

博士論文要旨

論文題名：裏面照射型マルチ電荷収集ゲート超高速撮像素子のクロストークに関する研究

立命館大学大学院理工学研究科
機械システム専攻博士課程後期課程

グエン アン クアン
NGUYEN Anh Quang

超高速撮影のために裏面照射マルチ電荷収集ゲート撮像素子 (Backside-Illuminated Multi-Collection-Gate image sensor: BSI MCG image sensor) が提案されている。BSI MCG 型撮像素子では、表面側の各画素の中央に花びら状に配置した数個の電荷収集ゲートに、非常に短い時間間隔で順次収集電圧を加えることで、裏面に入射した光で生じた信号電子を収集し、超高速撮影を行う。この構造を備える 2 種の撮像素子のテストチップを設計、試作した。設計を通じてこの構造の長所および課題を明らかにした上で、課題の克服の技術についても提案した。以下の結果が得られた。

1. 10^9 fps (時間分解能 1 ns) で連続 5 枚撮影できるマルチフレーミングカメラ用撮像素子と、 10^8 fps (時間分解能 10 ns) で連続 1,220 枚撮影できる超高速ビデオカメラ用撮像素子のテストチップを試作した。現在、評価中である。
2. この構造では、画素の中央部に隣接して配置された電荷収集ゲートで順次信号電荷を収集するため、電子の運動や、入射光子のシリコン層への侵入深さ等におけるランダム性のために、信号電荷の混合によるクロストークを避けることはできない。モンテカルロ法によりこれらのランダム性がクロストークに与える影響を分析するための手法を提案した。また得られた画像信号からポスト信号処理により、クロストークを補正する技術を提案した。
3. シリコンイメージセンサの限界時間分解能の式を導いた。例えば 550 nm の光に対しては 11.1 ps である。従って理論的最高撮影速度は約 10^{11} fps である。

Abstract of Doctoral Thesis

Title : On Crosstalks of Backside-Illuminated Multi-Collection-Gate Ultra-High-Speed Image Sensors

Doctoral Program in Advanced Mechanical Engineering and Robotics
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

ン クアン
グエン ア
NGUYEN Anh Qua
ng

Ultra-high-speed image sensors have been developed for years. In 2013, a new structure, Backside-Illuminated Multi-Collection-Gate (BSI MCG) image sensor, was proposed to achieve the target frame rate of 10^9 frames per second (fps). Since then, we have developed two image sensors based on the structure. One image sensor is developed for a multi-framing camera, which is capable of capturing several frames at the speed of 10^9 fps, and the other for a video camera, which is capable of capturing more than 1,000 frames at the speed of 10^8 fps. Through the development of these sensors, we have investigated their performances and obtained the following results.

1. The frame rate of 10^9 fps can be achieved by the BSI MCG image sensor for the multi-framing camera. The sensor is backside-illuminated with multiple collection gates at the central area of each pixel on the front side. Signal electrons generated by incident light near the backside travel to the central area of the pixel and are collected by the collection gates. The highest frame rate is limited by the variation of the travel time from the backside to one of the collection gate.
2. We pointed out that crosstalk is a crucial issue to the BSI MCG image sensors. Methods for analysis of the crosstalk are proposed by introducing advanced Monte Carlo simulations. Techniques to compensate the crosstalk are also proposed and applied to application models for ultra-high-speed imaging and FLIM.
3. Furthermore, we derived expression of the theoretical highest frame rate of silicon image sensor. For example, the temporal resolution limit for green light of 550 nm incident to silicon image sensors at 300 K is 11.1 picoseconds or the highest frame rate is about 10^{11} fps.
4. Test sensors which we designed have been fabricated and are now under evaluation. The preliminary experiments confirm the technical feasibility of the BSI-MCG image sensors.