

光は半導体内で電気になる

光が電気信号になる原理から説明しましょう。図1に示すように、半導体中に光(フォトン)が入ると、**光電変換**と呼ばれる現象が起こります。半導体の電気現象を記述するエネルギー・バンド図を使って説明すると、フォトンのエネルギーを受けて電子が価電子帯 E_V から伝導帯 E_C に励起され、電子と正孔が発生し、光電流になります。

この電流を活用するモードに二つあり、光電流を直接信号として取り出す**光電流出力型**と、光電流をフォト・ダイオードの接合容量に蓄積する**光電流蓄積型**があります。

イメージ・センサは後者の蓄積型を使いますが、その理由は感度が高いからです。フォト・ダイオードに弱い光しか入らないと光電流が微弱になり、扱いがたによっては信号がノイズに埋もれてしまうことが多いです。電荷を一定時間フォト・ダイオードの接合容量に蓄積すると、大きな電圧として取り出すことができますので、結果的に感度を高くできます。

CCDイメージ・センサが画像を捕らえ電気信号に変換して出力するまで

光がフォト・ダイオードの中で信号電荷に置き換わることがわかりました。ここではCCDイメージ・セ

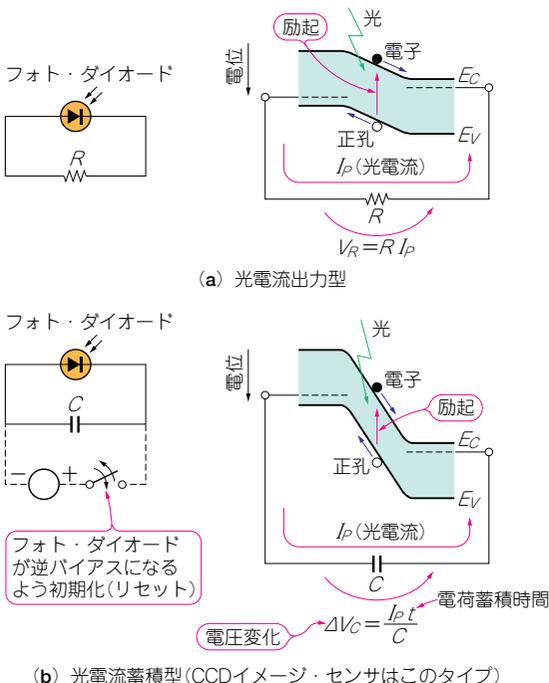


図1 光が電荷になるまで

ンサの中で、この信号電荷がどのように転送されるかを説明します。

図2(pp.102~103)のA部に示した画素構造のX-Y断面は、読み出しゲートを挟んだフォト・ダイオードと垂直CCDが主要部になります。

● フォト・ダイオードに光が当たると電荷が生じる

図3(次頁)に示したフォト・ダイオードは、光を受けると光電変換によって電子と正孔を発生させ、電子はN型領域に蓄積され信号になります。正孔はP型領域またはPウェルを通してGNDに吸収されます。ただし、Pウェルより深いところまで光が到達する場合は、電子も基板の裏面に吸収されて感度に寄与しません。

● 縦に並んだCCD素子に蓄えられた電荷を水平のCCDに順次送り出す

フォト・ダイオードで信号電荷の蓄積が完了したら、垂直CCDの転送電極に高い電圧がかかり、読み出し動作が行われます。読み出された信号電荷は、C部のように垂直CCDから水平CCDに向かって転送動作が行われます。その間にもフォト・ダイオードでは次の画像の光電変換が行われます。

● 蓄えられた1画面分の電荷を外部に運び出す

フォト・ダイオードで蓄積が完了した信号電荷は、撮像領域の全画素について同時に読み出し転送動作が行われ、信号電荷が垂直CCDに移ります。

その信号電荷は1行ずつ水平CCDに転送されますが、それらを受けた水平CCDは出力アンプに向かって信号電荷を転送し、出力アンプからは1画素ずつ信号が出力されます。

このような垂直CCDのライン転送と水平CCDの水平転送の組み合わせを垂直画素数分だけ繰り返すことで、1画面分の信号出力が得られます。この垂直CCDと水平CCDでの転送によって1画面分の信号を出力する一方で、フォト・ダイオードでは光電変換が行われ、色の変化として表現しているように、次の読み出し転送動作までに信号電荷の蓄積が行われます。

CMOSイメージ・センサが画像を捕らえ電気信号に変換して出力するまで

CMOSイメージ・センサはCCDイメージ・センサと違って、画素の中で信号電荷を電圧に増幅してから、画素の切り替え選択(XYアドレス)によって順序良く信号を取り出します。

