

# 有機積層型イメージセンサ

## – 完全同時広ダイナミックレンジ技術, 光電変換グローバルシャッタ技術の開発 –

Development of Simultaneous-Capture Wide-dynamic-range Technology and Global Shutter Technology for Organic Photoconductive Film Image Sensor

村上 雅史  
Masashi Murakami

高瀬 雅之  
Masayuki Takase

西村 佳壽子  
Kazuko Nishimura

三宅 康夫  
Yasuo Miyake

宍戸 三四郎  
Sanshiro Shishido

玉置 徳彦  
Tokuhiko Tamaki

### 要 旨

筆者らは、有機イメージセンサの光電変換部と信号処理回路部が積層され独立に設計可能な構造の特長を活かした性能・機能の飛躍的な伸張技術により新たな顧客価値の創造に取り組んでいる。今回、画素電極を1画素内で大小に分割した1画素2セル構造の提案により、従来技術課題であった時間ずれのない、1回の撮像で120 dB超の完全同時広ダイナミックレンジ技術を開発した。また、有機光電変換膜に印加する電圧を変化させることで光電変換効率を制御する技術の開発により、従来技術課題であった画素サイズと飽和のトレードオフ特性を飛躍的に改善し、従来比10倍の業界最高飽和グローバルシャッタ機能を実現した。これら有機イメージセンサの広ダイナミックレンジ化技術とグローバルシャッタ技術開発により、明暗差の大きなシーンでの撮影や、高速に移動する被写体認識、動き方向検出を可能とし、新たなイメージセンシング用途への展開・拡大を目指す。

### Abstract

We are trying to effectively offer greater value to customers and developing technology to dramatically enhance performance and functions utilizing the structural feature of organic photoconductive film (OPF) image sensors. In these sensors, the photoelectric conversion part and signal processing circuits are vertically stacked and they can be designed independently. We have proposed and developed a dual-sensitivity pixel utilizing this unique feature of the OPF CMOS image sensor. It realizes a simultaneous wide-dynamic-range image capture of over 120 dB without time distortion. Photoelectric-conversion-controlled global shutter technology has also been developed by only modulating the voltage applied to OPF. It has improved the tradeoff performance and realized a high-saturation signal up to 10 times larger than the conventional image sensors. These technologies enable high-speed, high-precision imaging without time distortion in high-contrast scenes, and will be applied to new imaging and sensing devices.

## 1. はじめに

イメージセンサにおいて近年その性能向上に伴い、これまでの撮像用途に加えて監視、車載、産業、ロボットといったセンシング分野が注目を集めており、新たなイメージング市場への需要が期待されている。また、屋外での利用シーンも拡(ひろ)がり、高感度、高解像度に加えて、逆光時にも確実にセンシングするダイナミックレンジ拡大やLED標識のフリッカ課題克服などロバスト性の高いセンシング技術の要求が高まっている。

CMOSイメージセンサ (CMOS Image Sensor: CIS) においては、高解像度、高フレームレート、高感度の特長でCCDに替わって撮像素子の主流となってきた。しかしながら CISでは、露光やシャッタ動作を全画素同時ではなく、行ごとに順次走査し行う特有のローリングシャッタ動作を伴う。CCD同様に全画素同時にシャッタをきるため、画像歪(ひずみ)を生じないグローバルシャッタ動作には、画素部に新たなメモリの追加が必要となり、受光面積縮小による飽和性能の低下などから、限られた用途に留(とど)まっていた [1]-[4]。撮像用途において

も、ミラーレス一眼などのメカシャッタレス化への要求もあり、小型、高精細、広ダイナミックレンジでかつ、グローバルシャッタ動作が可能なセンサが期待されている。

今回、CCDとCMOSイメージセンサの特長を兼ね備え、時間ずれのない1回の撮像で120 dBを超えるワイドダイナミックレンジ (WDR: Wide Dynamic Range) 撮像と動体・文字の認識や動き方向を検出する独自のグローバルシャッタ機能を実現する有機CMOSイメージセンサを開発したので報告する。

