

スーパーCCDハニカムの開発と極細径内視鏡への応用



企業レポート

村山 任*

Development of a Miniture Super CCD and Ultra Slim Scope

1. はじめに

胃・十二指腸の病気に罹った時はもちろん、人間DOC等の健康診断においても、内視鏡(胃カメラ)を使用された方は多いと思います。バリウムを飲んでのX線診断よりも軽度の炎症等の発見のしやすさから、内視鏡による検査・診断は毎年増加しています。一方、10mm弱の径の内視鏡を飲み込んだ検査は、咽喉の麻酔をしても苦しいものであることは、受信者ほとんどの方の印象ではないかと思ひます。



Fig. 1 Distal end comparison

患者(被験者)の肉体的負担を軽減し、医者も被験者への気兼ねなく検診に使用できる意味で、細い内視鏡を鼻腔から挿入して検査する内視鏡が待ち望まれていました。細くなっても内視する画質が劣化してしまうと適切な診断ができなくなるので、「画質は良好に、より細く! 6mmφ以下の径に」仕上げる事が望まれていました。

細く・画質の良いセンサを持った内視鏡を開発するには、そこで使用するCCDセンサの開発から必要となります。本報告では、極細径上部消化管系電子内視鏡用CCDセンサの開発、並びに内視鏡への応用について報告します。

2. 開発のポイント

2.1 内視鏡の細径化と高画質化

電子内視鏡の画質は、従来品レベルと同レベルあるいは向上していることが求められている。小型化しても、その要求レベルは同等である。今回開発するにあたり、VGA(640×480)画素で60fps(毎秒60コマ)の出力が必要となった。

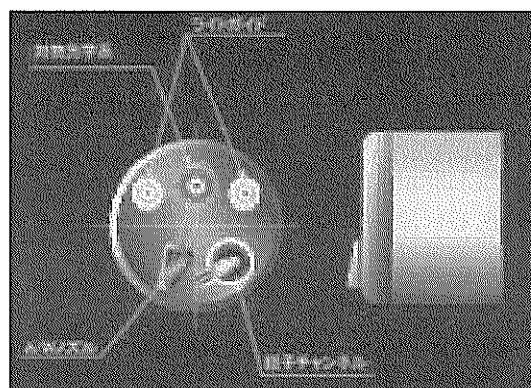
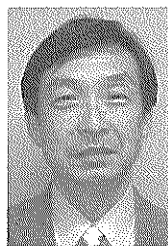


Fig. 2 Distal end structure



* Jin MURAYAMA
1952年3月生
1978年東京大学大学院・工学系研究課・
物理工学専門課程 修士
現在、富士写真フイルム株式会社 R&D
統括本部 電子映像 商品開発センター、
主任技師(Manager)
TEL 048-462-4925
FAX 048-450-9532
E-mail: jin_murayama@fujifilm.co.jp

