

序 文

デジタルカメラが身の回りに普及し出したのは、カシオ QV10 のヒット以降だといわれている。それが 1995 年のことであるから、デジタルカメラの歴史はまだ短いものである。しかし、今やデジタルカメラは生活に浸透し、コンパクトカメラを持ち歩く人はとても多く、携帯電話やスマートフォンにはデジタルカメラが内蔵されている。なにか気になるものを見つければ手軽に写真をとって記録することができ、それをネット上で共有するということが日常的に行われている。デジタルカメラは、既存のアナログのカメラでは考えられなかった新しい生活の変化を生んだといっても過言ではない。

電子的な撮像に関する技術でも、基幹部品の大きな変化も最近に生じている。固体半導体による撮像素子としては、かつては、CCD イメージセンサが主流であった。撮像素子は、通常ユーザの目にすることのないデジタルカメラの基幹部品である。コンピュータの CPU のようなものに等しい。現在、撮像素子の主流は、かつての CCD から CMOS に変わった。見えないところでの大きな変化である。現在の CMOS センサ自体、1990 年以降の技術展開により生まれたものであり、デジタルカメラや携帯電話という新たな製品と歩みを同じくして進化してきた。

本書では、その CMOS センサについて、包括的に、その第一線の開発者、研究者によりまとめている。イメージングシステムの基礎、CMOS イメージセンサの基礎、高画質化技術、CMOS イメージセンサでの A-D 変換技術、広ダイナミックレンジ技術について解説してあり、現在の CMOS イメージセンサ技術を一望できるように構成されている。さらに、撮像機能に加えて期待される高機能化や新しい展開のための取組みにも触れている。

本書を手にとる方の CMOS イメージセンサについての理解を深める手助けになることを筆者一同願っている。

最後に、映像情報メディア学会誌などより図面を引用させていただいた方々に深く感謝する次第である。

2012 年 6 月

相澤 清晴 浜本 隆之

目 次

1. イメージセンサの基礎

1.1	イメージングとイメージセンサの機能要素	1
1.1.1	イメージングの目的	1
1.1.2	画像情報とイメージセンサの機能要素	2
1.2	イメージセンサのための半導体デバイス物理とデバイス要素	4
1.2.1	シリコンデバイスの物理	4
1.2.2	センサデバイス要素	17
1.3	イメージセンサの代表的方式と歴史	21
1.3.1	MOS センサ	21
1.3.2	CCD センサ	26
1.3.3	CMOS センサ	34
1.4	画像情報の構造	35
1.4.1	イメージセンサから得られる画像情報	35
1.4.2	要素のデジタル化の画像信号への影響	37
1.5	イメージセンサの基本特性	43
1.5.1	強度情報関連	43
1.5.2	位置情報関連	48
1.5.3	時間情報関連	49
1.5.4	波長情報関連 (色情報関連)	50
1.6	イメージングシステム	52
1.6.1	カラー化方式	52
1.6.2	色補間処理	54
1.6.3	イメージングシステムの構成	55

補足

1. 色 温 度	56
2. 被写体照度と面照度	56
3. kTC 雑 音	56
4. 相関二重サンプリング	58

2. CMOS イメージセンサの概要

2.1 CMOS イメージセンサの開発経緯	60
2.2 CMOS イメージセンサの特長	64
2.2.1 周辺回路のオンチップ集積化	64
2.2.2 増幅型画素	64
2.2.3 X-Yアドレス方式	66
2.2.4 低消費電力	71
2.3 CMOS イメージセンサのアーキテクチャ	72
2.4 CMOS イメージセンサの構成要素	75
2.4.1 固定パターン雑音抑圧回路	75
2.4.2 画 素	77
2.4.3 高輝度被写体に対する偽信号の抑圧回路	91
2.4.4 オンチップ A-D 変換器	92
2.4.5 PGA	93
2.4.6 信号の流れ	94
2.4.7 出力回路	98
2.4.8 ワンチップカメラ	100
2.5 CMOS イメージセンサの応用	101
2.5.1 携帯電話用カメラ	102
2.5.2 デジタルカメラ	102
2.5.3 デジタルビデオカメラ	103
2.5.4 高速カメラ	104
2.5.5 車載用カメラ	105
2.5.6 監視カメラ	105
2.5.7 医療用カメラ	106

