

高感度型CCDリニアイメージセンサ

High Responsive CCD Linear Image Sensors

物井 誠

Makoto Monoi

(株)東芝 固体撮像デバイス事業推進部

Imaging Device Division, TOSHIBA corporation

1. はじめに

ファクシミリや複写機等のイメージスキャナで、画像を光学レンズによって縮小結像して読み取る縮小光学系を用いたシステムにおいて、CCDリニアイメージセンサはその受光素子として、欠かせぬものである。これに対してCCDセンサは既に、128画素から5000画素のものまで製品化されている。

一方、最近では、機器を小形化するために、等倍光学系に対応した密着形イメージセンサの開発が活発に行われている。密着形イメージセンサには、複数のCCDセンサを並べたマルチチップタイプ(1)のものと、画素にアモルファスシリコン膜(2)やCdS-CdSe膜(3)を用いた、薄膜形のものがある。しかし、マルチチップタイプのは、チップ間の継ぎ目における感度ムラという課題があり、一方薄膜形では読み出し回路の高速化、低ノイズ化、及び画素の感度ムラ等の課題が残されているように思われる。また、周辺部を含めた機器全体のコストも、縮小光学系に比べて必ずしも安くなるとは言えない。

従って、縮小光学系のCCDセンサも、その性能を改善することにより、今後も広く使用され続けるものと考えられる。

CCDセンサで改善すべき項目は、いくつか考えられるが、最も要求が強いものとしては、

①高感度化、②低暗時出力化が挙げられる。高感度化は、システムとして光量を小さくしていく方向に対応した改善点である。また、高感度化と同時に、暗時出力も“高感度化”して出力すると、入射光量の減少に伴って、信号のS/Nが劣化してしまうため、低暗時出力化も高感度化と同時に必須の項目となる。

そこで、今回我々は、微細加工技術と、完全空乏形画素を採用して、当初比で従来製品に比べ、4~6倍の感度を持つ、TCD142D(2048画素、14 μ mピッチ画素)と、TCD143D(2592画素、11 μ mピッチ画素)を開発した(図1)。暗時出力は、画素構造と、電荷蓄積方法を工夫することにより、暗電流密度で従来の1/10~1/20、暗時

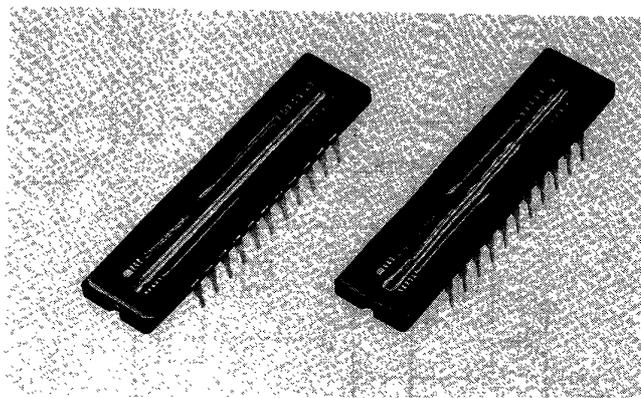


図1. TCD142D/143Dの外観

出力電圧で $1/2 \sim 1/3$ に抑えている。

以上の項目に加えて、TCD142D/TCD143Dでは、新規出力回路を採用して、出力の直流オフセット電圧の変動を極力抑えるとともに、リセットノイズも小さくしている。さらに、飽和出力電圧、残像、入力端子容量等も改善されている。

以下、本センサの構造、及び得られた特性について報告する。

2. 全体構成

図2に、TCD142D/143Dのデバイス構成図を示す。TCD142DとTCD143Dでは、画素数と画素サイズ以外は、両者で共通の構成となっている。

CCDレジスタは、従来デバイスと同様に、2層ポリシリコン、埋め込みチャンネルの、2相駆動である。電源、入力パルス共、12V系で駆動される。CCDレジスタの最終段は、高速駆動を可能とするために、別駆動とし、入力端子容量を小さくしている。電荷電圧変換部は、浮遊拡散領域からなりその電圧変化を図2に示す検出回路にて検出する。信号出力(OS)と共に補償信号出力(DOS)も設けられている。

