

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）  
（分担）研究報告書  
PET 装置開発、電子回路、放射線検出器開発に関する研究  
研究分担者 島添 健次、大野 雅史  
東京大学大学院 工学系研究科

## 要旨

本年度においては 500 $\mu$ m 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 $\mu$ m 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 $\mu$ m 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。

## A.研究目的

本研究においてはサブ mm の空間分解能を有する PET システム製作のため、PET 装置開発、電子回路、放射線検出器開発に関する研究を行う。500 $\mu$ m の位置分解能を有する PET 検出器の開発のためには新たな光センサ (SiPM シリコンフォトマル) および個別読出を可能にするための専用の集積回路 (ASIC Application Specific Integrated Circuit) の開発が必要である。本研究においては PET 装置開発のため、サブ mm の結晶、光検出器およびアレーからの個別読出を行う ASIC および放射線検出器の開発を行う。また PET 装置のプロトタイプの試作を行う。

## B.研究方法

東北大学により作成された 500 $\mu$ m ピッチの GAGG アレーの評価のため、また新たな DOI (Depth Of Interaction) の検出方法として、波長弁別によるものを考案し、波長による深さ方向の情報の弁別性の検証を行った。本方法によれば片側読出においても DOI 情報の取得が可能であると考えられ、セグメント化していない GAGG および GAGG/LYSO の積層型検出器にたいして分離試験をおこなった。またカラー弁別において均一性の高い特性を達成するために新たに 2 列ごとに出力を有するあらたな SiPM の設計開発をおこなった。

加えてサブ mm の分解能を有するプロトタイプ PET システム作成のため、1.2mm 角の SiPM を用いた 12 $\times$ 12 の SiPM アレーを作成した。またこれにより PET プロトタイプの 1 号機の作成をおこなった。

## C.研究結果

東北大学において作成された 500 $\mu$ m ピッチの GAGG における分離性を評価するためいくつかのガラス基板を介して 8 $\times$ 8 ピクセル (1 ピクセル 3mm 角) MPPC に接合して、結晶の分離性を確認した。個別読出型との比較および信号削減のため抵抗分割の 4 チャンネルによる信号読出を行った。