2.6 展 望	106
2.6.1 レンズの回折限界	106
2.6.2 画素微細化に対する取組み	107
2.6.3 今後の展望	110

3. 高画質化技術

3.1 高画質化技術と画素縮小化	113
3.1.1 画素縮小化の流れ	115
3.1.2 高感度化技術	116
3.1.3 低雑音化技術	118
3.1.4 飽和電荷拡大技術	119
3.1.5 高解像度化技術	120
3.2 画 素 技 術	121
3.2.1 埋込みフォトダイオード	121
3.2.2 完全電荷転送	123
3.2.3 深いフォトダイオード	124
3.2.4 反 射 防 止 膜	125
3.2.5 素 子 分 離	126
3.2.6 正孔蓄積型フォトダイオード	127
3.2.7 フォトダイオード面積拡大	128
3.2.8 画素ソースフォロワ改良によるランダム雑音低減	133
3.2.9 低 背 化	134
3.2.10 カラーフィルタとマイクロレンズ	136
3.2.11 光導波路構造	141
3.2.12 裏面照射型	143
3.3 読出し回路技術	144
3.3.1 差動型雑音除去回路	145
3.3.2 クランプ型雑音除去回路	147
3.3.3 増幅型カラム雑音除去回路	148
3.3.4 高利得2段雑音除去回路	150
3.4 将 来 展 望	151

4. A-D 変換と広ダイナミックレンジ・高速化技術

4.1 はじめに	152
4.2 イメージセンサへの A-D 変換器集積化技術	153
4.2.1 イメージセンサ上での A-D 変換アーキテクチャ	153
4.2.2 画素並列 A-D 変換方式	154
4.2.3 カラム並列 A-D 変換方式	159
4.3 広ダイナミックレンジ化技術	174
4.3.1 ダイナミックレンジ拡大の基本原理	174
4.3.2 非線形蓄積によるダイナミックレンジ拡大	176
4.3.3 蓄積時間分割 (多数回サンプリング) によるダイナミックレンジ拡大	180
4.3.4 複数蓄積容量 (複数変換ゲイン)	186
4.3.5 その他の方法	189
4.4 高速化技術	189
4.4.1 高速読出し	189
4.4.2 グローバル電子シャッタ	195
4.4.3 ビニング読出し	199

5. 高機能化技術

5.1 高機能イメージセンサの概要	203
5.2 撮像機能の拡張	207
5.2.1 動画像圧縮イメージセンサ	208
5.2.2 空間可変サンプリングイメージセンサ, 多重解像度イメージセンサ	210
5.2.3 適応画素イメージセンサ	212
5.2.4 アナログビジョンチップ	213
5.2.5 単一画素カメラ	215
5.3 システム応用	216
5.3.1 汎用なデジタル画像処理用イメージセンサ	217
5.3.2 三次元距離計測用イメージセンサ	219
5.3.3 時間相関検出用イメージセンサ	226
5.3.4 可視光通信用イメージセンサ	228

5.3.5 動きベクトル検出用イメージセンサ	230
5.3.6 複眼撮像システム用イメージセンサ	232
5.4 人工視覚	235
5.4.1 失明と人工視覚	235
5.4.2 人工視覚の方式	237
5.4.3 画像入力技術と人工視覚	241
5.4.4 高性能化・高機能化	246
5.4.5 今後の展望	248
引用・参考文献	249
索引	268

1

イメージセンサの基礎

本章では、「画像情報の構造とイメージセンサの機能要素」を軸に代表的な方式を例に挙げながら、イメージセンサの基礎的な共通領域を述べる。

1.1 イメージングとイメージセンサの機能要素

イメージングには画像による情報取得という目的があり、そのためにイメージセンサが果たさなければならない役割がある。画像情報の構造と、それを得るためにイメージセンサが備えている機能要素の構成から説明を始める。

