

5 kビット×3(R, G, B)縮小光学系用カラーラインセンサ

5 kbit×3(R, G, B) Color Line Sensor for Reduction Optical System

カラー複写機の画像入力素子として、縮小光学系用(以下、縮小形と称する。)カラーラインセンサHE95113を開発した。用紙A3サイズを16 d/mm {400 dpi}の高解像度で読み取り、R, G, B各色256階調で表現するフルカラー複写機に対応する。縮小形は、従来の密着形と比較して、原稿の凹凸の影響が少なく、画素出力が均一なため有利とされていたが、従来技術との乖(かい)離が大きく実現に至らなかった。今回、素子構造のくふう、フィルタ技術、チップ反り低減技術などを開発することで、この素子を製品化することができた。

主な仕様は、画素数5 kビット×3ライン、RGB原色系モノリシックフィルタ、チップ反り15 μm以下、感度R=0.58 V/lx·s, G=0.53 V/lx·s, B=0.55 V/lx·s, 各色感度差±5%, 転送効率95%以上、残像1.5%以下、入力端子容量240 pFおよびデータ転送速度16 Mビット/sである。

藤井達久* *Tatsuhisa Fujii*

門脇正彦* *Masahiko Kadowaki*

1 緒 言

ラインセンサは、感光画素を一列に配列した構造を持ち、バーコードなどの一次元的画像情報を読み取るほか、デジタル複写機、ファクシミリのように二次元的情報を機械的副走査と組み合わせて高解像度で読み取る素子として、広い応用分野を持っている。近年、複写機の市場では、多階調・高解像度カラープリンタ技術が進展し、低価格で実現可能となった。また、ワードプロセッサやパーソナルコンピュータなどの画像処理機器と接続して、総合的な電子編集システムを構成できるデジタル式が今後の主流となることが予想される。そのため画像入力用素子であるカラーラインセンサの性能向上と需要が急速に高まってきた。

16 d/mm {400 dpi}の高解像度と、R, G, B各色256階調で読み取り再生した画像は、人間の目に自然な画像として映る。この性能を目標とするデジタル式フルカラー複写機には、光学レンズで原稿画像を縮小結像するカラーラインセンサが必要とされていたが、従来技術では以下に述べる諸課題があり実現に至らなかった。従来の縮小形モノクロームセンサでは、出力信号を“1”, “0”の2階調で使用していたため、雑音、感度リニアリティ、出力不均一などがあまり問題にならなかった。フルカラーセンサでは多階調が重要であり、これらの要求が厳しく、また色再現性に影響する分光感度特性などを含めて所定の性能が要求される。さらに、感度に関してはR, G, B各色成分だけ受光するため、近赤外成分を含

めてまとめて受光するモノクロームセンサと比較して、R, G色は $\frac{1}{5}$ になる。B色については、光源として演色性のよいハロゲンランプを使用した場合、B色波長域光量はG色波長域光量の $\frac{1}{2}$ と少なく感度は $\frac{1}{10}$ とより厳しいものになる。

そこで、原稿と同じ長さ(300 mm)の受光部を、原稿に密着させて読み取る方式のセンサが一足先に実用化された。密着形では、縮小形よりも必然的に画素サイズおよび素子構造余裕を数倍大きくとれる。しかし、原稿に密着させるため、原稿の凹凸や原稿との擦れによるきずの影響を受けやすい。また、シリコンLSI技術では300 mmという長尺物はできず、5チップ程度を高精度で並べる必要があり、必然的に不均一性が生じるなど量産的にも信号处理的にも難点が少なくない。

これに対し日立製作所では、エリアセンサで培ったチップ製造技術とカラーフィルタ技術をベースに、感度向上、転送効率・残像の改善、高速駆動化およびチップ反りの低減を行い、初めて縮小形カラーラインセンサの製品化を達成した。

2 製品概要

2.1 外 観

5 kビット×3(R, G, B)縮小形カラーラインセンサHE95113の外観を図1に示す。外形寸法67.5 mm×12.2 mmの46ピンサーディップパッケージを採用し、受光部位置精度

