

画像検査機器の高速化・高性能化に貢献する CCDリニアイメージセンサー TCD2400DG

TCD2400DG CCD Linear Image Sensor for High-Speed, High-Performance Image Inspection Equipment

板寺 龍義 ITADERA Tatsuyoshi 松浦 正和 MATSUURA Masakazu 樽木 久征 TARUKI Hisayuki

リニアイメージセンサーは、コピー機などのOA機器だけでなく、工業・農業分野で不良・欠陥品検出を行う画像検査機器にも使用されている。このような用途では、高精細な画像を高速に取得することが求められる。高速化には、リニアイメージセンサー自体の性能向上に加え、駆動回路や、出力信号の増幅回路など、外部のAFE(アナログフロントエンド)への対策も重要である。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、画素部の高感度化・電荷転送の高速化・SN比(信号対雑音比)向上などの技術の開発や、AFEの一部の内蔵化により、ラインレートを従来機種種の約2倍の22.7 kHzに高速化したCCD(電荷結合素子)リニアイメージセンサー TCD2400DGを実現し、2025年12月に製品化した。

Linear image sensors have been widely used not only in office automation systems, including multifunctional peripherals (MFPs), but also in image inspection systems for detecting defects and faulty items in industrial and agricultural applications. To enable rapid acquisition of high-resolution images, linear image sensors for visual inspection must be able to address external analog front-end (AFE) components, such as timing generators, drive circuits, and output amplifier circuits, in addition to enhancing sensor performance.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has developed the TCD2400DG charge-coupled device (CCD) linear image sensor, which achieves a line rate of 22.7 kHz, approximately double that of conventional products, by enhancing the sensitivity of CCD pixels, accelerating charge transfer, improving the signal-to-noise (S/N) ratio, and incorporating part of AFE circuits that were externally mounted in conventional products. The device was released in December 2025.

1. まえがき

イメージセンサーは、画素が2次元に配置されたエリアイメージセンサーが一般的である。一例として、4Kテレビ向けのイメージセンサーは3,840画素×2,160ライン(約829万画素)であり、一度に面全体を撮影する。それに対して、リニアイメージセンサーは画素が1次元の配置である。

例えば、リニアイメージセンサーを使ったラインスキャンカメラは、1ラインずつ連続撮影したものをつなぎ合わせることで画像を生成する(図1)。これは医療用CT(コンピューター断層撮影)スキャンの考え方に近く、ベルトコンベヤーで移動する物体や自由落下する物体を、高速かつ高精度に検査する用途に適している。

その代表的な応用先として、農業分野で色彩選別などを行う画像検査機器が挙げられる(図2)。この分野には、東芝デバイス&ストレージ(株)製リニアイメージセンサーの従来機種種であるTCD2564DGも使用されており、ラインレート(1 s間に読み取るライン数)は10.5 kHzである。ラインレートが高くと、より高精細な画像が得られ、検査性能が向上する。

近年、世界的な穀物品質の向上要求や人件費の高騰に

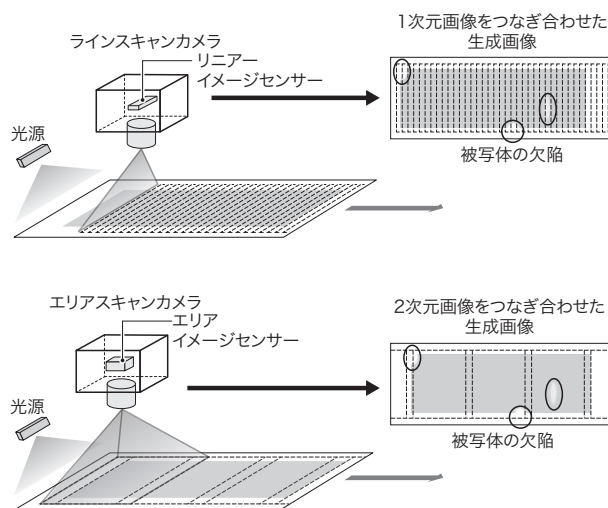


図1. センサーの種類によるスキャンカメラの違い

リニアイメージセンサーは、1ラインごとの画像を順次つなぐため、移動する被写体を連続して撮影する場合に向いている。エリアイメージセンサーでは、2次元画像のつなぎ部分の調整が必要になる。

