

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25630139

研究課題名(和文) 相互相関法を用いた高感度CMOS放射線検出センサーの研究

研究課題名(英文) CMOS Radiation Detector Using Arrayed Correlation

研究代表者

岡田 健一 (Okada, Kenichi)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：70361772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円、(間接経費) 510,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、放射線を照射するとPET材が紫外発光する現象を利用し、その紫外光をCMOSセンサーで読み出す放射線センサーの研究を行う。SPAD高感度化のため、バイアス電圧をCMOS集積回路内部で発生させるが、その際のバイアス電圧の自己補正を可能とした。チップ内においても正確な時間基準が必要であり、携帯性を考慮すると低消費電力かつ低雑音なクロック源が必要である。バラクタバイアス抵抗の最適化による方法と、スタンダードセルのみで実現可能な低消費電力な発振器方式について検討を行い、低消費電力においても低雑音化が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this work, a radiation detector using a CMOS chip has been studied. PET as a plastic scintillator generates ultraviolet light, and the light is detected by single-photon avalanche diode (SPAD) implemented on a CMOS chip. A bias voltage generation is very important to improve SPAD sensitivity. A SPAD array is self-calibrated for excluding defect-elements and having high bias voltage. A clock generation is also required to measure a dark count, and it is used for the calibration. A low-power and accurate on-chip clock generator is realized by using only standard cells.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電子デバイス・電子機器

キーワード：放射線センサ SPAD 発振器

### 1. 研究開始当初の背景

福島原発の放射能拡散対策の長期化が決定的となっている。一般市民の不安解消や風評被害防止のため、小型・安価・大量生産可能な放射能検出器が必要となっている。現在のガイガーカウンターは小型化・大量生産ができず、一般市民が手軽に使うには程遠い代物である。また、PIN ダイオードによる検出器では、0.1mSv/h 以下の高精度測定には5分以上を要し、定常的な空間線量の測定などの限定的な用途にしか利用できない。本研究では、シリコン CMOS 半導体チップと PET 材をセンサーとして用いる。シリコン CMOS 半導体チップは、非常に安価で作成可能なのが特徴であり、PET 材(ペットボトルの材料)に放射線を照射すると紫外光を発生する現象を利用し、その紫外光を CMOS センサーで読み出す放射線センサーの研究を行う。現状の携帯型線量計は測定時間が長いことが課題点であり、測定感度も低いため食品線量の測定には利用できない。本研究による高感度短時間測定が可能になれば、携帯可能な寸法の検出器で食品の線量測定が可能となる。例えば、主婦がスーパーマーケット等で食品の買い物をする際に、自身の手で放射線量の検査を行うことができる。また、農産物の流通時の全数検査にも利用でき、生活の上での安全・安心の改善、風評被害の防止が期待できる。

### 2. 研究の目的

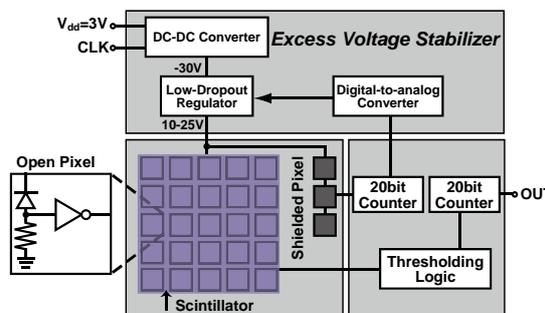
本研究では、放射線を照射すると PET 材が紫外発光する現象を利用し、その紫外光を CMOS センサーで読み出す放射線センサーの研究を行う。従来は、高感度化のため時間平均をとることで精度向上を図っていたが、測定時間が長くなることが問題であった。本研究では flash 型のセンサ構造とし、短時間で高感度測定を実現する方法を検討する。センサーをアレイ状に配置し並列数を増やすことで、測定時間を長くせずに高感度化が可能であるかを検証する。

### 3. 研究の方法

- ・市販の CMOS イメージセンサと PET 材を用い、基準線源(表示付認証機器  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )からの時間あたりの検出数と信号強度の関係を導く。
- ・放射線のカウント数とセンサー面積と、市販サーベイメーターでの検出値の関係から、シリコン素子の吸収効率を測定する。
- ・PET 材の厚みと変換効率の関係を、基準線源、暗箱、CMOS イメージセンサにより測定する。市販プラスチックシンチレータの値と比較し、絶対効率を求める。
- ・CMOS フォトダイオードによる検出部では、

