

物井 誠
M. Monoi

当社で開発した最新の CCD リニアイメージセンサとそのデバイス技術を紹介する。3ラインカラーセンサ (TCD2251D) は、SN 比が従来当社比 5 倍強あり、カラーイメージスキャナの高画質化、低価格化に貢献している。5,000 画素高速センサ (TCD1503C) は、データレート 60 MHz 以上で良好な特性が確認されており、デジタル複写機などの高速読取りに対応する。また、電源 5 V 駆動技術も確立されており、ファクシミリ用として TCD1208P が製品化されている。画像入力機器の普及拡大に伴い、高 SN 比、高速化などの性能向上がつねに要求されており、当社は CCD リニアセンサに適した微細化技術と素子設計技術を採用し、これらに対応する製品群を開発し続けている。

This paper introduces Toshiba's new CCD linear image sensors and their device technologies. The TCD2251D color linear image sensor with 2,700 elements \times 3 lines has attained a SN (signal-to-noise) ratio five times that of our conventional sensors, thus contributing to an improvement in the image quality of image scanners. The high-speed TCD1503C linear image sensor with 5,000 elements can output at a data rate exceeding 60 MHz, making it suitable for high-speed-printing digital copiers. Moreover, the TCD1208P true 5 V CCD linear sensor employs an internal voltage booster technique to eliminate the 12 V power supply necessary for conventional sensors.

Toshiba is continuously developing a variety of CCD linear sensors to satisfy the demand generated by the rapid dissemination of image reading systems.

1 まえがき

画像信号を高解像度かつ低ノイズで電気信号に変換することができる CCD リニアイメージセンサは、画像読取り装置の入力デバイスとして欠かせない物となっている。1980 年代初めから、ファクシミリやカメラの自動焦点機構 (Auto Focus) などの画像入力素子として普及しだし、その後、デジタル信号処理の複写機でも開発が始まり、さらに、最近では、パーソナルコンピュータやカラープリンタの普及に対応してカラーイメージスキャナでの使用が拡大している。

近年の画像入力装置の急激な性能の向上に伴い、イメージセンサに対する要求も年々厳しくなっている。特に主なところでは、①カラー化、②高感度・低ノイズ化、③多画素高速読出し、④低電圧駆動、周辺回路内蔵などの使い勝手の改善、が挙げられる。

ここでは、これらの要求に対応する最新のイメージセンサとデバイス技術について紹介する。

2 高感度 3 ラインカラーセンサ

カラーレスキャナやカラー複写機に使用されるカラーセンサ

としては、3ライン構成⁽¹⁾が一般的である。図 1 に、2,700 画素カラーセンサ (TCD2251D) の構成を示す。3本の画素列上にはおのおの Red/Blue/Green のフィルタが載り、各画素で

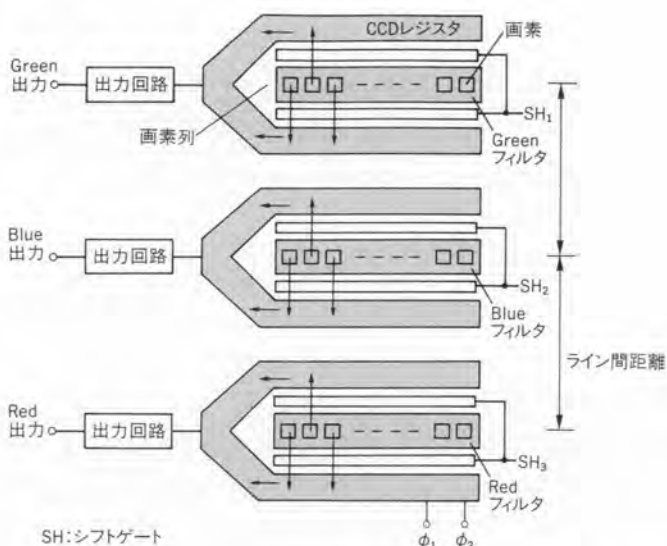


図 1. 3ライン カラーイメージセンサ 8 μ m ピッチ 2,700 画素、3ラインカラーセンサ (TCD2251D) の構成。ライン間隔は 64 μ m である。
TCD2251D color linear image sensor with 2,700 elements \times 3 lines