1.1.1 イメージングの目的

イメージングとは、情報を得たい対象を表現する物理量の分布を取得する操作である。具体的には、**図 1.1** に示すように光源から照射された光を反射す

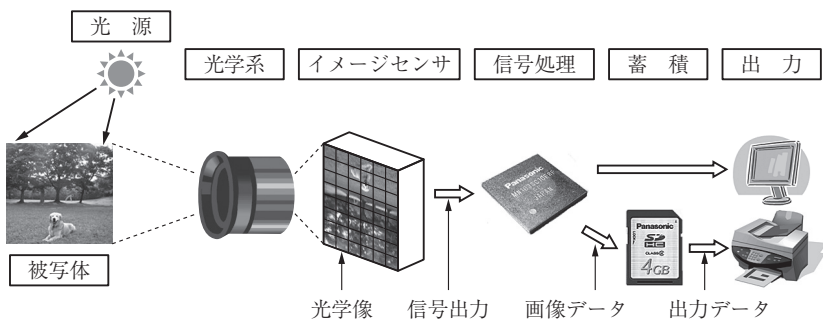


図 1.1 イメージングシステム全体の流れ

2 1. イメージセンサの基礎

る、あるいは自ら光を発する被写体の光学像を撮像レンズなどの光学系を介してイメージセンサ上に結像し、イメージセンサがその光学像情報を電気的画像信号に変換したあと、信号処理を経て画像データとして蓄積あるいは出力することである。

1.1.2 画像情報とイメージセンサの機能要素

イメージセンサは、光学像情報を電気的画像信号に変換して出力とするデバイスであり、イメージングシステムの性能を最も左右するキーコンポーネントである。

光学像情報は、**図 1.2** に示すように「強度、位置、波長、時間」の4要素で構成されており、それらの情報をそのイメージングシステムの目的を満たす品質レベルで採取できることが必要である^{†1}。したがって、画像情報は4要素が形成する空間の座標点のセットと考えることができる^{†2}。

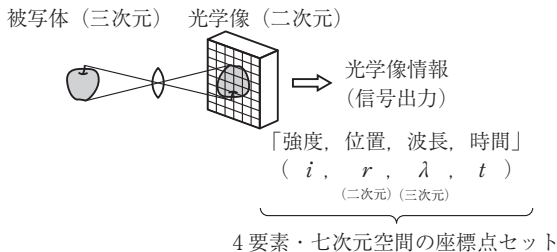


図 1.2 光学像情報の構成

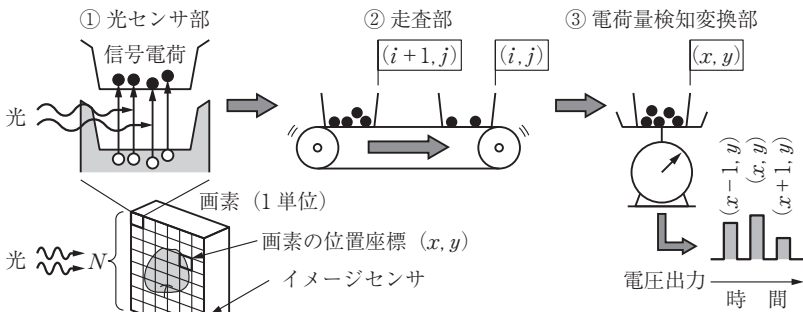
イメージセンサの構成 画像情報4要素を得るために最も一般的なイメージセンサは、**図 1.3 (a)** に示すように、① 光強度に応じた信号電荷量に変換/蓄積する“光センサ部”，② どの位置（画素）で得られた信号かを同定するアドレスリング機能を持つ“走査部”，③ 集積された信号電荷量に応じて電圧，

†1 光の状態については、上記4要素のほかに「偏光、位相」もあるが、ここでは扱わない。また、被写体までの距離情報を得るセンサもあるが本章では扱わない。

†2 4要素のうち、位置情報は x , y の二次元、波長情報は「色」として捉え直されて R, G, B の三原色で近似して三次元と見ると、4要素全体で七次元と考えることもできる。