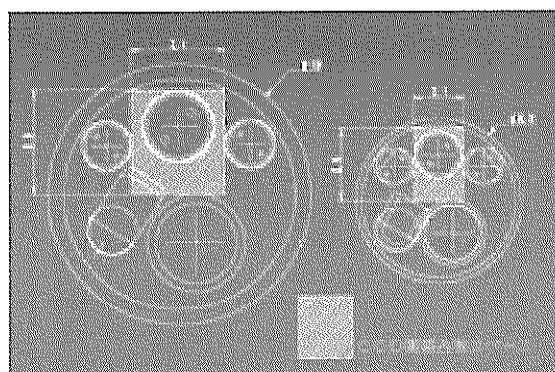


Fig. 3 Distal end section comparison

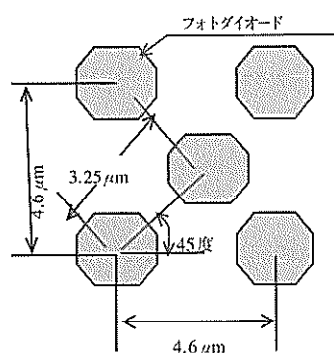


Fig. 4 Pixel Layout

電子内視鏡の先端部は被写体の観察を目的とする対物光学系、送気・送水・吸引を行うノズルと鉗子チャンネルで構成されています(Fig.2)。また対物光学系の焦点面には、撮像センサとしてCCDが実装される。外寸でφ6.0mm未満の細径化を実現するためには、CCDの外寸法を2.1mm幅×2.6mm長以下にすることが必須となる(Fig.3)。そこで、CCDの外形サイズ・端指数・光学特性・画質のバランスを考慮した結果、1/9.7"のハニカムCCD構成を採用することにした。素子の仕様の主要ポイントを表1に、また画素構成の主要部をFig.4に示す。電子内視鏡ではダイナミックレンジも重要であることから、画素サイズとしては3.25μmピッチを採用した。これは産業用のカメラあるいは初期の携帯電話用カメラにも採用されていた画素サイズである。有効部で325×244×2画素あり、適切な画像信号処理後にVGA画像を出力できる画素数である。駆動周波数を12.27MHzとすることで、60fpsのフレームレートを確保できた。出力端子数も11パッドと裏面1端子で計12本の入出力線で駆動できる素子となった。

Table 1 Device Structure

光学サイズ	1/9.7"
総画素数	342(H)×254(V)×2 (17万画素)
有効画素数	325(H)×244(V)×2 (16万画素)
画素サイズ	3.25μm◇ (MS3104画素)
受光部サイズ	1.50mm×1.12mm 対角1.87mm
C F	原色
フレームレート	60frame/sec (12.27MHz)
入出力ピン数	11+1ピン
チップサイズ	2.1mm×2.55mm

受光部サイズ：1.50mm×1.12mm、チップサイズ：2.1mm×2.55mmとなり、先端部のサイズ制約をクリアできている。

2.2 CCD素子新規技術開発

前節で仕様の主要ポイントを説明したCCDセンサを開発するにあたっては、従来に無い小型化実現のためにいくつかの新たな技術開発を必要とした。

1) 水平CCD(HCCD)狭ピッチ化

従来のセンサでは、HCCDピッチの微細化を低減するためにLM(ラインメモリ)を使用していた。これは水平段数の半分を先にHCCDに転送し、残りをVC-CD/HCCD間にあるLM部で待機させ、先の半数のHCCD転送が済んだ後にLMからHCCDに転送し読み出していた。ハニカム構造では水平画素のピッチが画素ピッチの約70%になりHCCDの一段長さが短くなることの回避策であった。

本素子の開発においては、HCCDピッチを半減させてLMを削除した。HCCD微細化のためのイオン注入分布の見直し・パターン精度の向上を図ることで、2.3μmピッチのHCCDを実現できた。

2) AMP部レイアウト縮小化

素子の幅を小さくすることが第一要件であり、CCDセンサ素子上のソースフォロウ・アンプの配置も見直した。同アンプはHCCDの左側に配置されており、チップ幅を広げていた。本素子では、特性上必要な初段のドライバ・トランジスタのみHCCDの左側に配置し、負荷トランジスタ及び2段目以降のアンプ回路をHCCDの下側に配置した。このレイアウトを採用することで、素子幅を2.1mmに抑えることが可

