

松長 誠之
MATSUNAGA Yoshiyuki

大井 一成
OOI Kazushige

田中 修一
TANAKA Shuichi

近年の半導体技術の急速な進歩により画像情報のデジタル化やデジタル処理が容易にできるようになってきた。将来の個人画像情報の半分以上は屋外においてモバイル機器上で画像のピックアップや前処理が行われると予想される。画像ピックアップデバイスをモバイル機器に搭載する第一の条件は低消費電力化である。低消費電力を武器に半導体製品の90%以上を占めるCMOS技術を用いたCMOSイメージセンサが現れたのは必然のなりゆきであろう。システムオンシリコン技術でさらに小型、低消費電力、低コストの夢のワンチップカメラが実現し、ほとんどすべてのパーソナルマルチメディア機器に応用されて、だれもが世界中のいたるところから、その場の映像をやりとりできる日が、そこまできている。

As a result of the dramatic progress made in semiconductor technologies in recent years, low-cost digitization of image signals and digital signal processing have been achieved. In the near future, image pickup and preprocessing of personal image signals will be performed outdoors using personal digital assistants(PDAs). This is because much more information is available outdoors than indoors.

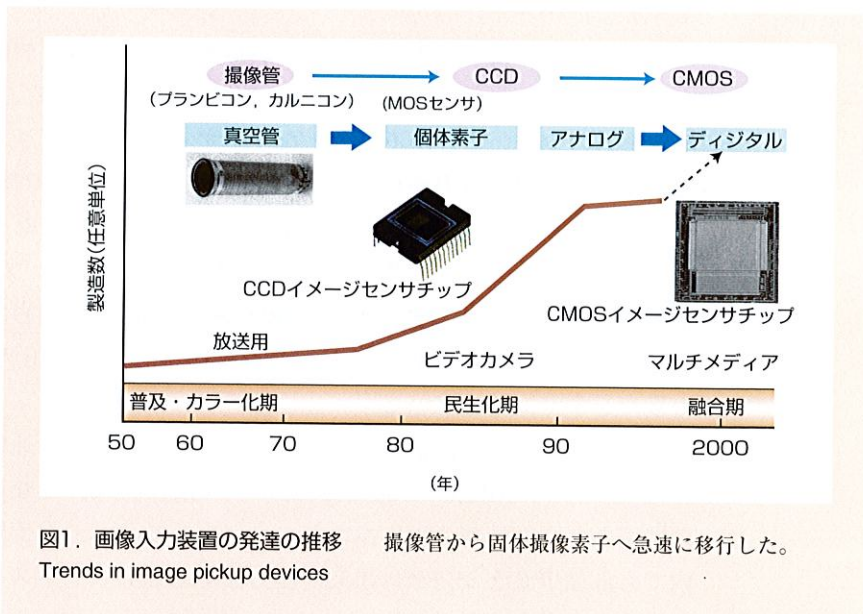
Low power consumption is required as the first condition as image pickup devices are set up in the mobile environment. In this regard, the appearance of the CMOS image sensor, which is constructed with low-power CMOS technology, is a natural trend. The CMOS image sensor can integrate a system-on-silicon with peripheral circuits. In addition, the system will be very small in size and will dramatically reduce costs. Consequently, the CMOS image sensor is expected to be used in most mobile personal equipment.

進む映像のデジタル化

1990年代以降はデジタル化の時代である。半導体の微細化、高速化により、アナログの映像信号を容易にデジタル化やデジタル信号処理ができるようになった。映像はデジタル化により映像以外の信号との融合が進んでいる。画像入力デバイスとしては、CCD(電荷結合素子)に代わってCMOS(相補型金属酸化膜半導体)技術を用いたCMOSセンサがその主流になる可能性が出てきた。ここでは、CMOSセンサの応用とセンサの技術の動向について展望する。

CMOS センサの登場

図1に撮像管からCCDと続いた画像ピックアップデバイスの開発の流れを簡単に示す。70年代以



前はプランビコンなどの撮像管(真空管)が主に放送用として用いられていた。この時代、撮像デバイスは個人のものではなく公共のものであった。80年代に入りシリコンウェーハプロセス技術が飛躍的に進歩

