固体撮像板を用いたカラーテレビ カメラの実験的検討

株式会社日立製作所 中央研究所

佐藤 和弘・神山 孝光

長原 脩策・高橋 健二

株式会社日立製作所 本社 研究推進センター

芦川 幹雄

最近、固体撮像板の開発がさかんとなり、すでに 100×100 絵素程度のものが製品化されており、多絵素化、低価格化への努力が進められつつある。固体撮像板は小形軽量で安定性のあるカラーテレビカメラを実現するには好適であるが、撮像管とは異なった問題が生じてくる。筆者らは、これらの問題点を追求するため、先に筆者らが試作した画像ファイル読出し用の MOS 形固体撮像板 3 枚を用いてテレビカメラを試作し、感度、 S/N 等の電気的特性や、レジストレーションの問題、光学系の問題等につき検討を行った。

1. ま え が き

テレビカメラの撮像管に代わるものとして固体撮像板の開発が近年さかに行われている。固体撮像板は撮像管に比し小形、軽量で信頼度も高く、画面ひずみや残像が少ないなど多くの利点を持っており、撮像板の絵素数を増加させる技術が確立すれば撮像管にとって代わるものと思われる。

固体撮像板を用いて解像度の高いテレビ画像をえようとすると、ほぼ 500×600 絵素のものがようになる。

このような撮像板を製作するには、まだ多くの問題を解決しなければならず、実現までには多少の時間がかかる。

しかし、現在急速に普及しつつある単管式カラーテレビカメラとほぼ同等の画質をえるには、かならずしも 500×600 絵素の撮像板でなくても良く、 250×250 絵素でもかなり単管カラーカメラに近い再生像をえることができる。

最近の IC 技術の発展は目ざましく 250×250 絵素程度の撮像板は現在の技術でも製作可能である。

筆者らは 250×250 絵素の固体撮像板を開発する際の問題および固体カラーカメラ特有の問題点等を追求するため、画像ファイル読出し用に試作した MOS 形固体撮像板 3 枚を用いてカラーカメラを試作した¹⁾。

このカメラに用いた撮像板は Al ゲート p チャンネルの MOS 構造で、フォトダイオード、スイッチング MOS トランジスタおよび水平・垂直走査回路で構成されており、先に報告したビット相関法²⁾によるクロックノイズ抑圧機能をそなえている。

撮像板の絵素数が少ないため (54×96 絵素) モニター上のごく一部分にしか像を再生することができなかったが、光学系の色収差や機械的なずれがレジずれとなり画質をそこねること、固体撮像板の分光感度特性と出力信号の周特性が色ひずみの原因になること、ビット相関法は 2 次元の撮像板にも有効であること等がわかった。

ここでは画像ファイル読出し用に試作した撮像板の概要と、その撮像板 3 枚を用いた試作カラーカメラの特性と問題点および、テレビカメラ用の撮像板に要求される性能等について述べる。

2. 試 作 撮 像 板

2.1 ビット相関法

本撮像板の特長はビット相関法と名づけたスパイクノ

"Experimental Research of the All Solid-State Color TV Camera" by Kazuhiro Sato, Takamitsu Kamiyama, Syusaku Nagahara, Kenji Takahashi (Central Research Laboratory, Hitachi Ltd., Tokyo) and Mikio Ashikawa (Research Center, Hitachi Ltd., Tokyo)

図 1 ビット相関法の原理回路

Original circuit of bit correlation.

イズ抑圧機能を有していることである。この方法はフォトダイオードの光蓄積効果を巧みに利用したもので図 1 の回路構成になっている。フォトダイオード $D_1, D_2, \dots$ には蓄積時間内に流れた全光電流が電荷として蓄積されている。まずゲート端子 G_1 に走査パルスが印加されるとスイッチング MOS トランジスタ M_1 が導通し、 D_1 に蓄積された光電荷はビデオライン L_1 を通して読出され D_1 は空になる。次に走査パルスが G_2 に移ると M_2, M_3 が導通し、 D_2 に蓄積された光電荷が L_1 を通して読出される。

