

最近の技術から

CCD イメージセンサー

織田 英嗣

日本電気(株)マイクロエレクトロニクス研究所 〒213 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

1. ま え が き

CCD に代表される 固体イメージセンサーは、従来の撮像管に比べ、小型・軽量で低消費電力、低残像、長寿命、無調整、画像歪がない等の特徴があり、家庭用ビデオカメラを中心とした応用開発が活発である。最近では、撮像性能も向上してきたため、放送用、産業用、科学用等、広範な分野にも用途が拡がり始めている。

現在、CCD イメージセンサーの開発の中心は、小型化と多画素化である。素子サイズは、従来の 2/3 インチから 1/2 インチサイズへと移行している。画素数は、20～25万画素のものが主流であるが、より多画素化をめざす動きも活発である。しかし、小型化、多画素化に伴い撮像特性が劣化する。このため、S/N・ダイナミックレンジ等の性能を確保しつつ、高密度化を図る技術開発が重要となっている。

本稿では、最近の CCD イメージセンサーの技術動向について、とくに現在主流となっているインターライン型 CCD を中心として紹介する。

2. 高 性 能 化

イメージセンサーでの基本特性は、感度、雑音、ダイナミックレンジである。このほか、固体イメージセンサーでは、特有のブルーミング、スマアの抑圧を行なう必要がある。

ブルーミングは、強い光が当たった画素を中心として、再生画像上で、その周囲に輝線が生じる現象である。この現象は、画素内部で発生した電荷がフォトダイオードに蓄えきれずに、過剰電荷が周囲に広がるために生じる。ブルーミングを抑制するために縦型オーバーフローレイン構造(図1)が提案された¹⁾。フォトダイオードは npn の縦型パッチスルートランジスタで構成され、過剰電荷は基板深部に流出する。この構造は、感度・ダイナミックレンジを犠牲にすることなくブルーミング抑制が可能であり、高密度化にも適しているため、広く採用さ

れている。一方、スマアは、輝度の高い被写体の上下方向に白い線が現われる現象である。入射光によって発生した電荷が直接、垂直 CCD へ漏れ込むことによって生じる。スマア抑制には、表面酸化膜の薄膜化と平坦化を行ない、いわゆる凹レンズ効果による光の屈折を防止することが有効である²⁾。また最近、図2に示すようなフォトダイオード底部をすそ広がりにした構造³⁾が開発された。この構造では、垂直 CCD 直下で発生した電荷をもフォトダイオードに効率よく取り込むことができる。この結果、白レベルに対して 10^{-5} 程度にスマアが抑制され、実用上問題のないレベルとなった。

インターライン型 CCD の画素は、フォトダイオード(感光領域)と垂直 CCD (非感光領域)とで構成されているため、入射光の利用効率が低く、低感度になる傾向がある。感度の向上を図るため、a-Si などの光導電膜を CCD 走査回路上面に積層した三次元構造⁴⁾、非感光領域に入射した光をもフォトダイオードに集光する透明樹脂製のマイクロレンズアレーを積層した構造⁵⁾等が報告されている。いずれも開口面積が実効的に拡大し、従来の2倍以上の感度を実現している。また、イメージセンサーが高密度化されると、単位画素当りの受光量が低減して、光のショットノイズにより制限される白レベルの S/N 低下が問題となる。この点からも画素内での開口面積のいっそうの拡大が必要となる。

雑音低減には、暗電流の低減などセンサー自身の特性改善以外にも、センサー出力部で発生するリセット雑音を除去する外部信号処理が有効である。従来相関二重サンプリング法が広く用いられてきたが、最近、図3に示すような遅延差除去法⁶⁾や位相反転法⁷⁾等の信号処理法が提案され、従来の 1/6 程度に雑音が低減されるようになっていく。