し、CCDを用いた撮像素子CCDセンサが実用可能なレベルに達して固体の時代に入った。一時フォトダイオードとMOSスイッチアレイで構成されたMOSセンサが製品化されたが、撮像管やCCDセンサに感度

で及ばず短命に終わった。固体センサである CCD センサは家庭用ビデオカメラを市場として開発が進み、飛躍的に普及した。

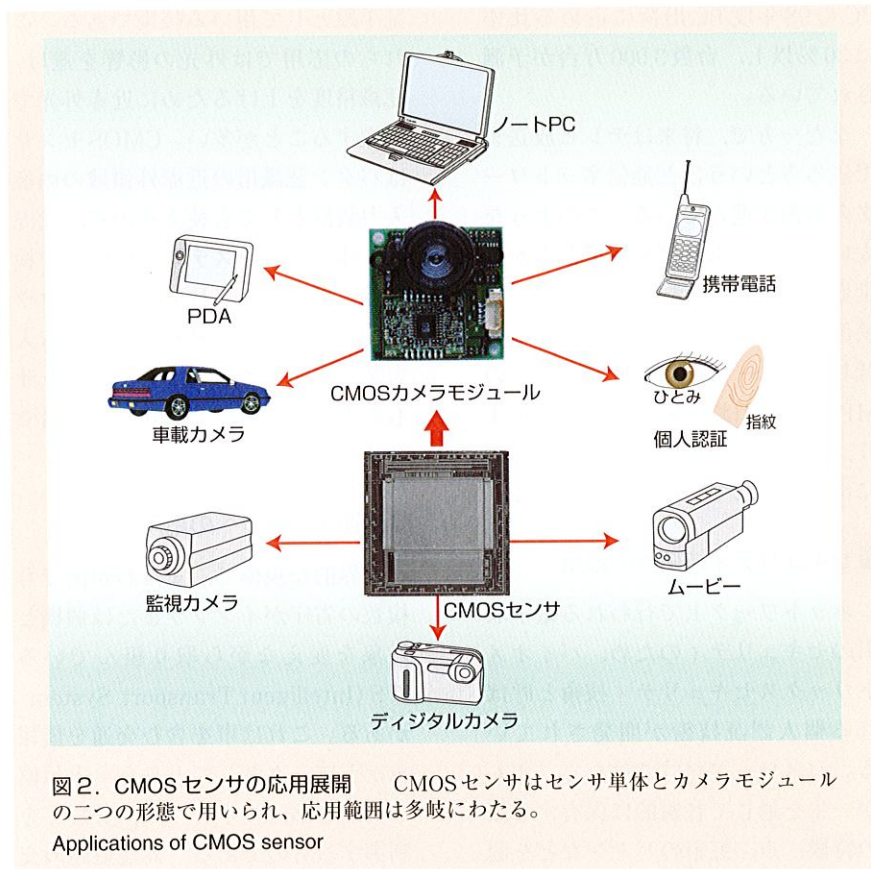
CCD センサの中でもっとも多く使われているインターライン転送型 CCD (IT-CCD) は、フォトダイオードで光電変換された信号電荷を垂直 CCD および水平 CCD で転送して出力アンプに導き、電荷を電圧に変換して電圧信号として出力する。CCD 内部では電荷がほぼ完全に転送されるので雑音がほとんど発生せず、信号対雑音比 (S/N) が良い。

一方、CMOS センサの特長は単位セル内に増幅器 (セルアンプ) をもっている点であり、フォトダイオード電圧を直接増幅するので雑音が入りにくい。ところが、水平駆動レジスタのスイッチング雑音や、セルアンプの特性ばらつきに起因する雑音が発生する欠点があった。しかし、今日これらの雑音を抑圧するためにノイズキャンセル回路^(注1)をくふうしたことで CMOS センサが実用化できるようになった⁽¹⁾。

CMOS センサの応用範囲

パーソナル電子映像の時代が到来し、画像情報はモバイル機器でいつでもどこでも扱えるようになろうとしている。携帯機器では小型、低消費電力が特に要求される。高度に集積化されたデジタル信号処理回路により、CCD カメラモジュールも小型化が急速に進み、30mm²程度になった。しかし消費電力は CCD センサ単体で 300mW、カメラ全体で 1W である。

