



Title	医療及び産業応用半導体放射線検出器の研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	上野, 雄一郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12763号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65468
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuichiro_Ueno_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 上野 雄一郎

審査担当者 主 査 教 授 梅垣 菊男

副 査 特任教授 古坂 道弘

副 査 准教授 加美山 隆

学位論文題名

医療及び産業応用半導体放射線検出器の研究

(Studies of semiconductor radiation detectors for medical and industrial uses)

放射線検出器として、従来から広く使用されてきたシンチレータは、一般的に感度及び時間分解能に優れるが、エネルギー分解能があまり高くなく、また計測に光電子増倍管が必要であり小型化、微細化が困難であった。近年注目されている半導体検出器は、放射線を直接電気信号に変換するためエネルギー分解能が高いこと、微細化が容易で高い空間分解能が得られることが特徴になっている。

本研究では、CdTe 半導体検出器のもつ高いポテンシャルに着目し、高精度な CdTe 半導体検出器応用システムの実現を目指して、半導体検出器の相対的な弱点である感度や時間分機能を改善する信号計測、微小な電荷信号を増幅する低ノイズ型集積回路 (ASIC) の基盤技術を開発した。開発した技術を基に、実用化に向けた装置特有の課題を解決するための特性改善技術を構築し、医療用半導体 PET 装置及び環境用ガンマカメラを製作して性能を評価し、開発技術の有効性を検証した。

第 1 章では、CdTe 半導体検出器、医療及び産業用の対象機器である PET 装置及びガンマカメラの原理について説明すると共に、本研究の進め方を記した。

第 2 章では、半導体検出器を実用化する上で必要不可欠である信号計測基盤技術、集積回路基盤技術について記した。構築した技術は、バイパラメトリック信号処理技術と低ノイズ化 ASIC 技術である。バイパラメトリック信号処理とは、電子と正孔の移動度の違いに着目し、電子と正孔の割合を求めて各種特性改善を図る方法である。具体的には、二つの時定数の異なるシェーピングアンプ出力を得て、2 次元の波高値ダイアグラムを作成し、電子寄与率を判定することにより、エネルギー補正、時間分解能補正及びノイズ除去の 3 種の性能改善を図る技術である。低ノイズ化 ASIC 技術を実現するため、半導体検出器信号の読み出し回路を高密度に実装したアナログ ASIC を開発した。本 ASIC は、検出器からの入力数十から数百 $M\Omega$ と高インピーダンスであり、かつ検出器で発生する電荷は 5fC から 20fC 程度と非常に小さいなど特殊なものである。特に大きな問題となったデジタル信号のクロストークノイズ等の解決を図り、低ノイズ、高集積な PET 用とガンマカメラ用の 2 種類の ASIC を実用化した。

第 3 章には、医療応用として半導体 PET 装置の開発について記した。開発した ASIC を実装して、高エネルギーと高空間分解能を図ると共に、バイパラメトリック信号処理の中の、時間分解能補正とノイズ除去技術を適用することにより、半導体検出器の弱点である時間分解能を改善し、約 76,000 チャンネルの巨大システムでの安定動作を可能にして、臨床撮像を実現した。さらに、半導体検出器の最大の課題である感度に関して、両面実装技術の構築及び ASIC の低消費電力・高

集積化等により装置の 3 次元化を図るとともに、検出器内での散乱イベントを有効化する検出器内散乱線処理技術を開発した。特に検出器内散乱線処理技術は、ASIC 技術及びバイパラメトリック信号処理技術を駆使したもので、感度を約 4 倍に向上した。これらの技術を用いた PET 装置の性能を基本特性試験及び実臨床試験にて検証してその有効性を確認した。

第 4 章では、産業応用として環境用のガンマカメラを開発した結果を示した。半導体検出器の特徴を活かすことが可能なピンホールタイプガンマカメラを選択し、高線量場と低線量場の相反する環境にそれぞれ適応した 2 種のガンマカメラを製作した。基盤技術の低ノイズ、高集積 ASIC を実装することにより小型コンパクト化を実現した 2 次元ピクセル状の検出器モジュールを用いて、軽量で高性能なガンマカメラが実現した。また、バイパラメトリック信号処理におけるエネルギー分解能補正を適用することにより、厚い CdTe 素子 (2.2mm 厚) でのエネルギー分解能を向上し (662keV において 2.7%)、核種の同定を可能にした。高線量場対応の特性改善技術としては、ピンホールコリメータ及びシールド厚を最適化し、ASIC の高計数率化の改良を実施して、最大の環境線量率を 1.4Sv/h まで増大した。実際に福島第一原子力発電所 1 号機の高線量領域の調査を実施し、659mSv/h の高線量環境においても飽和することなく正常に動作して、未知の汚染源を特定することができた。また、低線量場対応の特性改善技術として、三つの手法 (バイパラメトリック信号処理のノイズ低減によるエネルギーウインドウの拡大、感度及び空間分機能を評価しピンホール径の最適化、統計ノイズを抑制するスムージングフィルタ) を検討し、合計で従来比約 11 倍の感度向上を実現した。開発した 2 種のガンマカメラは、実際に福島第一原子力発電所内および福島エリアでそれぞれ活用され、構築した技術の有効性が確認された。

第 5 章では、本研究の成果を総括し、今後の展望を示した。

以上、著者が本研究で開発した放射線計測分野でのバイパラメトリック信号処理技術と低ノイズ化 ASIC 技術は、半導体検出器の実用化に向けた基盤技術として学術的な重要性を有すると共に、その技術を応用して半導体 PET 装置や環境用ガンマカメラ (高線量場用・低線量場用) を実用化し、有効性を検証したことは、大きな技術的成果である。これらの成果は、医療、産業分野における放射線計測工学に対して貢献するところ大なるものがある。従って、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。