このとき L_1 には走査パルスおよび走査パルスを駆動するクロックパルスが、 M_3 のゲート・ドレイン間容量を通して混入し、信号の S/N を極端に低下させる。一方 L_1 と平行にもう 1 本のビデオライン L_2 が配列されており、 L_2 からはスパイクノイズのみが読出される。したがって両信号の差をとればスパイクノイズを相殺した信号がえられる。

2.2 回路構成

試作した撮像板は縦 96、横 54 絵素の Al ゲート p チャンネルの MOS 構造で、図 2 に回路構成を示す。

本撮像板はフォトダイオード、水平・垂直スイッチング MOS トランジスタアレイ、および水平・垂直走査回路の 3 つの部分からなっている。走査回路は一般的な MOS シフトレジスタで構成されている。水平スイッ

図 2 撮像板の回路構成

Circuit of solid-state image sensor.

写真 1 撮像板の部分拡大写真

Photomicrograph of array surface.

チング MOS トランジスタアレイは他の回路構成も考えられるが、寄生容量等 2 本のビデオラインに与える影響をできるだけ等しくすること、回路が簡単であるという理由で本方式を採用した。

次に図 2 の回路動作について述べる。フォトダイオードアレイは 1 フレーム時間に流れた全光電流を電荷として蓄積する。まず垂直走査回路により垂直スイッチング MOS トランジスタを行ごとに順次導通させ、フォトダイオードに蓄積された電荷を列方向の転送線に移す。これはフォトダイオードの接合容量と転送線の容量による蓄積電荷の分配という形で行われる。転送された電荷はさらに上述のビット相関回路で水平方向に順序よく読出され走査テレビ信号となる。なお第 1 列目のフォトダイオードは第 2 列目のフォトダイオードの信号を読出す際のスパイクノイズ発生用のもので、光信号の検出には寄与しない。

なお写真 1 に本撮像板の拡大写真を示す。

2.3 撮像板の特性

写真 2 は差動アンプでスパイクノイズを除去した後のビデオ出力波形である。この写真は MOS トランジスタ・ダイオード方式でも、この程度 (S/N 35 dB, p-p 値) までスパイクノイズを抑圧できることを示すもので、ビット相関法の効果の大きさを示している。

図 3 は試作撮像板の光電変換特性である。水平走査周

写真 2 出力信号波形

Output signal waveform.

図3 光電変換特性
Transfer characteristics.

図4 分光感度
Spectral sensitivity curve.

波数および蓄積時間を 1 MHz, 16 ms と 2 MHz, 8 ms の 2 つの条件で測定した。ビデオ出力は面照度に比例して増加し飽和する。飽和点が存在するのはフォトダイオードの接合容量の電荷が光電流によって完全に放電するため、飽和照度は蓄積時間に反比例する。

図3において 2 MHz 駆動の場合の飽和出力電流が 1 MHz 駆動の場合より低い値を示すのは、走査スピードが早くなるにしたがい水平走査パルスの振幅が小さくなり、スイッチング MOS トランジスタの g_m が小さくなるためと考えられる。

図4はフォトダイオードの分光感度の測定結果である。約 680 nm の波長で最大感度を示している。比視感度のピークは約 550 nm であり、テレビ用の撮像板としてはもっと短波長の感度を上げる必要がある。

3. 試作カラーカメラ

3.1 色分解光学系

色分解光学系は 2/3 インチの 3 V カメラ用のものを

図5 分光透過特性
Spectral transmittance of dichroic filter.

図6 赤外カットフィルターの特性
Spectral transmittance of infrared-cut filter.

流用した。図5にその分光透過特性を示す。使用した撮像板の分光感度特性が図4に示すように長波長側にかたよっており、3200°K の室内照明の下ではますますその傾向が強められる。

そこで図6に示す、やや短波長よりの赤外カットフィルターで赤色光をカットするとともに、3枚の撮像板の出力信号をバランスさせるために灰色フィルターを使用して、赤と緑の光を約 50% 減衰させた。

固体カメラ用の色分解光学系の最も重要な問題は光学的な像のひずみをいかに少なくするかである。

固体撮像板は図形ひずみを伴わないため電氣的なレジストレーションの必要はないが、光学系の色収差や、機械的なずれ等によるレジずれが問題になる。

撮像管の場合のレジずれは、水平・垂直の偏向位置を可変すれば簡単に合わせることができるが、固体撮像板の場合には垂直方向のずれを電氣的に補正できない。

水平方向のずれはシフトレジスタの駆動パルスの周波数を連続的に可変させるなどの方法で補正することは可能であるが、垂直方向のずれは走査線数をへらす以外に方法はなく、完全な補正はできない。

図 7 試作カラーカメラの系統図

Blockdiagram of prototype all solid-state color TV camera.

