

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 11 / 2012 (MM/DD/YYYY)

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------|---------------------|----------------|
| 専攻名 (専門分野) Department | 物理及び応用物理 | 氏名 Name | 松田 英憲 | 指導 教員 Advisor | 片岡 淳 印 Seal |
| 研究指導名 Research guidance | 放射線応用 物理学研究 | 学籍番号 Student ID number | 5310A088-6 CD | | |
| 研究題目 Title | 次世代 TOF-PET に向けた MPPC 専用超高速 LSI の開発 | | | | |

【研究の背景】

PET (陽電子断層撮影)は癌を早期発見する有効な手段であるが、解像度が悪く装置が高額であるなど諸問題が指摘されている。一つの解決案として、我々はアバランシェ・フォトダイオード(APD)を用いた次世代 PET モジュールの開発に取り組んできた。APDは磁場耐性に優れ、MRI-PET への応用や小型ピクセル化による解像度の向上が期待される。さらに、本研究のテーマである TOF (time-of-flight)は画像処理の効率化、高画質化に貢献すると期待されている半面、非常に高い精度の時間計測が求められる。我々はLYSOと大面積APDアレー素子を一対一に組み合わせた高精度センサーヘッドの開発に成功した。APDからの読み出しには低雑音のアナログ信号処理 LSI を独自に開発し、これらを APDアレーと共に「拡張型 APD-PET モジュール」として組み上げた。

モジュールの性能評価として 150 mmΦガントリー上にモジュールを2機対向配置させ、実機に近い評価システムを組み上げた。FBP(filtered back projection)画像再構成を用いた評価では視野中心で 0.9 mm (FWHM)の解像度が得られた。しかしながら、時間分解能に関しては 3.1 ns(FWHM)という結果に留まった。

【MPPC-LSI の設計】

APD-PET の高解像度を継承しつつ時間分解能を飛躍的に向上する検出素子としてガイガーモード APD である Multi-pixel photon counter (MPPC)に着目した。MPPCはAPDに比べ高い増幅率 (10^5)を持ち、S/N比が高いという特徴がある。APDのように信号処理部で電荷積分アンプを用いる必要がないため、大幅なノイズ特性の改善、時間分解能の向上などが期待できる。我々はAPD用LSIを開発した経験を生かし、MPPC読み出しに特化したシンプルかつ高時間分解能なLSIの設計を行った。まず配慮すべき点として、MPPCの大きな検出器容量下でも効率良く信号を送りこめるよう前段に低入力インピーダンスのカレントコンベア回路を導入した。さらに時間計測方式としてはリーディングエッジによる検出法を採用することで、高い増幅率を持つMPPCの利点を最大限に活かせる設計となっている。SPICEを用いたシミュレーション評価ではTime-jitterは60 ps (FWHM)、Time-walkは240 ps (FWHM)と300 ps程度でAPD-LSIに比べ飛躍的に高い時間分解能が期待できる。

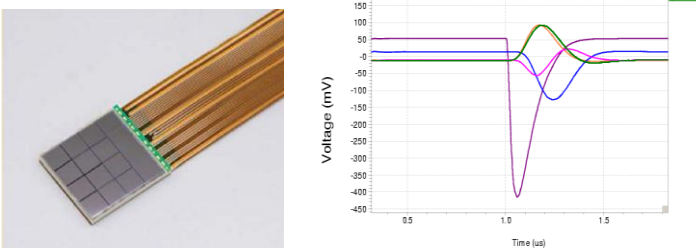


Fig.1 大面積 MPPC アレー (左) SPICE 回路シミュレーション (右)

【MPPC-LSI の開発】

本チップの回路設計には JAXA の Open-IP を活用し、台湾セミコンダクター社 (TSMC) の 0.35 ミクロン CMOS プロセスによる製造を行った。将来 MPPC アレーとの併用及びモジュール化を想定し 32 チャンネルの同時信号処理を行えるよう設計した。チップサイズは $3.3 \times 7.5 \text{ mm}^2$ と非常にコンパクトであり、ペアクリップは 160pin のセラミック QFP にパッケージングされている(Fig.2)。

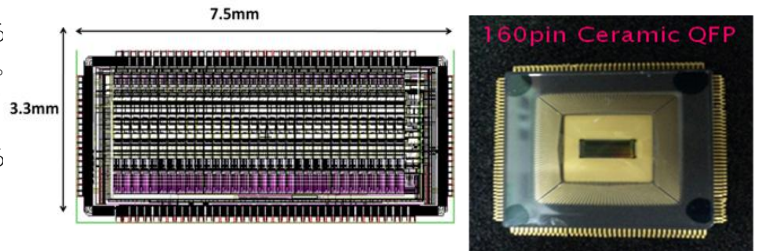


Fig.2 設計した LSI のレイアウト図 (左) 完成した LSI (右)

【性能評価】

チップ単体の性能評価としてピコ秒パルスレーザー (パルス幅 54ps、波長 655nm)を用いた Time-jitter 及び Time-walk の時間分解能をそれぞれ評価した。LSI 評価ボードに搭載した 3 ミリ角 50 ミクロンタイプの MPPC 単素子(以下、MPPC ユニット)にレーザーを照射した結果、Time-jitter は 67ps (FWHM)、Time-walk は 98ps (FWHM)となり APD-PET に比べ 10 倍程度性能を向上させることができた。

これらの実績を踏まえ $3 \times 3 \times 10 \text{ mm}^3$ の LYSO シンチレータを装着した MPPC ユニット 2 機を対向に配置し、511keV 対消滅ガンマ線の同時計数評価を行った。その結果、500ps を切る時間分解能(488ps FWHM)が得られた。これは TOF 情報に換算すると約 75mm の精度で線源の位置を特定できることに相当する。実際に線源の位置を 80mm ずらした TOF 評価でも LSI はその違いを完全に識別できることが分かった(Fig.3)。

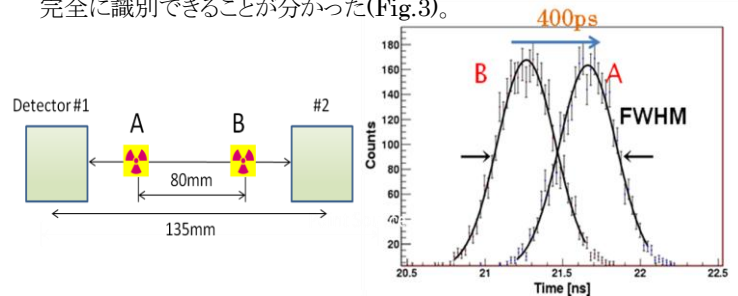


Fig.3 線源移動による時間スペクトルの変化

【まとめ】

本研究では時間分解能の向上のためガイガーモード APD である MPPC に着目し、専用の LSI の設計開発を行った。高性能時間計測回路の導入により、TOF 情報を利用して線源の位置を識別できる LSI の開発に成功した。MPPC 及び本 LSI が TOF-PET 技術において有用性の高いものであることが確かめられたと同時に、MPPC-PET の実現に向けて大きな一歩となった。

研究業績

- 国内学会 第 29 回応用物理学会 (口頭)
他 日本物理学会など 3 件 (口頭)
- 国際学会 The 8th of HSTD in Taiwan (Oral)
- 記念講演 第 58 回応用物理学会関係連合講演 招待講演
- 表彰 第 29 回応用物理学会 講演奨励賞受賞
- 投稿論文 H.Matsuda et al., "Development of an ultra-fast ASIC for future PET scanners using TOF-capable MPPC detectors", Nucl. Instr. Meth.-A, in press, 2012 他 共著 6 本