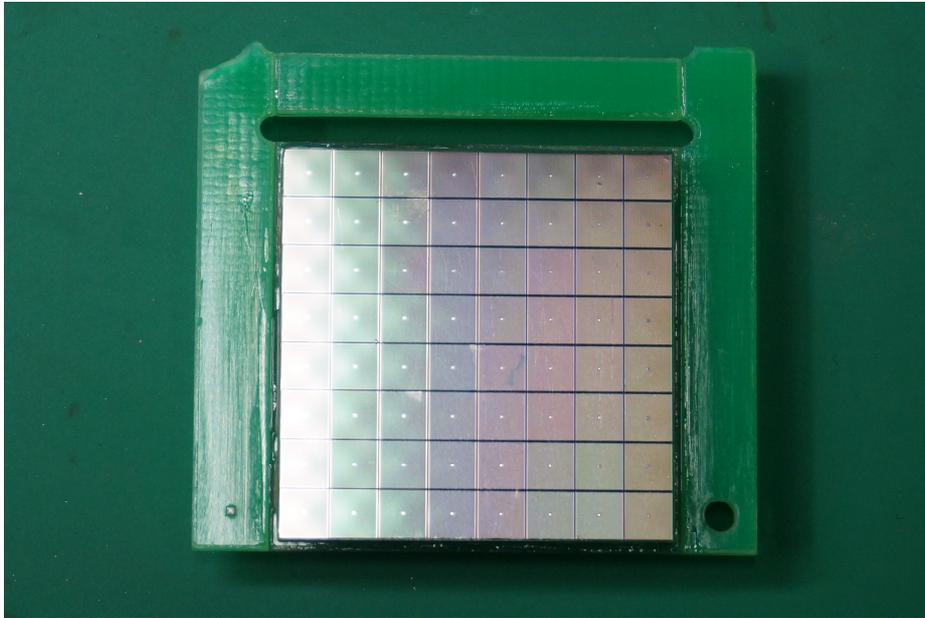


図 8×8 MPPC アレー検出器

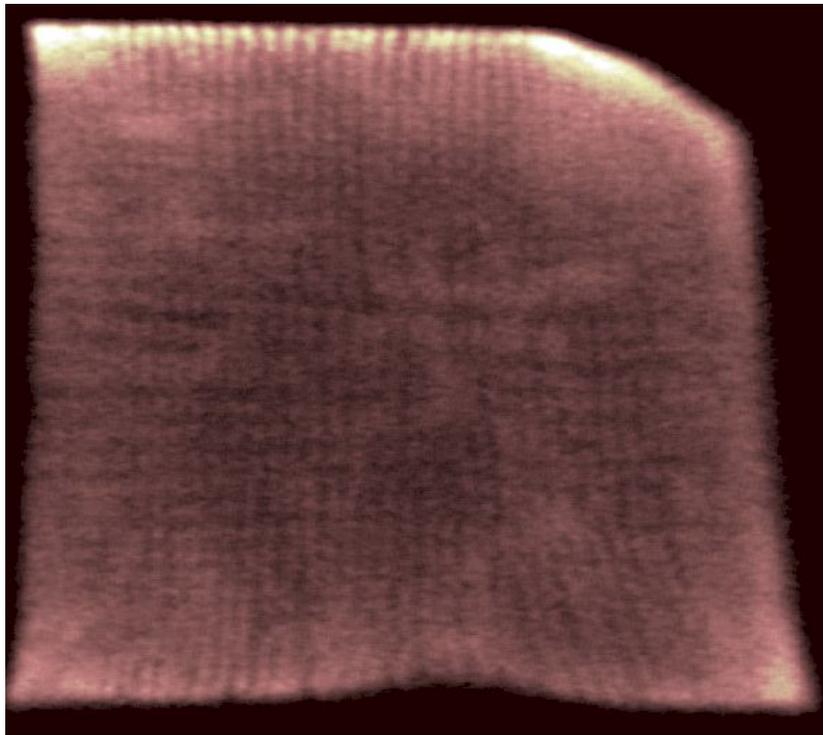


図 MPPC アレー検出器による電荷分割を用いたピクセルの分離性

500 $\mu\text{m}$  の分解能を実現するためには 500 $\mu\text{m}$  ピッチの SiPM の開発が必須である。昨年度 4 × 4 ピクセル検出器の作成を行い正常な動作を確認したが本年度はデッドスペース削減のため、サイズを 8 × 8 に拡張した SiPM の設計デザインを行った。各ピクセルのピッチは 500 $\mu\text{m}$  でありピクセルの有効面積は 400 × 400 $\mu\text{m}^2$  である。各ピクセルは 400 個の 20 × 20 $\mu\text{m}^2$  のマイクロセルから構成されている。全体のチップサイズは 4100 × 4100 $\mu\text{m}^2$  である。