3. 各部構造

3.1 電荷検出部

本センサの高感度化は、電荷電圧変換部の変換ゲインをたかめることによって実現している。この変換ゲインは、

$$(\text{変換ゲイン}) = \frac{(\text{出力回路のゲイン})}{(\text{浮遊拡散領域の静電容量})}$$

となる。従って、変換ゲインをおおきくするためには、浮遊拡散領域の静電容量を極力小さくすることが肝要である。そのために、本センサでは、出力回路のゲート寸法や、浮遊拡散領域のパタン等を最適化することにより、変換ゲイン 35 V/pC を達成している。(当社、TCD103Dの変換ゲインは、 10 V/pC である。)

3.2 感光部構造

センサの高感度化にともなって要求されるのはセンサの低暗時出力化である。これは次の理由による。電荷検出部の変換ゲインを大きくしたことにより、画素・蓄積部で発生した暗時出力も同時に大きく出力されることになる。センサへの入射光量が従来品と比較して同一ならば、S/N (例えば光出力/暗時出力) は変わらない。しかし、高感度化に伴ない、光源光量を小さくしてセットに組み込むことが予想されるため、この光量低下分を補うだけの低暗時出力化が必須となる。

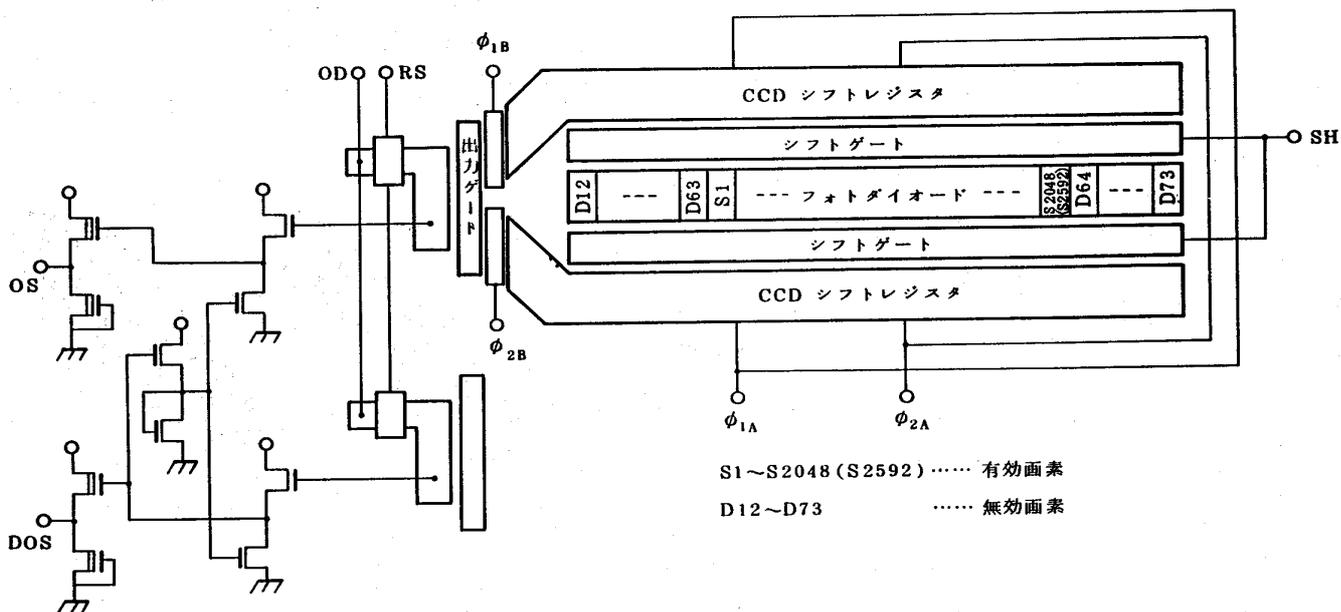


図2 TCD142D/143Dの構成

テレビジョン学会技術報告

