

有機光電変換膜を用いた撮像デバイス

相 原 聡

Novel Image Sensor Using Organic Photoconductive Films

Satoshi AIHARA

Photoconductive properties of organic films which are sensitive to only red, green and blue light, with the aim of developing high-resolution compact color cameras without color separation optical systems, have been studied. In this paper, we describe organic photoconductive films sensitive to each primary color component with changing organic molecules, image pickup using an organic film incorporated into a camera tube, and operation of a CMOS readout circuit overlaid with an organic film, showing the great potentials to the development of high-resolution prism-less color cameras.

Key words: organic photoconductive film, image sensor, wavelength selectivity, resolution, complementary metal-oxide semiconductor (CMOS)

災害や事件・事故などが発生した際の機動的な報道や多様化する番組制作形態などへ対応するために、より小型で高性能なハイビジョンカメラが求められている。筆者らは、放送用三板式カラーカメラのすぐれた撮像特性と同等の特性を有する単板式の超小型カラーカメラを実現するため、光の三原色それぞれにのみ感度をもつ有機光電変換膜を積層した単板カラー撮像デバイスの研究を進めている。本稿では、放送用テレビカメラなどの撮像デバイスに有機膜を適用する利点について述べ、有機膜を撮像管に組み込んだ動作実験の結果や、単板化に向けた基礎実験として行っている CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 回路を用いた読み出し技術を紹介する。

1. 現在の撮像方式と有機光電変換膜を用いた新しい撮像方式

放送用テレビカメラの撮像方式である、三板カラー撮像方式の模式図を図 1 (a) に示す。これは、レンズを通してカメラに入射された光を色分解プリズムで青・緑・赤の三原色に分けた後、CCD (charge-coupled device) などの撮像デバイスを 3 枚用いて受光するもので、解像度が高く、入射光のほとんどすべてを利用することができるが、レンズも含めたカメラの超小型化は困難である。一方、民

生用のビデオカメラやデジタルカメラでは、3 色、ないしは 4 色のカラーフィルターをモザイク状に撮像デバイスに貼り付けた、単板式のカラー撮像方式が主流になっている。この方式は色分解プリズムが不要で撮像デバイスも 1 枚で済むため、カメラの小型軽量化が実現されているが、三板式と比較して解像度が劣り、入射光の利用効率も低いことから放送用途には適していない。もし、写真のフィルムのように、膜の深さ方向で光の三原色を分離する機能を撮像デバイスにもたせることができれば (図 1 (b)), 1 枚の撮像デバイスで三板式と同等の撮像特性が得られるため、手のひらサイズの超小型放送用テレビカメラが実現可能となる。このような積層型撮像デバイスとしては、シリコン基板内部への光の進入深さが色ごとに異なることを利用したものがデジタルカメラ用としてあるが、三板式に匹敵する色再現特性を得ることは難しいと考えられる。高画質が求められる放送用の積層型撮像デバイスを実現するためには、光の三原色それぞれにのみ感度をもつ、波長選択性の高い膜を積層する必要がある。そこで筆者らは、染料や顔料などの有機材料に着目した。例として、青色吸収用の有機材料にクマリン 6 (C6)、緑色吸収用の有機材料にローダミン 6G (R6G)、赤色吸収用の有機材料に亜鉛