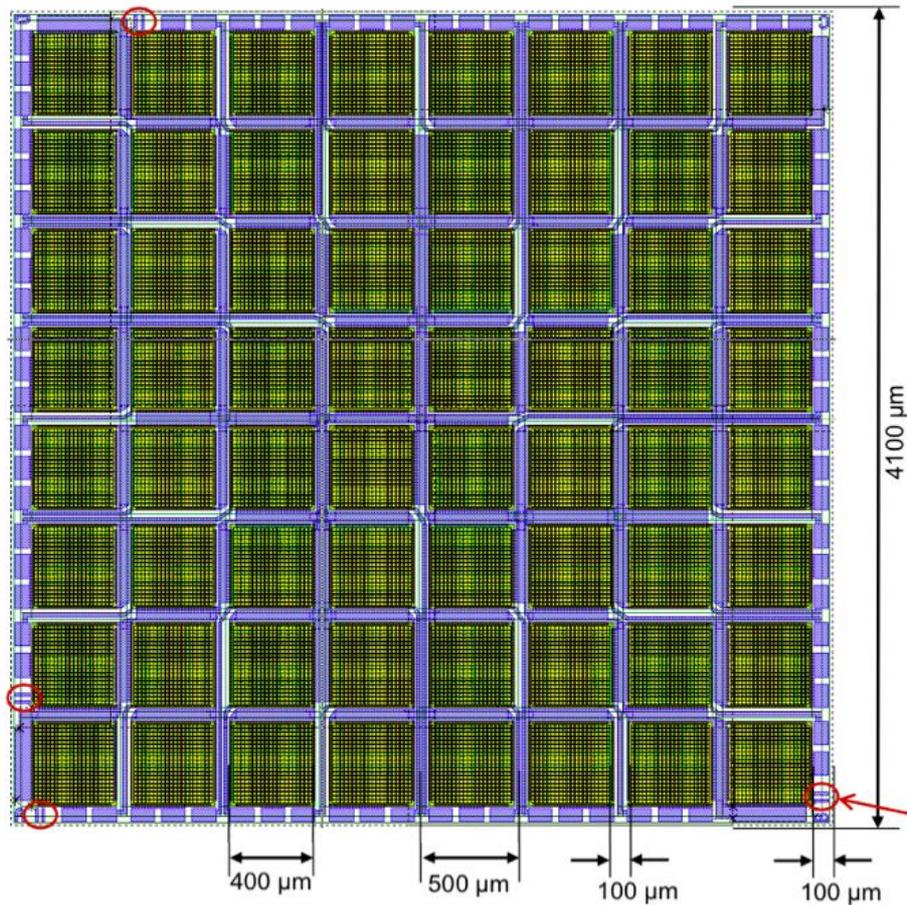


図 500 $\mu\text{m}$  微細ピッチを有する 8 × 8 SiPM アレー

個別読出型の PET 検出器の開発にむけて TOT (Time over Threshold)方式の ASIC の開発を行ってきた。TOT 方式の採用により多チャンネルの信号処理を低消費電力に実行可能である。

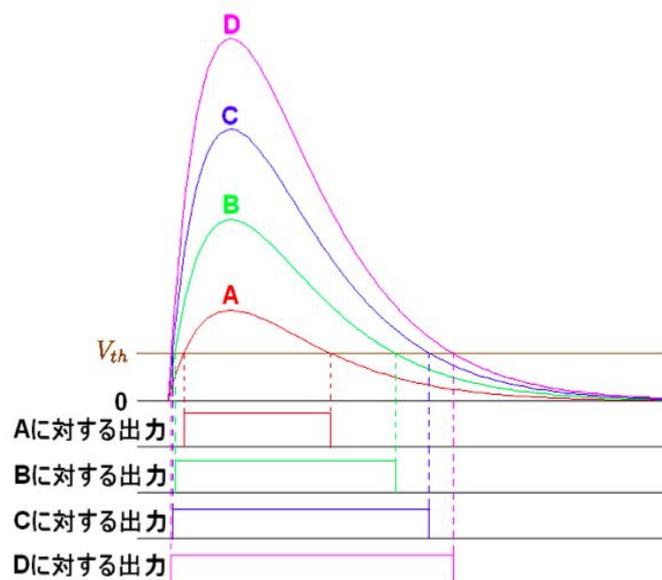


図 2-8. ToT法の原理

図 TOT 方式の原理

本方式を用いて 0.25 $\mu\text{m}$  TSMC-CMOS プロセスにより開発を行った 48 チャンルの TOT-ASIC について評価を行った。下図に GAGG/SiPM 検出器と接続した場合の信号波形およびエネルギースペクトル( $^{18}\text{F}$ -FDG)を示す。 $^{18}\text{F}$ -FDG からの 511keV のピークが明瞭に観察され、PET として利用可能であることが確認できる。また時間分解能としてはコインシデンスにより 550 ps (FWHM)が得られた。加えて MRI 中でのテストも行っており、エネルギー分解能は劣化することなく読出可能であることが確認されている。これにより開発した ASIC は十分な性能を有していることを確認し、読出基板の作成を行った。

