

ラズパイで体験!

CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第16回 黒画面に現れるざらつきノイズ「暗電流FPN」

米本 和也

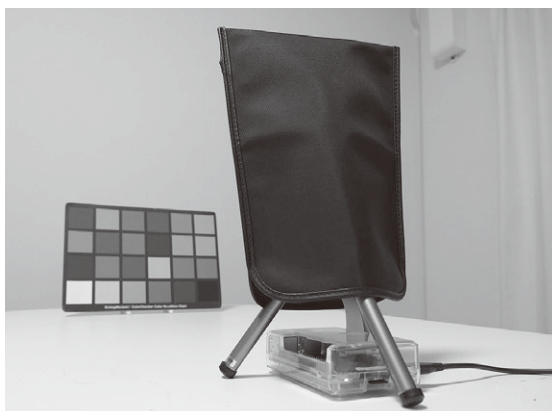


写真1 暗電流測定の様子

聞き慣れない用語かもしれませんが、今回は暗電流 FPN (Fixed Pattern Noise) を取り上げます。ここで言う暗電流^{注1}は、イメージセンサに光が入らない状態でも信号とは別の電荷(電子)がフォトダイオードに発生することを指し、数多くあるノイズの1つに分類されます。電流と言うからには電子の流れを思い浮かべてしまいがちですが、何らかの効果で電子が発生し流れてたどり着く先がフォトダイオードと考えれば納得できます。FPNは日本語では固定パターン・ノイズと言います。暗電流が元になる FPN なので呼び名が暗電流 FPN になります。

暗電流 FPN は、イメージセンサにとって大事な性能項目の1つです。特に被写体が暗い撮像条件でその性能が画像のノイズ感に大きく影響します。本稿では暗電流が発生するメカニズムから暗電流 FPN の測定評価(写真1)とその性質を解説します。

発生メカニズム

● Si単結晶における光電変換と励起電子の発生

イメージセンサの材料として Si 単結晶が多く用いられます。Si は光を受け光電変換される信号電荷つまり電子に加えて、熱的に励起する電子も発生します。ただしここで言う電子は、Si 原子に含まれる電子のうち電子の取りうるエネルギー準位の1つである伝導帯と呼ばれる準位に励起された電子を指し、少しの電界

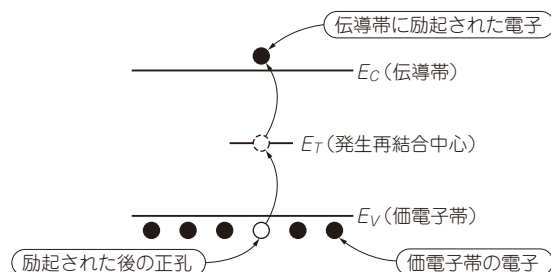


図1 半導体中で電子の取りうるエネルギー準位とショックレー・リード・ホール効果
電子が励起する場合だけを図示

を与えると Si 単結晶中を容易に移動できる自由電子です。

● 励起にはバンド構造とエネルギー差が関係する

熱的に電子が伝導帯に励起される半導体物性の原理のうち、ショックレー・リード・ホール効果が最もよく知られています。ショックレー・リード・ホール効果は、半導体物性の教科書に必ず出てくるので、詳細⁽¹⁾はここでは省略しますが、Si 結晶中の電子が取りうるエネルギー準位を表すエネルギー・バンドを用いると、図1で解説できます。

ここで電子の取りうる基本的な準位は価電子帯 E_V と伝導帯 E_C に分かれます。 E_V は Si 単結晶を形作る結合手を構成する原子の最外殻電子のエネルギー準位です。 E_C は最外殻電子としてとらわれている状態から開放され、少しの電界をかけると結晶中を容易に移動する性質の自由電子の取りうるエネルギー準位です。

イメージセンサは自由電子を信号電荷として活用します。Si 単結晶の場合は電子1つを1Vの電位差を持ち上げる^{注2}のに必要なエネルギーを1eVとすると、 E_C と E_V の差が約1.1eVあります。このエネルギー差(エネルギー・ギャップ)を超える光子のエネルギーがあれば電子1つを E_V から E_C に励起できます。

注1: 英語表記では Dark current。他の半導体素子ではリーク(漏れ)電流の1つとして扱われ、主に発生再結合と呼ばれる現象により意図せず流れる電流。

注2: 負の電荷を持つ電子にとっては電位を-1V変化させること。