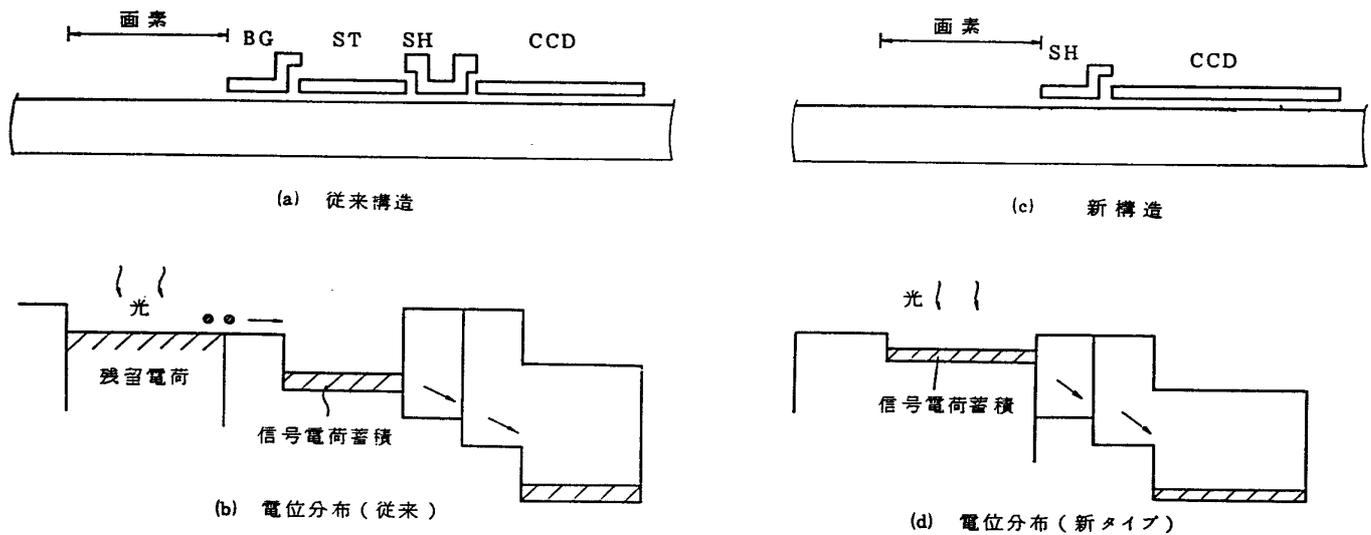


図 3 . 感光部構造

そこで、本センサでは、感光部に完全空乏形画素を採用し、信号電荷を画素に蓄積する方式により、暗電流の発生を極力抑える構造とした。

従来のセンサと比較して、本センサの感光部構造を、図 3 により説明する。従来のセンサ、(図 3 (a) (b)) では、PN 接合の画素で発生した電荷は、一定電圧が印加されたバリアゲート (BG) を通って、蓄積ノード下 (ST) に蓄積される。この電荷は、シフトゲートを開き CCD レジスタへ移送される。

一方、本センサでは、(図 3 (c) 、(d)) 信号電荷は、完全空乏形の画素に蓄積し、その電荷を、シフトゲートを開き CCD レジスタへ移送する。

この構造で暗電流が小さくなる理由は次の通りである。まず、完全空乏形画素での暗電流の発生量が、プロセス技術の向上により減少している。さらに、蓄積ゲート (ST) が無いためそこで発生する暗電流成分がない。

次に、本センサでの残像量について、考察してみる。従来のセンサでは、蓄積ゲート (ST) から CCD レジスタへの転送は、熱拡散とドリフトで行なわれる高速の完全転送モードで行なわれるため高速駆動時にも電荷の取り残しが少なく、残像は小さい。しかし、画素から蓄積ゲートへの転送は、残留電荷が残り転送速度の遅い不完全転送モードであるため、使用条件によ