Differences in operating mechanisms between linear and area image sensors

伴って画像検査機器の需要が増加しており、更に高速な処

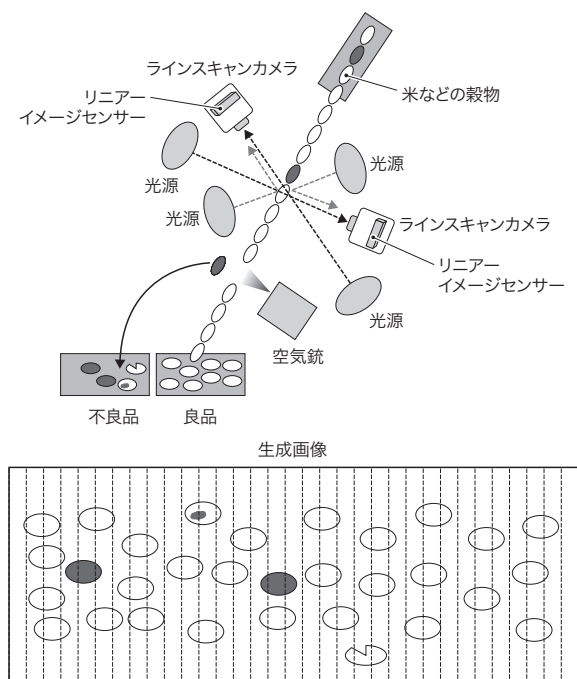


図2. 画像検査機器の例

リニアイメージセンサーを内蔵したラインスキャンカメラは、ベルトコンベヤーを使った画像検査機器以外にも、落下中の米などの穀物を撮像して良品と不良品を色彩選別する装置などに採用されている。

Example of image inspection system application in color sorter

理性能が求められている。この背景から、より高いラインレートを実現するリニアイメージセンサーの開発が強く要望されている。

イメージセンサーの種類は、信号の転送方式によりCCDとCMOS(相補型金属酸化膜半導体)に大別される。CCDイメージセンサーは、入射光を電荷に変換する画素部、電荷を転送するCCD部、及び電荷を電圧に変換・増幅して出力する出力部から構成される。CMOSイメージセンサーとは異なり、画素ごとの出力回路を持たないため、画素間のばらつきが少ない画像を得られることが大きな特長である。

しかし、高速化には幾つかの技術課題がある。まず、ラインレートの高速化による露光時間短縮に対応した画素部の高感度化や、電荷転送や出力回路の高速化といったセンサー自体の性能向上が不可欠となる。また、AFEなどの外部回路を使って、多数の駆動信号を生成するタイミングジェネレーター(TG)や、信号ごとに最適化されたCCDドライバーが必要であり、高速化には、これらの信号の精密なタイミング調整や、駆動信号配線によるEMI(電磁干渉)対策も、重要な要素となる。

今回、これらの課題を解決して22.7 kHzの高ラインレートを実現したTCD2400DGを開発し、2025年12月に製品化し

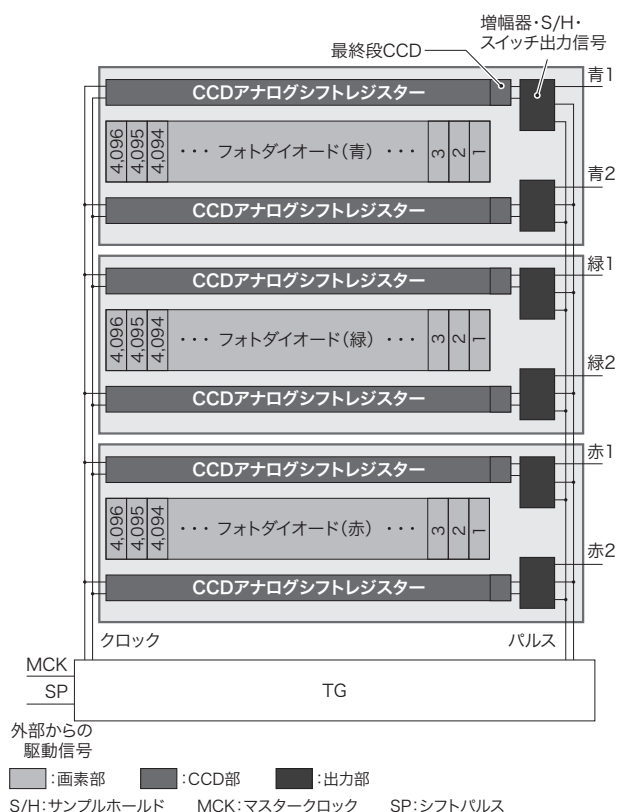


図3. TCD2400DGの主要部概要

入射光の青・緑・赤の3色それぞれに対応して、画素部、CCD部、及び出力部で構成した。

Main components of TCD2400DG

た。ここでは、TCD2400DGの高速化技術について述べる。

2. 高速化技術

TCD2400DGの概要を図3に示す。画素部には青・緑・赤それぞれ4,096個のフォトダイオードがあり、得られた電荷を、各色二つのCCDアナログシフトレジスター(CCD部)へ交互に振り分け、順次転送して最終段CCDを経て、計6個の出力部から出力する。信号を高速かつ安定に出力するために、画素部・CCD部・出力部の各部について、次のとおり技術開発を行った。