名称	① 光センサ部	② 走査部	③ 電荷量検知変換部
機能	光強度に応じた信号電荷量に変換 / 蓄積	アドレッシング (画素座標の同定)	信号電荷量もしくは信号電流を電圧, 電流, 周波数, パルス幅などの信号形態に変換
手段	・ 光電変換 ・ 電荷蓄積	・ 信号電荷転送 ・ シフトレジスタ, またはデコーダによる $x-y$ アドレス	・ 電荷電圧変換 ・ 電流電圧変換 ・ 電荷周波数変換 ・ 電荷パルス幅変換 ほか

(a) 撮像素子の機能構成



(b) 機能模式図

図 1.3 撮像素子の機能構成と機能模式図

電流, 周波数, パルス幅などの扱いやすい信号形態に変換する“電荷量検知変換部”の三つの機能要素によって構成される[†]。

各機能要素を実現する手段がいくつかあり, その構成によってセンサの方式が定まる。このような素子構成とそれを駆動する動作シーケンスによって, 必要な画像情報が採取される。図 (b) はそれぞれの機能模式図である。イメージセンサには画素 (pixel, ピクセル) と呼ばれる単位が一次元 (リニアセンサの場合) または二次元状に配列されており, その数が画素数と呼ばれ, 図は $M \times N$ 画素である。各画素内には感光材料 (通常はシリコン) の光電変換機能

[†] 読者はあとにイメージセンサ自体が生み出す情報が光量に関する信号のみであることに気付かれるであろう。

4 1. イメージセンサの基礎

によって光強度に応じた信号電荷量に変換/蓄積する光センサ部が設けられている。イメージセンサを駆動するシーケンスによって設定される所定の露光期間だけ各画素内の光センサ部で集積された信号電荷は、露光期間終了後に光センサ部から読み出される。読み出された信号電荷は、電荷転送方式や X-Y アドレス方式などの走査部によって、どの画素からの信号であるかという位置の情報がわかるように送られる。送られた信号電荷は、電荷量検知変換部で信号電荷に応じた電圧などの信号として出力される（各機能要素の動作については、1.3 節で述べる）。

本書の主題である CMOS センサでは、あとに説明するように、上記工程が① 光センサ部で集積された信号電荷は、先に③ 電荷量検知変換部で電圧などに変換され、そのつぎに② 走査部を経て出力される。

1.2 イメージセンサのための半導体デバイス物理とデバイス要素

本節では、イメージセンサを構成する要素である半導体デバイスの基本構造と、それを理解するための半導体デバイス物理の基礎について述べる。

1.2.1 シリコンデバイスの物理

現在のイメージセンサは研究段階のものを除いて、ほとんどが半導体素子であるシリコン LSI 技術で形成されている。ここでは半導体デバイスであるイメージセンサに用いられているデバイス構造、いわばイメージセンサの要素を形成する基本構造について説明する。

半導体はその名のとおりに、導電率が導電体と不導体（絶縁体）の間にある。しかし、単に抵抗率が高い導体とは異なる。電気伝導は、主として荷電粒子の数と移動度の積に支配される。導電体の代表である金属では、動ける荷電粒子（キャリア）である電子の密度がアボガドロ定数 ($10^{23}/\text{cm}^3$) のオーダーで存在するが、不導体ではきわめてわずかであり、いずれもそのキャリア密度を外部から制御することはできない。それに対して、半導体のキャリア密度は 10^{15}

～ $10^{20}/\text{cm}^3$ 程度であり、妥当なデバイス構造とデバイスに与える電圧、電流、磁界、光などによってキャリア密度を制御することができる。こうした性質を利用したのが、ダイオードやトランジスタなどの半導体デバイスである。ここでは、材料として現代の半導体産業のLSI、そしてイメージセンサの主役でもあるシリコンについて説明する。

半導体デバイスでは、所定の不純物原子が所定の密度でシリコン内に存在することが必要である。集積回路の出発材料としてのシリコンは、テンナインとかイレブンナインとかいわれるように、いったん99.999999999%程度の高純度に精製されてから、所定の不純物原子が所望の濃度になるように添加される。