っては、例えば、シフトゲートをひらく直前に瞬間光入力があると、画素に電荷が取り残され、残像となる。

一方、本センサでは、画素自体も完全空乏化しているため、このような残像も生じない。

3. 3 出力回路

従来のセンサでは、出力回路は単純な 2 段ソースフォロウ回路から構成されるものが多い。このような回路では、出力の直流オフセット電圧がトランジスタのしきい値電圧の変動によって、デバイス毎に大きく変動する。しかし、本センサでは、図 2 に示すように、一段目の出力回路を差動回路とし、補償出力 (DOS) の中間出力をフィードバックさせている。このような構成により、① 直流オフセット電圧は、各トランジスタの寸法と、電源電圧の値のみによって決まる。② 出力信号にのるリセットノイズの一部がキャンセルされることとなる。従ってオフセット電圧が安定し、リセットノイズが小さくなる。例えば、本センサでは、電源電圧 1.2 V の時、オフセット電圧 $4.5 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$ リセットノイズは、従来の回路に比べ 50% 以下に抑えられている。

3. 4 CCD レジスタ・出力部

電荷電圧変換ゲインを大きくしたため、CCD レジスタで転送する信号電荷量が小さくなる。従って、CCD レジスタ幅を小さくする

ことが可能となり、クロックの入力端子容量は従来の900 pFから500 pFへと減少し、駆動ドライバの負担を軽減することができる。

また、出力部構造を最適化することにより、飽和出力電圧を最小で1.2 V、標準で1.5 V ~ 2.0 V 確保し、ダイナミックレンジを広げた。

4. 電気光学的特性

4.1 感度

昼光色蛍光灯において、TCD142Dは6 V / lux · sec、TCD143Dは4 V / lux · secを達成した。図4は、当社従来製品のTCD102DとTCD142Dの同一照度の一様光に対する出力波形を比較したものである。感度は、ほぼ6倍、リセットノイズは約1/4になっていることがわかる。

4.2 暗時出力特性

信号蓄積時間10 msec、温度25℃において、最大暗時出力は、0.5 ~ 1.0 mVに抑えられている。図5は、同一条件でのTCD102DとTCD142Dの暗時出力波形を比較したもので、約1/3に減少している。

電荷電圧変換ゲインの差を考慮すると、暗電流密度はTCD102Dの約6%になっている。

4.3 信号電圧出力特性

新方式の出力回路により直流オフセット電圧は、OD = 12 Vの時、4.0 ~ 4.5 Vの範囲にある。また電源電圧変動に対して鈍感となる。図6は、オフセット電圧の電源電圧依存性を示したもので、これも $\Delta V_{OS} / \Delta V_{OD} = 0.35$ と小さくなっている。

