

図 励起位置による波長分布 (赤: 0mm 緑: 20mm 青: 40mm) 図 照射位置および SiPM 読出

上記の短波長側の違いを観測することで片側読出により深さ位置を特定可能であることを確認した。下図に上記の3点の位置で ^{137}Cs により励起し波長感度をもたせた2つの SiPM により観測された信号比の分布を示す。今回の試験においては2つの SiPM を用いているため分離性は良くないが弁別可能であることが確かめられた。フィルターは減衰度合いがことなる 520nm 付近にシャープカット(50nm FWHM)特性を有するものを用いた。

また GAGG(ピーク波長 520nm)と LYSO(ピーク波長 420nm)の積層型の検出器にかんしては(右図)明瞭に弁別が可能である (赤: GAGG 緑: LYSO)。

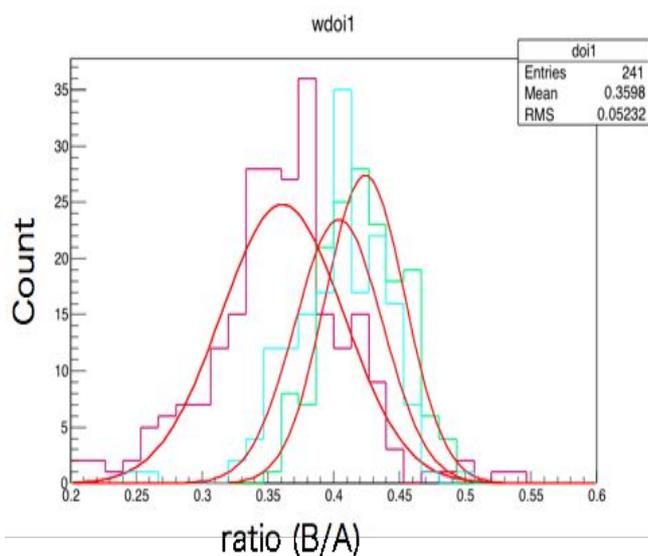


図 異なる3点の照射位置に対する SiPM 信号比

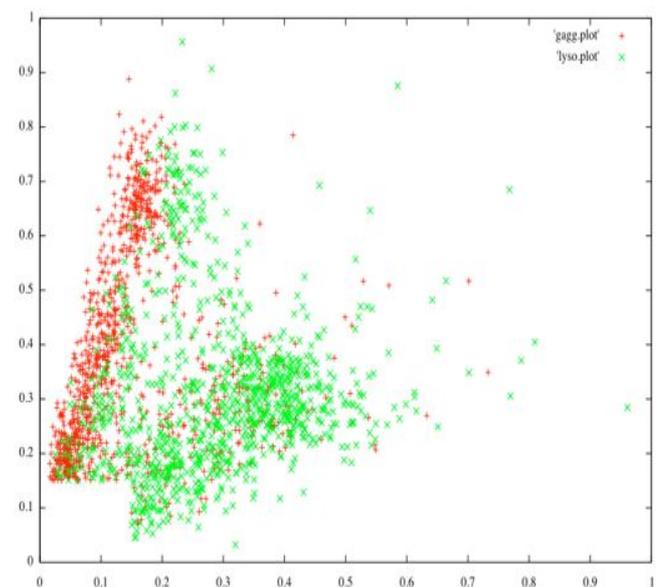


図 GAGG/LYSO 積層型における弁別

またカラーフィルターによる均一性を高めるため新たな、カラー(波長)に感度を有する SiPM の新たな設計開発をおこなった。下図に設計した SiPM を示す。SiPM の2列のガイガーモード APD セルごとに別の信号出力線につなぐ構造を有している。このような SiPM とカラーフィルターを用いることにより片側読出において DOI 情報の取得が可能となる。

