

機関番号：54502

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21390351

研究課題名（和文） 新型半導体光センサーを用いたDOI検出器の開発とウェアラブルPET装置等への応用

研究課題名（英文） Development of DOI detectors by the use of new semiconductor based photo-detectors and their application to wearable PET systems

研究代表者山本 誠一（YAMAMOTO SEIICHI）

神戸市立工業高等専門学校・教授

研究者番号：00290768

研究成果の概要（和文）：

ガイガーモードアバランシェフォトダイオードはシリコンフォトマルとも呼ばれ（以下Si-PMという）、高分解能PET用光センサーとして注目されている。またSi-PMは静磁場の影響を受けにくいためMRI中で測定可能なPET用検出器としても注目されている。そこでSi-PMを用いた小動物用PET装置の開発を行い、性能評価を行った。検出器ブロックとして、4x4に配置されたSi-PMアレーに11x9に配置した2種のCe濃度のLGSO（0.75mol%：decay time:~45ns：1.1mm x 1.2mm x 5mmと0.025 mol% Ce：decay time:~31ns：1.1mm x 1.2mm x 6mm）を組み合わせ、DOIブロック検出器を開発した。2種のLGSOは波形解析により弁別する。このブロック検出器を16個作成し、68mm直径の円周上に配置し、検出器リングを構成した。開発したSi-PM PET装置の性能を評価したところ、視野中心において、空間分解能は1.5mmFWHM程度であった。感度は体軸方向視野中心において0.8%程度であった。ラットの撮像で良好な画像が得られた。またMRIとの同時測定では多少の信号雑音比(S/N)が低下したが小動物の撮像に成功した。

研究成果の概要（英文）：

Geiger-mode avalanche photodiode (Si-PM) is a promising photodetector for PET, especially for use in a magnetic resonance imaging (MRI) system because it has high gain and is less sensitive to static magnetic field. We developed a Si-PM based depth-of-interaction (DOI) PET system for small animals. Hamamatsu 4x4 Si-PM arrays (S11065-025P) were used for its detector blocks. Two types of LGSO scintillator of 0.75 mol% Ce (decay time:~45ns: 1.1mm x 1.2mm x 5mm) and 0.025 mol% Ce (decay time:~31ns: 1.1mm x 1.2mm x 6mm) were optically coupled in the DOI direction to form a DOI detector, arranged in 11 x 9 matrix, and optically coupled to the Si-PM array. Pulse shape analysis was used for the DOI detection of these two types of LGSOs. Sixteen detector blocks were arranged in a 68mm diameter ring to form the PET system. Spatial resolution was 1.6mm FWHM and sensitivity was 0.6% at the center of the field-of-view. High resolution mouse and rat images were successfully obtained using the PET system. Simultaneous imaging with MRI was possible with some loss of the signal to noise ratio (S/N).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
21年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
22年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
23年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：医歯薬学,
 科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学
 キーワード：PET、高分解能、高感度、分子イメージング

1. 研究開始当初の背景

現状の PET 装置は高さ、幅、奥行き、重量とも大きい被検者の特定部位に近接して配置することが困難であり、新しい概念の PET 装置を開発することの妨げとなっている。最近これらの問題点を解決する新型光センサーとしてガイガーモード半導体 (Geiger-mode Solid State) 光センサーが開発された。この光センサーは、多数 (数万個) のチャンネルを有し飽和モードで用いる半導体光センサーで、利得が 10 万倍から 100 万倍と、光電子増倍管あるいは位置有感型光電子増倍管と同等で、応答速度も速い。雑音の影響を受けにくく APD で必要とされた高い利得の増幅器を含む ASIC を必要としない。サイズは厚みが数ミリメートルと薄く、小さなリング径の PET 装置を開発するための光センサーとして最適である。本研究ではこの光センサーを用いた PET 用検出器を開発し、その特長を生かして小型軽量なウェアラブル PET 装置や PET/MRI 装置に展開する。

2. 研究の目的

ガイガーモードアバランシェフォトダイオードはシリコンフォトマルとも呼ばれ (以下 Si-PM という)、高分解能 PET 用光センサーとして注目されている [1-2]。また PET/MRI 一体型装置は多くの利点があるため、開発が進められているが [3-5]、Si-PM は静磁場の影響を受けにくいいため MRI 中で測定可能な PET 用検出器としても注目されている。そこで Si-PM を用いた小動物用 PET 装置の開発を行い、性能の評価を行った。

3. 研究の方法

検出器ブロックとして、4x4 に配置された Si-PM アレー (浜松ホトニクス社製 S11064-025P) に 11x9 に配置した 2 種の Ce 濃度の LGSO (0.75mol% : decay time: ~45ns : 1.1mm x 1.2mm x 5mm と 0.025 mol% Ce: decay time: ~31ns : 1.1mm x 1.2mm x 6mm) を組み合

わせ、DOI ブロック検出器を開発した (Fig. 1)。2 種の LGSO は波形解析により弁別する [6]。このブロック検出器を 16 個作成し、68mm 直径の円周上に配置し、検出器リングを構成した (Fig. 2)。