* 日立製作所 茂原工場

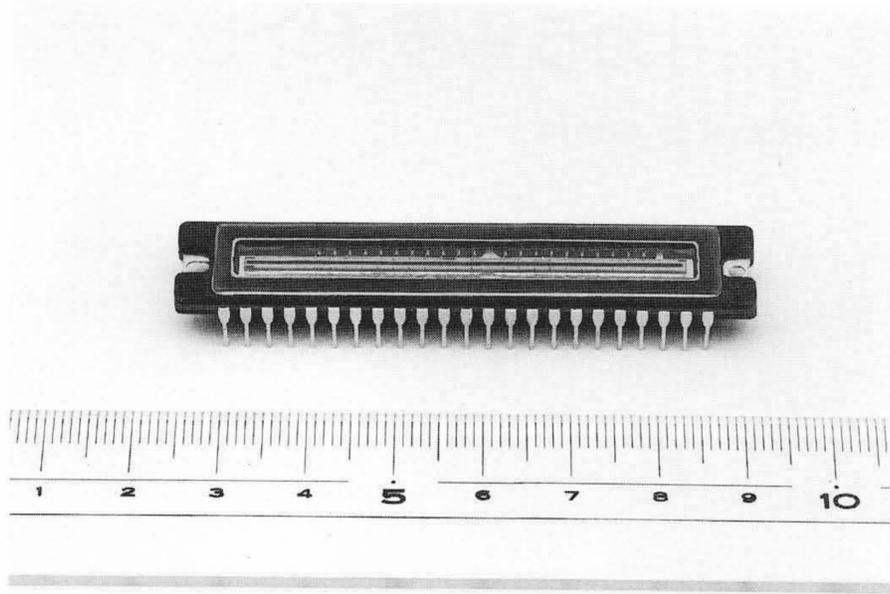


図1 カラーラインセンサHE95113の外観 取付精度のため基準孔を設けた46ピンサーディップパッケージを採用した(外形寸法67.5 mm×12.2 mm)。

±0.2 mmを実現するため、位置決め用基準孔を設けている。また、光学レンズ側からセンサ受光面を見たときの凹凸(チップ反り)は10 μm程度に抑えた。焦点深度の比較的浅い明るいレンズでも、フォーカスぼけを生じさせない配慮である。チップ全長は、系の小形化と光学系の精度および感度を考え合わせ、画素ピッチ10 μm、約50 mmとした。

2.2 回路構成

1チップ上に、完全独立駆動可能な3本のラインセンサを配置し、R、G、Bのストライプフィルタをモノリシック法で積層した〔図2(a)〕。各ラインの駆動クロックは、入力端子容

量を抑え、高速駆動を可能とするため、共通化を避けて独立駆動とした。これにより、用途に応じて個別に駆動する自由度もできた。

回路構成は図2(b)に示すように、受光部、CCD(Charge Coupled Device) 2本の転送路、および一对の電荷電圧変換回路FDA(Floating Diffusion Amplifier)から成る。

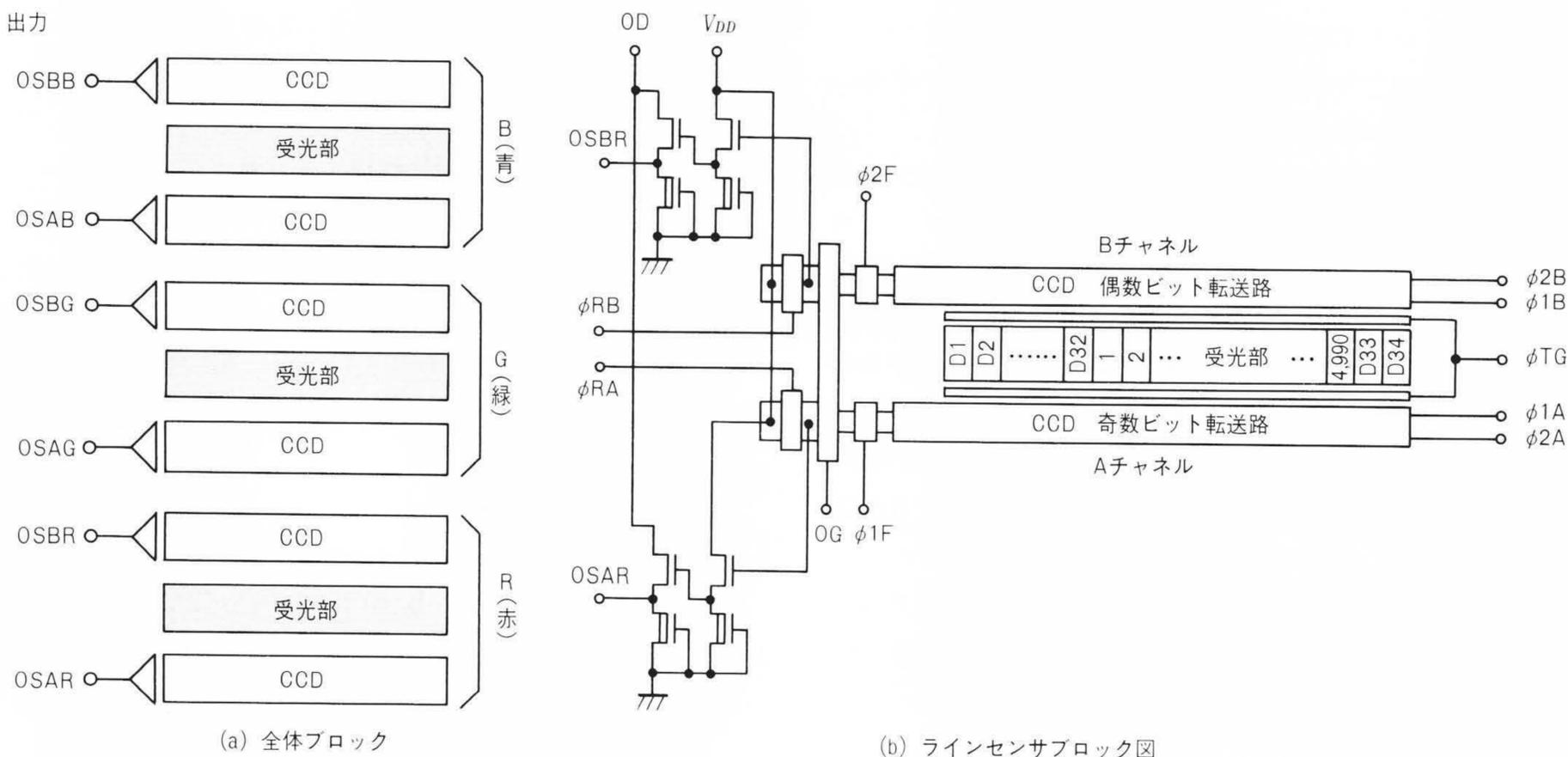
受光部は、4,990個のホトダイオードと30個(D1からD30)の黒基準レベルクランプ用ダミー、および感光ダミー(D31とD32)を持つ。転送ゲートクロックφTGがLowの期間、光電変換した電荷を蓄積し、所定の蓄積時間経過後、φTGをHighにすると、偶奇ビットの電荷が2本のCCD転送路へ分かれて移る。2相のクロックφ1とφ2でCCDを駆動し、順次信号電荷を出力へ移送する。CCD最終段クロックφ1Fとφ2Fは、出力FDAへ送り出すφ1とφ2の波形をきれいにすることを目的とする。

