フィールド蓄積モード CCD の単板カラー化方式

正会員 曾 根 賢 朗[†], 正会員 石 川 清 次[†]
 正会員 橋 本 進[†], 正会員 黒 田 隆 男[†]
 正会員 大久保 祥 雄[†]

あらまし フィールド蓄積モードを用いたインターライン転送方式 CCD に適用できる新構成の単板カラー化方式を提案し、そのカラー撮像評価を行った。フィールド蓄積モードを用いた新しい単板カラー化方式により、等価残像がなくなり、垂直限界解像度付近でのフリッカーが軽減され、総合画質にすぐれたカラー再生画像を得ることができた。

1. ま え が き

インターライン転送方式 CCD における受光蓄積モードとして、1つのフォトダイオードで1フレーム期間 (1/30 秒) にわたり信号電荷を蓄積するフレーム蓄積モードと、1フィールド期間 (1/60 sec) 蓄積するフィールド蓄積モードが知られている¹⁾。

従来から単板カラー化に際しては、垂直解像度がフィールド蓄積モードにくらべ高くとれるフレーム蓄積モードが用いられてきた^{2)~5)7)}。

フィールド蓄積モードでは、フレーム蓄積モードの欠点であるインターレースに起因する等価残像¹⁾の除去および垂直限界解像度付近のフリッカーの軽減を図ることができる。しかしインターライン転送方式 CCD をフィールド蓄積モードで用いる場合には垂直方向の2画素の信号電荷が混合され、単板カラー化に際して色多重化方式の自由度が制限されるため、新しいカラー化方式の検討が必要になる。

本論文では、インターライン転送方式 CCD におけるフィールド蓄積モードの検討結果および、フィールド蓄積モードに適用可能な単板カラー化方式とカラー撮像特性について報告する。

2. 撮 像 素 子

2.1 撮像素子の概要

使用した撮像素子は、2/3 インチサイズの受光面を持つ水平 379 画素、垂直 502 画素のインターライン転送方式 CCD⁸⁾⁹⁾である。

図1に示すように、撮像素子はフォトダイオードアレイ、垂直 CCD (VCCD)、水平 CCD (HCCD) およびフローティングディフュージョンアンプ (FDA) よりなっている。またブルーミング抑制のため、オーバーフローコントロールゲート (OFCG) とオーバーフロードレイン (OFD) が設けられている。

図1 素子の構成図
Schematic diagram of image sensor.

[†] 松下電子工業株式会社 半導体研究所
 "A Single Chip CCD Color Camera System Using Field Integration Mode" by Yoshiaki Sone, Kiyotsugu Ishikawa, Susumu Hashimoto, Takao Kuroda and Yoshio Ohkubo (Semiconductor Laboratory, Matsushita Electronics Corporation, Osaka)

図2 セルの構成図

Schematic layout of vertical CCD and photodiodes.

図2は撮像素子のセル構成を示したものである。フォトダイオードは4相構造の垂直CCDの1/2段に対して1個設けられている。各フォトダイオードに蓄積された信号電荷は転送ゲート(ϕ_{PT})を介して垂直CCDへ転送された後、4相駆動の水平CCDを経て順次FDAで検知、出力される。

2.2 フィールド蓄積モードの検討

従来から使用されているフレーム蓄積モードにおいては、図2に示す ϕ_{V4} に電圧を印加し ϕ_{PT} パルスによって全画素のうちの半分のフォトダイオード、例えばPD・Aの信号電荷を垂直CCD上へ転送する。次のフィールドでは ϕ_{V2} に電圧を印加し ϕ_{PT} パルスによって残り半分のフォトダイオードPD・Bの信号電荷を垂直CCD上へ転送する。

一方、フィールド蓄積モードでは、各フィールドで隣接した2つのフォトダイオードPD・A、PD・Bの信号電荷は垂直CCD上で混合される。このフォトダイオードから垂直CCDへの転送方法として、

- ① 全フォトダイオードの信号電荷の垂直CCDへの転送を一度に行う方法(シングルトランスファ法)
- ② 全フォトダイオードの信号電荷の垂直CCDへの転送を2度に分けて行う方法(ダブルトランスファ法)

がある¹⁰⁾。

図3はシングルトランスファ法による信号電荷の転送と混合方法を示したものである。フォトダイオードから信号電荷を転送する場合は ϕ_{PT} ゲートおよび各フォトダイオードに対応した垂直CCDの ϕ_{V2} および ϕ_{V4} ゲートに電圧を印加する。

図3(a)は ϕ_{PT} 、 ϕ_{V2} および ϕ_{V4} に電圧を加えるこ

図3 信号電荷の転送と混合方法(シングルトランスファ法)

Readout organization by single transfer method.