3. 高 解 像 度 化

解像度はイメージセンサーの画質に直接影響する。家庭用素子では 350 TV 本、放送用では 500 TV 本以上が

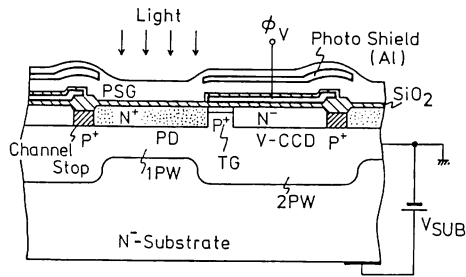


図 1 縦型オーバーフロードレイン構造 CCD の単位画素断面図

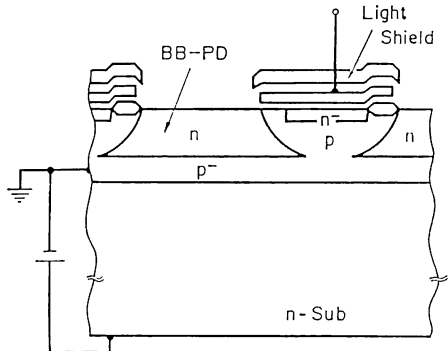


図 2 低スマア CCD の単位画素断面図

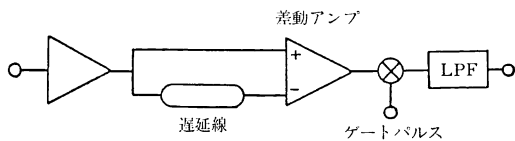


図 3 遅延差雑音除去法の構成

一応の目安とされる。現状では、20~25万画素のイメージセンサーで 280~350 TV 本の特性があり、家庭用としては実用レベルに達している。放送用では、複数のセンサーを用い、相互の空間位置を画素ピッチの 50% ずらして配置した、いわゆる“画素ずらし”により等価的に高解像度化を図っている。今後、より高画質な信号を得るためセンサーの高解像度化が図られるであろうが、多画素化とともに、これに伴う撮像特性の劣化をいかに防止するかがポイントとなる。たとえば、同一平面内にフォトダイオードと読み出し回路とが配置される固体イメージセンサーでは、素子分離領域などの非活性領域をできるかぎり細く形成し、感度、ダイナミックレンジの低下を防止することが重要である。最近、埋込み酸化膜⁴⁾や逆 LOCOS⁵⁾とよればる新しい素子分離法が開発され、1 μ m 程度の素子分離が可能となっている。また、

水平方向の高密度化に伴う超微細な電極パターンの形成を回避すべく、水平 CCD を複数列に形成する構成⁶⁾も提案されている。このような工夫により 1/2 インチサイズで 38 万画素の CCD が実現されている。

標準テレビジョン方式対応の CCD 以外にも、高精細な画像入力デバイスとして 1 インチで 124 万画素の CCD も開発され、水平・垂直方向ともに 960 TV 本の解像度を達成している¹⁰⁾。また、天体観測用として、フルフレーム型の 2048 \times 2048 画素 CCD が報告されている¹¹⁾。高感度撮像が要求されるため、10 μ m 程度に薄膜化された基板の裏面から光を入射するとともに、光蓄積時間(露光時間)を長くし、低速走査で読み出す。画像読み出し時間は、80 s 程度であり、この間の暗電流の影響を排除するため、液体窒素を用いた低温動作が要求されている。

今後、LSI 技術の進展とともに将来の高精細度テレビジョンや高性能電子スチールカメラを指向した高解像度の素子開発が活発化するとと思われる。

4. あとがき

CCD イメージセンサーは、家庭用を中心として急速な発展を遂げてきた。近い将来、より高画質が要求される放送用カメラでも撮像管式に置き換わるものとみられている。また、CCD 技術の進歩は、映像文化の発展とともに、たんにテレビジョン分野だけでなく、OA、映画、印刷技術、基礎科学の分野でも、その発展に大きく貢献するであろう。

文 献

- 1) Y. Ishihara, *et al.*: ISSCC Dig. (1982) pp. 168-169.
- 2) 寺西信一, ほか: 1985 TV 全大, No. 3-4 (1985) pp. 49-50.
- 3) T. Kuroda, *et al.*: ISSCC Dig. (1986) pp. 94-95.
- 4) N. Harada, *et al.*: ISSCC Dig. (1985) pp. 270-271.
- 5) Y. Ishihara, *et al.*: IEDM Dig. (1983) pp. 497-500.
- 6) 西田泰章, ほか: 1985 TV 全大, No. 3-2 (1985) pp. 45-46.
- 7) 遠藤幸雄, ほか: 1985 TV 全大, No. 3-5 (1985) pp. 51-52.
- 8) E. Oda, *et al.*: IEDM Dig. (1985) pp. 444-447.
- 9) G. A. Beck, *et al.*: *Proc. 14th Conf. Solid State Devices* (1982) pp. 109-112.
- 10) I. Akiyama, *et al.*: ISSCC Dig. (1986) pp. 96-97.
- 11) M. M. Blouke, *et al.*: *Proc. '85 SPIE* (1985) pp. 82-88.

(1986年10月8日受理)