単板カラーカメラ用 *npn* 構造型 MOS 撮像素子の特性

株式会社日立製作所 中央研究所

小池 紀雄・竹本 一八男・佐藤 和弘
笹野 晃・長原 脩策・久保 征治

単一撮像素子から3原色信号を取出す単板カラーカメラ用 484×384 画素 MOS 撮像素子を試作し、特性評価を行った。本素子は色分離良くカラー信号を取出すための2信号出力線構成とブルーミング抑制のための *npn* 構造を備えている。その結果、水平、垂直おのおの260および350TV本の解像度、バランスのとれた分光特性、飽和照度の約20倍のブルーミング抑制効果が得られた。

1. ま え が き

固体撮像素子の性能はここ数年来、着実な向上を見せ固体素子の特徴を生かした幅広い用途が注目を浴びている。その代表的な用途がVTR用の固体カラーテレビカメラであり、小型、軽量で取扱い易い固体カメラは次世代のテレビカメラとして大きな期待を担っている。こうした背景の中で、1975年頃には3原色の信号を3枚の撮像素子により取出す3板式カラーカメラ¹⁾²⁾の研究が活発となり、1978年には撮像素子1枚でカラー信号を取出す単板式カラーカメラ^{3)~5)}が報告されるに至っている。

しかし、上記の固体カメラに使用されている撮像素子はいずれもカラー化方式検討用に試作された実験的段階のものであり、現在のテレビ放送あるいはVTR用カメラに使用されている撮像用電子管にくらべると、(i)解像度が低い、(ii)撮像の対象となる可視領域の感度が低い、さらには、(iii)固体特有の現象であるブルーミングの発生など、幾多の問題が山積している。

これらの問題を解決し実用に供し得るカラーカメラ用の撮像素子を開発するため、われわれはカラー用撮像素子に必要とされる特性を素子の構成および構造の両面から抜本的に検討した。その結果、2列同時選択のインターレース走査方式によりカラー信号を2本の出力線で取出す構成および、*npn* 光ダイオード構造を備えた MOS

撮像素子を考案し、試作素子により特性評価を行った。

本論文では、まず、従来撮像素子の問題点を洗い出しこれら問題点に対する解決策を検討した結果について述べる。次に、本検討の結果に基づいて設計した 484×384 MOS 撮像素子の構造解析および本素子の特性を説明する。最後に、試作素子の特性測定の結果を報告する。

2. 従来撮像素子の問題点

われわれは先に報告した 244×244 素子⁶⁾を用いて、3板式カラー²⁾および単板式カメラ⁴⁾を試作し、両者の特性比較を行った。3板式は3色分解光学系と3個の撮像素子を必要とするため、(i)寸法、重量が大きくなる。(ii)素子間の光学的位置合せが至難であり、量産性に欠ける、という厳しい問題点を生じている。

一方、単板式は3色分解用のカラーフィルターが撮像素子と一体化されるため、前述のような問題はなく、小型、軽量という固体素子の利点を十分に生かすことができる。反面、(i)1色あたりの絵素数は減少する。例えば3原色フィルター(赤、青、緑)の単純な繰返し配列を用いれば水平解像度は1/3に低下する、(ii)フィルターの吸収により入射光量は約1/3に減少するため、感度の低下を招く。

したがって、単板式カメラを実現するには、その心臓部となる撮像素子の特性を従来素子にくらべて根本的に改善する必要がある。そこで、前述の 244×244 素子の特性を現在ほぼ完成された領域に到達している電子管の特性に照らし合せ、固体素子に必要な特性を検討した。

"Characteristics of an *npn* Structure MOS Imager for a Single-chip Color Camera" by Norio Koike, Iwao Takemoto, Kazuhiro Sato, Akira Sasano, Shusaku Nagahara and Masaharu Kubo (Hitachi Central Research Laboratory, Tokyo)

表 1 固体撮像素子に要求される特性
Characteristics required for a solid-state imager.