試作したカメラでは補正レンズを用いて色分解光学系のチャンネル別の倍率誤差を修正し、G (緑) の像に對し、R (赤)、B (青) の像の倍率誤差がそれぞれ +0.5%、-1% になるように調整した。

以上のような問題は多板式カラーテレビカメラの光学系に課せられた難題であり、今後充分検討する必要がある。

3.2 カメラの構成

試作カメラの構成を図 7 に示す。レンズを通過した被写体光を 3 色分解光学系で、R、G、B の 3 原色光に分解し、それぞれの色光に對した 3 枚の撮像板上に結像させ R、G、B の電気信号に変換する。

3 つの電気信号はブリアンプをかねた 3 つの差動増幅器でおのおの増幅され、同時にスパイクノイズの抑圧を行う。差動増幅器の出力信号は次のプロセス回路に送られる。プロセス回路では R、G、B 3 信号のレベルをそろえるためのレベル補正、受像機の非直線性を補正するためのガンマ補正、ペダスタルの挿入、ブランキングパルスの挿入、白レベルクリップなどを行う。色再現性の良いカラー画像を与えるにはガンマ値の設定が重要である。シリコンを用いた固体撮像板のガンマ値はほぼ 1 であるので、本試作カメラのガンマ値は約 0.45 とした。

これら 3 つのプロセス回路で波形整形された R、G、B 信号は NTSC カラーエンコーダーに送られ NTSC 信号に変換される。

また各種の同期信号や、撮像板のシフトレジスターを駆動するためのクロックパルス、ゲートパルスなどは 14.3 MHz の発振周波数を分周して作り、同期信号発生

用 LSI (日立電子製 HD 35501) を用いて回路の簡素化をはかった。

なお解像力を上げるため、今回試作したカメラでは R、G、B 用の撮像板のうち輝度信号に寄与する割合の多い R と G の 2 枚の撮像板を水平方向に多少ずらして配置し、絵素と絵素のギャップ部分を互いにカバーするようにした。

そして、これら 2 枚の撮像板の水平シフトレジスターを互いに位相が 180° ずれた水平クロックパルスで駆動することにより、輝度信号の見かけ上のサンプリング周波数を倍にし解像度の改善をはかった。この結果、約 2 割程度の解像度の向上が見うけられた。

3.3 カメラの性能と今後の問題点

試作したカメラの性能は次のとおりである。

- (1) 使用固体撮像板 縦 96×横 54 の MOS 形、3 枚
- (2) 水平クロック周波数 約 1.02 MHz
- (3) 水平同期周波数 15.73 kHz
- (4) 垂直同期周波数 59.94 Hz
- (5) 感 度 約 900 lx, $F: 1.8$
照明: 約 3200°K のハロゲンランプ
- (6) S/N 約 40 dB
- (7) 色再現性 3 V カメラとほぼ同等

試作した撮像板はテレビカメラ用に設計したものではなく縦、横の長さの比が 2 : 1 である。そのため写真 3 に示すように、縦長の再生像しかえられなかったが、色再現性の良いカラー像を再生することができた。

色再現性の定義はむずかしく定量化しにくいだが、ここでは日立電子製の 3 V (3 ビジコンカメラ) と試作カメラとの色再現性をベクトルスコープ上で比較した。同一

写真 3 再生画像

Example of reproduced image.