2.1 受光部の高感度化

ラインレートの高速化により受光部の露光時間が短くなるため、受光部が従来機種 TCD2564DGと同じ感度であれば、光源照度の向上が必要になる。

そこで、画素開口部の反射防止膜を最適化し、出力部での増幅率向上と合わせて、従来機種の8.9 V/(lx・s)を約1.9倍の16.6 V/(lx・s)に高感度化した。これにより、従来と同じ光源を使用可能になり、画像検査機器のBOM(Bill Of Materials)低減にも寄与する。

2.2 電荷転送の高速化

現在製品化されている高速CCDリニアイメージセンサは、4.7 μm の画素ピッチが主流である。TCD2400DGは7 μm の長ピッチであり、CCD内の電荷転送距離が長くなるため高速化には不利である。そのため、電荷を次のCCDに転送するデータレート的高速化が大きな課題である。

高速データレートを実現するため、フリンジ電界効果を得やすいCCD埋め込みチャネル(CCDの電荷が、シリコン表面ではなく、表面直下に埋め込まれたチャネル中を転送される構造)を開発した。

CCD埋め込みチャネルを作成するため、トランジスターを形成する前に埋め込みチャネルを高温で拡散する工程を追加し、トランジスター特性への影響がないプロセスにした。

更に、CCDの蓄積部とバリア部のレイアウト形状と内部段差を最適化することで、電荷転送時間とトレードオフの関係があるCCD飽和出力電圧の低下抑制も実現した。

2.3 最終段CCDにおける電荷の2系統への振り分け

高ラインレートでも出力信号のSN比を低下させないために、CCD部で転送した電荷を2系統に振り分け、各系統の動作周波数を下げて出力部へ送る方式を採用した。

具体的には、50 MHzで転送した電荷を、各CCD部の最終段CCDで順次奇数番目と偶数番目の2系統に振り分け、それぞれ25 MHzにする。更に、振り分けの際に電荷の取り残しが発生しないように、レイアウト形状と電位分布の最適化を実施し、電荷転送効率に損失のない構造を実現した(図4)。

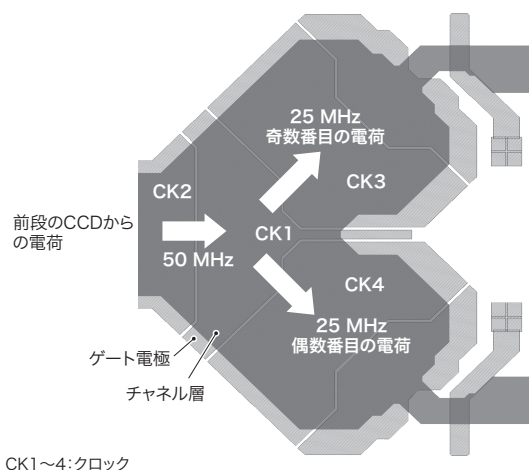


図4. 最終段CCDにおける電荷の2系統への振り分け部の構造

50 MHzで転送した電荷を、各CCD部の最終段で順次、奇数番目と偶数番目の2系統に振り分ける構造を採用し、それぞれ25 MHzで出力部に渡せるようにした。

Structure of CCD final stage to optimize even and odd pixel charge separation

2.4 パラレル-シリアル変換によるSN比向上

CCDリニアイメージセンサは、取り扱う信号が非常に微弱であり、信号とノイズのレベルが近くなる。センサ外部のAFEで出力信号を増幅すると、ノイズ成分まで増幅されてしまうため、センサ内の出力部で信号を増幅する構成にした。

これにより、ノイズを抑えた状態で信号を増幅することで、AFEでの増幅率の最小化を可能にして、SN比を向上できる。しかし、センサ内の出力部では、アナログ信号を増幅して扱うことから、信号電圧範囲が広く、信号遅延時間が大きくなるため、高速動作には不向きである。

そこで、2.3節で述べたとおり、CCD部の最終段で電荷のスピードを50 MHzの1/2の25 MHzとして出力部に送る。出力部では、信号を増幅した後、過渡状態を過ぎてからS/H(サンプルホールド)して、S/Hの後に、2系統の信号をスイッチで一つに統合して50 MHzで出力する、パラレル-シリアル変換方式を採用した(図5)。

この結果、高ラインレートでも出力部の増幅率とSN比の向上を実現した。ランダムノイズは、従来機種 TCD2564DGの1.9 mVに対して、TCD2400DGでは1.7 mVと改善した。

2.5 TGの内蔵

CCDリニアイメージセンサを駆動するためには、駆動信号として、画素部からCCDへの電荷取り出しと、取り出した電荷を出力部まで転送するためのクロック、及び出力信号を生成するための複数のパルスが必要である。