要 求 仕 様	解 決 策
1 高解像度 垂直 ~ 350 TV 本 水平 ~ 250 TV 本	2列同時インターレース走査による2信号出力線式構成
2 良好な色分離特性	
3 3原色信号が同時に得られること	
4 残像のないインターレース走査方式	
5 カラーカメラに適した分光感度特性	<i>npn</i> 光ダイオード構造
6 ブルーミングの抑制	
7 低雑音	

その結果を表1に示す。われわれは、ここにあげた7点の要求仕様を満たすため、固体素子の構成、構造の両面から特性改善の検討を行った。その結果、1項から4項に対する解決策として緑信号を専用の出力線、赤および青信号を兼用の出力線で取出す2信号出力線式の素子構成を考案した。一方、5項から7項に対しては、絵素（光ダイオード）を *npn* の3層構造とし、走査回路部と光ダイオードアレイ部を異なる *p* 型ウエル領域に形成する構造を考案した。

撮像素子の担手には周知のように CCD および MOS の2方式がある。本研究では、上述の構成および構造がより簡単に実現できる点を考慮して MOS 方式を採用した。

3. 484×384 MOS 撮像素子

3.1 素子構成

484×384 素子の全体構成を図1に示す。中央は垂直スイッチ (Q_v) を含んだ光ダイオード (PD) のアレイで

図 1 484×384 MOS 撮像素子の構成

Schematic diagram of the 484×384 MOS imager.

あり緑(G)用素子を市松状に並べ、その間に赤(R), 青(B)用素子を配列し、2本の垂直信号出力線 SV_G , SV_{RB} に接続されている。周辺は水平および垂直スイッチ (Q_H , Q_V) の選択を行う走査回路であり、上部は水平走査回路、左隅は1組のインターレーススイッチを備えた垂直走査回路である。スイッチ Q_{11} , Q_{12} はフィールド切換えパルス F_1 , F_2 により交互に導通する。

本素子の動作は次に説明する通りである。垂直走査回路は 15.73 kHz の周期で垂直走査パルスを出力する。フィールドパルスは 60 Hz で切り換わり、パルス F_1 による第1フィールドでは垂直列選択線 (LV_1 , LV_2), (LV_3 , LV_4), ... に、パルス F_2 による第2フィールドでは1列ずれて (LV_2 , LV_3), (LV_4 , LV_5), ... に走査パルスが順次送り出される。一方、水平走査回路は384個の画素数に応じて決まる 7.16 MHz の周期で水平走査パルスを出力する。水平、垂直2つの走査パルス列により、第1フィールドでは $\{(1, 1), (2, 1), \dots, \{(483, 384) (484, 384)\}$ の順に、第2フィールドでは $\{(2, 1), (3, 1), \dots, \{(482, 384) (483, 384)\}$ の順に各画素の選択が行われる。第2フィールドでは最初と最後の列の選択が行われないため、次の第1フィールドの選択の際、この分が加算されて信号量が不均一になるが、最初および最後の列は垂直帰線期間に収められるので支障ない。

本構成は以下にあげるような撮像上の基本となる重要な特性を備えている。

- (i) 緑用光ダイオードは赤および青用光ダイオードの2倍配列されており、輝度信号の主成分となる緑信号を常時得ることができる。また、光ダイオードは前述のように互に入り組んだ市松状に配列されており、ダイオードの集積度が向上する。これらの結果、限られた画素数で高い解像度が得られる。
 - (ii) 緑、赤および青用信号を異なる2つの出力線より取出すため混色がない、すなわち色分離特性が良い。
 - (iii) 1個の素子で緑、赤、青の3原色信号を同時に取出すことができ、信号処理が簡単となる。
 - (iv) 2列を同時に選択するインターレース走査方式であり、いずれのフィールドにおいても全光ダイオードの信号が読出されるため、残像が発生しない。
- 以上述べた4つの効果により、2章で提起した第1～第4項までの問題点を解決することが可能になる。

3.2 構造と特性解析

484×384 素子の主要部である光ダイオードア

図2 484×384 MOS 撮像素子の構造

Device structure of the 484×384 MOS imager.

図3 npn および np 光ダイオードの分光特性 (計算値)

Spectral response of the npn and np structure photo-diodes. (calculated value).