〔1〕 エネルギー帯

固体物理学のバンド理論によれば、多数の原子が凝集して構成された物質中の電子が占めることができるエネルギー状態は、図1.4に示すように電子状態が存在することが可能なエネルギー帯である許容帯と、状態が存在することができないエネルギー帯である禁止帯で構成される。許容帯は複数あり、そのうち原子の最外殻電子（価電子）のエネルギーレベルから形成されるエネルギー帯を価電子帯、電子が伝導に寄与できるエネルギー帯を伝導帯と呼ぶ。禁止帯のエネルギー幅をバンドギャップと呼び、 E_g で表される。絶縁体はバンドギャップが大きいため、常温で価電子帯から伝導帯に熱的に励起される状態はほとんど存在しない[†]。

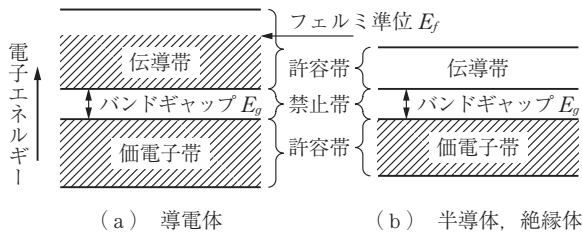


図1.4 エネルギー帯図

[†] 絶対零度ではシリコンも半導体ではなく絶縁体となる。

伝導帯の途中まで電子が詰まっている物質が導電体である。電流が流れるということは、電子が移動することであり、運動エネルギーを得て高いエネルギー状態に移ることであるので、すぐ上のエネルギー状態が空いている導電体では電流が流れるが、空いていない絶縁体と半導体では流れないということである。実際には、シリコンはバンドギャップが約 1.1 eV と比較的低いため、室温で価電子帯から熱励起された電子が伝導帯に存在するので伝導に寄与はするが、それだけではデバイスとして価値は少ない。このように高純度の半導体には実用的価値は少ないが、そこに所望の量の所望の不純物を添加することによって、有用なデバイスに変わるのである。

電子がその程度までのエネルギー状態を占めているエネルギーレベルをフェルミ準位と呼び、 E_f で表される[†]。

〔2〕 n 型半導体と p 型半導体

純度が高く不純物濃度が $10^{13}/\text{cm}^3$ 程度以下のシリコンを真性シリコン (intrinsic Si) という。そこに用途に応じてリン (P) もしくはホウ素 (B) などの不純物を $10^{14} \sim 10^{16}/\text{cm}^3$ 程度の濃度になるように添加したシリコン結晶をスライスしたシリコンウェーハが、LSI やイメージセンサなどの出発材料である。

シリコン原子は最外殻電子が四つある周期表の IV 族であり、シリコン原子間の四つの電子の結合でシリコン結晶が形成される。その結晶中の 1 個のシリコン原子をリン原子で置き換えると、リンは最外殻電子が五つの V 族であるため、周囲のシリコン結晶との結合のための電子が一つ過剰になる。この電子 (e^-) はリンイオン (P^+) と弱い結合エネルギーで束縛されるが、常温程度の熱エネルギーで容易に分離してイオン化される。これを図 1.5 (a) にエネルギー帯図で示すと、伝導帯の底のすぐ下の禁止帯内にリンの準位が形成され、ドナー準位と呼ばれる。各ドナー準位から 1 個の電子が伝導帯に励起されて自

[†] これは概念的表現であり、正確にはフェルミ分布関数におけるパラメータとして記述される。また、常温 ($\sim 300\text{ K}$) では数 kT ($1\text{ kT} = 26\text{ meV}$) 程度の分布の広がり (ばやけ) がある。