発生した信号電荷は画素列両側の CCD レジスタにより出力回路へ転送され、そこで信号電圧に変換される。

TCD2251D は画素サイズ $8\mu\text{m}$ 、画素列間距離は当社従来 (TCD2300C) の $96\mu\text{m}$ (12 ライン間隔) に対し $64\mu\text{m}$ (8 ライン) に狭められている。3 ライン構成のカラーセンサは、1 本の画素列中に 3 色の画素を交互に並べる点順次構成に比べ、画素数を増やして高解像度を得やすい利点があるが、各画素列が原稿の別の個所を読み取るため、画像読取り装置側にメモリが必要となる。画素列間距離の短縮はメモリ量を削減し、さらに、機械・光学調整も楽にする。

感度は $2.7\text{ V/lx}\cdot\text{s}$ (Blue 出力、従来比 5 倍以上) の高感度化を実現しながら、ノイズは従来と同じレベルに抑えられており、SN 比 (感度/ノイズ量) は従来からの 5 倍以上向上している。これにより、画質の向上や光源の低照度化が可能となる。

画素列間距離を短縮するためには、微細加工技術を採用してパターンの集積度を上げている。チップ長の長い CCD リニアイメージセンサのホトリソグラフィ工程において、露光領域が狭いため従来は適用しにくかったステップの露光方法をくふうして使用し、加工精度を上げている。

高感度・低ノイズ化のために、出力回路にいくつかのくふうが盛り込まれている (図 2)。まず、電荷検出部の浮遊拡散領域は前述の微細化技術を用いて容量を小さくして電荷電圧変換効率を高め、ノイズも同時に増幅してしまう後段の電圧増幅率を抑えている。MOSFET (MOS 型電界効果トランジスタ) で発生する $1/f$ 雑音や熱雑音を抑えるため、初段ソースフォロア回路の MOSFET の寸法を最適化している。さらに、浮遊拡散領域をリセットしたとき発生する雑音を除去するクランプ回路⁽²⁾を内蔵している。

表 1 に同一画素サイズの従来センサ (TCD2300C) と比較して主要特性をまとめている。TCD2251D とほぼ同じ性能をもっている $5,340$ 画素の TCD2551D も製品化されている。TCD2251D は、解像度 300 DPI (Dot Per Inch) のカラーレスキャナなどで使用されている。

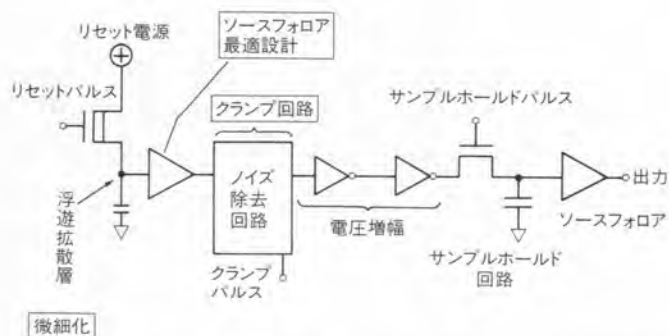


図 2. 3 ラインカラーセンサの出力回路 浮遊拡散層の微細化、内蔵クランプ回路、ソースフォロア回路の最適設計でノイズを低減している。
Output circuit of TCD2251D

表 1. 3 ラインカラーセンサの主要特性

Optical electronic characteristics of 3-line color sensors

項目	新センサ		従来センサ		
	TCD2251D	TCD2551D	TCD2300C		
画素数	2,700 画素×3	5,340 画素×3	3,648 画素×3		
画素サイズ	$8\mu\text{m}\times 8\mu\text{m}$	$8\mu\text{m}\times 8\mu\text{m}$	$8\mu\text{m}\times 8\mu\text{m}$		
ライン間隔	8 ライン($64\mu\text{m}$)	8 ライン($64\mu\text{m}$)	12 ライン($96\mu\text{m}$)		
パルス電圧	5 V	5 V	5 V		
電源電圧	12 V	12 V	12 V		
パッケージ	22 ピン DIP	24 ピン DIP	22 ピン DIP		
出力形式	3 出力 (1 出力/色)	3 出力 (1 出力/色)	3 出力 (1 出力/色)		
主要特性	感度	R	$5.8\text{ V/lx}\cdot\text{s}$	$5.3\text{ V/lx}\cdot\text{s}$	$1.1\text{ V/lx}\cdot\text{s}$
		G	$7.6\text{ V/lx}\cdot\text{s}$	$7.7\text{ V/lx}\cdot\text{s}$	$1.4\text{ V/lx}\cdot\text{s}$
		B	$2.7\text{ V/lx}\cdot\text{s}$	$2.9\text{ V/lx}\cdot\text{s}$	$0.5\text{ V/lx}\cdot\text{s}$
	ランダムノイズ	1.0 mV	1.2 mV	1.0 mV	
	飽和出力電圧	R	2.0 V	2.0 V	1.0 V
		G	2.0 V	2.0 V	1.0 V
B		2.0 V	2.0 V	1.0 V	
最大データレート	5 MHz (2.5 MHz/ch)	8 MHz (4 MHz/ch)	4 MHz (2 MHz/ch)		
主用途	スキャナ A4 300DPI	スキャナ A4 600DPI	スキャナ A4 400DPI		