(a) Charge transfer from photodiode to vertical CCD, (b) to mix charge in vertical CCD at field A, (c) to mix charge in vertical CCD at field B.

とによって全フォトダイオード信号電荷を垂直CCDへ一斉に転送した状態を示している。このとき各信号電荷は ϕ_{V1} および ϕ_{V3} ゲートによって分離されている。つぎに ϕ_{PT} を閉じた後Aフィールドでは図3(b)に示すように ϕ_{V2} 、 ϕ_{V3} ゲート下に ϕ_{V4} ゲート下の信号電荷を転送し ϕ_{V2} 下の信号電荷と混合する。

Bフィールドでは図3(c)に示すように ϕ_{V2} 、 ϕ_{V3} ゲート下にAフィールドと反対方向に位置する ϕ_{V4} ゲート下の信号電荷を転送し ϕ_{V2} 下の信号電荷と混合する。

このようにA、Bフィールドとも ϕ_{V2} 、 ϕ_{V3} ゲート下に信号電荷を蓄積することにより、以後の垂直電荷転送パルスとしてA、Bフィールドで同一のものを

図4 信号電荷の転送・混合の駆動パルス波形
Clock pulse waveforms to readout charge.
(a) Field A, (b) field B.

用いることができる。

図4はシングルトランスファー法による各フィールドでの ϕ_{PT} , ϕ_{V1} , ϕ_{V2} , ϕ_{V3} および ϕ_{V4} の駆動パルス波形を示したものである。図4(a)はAフィールド信号電荷の転送および混合、(b)はBフィールド信号電荷の転送および混合の駆動パルス波形である。

一方、ダブルトランスファー法では、全フォトダイオードのうち半分のフォトダイオードの信号電荷を垂直CCDへ取り出し、1/2段転送する。その後、残りの半分のフォトダイオードの信号電荷と垂直CCD上で混合する。インターレース駆動の場合には各フィールドで垂直CCD上の信号電荷の1/2段転送方向を逆にする。

これらの両方式の比較検討を行った結果、感度、解像度等の基本撮像特性に有意差はとくに認められず、以下に示す評価においては駆動方式としてシングルトランスファー法を採用した。

2.3 フィールド蓄積モードにおける白黒画像特性

フィールド蓄積モードは等価残像を除去するだけで

図5 垂直解像度特性
Vertical resolution characteristics.

なく、インターレース時の垂直限界解像度付近におけるフリッカーを軽減する利点をもつ¹⁾。また、垂直方向の2つのフォトダイオードの信号電荷を混合することにより垂直解像度の低下を招くが、垂直方向のサンプリングによる偽信号を減少させる¹⁾。

写真1は、フィールド蓄積モードとフレーム蓄積モ

写真1 移動物体の撮像例
Reproduced images of moving object.

(a)Frame integration mode, (b)field integration mode.

写真2 解像度チャート撮像例
Reproduced images of resolution chart.

(a)Frame integration mode, (b)field integration mode.