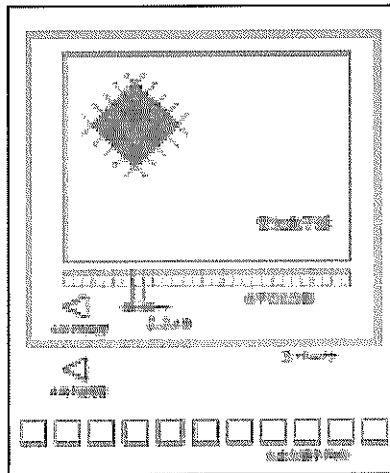


Fig. 5 Block diagram

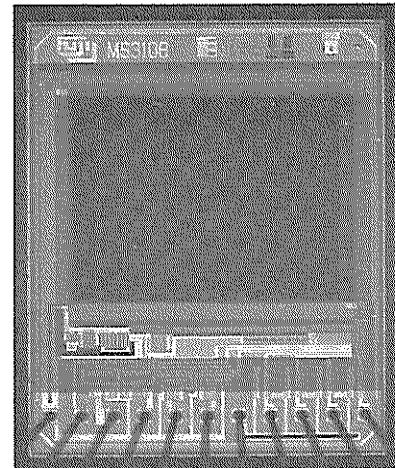


Fig. 6 New Package and CCD Image Sensor

能となった。

3) その他の小型化へのポイント

CCD周辺部分の縮小化, 端子の一行配置, 端子ピッチの縮小化, 等を実現できた。

2.3 開発素子の評価結果

素子の小型化設計で課題であった箇所の製造には各部の製造条件の検討を重ね, 最適条件を見出すことができた。その結果, 特に重要なポイントであったHCCDは転送効率・転送容量・駆動電圧を設計時の推奨動作条件で目標レベルを達成できた。ソースフォロワアンプ配置変更においても全く問題ない特性を得られた。端子数低減に伴いOFD端子を素子の裏面からとったが, 工程上, アセンブリ上, 共に何の問題もなく実現できた。素子の電気特性も目標通りの良好な結果を得た。

従来センサと同一サイズの画素を採用したが, 感度・飽和レベル・スミア等の特性も狙い通りに達成できた。5100K光源1200cd/m²の元でF5.6レンズにて461mVの感度は, 1/9.7"-VGAクラスのセンサとしては十分高いレベルである。

本素子は, 12.27MHzの駆動で60フレーム/秒の画像を取り込むことができる。パートナーとなるハニカム画像信号処理LSIとの組合せにて, 良好なVGAサイズの動画像を得られた。チップ写真をFig.6に示す。1列とした端子配列に対応し, 基板も小型化でき極細径内視鏡への適用を可能にした。主な電気光学特性をTable 2にまとめた。

Table 2 Image Sensor Characteristics

項目	達成レベル	備考
全体	感度(G)	Ave. 461mV F5.6, 5100K, 1200cd/m ²
	スミア	max. 0.0003% F4.0
	耐 Blooming	800倍光までOK 全面光
PD	空乏化電圧	Ave. 9.53V TG Pulse幅: 3.26μs
	PD 容量	Ave. 794mV プラズマ抑制 OFD
	OFD 電圧振幅	—
VCCB	垂直転送効率	99.9%以上 VL=-7.5V
	V-Shading	— Vso=400mV
	転送容量	Ave. 1196mV VL=-8.0V
HCCD	転送容量(μC)	Ave. 1713mV —
	最低駆動電圧	Ave. 2.62V —
	水平転送効率	100.0% 出力 50mV, H=3.0V
RG	必要リセット振幅	Ave. 1.45V OD(RD)=15.3V
	RS Offset	Ave. 12.87V OD(RD)=15.0V
AMP	AMP Gain	Ave. 0.77V —
	OD 電流	Ave. 6.60mA —

Table 3 Specification of Endoscope

	一般検査向け品	超小型 CCD 応用品
挿入部径	φ 9.4mm	φ 5.9mm
視野角	140°	120°
観察深度	5~100mm	3~100mm
湾曲角度	UP 210°	UP 210°
	DOWN 90°	DOWN 90°
	RIGHT 100°	RIGHT 100°
	LEFT 100°	LEFT 100°
有効長	1100mm	1100mm
鉗子口径	φ 2.8mm	φ 2.0mm