出力電圧は、2段ソースホロワでインピーダンス変換(300 Ω)し出力する。出力後、FDAにたまっている電荷をリセットクロックφRをHighにして電源V_{DD}へ掃き出す。

2.3 電気光学特性

(1) 感 度

面照度1,000 lx、蓄積時間1 msで各色0.5 V以上の出力電圧を得ることを目標とし、電荷電圧変換利得を決めるFDAの浮遊容量低減とソースホロワ回路の電圧利得改善を行った。電荷電圧変換利得は、出力電圧V=(電荷量Q)×(ソースホロワ利得A)/(FDA容量C)で与えられ、容量Cに反比例する。そこで、容量を、寸法縮小、パターンの簡略化、他のゲート電



注：略語説明 CCD(Charge Coupled Device)

図2 カラーラインセンサの回路構成 (a)は全体ブロック図の、(b)はR(赤)ラインセンサの詳細回路構成である。

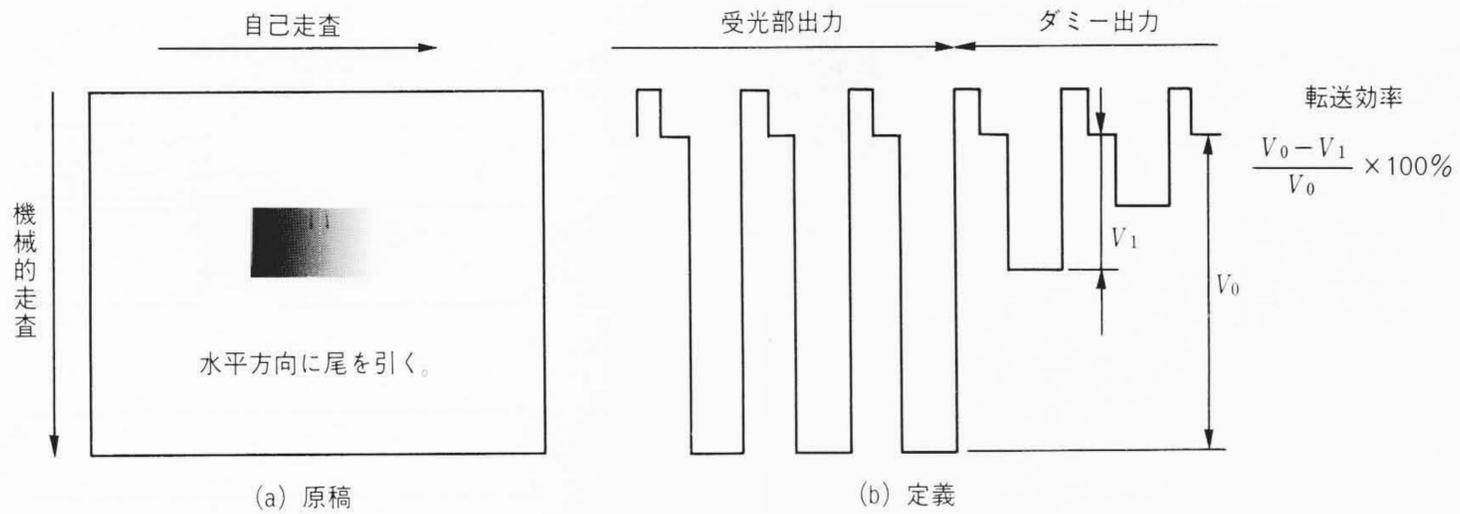


図3 転送効率の定義 最終段の次のダミービットに電荷転送残りが現れる。

極と極力離すなど、レイアウト的くふうによって低減した。ソースホロワ回路は、MOSトランジスタの基板効果による電圧利得低下が支配的で、基板の不純物濃度を低く抑えた。これにより、FDAの電荷電圧変換利得は $6 \mu\text{V}/\text{電子}$ となり、R色、G色に対しては、感度 $0.5 \text{ V}/\text{lx}\cdot\text{s}$ を得た。

B色感度は、標準光源(A光源)とCM500(赤外カットフィルタ)の条件で規定した場合、R色の $\frac{1}{2}$ となり、信号処理系で増幅補正が必要となる。そのため、この素子では、B色画素サイズだけ $10 \times 20 \mu\text{m}^2$ として感度バランスをとった(表1)。

(2) 転送効率

転送効率は、信号電荷をホットダイオードからCCDを通りFDAまで移送する際に、後段に取り残さないで送る能力で、信号電荷量がCCDの転送能力を越すと劣化する。転送効率が低下すると、自己走査方向の解像度が低下し、再生した画像は、

