

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	NGUYEN Anh Quang (ぐえん あん くあん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1195 号
○授与年月日	2017 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	On Crosstalks of Backside-Illuminated Multi-Collection-Gate Ultra-High-Speed Image Sensors (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)
○審査委員	(主査) 平井 慎一 (立命館大学理工学部教授) 小西 聡 (立命館大学理工学部教授) 宇野 重康 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

本論文は、超高速撮影のために提案された裏面照射マルチ電荷収集ゲート構造を備える 2 種類の撮像素子テストチップの設計・試作と、この構造で起こるクロストークの解析および補正技術について述べている。第 2 章では、超高速撮像素子の設計およびシミュレーション解析のためにモンテカルロ法を導入した。第 3 章、第 4 章ではそれぞれ、裏面照射マルチ電荷収集ゲート構造を備えたマルチフレーミングカメラ用撮像素子と、ビデオカメラ用撮像素子を設計した。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、電荷の運動や、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。そこで第 5 章では、本構造におけるクロストークとその時間分解能への影響について、第 2 章で述べたモンテカルロ法を用いたシミュレーション解析を行った。第 6 章では、前章の解析結果に基づいて、ポスト信号処理によりクロストークを軽減する手法を提案した。第 7 章では、シリコン撮像素子の理論的な限界時間分解能を導いた。第 8 章では、試作した 2 種類の撮像素子テストチップの評価実験の結果を示した。

結果として、裏面照射マルチ電荷収集ゲート構造を備えた超高速撮像素子が、ナノ秒オーダーの時間分解能を達成できることを、シミュレーション解析および設計・試作した撮像素子テストチップの評価実験結果から示した。

<論文審査の結果の要旨>

本論文の特徴は、裏面照射マルチ電荷収集ゲート構造を備える超高速撮像素子の設計・試作と評価、モンテカルロ法を用いたクロストークのシミュレーション解析と補正技術の提案、およびシリコン撮像素子の理論的な限界時間分解能の導出である。裏面照射マルチ電荷収集ゲート構造を備えた撮像素子テストチップを、マルチフレーミングカメラ用およびビデオカメラ用をターゲットとした仕様で実際に設計・試作し、評価実験により画像が得られることを示した点が評価された。また、信号電荷の運動や、入射光子の吸収深さ等におけるランダム性に起因する電荷収集時間のばらつきを解析するために、モンテカルロ法を用いたシミュレーション解析を導入した。これにより、センサ構造と時間分解能の関係や、裏面照射マルチ電荷収集ゲート構造で問題となるクロストークとその時間分解能への影響等を解析し、素子設計の指針やクロストークの軽減手法を示した。これらの結果は、画素中央に光を集める高効率集光技術や三次元チップ積層技術等、関連する周辺技術との統合によりさらに高い時間分解能が実現できることを示しており、今後の展開が期待される。

本論文の公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員が申請者に対する口頭試問を行った。口頭試問においては、チップ厚さが時間分解能に与える影響、CCDメモリ層のバリアの役割を果たす p-well 層の分布形状やキャリア濃度と時間分解能の関係などを問う質問がなされた。学位申請者は、チップ厚さが薄い方が時間分解能向上の面で多少有利であるが長波長の光が扱えなくなること、信号電荷移動の水平方向成分が小さくなるように p-well 層の分布形状を変更することで時間分解能が向上できる可能性がある旨を答えた。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士学位を授与するに相応しいものと判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者が本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在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の公聴会は、2017年7月27日（木）9時00分～10時30分、機械システム系第1演習室において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 NGUYEN Anh Quang に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、開口率と標準偏差との関係、シミュレーションと実験結果との対応、p-well層の形状が時間分解能に与える影響、他の材料を用いたセンサへの適用可能性等に関する質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学位申請者は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。