## 2. 画素構造と光電変換の原理

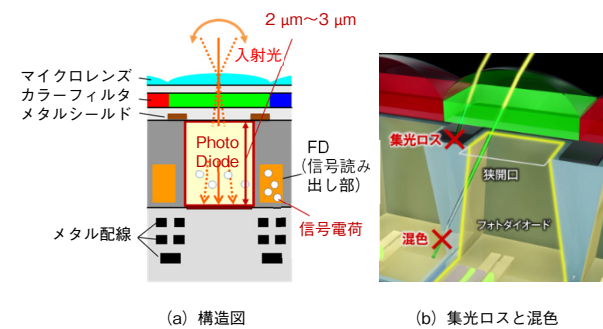
従来CISの構造図を第1図 (a) に示す。図に示すように従来CISは光電変換部となるPD (Photo Diode) と信号電荷を読み出す浮遊拡散容量FD (Floating Diffusion) が同一シリコン基板上に形成されるため、FD領域が狭くなる。そのため逆光時にはFD領域の信号電荷は溢(あふ)れ、ダイナミックレンジが狭い。また高い感度を得るためには、PDを深く形成する必要があるが、第1図 (b) に

示す隣接画素への光の漏れ込みによる混色課題や、混色を抑制するためのPD上層のメタルシールドによる集光ロスが生じる。

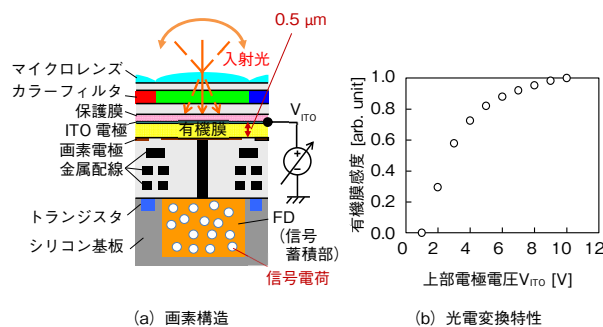
一方、有機イメージセンサの画素断面模式図を第2図(a)に示す。有機イメージセンサは従来CISとは異なり、光電変換部をCMOSチップに設けられた読み出し回路部上に積層し、それぞれ上下独立な領域に形成可能なことから、受光面積の圧迫なく広い回路領域を得ることができる。センサに入射した光は画素ごとに設けられたマイクロレンズ、カラーフィルタを介して有機光電変換膜(OPF)に吸収され、電子正孔対が生成される。発生した正孔は有機光電変換膜に印加される電界強度に応じて電極側に引き抜かれ、信号電荷としてシリコン基板上に形成した浮遊拡散容量FD部に蓄積される。

この積層構造により広いFD領域に多くの信号電荷を蓄積することができ、広ダイナミックレンジ化を実現する。また、高い光吸収率を有する有機薄膜により、広い開口で混色を抑制した高感度な撮像性能を有する[5]-[7]。

光電変換効率は第2図(b)に示すように、有機光電変換膜上部の透明電極ITO(Indium Tin Oxide)に印加する電圧により制御することが可能となる。筆者らは、この有機イメージセンサ特有の積層構造と、電圧により光電



第1図 従来CMOSイメージセンサ  
Fig. 1 Conventional CMOS image sensor



第2図 有機積層型イメージセンサ  
Fig. 2 Organic photoconductive film image sensor

変換特性が制御可能な点に注目し、有機センサの特長を飛躍的に伸張する新たな技術開発を行った。

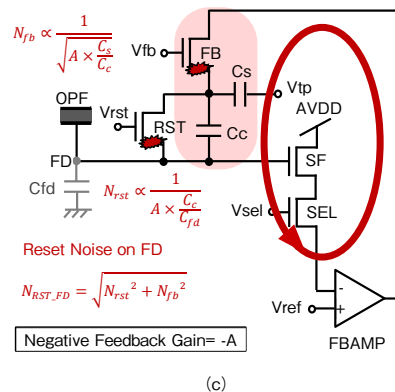
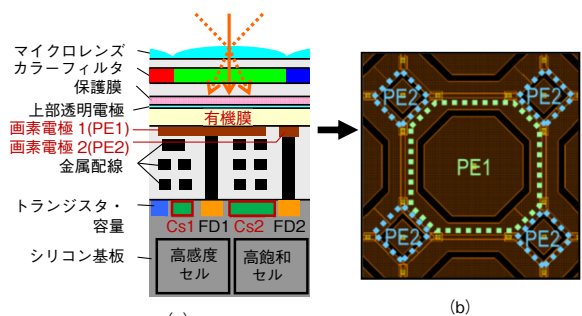
### 3. 120 dB超の完全同時WDR技術の開発

従来のCMOSイメージセンサでは、露光時間の異なる複数のデータを順次撮影後、撮影した複数の画像を合成することで、ダイナミックレンジ拡大を図っていたが、時間差のある複数画像データを処理するため、動体画像は歪(ゆが)んでしまうという課題があった。そこで筆者らは第3図(a)に示すような、有機イメージセンサの積層構造の特長を活かした1画素2セル構造の提案を行った。

#### 3.1 1画素2セル 基本画素構成

1画素2セルの画素構成として、有機光電変換膜の画素電極面積による集光感度比10倍と信号電荷の蓄積容量比を10倍とすることで、従来のSiセンサ比で約100倍のワイドダイナミックレンジ撮像を実現する。

1画素2セル構造では、第3図(b)に示すように光電変換した信号電荷を収集する有機光電変換膜下の画素電極を大小:PE1/PE2に分割する。暗時被写体を捉える高感度セルの画素電極は、感度向上のため大面積とし画素の中心部に配置し、明時被写体を捉える高飽和セルの画素



第3図 1画素2セル画素構造  
Fig. 3 Dual-sensitivity pixel structure

電極は高感度セル境界部に小面積としている。センサに入射した光は、この画素電極サイズに応じた信号量がそれぞれの画素電極に収集される。

さらに、高飽和セルは飽和電荷量を拡大する大きな電荷蓄積容量CSを搭載している。本画素構成により、有機光電変換膜の画素電極面積による集光感度比10倍と、容量CSによる飽和電荷蓄積容量比10倍により、従来のCIS比で約100倍の広ダイナミックレンジ撮像が実現可能となる。

### 3.2 有機積層センサ固有のノイズ課題の解決

有機センサの積層構造は集光感度比や、飽和電荷量の拡大に対して有効である一方、光電変換部である有機薄膜と信号蓄積部であるSi基板が金属配線を介して接続されるため、信号電荷をリセットする際に発生するノイズがCCDやCMOSイメージセンサに対して固有課題となる。

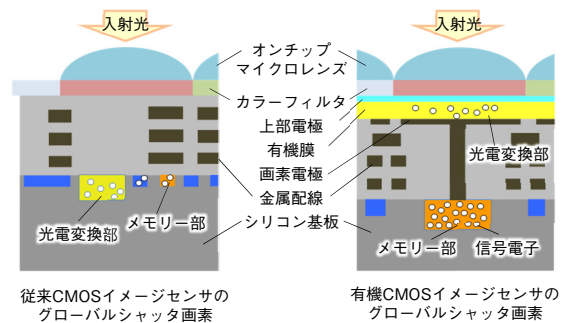
ノイズは第3図(c)の回路図に示す信号蓄積部(FD)をRSTトランジスタで信号蓄積部FDをリセットする際に発生する。このノイズを抑制するために、FD部で発生したノイズの逆相の信号をFBAMP(Feed Back AMP)によりFD部へフィードバック(負帰還)することでキャンセルすることができる。FBAMPを用いてノイズを抑制する技術は幾つか提案されているが、ノイズを高速に抑制することが課題であった[6],[8]。そこで今回、「容量結合型ノイズキャンセル回路」を新たに開発した。

回路は4トランジスタ(増幅用SF Tr, 選択用SEL Tr, リセット用RST Tr, フィードバック用FB Tr), 2容量(安定化容量Cs, カップリング容量Cc)から構成される。本回路では、ノイズキャンセル時の負帰還ループのゲイン(Negative Feedback Gain)を-Aとした場合に、RST Trのノイズを元の値の $1/(A \times Cc/Cfd)$ , FB Trのノイズを $1/\sqrt{A \times Cs/Cc}$ まで抑制できる。AかつCs/Ccを大きく設計することで、ノイズは5 $\mu$ sの時間で電子数25e<sup>-</sup>から1.6e<sup>-</sup>まで抑制可能となる。また、Ccを用いてFDと分離されたFB Trを制御することで、負帰還制御のロバスト性を向上し、高速かつ安定したノイズキャンセルを実現することができる。

## 4. 光電変換制御グローバルシャッタの開発

第4図にグローバルシャッタ画素の構造図を示す。従来のCMOSイメージセンサでは、画素内にメモリーを設けることでグローバルシャッタ機能の実現を図っていたため、画素内に追加したメモリー部が光電変換部面積を圧迫し、グローバルシャッタ機能搭載時には飽和信号量減少という課題があった。そこで筆者らは、有機光電変換

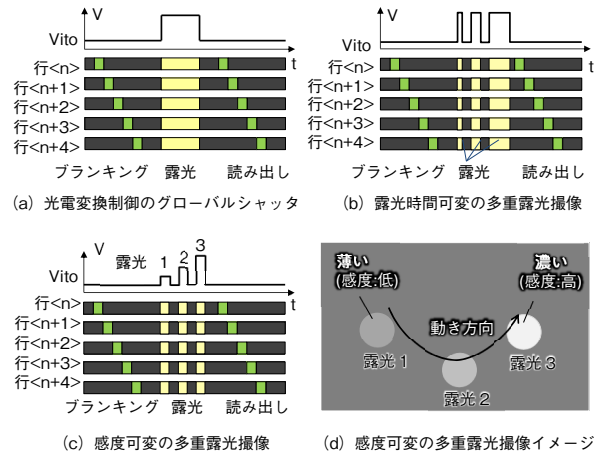
換膜に印加する電圧を変化させることのみで、光電変換効率を制御することが可能な光電変換制御シャッタ技術を開発した。本方式により、画素内にメモリー素子追加の必要がなく飽和信号量の減少がないグローバルシャッタ機能実現が可能となる。さらに光電変換部と蓄積部が縦構造で分離されるため、新たな信号保持メモリーが不要であり、遮光が容易なため、画素サイズ縮小、飽和性能低下の課題を克服し、メモリー部への光の漏れ込みにより生じる寄生感度の抑制が可能である。



第4図 グローバルシャッタ画素の構造図  
Fig. 4 Cross-sectional image of global shutter pixel

### 4.1 グローバルシャッタの動作原理

第5図(a)にグローバルシャッタの基本動作タイミングを示す。露光時(=シャッタ開)は、ITO電圧にHigh電圧を印加し、光電変換された信号電荷をFD部に保持する。一方、遮光時(=シャッタ閉)は、ITO電圧を下げ、上下電極間の電位差をゼロにする。有機光電変換膜内に電界が生じないため、光入射により有機光電変換膜内で発生した電子正孔対は電極側に引き抜かれることなく、再結合し消滅させることができる。ITO電極はすべての



第5図 センサ動作タイミング  
Fig. 5 Sensor operation timing

画素で共通に接続されるため，グローバルシャッタを実現できる．その後，遮光状態で行走査を行い，FD部に蓄積された信号電荷を順次読み出す．

#### 4.2 グローバルシャッタの応用機能

第5図 (b) に応用タイミングを示す．ITO電極にHigh期間の異なる電圧をパルス状に複数印加することで，露光期間の異なる多重露光が可能となる．また第5図 (c) に示すようにITO電極に異なる電圧をパルス状に複数印加することで，感度の異なる多重露光が可能となる．これにより，第5図 (d) に示すように感度の濃淡により，1回の撮像で動体の形状・動作方向を正確かつ瞬時に捉えることができる．このように，ITO電極に印加する電圧制御のみで，多機能なグローバルシャッタが可能となる．

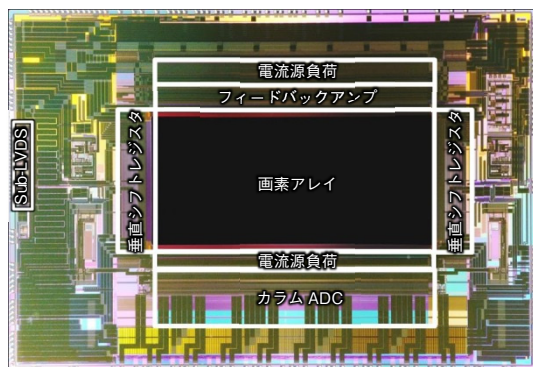
### 5. イメージセンサ撮像実証と応用

120 dBを超えるWDR，光電変換制御グローバルシャッタの性能・機能を実証するため，画素を2次元に複数配列したイメージセンサチップを設計・試作した．

#### 5.1 イメージセンサ試作チップと性能諸元

第6図にチップ写真を示す．65 nm CMOSプロセスを用いて，チップ試作を行った．本チップは1画素2セルの $6\ \mu\text{m} \times 6\ \mu\text{m}$ 画素が $970 \times 550$ 画素配列されたセンサおよび， $3\ \mu\text{m} \times 3\ \mu\text{m}$ 画素が画素数 $1920 \times 1080$ で配列された画素アレイのものを各々試作した．Sub-LVDSインターフェースにより60 fpsで信号を出力する．

第1表に開発したチップ性能諸元を示す． $6\ \mu\text{m} \times 6\ \mu\text{m}$ の1画素2セル画素チップは，飽和電子数600 ke<sup>-</sup>，トータルノイズ5.7 e<sup>-</sup>，うちリセットノイズ1.6 e<sup>-</sup>，2セル間の感度比14倍で，完全同時ダイナミックレンジ124 dBを実現している．



第6図 試作チップ写真

Fig. 6 Fabricated chip micrograph

第1表 性能諸元

Table 1 Chip characteristics

デバイス構成	有機膜+CMOS	
プロセス	65 nm CMOS 1P3Cu1Al	
センサタイプ	1画素2セル	グローバルシャッタ
画素数 (実効)	970 × 550	1920 × 1080
画素サイズ [ $\mu\text{m}^2$ ]	6.0 × 6.0	3.0 × 3.0
飽和電子数 [e <sup>-</sup> ]	600k	50k, 210k
ダイナミックレンジ [dB]	124	81
ランダムノイズ [e <sup>-</sup> ]	5.4	4.4
フレームレート [fps]	60	60

#### 5.2 撮像実証とセンシング機能への応用

##### [1] 120 dB WDR 撮像実証と応用

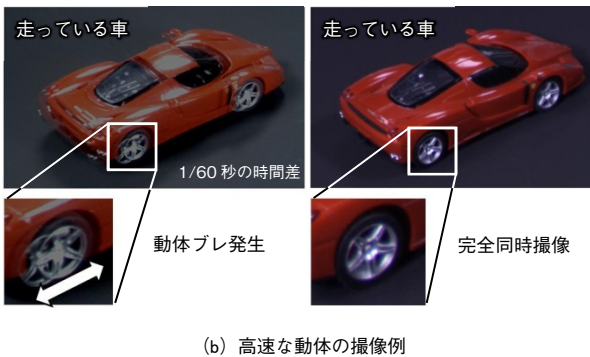
第7図 (a) に試作した1画素2セルセンサで撮像した画像を示す．明暗差の非常に大きい高輝度ランプ前後の被写体 (車や人形) を黒沈み，白飛びすることなくダイナミックレンジ広く撮像することに成功している．また，有機イメージセンサの広い回路領域をもつ構造を活かし，それぞれのセルに読み出し回路を独立に設けて大小2つのセルを同時に露光し，読み出すことができるため，第7図 (b) に示すように高速な動体に対しても時間ずれなく正確なセンシングを可能にする．