図3(a)のように右方向に尾を引く。これに対し、従来のCCD転送電極下にあるポテンシャルディップ(電位の穴)の発生しやすい構造を改良し、転送電界を強化する設計を行い、5,000段の転送で95%以上の転送効率を得た。

(3) 高速化

この障害は、CCD駆動クロック $\phi 1$ 、 $\phi 2$ の容量と、ソースホロワのレスポンスである。CCD各段のゲート電極容量が5,000段分クロック配線に付き、配線抵抗と分布定数線路を形成する。クロックが入力端から5,000段目まで伝搬すると、遅延と電圧振幅低下を来し、転送効率低下を招く。そこで、CCD転送路の幅を縮め、電極を小さくしてゲート電極容量を低減し、さらにAl配線を2層構造として配線抵抗を下げ、遅延9 ns、8 MHz駆動時の電圧振幅低下を10%以下にした。

また、出力ソースホロワ回路の駆動能力を向上させ、信号出力90%の立下り時間を15 nsとし、出力信号有効期間を十分に大きくとれるよう配慮し、データ転送速度16 Mビット/sを達成した(図4)。

表1 カラーラインセンサの主な性能(標準値) 感度は、A光源+CM500(赤外カットフィルタ)の条件で測定した値である。

項目	性能	
画素数	R, B	4,990ビット
	G	4,989ビット
画素サイズ	R, G	$10 \times 10 \mu\text{m}^2$
	B	$10 \times 20 \mu\text{m}^2$
チップ反り	10 μm	
パッケージ	46ピンサーディップ	
感度 (感度比)	R	0.58(1.05) $\text{V}/\text{lx}\cdot\text{s}$
	G	0.53(0.96) $\text{V}/\text{lx}\cdot\text{s}$
	B	0.55(1.00) $\text{V}/\text{lx}\cdot\text{s}$
転送効率	97%	
残像	1%	
入力端子容量	240 pF	
データ転送速度	16 Mビット/s	

3 素子構造

3.1 $\text{p}^+\text{n}^-\text{pn}$ 完全空乏化構造

ホットダイオードは、残像の低減、暗電流低減および色再現性向上のため、 $\text{p}^+\text{n}^-\text{pn}$ 完全空乏化構造とした。

従来の n^+pn 構造では、図5に示すようにn拡散層の不純物濃度が高いため、CCDへの転送速度が遅く、所定の時間内に転送が完了できず、どうしてもホットダイオードに電荷残りが発生する。残像が増加すると、機械的走査方向の解像度が低下し、再生した画像が下方向へ尾を引く(図6)。

$\text{p}^+\text{n}^-\text{pn}$ 構造では、n拡散層の不純物濃度が低いため、信号電荷のない初期では空の状態(完全空乏化)となり、蓄積電荷の高速転送が可能となる。この構造によって大幅に残像を低減でき、ほとんど測定限界程度にした(図7)。暗電流は、空乏層が再結合の盛んな酸化膜界面まで伸びないように、表面 p^+ で抑えている。