DIP: Dual Inline Package

今後、画素列間距離をさらに狭くすることと、高感度・低ノイズ化をさらに進めていく。

3 高速読出し技術

カラーレスキャナや複写機の高解像度化に伴い、 $5,000$ 画素から $7,500$ 画素のセンサが高解像度のシステムで使用されており、さらに $10,000$ 画素以上のセンサも近い将来必要になると見られる。画素数が増えても逆に原稿の読取り速度は速くなる傾向にあるので、センサでの出力データレートは高速化が要求される。現在は $5,000$ 画素センサで最大でも 1 出力 10 MHz (2 出力構成でデータレート 20 MHz) の速度で使用されているが、さらに 1 出力 $20\sim 30\text{ MHz}$ (2 出力データレート $40\sim 60\text{ MHz}$) 以上の速度が求められている。

図 3 に、開発中の $5,000$ 画素高速駆動センサ (TCD1503C) を示す。画素サイズは $7\mu\text{m}$ で、画素列 1 列のモノクロ読取り

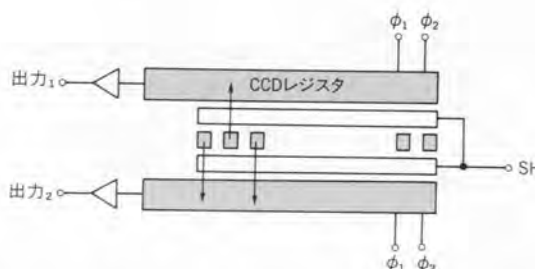


図 3. 高速 $5,000$ 画素センサ (TCD1503C) $7\mu\text{m}$ 画素白黒センサ。二層 Al 配線により、データレート 60 MHz 以上で動作。
High-speed TCD1503C linear image sensor with 5,000 elements

センサである。画素で発生した信号電荷は一つおきに両側の CCD レジスタへ移され、レジスタはおのおの独立に信号電圧を出力する。

高速駆動を制限する要因の一つとして、CCD の転送パルスが素子内部の配線抵抗と負荷容量で減衰することがある。この点に関し、従来の 1 層に対し二層 Al 配線プロセスを採用し配線抵抗を低減することで改善した。また、電荷転送を行う CCD 内の電界を強めるため CCD 内の不純物分布の最適化なども検討を行っている。出力回路についても、信号出力期間を十分に確保するため高周波特性の改善が行われている。

図 4 は 1 出力の 30 MHz での出力波形で、十分な信号期間が得られている (2 出力のため出力データレートは 60 MHz)。さらに、転送パルス振幅 5 V で、1 出力 55 MHz まで CCD の電荷転送が良好に行われていることが確認されている。ただし、このときは出力回路の高周波特性の制約で、信号期間が短くなる。



図 4. 30 MHz (1 出力) の出力波形 30 MHz でも十分な信号期間が得られる。

Output waveform photograph at 30 MHz drive

CCD の高速駆動では、電荷転送能力については十分な特性が確認された。今後の課題としては、出力回路の高周波特性をさらに改善すること、大入力端子容量の CCD を駆動する外部ドライバの負担を軽減することや、CCD の充放電による発熱を抑えることなどが挙げられる。

