

卒業論文概要書

CD

2011年 1月提出

学籍番号 1Y07A013-1

所属学科	物理	氏名	加藤 卓也	指導員	片岡 淳 印
研究題目	大面積モノリシック MPPC アレイの開発及び高解像度ガンマ線センサーへの応用				

[はじめに]

PET(Positron Emission Tomography:陽電子断層撮影)は、放射線を使った体内組織の断層撮影装置であり、癌の早期発見能力に優れている。癌は糖を過剰に摂取する性質があるので、糖の一部を放射性同位体に変換して患者に投与すると癌に糖が集まる。放射性同位体が $\beta+$ 崩壊するときに出る陽電子と体内の電子によって発生する消滅ガンマ線を測定し、その到来方向から癌の位置を特定する。現在では、PETの位置分解能を補うため、MRI(Magnetic Resonance Imaging system:磁気共鳴画像装置)とPETを併用して使う研究が行われている。一般的なPETにはPMT(Photomultiplier Tube:光電子増倍管)が検出器として使われているが、PMTは磁場に弱くMRIとの併用が困難である。

その問題を解決するために、PMTに代わる光素子として、磁場の影響を受けない半導体素子であるAPD(アバランシェフォトダイオード)などが挙げられるが、APDは内部増幅率(ゲイン)が約100倍とPMTのゲイン($10^5 \sim 10^6$)に比べ低いという欠点があり、ノイズの影響を受けやすい。また、読み出しの際にCSA(Charge Sensitive Amplifier)のような非高速アンプの使用が不可欠になるために時間分解能が悪く、次世代PETの要であるTOF(Time Of Flight)測定において不利である。そこで、近年、APDをさらに発展させたMPPC(Multi-Pixel Photon Counter)が注目を集めている。

MPPCとは二次元に配列された多数のガイガーモードAPDを含む半導体素子である。個々のガイガーモードAPDは光子の入射の有無しか情報を持たないが、これを複数重ね合わせることで入射光子の総数を見積もる事ができる。MPPCはAPDと同様の半導体が持つ利点に加え、ガイガーモードで動作するためPMTに匹敵する高いゲインを持つ。時間分解能もゲインの高さからAPDより良いことが予想できるので、MPPCはTOF測定に最適な素子であると言える。

本研究では、PET装置のためのガンマ線カメラとして、大面積モノリシック 4×4 MPPCアレイの性能評価を行った(図1左)。センサーヘッドとして、大光量かつ高速応答であるLYSO、LuAGの二つのシンチレーターを選択し、これを 4×4 のピクセルに組み上げて使用した(図1右)。LuAGの発光波長はおよそ310nmであるが、MPPCはこのような紫外領域に感度を多く持たない。そこで、LuAGアレイの一つにプラスチックシンチレーターからなるWLS(wavelength shifter)を塗布し(LuAG(WLS))、発光波長を420nmに変換することでMPPCの感度波長との一致を図った。

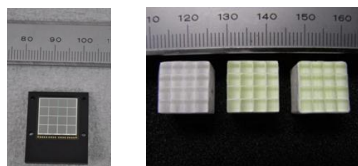


図1. 使用したMPPCアレイ(左)と各種シンチレーター(右)(左からLYSO, LuAG, LuAG(WLS))

[結果]

○MPPCとAPDの時間分解能の比較

MPPCアレイの性能評価に先駆けて、二つの単素子MPPCとAPDにLYSO結晶をつけ、 ^{22}Na の消滅ガンマ線から時間分解能を測定した。その結果、時間分解能はMPPC、APDでそれぞれ624psec、5.3nsec(FWHM)という結果が得られた

(図2)。

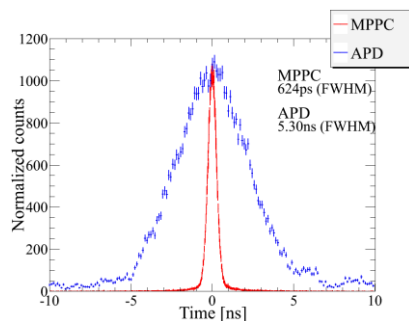


図2. MPPCとAPDのLYSO結晶を付けたときの時間分解能の比較

○MPPCアレイの性能評価

MPPCアレイ単体の性能として、ゲイン、PDE(Photon Detection Efficiency)、ダークカウントを測定した。ダークカウントとは、MPPC内部で励起した熱電子がガイガー放電を起こしてしまう現象のことで、MPPCの主なノイズ源となる。

ゲインは印加電圧に対し70.9Vから71.9Vの間でほぼ線形の関係になっており、71.9Vでのピクセル間でのばらつきは $\pm 7.2\%$ となった。PDEの平均は37.2%であり、そのばらつきは $\pm 6.4\%$ となった。ダークカウントは平均で2Mcpsとなった。

○MPPCアレイ+シンチレーターの性能評価

^{137}Cs 線源を用いてガンマ線スペクトルを取得し、エネルギー分解能と読みだされる電荷量の比較を行った。662keVのエネルギー分解能の平均は、LYSO、LuAG、LuAG(WLS)それぞれで13.83、14.70、13.96%(FWHM)となった。電荷量はLYSOが最も優れており、LuAGの3~4倍となった。また、LuAG(WLS)は波長変換を行う事で通常のLuAGに比べ約1.3倍の電荷量を得ることができた(図3)。

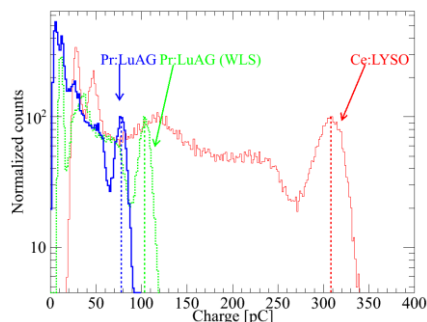


図3. 各シンチレーターの ^{137}Cs エネルギースペクトル及び電荷量比較

[まとめ]

MPPCの時間分解能はAPDよりはるかに優れており、TOF測定において有利である。モノリシックMPPCアレイの特性を調べたところ、アレイの各ピクセルにおいてゲイン等の性質のばらつきは微小であり、エネルギー分解能も十分であることから、PET装置の検出器として有効であることを示すことができた。本研究はMPPC-PETの実現に向けて大きな一歩となった。