● 電荷の生成と蓄積

図4(p.104)に示すように、画素は基本的にフォト・

ダイオード(PD), 読み出しゲート(Rd), 電荷検出部(FD), リセット・ゲート(Rst), 増幅アンプ(Amp.)と行選択スイッチ(ロウ・スイッチ)で構成されます。フォト・ダイオードではCCDイメージ・センサと同じように光電変換で信号電荷が蓄積されます。

● 蓄積した電荷を増幅して列信号線に出力

図5(p.104)に示すように、蓄積期間が完了したら信号を出力する前にFDをRstでリセットします。すると、リセットされたFDの電圧 V_{FD-R} がAmp.のゲートに接続されているので、それに応じた電圧、つまり信号のない状態(リセット・レベル)がAmp.のソースから列信号線に出力されます。

その後PDからRdを通してFDに信号電荷を読み出し、転送を終えてからRdを閉じると、FDの電圧がフォト・ダイオードに入射した光の強さに相当するぶん変化するので、その電圧 V_{FD-S} (Amp.のゲート電圧)に応じた信号のある状態(信号レベル)を列信号線に出力します。

● 固定パターン・ノイズを打ち消すCDS回路

上記後、時間差をもって出力されたりリセット・レベルと信号レベルを、列信号線の先に接続されているサンプリング回路の一種であるCDS回路で順次サンプリングすることで、二つの信号を減算した電圧が保持されます。この減算はAmp.のしきい値のばらつきによる固定パターン・ノイズを打ち消す働きをもちます。

● 全体の動作順序

図6(pp.104～105)に示します。ここでは便宜上、画素をフォト・ダイオード、FD、ロウ・スイッチの三つだけで表現します。最初に一番下の行でフォト・

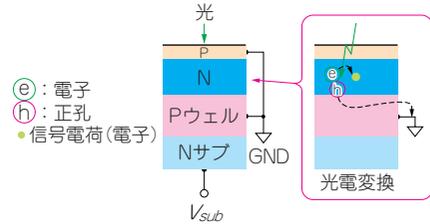


図3 図2(A)部に示したフォト・ダイオードで行われる光電変換

ダイオードの蓄積が完了し、まずは行リセット線(オレンジ色でアクティブになっている線)にパルスが立ち、FDのリセットが行われます①。

次にリセット・レベルの信号出力のために、行選択線がアクティブになって、列CDS回路のリセット・レベル保持部にそのリセット・レベルが記憶されます②。

さらに、行読み出し線にパルスが立ち、フォト・ダイオードからFDに信号電荷が読み出され③、行選択線にパルスが立つと信号レベルが列信号線に現れますので、CDS回路はそれを信号レベルの保持部に記憶します④。

この動作は、水平ブランキング期間中に完了し、その後は水平走査回路によって制御される列選択スイッチ(コラム・スイッチ)を左から順に導通することで、列CDS回路で信号レベルとリセット・レベルが減算された信号が出力回路から出てきます⑤。

このような動作を各行について下から行うことで、1画面分の映像信号が得られます。このときに注意しなければならないのは、各行の蓄積タイミングが行の出力タイミングに同期しているため、撮像面の蓄積期間に同時性がないことです。この点はCCDイメージ・センサと大きく違います。

用語解説

イメージ・センサ

被写体の像を電気信号に変える素子。別名:撮像素子, エリア・センサ。関連用語:リニア・センサ, ライン・センサ。

フォト・ダイオード

二つの相反する性質をもつ半導体(P型とN型)を接合し、電流が一方通行になる整流性をもたせた2端子の素子がダイオード。このダイオードの接合部分に効果的に光が当たるようにして、光導電電流を流れやすくしたものがフォト・ダイオードである。

水平 CCD

垂直 CCD から転送されてきた信号電荷を受け取り、FDアンプなどのような電荷の検出を行うアンプに向けて転送する CCD。

垂直 CCD

フォト・ダイオードから読み出された信号電荷を、撮像領域の中で垂直方向に転送する CCD。

CDS

Correlated Double Samplingの略で、相関二重サンプリングのこと。信号をサンプリングする方法の一種で、信号の中に含まれる基準レベルと信号レベルの差分をサンプリングする方式。

固定パターン・ノイズ

画面の中で固定した位置に白い点や黒い点があったり、磨りガラスを通して絵を見ている状況に例えられるノイズ。画像欠陥を含めて定まった位置に現れるノイズで、主にフォト・ダイオードの暗電流や、感度ばらつきなどによって生じる。