一方、CMOS センサ単体の消費電力は 30mW 程度で CCD センサの



1/10 以下 (VGA サイズ^(注2)) と、センサ部での電力消費がきわめて小さく、カメラ全体でも 200mW 以下である。第一世代は、センサと信号処理 IC の 2チップ構成だが、システムオンシリコン (SOS) 技術によって第二世代以降に信号処理部と CMOS センサ部が一体となったワンチップカメラが実現する。また、システムと映像信号を受け渡しするインタフェースが必要となるが、CMOS カメラでは SOS 技術で同一チップ上に取り込むことができる。さらに半導体プロセスの微細化に伴う電源電圧の低下により、いっそうの低消費電力、低コスト化の可能性がある。

ビデオカメラの新規製品領域の応用製品群は個品、個機、機器、システム、ネットワークなどあらゆる階

層に存在しており、低コスト要求がとて強い。CMOS センサでは CCD に比べ、スペース、コストおよび電力の制約が大きく改善されるため潜在していた新規市場を一気に開く可能性がある。CMOS カメラは、まず機器組み込み用としてキャラメルくらいの大きさのカメラモジュールから展開して行くことになる。図 2 に CMOS センサと CMOS カメラモジュールの応用装置の展開を示す。

携帯端末への応用

CMOS センサをいちばん期待している市場は携帯テレビ電話、ノートパソコン (PC) など携帯端末と呼ばれるモバイル映像商品群や電子カメラである。これらパーソナル機器は、市場規模が大きい。例としてノート

(注1) ノイズキャンセル回路

CMOS センサの単位画素セル内の増幅器の特性ばらつきによる雑音を低減するために、信号を検出している時の出力から信号をリセットした状態の出力を引き算する回路。いくつかの型が提案されているが、当社では電荷領域で差分をとる回路を用いている。

(注2) VGA サイズ

PC などの画像表示の規格で水平 640 画素×垂直 480 画素の解像度で縦横比 4:3 に表示する形式。通常の PC では 800×600 (SVGA)、1,024×768 (XGA) の表示を行っている。

PCの98年度PC出荷に占める比率は30%以上、台数3,000万台が予測されている。

また一方で、将来はテレビ放送まで送ろうというほど通信ネットワークの整備が進んでいる。このような太いパイプがあれば家庭や個人から世界中へ動画伝送することができる。映像通信を支えるインフラとしての低ビットレート映像通信方式^(注3)のMPEG4^(注4)は98年内に規格も定まり、99年には携帯テレビ電話が一斉に市場に現れてくると予想される。

■セキュリティ技術への応用

ネットワーク上で行われる電子取引のセキュリティのため、バイオメトリックスセキュリティ技術と呼ばれる個人認証技術が開発されている。パスワードだけではなく、個人が一生を通じて普遍的に保有する顔の特徴、声、虹彩のパタンなどを認

証手段として用いる技術である。これらの応用では外光の影響を避け、認識精度を上げるために近赤外光で撮像することが多い。CMOSセンサはパタン認識用の近赤外領域の画像入力装置としても使えるので、光源と一体化したシステムでの展開が検討されている。当社で開発したマウスに代わる、手の動きを認識する入力装置であるモーションプロセッサも近赤外光を用いており、CMOSセンサを応用している。

■交通インフラへの応用

世界的な規模で、またわが国でも複数の省庁がインフラまたは個機と対象を変えながら取り組んでいるITS (Intelligent Transport System)がある。これは車を含む交通を情報ネットワークとしてとらえ、大規模な交通管制、エネルギー消費などを制御するものである。高速道路の交

通量監視、トンネル内の監視、交差点の監視、料金所の自動化など、また車側では車両走行状態モニタ(レーン逸脱監視)、運転者の居眠り監視、自動走行のためのレーンや障害物認識、事故の状況をリアルタイムで記録する記録機などのカメラ応用機器が多く開発途上である。CMOSセンサは、小型で低コストであることから車1台当たりカメラ5~6台程度の多量使用も検討されている。