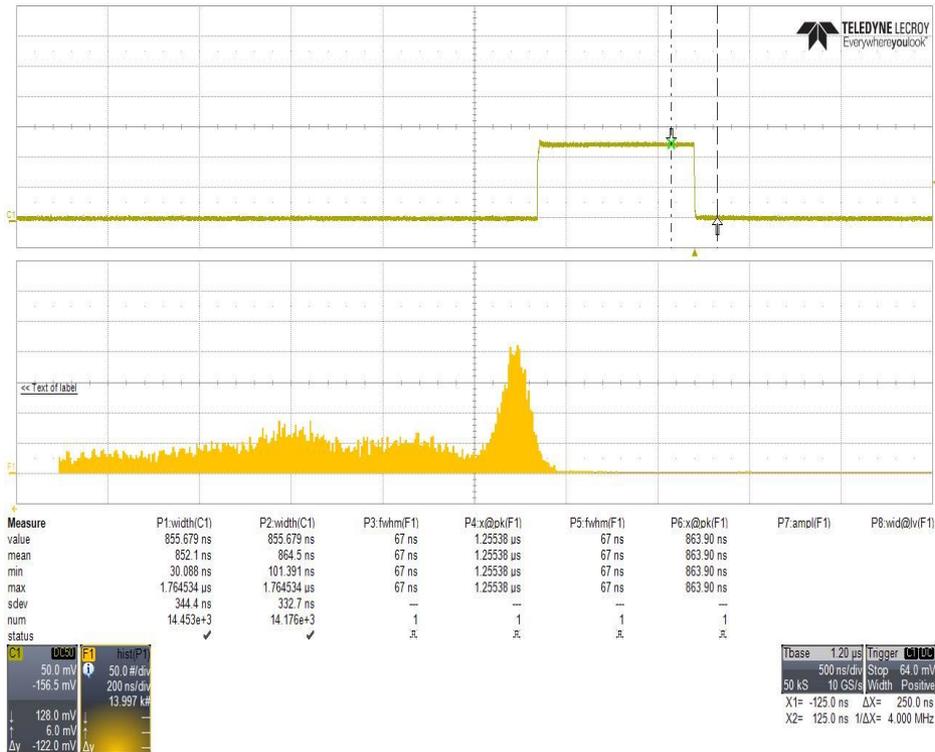


図 GAGG/SiPM + ASIC の出力およびエネルギースペクトル

通常シンチレータからの深さ情報の読み出しにおいては、異なる不純物濃度による減衰時間の違いを利用した Phoswich 型の検出器もしくはシンチレータの両面に光検出器を接着する両面読出、反射材の利用により光を異なる位置へガイドする方式が用いられてきている。しかしそれぞれ信号波形の解析が必要、シンチレータ両面に光検出器による構造の制限、位置分解能の劣化などの問題が存在している。本研究においては、光のシンチレータ内での減衰度合が波長に依存することを利用して、シンチレータの片側読出により DOI 情報を取得可能であると考え実験により確認した（特許出願）。

下図に GAGG 結晶を光検出位置からそれぞれ 0, 20, 40 mm で紫外光により励起した時の波長分布を示す。結晶内の減衰が波長依存であることにより 500 nm 付近において観測される波長分布に違いがあることがわかる。光センサの近くで反応した場合は短波長側の光が観測されるが、上部で反応した場合は減衰のため短波長の光は観測されない。