の色紙を同一条件（照明の色温度、照度等）で撮像したところ、その色ベクトルの誤差は 10° 以内であった。

撮像板の絵素数が少なく解像度不足はやむをえないが、感度はかなり低くなることがわかった。

固体撮像板の出力電圧特性は図3に示すように飽和特性を示し、かつその分光感度は図4に示すように長波長よりの特性となっている。

いま、フラットな照明下で白い被写体を撮像し、照明をしだいに明るくしていくと、図3の飽和特性の影響が撮像板の感度の高いRから順にあらわれる。この結果、たとえばRだけが飽和特性の影響を受け非直線ひずみ（色ひずみ）を発生させることが起りえる。

このような欠点をとりのぞくためには灰色フィルターを用いてRとGの光を減衰させ、等価的に3つの撮像板の感度を等しくする必要がある。

このためカメラの感度は撮像板のBの感度で制限をうけることになり、カラーカメラとしての感度は低くなる。

筆者らが試作したカメラでは前述した程度の感度しかえられなかった。これは単管式カラーカメラのほぼ半分の値である。

3.4 再生カラーモニター

前述したように試作した撮像板は絵素数が少なく、かつ画像ファイルの読出し用に設計したものであるため、縦長の像しか再生することができない。したがってカラーモニターも特殊なものが要求される。

筆者らは家庭用の受像機の水平・垂直の偏向回路を改造し、水平・垂直の偏向サイズをそれぞれ約 $1/3.3$ 、 $1/2.5$ に縮小して用いた。

4. テレビカメラに適した撮像板の検討

上述の固体テレビカメラでは標準放送方式の映像信号がえられなかったため、モニターテレビの改造を必要とした。しかし固体カメラの商品化を考えた場合、現用のテレビカメラとの互換性がなければその価値は半減する。

筆者らは、全固体テレビカメラの試作結果をもとに、テレビカメラに適した固体撮像板の検討を行ったので、この章で少し論じてみたい。

4.1 絵素数

テレビカメラ装置は通常同期信号発生器を備えており、固体撮像板の駆動パルスはできるかぎり同期信号発生器を利用して作った方が便利である。集積回路技術が発達した昨今においては、通倍回路を用いるより分周回路のみで同期信号発生器を構成した方が、安定かつ簡単である。そのため、最近の同期信号発生器は各種の信号

を作りだすうえで最も適当な周波数 f_0 を定め、これを分周することにより各同期信号パルスをえている。

固体撮像板を駆動する水平クロックパルスを上述の f_0 から作る場合にも、当然分周回路のみで処理できることが望ましい。水平クロック周波数は水平方向の絵素数できまるので f_0 が定まった場合の水平方向の最適絵素数 n は次の式で求まる。

$$n = \frac{d \cdot f_0}{a \cdot f_H} \quad (1)$$

ただし

d : 1 水平走査時間を 1 とし、かつ水平ブランキング時間を除いた有効走査時間を定める定数

f_H : 水平同期周波数

a : 分周比を示す定数で正の整数。

通常、 f_0 : 14.31818 MHz、 f_H : 15.73 kHz であり、システムブランキングを 16%、カメラブランキング期間を約 10% とるものとして $d=0.84$ および 0.9 とし、(1) 式により計算すると表1に示す値が最適絵素数の範囲となる。

一方、垂直方向に必要な絵素列は 1 フレームの走査線数が 525 本あるのに対し、垂直ブランキング期間が 42 水平走査本数だけあるため 525 または 483 列、もしくはその正の整数分の 1 だけあれば良い。したがって 525~483、262~242、175~161、131~121、105~97、87~81、75~69、65~61 等が最適数となる。

4.2 撮像板受光面の形および面積

テレビカメラ用撮像板に要求される条件のひとつに受光面の形とその面積がある。テレビ画面は縦・横比が 3:4 の矩形であるため、撮像板の受光面も 3 対 4 の縦・横比を満足するものでなければならない。また、受光面積が大きければ大きいほど絵素数をふやすうえで有利であるが、撮像レンズを特別に作らねばならず、コスト的に問題がある。したがって通常用いられているレンズを使用するものとする、表2に示す受光面積であることが望ましい。

4.3 感 度

固体撮像板を用いてカラーカメラを構成する場合、撮

表1 分周比 a に対する水平方向の最適絵素数
Countdown ratio of clock pulse vs. optimum number of photosensitive element.

a	1	2	3	4	5
n	818~765	409~383	272~255	204~191	163~153
a	6	7	8	9	10
n	136~128	117~110	102~96	90~85	82~77

表 2 レンズの大きさと受光面積
Lens size and image area.