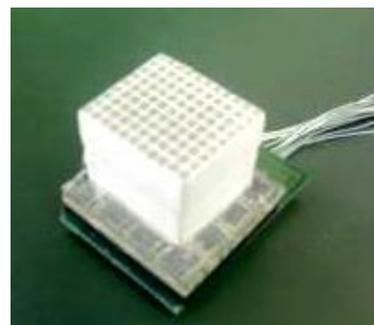


Fig.1 Photograph of the Si-PM based LGSO dual-dual layer block detector

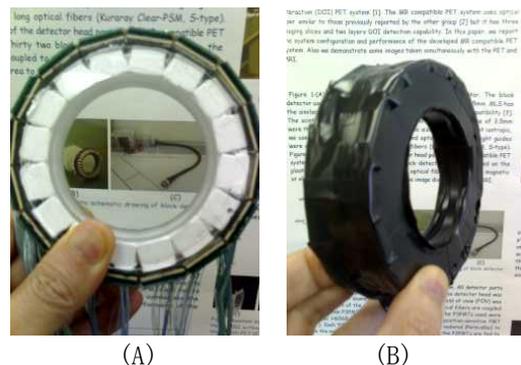


Fig.2 Photograph of the Si-PM based block detector (A) and that with light shield (B)

開発した SiPM を用いた PET 装置の写真を Fig. 3 に示す。検出器リングにはアンプ等の電子部品が存在しないので、極めてコンパクトな構成にすることができた。検出器リングとベッドは共にフレキシブルアームの先端に配置しているため、自由に位置を変更することが可能である。



Fig.3 Photograph of whole view of Si-PM based PET

4. 研究成果

開発した Si-PM アレーを用いた DOI 検出器ブロックの性能を Fig. 4 に示す。2次元マップは、十分な余裕を持って分解することができた。またエネルギースペクトルも単一ピークが得られ、波形スペクトルも、2種類の LGSO の減衰時間の違いに起因する2つのピークを分解することができた。

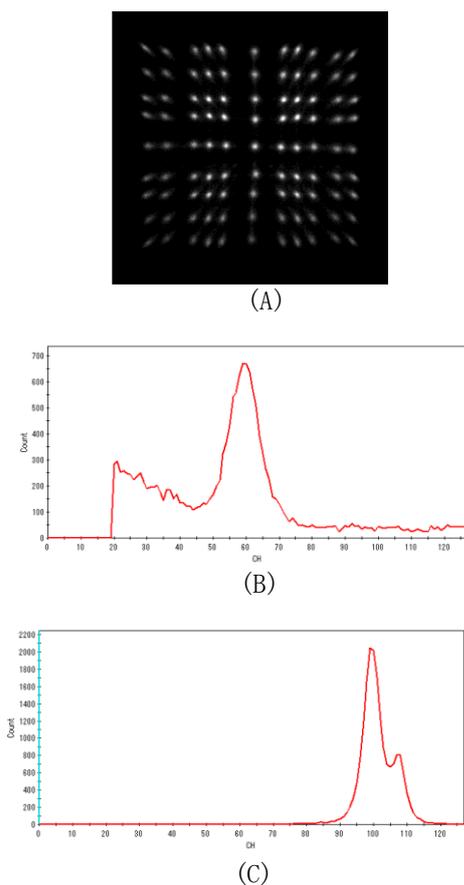


Fig.4 Performance of LGSO block detector, two dimensional histogram (A), energy spectrum (B), and pulse shape spectrum (C)

開発した Si-PM PET 装置の性能を評価したところ、視野中心において、空間分解能は 1.5mmFWHM 程度であった。DOI 検出することで中心から離れた位置における半径方向空間分解能の向上が認められた (Fig. 5)。感度は体軸方向視野中心において 0.8%程度であった。

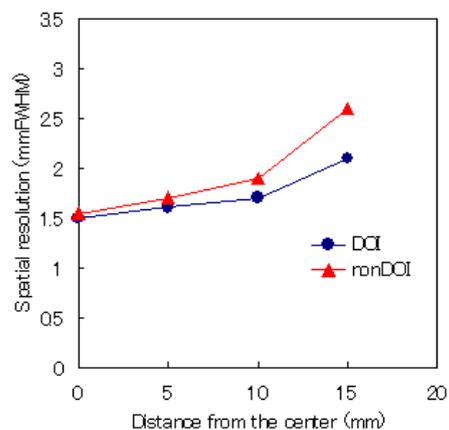


Fig.5 Radial resolution of Si-PM based PET system

ラットとマウスの撮像を行い、良好な画像を得ることが出来た。その一例を Fig. 6 に示す。以上の結果より、Si-PMは高分解能PET用検出器として有望であることが明らかになった。

さらに MRI 中で撮像を行い、PET 及び MRI に対する影響も評価した。MRI との同時測定では多少の信号雑音比 (S/N) が低下したが小動物の撮像に成功した。