ードを用いた場合の移動物体の撮像例であり、1フィールド時間の再生画面を示したものである。移動物体としてメトロノームを使用してその振り子に被写体を取り付け、毎分30回の周期で再生画面いっぱい水平方向に振っている。撮影は再生画面の中心を被写体が通過する最もスピードの速い時点で行った。同写真に示すようにフィールド蓄積モードの場合はフレーム蓄積モードに比べ、移動物体に対する解像度（動解像度）が優れていることがわかる。

図5はフィールド蓄積モードとフレーム蓄積モードを用いた場合の垂直方向の変調度特性の測定結果である。

また、写真2は解像度チャートの撮像例で、再生画面の一部を拡大して示したものである。

図5に示すように、フィールド蓄積モードはフレーム蓄積モードに比べ変調度特性が限界解像度付近で低下するが、写真2に示すように垂直方向における偽信号が著しく軽減される。

3. フィールド蓄積モードを用いた単板カラー化方式

3.1 色フィルターの構成

フィールド蓄積モードでは図3に示すようにAフィールド、Bフィールドで垂直方向の異なる隣接2画素の信号電荷が素子内で混合され読出される。そのため、単板カラー化に際して従来のフレーム蓄積モード^{2)~5)7)}および2行同時読出し⁶⁾¹¹⁾色フィルターを使用すると、カラー再生に必要な色信号を得ることができない。

フィールド蓄積モードを用いて、単板カ

図6 フィールド蓄積モード用色フィルターの構成
Color filter array for field integration mode.

ラー化を行う場合には、垂直方向の2画素の信号電荷が混合されても、各フィールド、各ラインで輝度信号が等しく、かつ2水平ラインで少なくとも2種類の色信号が得られる色フィルター構成が必要となる。また色フィルターは本素子の水平方向の画素数を考慮し、必要な輝度周波数帯域幅を確保するために色フィルターを2列くり返し構成とする必要がある。

以上の条件を満たす2画素混合読出し用色フィルターは、図6の基本構成例に示すように、2列4行のくり返し構成となる。

同図に示す色フィルターの構成をとることにより、たとえばAフィールドにおける n ライン、 $n+1$ ラインの輝度信号 Y_{An} 、 Y_{An+1} 、Bフィールドにおける n ライン、 $n+1$ ラインの輝度信号 Y_{Bn} 、 Y_{Bn+1} は、

$$\begin{cases} Y_{An} = Y_{An+1} = A + B + C + D \\ Y_{Bn} = Y_{Bn+1} = A + B + C + D \end{cases}$$

となり、各フィールド、各ライン間の輝度信号は等しくなる。一方、Aフィールドの n ライン、 $n+1$ ラインの色信号を C_{An} 、 C_{An+1} 、Bフィールドの n ライン、 $n+1$ ラインの色信号を C_{Bn} 、 C_{Bn+1} とすると、

$$\begin{cases} C_{An} = C_{Bn} = (A + C) - (B + D) \\ C_{An+1} = C_{Bn+1} = (A + D) - (B + C) \end{cases}$$

図7 色フィルターの配列
Arrangement of color filter array.

図8 総合撮像特性（計算値）
Total system spectral responses (calculated).

(93) 859

号および色信号を得る。

3.3 映像信号処理回路

図10に本カラー化方式を用いた場合の映像信号処理回路の系統図を示す。

被写体からの光は、レンズ、赤外カットフィルター、水晶ローパスフィルター(水平方向)を通過後、撮像素子上に結像する。

広帯域輝度信号 $Y=2R+3G+2B$ は CCD 信号出力を直接 LPF_H に通すことによって得られる。色差信号 $C=2R-G$, $2B-G$ は CCD 信号出力を BPF に通し検波することによって得られる。この色差信号は色温度補正用のホワイトバランス回路を通った後、 $1H$ 遅延線と $1H$ 切換回路による順次-同時変換回路によって2種類の色差信号 $2R-G$, $2B-G$ となる: これらの色差信号を色副搬送波で平衡変調し、広帯域輝度信号に加え、バースト、複合同期信号の付加を行い NTSC 信号出力を得る。また回路の簡略化のために γ 補正を NTSC 複合同期信号に対して行っている¹²⁾

(a) 白黒素子

(b) カラー素子

写真3 CZPチャート撮像例

Reproduced images of Circular Zone Plate chart.

(a) Reproduced image by B/W device,

(b) reproduced image colored device.

R		R	
R		R	
R		R	
	R		R
R		R	

	B		B
B		B	
	B		B
	B		B
	B		B

(a) 赤色光入射の場合 (b) 青色光入射の場合

図11 単色光に対する色フィルター配置

Filter arrangements for individual color.

(a) When red light comes in, (b) when blue light comes in.

