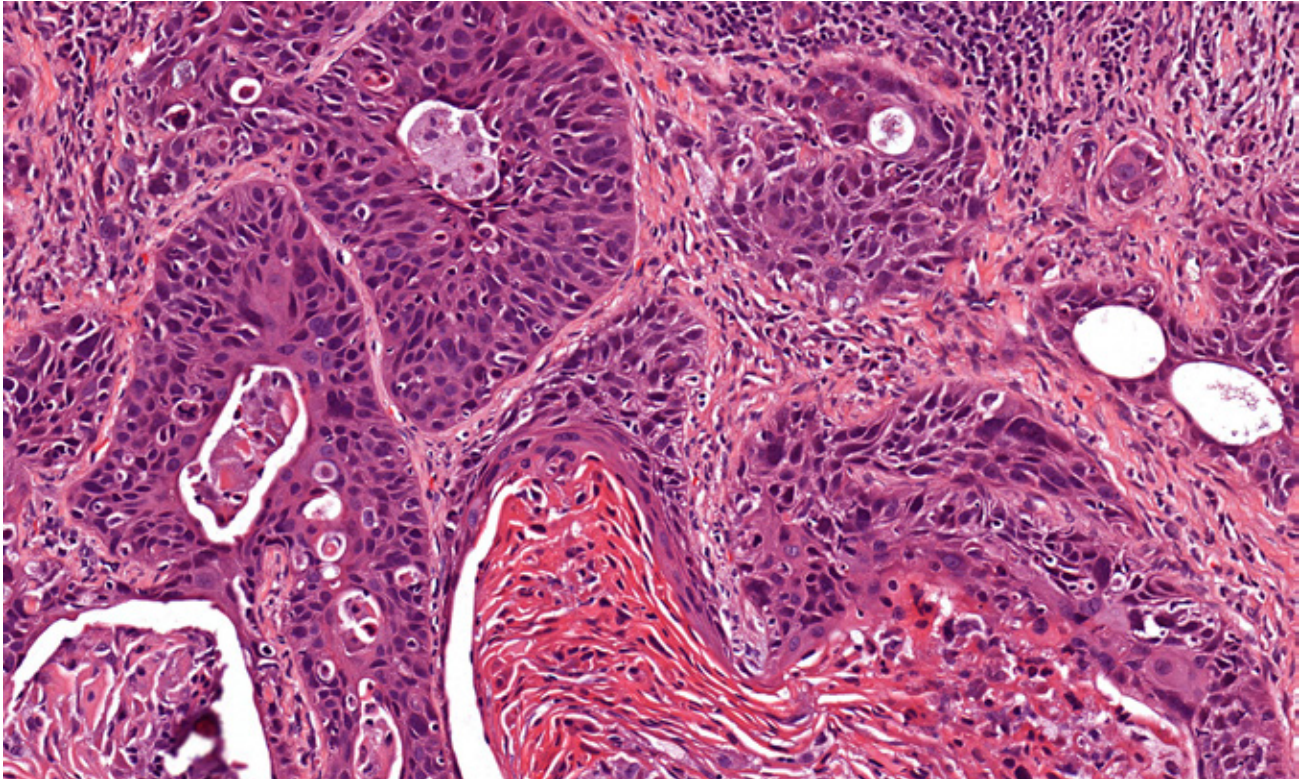
チップスケールのデバイスとは異なり、ラージフォーマットイメージングセンサーはウェーハスケールの欠陥に非常に敏感です。センサーサプライヤーは、自動車市場で使用されているものよりもさらに厳格に製造性を考慮した設計 (design-for-manufacturing) を採用することにより、これらの欠陥の潜在的な影響を軽減します。Teledyne社 提供。

ラージフォーマットイメージャは、小型センサーでは実現出来ないことを、いくつかの方法にて可能にします。より高度なセンサーインテグレーションが可能なのに加えて、ピクセルサイズに応じて、より広い視野内でより高い解像度を可能にすることもできます。これは、顕微鏡、天文学、X線イメージングなど、大きなサンプルを高解像度で撮像する場合に重要です。ピクセル数の多いセンサーは、高い画質を維持しながら画像を拡大することもできます。

大型センサのトレードオフ

ピクセルサイズが小さいということは、ピクセルごとに取得される光子が少ないことを意味します。したがって、センサー上のピクセルのサイズは、その感度と直接相関します。センサーの面積はピクセルサイズの二乗であるため、ピクセルサイズのわずかな変化は、感度の高低に大きく影響します。低い感度を適切な照明で補う事ができるマシンビジョンの用途では、感度はそれほど重要ではないかもしれませんが、アクティブ照明が不足するセンシングや科学用途には、感度は重要な要素となります。

ただし、ラージフォーマットセンサーにもいくつかの欠点があります。チップの歩留まりと梱包費用により、複数の小型センサーを使用する場合と比較しても、通常コストは高くなります。