索 引

<p>【あ】</p> <p>アクセプタ 7</p> <p>アクティブピクセル 34, 61, 64</p> <p>アクティブリセット 81</p> <p>圧縮センシング 215</p> <p>アップダウンカウンタ 166</p> <p>アナログ処理 208</p> <p>アナログ-デジタル変換器 35, 92</p> <p>アナログメモリ 86</p> <p>アルゴリズムック A-D 変換器 169</p> <p>暗電流 19, 44, 45, 121, 178</p> <p>【い】</p> <p>1.5 bit 方式 171</p> <p>医療用カメラ 106</p> <p>色温度 56</p> <p>色再現 50</p> <p>色サンプリング 41</p> <p>色補間処理 55</p> <p>インターライン転送 CCD センサ 30</p> <p>インナーレンズ 138</p> <p>【う】</p> <p>ウインドウ読出し 69</p> <p>ウェル深化 125</p> <p>動きベクトル検出 231</p> <p>動きぼけ 212</p> <p>埋込みチャネル 29, 198</p> <p>埋込みフォトダイオード 18, 31, 83, 121</p>	<p>埋込み MOS 構造 13</p> <p>【え】</p> <p>エイリアシング 39</p> <p>エッジ検出 219</p> <p>【お】</p> <p>オーバドライブ電圧 191</p> <p>オーバフローゲート電位障壁 179</p> <p>大判センサ 102</p> <p>折返し 39</p> <p>オンチップレンズ 33, 89</p> <p>【か】</p> <p>開口率 33</p> <p>界面準位 13, 19</p> <p>拡散層分離 127</p> <p>可視光通信 228</p> <p>画素 3</p> <p>画像処理システム 216</p> <p>画素共有 129</p> <p>画素サイズ 115</p> <p>画素縮小化 115</p> <p>画素ピッチ 48</p> <p>画素並列処理構成 73, 153, 207, 209</p> <p>画素補間 24, 48</p> <p>価電子帯 5</p> <p>カプセル内視鏡 106</p> <p>カメラモジュール 111</p> <p>カラーフィルタ 41, 54, 140</p> <p>監視カメラ 105</p> <p>完全空乏化 18, 123</p> <p>完全電荷転送 82, 123</p>	<p>感度 43, 176</p> <p>感度 F 値依存性 118</p> <p>【き】</p> <p>逆バイアス状態 10</p> <p>逆方向リーク電流 122</p> <p>ギャップレス マイクロレンズ構造 136</p> <p>吸収係数 15</p> <p>行並列スキャン 222</p> <p>許容帯 5</p> <p>禁止帯 5</p> <p>近赤外光 243</p> <p>【く】</p> <p>空間可変サンプリング イメージセンサ 210</p> <p>空間フィルタリング 213</p> <p>空乏層 10</p> <p>区分的線形応答 179</p> <p>クランプ型雑音除去回路 147</p> <p>クランプ動作 162, 163</p> <p>グレイコード 156, 160</p> <p>クロストーク 51</p> <p>グローバルシャッタ 67, 86, 196</p> <p>【け】</p> <p>携帯電話用カメラ 102</p> <p>ゲート酸化膜 133</p> <p>【こ】</p> <p>高 SN 比化 113</p> <p>高解像度化 113</p> <p>高感度化 116</p>
--	--	---

光子 15
 広視野撮像 233
 高速化 189
 高速シリアル
 インタフェース 99
 高速度イメージセンサ 173
 広ダイナミックレンジ化 113
 光電変換特性 96
 高利得2段雑音除去回路 150
 黒体放射 56
 固定パターン雑音
 34, 44, 65, 76, 162
 混色 51, 90
 コンバージョンゲイン 81
 コンピュータシヨナル
 イメージセンサ 203
 【さ】
 サイクリック
 A-D変換回路 169
 細線化 219
 最大信号電荷数 97
 サーキュラゾンプレート
 38
 差動型雑音除去回路 145
 サブスレシヨルド領域
 87, 177
 サブフレーム 183
 三角測量 220
 三次元距離計測 219
 三次元集積化技術 246
 残像 18, 50, 178
 3トランジスタ
 フォトダイオード 77
 3板カラーカメラ 53
 【し】
 時間解像度 212
 時間相関検出 226
 しきい値ばらつき 144
 時空間フィルタリング 213
 視神経刺激方式 237
 実効開口率 33