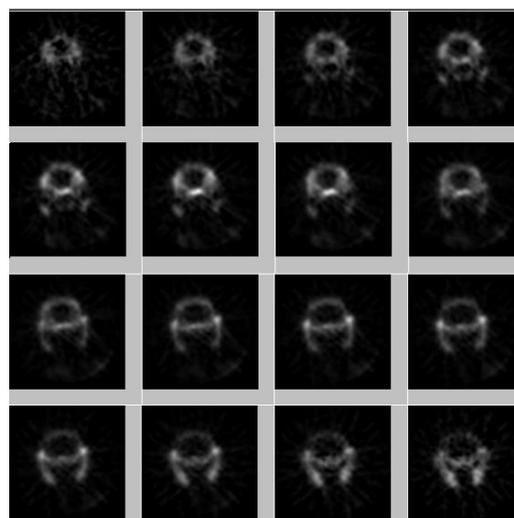


Fig.6 F-18-NaF rat brain images obtained using Si-PM based PET system. For the F-18-NaF rat brain imaging, approximately 37MBq (1mCi) F-18-NaF was injected, and measurement was made for 20min, 2 hours after the injection.

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 6 件)

1) S. Yamamoto, Watabe T, Watabe H, Aoki M, Sugiyama E, Imaizumi M, Kanai Y, Shimosegawa E, J. Hatazawa. Simultaneous imaging using Si-PM-based PET and MRI for development of an integrated PET/MRI system. Phys Med Biol. 2012;57(2):N1-13.

2) S. Yamamoto, Watabe H, Kanai Y, Imaizumi M, Watabe T, Shimosegawa E, Hatazawa J.

Development of a high-resolution Si-PM-based gamma camera system. Phys Med Biol. 2011;56(23):7555-67

3) S. Yamamoto, Watabe H, J. Hatazawa. Performance comparison of Si-PM-based block detectors with different pixel sizes for an ultrahigh-resolution small-animal PET system. Phys Med Biol. Sep 21;56(20) 227-236, 2011

4) S. Yamamoto, H. Watabe, Y. Kanai, M. Aoki, E. Sugiyama, T. Watabe, M. Imaizumi, E. S. and J. Hatazawa Interference between PET and MRI sub-systems in a silicon-photomultiplier-based PET/MRI system.. Phys Med Biol 56(13):4147-59, 2011

5) S. Yamamoto, J. Satomi, T. Watabe, H. Watabe, Y. Kanai, M. Imaizumi, E. Shimosegawa, J. Hatazawa. "A temperature-dependent gain control system for improving the stability of Si-PM based PET system". Phys Med Biol. 56, pp. 2873-2882, 2011

6) S. Yamamoto, M. Imaizumi, T. Watabe, H. Watabe, Y. Kanai, E. Shimosegawa, J. Hatazawa. "Development of a Si-PM-based high-resolution PET system for small animals". Phys Med Biol. 55(19):5817-31, 2010

[学会発表] (計 6 件)

1) S. Yamamoto, H. Watabe, Y. Kana2, M. Imaizumi, T. Watabe, E. Shimosegawa, J. Hatazawa, "Development of a High Resolution Si-PM-Based Gamma Camera System" 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Valencia, Spain, 2011

2) S. Yamamoto, T. Watabe, H. Watabe, Y. Kanai, E. Shimosegawa, J. Hatazawa.

High resolution coincidence imaging systems using Si-PM based LGSO block detectors. Society of Nuclear Medicine 58th Annual Meeting, San Antonio, Texas, 2011
3) S. Yamamoto, J. Hatazawa. 63. Si-PM array based DOI block detectors with temperature dependent gain control electronics for a high resolution animal PET system. Society of Nuclear Medicine 57th Annual Meeting, Salt Lake City, Utah, 2010

4) S. Yamamoto, M. Imaizumi, T. Watabe, H. Watabe, Y. Kanai, E. Shimosegawa, J. Hatazawa. Development of a Si-PM Based High Resolution DOI-PET System for Small Animals. 2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Knoxville, Tennessee, 2010

5) S. Yamamoto. Comparison between Si-PM based PET and optical fiber based PET for integrated PET/MRI systems. 2010 MIC PET-MR Workshop, Knoxville, Tennessee, 2010

6) S. Yamamoto, M. Imaizumi, T. Watabe, H. Watabe, Y. Kanai, E. Shimosegawa, J. Hatazawa. Development of a Si-PM Based High Resolution DOI-PET System for Small Animals. 2010 World Molecular Imaging Conference, Kyoto, Japan, 2010

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 放射線検出器

発明者: 山本 誠一

権利者: 山本 誠一

種類: 特許出願

番号: 特願 2011-116276

出願年月日: 2011 年 7 月 10 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等:

<http://www.kobe-kosen.ac.jp/~s-yama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本誠一 (YAMAMOTO SEIICHI)

神戸市立工業高等専門学校 教授

研究者番号: 00290768

(2) 研究分担者

畑澤 順 (HATAZAWA JUN)

大阪大学医学系研究科教授

研究者番号: 70198745