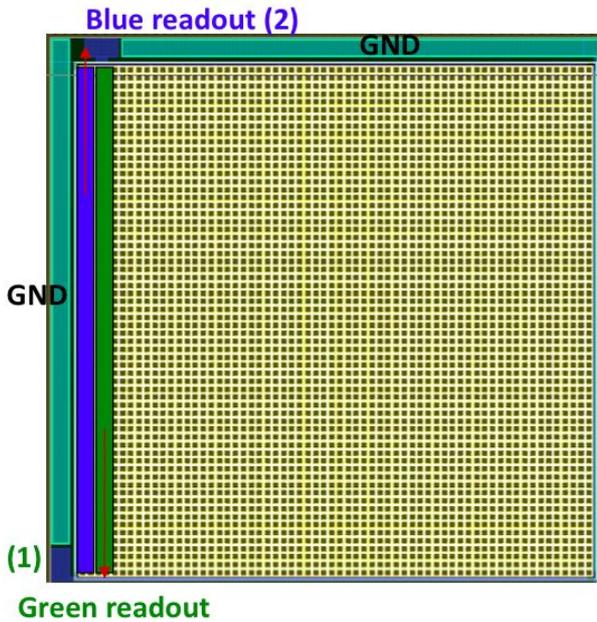


図 2 出力を有する波長有感型センサ用 SiPM

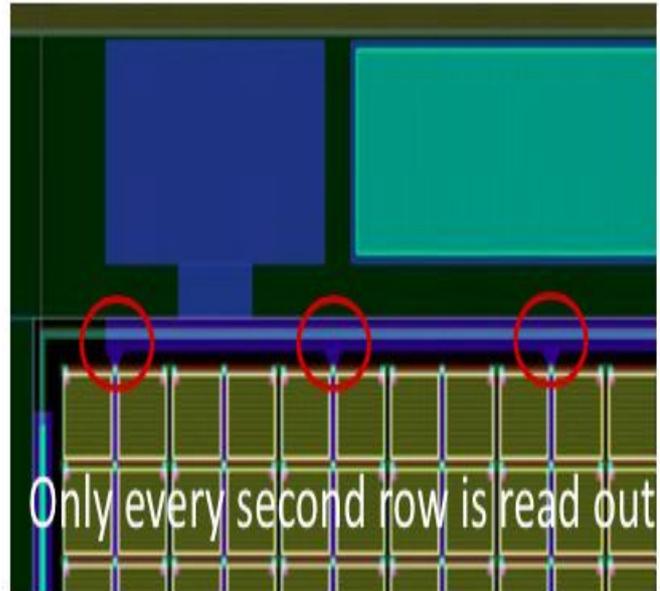


図 ガイガーモード APD セルの接続 (2 出力)

PET プロトタイプ用の光センサアレーとして KETEK PM1150 を $12 \times 12 = 144$ チャンネル配列した SiPM アレーの作成をおこなった。下図に 144 チャンネル 1.9mm ピッチの SiPM アレーの全体図 (左) とボンディング図 (右) をしめす。これによりシステムとしてサブ mm の分解能を実現可能な検出器を構築した。

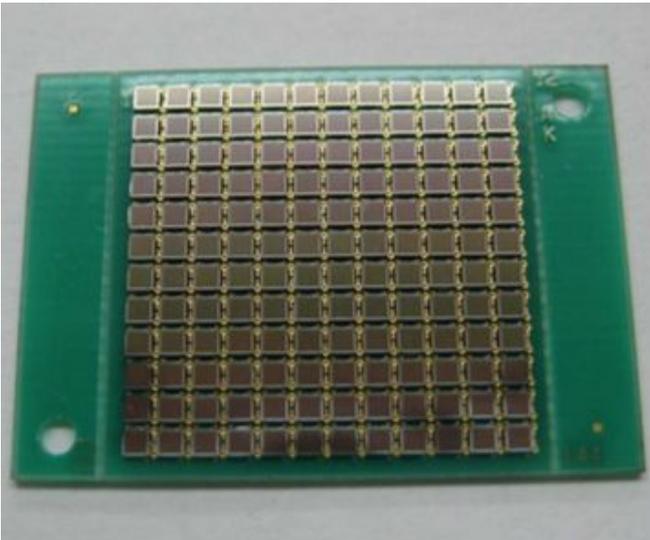


図 KETEK PM1150 144 チャンネル SiPM アレー

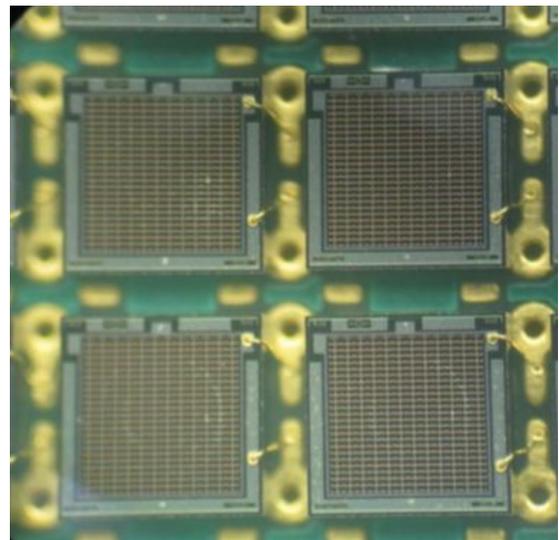


図 SiPM ボンディング図

開発したピクセル型検出器は PET 検出器としてのみならず、SPECT などの、ガンマカメラ用途でも有用であると考えられる。今後のガンマカメラ評価用として、タングステン製の微細ピッチ ($500\mu\text{m}$) コリメーターの製作をおこなった。下図にコリメーターの外形を示す。今後本コリメーターを用いた評価も同時にすすめる予定である。

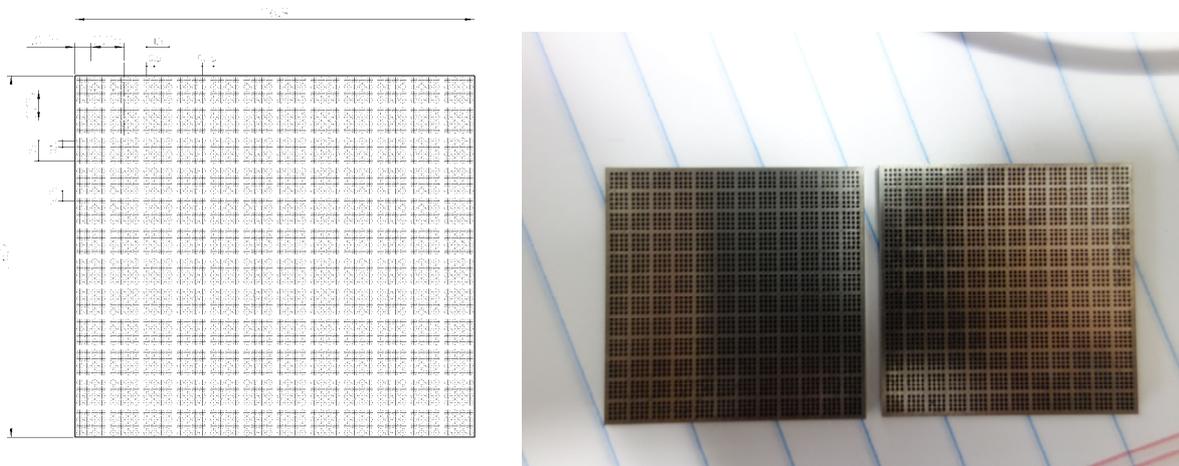


図 作成したタングステンコリメーターのサイズおよび写真

D. 考察

電流読出型の TOT-ASIC の開発を行い、結晶と合わせた評価により十分な時間分解能およびエネルギー分解能を有していることが確認された。本 ASIC の採用により後段の処理システムが構築されれば 2 桁以上の高計数率化を達成可能であることが示唆された。また 500 μm ピッチの GAGG を 3mm サイズの MPPC アレーと接合しピクセルの分離性の試験をおこなった。ピクセルの分離が可能であることが確認できたが一方で SN の向上においては個別読出が望ましいことが示唆された。また波長弁別型の DOI (深さ情報) 検出方法に関して新たに考案し、片面読出においても深さが特定可能であることが示された。

E. 結論

本年度においては 500 μm ピクセル検出器およびサブ mmPET 検出器からの信号読出のため TOT-ASIC の開発および評価を行い、エネルギー分解能および時間分解能においては PET 装置として十分な性能を有していることを確認した。また 500 μm ピッチの SiPM の大型化の設計を行い 8 \times 8 のデザインを完了した。一方で東北大から供給された 500 μm ピッチの GAGG アレーに対してアレーの確認のため 8 \times 8 の MPPC を用いた電荷分割読出によりピクセルの分離性を確認した。また新たな DOI の検出方法として両面読出が不要な方法を考案し、波長に基づく情報を用いることで片面読出が可能であることを実験により確かめた。また本方式に用いるための SiPM の設計および開発したピクセルアレー検出器を用いたガンマカメラシステムに利用可能なタングステン製のコリメーターの製作をおこなった。次年度はこれらの微細アレー検出器を用いた PET および SPECT 検出器の製作および改良を引き続き行っていく予定である。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

- (1) Shimazoe, K., et al. "Development and characterization of 16-channel silicon photomultiplier prototype with sub-mm pixels for high-resolution PET system." *Journal of Instrumentation* 9.11 (2014): C11018
- (2) Florian R Schneider^{1,3}, Kenji Shimazoe², Ian Somlai-Schweiger¹ and Sibylle I Ziegler¹. "A PET detector prototype based on digital SiPMs and GAGG scintillators." *Physics in medicine and biology* 60.4 (2015): 1667.
- (3) T. Orita, K. Shimazoe, H. Takahashi, The dynamic time-over-threshold method for multi-channel APD based gamma-ray detectors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*:

Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 775, 1 March 2015, Pages 154-161

(4) K. Shimazoe, H. Takahashi, K. Kamada, A. Yoshikawa, K. Kumagai, J. Kataoka, S. Itoh, H. Sato, Y. Usuki, Development of a prototype of time-over-threshold based small animal PET scanner, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 753, 21 July 2014, Pages 84-90

2. 学会発表

(1) Kenji Shimazoe, Alina Lipovec, Hiroyuki Takahashi, Florian Wiest, Peter Iskra, Thomas Ganka, Kei Kamada "Development and characterization of 16-channel silicon photomultiplier prototype with sub-mm pixels for high-resolution PET system" 10th International Conference on Position Sensitive Detectors, University of Surrey, England, 7-12 September 2014

(2) Alina Lipovec, Kenji Shimazoe, Hiroyuki Takahashi "Development of SiPM DOI detector for high resolution PET system", JSAP conference, 17-20 September 2014, Hokkaido University

(3) Alina Lipovec, Kenji Shimazoe, Hiroyuki Takahashi "Development of SiPM DOI detector for high resolution PET system", AESJ conference, 10 September 2014, Kyoto University

(4) Nakamura, Y., K. Shimazoe, and H. Takahashi. "A new digital-analog multiplex method using an adder circuit." 10th International Conference on Position Sensitive Detectors, University of Surrey, England, 7-12 September 2014

(5) 「医療診断のための 線イメージング基盤技術の開発」島添健次 第2回放射線イメージングの展望ワークショップ, 東京大学小柴ホール, 2015年1月24日.

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

1. 特許取得

出願番号 62118611 「波長弁別による DOI 検出法」(平成 27 年 1 月 22 日受理) 島添健次 他

2. 実用新案登録

特になし

3. その他

特になし