シート光 221
 車載用カメラ 105
 周波数カウンタ 159
 順バイアス状態 10
 条件付き画素補充方式 208
 条件付きリセット 189
 小数位置精度 233
 消費電力 71
 ショット雑音 45, 174
 シリアル処理構成 73, 153
 シリコン網膜 204, 214
 白きず 121
 シングルスローブ
 A-D変換 155, 159, 202
 人工視覚 236
 人工網膜 236
 【す】
 水平走査 193
 水平読出し素子 24
 スキップ読出し 69
 スマートイメージセンサ 203
 スマートスキャン 209
 スミア 33
 スルーイング 191
 【せ】
 正孔蓄積型
 フォトダイオード 128
 静電誘導トランジスタ 62
 積層型イメージセンサ 108
 全面マイクロレンズ構造 137
 【そ】
 相関二重サンプリング
 45, 58, 77, 164
 層内レンズ 107, 138
 増幅型カラム雑音
 除去回路 149
 増幅型センサ 62
 速度フィルタリング機能 231
 素子分離 126
 ソースフォロワ 21, 78, 191

ソフトリセット 80
 【た】
 ダイクロイックプリズム 53
 対数応答 87, 177, 244
 ダイナミックレンジ
 47, 119, 212
 大脳視覚野刺激方式 237
 多画素化 113, 120
 多重解像度イメージセンサ
 211
 多チャンネルビットシリアル
 A-D変換回路 154
 縦型オーバフロー
 ドレーン構造 33
 単一画素カメラ 215
 単板カメラ 53
 【ち】
 逐次比較型A-D変換器 167
 逐次比較レジスタ 169
 蓄積容量制御方式 179
 チャージインジェクション
 162, 164
 チョッパ型コンパレータ 160
 【て】
 抵抗網ネットワーク 214
 低雑音化技術 118
 デジタルCDS 164, 202
 デジタル処理 208, 217
 デジタルビジョンチップ
 205
 低背化 134
 適応画素イメージセンサ 212
 データ圧縮 208
 デモザイキング 55
 電荷加算 131
 電荷結合素子 26
 電荷蓄積モード 60
 電荷-電圧変換係数 81
 電荷転送 66, 189
 電子シャッタ 31, 49, 68

電子増倍機能	109	光導波路	107, 142	ホワイトフィルタ	140
転送効率	28	光飛行時間測定法	223	【ま】	
伝導帯	5	ピクセル	3	マイクロチップ	247
【と】		被写体照度	56	マイクロレンズ	89, 137
ドナー単位	6	ビジョンチップ	203	マルチアパーチャ	
ドーピング	7	ピンング読出し	70, 199	イメージセンサ	112
トランジスタ雑音	44	非破壊読出し	211	【む】	
トリプルウェル構造	88	微分非線形性	92	無効フレーム	69
【な】		標準化定理	38	無線伝送技術	242
ナイキスト周波数	38, 48, 50	表面チャネル CCD	28	【め】	
【に】		ビルトインポテンシヤル	8	面照度	44, 56
2画素共有	129	【ふ】		【も】	
二相駆動 CCD	28	フィードバックリセット	81	モアレ	71
入力換算雑音	95	フェルミ準位	6	網膜	210, 235
【ね】		フォトダイオード	17	網膜下方式	241
熱雑音	45	フォトン	15	網膜刺激方式	238
ネットワークカメラ	105	複眼撮像	111, 233	網膜上方式	239
【の】		複数蓄積容量	186	【ゆ】	
ノイズフロア	96	浮遊拡散層	19, 82, 83	有機膜	108
【は】		フラッシュリセット	80	【よ】	
薄膜化	135	フラットバンド条件	12	横型オーバーフロー容量	186
バースト読出し	183	プリアンプ雑音	61	読出し雑音	175
パッシブピクセル	61, 62, 65	ブルーミング	31	4画素共有	129
発振周波数	158	フレームインターライン		4進木スキヤン方式	222
ハードリセット	79	転送 CCD センサ	33	四相駆動 CCD	27
パラレルインタフェース	98	フレーム転送 CCD センサ	29	4トランジスタ埋込み	
パルス周波数変調	158, 245	ブロック読出し	69	フォトダイオード	83
パンクロマチックフィルタ	140	フローティング	20	4トランジスタ	
反射防止膜	30, 33, 125	分光特性	16	フォトゲート	82
バンドギャップ	14	分散型電極アレー	248	【ら】	
【ひ】		【へ】		ライトパイプ	107
光ショット雑音	44	平均化処理	212	ランダムアクセス	230, 233
光切断法	220	ベイヤー配列	42, 54, 140	ランダム雑音	44
光センサ部	2	並列読出し	195	ランプ信号	160
光タグ情報	228	変換利得	21, 81		
		変調光	223		
		変調度伝達関数	38		
		【ほ】			
		飽和電子数	176		
		ホワイトバランス処理	55		