高速読出しの手法として、1 画素列の信号を片側の複数本の CCD レジスタで配列に読み出す多線 CCD レジスタ構造⁽³⁾ (図 5) がある。図 5 では 1 画素列を三つの CCD レジスタで転送する構成を示している。画素 1, 4, ... は CCD₁ → TG₁ → CCD₂ → TG₂ → CCD₃ の経路で CCD レジスタ 3 へ移される。同様に、画素 2, 5, ... は CCD レジスタ 2 へ、画素 3, 6, ... は CCD レジスタ 1 へ移され、その後出力部へ送られる。

この構成により、複数出力で並列出力されるため、全体の出力データレートは CCD の本数に比例する。また、レジスタ

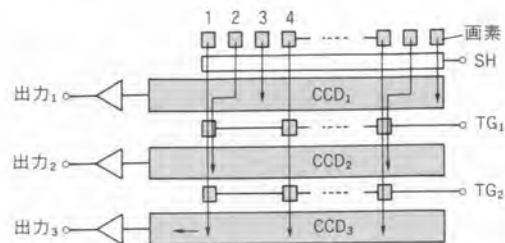


図 5. 多線 CCD レジスタ構造 3 本の CCD レジスタで同時に転送することにより、3 倍の読出し速度と 1/3 の画素ピッチが実現できる。

Multiline CCD register structure

本数が増えるのに従い 1 レジスタで転送する電荷数も減り、したがって、1 レジスタで必要な転送電極数も減るので、画素ピッチを縮小した場合、レジスタのパターン設計に余裕が生ずるといった利点もある。

ところが、この多線 CCD 構造では、レジスタからレジスタへレジスタ間転送部 (TG₁, TG₂) を通って電荷が移るときに、レジスタ間転送部のいくつかに欠陥が生じ (1% 以下の割合でランダムに)、その電荷が取り残される不具合がしばしば発生する。この問題を、レジスタ間転送部のレイアウトの最適化と転送方法の改良で解決し、この構成での良好な特性を確認している。

4 低電圧駆動技術

現在のところ、多くの CCD リニアセンサでは、直流電源として 12 V、駆動パルス振幅は 5 V を必要とする。そのため、CCD 専用の 12 V 電源が必要となったり、消費電力が大きいなどの問題が生じている。特にコストダウン要求の厳しいファクシミリや、電源が電池や充電電池であるカメラやバーコードリーダで、直流電源 5 V (以下) 化の要求が強い。

ファクシミリ用として直流電源 5 V の TCD1208P が製品化されている (図 6)。TCD1208P は画素サイズ 14 μm、画素数 2,160、解像度 200 DPI のファクシミリ向けである。

CCD では電荷の転送損失をなくすため、電荷の転送チャンネルを Si 基板内部に形成する埋め込みチャンネル構造を採用しており、そのため、CCD 中で信号電荷は 5 V から 10 V 程度の電位にあるチャンネル中を転送される。したがって、CCD から転送されてきた電荷を検出する電荷-電圧変換部の電位は CCD のチャンネル電位より高く設定される必要がある。TCD1208P では電荷検出部の設定電圧 (リセット電源) を昇圧する回路と、電位設定パルス (リセットパルス) 振幅を昇圧する回路が内蔵されている。これにより、電源電圧は最小 4 V まで正常動作し、出力信号振幅は最大 2.5 V 以上が得られている。5 V 化により消費電力は 30 mW になり、従来の 12 V センサ (TCD1206SUP) の 1/4 以下に低減している。TCD1208P ではさらに、TCD2251D で用いられた微細化技術以外の低ノ

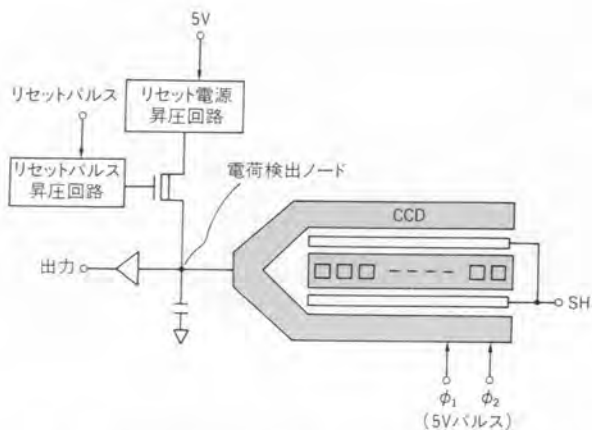


図6. 5V駆動センサ (TCD1208P) 内蔵電圧昇圧回路により、従来の12V電源を5V化することに成功した。

TCD1208P true 5V CCD linear sensor

イズ化技術を適用し、感度は従来比2.4倍の110 V/lx・sを達成しているながら、ノイズは従来比1.2倍の増加に抑えている。

5V駆動センサはファクシミリ以外にバーコードリーダ用センサ (TCD1201D, TCD1205D) や、カメラの測距用センサで実用化されており、カラーセンサや高速駆動のセンサでも開発が進められている。