レイの構造を図2に示す。光ダイオード用 n^+ 拡散層は n 型基板上に形成した p 型ウェル内に集積化されている。本構造により分光感度、ブルーミングなど前章で提起した第5～第7項の問題点を解決することが可能になる。

(1) 分光感度

光ダイオードは図3に示すような n^+pn の3層構造であり、 n 型基板内で発生した光励起電荷(正孔)は、ウェルが正孔にとってポテンシャル井戸として働くため、 p 型ウェル内で吸収することができる。したがって、本ダイオードに流れる光電流 I_p は n^+ 領域で発生した正孔電流と p 型ウェル領域で発生した電子電流の和で与えられ、 n^+ 層の深さを X_N 、ウェル層の深さを X_W 、とすれば、電流 I_p は次式で表わすことができる。ただし、ウェル内の電子の拡散距離は X_W より充分大きく、さらに本ウェル内の上半分($X_W/2$)で発生した電子がダイオード接合面に到達するものと仮定した(下半分の電子は n 型基板側へ流出する)。

図4 484×384 素子構成画素の等価回路

Equivalent circuit for the picture element of the 484×384 imager.

$$I_p = \frac{P\lambda q}{hc} \{ (e^{-\alpha(X_N - L_p)} - e^{-\alpha X_N}) + (e^{-\alpha X_N} - e^{-\alpha(X_N + X_W/2)}) \} \\ = \frac{P\lambda q}{hc} e^{-\alpha X_N} (e^{\alpha L_p} - e^{-\alpha(X_W/2)}) \quad (1)$$

ここで、 P および λ は入射光のエネルギー($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)および波長(nm)、 h はプランク定数($6.624 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$)、 c は光速($3 \times 10^8 \text{ m/sec}$)、 q は電荷量($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)、 L_p は n^+ 領域で発生した正孔の拡散距離、また α はシリコンの吸収係数である。(1)式において、指数項 $e^{-\alpha X_N}$ は吸収係数の大きい可視光、特に青感度を支配する項であり、 n^+ 層の深さを浅くするほど感度が高くなることを表わしている。一方、指数項 $-e^{-\alpha(X_W/2)}$ は吸収係数の小さい赤外光に対する感度を支配する項であり、ウェル深さを浅くすることにより、不要な赤外感度を低減することができることを示している。(1)式より計算した n^+pn 光ダイオードの分光特性の一例を np 光ダイオードの特性と比較して図3に示す。ここで、吸収係数はW.C. Dashらのデータ⁷⁾を使用し n^+pn ダイオードにおいては $X_N = 0.5 \mu\text{m}$ 、 $L_p = 0.3 \mu\text{m}$ 、 $X_W = 4 \mu\text{m}$ の諸数値を用いた。また、 np ダイオードにおいては、 n^+ 拡散層は前述の n^+pn ダイオードの場合より深い値を使用し $X_N = 2 \mu\text{m}$ 、さらに(1)式における X_W を p 型基板内の電子の拡散距離 L_N で置き換え $X_W/2 = L_N = 30 \mu\text{m}$ 、として計算した。 n^+pn ダイオードにおいては、 n^+ 拡散層の深さを上述のように浅く設定したため青感度は np ダイオードにくらべ1桁高くなり、逆に赤外感度は p 型ウェルの存在により1/5以下に減少することが期待できる。

(2) ブルーミング

本撮像素子を構成する画素の等価回路を図4に示す。 C_p は光電流源 i_p を有した光ダイオードの接合容量、 Q_V は前述の垂直スイッチである。 T_H はスイッチ Q_V に寄生した横方向の n^+pn バイポーラトランジスタであり、

図5 縦方向および横方向トランジスタの幾何学的構造
Geometrical structure of the vertical and lateral bipolar transistors.

ダイオードをエミッタ(E), ウェルをベース(B), 垂直出力線につながるドレインをコレクタ(C)としている。一方, T_v は3層構造により得られる縦方向のトランジスタであり, n 型基板が本トランジスタのコレクタを形成している。

スイッチ Q_v の選択によりビデオ電源電圧 V_0 まで充電されたダイオードは, 次の1フィールド期間に入射する光量に相当した放電を行うが, 入射光が強い場合には0Vを通過して接触電圧 ($\sim 0.6V$) を越えない負電圧まで降下する。したがって, トランジスタ T_H, T_v のエミッタ・ベース間は順バイアス状態となり, 各トランジスタにはビデオ電源および基板電源 V_{SUB} よりコレクタ電流 I_H, I_v が流れ始める。これがブルーミング電流に相当し, 従来の2層構造 np 素子ではトランジスタ T_v が存在しないため, ブルーミング電流はトランジスタ T_H を通してすべて垂直出力線より供給されることになる。両者のブルーミング電流の比 R_{vH} は図5に示した両トランジスタのコレクタ面積 A_v および A_H と, 電流増幅率⁸⁾ $h_{fe(v)}$ および $h_{fe(H)}$ の積の比で与えられることになる。ここで, 電圧条件は $V_{SUB} \approx V_0$ とした。