レンズサイズ	通 常 の 用 途	受光面積 (mm)
1 $\frac{1}{4}$ インチ	ブランビコンカメラ	12.8×17.1
1 インチ	(最も一般的) 単管カラーカメラ, ブランビコン, ビジコンカメラ	9.6×12.7
2/3 インチ	ビジコンカメラ, 工業用3管カラーカメラ, 2管式カラーカメラ	6.6×8.8
1/2 インチ	ビジコンカメラ	4.8×6.4
8ミリサイズ	8ミリシネカメラ	4.0×5.3
35ミリサイズ	写 真 機	24×36

像板のBの感度が重要であることを3章で述べた。

一方、人間の眼のBの分解能は低く、高々 500 kHz の映像信号の周波数成分を伝送すれば良いことがわかっている。したがってB用の撮像板は、絵素数が少なくても感度の良いものが望まれる。

5. む す び

固体撮像板および固体カラーテレビカメラ特有の問題点を追求するため縦 96, 横 54 絵素の MOS 形撮像板を試作し、その撮像板 3 枚を用いて全固体カラーテレビカメラを試作した。

試作した撮像板は A1 ゲート, p チャンネルの MOS 構造で、フォトダイオード部、水平・垂直のスイッチング用 MOS トランジスタアレイ、水平・垂直走査回路の 3 つの部分からなっている。

MOS 形撮像板の欠点であるパルス性雑音に対してはビット相関法を用いてその低減をはかった。

この撮像板は画像ファイル読出し用に設計したため絵素数が充分でなく、試作カメラの再生像をモニター上の一部分にしか写しだすことができなかったが、色再現性の良いカラー像を再生することができた。しかし、試作カメラの感度は単管式カラーカメラより低く、今後、撮像板の青の感度を上げることが重要である。

一方、光学的な像のひずみはレジずれとなり画質を劣化させる。このような光学的なひずみは電氣的な補正ができないので、色分解光学系を設計するさいには、より図形ひずみに対する精密さが要求される。

(昭和 50 年 5 月 16 日受付, 昭和 51 年 2 月 20 日再受付)

(参 考 文 献)

- 1) 佐藤ほか: 二次元固体撮像装置とカラーカメラへの応用, テレビ全大 (1974)
- 2) M. Ashikawa, et al: A New Spike Noise Elimination Technique for Photosensitive Arrays, ISSCC '73 Digest of Technical Papers, THPM 11.1
- 3) 長原: 固体撮像素子の産業への応用の可能性, テレビ全大 (1974)

テレビジョン 1 月号 予 定 目 次

小特集 ゴースト対策

【ふぉーかす】	文化とテレビ技術	NHK	伊藤 岩夫
【小 特 集】	都市内におけるテレビ受信障害の対策	NHK	遠藤 敬二
	反射波のビデオ波形に及ぼす影響	東 大	尾上 守夫
	建造物からの反射強度の抑制	東工大	清水 康敬・末武 国弘
	遅延素子等を用いたゴースト除去	松下電器	山本 啓輔・山口南海夫
【論 文】	視覚における色度の空間周波数特性	NHK	坂田 晴夫・磯野 春雄
	フリッカを伴う場合の視覚系の周波数レスポンスと主観	関西大学	小長谷正彦・吉田 博
	イメージディセクター管 S 形びずみの解析	浜松テレビ	土屋 裕
【これすぽんでんす】	電波監視における周波数スペクトラム自動記録について	関東電監	清水 富次
【講 座】	(第 10 回) レーザーとその応用 5. レーザーの応用 (II)		
	——画像情報の記録再生および表示技術——	NHK	岩村 総一・東芝 辻 重夫
【新技術のページ】	テレビジョン技術用語		森本 重武
【現 場 だ よ り】	NHK 技術運用センター	NHK	石村 金三
【国際会議レポート】	固体素子コンファレンス	電総研	林 豊・超 LSI 技術研究組合共同研 関川 敏弘
	第 18 回 SMPTE 大会に出席して	東京放送	清水 孝雄