さらに本構成により，近年車載カメラで課題となっている，高速に点滅するLED標識のフリッカ課題に対しても有効な解決手段となる．本構成では，高飽和セルで100倍明るい被写体を捉えることができるため，露光時間を短くすることなく，1フレーム期間にわたり露光し続けることができる．そのため，第8図に示すようにLED点灯のタイミングによらず，すべての行においてLED点灯を捉えることが可能となり，特別な対策構成や信号処理を追加することなくLEDフリッカレス撮像を実現することができる．

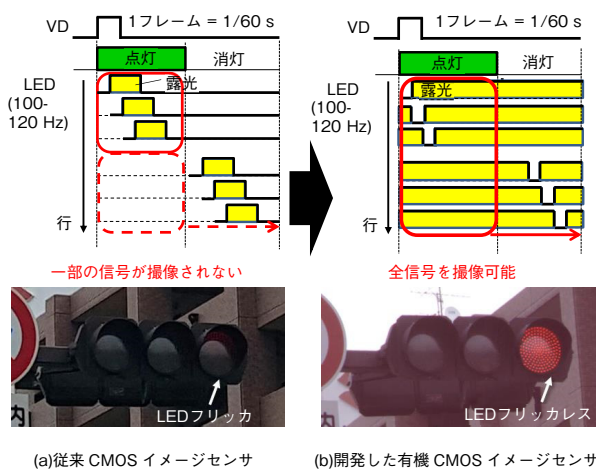
##### [2] 光電変換グローバルシャッタ撮像と応用

$3\ \mu\text{m} \times 3\ \mu\text{m}$ 画素チップによる，光電変換制御のグローバルシャッタ撮像例を示す．第9図 (a) のローリングシャッタ動作による動体の画像歪みに対して，第9図 (b) のグローバルシャッタ動作により高速に回転する扇風機の羽根の形を正確に捉えることができおり，第9図 (c) の露光時間を変えた多重露光に対しては1回の撮像でも最適露光条件を得ることができ，羽根に書かれている文字認識が可能であることがわかる．第9図 (d) の感度の異なる多重露光では，ボールの軌跡を捉え，感度の濃淡から動き方向の情報を得ることに成功している．本構成のグローバルシャッタ動作では，光電変換を行う有機薄膜と，信号の電荷蓄積を行う回路部が独立な構造であるため，メモリー部FDが光電変換部を圧迫しないため，従