■その他の応用

ITSでは撮影ダイナミックレンジの大きいカメラが要求される。CMOSセンサはCCDセンサとは構造と動作が異なり強い光を写しても光スミアの発生がない(囲み記事参照)。

ITS関連で開発されるカメラはそのまま監視カメラとしての仕様も満たす。監視カメラはカメラ単体の

CCD センサと CMOS センサの構造と動作

撮像デバイスは、光を電子に変換するフォトダイオードと電子を信号として読み出す走査回路からなる。CCDセンサとCMOSセンサの違いは、走査回路がCCDかCMOSトランジスタかの違いである。

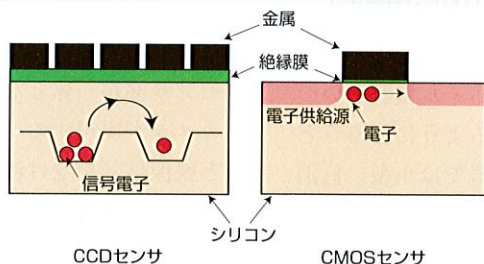
CCDセンサはシリコン基板上に複数の金属電極を近接配置したもので、電極に電圧を加えてシリコン基板内部に電位井戸を形成し、コップに入れた水を隣のコップに移すようにして信号電子を順次転送する。電子1個でも確実に転送することができるので雑音が非常に少ない。その反面、CCDでは強い光が当たると電荷の転送路に光が当たって直接感光したり、深い場所で生じた電荷がシリコン基板の中を拡散し、信号電荷の転送路に流れ込む。その結果、画面の強い光が当たった部分の上下に光りスミアと呼ばれる白い筋が発生する。

一方、CMOSセンサはトランジス

タとして金属電極に印加する電圧によりシリコン基板中を流れる電子を制御するスイッチとして用いられる。しかもCMOSセンサでは、信号電荷はシリコン基板の上の絶縁膜の上に形成された金属電極の中を通るので、光の影響を受けず、光スミアは生じない。また、半導体LSIはほとんどすべてCMOSで作られている。このため、

CMOSセンサはこの半導体LSI製造技術と設計技術を同一センサチップに取り込み、カメラ機能を1チップ内に形成できる。

これに対して、CCDは金属電極とシリコン基板間の絶縁膜の厚さがCMOSの約10倍もあるので、CCDとCMOSを同一チップ上に作ることは難しい。



CMOSセンサとCCDセンサの動作の違い CCDの絶縁膜の厚さはCMOSに比べ10倍もあり、CCDとCMOSを同一チップ上に作ることは難しい。

映像信号を人が見るものから、画像処理装置と組み合わせたマシビジョン装置となる。特定処理回路をSOS技術で組み込んだカメラや、だれでも使える無線技術と組み合わせたカメラが新たな市場を生むことになろう。また、CMOSカメラモジュールは小型、低コストの特性を生かし、これまでは実現できなかったゲーム機、アミューズメント機器へも応用されていくだろう。

CMOS センサの特長

CMOS センサと CCD センサの特長を表 1 に示す。使用面で CCD センサは構造上、3 レベルの高い駆動電圧パルスが必要なため不利である。一方、CMOS センサは CMOS ロジックと同じ単一の低電圧で動作する。また、製造面も汎(はん)用のプロセスが応用できるという点では CMOS センサが有利である。一方、CCD センサはその電荷保持機能が効果的である。すなわち垂直 CCD を 1 画面分のバッファメモリとして用いることができるので、信号電荷の蓄積時間と読出し時間を分離することができる。これは 1 画面の信号が蓄積時間の同時性をもつこと

表 1. 現状の CCD センサと CMOS センサの特長
CCD image sensor vs. CMOS image sensor

	CCD センサ	CMOS センサ
感 度	優	良 (CCD 以上)
雑 音	優	良 (CCD 以上)
スミア	あり	なし
画 像	同時取込	順次走査
電 力	1	1/10
電 源	3~4 電源	単一電源
製 造	専用ライン	汎用ライン
機 能	撮像のみ	SOS 化

