

ラズパイで体験!

CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第9回 PRNUその1…測定法

米本 和也

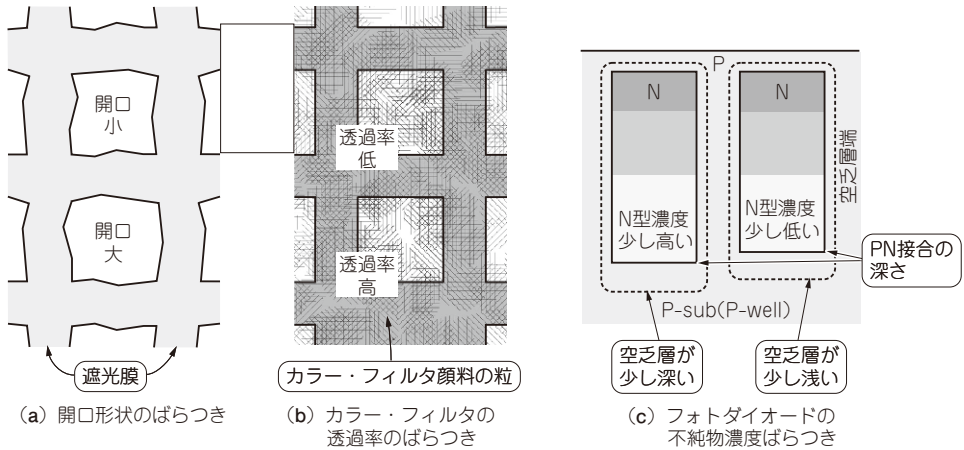


図1

PRNUの光学的要因 (a) 開口形状のばらつき
3つ(b) カラー・フィルタの
透過率のばらつき(c) フォトダイオードの
不純物濃度ばらつき

今回は、ノイズの中でも重要な要素の1つに挙げられるPRNU (Photo Response Non-Uniformity) について詳しく解説します。PRNUは、応答の不均一性であることは間違いありませんが、性能の定義は隣接画素間の感度のばらつきとして扱われます。従って、例えば画角の四隅の感度が中心よりも低下するような撮像面内でおだやかに分布する感度シェーディングは除かれ別に扱います。

PRNUの発生原因

● 2つに分類される

隣接画素間の感度ばらつきPRNUの発生原因は、大きく分けて光学的要因と電気的要因に分類されます。光学的要因は画素のフォトダイオードを構成するマイクロレンズ、カラー・フィルタおよびフォトダイオードの開口を決定している遮光の材料/構造におけるそれぞれのばらつきです。電気的要因は、本連載で解説した変換効率のばらつきです。

なお、本連載の応答曲線の回で解説した画素単位の応答曲線のばらつきをもたらす残像による固定パターン・ノイズも、見かけ上、感度ばらつきに思われますが残像によって失われてしまう電子によるものなので、PRNUには含まれません。もちろん測定評価において、残像による固定パターン・ノイズは条件設定などで振るい落とされます。

● 光学的要因

PRNUの光学的要因は主に図1に示す3つがあります。

▶ 1、フォトダイオードの開口を決定する遮光膜の開口形状ばらつき

カラー・フィルタとフォトダイオードの間には、フィルタを通過した光が隣接するフォトダイオードに回折などの光の性質で混じることを防ぐために、多くの場合、遮光膜がメッシュ状に作られています。この開口形状は、図1(a)では大きさに描いてありますが、半導体製造工程による形状のばらつきがあります。つまり開口窓面積が一定にならないので、感度のばらつきとして現れます。

▶ 2、カラー・フィルタの透過率のばらつき

カラー・フィルタは、微細に砕いた顔料を樹脂に分散した材料を使うことが主流です。図1(b)では分かりにくいところがあるかもしれませんが、顔料の分散(密度)は画素単位で常に一定にならないので、光の透過率の違いが生じ、その結果、感度のばらつきとして現れます。

▶ 3、フォトダイオードの光電変換された電子を集める能力のばらつき

電子を集める能力のばらつきは、光学と電気の両方が関与して発生します。図1(c)によると、フォトダイオードの電子を集める領域、つまり空乏層を決定するシリコン結晶にドーブする不純物もやはりばらつきを持ちますので、フォトダイオードごとに空乏層の体

本記事は次のOSで動作を確認しています。

Raspberry Pi OS (Legacy), 2023年12月5日, 32ビット, カーネル・バージョン: 6.1, Debian バージョン: 11 (bullseye)