$$R_{vH} = \frac{I_v}{I_H} = \frac{A_v}{A_H} \cdot \frac{h_{fe(v)}}{h_{fe(H)}} \quad (2)$$

$$\text{ただし, } h_{fe(v)} \approx \frac{\text{sech}(W_v/L_N)}{1 - \text{sech}(W_v/L_N)}$$

$$h_{fe(H)} \approx \frac{\text{sech}(W_H/L_N)}{1 - \text{sech}(W_H/L_N)}$$

ここで, W_v, W_H は各トランジスタのベース幅を表わし, また, L_N は p 型ウェル領域, すなわちベース中の電子の拡散距離である。 L_N は W_v, W_H より充分大きいものと仮定すれば, (2)式は次式のように簡単な形で表わすことができる。

$$R_{vH} = \frac{A_v}{A_H} \left(\frac{W_H}{W_v} \right)^2 \quad (3)$$

一般にコレクタ面積 A_v は光を受ける光ダイオードの

図6 走査回路構成用非極性反転回路
Non-polarity inverter forming the scanning circuit.

面積に等しく, 面積 A_H にくらべると30~100倍大きい。一方, ベース幅は前述の分光特性および1絵素当りのレイアウト面積等による制約を受けるため, 両者の比 W_H/W_v を大きくとることはむづかしく, 1~2程度である。これらの結果, R_{vH} は30~400の値を取り得ることになる。したがって, ブルーミング電流は縦方向トランジスタ T_v を通して基板側に吸収でき, ブルーミング抑制を行うことができる。

(3) 雑音

MOS 撮像素子では, 水平走査回路内を横方向に走るクロック配線と水平信号出力線間の寄生容量が大きいため, スパイク雑音が CCD 素子に比べて大きい。前述の p 型ウェル構造はこの問題の解決策としても有効であり, 走査回路と光ダイオードアレイを別々のウェルに集積化することにより, 半導体内部を通して回路側からアレイ部に漏洩するスパイク雑音の低減をはかることができる。

雑音発生のもうひとつの要因は走査回路自体にある。本素子に使用する走査回路は図6に示した非極性反転回路で構成されている。 Q_C は走査パルスを出力する充電トランジスタ, Q_D は放電トランジスタ, また, C_B はトランジスタ Q_C のゲートに設けたブートストラップ容量である。走査パルスを出力するトランジスタ Q_C のゲートは容量 C_B により出力端子 N_O の電圧 V_0 より δV_G だけ持ち上がるため, 充電トランジスタ Q_C は常時非飽和領域で動作する。ここで, 電圧 δV_G は次式で与えられる。

$$\delta V_G = \frac{C_B}{C_B + C_S} V_0 \quad (4)$$

一般に, 容量 C_B はトランジスタ Q_C のゲートに寄生する容量 C_S に比べて数倍大きく設計するため, δV_G は V_0 の70%前後に相当する値が得られる。本動作により各段の出力からは振幅の等しい走査パルス列を得ることができ, 先に報告したパルス列のばらつきによる固定パターン雑音の発生⁹⁾を低減することができる。

4. 特性評価

4.1 試作

本素子の試作は通常の N チャンネル Si ゲートプロセスに p 型ウェル製作工程を加えて行った。試作素子の全体チップを写真 1 に示す。本素子では 1 インチ光学系に相当する撮像サイズを採用したので、光ダイオードと垂直 MOS スイッチから成る 1 画素の寸法は垂直方向 $20\mu\text{m}$ 、水平方向 $34\mu\text{m}$ である。また、周辺の走査回路を含めた全体のチップサイズは $11.4\text{mm} \times 14.9\text{mm}$ である。

4.2 特性測定

分光感度特性の測定結果を図 7 に示す。実線は試作 npn 素子の特性であり、下の曲線は 484×384 素子本体の特性、上の曲線は本体と同一チップ内に製作した光ダイオード単体の特性である。一方、点線は p 型基板の上に n 型光ダイオードを形成した np 型 484×384 素子の特性である。青領域 ($\sim 460\text{nm}$) における量子効率 n は n 型光ダイオード単体で 80%、 n 型 484×384 素子本体で 50% である。この差は図 1 からわかるように、本体

写真 1 試作 484×384 素子のチップ写真
Photomicrograph of the 484×384 imager chip.