図7はTCD143Dにおいて、出力回路のみ2段ソースフォロワ回路としたものと出力波形を比較したもので、リセットノイズは、40%に減少している。

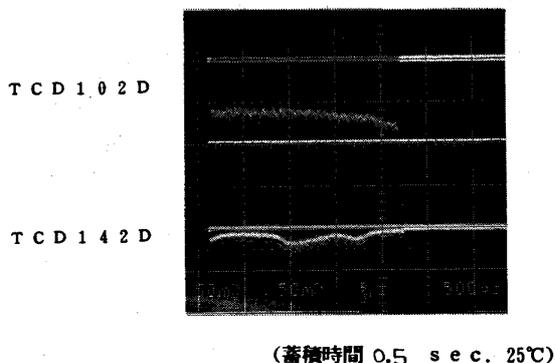


図5. 暗時出力波形

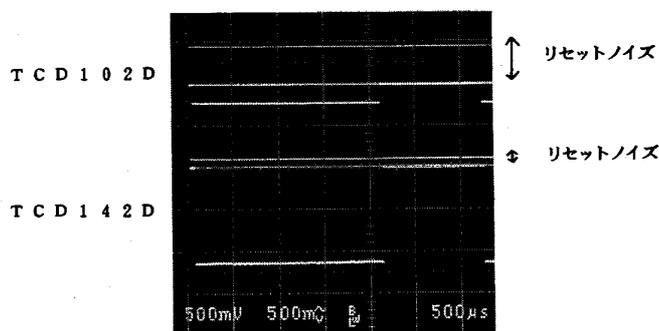


図4. 一様光出力波形

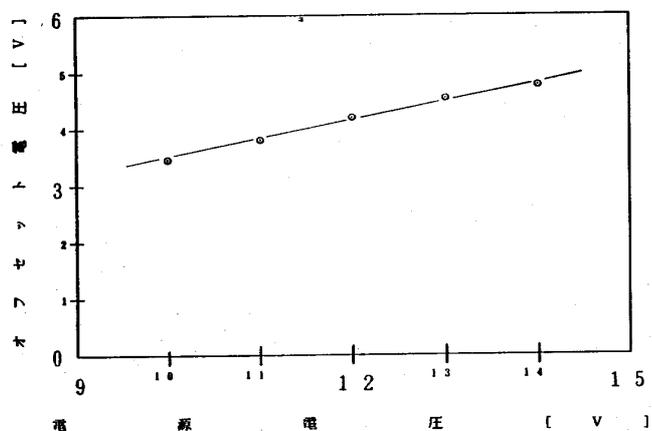
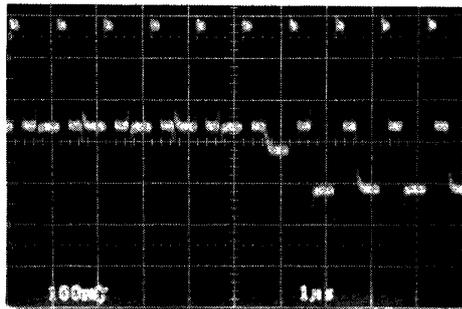


図6. オフセット電圧と電源電圧

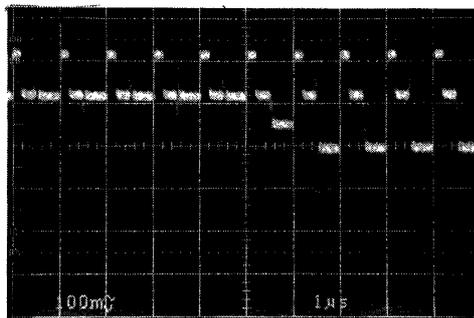
テレビジョン学会技術報告

4.4 残像

図8は、TCD103DとTCD143Dの標準的なサンプルにおいて、シフトパルス高レベル時間と2ライン目出力の残像量の関係の測定値である。(1ライン目出力は800mV)完全空乏形画素に信号電荷を蓄積することにより、残像量が改善されている。