差動読み出しおよび内蔵アナログデジタル変換器による高精度読み出しと、極低消費電力化の検討を行う。

- ・アバランシェダイオードによる読み出しでは、Dark count による誤検出と不要電流を削減する必要があるが、高速クエンチ動作を正帰還コモンソース回路により実現する。正電源のみで動作が可能で、従来のパッシブクエンチ回路よりも高速にクエンチ・リセットができる。また、マスク処理のため個別に SPAD を停止可能である。
- ・SPAD センサーをアレイ状に配置する。センサー上部に PET 材によるシンチレータを配置し、さらに可視光を遮断するようにシールドを施す。
- ・SPAD に必要なバイアス電圧(15V 程度)は内蔵の DC-DC コンバータと LDO により生成する。この際、バイアス電圧と Dark count rate には密接に関係があるが、校正時に Dark count rate を規定値に揃えるように制御ループでバイアス電圧を自己調整する。カウンタと基準電圧生成用の DAC で実現可能である。
- ・バイアス電圧設定時に、誤検出を起こしやすい SPAD をあらかじめ特定し、マスク処理を行うことで多数の検出器を並べた際に特定の SPAD のみがバースト状に誤検出を起こす現象を回避する。
- ・アレイの要素数は、SPAD 検出部の面積と、検出効率および Dark count rate の関係から決める。
- ・携帯機器への組込みを可能とするために、消費電力の削減が必須である。間欠動作および Wake-up 動作により、待機時と同等の消費電力で、継続的な線量の測定を可能とする。
- ・線量の強さに比例して読み出し周波数を変化させることにより、センサー寸法と消費電力のトレードオフを回避する読み出し方式を検討する。
- ・オシロスコープにより、Dark count の発生について、理論との差異について測定を通し検証する。



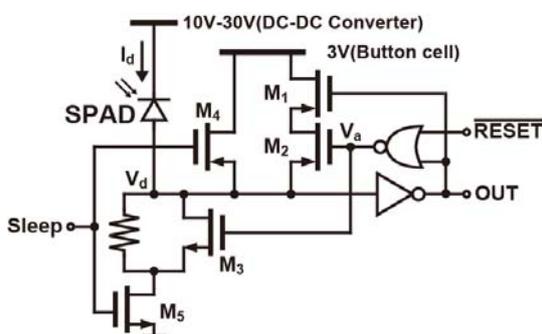
図：放射線検出器システムブロック図

### 4. 研究成果

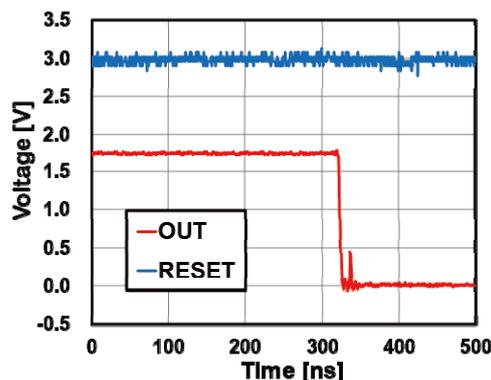
本研究では、放射線を照射すると PET 材が紫

外発光する現象を利用し、その紫外光を CMOS センサーで読み出す放射線センサーの研究を行う。従来は、高感度化のため時間平均をとることで精度向上を図っていたが、測定時間が長くなることが問題であった。本研究では、高周波測定装置などで用いられる相互相関法を応用し、短時間で高感度測定を実現する方法を検討した。実際に CMOS 化するにあたり、標準 CMOS プロセスによる SPAD の高精度化、SPAD のための昇圧回路、SPAD の自己補正的バイアス回路について検討を行った。SPAD に必要なバイアス電圧(15V 程度)は内蔵の DC-DC コンバータと LDO により生成する。SPAD は誤検出にあたる Dark count が発生するが、SPAD 自体の個体差とバイアス電圧との関係は製造前には uncertain である。この問題の解決のため、バイアス電圧と Dark count rate には密接に関係があるが、校正時に Dark count rate を規定値に揃えるように制御ループでバイアス電圧を自己補正する回路方式を考案した。カウンタと基準電圧生成用の DAC で実現可能である。また、バイアス電圧設定時に、誤検出を起こしやすい SPAD をあらかじめ特定し、マスク処理を行うことで多数の検出器を並べた際に特定の SPAD のみがバースト状に誤検出を起こす現象を回避することも可能である。

これらの自己補正において、チップ内においても正確な時間基準が必要であり、携帯性を考慮すると低消費電力かつ低雑音なクロック源が必要である。バラクタバイアス抵抗の最適化による方法と、スタンダードセルのみで実現可能な低消費電力な発振器方式について検討を行い、低消費電力においても低雑音化が可能であることを明らかにした。



図：高速クエンチ回路図



図：高速クエンチの評価

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

①桂木 真希彦, 木村 健将, 岡田 健一, 松澤 昭 「電圧制御発振器におけるバラクタバイアス抵抗の最適化」, 電子情報通信学会 総合大会, C-12-35, 2014/3/19, 新潟.

②Dongsheng Yang, Wei Deng, Teerachot Siriburanon, 岡田 健一, 松澤 昭 「A 0.4ps/bit Digitally-controlled Varactor for a Fully Synthesizable DCO」, 電子情報通信学会 総合大会, C-12-36, 2014/3/19, 新潟.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 健一 ( OKADA, Kenichi )  
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：70361772

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：