従来は、これらの駆動信号を外部で生成し、それらをセンサへ入力する方式が一般的であった。しかし、電荷転送構造の都合上、駆動信号には5 Vの振幅が必要であり、専用のCCDドライバーが必須となる。このため、基板上には多数の5 Vの配線が必要になり、更に高速化が求められると駆動信号の周波数が高くなることから、信号間の位相関係を精密に

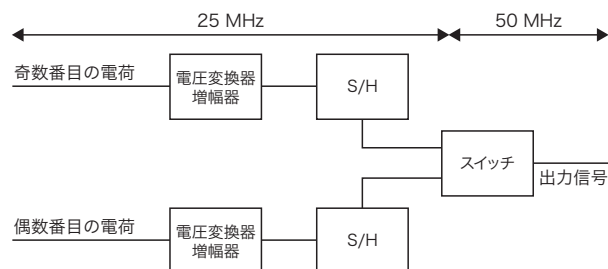


図5. 出力部の概要

最終段CCDで2系統に振り分けた25 MHzの電荷の信号を、出力部で増幅・S/Hし、スイッチで一つに統合することで、電気的特性を維持しながら50 MHzの高ラインレートを実現した。

Block diagram of CCD output amplifier circuit

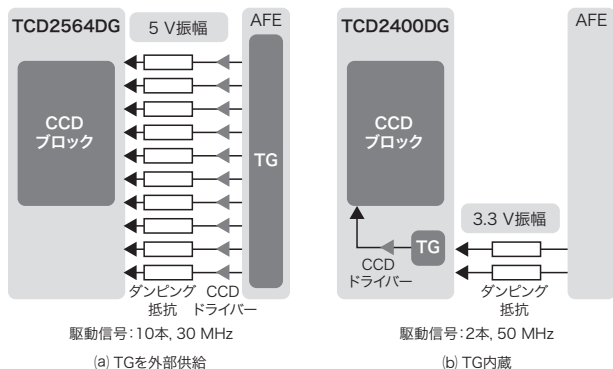


図6. TG外部供給とTG内蔵の比較

TGの内蔵により、駆動信号間の位相関係を精密に確保できた。また、外部からの駆動信号の本数と振幅の削減を実現でき、EMI対策を含めた搭載機器の基板設計の負担を軽減する。

Comparison of externally connected and internally mounted timing generators in CCD products

保つことが難しくなり、基板設計の負担が増大していた。また、配線数や高振幅駆動信号の増加に伴って、EMIの問題も大きくなり、その対策も必要であった。

開発したTCD2400DGは、高速動作に対応するために必要な精密な位相関係を持つ駆動信号を、センサー内のTGで生成する方式を採用した。これにより、外部から入力する駆動信号は、マスタークロック(MCK)とシフトパルス(SP)の計2本だけになり、大幅な削減を実現した(図6)。更に、内部設計を工夫することで、入力する駆動信号の振幅を3.3Vで動作可能とし、従来製品より小さい振幅で駆動できる構成とした。

その結果、外部の駆動信号間のタイミング調整はほぼ不要となり、基板設計の負荷が軽減された。また、入力する駆動信号の振幅が3.3Vに低減されたことでEMIの発生自体も抑えられ、機器全体の品質向上にも寄与する。

3. 高ラインレートの実現

2章で述べた高速化技術により、従来機種 TCD2564DG では30 MHzだったデータレートを50 MHzに向上させ、ラインレートはTCD2564DGの10.5 kHzに対して、22.7 kHzと2倍以上の高速化を実現した。高ラインレート化により、TCD2400DGを搭載した画像検査機器全体の高速化が可能になり、スループットの大幅な向上につながる。また、より精細な画像が得られるため、画像検査の高性能化にもつながる。

ほかに、従来と同じ光源照度での使用や、AFEの簡素化、EMIの抑制などが可能になり、利用時のBOM低減や利便性の向上にも寄与する。

4. あとがき

ここでは、次世代の画像検査機器の高速・高性能な検査ニーズに応えるTCD2400DGの高速化技術について述べた。画素部の高感度化、CCD部の電荷転送の高速化、出力部のSN比向上のほか、AFEの一部の内蔵化など、既存技術の限界を超えるための多面的な技術開発により、ラインレートを約2倍に高速化しただけでなく、利用時の利便性向上も実現した。

今後も、高度化が進む画像検査機器やOA機器などのニーズに合わせて、リニアイメージセンサー製品の技術開発を進めていく。



板寺 龍義 ITADERA Tatsuyoshi
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 半導体応用技術センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



松浦 正和 MATSUURA Masakazu
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 IC開発センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



樽木 久征 TARUKI Hisayuki
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 IC開発センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.