

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中村信男

本論文は「固体撮像素子の高画質化回路技術に関する研究」と題し、第 7 章からなる。デジタルカメラ、カムコーダ、産業応用カメラなどの撮像デバイスとして、固体撮像素子は広く用いられており、CCD センサ、さらには CMOS センサとして技術開発が行われ、多画素化・微細化が進められている。固体撮像素子の最も重要な撮像特性は、SN 比とダイナミックレンジであり、それらを高くすることが画質を高くする上で必須である。本論文では、CCD 型と CMOS 型の固体撮像素子に対して、ノイズの低減、ダイナミックレンジの拡大を行うデバイス回路技術について論じている。

第 1 章は、「序論」であり、本論文の背景、および論文の構成について述べている。

第 2 章は、「固体撮像素子の高画質化技術」と題して、撮像素子のこれまでの技術的、産業的動向に触れた後に、固体撮像素子の画質を左右する重要な特性であるノイズ、ダイナミックレンジについて論じ、CCD センサ、CMOS センサそれぞれにおいての高画質化の課題についてまとめている。

第 3 章は、「積層形 CCD 固体撮像素子のランダム雑音解析」と題する。積層形 CCD センサの不完全転送形フォトダイオードの読み出し時に発生するランダム雑音の理論的な解析を行った。ランダム雑音の信号電圧依存性を見出し、小信号リセット動作（ソフトリセット）と呼ぶランダム雑音を抑圧できる駆動技術を開発し有効性を検証した。なお、ソフトリセットは、積層形 CCD センサのみならず、CMOS センサにおいても利用されている。

第 4 章は、「低雑音化積層形 CCD 構造の開発」と題する。まず、不完全転送フォトダイオードの固定パターン雑音の要因について論じ、空乏層と界面順位に起因する暗電流を低減するデバイス構造を開発し、固定パターン雑音を従来の 45 電子 p-p から 10 電子 p-p への低減を実現した。さらに、不完全フォトダイオードのランダム雑音の一層の低減のために、フィードバックセル技術を考案し、読み出し時のみフォトダイオードの容量を実質的に小さくすることで、信号飽和量を維持したままで、ランダム雑音を理論式どおりに削減する手法を開発した。

第 5 章は、「積層形 CCD 固体撮像素子のダイナミックレンジ拡大」と題し、スーパーダイナミックレンジ拡大技術について論じている。1 画素に対して 2 度の読み出しを行うことで高輝度領域へのダイナミックレンジを大きく拡大する。その際、同一ゲートを用いて排出動作と読み出し動作を行う新規技術を開発することで、光電変換特性の画素ごとのばらつきを 1 mV 以下に抑圧することができ、高画質で 100 dB 以上のダイナミックレンジを

うることができた。なお、3章から5章において論じた技術は、HDTV用のCCDセンサに用いられ実用化された。

第6章は、「CMOS形固体撮像素子の高画質化」と題する。CMOSセンサの高感度化のために、暗電流の削減、アナログ回路系の雑音の抑圧が必要であり、そのための3つの回路技術について論じている。まず、固定パターン雑音を低減するために、画素ごとの増幅トランジスタの閾値ばらつきを補正する新しいスキミング形ノイズキャンセル回路を開発した。次に、このノイズキャンセル回路の駆動を工夫することにより、相関2重サンプリング効果と低域フィルタ効果を十分にもたせ、画素のソースフォロワ回路での雑音を低減した。さらに、カラムの信号電圧を増幅するフィードバッククランプ方式の出力アンプを開発し、アナログ回路での雑音を抑えている。これらの技術は、CMOSイメージセンサ搭載の世界初のデジタルカメラとして実用化された。

第7章は、「結論」であり、本論文の成果をまとめている。

第8章は、「展望」であり、CCD及びCMOSセンサの今後の開発展望についてまとめている。

以上これを要するに、本論文では、微細化が進む固体撮像素子の高画質化を実現するために、雑音の解析を行い、新しいアナログ回路技術、デバイス技術を考案・開発したものであり、電子工学上の貢献は少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。