図 7 試作 484×384 素子の分光感度特性
Measured spectral response of the 484×384 imager.

素子においては信号出力用の Al 配線など不透明な配線が受光面を縦横に走り、光の利用率が低下するためである。両特性の差から求めた n 型 484×384 素子の有効受光面積率は約 60% である。ここで、 n 型 484×384 素子の特性を np 素子と比較してみると、カラー撮像に不要な赤外感度は $\lambda = 750\text{nm}$ で $1/7$ 、 $\lambda = 900\text{nm}$ で $1/16$ に低下している。したがって、本試作素子では、タングステン光源を使用した場合、赤、緑、青各領域に対してバランスのとれた感度を得ることができる。

ブルーミング抑制効果の実例を写真 2 に示す。上のモニター写真は前に述べた従来の np 型 484×384 素子による再生像であり、抑制効果はない。下の写真は n 型構造を有した 484×384 素子の再生像であり、ブルーミングはほとんど除去されているのがわかる。ここで、スポット光は垂直走査方向の画角の 10% に相当する 50 絵素 ($\sim 1000\mu\text{m}$) に当たっており、その照度は 300lx である。一方、前章で述べたトランジスタ電流比 R_{VH} の実測値は約 40 である。したがって、ブルーミング電流の 98% が縦方向トランジスタを通して基板に吸収さ

(a) np 構造 484×384 素子

(b) n 型構造 484×384 素子

写真 2 ブルーミング抑制効果
Examples of blooming suppression effect.

表 2 484×384 素子の特性測定値
Measured characteristics of the 484×384 imager.

特 性 項 目	測 定 値
クロック周波数	水平: 7.16 MHz 垂直: 15.73 kHz
標準駆動電圧	9 V
分光感度特性	400~700 nm (ピーク: 460 nm)
ブルーミング抑制効果	飽和照度の ~20 倍
飽和信号電流	~5 μ A
信号対固定パターン雑音比	53 dB*
暗 電 流	0.1 nA/cm ²
解 像 度	垂直 ~350 TV 本 水平 ~260 TV 本

* 飽和信号時

写真 3 撮 像 例
An example of reproduced image.

れており、これが写真(b)に示したブルーミング抑制効果につながっている。本素子のブルーミング抑制効果は入射光のスポットサイズが垂直画郭の 10% の場合で、飽和照度の約 20 倍である。

試作 484×384 素子の特性測定の結果を表 2 にまとめ示す。固定パターン雑音は先に試作した 244×244 素子にくらべ大きく向上し、飽和信号時で 53 dB の SN 比を得ることができた。また、写真 3 は解像力テストチャートの撮像例であり、垂直 ~350 TV 本、水平 ~260 TV 本の解像度が得られた。なお、本撮像素子を使用した単板カラーカメラについては、梅本らによる別途報告¹⁰⁾を参照されたい。

5. む す び

従来の固体撮像素子の問題点を洗い出し、その解決法を素子構成および構造の両面より検討した。本検討の結果に基づいて、2 信号出力線および npn 構造を備えた単板カラーカメラ用 484×384 MOS 撮像素子を試作した。本素子の特性評価により、(i)垂直解像度 ~350 TV 本、水平解像度 ~260 TV 本、(ii)カラー撮像に適した分光感度、(iii)飽和照度の約 20 倍のブルーミング抑制効果、(iv)飽和信号時における SN 比 53 dB など、設計当初の目標をほぼ満足する特性が得られることを確認した。

これらの特性は固体素子としては非常にすぐれたものであり、固体カラーカメラの実現に大きな原動力となるものと判断される。反面、固定パターン雑音の除去がまだ充分ではなく、本雑音が実質的な感度の低下を招いている。今後の課題は本雑音の低減であり、電子管を凌駕するためには少なくとも 12 dB の改善が必要であると考えている。

終りに、本研究を進めるにあたり終始有益な御助言をいただいた当研究所 三和部長、芦川主任研究員ならびに素子の試作、評価にあたり御協力いただいたデバイス開発センター 大西部長、当所の橋本主任研究員、高橋、大場、花村の各研究員、松丸技師に深甚の謝意を表する。