5 周辺回路内蔵技術

現状のCCDリニアセンサではCCDと出力回路を駆動するため、少ない物で3パルス、多い物では20パルス前後の駆動パルスを必要とし、外部の駆動回路が複雑となる。また、出力も単純なアナログ電圧が出力され、信号処理回路が外部に必要となる。そのため、駆動回路と信号処理回路の内蔵化の要求があり、一部の分野では製品化されている。

図7に内蔵可能な回路例を示す。まずこのセンサでは、入射光強度が変化しても出力レベルを一定に保つAGC (Auto Gain Control) 回路が内蔵されている。AGC回路はモニタ画素とAGC判定回路から構成され、モニタ画素で平均入射光強度を検知し、その出力を基にAGC判定回路でセンサの信号蓄積時間を制御して、出力レベルを一定に保つ。また、センサの出力回路では、サンプルホールド回路、クランプ回路、ゲイン可変アンプなどを内蔵し、出力信号を外部のA/D変換回路に直結できるようにしている。周辺回路やセンサの駆動パルスは内部のCMOSタイミングジェネレータで発生しており、外部入力としては、基本クロック入力 (CP) とモード設定端子だけでよい。また、前述の低電圧駆動技術を駆使し、電源は5V化されている。

内蔵回路は、精度や速度、あるいは素子面積が大きくなる

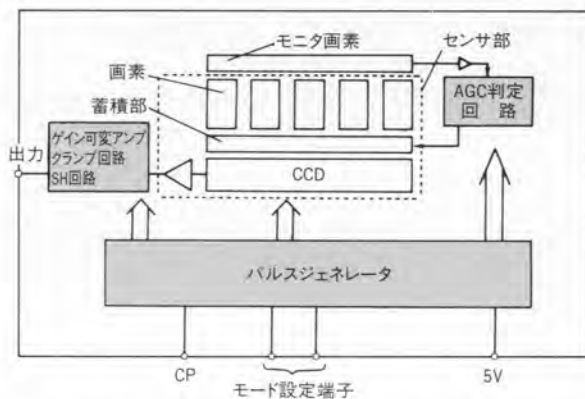


図7. 周辺回路内蔵センサ 周辺回路の内蔵例。CMOSタイミングジェネレータ、出力信号処理回路、出力レベル自動調整回路を内蔵。

On-chip peripheral CCD sensor

という問題があったため、すべてのセンサに備えるところまでは来ていなかったが、それらの課題も改善により、内蔵化の分野は広がりつつある。

6 あとがき

当社で開発している最新のCCDリニアイメージセンサとデバイス技術の全般について紹介した。

微細化のため長尺チップに適応した微細加工技術を確認し、8μm画素、8ライン間隔の3ラインカラーセンサを開発した。微細化技術と出力回路のノイズ低減技術によりSN比も従来比5倍以上の改善を実現している。また、5,000画素センサでは二層AI配線プロセスを採用し30MHz以上の駆動速度を達成した。5V駆動技術や周辺回路内蔵技術の開発により、低消費電力で付加機能の高いセンサも増えつつある。

今後も、高SN比化、高速化、あるいは高付加機能化を推進し、CCDリニアイメージセンサが画像入力装置のキーデバイスとしてさらに広く使用されていくことを期待する。

文献

- (1) 武内良三、他：フルカラー読取用3色一体化CCDラインイメージセンサ、画像電子学会全国大会、21 (1985)
- (2) White, et al: Characterization of Surface Channel CCD Image Arrays, IEEE J. Solid-state Circuits SC-9, pp.1-13 (1974)
- (3) H. Herbst, et al: One-dimensional CCD-imager with High Resolution, Conf. on electrography, Cambridge, England (Sep. 1976)



物井 誠 Makoto Monoi

1983年入社。CCDリニアイメージセンサの開発設計に従事。現在、LSI第一事業部CCD製品技術部主務。LSI Div. I