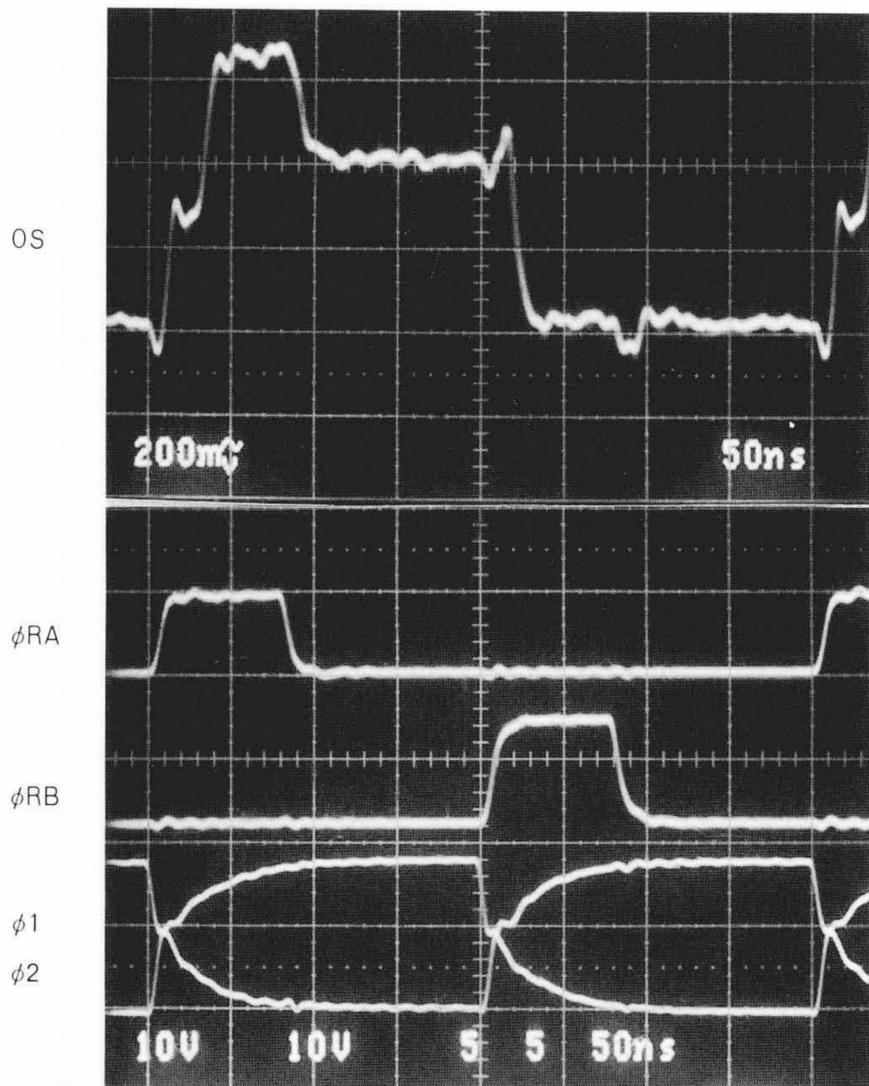


図4 出力信号電圧波形 $f_{\phi 1}, \phi 2=2.5 \text{ MHz}$ の出力信号電圧波形 OSとクロック電圧波形を示す。

分光感度特性は、赤外光の基板深部で生成する電荷をn基板側へ排除し、赤外感度を抑えることで視感度に近づけ、色再現性を向上した。

3.2 カラーフィルタ

フィルタは、R(赤), G(緑), B(青)の原色系を採用した。原色系は、マゼンタ、イエロー、シアンの補色系と比較して透過率が低く、光量損失が大きいですが、色再現性が良く、信号処理回路も簡略化できる。フィルタは、図8に示すように、3本のラインセンサ上にそれぞれ各色をストライプ状にモノ

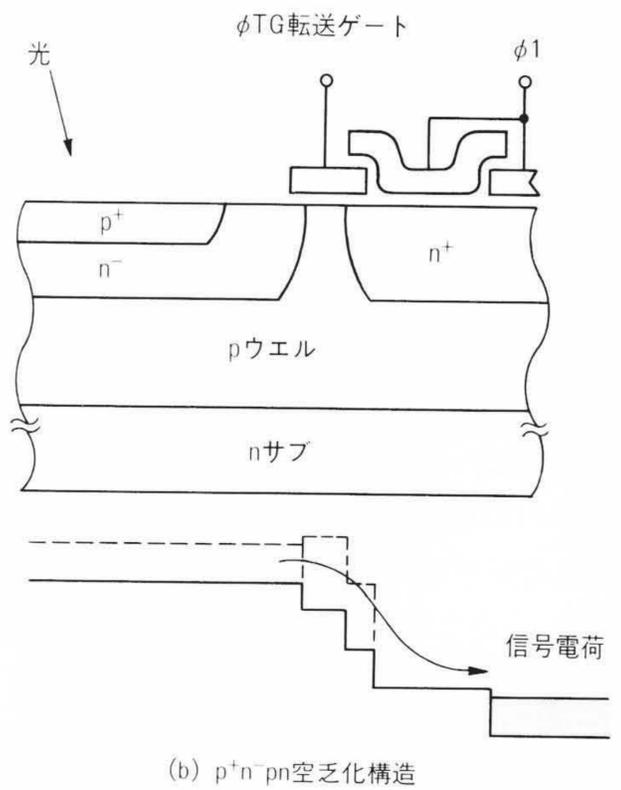
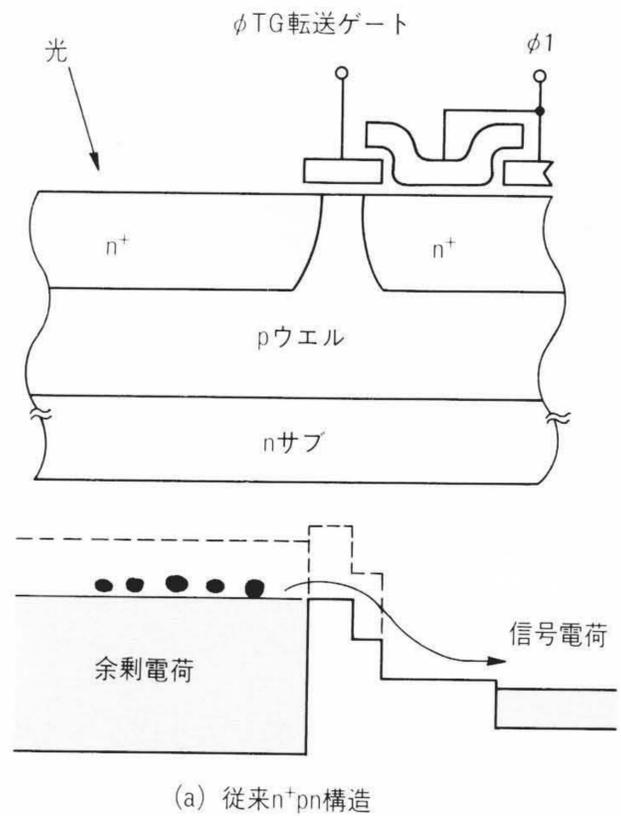