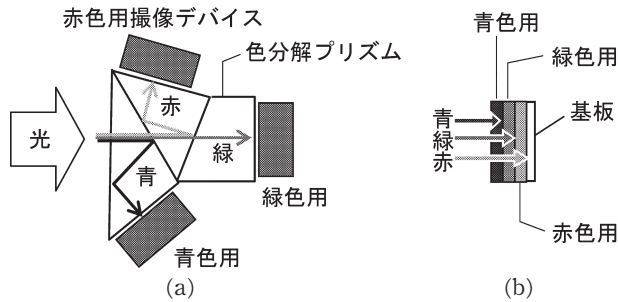


図1 カラーカメラの撮像方式。(a)従来の三板方式、(b)提案する単板式。

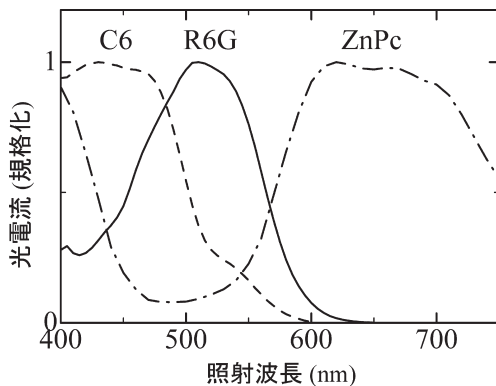


図2 作製した3種類の膜の分光感度特性。

フタロシアニン (ZnPc) を選択し、これらの材料を用いた3枚のサンドイッチセルを作製して分光感度特性について調べた結果²⁾を図2に示す。それぞれのセルには 5.0×10^5 V/cm の電界を印加した。すべてのセルで、用いた有機材料の光吸収に由来する、三原色の光それぞれに応答する光電流が得られている。この例では、容易に入手できる材料をそのまま用いているため、カラーカメラ用プリズムと同等の色分解特性を得るまでには至っていないが、材料を分子設計の段階から開発することにより、色分解特性は改善できる。このように、適切な有機材料を選択して積層し、それぞれの層から電荷を読み出すことで、色分解にすぐれ、高感度で高解像度な単板カラー撮像デバイスが実現できるとの見通しが得られている。

2. 有機光電変換膜の撮像動作

ここでは、有機光電変換膜の撮像デバイスとしての特性把握を目的とした、有機膜を撮像管に組み込んだ動作実験の結果について報告する。撮像管は真空気密になった円筒形のガラスチューブに光電変換膜と電子銃が封入された電子管で、電子ビームによる走査で光電変換膜に蓄積された光電荷を読み出す。撮像管を用いることで、有機光電変換膜の特性を画像で評価することが可能になる^{3,4)}。

有機光電変換材料には、ペリレン系化合物およびキナク



図3 試作管のHDTV (high definition TV) 撮像例。

リドン系化合物を用いた。ペリレン系化合物は電子輸送性の材料、キナクリドン系化合物は正孔輸送性の材料であり、どちらも緑色領域に光吸収のピークをもつ⁵⁾。有機膜の膜厚は 260 nm とし、作製した膜はハイビジョン用の撮像管に組み込んだ。有機膜の有効走査面積は 5.4×9.6 mm² である。

試作管をハイビジョンモノクロカメラに実装して、花(ツツジ)を撮影した画像を図3に示す。ターゲット電圧は 15 V に設定した。同図から、有機膜は良好な解像度を有していることがわかる。さらに、テストチャートの撮影実験より、有機膜では 800 TV 本以上の解像度が得られることも確認している。これらは、ハイビジョンに対応可能な高い解像度が、有機膜内を画素区切りすることなく得られることを示している。

3. CMOS回路を用いた信号読み出し技術

有機膜を用いた積層型撮像デバイスの実用化に向けては、有機膜で生成した電荷を固体回路で読み出すことが不可欠である。そこで筆者らは、固体読み出し回路上への有機膜の成膜と特性の評価を進めている。ここでは、CMOS読み出し回路上に成膜した有機膜からの出力電圧特性について紹介する。

試作した有機膜用 CMOS 読み出し回路の有効面積は 1.34×1.34 mm²、有効画素数は水平画素数 128 × 垂直画素数 128 である。この CMOS 上に、ZnPc を光電変換材料とする蒸着膜 (膜厚 200 nm) を形成した。さらに、有機膜に電圧を印加する半透明金電極を 15 nm 蒸着することでデバイスを構成した⁶⁾。試作したデバイスの電子顕微鏡写真を図4に示す。

図5は、このデバイスの信号出力電圧-膜印加電圧特性である。ZnPc が感度をもつ赤色光のみを照射したときには、Au 電極に -9 V 以上の電圧を印加することで明瞭な信号出力電圧を観測することができた。また、この CMOS 素子の撮影実験では、白黒モザイクパターンが撮像できることも確認している。一方、ZnPc が感度をもたない青色