(a) 2段ソースフォロウ出力回路



(b) 新方式の出力回路

図7. リセットノイズ

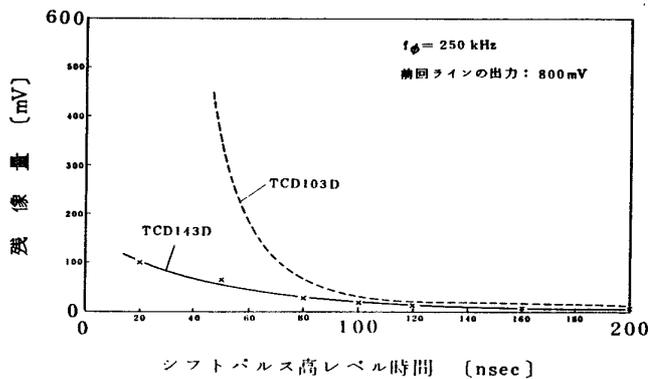


図8. シフトパルス高レベル時間と残像量

4.5 分光感度特性・画素の感度分布

図9に分光感度特性をしめす。完全空乏形画素においても、従来のPN形画素と同様、良好な青感度特性を持っている。

図10は、画素の主走査方向の感度分布である。完全空乏形画素により画素の有効感度領域が広がっている。この感度分布のひろがりも高感度化に寄与していることがわかる。

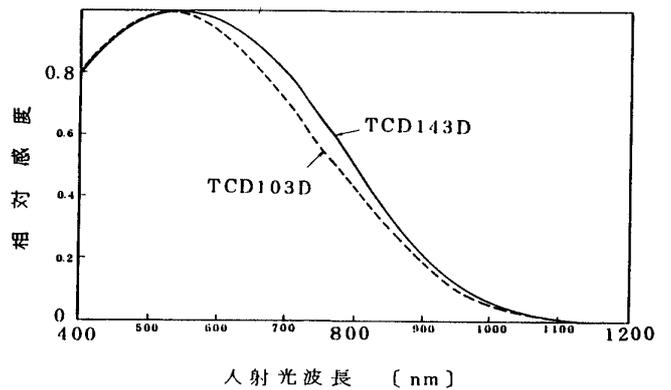


図9. 分光感度特性

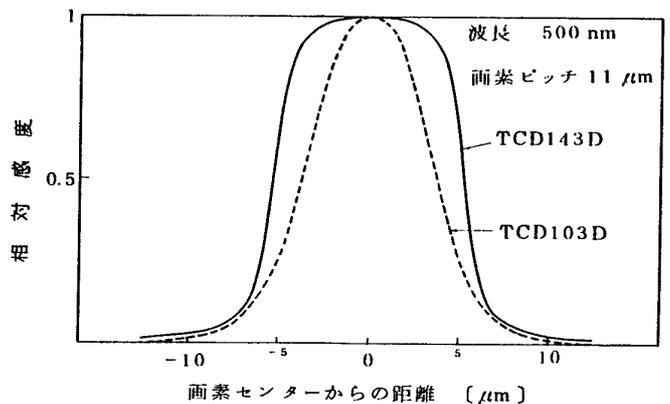


図10. 画素の感度分布(主走査方向)

テレビジョン学会技術報告

5. あとがき

微細加工技術と、完全空乏形画素により、従来品に比べて当社比で4～6倍の感度を有するTCD142D/TCD143Dを開発した。これらのセンサでは、ユーザ側での光源光量の減少に対してセンサのS/Nを確保するため、低暗時出力化も同時に実現しておりCCD出力換算で暗時出力は、ほぼ1/3に低減されている。

更に、新方式の出力回路を採用することにより、出力の直流オフセット電圧の変動を極力抑え、飽和出力電圧、残像特性、入力端子容量等の特性改善も同時におこなった。

表1に、主要な特徴と特性を、当社の従来品と比較して示す。

今後は、本センサで実証された技術を発展させて、5000画素等の他のセンサの高性能化をすすめていく予定である。

6. 参考文献

- (1) 首藤他、"ドライバ内蔵インライン密着形CCDセンサ" テレビ学技報ED87-7
- (2) 小沢、"アモルファスシリコン密着形イメージセンサ"、四学会連合大会19-4、(1984)
- (3) 由上他、"CdS密着形イメージセンサ" 四学会連合大会、19-3 (1984)

表1 主な特徴と電気光学的特性 (標準値)

項目	新 セ ン サ		従 来 セ ン サ		
	TCD142D	TCD143D	TCD102D	TCD103D	
特 徴	画 素 数	2048	2592	2048	2592
	画 素 サ イ ズ	14×14μm	11×11μm	14×14μm	11×11μm
	受 光 素 子	完全空乏型画素	完全空乏型画素	P N フォトダイオード	P N フォトダイオード
	信 号 電 荷 蓄 積 部 パ ッ ケ ー ジ	画 素 ハーメチックシール 22ピンDIP	画 素 ハーメチックシール 22ピンDIP	蓄積ゲート ハーメチックシール 22ピンDIP	蓄積ゲート ハーメチックシール 22ピンDIP
主 な 特 性	感度 [昼光蛍光灯] (V/lux・sec)	6.0	4.0	1.08	1.08
	暗時出力電圧 (mV) (蓄積時間10msec, 25℃)	0.5~1.0	0.5~1.0	1.5~2.0	1.5~2.0
	飽和出力電圧 [V]	1.5~2.0	1.5~2.0	0.8~1.2	0.8~1.2
	入力端子容量 [pF]	500	500	900	900
	直流オフセット電圧 [V]	4.0~4.5	4.0~4.5	3.5~7.5	3.5~7.5
	リセットノイズ [mV]	100~120	100~120	450	300
	出力インピーダンス [Ω]	450	450	900	500

(株) 東芝 固体撮像デバイス事業推進部

固体撮像デバイス応用技術部

〒210 川崎市幸区堀川町72 東芝堀川町工場

TEL 044-522-2111