図5 ホトダイオード構造 従来構造は、転送がゆっくり行われるため電荷残りが発生する。空乏化構造は、転送が高速で行われ電荷残りが少ない。

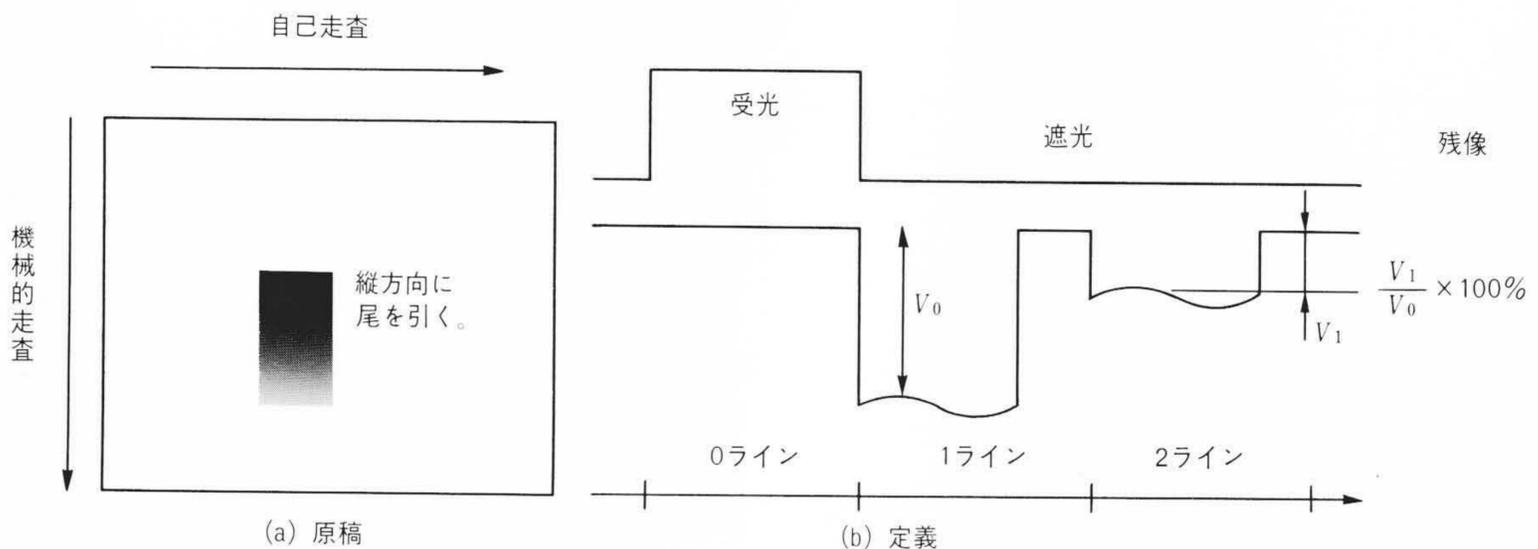


図6 残像の定義 1ライン目の電荷残りが、2ライン目の出力となって現れる。

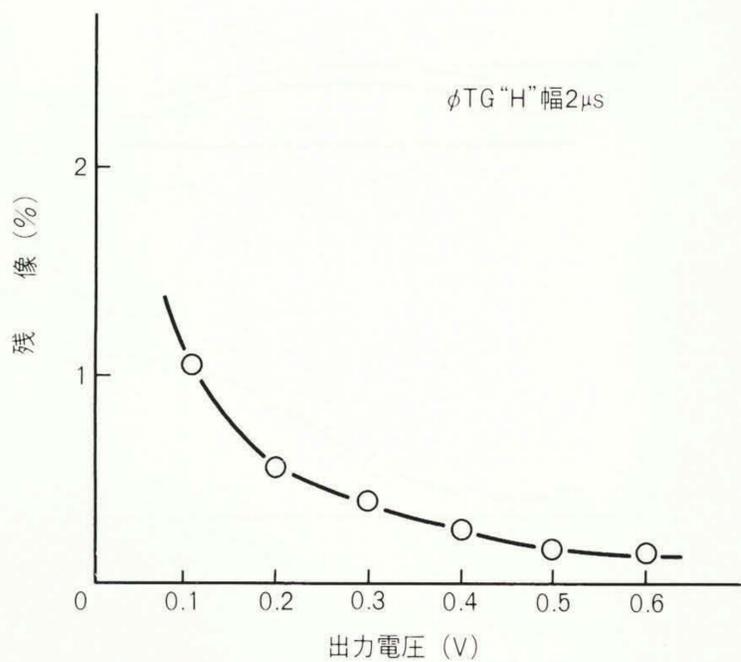


図7 完全空乏化ホットダイオードの残像 転送ゲートクロック ϕ TGの“H”レベル幅 $2\mu\text{s}$ の残像を示す。

リシク法で形成した。

製品での分光感度特性を図9に示す。分光感度特性の半値波長ばらつきは、感度および色再現に大きく影響する。例えば、B色半値波長が1nm長波長側へシフトすると、B色感度は

1.3%増加する。そのため、フィルタの膜厚や染色濃度管理を高精度に行い、分光半値波長ばらつきを6nm以下に抑えた。

3.3 チップ反り低減技術

受光部表面の平坦性を向上させるための、チップ反り低減技術について述べる。チップ反りは、チップ自体の反りやパッケージのD/A(ダイアタッチ)部の反りのほかに、ダイボンディング工程などの熱ストレスが加わる工程で変動する。

パッケージの選定にあたっては、積層パッケージに比べてD/A部の反り量が小さいタブ付きサーディップパッケージを採用した。チップ長が $51.3\text{mm}\times 1.82\text{mm}$ と細長いため、サーディップでもD/A部の反り量が平均約 $30\mu\text{m}$ と一般的な半導体用サーディップと比較して $10\mu\text{m}$ 程度大きくなっている。