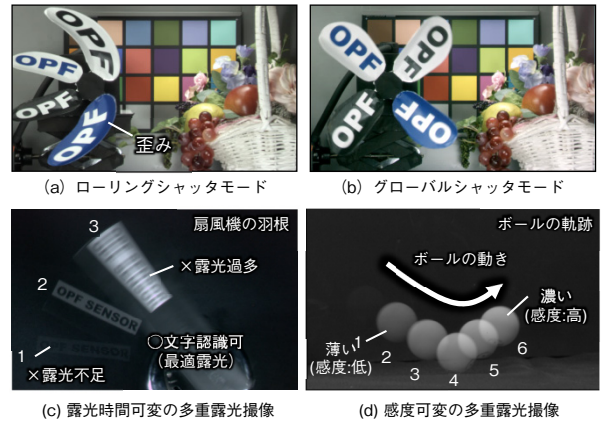
来CIS [2] 比10倍の業界最高飽和210kc-を実現している。



第7図 ワイドダイナミックレンジ撮像例  
Fig. 7 Wide-dynamic-range captured image



第8図 LEDフリッカレス撮像例  
Fig. 8 LED flicker-free dynamic-range captured image



第9図 光電変換制御グローバルシャッター撮像例

Fig. 9 Image captured with photoelectric-conversion-controlled global shutter

## 6. まとめ

有機光電変換膜をCMOSチップ上に積層した有機イメージセンサの広ダイナミックレンジ技術とグローバルシャッター技術を開発した。画素電極を大小に分割した1画素2セル構造の提案により、従来技術課題であった時間ずれなく1回の撮像で120 dBを超える完全同時広ダイナミックレンジ撮像を実証した。また、有機光電変換膜に印加する電圧を変化させることで光電変換効率を制御する技術を開発し、1回の撮像で動体・文字の認識や動き方向を検出するグローバルシャッター機能を実現した。さらに本技術により従来技術課題であったグローバルシャッター機能搭載時の画素サイズと飽和のトレードオフ特性を飛躍的に改善し、従来比10倍の業界最高飽和を実現した。これらの有機イメージセンサの特長を活かした高性能・高機能化技術開発により、屋内外、逆光下など明暗差の大きなシーンでの撮影や、高速に移動する被写体の認識、動き方向検出を可能とすることで、従来の映像用途に加えて、新たなイメージセンシング用途への展開・拡大が期待される。

## 参考文献

[1] 安富啓太 他, “グローバルシャッターCMOSイメージセンサの開発動向,” 映像情報メディア学会技術報告, vol.35, no.47, pp.1-8, 2011.  
[2] M. Sakakibara, et al., “An 83dB-Dynamic-Range Single-Exposure GICCoal Shutter CMOS Image Sensor with In-Pixel Dual Storage,” ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 380-381, Feb. 2012.  
[3] B. Wolfs, et al., “3.5  $\mu\text{m}$  Global Shutter Pixel with Transistor Sharing and Correlated Double Sampling,” Proc. IISW, Utah, June 2013.

- [4] T. Kondo, et al., "A 3D Stacked CMOS Image Sensor with 16Mpixel Global-Shutter Mode and 2Mpixel 10000fps Mode Using 4 Million Interconnections," Dig. Symp. VLSI Circuits, pp. C90–C91, June 2015.
- [5] M. Mori, et al., "Thin Organic Photoconductive Film Image Sensors with Extremely High Saturation of 8500 electrons/ $\mu\text{m}^2$ ," Dig. Symp. VLSI Circuits, pp. T22–T23, June 2013.
- [6] M. Ishii, et al., "An Ultra-low Noise Photoconductive Film Image Sensor With a High-speed Column Feedback," Dig. Symp. VLSI Circuits, pp. C8–C9, June 2013.
- [7] S. Isono, et al., "A 0.9  $\mu\text{m}$  pixel size image sensor realized by introducing organic photoconductive film into the BEOL process" Interconnect Technology Conference, pp.142-144, Jun 2013.
- [8] B. Pain et al., "Reset Noise Suppression in Two-Dimensional CMOS Photodiode Pixels through Column-based Feedback-Reset," Dig. VLSI 2002 IEDM Tech. Dig., pp.809-813, Dec. 2002.

### 執筆者紹介



村上 雅史 Masashi Murakami  
先端研究本部 光応用プロジェクト室  
Applied Photoelectronics Research Lab,  
Advanced Research Div.



西村 佳壽子 Kazuko Nishimura  
先端研究本部 光応用プロジェクト室  
Applied Photoelectronics Research Lab,  
Advanced Research Div.



宍戸 三四郎 Sanshiro Shishido  
先端研究本部 光応用プロジェクト室  
Applied Photoelectronics Research Lab,  
Advanced Research Div.  
博士 (工学)



高瀬 雅之 Masayuki Takase  
先端研究本部 光応用プロジェクト室  
Applied Photoelectronics Research Lab,  
Advanced Research Div.



三宅 康夫 Yasuo Miyake  
先端研究本部 光応用プロジェクト室  
Applied Photoelectronics Research Lab,  
Advanced Research Div.



玉置 徳彦 Tokuhiko Tamaki  
先端研究本部 光応用プロジェクト室  
Applied Photoelectronics Research Lab,  
Advanced Research Div.