写真4 解像度チャート撮像例

Reproduced image of resolution chart.

なお、ホワイトバランス用の信号としては広帯域輝度信号と別系統の LPF_L , プロセス回路を通った低帯域輝度信号を用いる。

また、カメラ同期信号、撮像素子駆動用パルス等は、マスタークロック周波数を 14.31818 MHz とするロジック回路から得ている。

4. カラー撮像特性

4.1 解像度特性

写真3(a)(b)はそれぞれ、色フィルターなしの白黒素子および色フィルター接着後のカラー素子による白色光入射時におけるサーキュラーゾーンプレートチャート(CZPチャート)の撮像例である。比較のため、いずれも水晶フィルター(空間的LPT)、電気的LPFは同じ特性のものを用いている。

赤および青色光に対する色配置は図11に示すようになり、空間周波数応答が低下する。そのため図3(b)において、とくに斜め方向(垂直250TV本、水平280TV本相当)にモアレパターンが発生している。

写真4に解像度チャートの撮像例を示す。解像度と

図 12 垂直スミアへの着色
Color characteristics in vertical smear.

写真 5 カラーベクトル図 (3200 K)
Color vector.

写真 6 カラー撮像例
An example of color reproduced image.

して水平 240 TV 本, 垂直 350 TV 本が得られている。

4.2 感度, S/N 特性

感度として $F=2$, 120 lx において S/N は 50 dB

表 1 カラー特性評価結果
Color characteristics.

感 度	$F=2$, 120 lx (3200 K)
S/N (83%反射, ランダム)	$Y: 50 \text{ dB}$ $2R-G: 44 \text{ dB}$
解 像 度	垂直 350 TV 本 水平 240 TV 本
垂直スミア	0.2% (3/10 V, 輝度信号)

(Y チャンネル, ランダム, 3200 K, 83%反射) が得られた。

本方式では色差順次方式を用いているため R , B 色信号に対する S/N の評価は困難である。そのため色差信号の S/N を測定した。その結果 $2R-G$ 色差に対し $S/N=44 \text{ dB}$ を得た。ただし色差信号の S/N は赤色光に対する色差信号波高値 S_R とそのときの雑音電圧 N_R を用いて求めた。

4.3 スミア特性

一般に W 市松補色フィルター⁵⁾ のように緑色をベースとした補色形フィルターを用いた場合, 垂直スミアは緑色に着色する。

本方式では色差順次方式を用いているため垂直スミアへの着色は少ない¹³⁾。図 12 は, 標準照度の 8 倍の光量入射時 (3200 K) における本方式の垂直スミアへの着色の程度を示したものである。同図に示すように W 市松補色フィルターの場合に比べ, 大幅なスミア着色の軽減がはかれている。なお測定に用いた撮像素子のスミア量は 0.2% (3/10 V) である。

4.4 その他の特性および撮像例

写真 5, 写真 6 にカラーバーチャート撮像時のベクトルスコープ波形および一般被写体のカラー撮像例を示す。

白黒用素子を用いた場合と同様に限界解像度付近のフリッカー状のちらつきが少なく, また移動物体に対する解像度が向上し安定したカラー再生画像が得られた。また表 1 にカラー撮像特性をまとめて示す。

5. む す び

フィールド蓄積モードを用いたインターライン転送方式 CCD に適用できる新構成の単板カラー用色フィルター配列, 色分離方式を提案し, そのカラー撮像特性評価を行った。

撮像特性として, $F=2$, 120 lx の被写体照度において輝度信号 S/N 50dB, $2R-G$ 色差信号 S/N 44 dB, 解像度垂直 350 TV 本, 水平 240 TV 本が得られた。スミア特性として 0.2% (3/10 V, 輝度信号) が得られ, さらにスミアへの着色は色差順方式を用いて

いるため非常に少ないものであった。

以上の撮像特性に加え、フィールド蓄積モードの特長はカラー化時にも維持され、等価残像の除去された、垂直限界解像度付近のフリッカーの少ないカラー再生画像が得られることを確認した。