この製品を従来プロセス仕様で組み立てた場合、チップの反り量は図10に示すような挙動を示すことが判明した。ダイシングで $5\mu\text{m}$ 、熱硬化形接着剤を用いたダイボンディング工程で凸側に $20\mu\text{m}$ 、封止工程で $5\mu\text{m}$ それぞれ変動し、合計 $30\mu\text{m}$ 変動する。

反り低減技術は、この工程ごとの反りの挙動に着目して、まず工程Bのウェーハ処理条件を凹側に反るよう適正化し、次にダイボンディング工程での接着剤の熱収縮応力で凸側に補

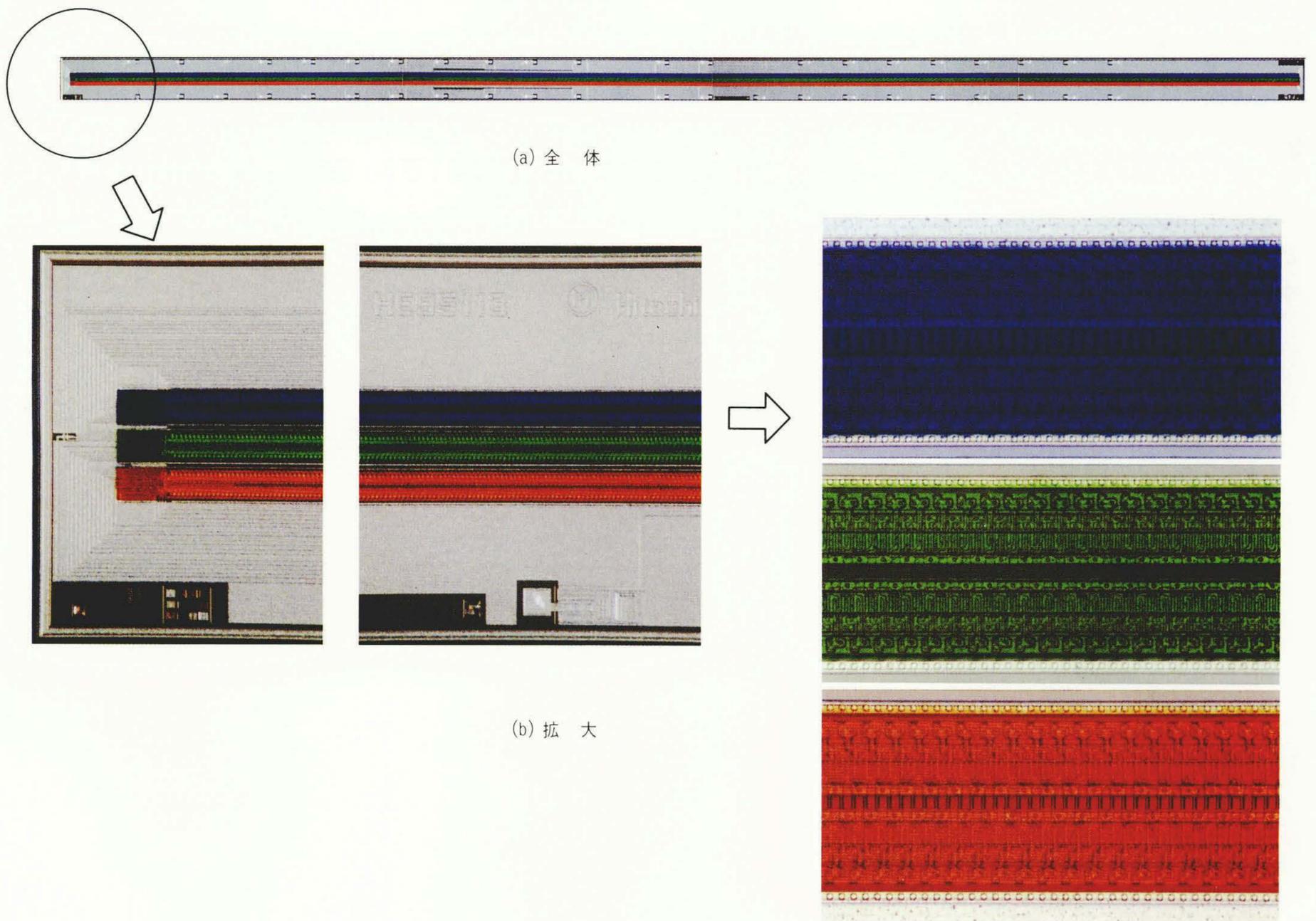


図8 カラーフィルタ R, G, Bの原色系フィルタを、ストライプ状にモノリシク法で積層している。

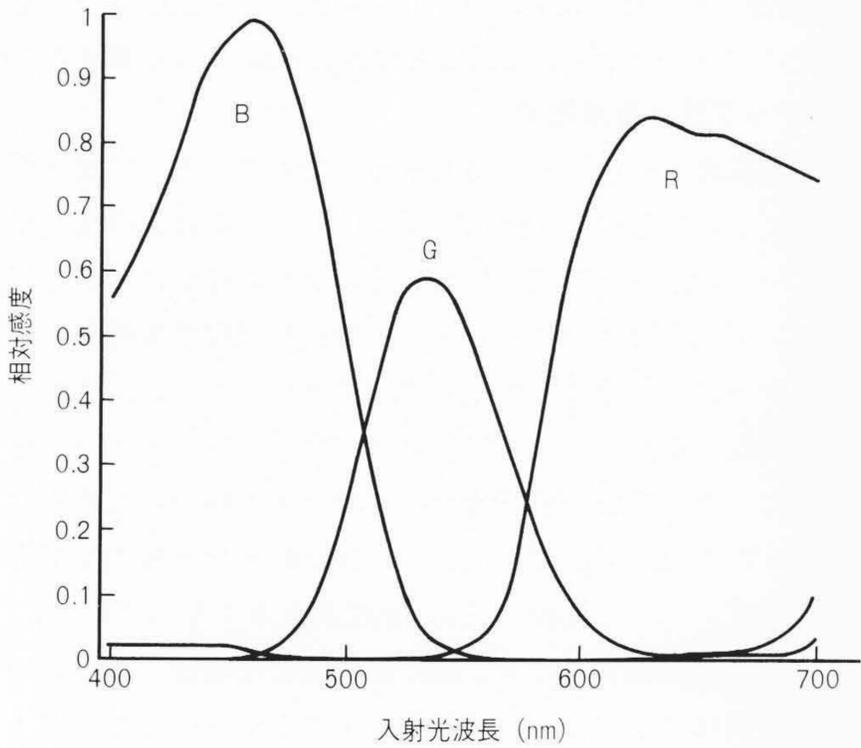


図9 分光感度特性 B(青)出力の最大値を1としたときの相対関係を示す。