() は可能性を示す。

を意味している。CMOS センサは X-Y アドレス型センサであるので基本的にはシリアル読出しとなるが、CCD では問題となる光スミアが、CMOS では発生しない。また、CMOS センサは CMOS 設計技術からもたらされる低消費電力と将来のシステムオンチップが長所である。システムオンチップの具体例の一つがワンチップカメラでありシリコンチップの上にカメラのもつ機能すべてを搭載したものが実現できる⁽²⁾。

CMOS センサの課題

CMOS センサの現状と将来

現状の CMOS センサは CCD センサと比較して感度の点で、まだ十分とはいえない。しかし、最近の研究では CCD がもっとも有利とする感度で CMOS センサが CCD センサを追いぬく可能性を確認している⁽¹⁾。

感度は、入射する光に対してどのくらいの信号電荷が得られるかを表す量子効率とセンサ自身が出す雑音の比で決まる。量子効率はどちらもシリコン基板の上に作られているのでほぼ同じである。雑音はフォトダイオードのリーク電流にかかわる雑音と電荷検出アンプ (CCD は出力アンプ、CMOS はセルアンプ) にかかわる雑音を考えればよい。現在の CCD ではそれ以外の雑音はほとんどない。

CMOS センサの場合はセルアンプから後段で発生する雑音は、セルアンプの増幅率が十分高ければ問題ない。しかし電荷検出アンプは通常 CCD では 1 個であるが、CMOS センサでは複数個あるため複数のアンプの特性ばらつきが大きな雑音となる。この雑音を抑圧するのが、ノイズキャンセル回路である。この回路によって CCD 以下の雑音を実現で

ければ、CMOS センサが CCD センサを感度で抜くことができる。いくつかの回路構成で検知限界以下 (CCD と同等) の雑音を実現できるものが開発されている⁽¹⁾。また、CMOS センサでは水平帰線期間に 1 行分の信号が一斉に読み出される。したがって、時間的にランダムに発生する雑音については、一つのアンプが受け持つ信号の周波数帯域が 1 MHz 程度と狭い CMOS センサが有利である。言い換えると、電荷検出アンプを含む回路雑音によって決まる感度については CMOS センサが CCD より有利である。

CMOS センサの開発の方向

CMOS センサの感度が CCD センサに比べよくなるとほとんどのセンサが CMOS に切り換わり、図 3 のケース B のように市場の主流になる。ポイントは、図 3 のケース B のようにメジャーな市場をねらうにはフォトダイオードのリーク雑音を CCD 並みに抑圧するプロセスの開発が必要ということである。

現在の CMOS プロセスは、スイッチング速度がもっとも速くなるように設計されており、イメージセンサの常識から考えると pn 接合のリーク電流は非常に大きい。センサのフォトダイオードは pn 接合で形成されるので、ここのリーク電流は大きな雑音となって感度を著しく低下させる。メジャーな市場をねらうには新たにプロセスの開発が必要であるが、一般にプロセス開発には多くの投資と時間がかかる。そこで CMOS プロセスをベースにして効率よく低リークプロセスを開発することになる。その一つが CCD センサと同じ、埋込みフォトダイオードプロセスである。一方、プロセス開発を最小にして CMOS センサを研究・開発しているのが米国である。

(注 3) 低ビットレート映像通信方式

電話や PHS などでも送れるくらいデータ量が少なくてすむ映像通信方式。

(注 4) MPEG4 (Moving Picture Experts Group 4)

映像符号化方式の一つで、伝送帯域が制限される移動体通信向け。

ケース	製造プロセス	開発期間	市場
A	CMOSロジック プロセス流用	開発早い	CCD：メジャー市場 CMOS：ニッチ市場 (CMOSロジック機能付)
B	CMOSセンサ プロセス開発 (低リークプロセス)	開発に多少時間 がかかる	CCD：ニッチ市場 (アナログメモリ機能付) CMOS：メジャー市場

ケースA：設計技術に特化しCMOSを開発
ケースB：CMOSに低リークプロセスを開発しCCDを性能で抜く

図3. 製造プロセス開発の違いによるCCDセンサとCMOSセンサの市場
CCDセンサとCMOSセンサの市場へのアプローチの違いを技術的側面から浮き彫りにした。ケースBでCMOSセンサはメジャー市場となる。