最後に、本研究の機会を与えていただいた当社半導体研究所 寺本所長、国井部長をはじめ関係部署の方々に深く感謝いたします。

(昭和58年4月20日受付、昭和58年6月20日再受付)

【参 考 文 献】

- 1) 山中, 山崎, 橋本, 阿部, 越智: “3 CCD カラーカメラの方式”, テレビ誌, **33**, 7 (July, 1979)
- 2) 森下, 田中: “CCD 単板カラーカメラの実験的検討”, テレビ誌, **33**, 7 (July, 1979)
- 3) 石川, 曾根, 橋本, 大前, 国井: “高感度 CCD 単板カラーカメラ”, 昭55 関西支部連大, G 14-1 (1980)
- 4) 曾根, 橋本, 大前, 石川, 国井: “固体撮像素子用補色型色分離フィルタの検討”, テレビ全大, 5-5 (1981)
- 5) 石川, 橋本, 曾根, 大前, 平本, 大久保: “固体撮像カメラ (CCD 単板カラーカメラと CPD 白黒カメラ)”, National Tech. Rep., **28**, 2, pp.43-47 (Apr., 1982)
- 6) 長原, 高橋, 秋山, 泉田: “小型 MOS 形単板カラーカメラ”, テレビ誌, **34**, 12 (Dec., 1980)
- 7) 大井, 藤原, 酒井, 種田, 小川, 天野: “周波数インターリービング方式単板カラーカメラ”, テレビ学技報, TEBS 87-8 (Mar., 1983)
- 8) 堀居, 黒田, 松本, 広島: “ブルーミング改良型 2/3 インチ単板カラー用 CCD 撮像素子”, テレビ学技報, ED 525 (Sep., 1980)
- 9) 黒田, 堀居, 松本, 広島: “高性能インターライン転送方式 CCD 撮像素子”, National Tech. Rep., **28**, 2 (Apr., 1982)
- 10) 曾根, 石川, 平本, 橋本, 高村, 黒田, 堀居, 大久保: “フィールド読み出し方式 CCD のカラー撮像評価”, テレビ学技報, TEBS 87-3 (Mar., 1983)
- 11) 増田, 野田, 斎藤, 大場, 高橋, 藤田: “MOS 単板カラーカメラ”, テレビ学技報, ED 553 (Feb., 1981)
- 12) 清水, 宮川, 櫛木, 中部: “固体撮像板を用いた固体単板式カラーカメラのシミュレーション”, テレビ全大, 4-12 (1977)
- 13) 石川, 橋本, 曾根, 大前, 平本, 大久保: “補色フィルタを用いたカラーカメラの画質改善”, 昭57 関西支部連大, G 14-4 (1982)

A Single Chip CCD Color Camera System Using Field Integration Mode

*by Yoshiaki Sone, Kiyotsugu Ishikawa, Susumu Hashimoto,
Takao Kuroda, Yoshio Ohkubo*

A new color separation method for a single chip interline-transfer CCD color camera using a field integration mode has been established.

It is shown that use of the field integration mode can efficiently eliminate a lagged or residual signal from the previous field. Picture flickering near the Nyquist limit in the vertical resolution of CCD output signals is also remarkably suppressed.

A new color filter array, developed for the field integration mode CCD, has brought forth a high total picture quality, being applicable to high performance color cameras for home use.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 37, No. 10 (1983) 855~862

Fully Digitalized Electronic Still Camera

by Kazunori Ohnishi, Kotaro Wakui

NHK has developed a new electronic still camera system category. The developed camera has an interline transfer CCD for image sensor and 64Kbit C-MOS static RAM array with back-up battery for picture recording.

In the camera, the output video signal from the CCD is digitized and immediately recorded in the RAM array without any signal processing. After one still picture recording, the RAM array is removed from the camera and attached to the playback equipment.

In the playback equipment a field memory, clocked by the television rate, is provided for the picture display. A micro computer is applied primarily for signal processing, such as color separation, γ -collection and NTSC encode.

The advantage of this new system can be summarised as follows.

- 1) Camera construction is simplified.
- 2) By digital signal processing, a high-quality still-picture is obtained.
- 3) It is suitable for incorporating LSIs.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 37, No. 10 (1983) 863~876