(昭和 54 年 2 月 13 日 受付)

(参 考 文 献)

- 1) 佐藤, 神山ほか: 二次元固体撮像装置とカラーカメラへの応用, テレビ全大予, 3-6 (1974)
- 2) 沢村, 和久井ほか: 試作固体カラーカメラの性能および設計上の問題点, テレビ全大予, 2-6 (1975)
- 3) P. L. P. Dillon, et al.: Color Imaging System Using a Single CCD Area Array, IEEE Trans., ED-25 (1978) 102-107
- 4) 梅本, 佐藤ほか: 単板カラーテレビジョンカメラの試作, テレビ全大予, 3-20 (1978)
- 5) 高村, 中谷ほか: MOS 単板カラー撮像素子, テレビ学会技術報告, 電子装置 -2, 10 (1978.9)
- 6) 小池, 神山ほか: 低欠陥密度 244×244 MOS 撮像素子, 信学全大予 (1977) 1012
- 7) W. C. Dash, et al.: Intrinsic Optical Absorption in Single-Crystal Germanium and Silicon at 77°K and 300°K, Phys. Rev., 99 (1955) 1151-1155
- 8) 島 茂雄編: トランジスタ回路, 日刊工業新聞社, 504
- 9) 小池, 佐藤ほか: MOS 形二次元撮像素子の信号対雑音比, テレビ全大予, 2-11 (1978)
- 10) 梅本, 佐藤ほか: 単一撮像板カラーテレビカメラ, テレビ誌, 33, 7 (1979)

512×340 Element CCD Image Sensor

*by Nozomu Harada, Yukio Endo
Mineo Iwasawa, Katsuo Matsushima*

A CCD image sensor having 512 elements vertically and 340 elements horizontally has been developed. In this device, the frame transfer mode of operation is employed.

The image area of the device, measuring 6.66 mm×8.84 mm, corresponds to that of a 2/3 inch vidicon, and the electrodes are constructed of overlapping two-level polycrystalline silicon.

It is found by the measurement that the dark current of this sensor is less than 1 μ A typically, and that the sensitivity is about 0.34 μ A with its uniformity within 3 percent.

The theoretically expected resolutions of 340 TV lines vertically and 240 TV lines horizontally are confirmed by the image pickup test.

The method, originally proposed by the authors, to control the photoelectric conversion characteristics, that is, to change the knee point and the knee gradation, by applying a control waveform to the integration electrodes, is also experimented confirming the effectiveness of the method.

J. Inst. Engrs. of Japan, Vol. 33, No. 7 (1979) 536~541

Two CCD Color Television Camera

by Yasuo Takemura, Kazushige Ooi, Itsuzo Sato, Kikuo Saito

A new solid-state color television camera has been experimentally developed using the charge-coupled device (CCD).

High picture quality almost acceptable for consumer use in regard to resolution and color fidelity is obtained by using two CCD's, each having 174,080 (512V×340H) picture elements, and a color stripe filter.

The effect of the dimension of the frame transfer CCD element and the color stripe filter structure is analyzed, to show the advantages of this color pickup system configuration in color crosstalk and vertical resolution.

J. Inst. Engrs. of Japan, Vol. 33, No. 7 (1979) 542~547

Characteristic of an *npn* Structure Mos Imager Color Camera

*by Norio Koike, Iwao Takemoto, Kazuhiro Sato,
Akira Sasano, Shusaku Nagahara, Masaharu Kubo*

A single-chip color MOS imager from which three primary color signals can be simultaneously obtained is described.

The MOS imager features a double video line configuration for color signal pickup, two row selecting interlace to prevent image lag, and an *npn* device structure for anti-blooming operation.

On the basis of the characteristic analysis, a 484×384 element MOS imager is designed and fabricated.

The measured characteristics are as follows.—(1) Vertical resolution and horizontal resolution are 350 TV lines and 260 TV lines, respectively. (2) Blooming suppression rate is about 20 times saturation exposure. (3) Visible light sensitivity, especially in blue, is high with spurious red and infrared sensitivity being very low. (4) Signal to fixed noise ratio is 53 dB at the saturation signal current of $\sim 5 \mu$ A.

This performance indicates that the newly devised MOS imager should find application in future single-chip color cameras featuring compactness and TV grade resolution.

J. Inst. Engrs. of Japan, Vol. 33, No. 7 (1979) 548~553