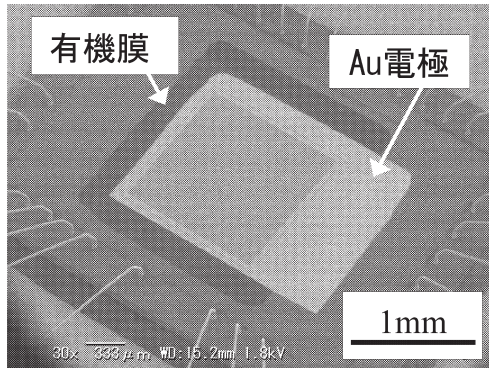


図4 試作したデバイスの電子顕微鏡写真。

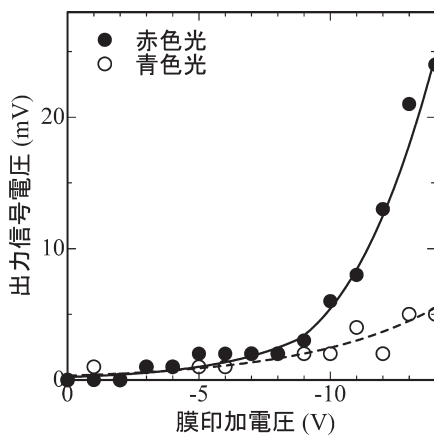


図5 試作したデバイスの出力信号特性。

光のみを照射した場合には、信号出力電圧の増加はほとんどみられなかった。このように、有機膜内で発生した光電荷をCMOS回路を用いて読み出せることが明らかとなり、有機膜を用いた単板カラー撮像デバイスの実現に一步近づいた。

図6には、現在筆者らが考えている有機単板カラー撮像デバイスの概念図を示した。青・緑・赤の光に対してのみ感度をもつ有機膜を積み重ねた構造で、それぞれの膜には有機膜で生成された信号を読み出すことのできる光透過性の高い固体回路を備える。今後は光透過型読み出し回路の設計を含め、積層したそれぞれの有機膜から信号を独立に読み出す研究を進めていく。

次世代の超小型、高画質カラーカメラの実現を目指して行っている、有機光電変換膜を用いた撮像デバイスの研究について紹介した。最近になって、高田らは有機膜を積層したCMOSセンサーで撮影したモノクロ画像を発表す

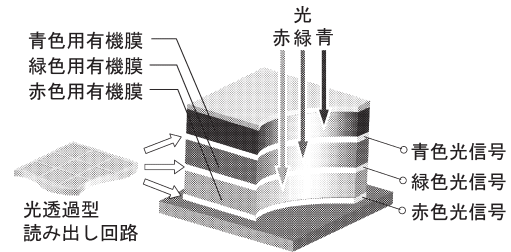


図6 将来の有機単板カラー撮像デバイスの概念図。

る⁷⁾など、有機単板カラー撮像デバイスを目指した研究開発が活発になってきており、今後のさらなる進展が期待される。

本研究のサンドイッチセルの成果は、埼玉大学大学院鎌田憲彦教授、照沼太陽教授との共同研究で得られたものであり、ここに御礼申し上げます。また、固体読み出し用有機膜の開発にあたって有益なご議論をいただいた、富士写真フイルム(株)殿に感謝いたします。

文 献

- 1) R. B. Merrill: U. S. Patent No. 5,965,875 (1999).
- 2) S. Aihara, Y. Hirano, T. Tajima, K. Tanioka, M. Abe, N. Saito, N. Kamata and D. Terunuma: "Wavelength selectivities of organic photoconductive films: Dye-doped polysilanes and zinc phthalocyanine/Tris-8-hydroxyquinoline aluminum double layer," *Appl. Phys. Lett.*, **82** (2003) 511-513.
- 3) S. Aihara, K. Miyakawa, Y. Ohkawa, T. Matsubara, T. Takahata, S. Suzuki, N. Egami, N. Saito, K. Tanioka, N. Kamata and D. Terunuma: "Image pickup from zinc phthalocyanine/bathocuproine double-layer film using pickup tube," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42** (2003) L801-L803.
- 4) S. Aihara, K. Miyakawa, Y. Ohkawa, T. Matsubara, T. Takahata, S. Suzuki, M. Kubota, K. Tanioka, N. Kamata and D. Terunuma: "Photoconductive properties of organic films based on porphine complex evaluated with image pickup tubes," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44** (2005) 3743-3747.
- 5) 瀬尾北斗, 相原 聡, 宮川和典, 大川裕司, 松原智樹, 鈴木四郎, 高島 保, 久保田節, 谷岡健吉, 鎌田憲彦, 照沼太陽: "有機ヘテロ接合型光導電膜の撮像管を用いた特性評価", 第53回応用物理学会関係連合講演会 (2006) 23p-S-9.
- 6) T. Watabe, S. Aihara, N. Egami, M. Kubota, K. Tanioka, N. Kamata and D. Terunuma: "CMOS image sensor overlaid with an organic photoconductive film," *Proc. 2005 IEEE Workshop on CCD and AIS* (2005) pp. 48-51.
- 7) S. Takada, M. Ihama and M. Inuiya: "CMOS image sensor with organic photoconductive layer having narrow absorption band and proposal of stack type solid-state image sensors," *Proc. SPIE*, **6068** (2006) 60680A.

(2006年6月8日受理)