2.4 内視鏡仕様ならびに画像評価

一般検査で使用する電子内視鏡と, 超小型スーパーCCDハニカム応用内視鏡との仕様比較をTable 3に示す。本内視鏡は, 新規開発CCDセンサとそれに対応したDSPを組み合わせしており, 良好な画像で病変の識別が容易になり, 従来の内視鏡以上の画質が実現できている。

3. 超小型スーパー CCD ハニカム応用 電子内視鏡画像の特長

3.1 画像信号処理後の記録画素数VGA(640x480) 画像

VGAクラスの画素数が再現できることで、極細径でありながらも一般検査用の内視鏡レベル以上の画像となっている。

3.2 高フレームレート(60フレーム/秒)

全画素の60フレーム/秒の動画を再現可能である。通常のインターレース方式のセンサを採用した内視鏡に比べて、静止画像がぶれないこと、ちらつきの少ないなめらかな動画像が得られることの長所を持っている。その結果、診断が容易になっている。

3.3 原色フィルター使用による良好な色再現

CCDセンサに原色カラーフィルターを採用していることで、濁りのない良好な色再現が実現できている。この結果、血管などの描写力もさらに向上させることができている。

3.4 低輝度圧縮による暗部輝度の最適化

プロセッサに内蔵する画像処理機能との併用により、暗部の描写性能を向上できた。遠景の暗さを、画像処理によってコントラストを保ちながら明るい画像として認識を可能とした。これによって、的確な診断と検査のトータル時間低減が期待できる。低輝度圧縮有無の差異をFig.7, 8に示す。

4. ま と め

1/9.7"–17万画素の新開発超小型スーパー CCD ハニカムを用いることで、従来の標準的な"内視鏡と同等の画質を維持しながら、極細径・高画質内視鏡の開発を行うことができた。

今後も、本CCDを他の内視鏡にも展開し、本技術の応用によるさらなる細径・高画質内視鏡の開発を進めていく。

5. 謝 辞

新規スーパー CCD ハニカムと極細径内視鏡の開発にあたり、多くの方々のご協力と励ましをいただい

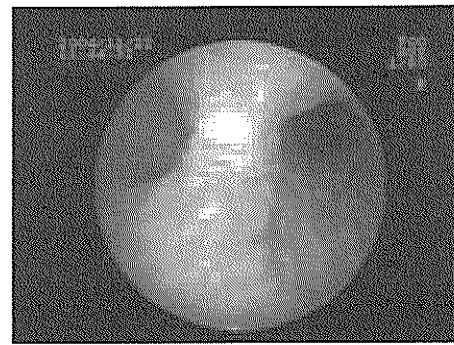


Fig. 7 EG530N Without image processing function

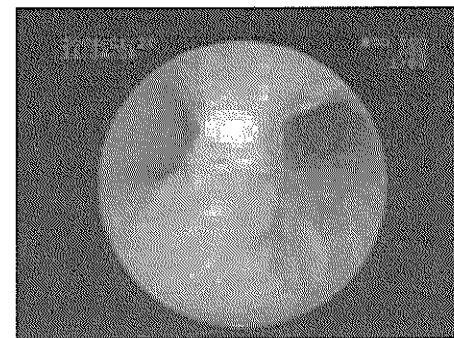


Fig. 8 EG530N With image processing function

た。特に、センサ設計において、富士写真フイルム(株)電子デバイス研究所萩原氏にご尽力いただきました。

画像調整・評価においてフジノン(株)南氏、阿部氏、和田氏にご尽力いただいた。またCCDセンサのアセンブリにおいては、富士写真フイルム(株)生産技術部 前田氏、西田氏にご協力いただいた。ここに謝意を表します。

[参考文献]

- 1) T.Yamada, et Al. "A Progressive Scan CCD Image Sensor for DCS Application." *IEEE Journal of Solid State Circuit*, 135(12), DEC. 2000.

(本報告にある“スーパー CCD ハニカム”，“フジノン”，“FUJINON”は富士写真フイルム(株)の商標です。)