Market shares of CCD and CMOS image sensors

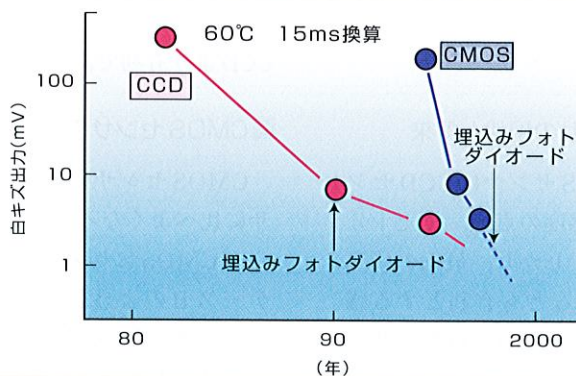


図4. CCDセンサとCMOSセンサの白キズ出力の改善推移
CMOSセンサはCCDセンサより急速に改善が進んでいる。

Improvement of white point defects in CCD and CMOS image sensors

これは図3のケースAであり、開発コストを最小限で設計技術に特化した典型的なニッチ戦略である。ケースAだけではCCDを超えたことにならない。図4はリーク電流により決まる性能の一つである白キズ出力の減少を示したものである。CCDで約15年かかったところをCMOSセンサは2年で達成している。

シリコンウェーハプロセスの進歩が背景にあるが、素子分離に周辺ロジックと共通の、ストレスが大きくリーク電流の大きいLOCOS^(注5)を用いていることを考慮すると、CMOSセンサがリーク電流に関してCCDより決定的に有利な要素を持っていることがわかる。図4ではさ

らにCCDで実績のある埋込みフォトダイオード構造を採用することでフォトダイオードのリーク電流の雑音もCCDよりよくなることを示している。設計技術に特化してCMOSセンサを開発しても、いずれは新プロセスを開発することが必須(す)になると思われる。

■ デジタルの眼として期待される“CMOSセンサ”

シリコンウェーハプロセス技術の進歩により、個人で画像情報を自由に扱えるパーソナル映像の時代が到来した。ここではCCDセンサに代わるパーソナル画像入力デバイスと

して注目されているCMOSセンサの可能性について検討した。CMOSセンサは現市場でCCDセンサに取って代わって、さらに新たな市場を開拓して成長していくであろう。そのためには感度を含めた基本性能でCCD並みまたはそれ以上のものを早期に製品レベルで実現する必要がある。

応用製品は枚挙のいとまがないほど多く、いたるところからデジタルの眼としてのCMOSセンサを期待する声大きい。この期待にこたえるために開発を推進していく。

文 献

- (1) 松長誠之. CMOSイメージセンサのノイズキャンセル回路. 映像メディア学会技術報告. 22,3,1998. p.7-11.
- (2) E. R. Fossum. CMOS Image Sensors: Electronic Camera-On-A-Chip. IEEE Trans. on Electron Devices. 44,10,1997. p.1689-1698.
- (3) 大井一成, 他. 130万画素CMOSイメージセンサカメラ. 東芝レビュー. 52,5,1997. p.84-85.



松長 誠之

MATSUNAGA Yoshiyuki

研究開発センター 先端半導体デバイス研究所
研究主幹. 固体撮像素子の研究・開発に従事。
電子通信学会, 映像メディア情報学会会員。
Advanced Semiconductor Devices Research Labs.



大井 一成

Ooi Kazushige

マルチメディア技術研究所 開発第二部グループ長. ビデオカメラの研究・開発に従事。
映像メディア情報学会会員。
Multimedia Engineering Lab.



田中 修一

TANAKA Shuichi

ADI事業推進室 ADI企画室参事。
新規事業推進に従事。計測自動制御学会会員。
Advanced-I Planning Div.

(注5) LOCOS: LOCal Oxidation of Silicon

素子分離構造の一つで、シリコン基板の一部を酸化して形成された厚い酸化膜により隣接するトランジスタ間を流れる不要な電流を阻止する。