前臨床生体内イメージングは、より大きなセンサーとより大きなピクセルサイズによりメリットが得られます。これは、各フレーム内で被写体全体を撮像できるだけでなく、より大きなピクセルによって最大量の光を取り込むことができるためです。前臨床生体内イメージングは、利用可能な光によって大幅に制限されるため、この方法ではイメージングの露光時間が長くなります。したがって、このようなイメージングにはラージフォーマットCCDセンサーやカメラが頻繁に使用されます。

Teledyne社提供。

チップスケールセンサーは、ウェーハの欠陥に対する感度も低くなります。ウェーハ上の単一の欠陥が単一の不良デバイスを生成する可能性があります。小さいセンサーを同じウェーハからの別のセンサーに置き換えることができます。対照的に、ウェーハスケールセンサーの交換には、まったく新しいウェーハと製造プロセスが必要になります。パッケージ仕様を維持するために必要となる設備はより高価であるため、ラージフォーマットイメージャもより高いパッケージコストを招くことになります。さらに小型センサーの市場規模は大きく、生産コスト面でスケールメリットが出るのが普通です。

インテグレーションに及ぼす影響

ラージフォーマットセンサーのサイズは、必ずしもインテグレーションに影響を与えるとは限りません。ピクセル数が多いからといって、センサーの物理的な寸法が大きいとは限りません。たとえば、キヤノンの250 MPセンサーは、実際には一般的なフルフレームセンサーよりもサイズが小さいため、既存の光学系やレンズと簡単に統合できます。望遠鏡の大きな焦点面で使用する場合や、X線アプリケーションなど光学系を使用せずに何かを直接撮像する場合は、より大きなセンサーが有益であることが多いです。

ただし、ラージスケールセンサーのインテグレーションには、設計時に考慮しなければならない事があります。

前述のように、ウェーハスケールセンサーはウェーハの欠陥に非常に敏感であるため、生産収率が重要な要素として考慮されます。Teledyne DALSA社およびその他のセンサーサプライヤーは、自動車市場で使用されているものよりもさらに厳しい製造性を考慮した設計 (DFM) を採用することにより、ラージスケールセンサーの信頼性を高めています。さらに、特許で保護された冗長化技術を使用して、アナログデジタルコンバーターおよび周辺センサー回路の歩留まりの信頼性を向上させています。

ラージフォーマットのアプリケーション

ラインスキャンカメラは、プロトコルが明確に定義されており、費用対効果が優先されるコンベヤーベルト上の商品の検査などのアプリケーションによく好まれています。可能な限り広い領域でデータキャプチャを最大化する必要があるイメージング作業には、ラージフォーマットセンサーが必要です。

たとえば、前臨床生体内イメージングでは、センサーとピクセルサイズを大きくすることからメリットが得られます。各フレーム内で被写体全体を画像化できるだけでなく、ピクセルを大きくすると最大量の光を取り込むことができるためです。前臨床生体内イメージングは、利用可能な光によって大きく制限されるため、この実践方法ではイメージングの露光時間が長くなります。したがって、ラージフォーマットCCDセンサーおよびカメラは、そのようなイメージングに頻繁に利用されます。

実際、ラージフォーマットイメージセンサーのサイズは、用途により大きく変わります。たとえば、電子顕微鏡に使用されるセンサーにはサイズに制限があります。センサーが大きいほどより詳細がわかりますが、正確な焦点を合わせるために顕微鏡から遠くに配置する必要があり、センサーサイズに物理的な制限がかかります。

3次元 (3D) スタッキング技術は、イメージセンサーの寸法を拡張するための新しい代替手段です。これは、ピクセルアレイの下にあるすべての周辺回路を統合する可能性を提供し、複数の小さなデバイスで構成される隣接して突き合わされたラージスケールイメージセンサーを作成する新しい機会をもたらします。現在の設計では、片側あたり約200 μm の不感帯がありますが、継続的な進歩により、あと数年間でこの面積は減少し、不感帯がほぼゼロのデバイス製造ができる可能性があります。

イメージング技術のアプリケーションが進化するにつれて、これらのアプリケーションを可能にするセンサーやカメラも進化します。遺伝子治療から天文学に至る広範囲の使用は、ラージフォーマットセンサーの限界を押し広げ、研究開発を通じてさらに大きな技術的進歩につながるでしょう。

著者紹介

José Ángel Segovia 氏は、Teledyne e2v社のシニアプリンシパルエンジニアであり、イメージセンサーの技術開発を担当しています。彼はこのトピックに関するいくつかの論文を執筆しており、最先端のセンサー開発に貢献しています。

Matthew Köse-Dunn博士は、Teledyne Photometrics社のコンテンツマネージャー兼アプリケーションスペシャリストです。彼は、顕微鏡学、ライフサイエンス研究、およびコンテンツ生成の専門知識を持っています。また、Teledyne社の「ScienceOffCamera」ポッドキャストを主催しています。

この記事は、Photonics Spectra に以前掲載されたものです。