正して平坦化するものである。この技術により、工程ごとの反りの挙動は、図10に示すようになり、ばらつきを含めて10 μ m程度に抑えることができた。

4 結 言

A3用紙サイズのフルカラー画像を、16 d/mm {400 dpi} の高解像度で読み取る縮小形カラーラインセンサを開発した。R, G, B各色独立駆動可能な3本のラインセンサを一体化し、感度および各色感度バランス、転送効率、残像、高速駆動などの高性能に加えて、取付精度、受光面平坦性などの使いやすさにも配慮した製品とし、デジタル式フルカラー複写

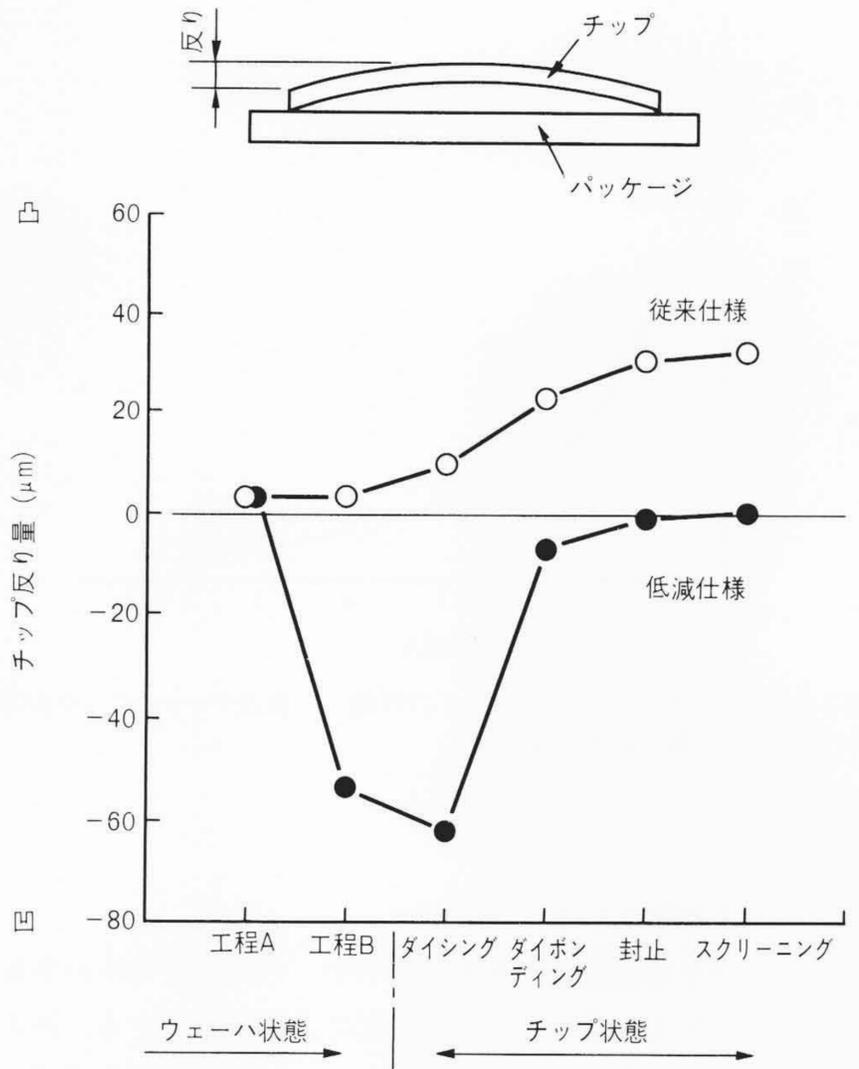


図10 工程ごとのチップ反り量 従来仕様とチップ反り低減仕様の工程ごとの挙動を示す。

機、イメージスキャナなどに対応できるようにした。

今後のカラー複写機市場では、コピーの高速化と高画質の要求がますます強くなり、密着形よりも本質的に有利とされる縮小形が主流になると予想される。この素子をベースに、ますます改良を重ね、高速・高画質に対応できる製品を市場に提供していきたい。