<p style="text-align: center;">【り】</p> リアルタイム動物体追跡 234 リセット雑音 45, 76 リセット動作 189 リセットモード 79 裏面照射 89, 108, 143	量子効率 43 輪郭補正 55	73, 153, 207, 209 レンズの回折限界 106
	【れ】	【ろ】 , 【わ】
	レチノトピー 238 列ゲインアンプ 149 列並列処理構成	ローリングシャッタ 67, 181, 196 ワンチップカメラ 64, 100

<p style="text-align: center;">【A】</p> A-D 変換器 35, 92 airy disk 106 AMI 62, 205 APS 65, 77, 82, 83, 177 AV-DONE 238	<p style="text-align: center;">【F】</p> 1/f 雑音 45, 133 FD 19, 82, 83, 132 FGA 62, 205 FIT-CCD 33 FOM 92 FPN 34, 44, 65, 76 FT-CCD 29	<p style="text-align: center;">【P】</p> PD 17 PFM 158, 245 PGA 93 pinned フォトダイオード 83 pn 接合 8 PPS 65, 204
<p style="text-align: center;">【B】</p> BASIS 62, 205 BCAST 62 BCCD 29 BCMD 62 BSI 89	<p style="text-align: center;">【H】</p> HARP 109	<p style="text-align: center;">【R】</p> RTS 雑音 133
<p style="text-align: center;">【C】</p> camera-on-a-chip 64, 100, 203 CCD センサ 26 CDS 45, 58, 77, 145 CG 81 CMD 62, 205 CMP 135 CNN 205 CZP 38	<p style="text-align: center;">【I】</p> IP カメラ 105 IT-CCD 30	<p style="text-align: center;">【S】</p> SCCD 28 SIMD 205, 207, 217 SIT 62, 205 SKIP トランジスタ 92 SN 比 46 STI 分離 126 STS 方式 240
<p style="text-align: center;">【D】</p> DMD 216 DNL 93 DRI 174 DSC 54, 102	<p style="text-align: center;">【K】</p> kTC 雑音 26, 44, 56, 76	<p style="text-align: center;">【T】</p> TSL 素子 24
<p style="text-align: center;">【E】</p> EDoF 111	<p style="text-align: center;">【L】</p> LOC 186 LOCOS 分離 127 LVDS 98, 194	<p style="text-align: center;">【V】</p> VOD 33
	<p style="text-align: center;">【M】</p> MCBS 155 MIMD 205 MOS センサ 21 MPDA 243 MTF 38	<p style="text-align: center;">【X】</p> X-Y アドレス読出し方式 66
	<p style="text-align: center;">【N】</p> npn フォトダイオード 16	<p style="text-align: center;">【ギリシャ】</p> γ 補正 55

— 編著者略歴 —

相澤 清晴 (あいざわ きよはる)

1983年 東京大学工学部電子工学科卒業
1988年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 (電気工学専攻)
工学博士
1993年 東京大学助教授
2001年 東京大学教授
現在に至る

浜本 隆之 (はまもと たかゆき)

1992年 東京理科大学工学部電気工学科卒業
1997年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 (電気工学専攻)
博士 (工学)
2003年 東京理科大学助教授
2011年 東京理科大学教授
現在に至る

CMOS イメージセンサ

CMOS Image Sensor

© 一般社団法人 映像情報メディア学会 2012

2012年8月6日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 一般社団法人
映像情報メディア学会
編 著 者 相 澤 清 晴
浜 本 隆 之
発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛 来 真 也
印 刷 所 新日本印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石4-46-10

発行所 株式会社 **コ ロ ナ 社**

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-01269-9

(横尾)

(製本：牧製本印刷)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします